Mesurer le temps de l'âge du Bronze

Journée thématique de l'APRAB (Saint-Germain-en-Laye, 6 mars 2020)

Sous la direction de :
Cyril Marcigny, Thibault Lachenal, Pierre-Yves Milcent,
Claude Mordant, Rebecca Peake, Marc Talon



Supplément n° 8 au Bulletin de l'APRAB - 2022

Mesurer le temps de l'âge du Bronze

Notice bibliographique

Volume 8
MARCIGNY C., LACHENAL T., MILCENT P.-Y., MORDANT C., PEAKE R. et TALON M. (dir.), 2022, *Mesurer le temps de l'âge du Bronze, Journée thématique de l'APRAB (Saint-Germain-en-Laye, 6 mars 2020)*, Supplément n° 8 au *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*.

Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze
UMR 6298 ARTEHIS – Université de Bourgogne – Faculté des Sciences
6 boulevard Gabriel – 21000 DIJON – http://aprab.org

Directeur de la publication : Claude MORDANT
Traductions en anglais : Rebecca PEAKE / Créations graphiques : Florent MATHIAS
Secrétariat d'édition et mise en pages : Corine DESPREZ-MARCIGNY / ÉDITIONS PHAE

© Tous droits réservés – APRAB 2022
ISSN : 2257 - 1248
ISBN : 978-2-9572241-0-4

DANGER LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

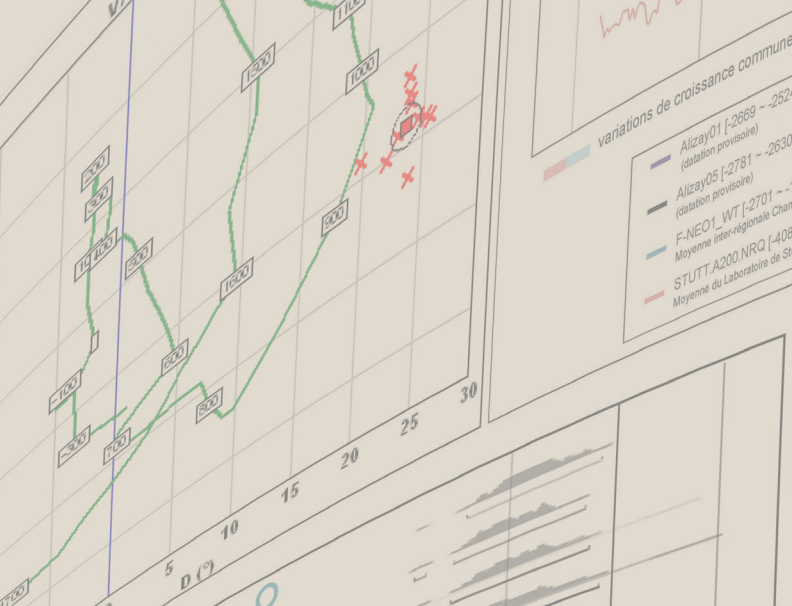
En application de la loi du 11 mars 1957 (art. 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale, à usage collectif, de la présente publication, est strictement interdite sans l'autorisation expresse de l'éditeur.

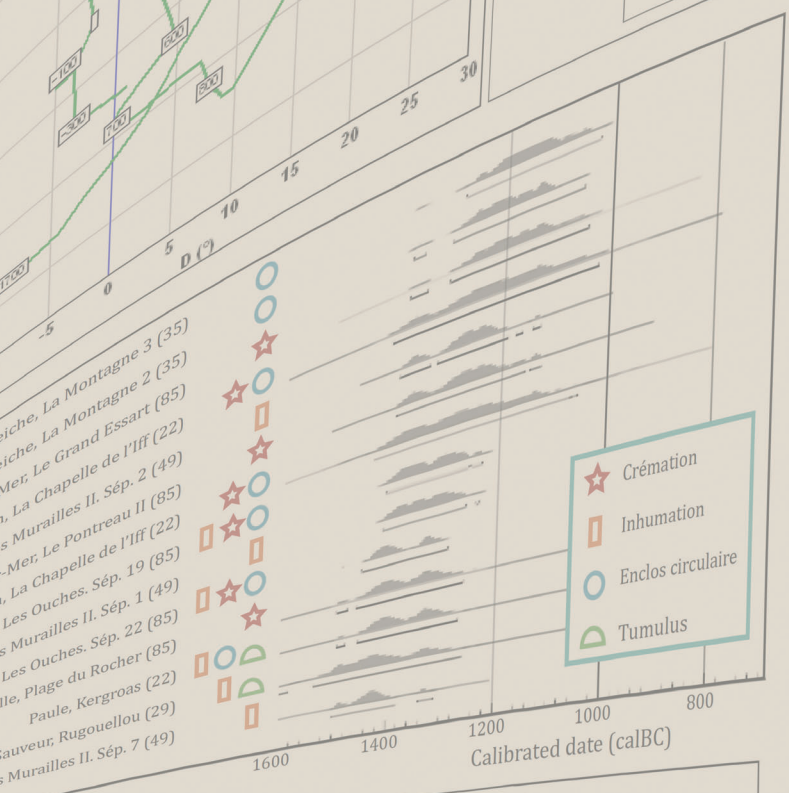
Mesurer le temps de l'âge du Bronze

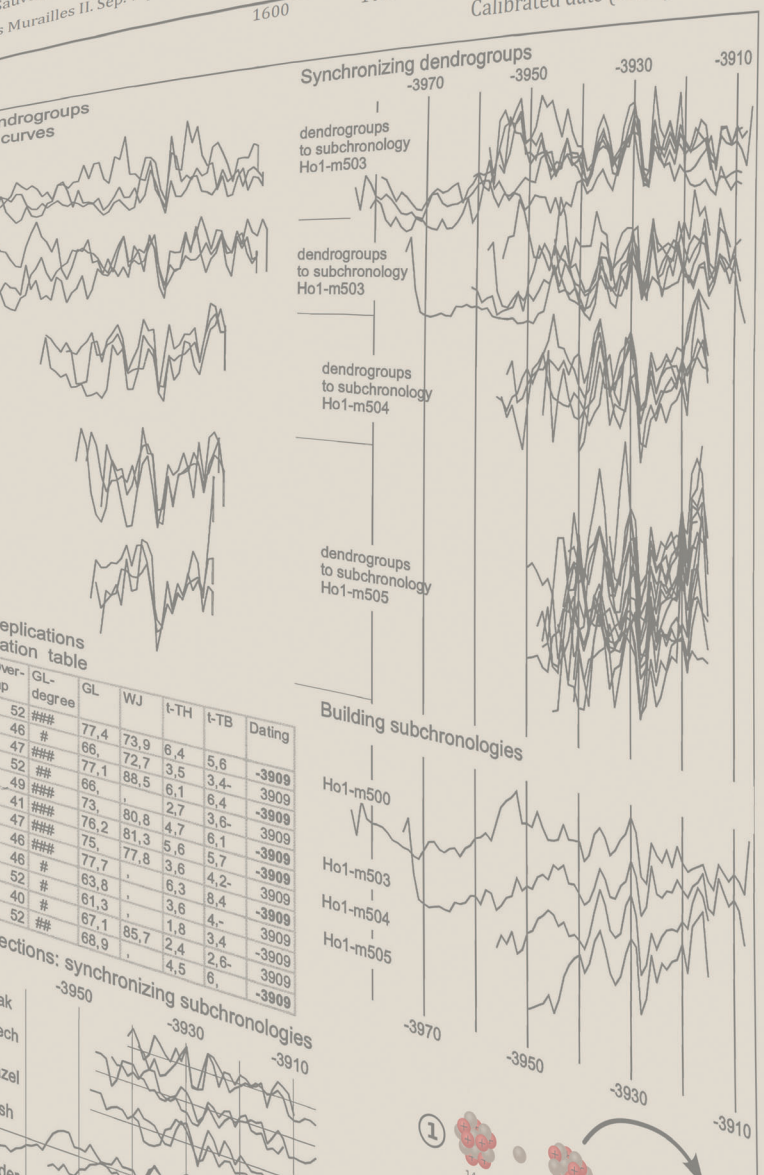
Journée thématique de l'APRAB (Saint-Germain-en-Laye, 6 mars 2020)

Sous la direction de :
Cyril Marcigny, Thibault Lachenal, Pierre-Yves Milcent, Claude Mordant, Rebecca Peake, Marc Talon

Supplément n° 8 au Bulletin de l'APRAB – 2022

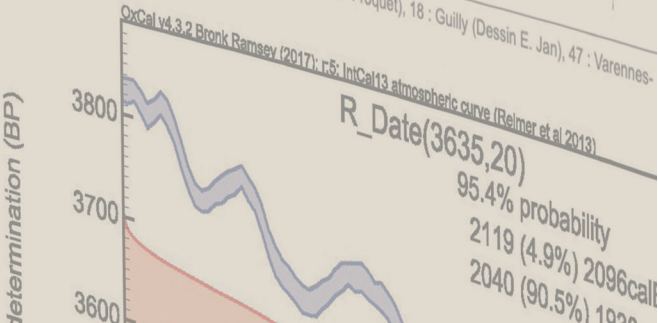








12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Varennes-Changy (Dessin S. Durand)



SOMMAIRE

Mesurer le temps de l'âge du Bronze 7

Thème 1
Les méthodes et outils statistiques

Du bon usage des datations ^{14}C
Christine Oberlin et Marc Talon 11
La datation radiocarbone sur coquilles de mollusques terrestres : quelles limites et quels usages ?
Salomé Granai et Quentin Wackenheim 21
La datation dendrochronologique de l'âge du Bronze
Fabien Langenegger 35
Composer le temps en archéologie avec ChronoModel
Philippe Lanos et Philippe Dufresne 49

Thème 2
Les chronologies

D'un usage cohérent des méthodes de mesure du temps de l'âge du Bronze
Mireille David-Elbiali 77
Premier et second âges du Bronze, ou comment périodiser l'âge du Bronze en France ?
Pierre-Yves Milcent 85
Quelques problèmes chronologiques de l'âge du Bronze en Méditerranée
Dirk Brandherm 99

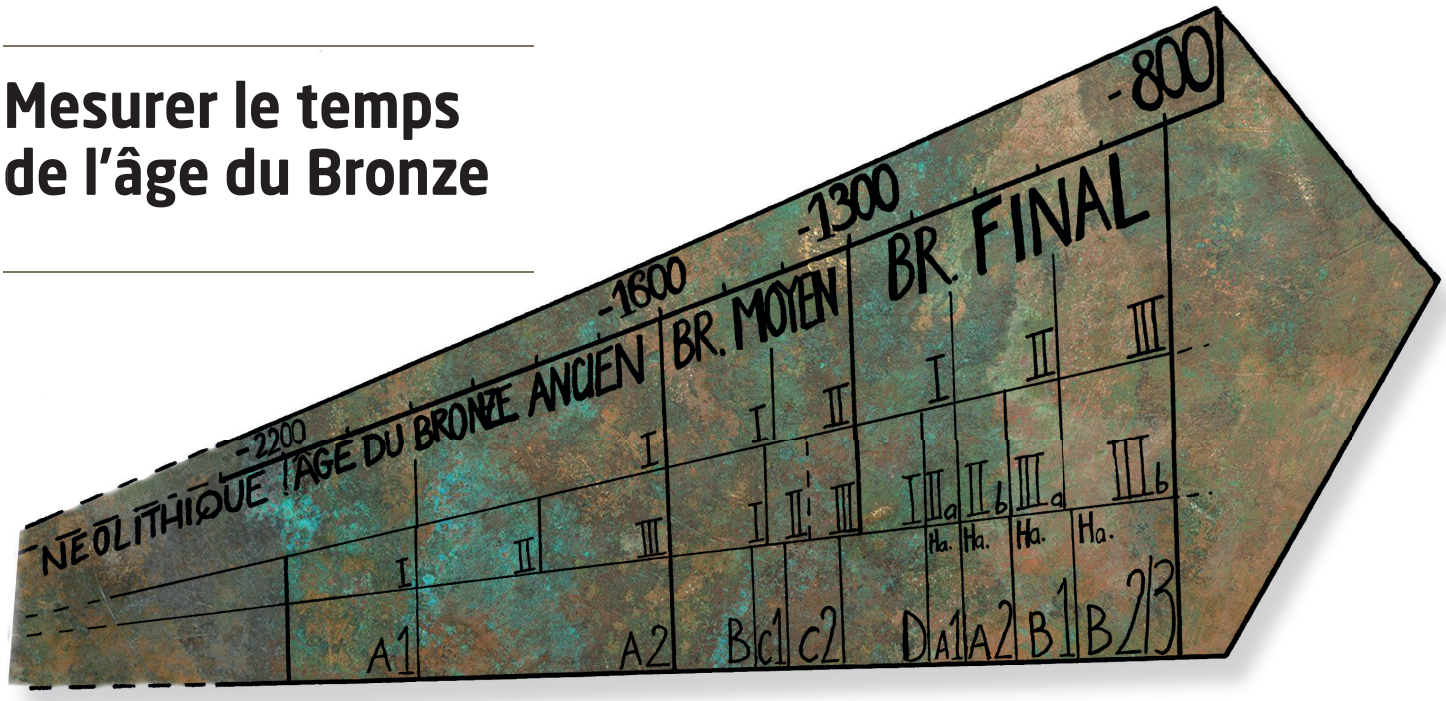
Thème 3
Quelques exemples et études de cas

La pénurie face à l'abondance des palafittes : de la meilleure utilisation des analyses dendrochronologiques dans un contexte contraint
Yves Billaud 105
Analyse préliminaire de l'ensemble des dates absolues de Champagne : quelques réflexions sur leurs implications, notamment pour l'âge du Bronze
Jan Vanmoerkerke 117
La chronologie absolue de l'âge du Bronze en France méditerranéenne – Modélisation bayésienne des datations par le radiocarbone
Thibault Lachenal 129
La nécropole du Bronze final de Migennes « Le Petit Moulin » (Yonne) – Datations par radiocarbone et modélisation bayésienne
Mafalda Roscio et Cyril Marcigny avec le concours de Fabrice Müller, Germaine Depierre, Luc Staniaszek 149
Booms and Busts in settlement chronologies: creating a new model for the use of Bronze Age settlements in the British Bronze Age
Dr Edward Caswell and Dr Benjamin W. Roberts 163
Le projet CRUMBEL – Archéométrie et os incinérés du Néolithique final à l'époque mérovingienne – Des opportunités pour affiner la chronologie existante
Guy De Mulder, Eugène Warmenbol, Christophe Snoeck, Sarah Dalle, Charlotte Sabaux, Rica Annaert, Marta Hlad, Elisavet Stamataki, Barbara Veselka, Martine Vercauteren, Giacomo Capuzzo, Kevin Salesse, Amanda Sengeløv et Mathieu Boudin 175

Les datations par radiocarbone de la grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme) et leurs conséquences sur la compréhension de la dynamique d'occupation du site dans son contexte régional, de la fin du Néolithique au Bronze ancien
Joël Vital 187
L'usage des datations par le radiocarbone dans une optique de chronologie relative? Les premières tendances du site d'habitat de Kehrsatz, Breitenacher (CH)
Yann Mamin et Laure Prétôt 197
Dater des puits en bois – L'exemple du parc d'activités du Pays d'Erstein (Bas-Rhin, Alsace, France)
Christophe Croutsch, Estelle Rault et Willy Tegel 211



Mesurer le temps de l'âge du Bronze



Cette question de la mesure du temps reste une préoccupation majeure des archéologues et des spécialistes de l'âge du Bronze bien sûr. Si, globalement, cette période occupe en France une plage de quinze siècles environ, calée entre 2300 et 800 avant notre ère, il convient toujours de préciser les limites des étapes majeures de l'évolution des sociétés de l'âge du Bronze, mais également de mieux apprécier la place réelle dans le temps des sites étudiés. La question, par exemple, du début de l'âge du Bronze reste toujours une problématique d'actualité qui occupe nos débats, ainsi que parfois ceux de nos collègues néolithiciens. Si on accepte, comme c'est de plus en plus le cas, que le Campaniforme fait partie de l'âge du Bronze (beaucoup d'éléments qui s'épanouiront par la suite puisent leurs fondements dans ce groupe culturel), alors le début de l'âge du Bronze se situerait autour de 2500 avant notre ère. Malheureusement, ce groupe campaniforme n'est pas présent partout sur le territoire national (et même en Europe) au même moment ! Il y aurait donc plusieurs débuts de l'âge du Bronze ; comment trancher ? On est là au cœur des questionnements de cette journée thématique : comment mesurer le temps ? Avec quels outils ? Quelles précisions ?

La précision de la typochronologie des ensembles de la culture matérielle a profité de l'accroissement de données issues de l'archéologie préventive avec une meilleure possibilité de traitements statistiques. Les phasages qui en résultent illustrent bien la dynamique interne des sites, mais il reste indispensable de caler dans le temps calendaire ces séquences, céramiques pour la plupart des sites.

Dans le domaine des chronologies absolues, les datations ^{14}C se sont généralisées et aussi « banalisées », parfois sans qu'elles aient été suffisamment choisies et basées sur des échantillons pertinents. Un examen critique de la mise en œuvre de ces datations, puis de leurs prises en compte dans la chronologie des sites doit être poursuivi.

La possibilité, bien qu'encore insuffisamment connue par certains archéologues, de datation des os incinérés à partir de la bioapatite, a révolutionné le calage chronologique des sépultures à incinération, majoritaires dans certaines régions et dépourvues de matériel archéologique.

Par ailleurs, les traitements statistiques bayésiens des dates ^{14}C permettent de meilleures approches des durées des phases d'occupation.

Les datations dendrochronologiques, obtenues en milieux humides généralement, nécessitent également un bilan critique : bois anciens de récupération, relations stratigraphiques équivoques avec les mobiliers considérés comme des « fossiles-directeurs » sont des exemples, parmi d'autres, des problèmes qui peuvent se poser.

Il faudra assurément aussi continuer de s'ouvrir aux nouvelles investigations du temps par les méthodes physiques et géomagnétiques des différents matériaux chauffés et transformés par l'Homme. Et toujours, discuter des apports et limites des datations absolues à échelle inter-sites fondées sur les comparaisons entre ensembles clos ou à partir de fossiles-directeurs.

Cette journée thématique 2020 a proposé des bilans synthétiques sur ces méthodes de datations absolues, mais aussi relatives, ainsi que des études de cas démonstratifs de sites archéologiques variés (habitats, nécropoles…) où ces techniques ont été conduites avec succès.

Souhaitons que les actes de cette journée constituent un outil de travail simple et efficace sur les méthodes de datation et d'exemples de leur usage pour une meilleure appréhension de ces siècles de l'âge du Bronze.

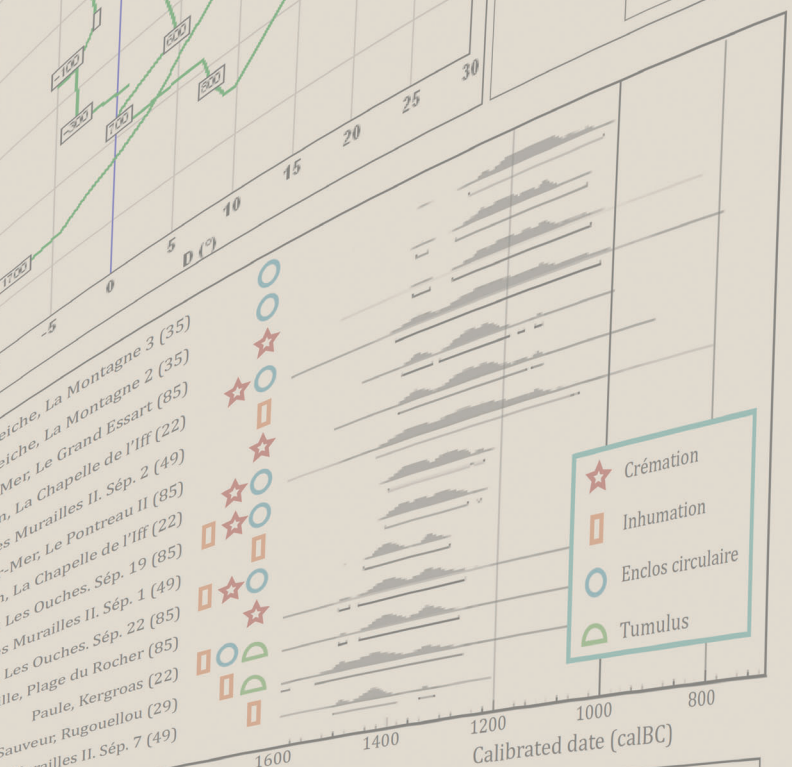
Les organisateurs
Cyril Marcigny, Thibault Lachenal, Pierre-Yves Milcent,
Claude Mordant, Rebecca Peake, Marc Talon

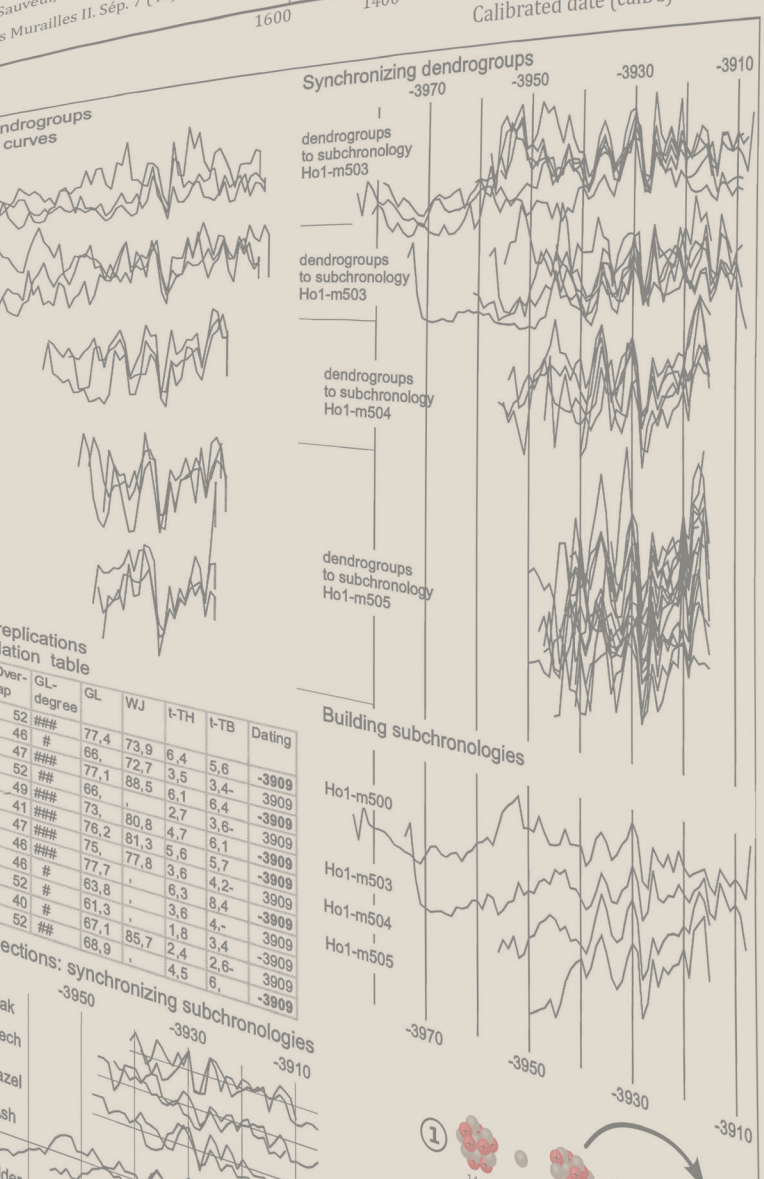


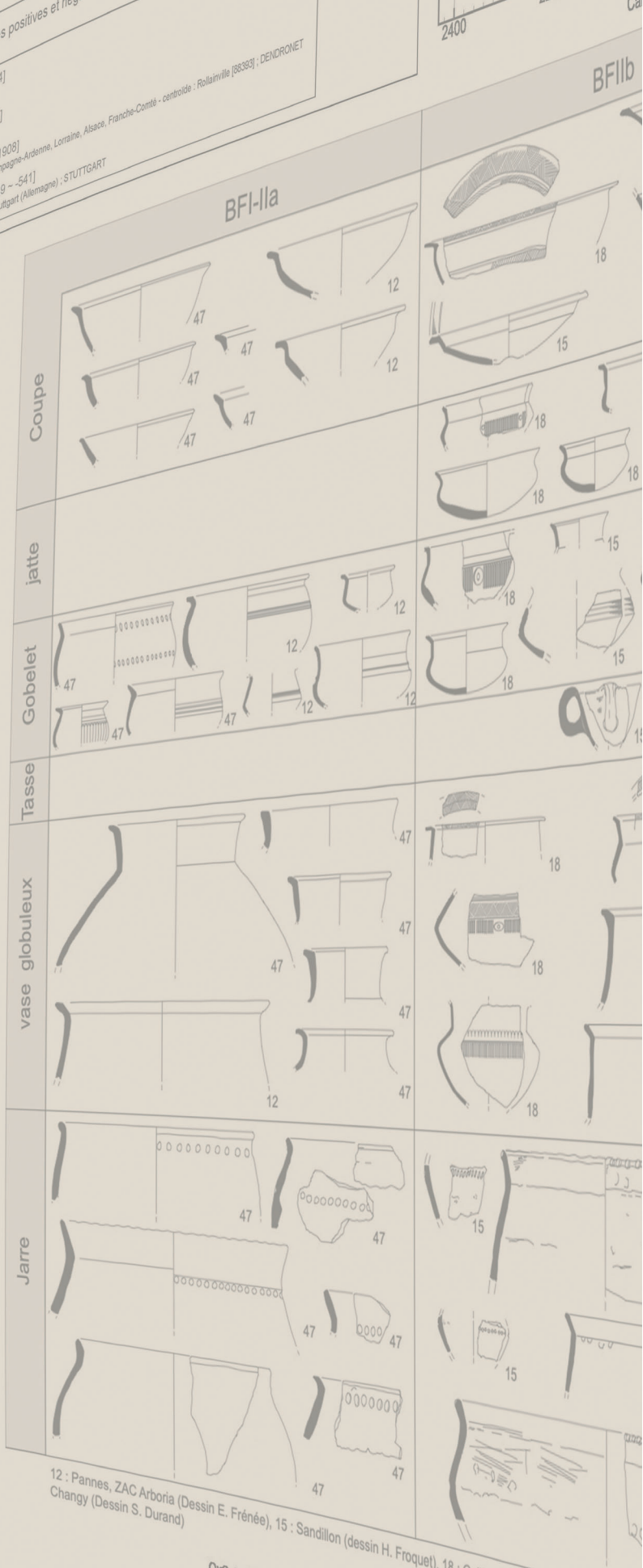
Thème 1

Les méthodes et outils statistiques

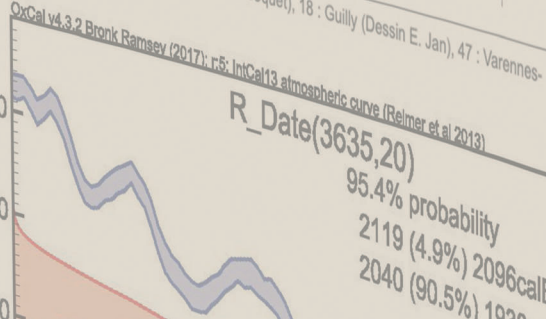


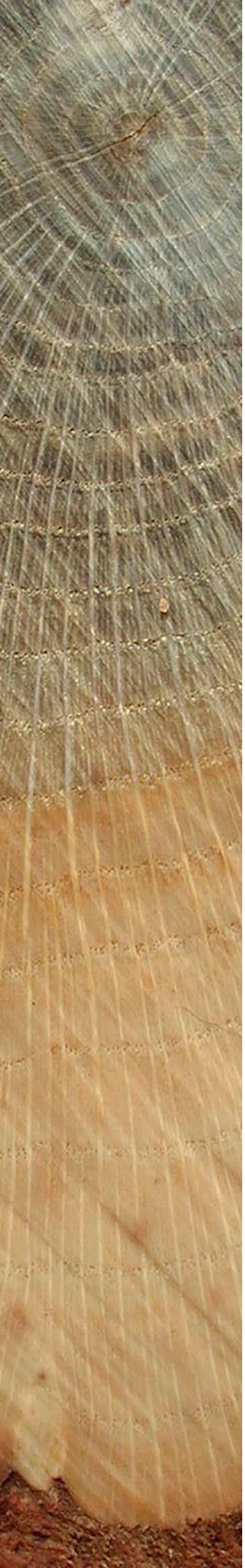






12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Varennes-Changy (Dessin S. Durand)





Du bon usage des datations ^{14}C

Christine Oberlin et Marc Talon

Résumé

La datation par le ^{14}C est un outil majeur pour les archéologues. Depuis sa mise au point dans les années 1950, cette méthode a largement contribué à retracer l'histoire de l'homme au cours des quarante derniers millénaires. Mais, si le principe de la méthode est remarquablement simple et son application générale à toutes les matières carbonées fossiles théoriquement possible, son emploi doit être maîtrisé. Pour que les dates ^{14}C soient fiables et qu'elles puissent être utilisées correctement, certaines précautions (règles) doivent être appliquées, aussi bien du côté du laboratoire que de celui des archéologues utilisateurs. Après avoir présenté rapidement le principe de la méthode et les outils à notre disposition (outils de mesure et calibration), nous examinerons les conditions qui doivent être satisfaites pour obtenir des datations fiables : application des conventions internationales pour la mesure au laboratoire, stratégie d'échantillonnage, choix des matériaux à dater… Concernant plus particulièrement l'âge du Bronze, nous évoquerons la possibilité depuis maintenant une vingtaine d'années, d'effectuer des datations sur os incinérés à partir de la bioapatite, évolution essentielle qui a révolutionné le calage chronologique des sépultures de cette période, majoritairement constituées de crémations, souvent dépourvues de mobilier archéologique. Nous terminerons notre présentation par l'utilisation de ces dates et leurs publications.

Mots-clés

Datation, Carbone 14, os, bioapatite

Abstract

Radiocarbon dating is a precious tool for archaeologists. Since its development in the 1950s, this method has made a significant contribution to retracing the history of humankind over the last 40 millennia. However, even though the method appears remarkably simple and can be theoretically applied to all fossil carbonaceous materials, in reality its use is more precarious. Archaeologists must apply certain rules when sampling and in the laboratory to obtain reliable and usable radiocarbon dates. After a short presentation of the principles of the method and the tools at our disposal (measurement and calibration tools), we will focus on the requirements for reliable dating, which include the application of international standards for measurement in the laboratory, a clear sampling strategy and the choice of materials. We will also discuss the dating of cremated bones using biological apatites, which has been a major development in the last twenty years, enabling the dating of Bronze Age cremation burials devoid of any preserved grave goods. Finally, our paper will focus on the use and publication of radiocarbon dates.

Keywords

Datation, Radiocarbon, bones, bioapatite

Le radiocarbone ou carbone 14 est un élément radioactif naturellement présent dans notre environnement. Sa découverte, dans la première moitié du XXe s., a été déterminante pour l'étude de la préhistoire. À la fin des années 1940, W. F. Libby émet l'idée que l'isotope 14 du carbone est produit de façon continue dans l'atmosphère et fait partie intégrante de certaines matières carbonées de la nature. Il pose les bases théoriques de son utilisation pour la datation en archéologie (Libby, 1952). La mise au point de la méthode, bien antérieure à celle des autres méthodes de datation absolue, en a fait pendant longtemps l'unique référence en chronologie. Or comme toute méthode scientifique, elle a ses limites. Il convient donc de bien connaître son principe et sa mise en œuvre pour mieux appréhender son utilisation et ses applications.

1. Principe de la méthode de datation par le carbone 14 et nécessité de la calibration des dates

Les protons cosmiques pénétrant dans l'atmosphère donnent naissance à des neutrons. Ceux-ci vont réagir avec l'azote de l'air (^{14}N) et produire du carbone 14 (atome de masse 14). Les atomes de ^{14}C sont rapidement oxydés et donnent du gaz carbonique marqué (^{14}CO2) qui se mêle à celui présent dans l'air. Ils entrent ainsi dans le cycle du carbone et sont incorporés dans les végétaux lors de la photosynthèse. Ils sont fixés par les animaux et les humains *via* la consommation des plantes et sont aussi présents dans les eaux marines et continentales.
La production de carbone 14 dans l'atmosphère est un phénomène continu. Mais il n'y a pas d'accumulation de cet élément, car il est radioactif et se désintègre spontanément pour redonner un atome d'azote. La production de ^{14}C et sa disparition par désintégration s'équilibrent, conférant au gaz carbonique de l'atmosphère et aux organismes vivants une radioactivité naturelle. À la mort de l'organisme (ou lors de la précipitation des carbonates), l'incorporation du ^{14}C cesse et la concentration dans celui-ci commence immédiatement à diminuer à raison de la moitié tous les 5 570 ans. Connaissant la loi physique qui régit cette disparition, il est possible de déterminer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme en mesurant la teneur résiduelle de ^{14}C de l'échantillon et en la comparant à celle de l'atmosphère actuelle (fig. 1).

1.1. Techniques de mesure et mesures

Deux techniques permettent de quantifier la teneur en carbone 14 résiduelle. La technique développée à partir des années 1950 est fondée sur la mesure de la radioactivité de l'échantillon à l'aide de compteurs proportionnels ou de détecteurs à scintillation (datation dite conventionnelle) ; la seconde technique, utilisée depuis les années 1980, consiste à isoler, en fonction de leur masse, les différents isotopes du carbone puis à compter le nombre d'atomes de ^{14}C résiduels (datation par spectrométrie de masse couplée à un accélérateur : datation par SMA ou par AMS en anglais). La technique conventionnelle nécessite une masse d'échantillons importante et un temps de mesure très long si l'on veut obtenir une précision statistique satisfaisante. En revanche, pour la même précision, la SMA permet de mesurer des échantillons de carbone mille fois plus petits (de l'ordre du milligramme) que la technique conventionnelle et le temps de mesure est beaucoup plus court. Ces deux techniques donnent naturellement des résultats équivalents. Si théoriquement, elles butent vers les mêmes dates limites, dans la pratique, la SMA est cependant plus fiable pour les âges très anciens. Comme la masse d'échantillons nécessaire à la mesure est très petite, il est possible de pousser les traitements de purification des matériaux et de sélectionner des phases organiques spécifiques de chacun d'eux. Cette réduction de la taille des échantillons a ouvert le champ d'application de la méthode à des échantillons jusque-là impossibles à faire comme des objets d'art en bois ou en os, des graines carbonisées, des os carbonisés ou calcinés… ou des niveaux archéologiques très fins par exemple.
Le résultat d'une mesure de la teneur en carbone 14 résiduel, toujours corrigée du fractionnement isotopique, conduit à une datation exprimée en années « *Before Present* » (BP) c'est-à-dire avant 1950 (année zéro du carbone 14), associée à une marge d'imprécision, notée en ± (plus ou moins).
Mais le calcul d'âge repose sur l'hypothèse que la quantité de carbone 14 dans l'atmosphère a été constante au cours du temps. Or de Vries démontra en 1958, que cette hypothèse

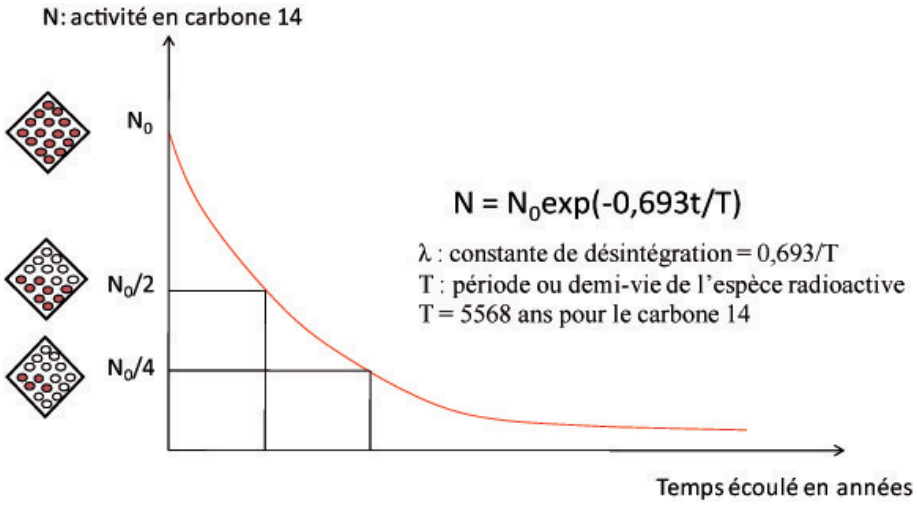


Figure 1 - Courbe de décroissance radioactive. DAO C. Oberlin, Centre de datation par le radiocarbone.

n'était pas juste. En se basant sur le fait que, pour un arbre vivant, seul le cerne annuel de croissance est en équilibre avec l'atmosphère et que les cernes internes peuvent être considérés comme « fossiles », il démontra la variabilité de la concentration en ^{14}C atmosphérique au cours des siècles passés (de Vries, 1958). Pour quantifier ces variations avec précision, il a fallu construire une courbe de correction ou courbe de calibration.

1.2. La courbe de calibration

L'établissement de cette courbe est le fruit d'une recherche internationale continue depuis la fin des années 1970. Des améliorations sont proposées régulièrement et ratifiées par vote de la communauté scientifique lors de conférences internationales. La dernière courbe de calibration a été publiée en 2020 (Reimer *et al.*, 2020).

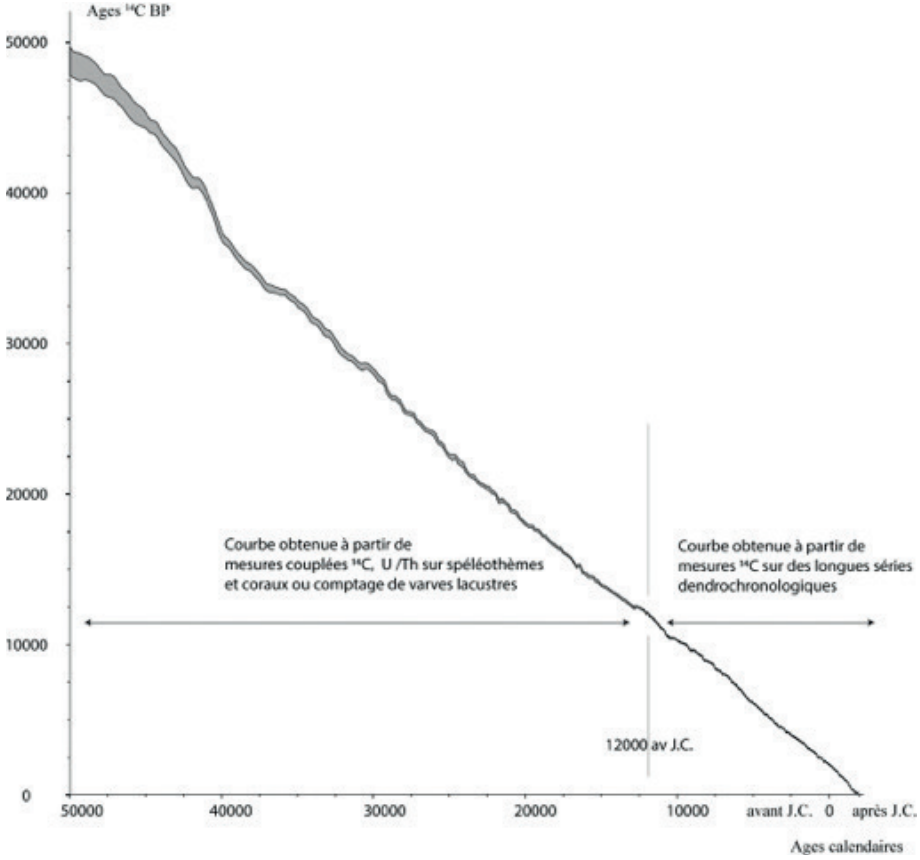


Figure 2 - La courbe de calibration IntCal20. DAO C. Oberlin et J.-C. Lefèvre, Centre de datation par le radiocarbone.

Cette courbe a été établie en croisant les résultats obtenus sur des échantillons datés par la méthode du carbone 14, d'une part, et par une autre méthode de datation.

La première partie de la courbe a été obtenue en mesurant la teneur en carbone 14 de cernes de croissance sur de longues séries dendrochronologiques. Dans un arbre vivant, seul le cerne de croissance de l'année présente une teneur en ^{14}C en équilibre avec l'atmosphère. On peut donc mesurer la teneur en ^{14}C de l'année sur ce cerne. La teneur ^{14}C de l'année N-1 sera mesurée sur le cerne de l'année N-1 et ainsi de suite jusqu'à la moelle de l'arbre qui reflétera la teneur en ^{14}C de l'année de sa formation. En mesurant les teneurs en carbone 14, pratiquement année par année, sur des longues séries dendrochronologiques, on a retracé les variations du carbone 14 au cours des derniers millénaires. On a pu ainsi établir la courbe de calibration jusqu'à 12 000 ans av. J.-C. environ (fig. 2).

Pour la partie la plus ancienne, il a fallu trouver d'autres échantillons pour évaluer les écarts entre les âges « carbone 14 » et les âges vrais pour étendre la calibration vers les périodes les plus anciennes. Deux méthodes ont pris le relais de la dendrochronologie : la méthode de l'Uranium-Thorium, en fournissant des datations sur coraux et sur spéléothèmes, et le dénombrement des varves dans les sédiments lacustres et marins. Pour cette dernière, il suffit de compter les varves ou lamines pour obtenir une échelle de temps en années réelles. En effet, il y a accumulation de sédiments sous forme de lamines annuelles dans les eaux profondes des lacs dépourvues de vie benthique. On mesure alors l'activité ^{14}C correspondante sur les macrorestes végétaux aériens contenus dans les varves. Pour la courbe Intcal20, des mesures sur des séries dendrochronologiques flottantes ont aussi été utilisées. Ces méthodes ont permis de couvrir la période jusqu'à 50 000 ans (fig. 2).

1.3. Résultat d'une mesure

Toute mesure physique est accompagnée d'une incertitude qui doit être prise en compte lorsqu'on procède à la calibration. Par convention internationale, on double la marge statistique de la date BP de manière à couvrir la quasi-totalité des probabilités.

Après calibration, on obtient un intervalle en années réelles plus ou moins étendu. Sa longueur va dépendre de deux facteurs : la précision de la mesure et la partie de la courbe de calibration considérée.

Pour le premier, on peut, dans certains cas, diminuer la marge statistique d'une datation carbone 14 en augmentant les temps de mesure. Dans la pratique, pour tenir compte des différentes sources d'erreurs possibles lors de la préparation et du comptage d'un échantillon, on ne descendra guère en dessous d'une marge de ± 30 BP pour des échantillons des périodes récentes.

Pour le deuxième, on constate qu'il existe des irrégularités plus ou moins marquées sur la courbe de calibration. Celles qui portent le plus à conséquence sont celles où le profil s'approche de l'horizontale, formant un « plateau » (périodes « défavorables »), le plus connu étant celui de l'âge du Fer.

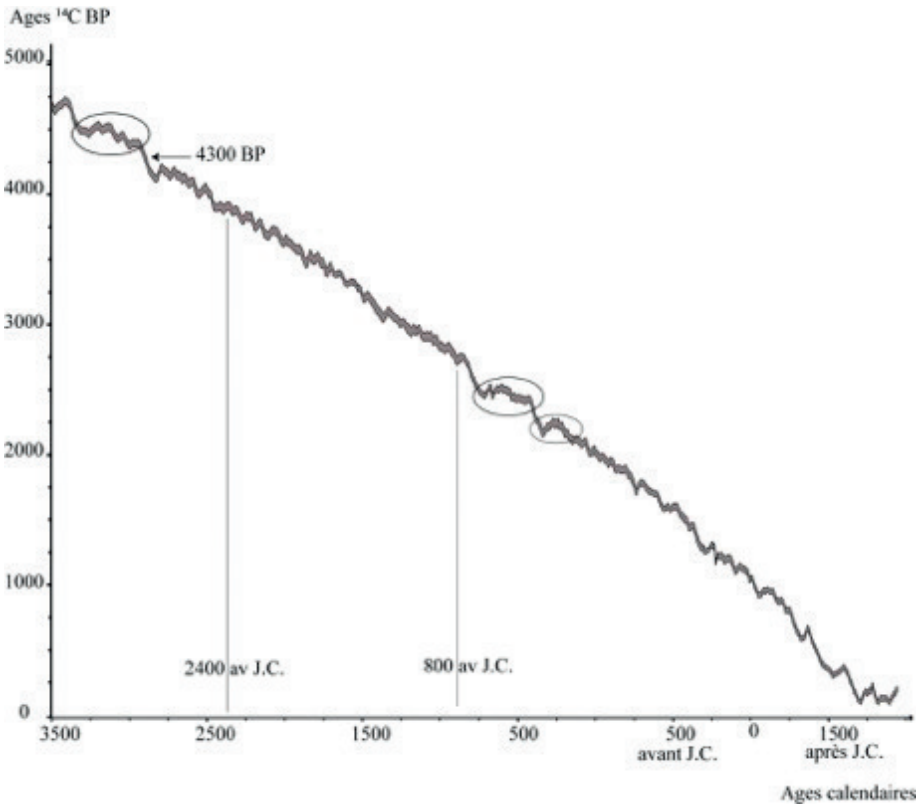


Figure 3 - Périodes favorables et périodes défavorables du Néolithique final jusqu'à l'âge du Fer (les périodes défavorables sont encerclées sur cette figure). DAO C. Oberlin et J.-C. Lefèvre, Centre de datation par le radiocarbone.

Pour ces périodes, même si la teneur en radiocarbone est mesurée avec une faible marge d'incertitude, la conversion de la date BP conduit à un intervalle en années réelles, qui malgré cette précision, n'en est pas pour autant réduit. En revanche, lorsque la courbe s'incline fortement, même si la marge statistique de la date BP est forte, le résultat en années réelles peut être considéré comme satisfaisant.

Ces dernières observations nous permettent de définir des périodes favorables et des périodes défavorables dans la courbe de calibration (fig. 3).

On retiendra comme particulièrement satisfaisantes les périodes entre 2400 et 800 av. J.-C., c'est-à-dire les périodes du Campaniforme et de l'âge du Bronze. Par contre, outre l'âge du Fer avec ses deux plateaux successifs, le Néolithique final ne peut pas être considéré comme une période favorable dans l'ensemble, même si la réduction de la marge statistique des mesures peut, dans certaines plages de temps très courtes (autour de 4300 BP par exemple), permettre une amélioration de la précision.

Il existe plusieurs logiciels permettant la calibration des dates : les plus connus et les plus utilisés sont les logiciels OxCal (https://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=oxcal.html) et CALIB Radiocarbon Calibration (http://calib.qub.ac.uk/calib/).

Mais il y a également CALIB (www.calpal-online.de) et Bcal (https:bcal.shef.ac.uk). Tous ces programmes statistiques sont gratuits et téléchargeables.

2. Les échantillons

Le carbone étant abondamment répandu dans la nature, on pourrait dater une très grande variété d'échantillons. Mais dans la pratique, il faut que trois conditions soient réunies pour que la datation d'un échantillon soit réalisable et significative :

– le carbone doit provenir exclusivement de la période de formation de la matière carbonée : c'est le cas de la plupart des matériaux datables issus des sites archéologiques, c'est-à-dire les charbons de bois, le bois, les graines, les os, les dents… Cette condition n'est pas remplie pour les échantillons carbonatés (coquilles, concrétions calcaires etc.) ;

– le carbone à dater doit pouvoir être facilement isolé. Il est donc crucial d'éliminer les éléments carbonés qui ont pu se déposer sur l'échantillon à dater après son enfouissement ;

– l'échantillon doit être représentatif de l'événement archéologique étudié : on ne date pas un échantillon, mais un événement archéologique par l'intermédiaire d'un échantillon carboné bien choisi.

2.1. Le traitement des échantillons

Du fait que l'on mesure la teneur en radiocarbone qui subsiste dans un échantillon, il faut s'assurer que l'on ne date que la matière carbonée originelle de l'échantillon et non des matières carbonées secondaires, déposées ultérieurement dans ou sur l'échantillon.

Les pollutions possibles sont innombrables. Certaines peuvent être éliminées directement sur le terrain comme la terre ou l'argile, les racines, les grosses radicelles, les croûtes calcaires. D'autres peuvent être évitées, comme les colles et les produits de consolidation, le vernis, le marquage des os à l'encre de Chine, l'enveloppement des échantillons humides dans du papier.

Les pollutions dues à la circulation et aux dépôts de matières carbonées secondaires, qu'elles soient minérales, à partir des bicarbonates des eaux de ruissellement ou de nappe, ou organiques, comme les matières humiques de décomposition des végétaux sont éliminées au laboratoire. Il faut garder à l'esprit que certaines pollutions peuvent être invisibles et non éliminables, notamment dans les très petits échantillons, comme, par exemple, des radicelles qui peuvent pousser dans les vaisseaux d'un bois.

La principale difficulté de la méthode réside donc dans l'élimination totale de toute contamination par du carbone étranger

qui fausserait l'âge de l'échantillon. Le rôle de la préparation au laboratoire est d'assurer la purification des échantillons : cette étape est primordiale car l'influence d'une pollution est d'autant plus importante que la différence d'âge entre le carbone de pollution et le carbone originel est grande.

Les traitements chimiques de purification, appliqués pour le nettoyage des matières végétales (bois, charbon de bois, tissu, graines…) dès les années 1960, se sont avérés efficaces.

Quant aux ossements, ils n'ont pas été utilisés lors des premières années d'application de la méthode du carbone 14. Pourtant, de nombreux chercheurs avaient tenté de mettre au point une méthode pour isoler la partie organique de l'os (May, 1955 ; Sinex et Paris, 1959 ; Berger *et al.*, 1964 ; Haynes, 1967).

Ce n'est qu'à partir des années 1970 que la mise au point de la méthode d'extraction du collagène osseux par R. Longin (Longin, 1971) a permis d'obtenir de très bonnes datations sur ce matériel, mais cette méthode avait aussi ses limites : obtenir suffisamment de collagène, et de bonne qualité, pour pouvoir faire une datation. Si le contexte géologique n'est pas trop acide, les ossements se conservent bien. Mais cette conservation peut varier en fonction de différents facteurs intervenant au cours de la période d'enfouissement comme les conditions climatiques, la nature et l'érosion des sols, la solubilisation par les eaux de ruissellement, l'activité enzymatique, l'activité bactérienne… La conservation peut varier aussi fortement entre des échantillons osseux d'un même site, voire même entre différentes parties d'un même os (Bocherens *et al.*, 2005).

L'os a été et est toujours l'un des matériaux le plus étudié en archéologie, car, en plus d'être représentatif de l'événement à dater, il peut fournir des informations sur les espèces animales présentes au cours de la période étudiée, sur l'alimentation… Même fragmentées, les pièces osseuses ont l'intérêt d'être beaucoup moins mobiles dans les sédiments que les charbons de bois. Mais l'os est aussi, par sa composition complexe, le matériel le plus délicat à préparer, car il peut être difficile de le prétraiter de façon efficace, surtout lorsque le collagène est mal conservé.

Avant l'arrivée de la spectrométrie de masse couplée à un accélérateur (SMA), il fallait quelquefois traiter d'importantes quantités d'ossements (jusqu'à quelques kilos) pour obtenir suffisamment de collagène pour la datation, quitte à les prélever sur une grande surface ou sur plusieurs unités stratigraphiques, ce qui posait la question de la représentativité de l'échantillon daté.

Dans les années 1980, la SMA a étendu le champ des possibilités de la méthode à des échantillons très petits (moins d'un gramme) et en particulier de permettre, dans certains cas, la datation des ossements dont la matière organique était peu conservée (Oberlin et Valladas, 2015) voire pas conservée comme dans les os calcinés (Lanting et Brindley, 2005). On trouve les ossements fossiles sous trois formes :

- l'os sain : la structure primitive peut être bien conservée, les parties médullaires sont vides tandis que les épiphyses demeurent assez tendres, les diaphyses constituant les parties les plus dures. C'est dans ces dernières que la matière organique (*i.e.* le collagène) est la mieux conservée ;
- l'os brûlé : chauffé à des températures relativement bassesW (200-300 °C), il a été pyrolysé par le feu. Il contient des matières grasses et des protéines carbonisées. Sa surface est de couleur variable, mais la matrice intérieure est noire, d'aspect charbonneux. Il convient de préciser que ces matières carbonisées proviennent de la combustion du carbone organique contenu à l'origine dans l'os frais et non des combustibles utilisés pour les incinérer ;
- l'os calciné : chauffé à des températures beaucoup plus élevées (supérieures à 600 °C), il ne contient plus de matériau carbonisé. Il est blanc, parfois légèrement bleuté, en surface comme à l'intérieur (fig. 4). Il n'y a plus du tout de collagène. La crémation entraîne des modifications de la bioapatite qui rend l'os calciné très résistant vis-à-vis de l'altération. Cette propriété va pouvoir être utilisée pour dater ce type d'échantillon par le radiocarbone.



Figure 4 - Nécropole de l'âge du Bronze de Bréviandes (Aube) : différents stades de combustion des os du défunt allant de la carbonisation (os noir) à la calcination (os blancs). Cliché I. Le Goff, Inrap Hauts-de-France.

3. L'apport de la datation par la bioapatite des os incinérés

Concernant plus particulièrement l'âge du Bronze, période majoritairement documentée par des tombes à crémation souvent dépourvues de mobilier archéologique, la possibilité, depuis maintenant une vingtaine d'années, d'effectuer des datations sur os incinérés à partir de la bioapatite a révolutionné le calage chronologique des sépultures qui restaient souvent non datées faute de collagène suffisant dans les ossements analysés.

La technique consiste à dater l'os incinéré, par la méthode du ^{14}C par AMS, en utilisant le carbonate contenu dans la partie minérale de l'os, appelé également bioapatite ou carbonate structural. 2 à 3 g sont suffisants, mais il faut que l'os ait été exposé à des températures supérieures à plus de 600 °C. À cette température, la bioapatite se cristallise, ce qui a pour conséquence que l'os se conserve bien, même dans les terrains acides.

Découvert par Jean-François Saliège (congrès international de Lyon en 1998) dans le cadre de datation d'ossements humains découverts en milieu désertique (Person *et al.*, 1998 ; Saliège *et al.*, 1998), cette méthode fut adaptée et développée pour dater les os incinérés par Jan Lanting au laboratoire de Groningen (Pays-Bas) en collaboration avec Johannes van der Plicht, qui la testa en datant, dans les mêmes tombes, des os incinérés et des charbons de bois afin de démontrer la fiabilité de la méthode (Lanting et Brindley, 1998 ; Lanting *et al.*, 2001). Ces travaux furent présentés au colloque sur l'âge du Bronze dans le nord de la France dans son contexte européen, en 2000, organisé dans le cadre du congrès du CTHS de Lille et l'article de Jan fut traduit en français (Lanting et Brindley, 2005) afin qu'il puisse avoir le meilleur impact possible vu le grand intérêt de cette nouvelle méthode qui permit d'établir un cadre chronologique aux sépultures à incinération de ces régions souvent dépourvues de mobilier archéologique. Aujourd'hui, de nombreuses équipes ont adopté cette méthode de datation qui peut évidemment être utilisée pour toutes les périodes, mais également pour tout type d'ossements, comme des restes osseux animaux calcinés (de couleur blanc bleuté) découverts dans une structure ou des rejets de foyer.

Le carbonate structural trouve son origine principalement dans les féculents et les graisses alimentaires, ce qui a l'intérêt d'avoir un effet réservoir limité et d'éviter ainsi le biais constaté quelques fois pour le collagène. En effet, l'origine du collagène est liée uniquement aux protéines de la nourriture et si l'alimentation est constituée en grande partie à base de poissons et de crustacés, on peut observer un vieillissement des dates. Jan Lanting est également connu pour avoir travaillé sur ce problème d'effet réservoir (Lanting et van der Plitch, 1998), notamment sur les datations des sépultures campaniformes.

Faisons ici une parenthèse pour expliquer ce qu'est l'effet réservoir : si le mélange du carbone 14 dans l'atmosphère est très rapide, les échanges à la surface des eaux (océans, lacs, rivières...) font que les bicarbonates dissous n'ont pas partout la même teneur en carbone 14. En comparant des datations faites sur un mollusque marin et sur une plante ayant vécu au même moment, on trouvera une différence d'âge. C'est ce qu'on appelle l'effet réservoir (de l'eau de mer dans l'exemple cité). Il est estimé à 400 ans en moyenne pour tous les organismes marins, mais n'est pas homogène partout. Il varie en fonction du milieu (eau douce, eau salée), de la profondeur, des courants… Cet effet entraîne un vieillissement des datations. La mesure du rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$ (delta ^{13}C ou $\delta^{13}C$) permet d'identifier l'origine terrestre ou marine des matériaux analysés. Les matières végétales atmosphériques ont des valeurs de $\delta^{13}C$ autour de -25 ‰ pour les charbons à -28 ‰ pour les bois, exception faite de certaines plantes telles que le millet ou le maïs qui ont des valeurs autour de -13 ‰. Les collagènes animaux et humains ont en général des valeurs de $\delta^{13}C$ autour de -20‰. Si le régime alimentaire contient beaucoup de produits issus du milieu marin, les valeurs seront moins négatives (-16 à -18 ‰). En cas de doute, il faut faire faire des analyses isotopiques par des spécialistes.

Guy de Mulder qui travaille depuis de nombreuses années sur le développement, l'amélioration et l'utilisation de cette méthode de datation avec Mark van Strydonck du laboratoire de radiocarbone de l'Institut royal du patrimoine artistique (KIRPA) à Bruxelles (Van Strydonck *et al.*, 2005) présente dans ce volume et dans le cadre du projet CRUMBEL, les autres intérêts de la bioapatite.

4. Échantillonnage et prélèvements

Les observations effectuées sur l'échantillonnage et le prélèvement concernent plus particulièrement les chantiers liés à l'archéologie préventive, du fait de ses contraintes de temps et de moyens face à la menace imminente de la disparition du site. En principe, c'est moins le cas en fouilles programmées, où justement on peut prendre son temps, multiplier et diversifier l'échantillonnage, attendre les résultats pour le cas échéant, compléter l'échantillonnage. Cependant, avec la possibilité pour l'archéologie programmée, de pouvoir bénéficier de grosses séries de dates *via* notamment le programme Artemis, il convient d'être également très attentif sur le choix des échantillons et leur condition de prélèvement.

Lors de cette journée thématique consacrée à la datation de l'âge du Bronze, plusieurs exemples présentés ont illustré des stratégies différentes, comme celle mise en œuvre en Champagne-Ardenne (voir Vanmoerkerke, *ce volume*) sur de nombreux sites en considérant chaque datation comme un élément statistique, un descripteur non interprétable individuellement, mais pouvant être utilisée à bon escient en l'insérant dans de grandes séries. À une tout autre échelle, on mentionnera l'exposé de Joël Vital (voir *ce volume*) pour la

grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme) montrant une stratégie appliquée à une stratigraphie sujet qui a été documenté notamment par plusieurs articles didactiques sur le site de la grotte du Gardon dans l'Ain et l'approche critique des dates (Voruz et Manen, 2005 ; Voruz et Perrin, 2009).

Dans le cadre d'une fouille préventive, il convient d'élaborer le plan d'échantillonnage après avoir évalué l'ensemble du site, une fois celui-ci décapé, de manière à repérer le plus tôt possible les structures à prélever en fonction de la problématique de la fouille déterminée dans le projet scientifique d'intervention et en prenant en compte les capacités financières de l'opération.

Quel que soit le type de fouille, il faut privilégier les ensembles clos, comprenant des matériaux présentant la meilleure fiabilité : matière dure animale (os, bois de cervidés, corne, ivoire, dent, etc.), charbons de bois, graine carbonisée, bois gorgé d'eau… en s'assurant qu'ils appartiennent bien à la structure échantillonnée et si possible associés à du mobilier archéologique potentiellement datant (céramique, lithique, métal).

Dans une structure livrant plusieurs échantillons potentiels (charbons de bois, graines, os…), il faut n'en choisir qu'un seul afin de ne pas créer une variabilité et qu'il soit le moins poreux possible. Il convient de privilégier les graines ou ossements plutôt que les charbons de bois afin d'éviter l'effet vieux bois. En cas de sélection d'un charbon de bois, il faut en faire réaliser l'étude anthracologique préalablement à la datation. Si un ossement est choisi, il faut prélever un fragment de diaphyse dont l'épaisseur permet de meilleurs résultats et éviter les ossements contenant beaucoup de matière spongieuse, qui sont de véritables pièges à pollutions.

Il est indispensable de prendre soin des échantillons prélevés (emballage, étiquetage, stockage) et d'être attentif aux risques de pollution sur le site et lors de toute la chaîne de traitement de l'échantillon. En effet, les sources de pollution potentielles de l'échantillon à prélever sont multiples (pollution chimique, radicelles, utilisation de colles, emballage des échantillons) et peuvent être atténuées lors de la préparation chimique des échantillons en laboratoire.

Les échantillons doivent être séchés avant d'être envoyés au laboratoire qui effectuera leur datation. Les types d'emballage les plus adaptés sont principalement les boîtes ou sachets en plastique. Il faut éviter de caler les échantillons avec du coton ou tout autre matériau contenant du carbone. Si les échantillons sont très fragiles, l'utilisation de papier aluminium permet de les protéger avant de les introduire dans une boîte ou un sachet.

5. Présentation des résultats

Pour la mention des datations radiocarbones, il convient en théorie de distinguer ce qui relève de la première publication d'une date jusque-là inédite et qui, dans certains cas, peut être importante pour notre discipline, de la mention de dates dans le corps d'un article ou d'un rapport, venant en soutien dans un exposé.

Par exemple, le comité de rédaction du *Bulletin de la Société préhistorique française*, dans ses consignes aux auteurs, encourage, pour toute publication princeps, l'application des recommandations proposées par A. Millard (Millard, 2014). Il est ainsi demandé d'indiquer :

- le code laboratoire ;
- la date BP et écart-type donnés par le laboratoire ;
- le type d'échantillon daté (le plus précisément possible) ;
- si possible : méthode de prétraitement appliquée (ultrafiltration, etc.), mesures de contrôle qualité (%C, C/N), valeur du ratio $^{12}C/^{13}C$ (= $\delta^{13}C$) ;
- la méthode de calibration : logiciel et courbe utilisés avec leurs références bibliographiques, éventuelles corrections (effet réservoir, etc.), résultat de la calibration, unité utilisée (cal. AD/BC, cal. BP ou cal. b2k) ;
- l'expression « calibration à 1 ou 2 sigma » ne doit pas s'appliquer. On lui préfèrera l'indication de la probabilité associée (par exemple 68,2 % pour 1 sigma). En cas de traitement statistique d'une série de résultats, mentionner le logiciel utilisé et si possible le modèle mathématique et les références bibliographiques auxquelles se référer. Ces informations pourront être présentées sous forme de tableau.

Pour notre part, avec la multiplication du nombre de dates sur de nombreux chantiers, nous incitons les collègues à utiliser dans leurs rapports et articles un tableau reprenant la plupart de ces éléments, associés à l'identification et la nature du site, de la structure et de l'échantillon et d'utiliser dans le texte, en citation d'une datation, la date BP avec son écart-type suivi de de la calibration avec la référence du logiciel utilisé : Ly-17333, 3200 +/- 30 BP soit 1526-1417 BC en probabilité maximale (OxCal, IntCal13).

On peut constater que les résultats sont souvent mal exprimés dans les rapports, mais également dans les publications : il faut exprimer les datations en probabilité maximale (à 2 sigma) même si c'est sur le plateau hallstattien et ne pas oublier que la datation ^{14}C reste une datation statistique.

6. Conclusion : constats et dérives

Un des avantages des commissions territoriales de la recherche archéologique (CTRA) est de pouvoir disposer d'un retour régulier et diversifié des pratiques des différents intervenants ; nous nous intéresserons ici plus particulièrement à celles des protohistoriens (Néolithique et âges des Métaux) qui utilisent fréquemment les datations ^{14}C et qui – en principe – de par leur formation sur ces périodes, ont des connaissances sur les différentes méthodes de datation, outils indispensables pour ces périodes.

Or, on peut constater régulièrement l'utilisation à outrance des analyses radiocarbones en archéologie préventive, notamment en contexte d'habitat pour dater des structures (fossés, trous de poteau et fosses) par l'analyse de charbons de bois isolés, retrouvés dans les comblements. La sélection des échantillons et la publication des résultats se font bien souvent sans une description et une analyse critique des matériaux datés et de leur contexte archéologique (primaire/secondaire). Quand les résultats sont aberrants, on les rejette ; quand ils conviennent, on les garde…

Pour éviter de trier les dates et donc, de rejeter toutes celles qui ne conviennent pas (dates anciennes avec une large marge statistique, dates non attendues…), il existe maintenant des logiciels de traitement bayésiens, accessibles facilement, qui permettent de construire des scénarios chronologiques en tenant compte de toutes les données de datation (voir Lanos, *ce volume*).

Il semble que nombre de collègues aient oublié qu'une datation radiocarbone (sans mobilier associé) n'indique pas la fréquentation du site pendant la période donnée par le résultat du datage… mais la datation de l'échantillon qui peut être intrusif, pré ou post-dépositionnel.

Il ne faut jamais privilégier les résultats des datations par radiocarbone par rapport à ceux des études typochronologiques du mobilier qui – même pour l'âge du Bronze – proposeront des dates souvent plus précises.



Christine Oberlin

Responsable du Centre de Datation par le Radiocarbone,
UMR 5138 ArAr
(CNRS, université Lyon 1 et université Lyon 2)
christine.oberlin@univ-lyon1.fr

Marc Talon

Conservateur régional de l'archéologie de
Bourgogne-Franche-Comté, UMR 8164 Halma
(CNRS, université de Lille et ministère de la Culture)
marc.talon@culture.gouv.fr

Bibliographie

Berger R., Horney A. G. et Libby W. F., 1964, « Radiocarbon dating of bone and shell from their organic components », *Science*, 144, 3621, p. 995-1001.

Bocherens H., Drucker D., Billiou D. et Moussa I., 2005, « Une nouvelle approche pour évaluer l'état de conservation de l'os et du collagène pour les mesures isotopiques (datation au radiocarbone, isotopes stables du carbone et de l'azote) », *L'Anthropologue*, 109, p. 557-567.

Haynes C. V., 1967, « Bone organic matter and radiocarbon dating », *International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria)*, Joint Commission on Applied Radioactivity of the International Council of Scientific Unions, Paris (France), p. 163-168.

Lanting J. N. et Brindley A. L., 1998, « Dating cremated bone: the dawn of a new era », *Journal of Irish Archaeology*, 9, p. 1-7.

Lanting J. N. et van der Plicht J., 1998, « Reservoir effects and apparent ^{14}C », *Journal of Irish Archaeology*, 9, p. 151-165.

Lanting J. N., Aerts-Bijma A. T. et van der Plicht J., 2001, « Dating of cremated bones », *Radiocarbon*, 43 (2A), p. 249-254.

Lanting J. N. et Brindley A. L., 2005, « La datation des ossements calcinés », dans Bourgeois J. et Talon M. (dir.), *L'âge du Bronze du nord de la France dans son contexte européen, actes du 125e congrès national des sociétés historiques et scientifiques de Lille*, Paris, CTHS, p. 35-41.

Libby W. F., 1952, *Radiocarbon dating*, Chicago, University of Chicago Press, 170 p.

Longin R., 1971, « New method of collagen extraction for radiocarbon dating », *Nature*, 230, p. 241-242.

May I., 1955, « Isolation of organic carbon from bones for ^{14}C dating », *Science*, 121, 3145, p. 508-509.

Millard A., 2014, « Conventions for reporting radiocarbon, determinations », *Radiocarbon*, 56, 2, p. 555-559 [http://dx.doi.org/10.2458/56.17455].

Oberlin C. et Valladas H., 2015, « Datation par le radiocarbone de la fraction organique de l'os », dans Balasse M., Brugal J.-P., Dauphin Y., Geigl E.-M., Oberlin C. et Reiche I. (éd.), *Message d'os. Archéométrie du squelette animal et humain*, Paris, Éditions des archives contemporaines (Sciences Archéologiques), p. 287-306.

Person A., Saliège J.-F., Gérard M. et Paris F., 1998, « Utilisation d'un indice caractéristique de la diagenèse de la fraction minérale d'ossements archéologiques en milieu désertique pour discuter de la fiabilité de ces matériaux comme support de datation par le radiocarbone, application à deux nécropoles néolithiques de l'Aïr (Niger) », *Pré-actes du 3e congrès international ^{14}C et archéologie*, Lyon, p. 77-78.

Reimer P. J. , Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon E. M., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. et Talamo S., 2020, « The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP) », *Radiocarbon*, 62(4), p. 725-757.

Saliège J.-F., Person A. et Paris F., 1998, « Datation du carbonate-hydroxylapatite d'ossements Holocène du Sahel (Mali, Mauritanie, Niger) », *Pré-actes du 3e congrès international ^{14}C et archéologie*, Lyon, p. 172-173.

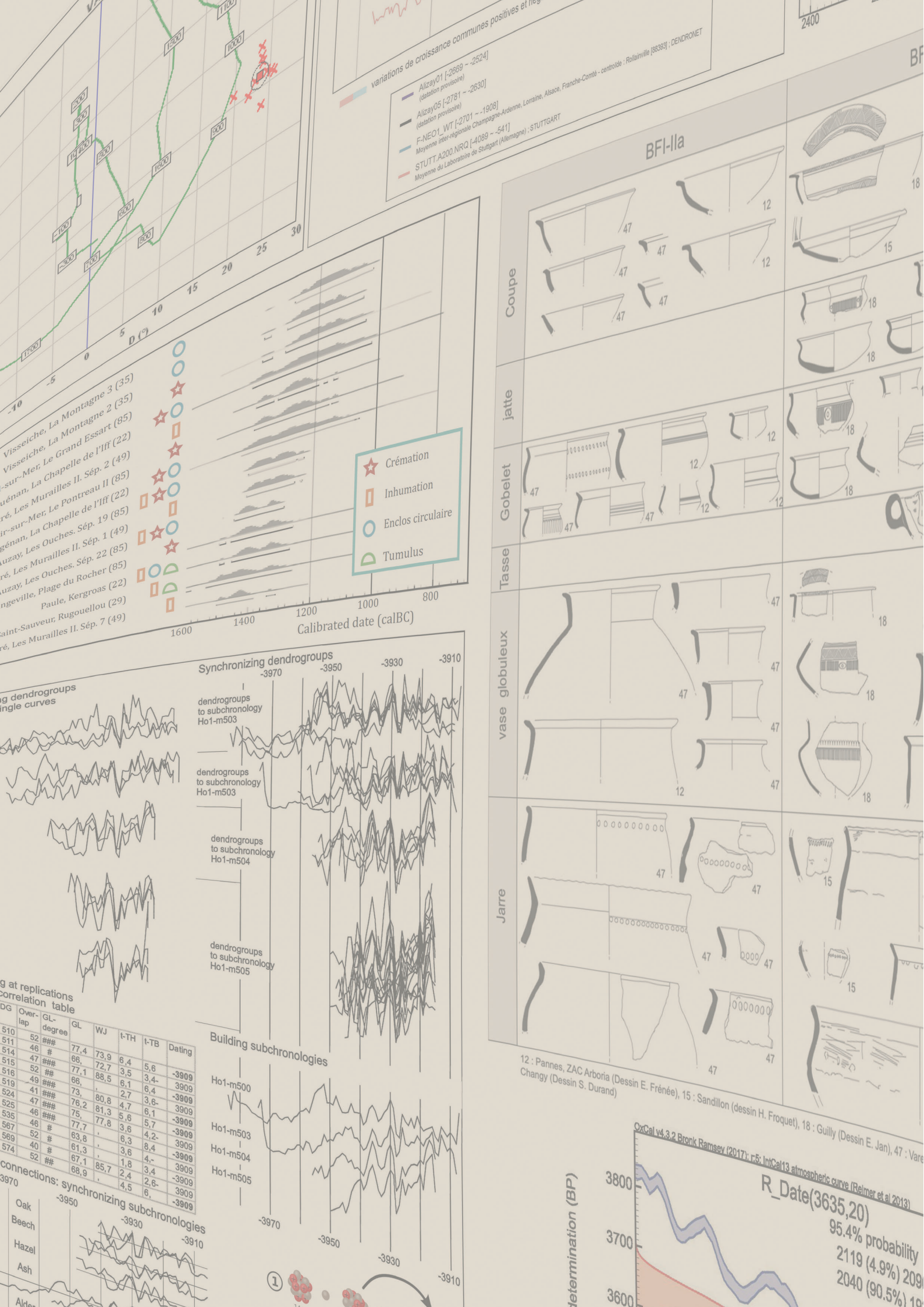
Sinex F. M. et Paris B., 1959, « Isolation of gelatine from ancient bones », *Science*, 129, 3354, p. 969.

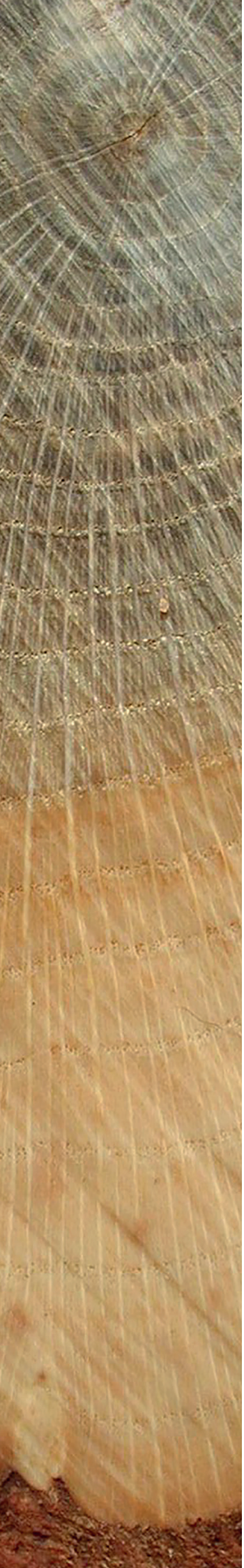
van Strydonck M., Boudin M., Hoefkens M. et de Mulder G., 2005, « ^{14}C dating of cremated bones, why does it work? », *Lunula Archaeologia Protohistorica*, XIII, p. 3-10.

Voruz J. L. et Manen C., 2005, « Le cas de la grotte du Gardon (Ain). Le carbone 14 et ses apports à l'archéologie », *Dossiers d'Archéologie*, 306, p. 38-43.

Voruz J. L. et Perrin P., 2009, « Chronologie absolue », dans Voruz J. L. (dir.), *La grotte du Gardon (Ain)*, vol. I : *Le site et la séquence néolithique des couches 60 à 47*, Toulouse, Archives d'Écologie Préhistorique, p. 113-126.

de Vries H., 1958, « Variations in concentration of radiocarbon with time and location on earth », *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen*, Series B, 61, p. 94-102.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



La datation radiocarbone sur coquilles de mollusques terrestres : quelles limites et quels usages ?

Salomé Granai et Quentin Wackenheim

Résumé

En contexte archéologique, les datations radiocarbones sur coquilles de mollusques terrestres ont longtemps été évitées, car considérées comme peu fiables. En effet, les essais réalisés dès les années 1960 se sont principalement concentrés sur de grandes coquilles collectées à vue sur le terrain. Des âges souvent beaucoup plus anciens qu'attendus ont été obtenus sur ces coquilles et interprétés comme résultant de l'ingestion de carbonates de calcium appauvris en ^{14}C par les mollusques. Ces échecs successifs ont progressivement conduit à imposer l'idée que les coquilles de mollusques terrestres ne constituaient pas un support fiable de datation. Ces dernières années, des recherches ont été conduites sur des espèces terrestres plus petites, de l'ordre de quelques millimètres, à la fois en contexte actuel et en contexte fossile. Des âges corrects ou, dans le pire des cas, vieillis de seulement quelques siècles, ont été obtenus sur ces petites coquilles. Si la datation des coquilles de gastéropodes terrestres par le radiocarbone semble appropriée pour le Pléistocène, les marges d'erreur potentielles étant acceptables à cette échelle de temps, une plus grande précaution est de mise lorsqu'il s'agit de dater des dépôts holocènes. La datation sur coquilles doit d'abord reposer sur l'expertise du malacologue quaternariste. Il est le plus à même, d'une part, de sélectionner le matériel à dater en fonction de l'alimentation et du comportement des espèces et, d'autre part, de discuter de la validité des résultats.

Mots-clés

mollusques, radiocarbone, Pléistocène, Holocène

Abstract

The radiocarbon dating of the shells of continental molluscs is considered as being unreliable as the trials conducted in the 1960s used large shells collected from the surface of excavations. The results were often much older than expected and were interpreted as the result of the ingestion of "old carbon". These repeated failures have led to analyses no longer being carried on shells. In the last few years, research has focused on smaller terrestrial species, only several millimetres in size, from contemporary and fossil contexts. The small shells have produced exact dates or at least only aged by a couple of centuries. However, it seems that diagenetic phenomena have a negative effect on results, as even if the dating of terrestrial gastropods seems appropriate for the Pleistocene with a potential margin of error being allowable for this timescale, the dating of Holocene deposits is more problematic. Our experience shows that quaternary malacologists play an important role in the dating of shells providing expertise, choosing samples and discussing the results, which could lead to the success or failure of an analysis. However, this dating method is not recommended for Bronze Age samples as they do not yet provide the necessary precision.

Keywords

molluscs, radiocarbon, Pleistocene, Holocene

En archéologie, comme dans l'étude des paléoenvironnements, la question de la chronologie est cruciale, à l'échelle du site lui-même, pour reconstituer des successions de phases et d'événements et, dès lors qu'il s'agit de comparer des sites, afin d'établir des corrélations ou des diachronies. Si la périodisation des sites s'appuie, en premier lieu, sur des séquences typologiques propres aux objets, et parfois sur des formes immobilières (architecture des maisons, rites funéraires), les méthodes de datation absolue constituent un renfort indéniable puisqu'elles permettent, quel que soit leur degré de précision, de fixer un âge calendaire à ces modèles typologiques (Evin, 1994).

La méthode de datation absolue la plus communément utilisée pour les cinquante derniers millénaires est aujourd'hui la datation par le ^{14}C (Fontugne, 2004). En effet, il est plutôt facile de trouver du matériel datable, comme des charbons, des graines ou encore des ossements, en comparaison avec les autres méthodes, comme la dendrochronologie, aux résultats plus précis, mais nécessitant la préservation de restes d'arbres. Cependant, les datations par le radiocarbone sont parfois en inadéquation avec les autres indicateurs chronologiques présents. Un âge plus vieux ou plus jeune qu'attendu doit alors être discuté pour évaluer les processus à l'origine de ce décalage. Parmi les biais rencontrés, pour les charbons, par exemple, la sélection de restes anthracologiques provenant du cœur de l'arbre plutôt que de son dernier cycle de vie vieillira le résultat ainsi qu'une datation effectuée sur des microcharbons issus d'un dépôt ancien remanié lors d'une phase de remobilisation des sédiments. Face à des résultats plus jeunes qu'attendu, une contamination des dépôts par des éléments plus récents, résultant par exemple de déplacements verticaux liés à l'activité biologique, est communément envisagée.

La datation par le ^{14}C est également émaillée de difficultés internes à la méthode du fait de plateaux dans la courbe de calibration dont l'effet est de renvoyer le même âge calibré pour tous les âges BP de l'intervalle concerné par le plateau. Des périodes défavorables, comme l'âge du Fer hallstattien et son plateau couvrant plus de trois siècles, soit l'étendue globale de la période, sont bien connues des archéologues (Fontugne, 2002). En vérité, plus une période archéologique est courte, puisque bien définie sur le plan typologique par les archéologues, plus il est difficile d'être satisfait par les âges radiocarbones calibrés. Pour l'âge du Bronze, s'étendant sur environ 1 400 ans, entre 2200 cal BC et 800 cal BC, les datations radiocarbones sont souvent comprises dans une fourchette de temps de près de 200 ans, ce qui, à l'échelle de cette période archéologique, est relativement imprécis.

Dans ce contexte où les âges radiocarbones sont au mieux imprécis quand ils ne sont pas douteux, vient s'ajouter parfois la question de la fiabilité du matériel daté. Dans cet article, nous nous intéressons justement à un matériau qui pose question quant à sa validité pour les datations, à savoir les coquilles de mollusques continentaux. Dans ce volume consacré à la chronologie de l'âge du Bronze, notre article dépasse le cadre temporel de cette ère culturelle puisque les questions relatives à la validité des datations sur coquilles ne sont pas spécifiques à cette période.

Des tentatives de datation sur des coquilles aquatiques ont été pratiquées dès les origines de la méthode de datation par le ^{14}C (Broecker et Walton, 1959 ; Keith et Anderson, 1963). Elles ont mis en évidence une incidence des carbonates présents dans l'eau sur le signal isotopique des coquilles. L'enrichissement en carbone mort ou ancien de l'eau implique un effet réservoir sur les coquilles qui est différent dans chaque bassin hydrographique et pour chaque espèce (Brennan et Quade, 1997 ; Zhou *et al.*, 1999 ; Lev *et al.*, 2007 ; Webb *et al.*, 2007).

Si les coquilles de mollusques terrestres ne sont pas exemptes de biais pour la datation au ^{14}C, ce matériel est souvent, dans certains contextes comme les lœss et les tufs, le seul matériel à disposition pour tenter une datation. Une littérature abondante existe en anglais pour illustrer les difficultés inhérentes à ce matériau pour la datation par le ^{14}C et une synthèse a été récemment produite (Douka, 2017). Cependant, un bilan de l'état de la question fait défaut en français, nous tâcherons ici d'y remédier et, surtout, d'en fournir une lecture critique. Le principal biais, concernant l'ingestion de carbone mort ou ancien par les mollusques de leur vivant, sera discuté ainsi qu'un autre biais récurrent, constitué par la présence de minéraux secondaires sur les coquilles. Les biais pouvant découler d'une position secondaire des assemblages malacologiques (Limondin-Lozouet et Moine, 2014) ne seront pas abordés dans cet article, ou succinctement, dans les éléments de réflexion et de méthodologie que nous apporterons sous forme de recommandations devant guider toute aspiration de datation sur coquilles de mollusques terrestres.

1. De nombreux biais, mais des scientifiques opiniâtres

1.1. Un biais de vieillissement important sur de grosses coquilles

Les coquilles de mollusques terrestres sont datables puisqu'elles sont constituées d'aragonite et non de calcite. Les mollusques terrestres peuvent puiser le carbonate de calcium nécessaire à la formation de leur coquille de leur alimentation, de leur respiration et de leur hydratation (Heller et Margaritz, 1983 ; Fournié et Chétail, 1984 ; Metref *et al.*, 2003). Un schéma complet et mis à jour sur l'écologie du carbone et sur les différentes sources possibles qui amènent à son absorption par les mollusques terrestres est disponible dans Hill *et al.* (2017).

L'alimentation constitue la source principale en carbonate de calcium. Il est principalement ingéré au travers de la végétation (McConnaughey et Gillikin, 2008), qui sert de nourriture, mais également au travers du sédiment du sol et de pierres

en surface (Frick, 1965 ; Crowell, 1973). Le carbone contenu dans l'alimentation végétale est en équilibre avec le carbone atmosphérique. En revanche, le carbone absorbé depuis une matière minérale ou à partir du sol présente des valeurs isotopiques appauvries, voire nulles, en fonction de l'âge du matériau ingéré. Pour dater une coquille de mollusque terrestre par le ^{14}C, cette ingestion de carbone mort ou ancien (ci-après « vieux carbone ») a une incidence importante puisque la teneur en ^{14}C résiduel d'un organisme permet d'estimer son âge au regard du cycle de demi-vie du ^{14}C. Or, si le mollusque a ingéré du « vieux carbone » de son vivant, la mesure du ^{14}C résiduel de sa coquille se trouvera appauvrie et l'âge donné par la méthode de datation au radiocarbone sera vieilli.

Dès les origines de la méthode de datation par le radiocarbone, de sérieux doutes ont été émis quant à la validité des âges sur coquilles de mollusques terrestres en lien avec ce problème de l'ingestion de « vieux carbone ». Leighton (1960) questionne ainsi sur ce critère la périodisation du Wisconsinien (*i.e.* la dernière période glaciaire en Amérique du Nord) établie par Frye et Willman (1960) à partir d'âges sur coquilles de mollusques terrestres. Rubin *et al.* (1963) mettent alors au point une expérimentation pour quantifier ce phénomène de vieillissement. Ils fournissent une source de carbone mort à des mollusques vivants dont ils ont brisé une partie de la coquille. Ils constatent que les mollusques ont utilisé cette source pour « réparer » leur coquille et que ces spécimens ont ensuite fourni des âges radiocarbones vieillis d'environ un millénaire. Pour tenter d'apprécier l'amplitude du biais de vieillissement possible, des analyses ont été pratiquées sur les coquilles de faunes modernes par Goodfriend en Jamaïque (Goodfriend et Hood, 1983 ; Goodfriend et Stipp, 1983), en Israël et en Cisjordanie (Goodfriend, 1987) et au Texas (Goodfriend *et al.*, 1999). Un vieillissement des âges attendus pouvant aller jusqu'à 3100 BP a été constaté et une contribution maximale de « vieux carbone » comprise entre 30 et 40 % dans la construction de la coquille a été estimée.

La mesure du δ13C des coquilles a longtemps été la piste privilégiée pour tenter de quantifier l'apport de « vieux carbone » et ainsi modéliser son influence sur les mesures radiocarbones (*e.g.* Tamers, 1970 ; Evin *et al.*, 1980 ; Yates 1986a). Cependant, ces recherches ont notamment révélé que des variations du δ13C pouvaient être enregistrées sur la coquille d'un même individu (Yates *et al.*, 2002). En datant plusieurs parties de la même coquille, un biais de vieillissement différent a ainsi été observé entre le sommet de la coquille, formé au début du cycle de vie du mollusque, et son ouverture, correspondant au dernier cycle de vie de l'animal (Goodfriend *et al.*, 1999). Alors que les mollusques vivent, au mieux, de l'ordre d'une dizaine d'années seulement, un écart d'âge pouvant aller jusqu'à 1200 BP a pu être observé entre le sommet et l'ouverture des coquilles. Pour l'espèce *Helix pomatia*, ces variations ont été mises en relation avec des changements dans l'habitat et la source d'alimentation de l'espèce au cours de sa vie (Yates *et al.*, 2002).

En Chine, le biais de vieillissement observé sur des mollusques vivants des genres *Bradybaena* et *Cathaica* apparaît également fortement dépendant de l'habitat et des mœurs des taxons testés (Xu *et al.*, 2011). Les *Bradybaena*, vivant sur le sol, ont livré des âges moins vieillis que les *Cathaica* dans leur ensemble. Au sein de ce groupe taxonomique, les *Cathaica* vivant dans l'herbe ont livré des âges moins vieillis que les *Cathaica* vivant sur des troncs d'arbre. Ces résultats suggèrent que les *Cathaica* vivant sur les troncs, dans un environnement dépourvu de carbone inorganique, viennent puiser au sol du calcium de sources sédimentaires. C'est ainsi que ces mollusques finissent par contenir plus de « vieux carbone » que leurs congénères vivant dans l'herbe, au contact physique plus récurrent avec le sol, mais avec une source d'alimentation végétale qui leur fournit plus de carbone, limitant leur besoin de s'approvisionner à une source minérale.

En réalité, il apparaît donc que la quantité de « vieux carbone » ingérée n'est pas prédictible, variant selon les espèces, mais, surtout, pour une même espèce, entre individus, en fonction des sources de carbone disponibles par l'alimentation dans l'environnement immédiat et, pour un même individu, en fonction de caractères ontogéniques, liés au développement biologique de l'individu depuis sa conception jusqu'à l'âge adulte.

1.2. Des expérimentations prometteuses sur les petites coquilles

En contexte actuel comme en contexte archéologique, les expérimentations conduites concernaient presque exclusivement des espèces de taille centimétrique à pluricentrimétrique. Sur le continent américain, il s'agissait de spécimens des genres *Bulimulus*, *Strophucheilus*, *Orthalicus*, *Rabdotus* ou encore *Eutrochatella*, absentes de nos régions. En Europe, il s'agissait principalement de spécimens des espèces *Cepaea nemoralis*, *Cepaea hortensis, Arianta arbustorum*, *Helix pomatia* et *Pomatias elegans* (Burleigh et Kerney, 1982 ; Yates, 1986a). La sélection de grosses coquilles résultait de la facilité de leur collecte à vue sur le terrain et permettait la datation d'un seul spécimen. De fait, seules ces espèces pouvaient fournir une quantité de carbone suffisante sur un spécimen unique, dans la mesure où les mesures d'âge effectuées alors ne bénéficiaient pas toutes encore des avancées qu'a ensuite permises l'essor de l'usage de la spectrométrie de masse par accélérateur. Plus récemment, des tentatives sur des espèces centimétriques ont encore été pratiquées, notamment en Italie où des âges sur spécimens modernes (Romaniello *et al.*, 2008) et fossiles (Quarta *et al.*, 2007) de *Cernuella virgata* et *Theba pisana* ont abouti aux mêmes problèmes que dans la littérature ancienne, c'est-à-dire à un biais de vieillissement aléatoire, non corrigible, des âges attendus.

D'après nos recherches, Evin *et al.* (1980) apparaissent comme pionniers dans la datation sur des espèces de taille plus réduite avec des mesures d'âge sur *Columella columella*

à Achenheim (Bas-Rhin) et sur *Pupilla muscorum* à Pompertuzat (Haute-Garonne). La taille de ces espèces (moins de 2 mm) suppose que plusieurs spécimens aient été envoyés au laboratoire de datation. Les analyses malacologiques réalisées par Puisségur (1976) sur ces sites pléistocènes ont facilité la sélection du matériel à dater après examen à la loupe binoculaire. Il s'agit ici de la première collaboration en France entre géochronologue et malacologue quaternariste.

Brennan et Quade (1997) sont les premiers à avoir entrepris un effort de datation tourné exclusivement sur des espèces aux coquilles de taille inférieure à 2 mm. Des coquilles fossiles des genres *Vertigo*, *Vallonia* et *Pupilla* ont été datées en parallèle de macrorestes végétaux carbonisés issus des mêmes contextes sédimentaires. Des mesures radiocarbones comparables ont été obtenues entre les restes végétaux et les coquilles de *Vallonia*.

Dans la lignée de cette étude pionnière, Pigati *et al.* (2004, 2010, 2013, 2015) ont élargi les investigations sur plusieurs petites espèces terrestres, en particulier sur des genres fréquents en France : *Pupilla*, *Cochlicopa*, *Vertigo*, *Punctum*, *Euconulus*, *Discus*, *Columella*, *Nesovitrea*, *Zonitoides*, *Quickella*, *Succinella* et *Oxyloma*. Sur des spécimens modernes, la moitié des espèces testées ne présentaient pas de vieillissement des âges radiocarbones sur leur coquille (Pigati *et al.*, 2010). Pour l'autre moitié, la plupart des espèces présentaient un vieillissement de quelques siècles et, rapportées au nombre d'individus testés par espèce, 78 % des coquilles ne présentaient aucune source d'erreur.

Le risque plus limité d'un biais de vieillissement des âges radiocarbones observé sur les petites coquilles a surtout été démontré dans les contextes lœssiques. Aussi, la pratique de datations au ^{14}C a-t-elle été surtout utilisée, depuis, dans les séries de lœss pléistocènes, en particulier dans le Wisconsin (Rech *et al.*, 2012), en Alaska (Pigati *et al.*, 2013), dans la vallée du Mississippi (Pigati *et al.*, 2015) et en Hongrie (Újvári *et al.*, 2016 ; Molnár *et al.*, 2019). Si à l'échelle de temps de ces puissantes séries sédimentaires, des écarts potentiels de quelques siècles dans le *terminus postquem* d'un dépôt peuvent paraître peu préjudiciables, ces écarts restent importants s'il s'agit de dater des variations climatiques millénaires internes à ces dépôts.

1.3. La présence de minéraux secondaires, un autre biais récurrent

Si les expérimentations menées sur les coquilles modernes et fossiles en contexte lœssique ont permis de démontrer le réel potentiel de la datation au radiocarbone sur ce type de matériel, ces expérimentations ont surtout servi à évaluer les conséquences de l'ingestion de « vieux carbone » sur la mesure du ^{14}C résiduel des coquilles. Or, d'autres biais peuvent induire des résultats plus vieux ou plus jeunes qu'attendu, en particulier la présence de minéraux secondaires.

L'encroûtement des coquilles par des minéraux secondaires est une source de biais potentiel qui peut engendrer un biais de vieillissement ou de rajeunissement en fonction de la source des cristaux néoformés sur la coquille. Dans le cas des tufs, si les coquilles sont encroûtées par ce matériau après la mort de l'escargot, des âges plus vieux qu'attendu peuvent alors être obtenus s'il demeure des restes de cette minéralisation secondaire sur la coquille envoyée pour datation, une source minérale appauvrie en carbone venant parasiter la mesure du taux de ^{14}C résiduel. Un examen des coquilles envoyées pour datation à fort grossissement (× 50) à la loupe binoculaire n'est pas toujours suffisant pour identifier ce type de dépôt.

Yates (1986b) a estimé qu'une contamination par des minéraux secondaires récents (d'avant la bombe atomique) à hauteur de 5 % de la masse de la coquille pouvait générer un rajeunissement d'environ 1000 BP sur un échantillon de 10 000 BP, et d'environ 17 000 BP sur un échantillon de 40 000 BP. Plus récemment, des coquilles de taxons considérés peu impactés par les problèmes de l'ingestion de « vieux carbone » par Pigati *et al.* (2010) ont été sélectionnées dans des niveaux géologiques de plusieurs centaines de milliers d'années dans le Midwest américain afin de tester le biais de rajeunissement pouvant être induit par la contamination des coquilles par des minéraux secondaires plus jeunes, enrichis en ^{14}C (Rech *et al.*, 2011).

En mesurant l'activité du ^{14}C contenu dans ces échantillons, des résultats centrés autour de la limite de la méthode, fixée à 50 000 BP, devaient être obtenus. Si huit des dix mesures tests ont effectivement livré des âges centrés autour de cette limite, deux des mesures livrèrent des résultats plus jeunes, compris entre 36 000 et 32 000 BP. Les analyses de caractérisation minéralogique, par la DRX, et géochimiques, par la recherche d'éléments traces, sont apparues insuffisantes pour identifier la présence de minéraux secondaires, que seul le microscope électronique à balayage (MEB) a permis de détecter. Des minéraux secondaires de 2 à 15 µm ont été décelés au MEB et la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie a ensuite été utilisée pour caractériser chimiquement ces minéraux.

Pour limiter d'éventuels biais dans les mesures d'âge qui soient corrélatifs de la présence de minéraux secondaires, un nettoyage et un examen minutieux du matériel à dater sont donc nécessaires.

2. Dater des dépôts holocènes : des tentatives récentes plus ou moins encourageantes

2.1. Des résultats prometteurs sur un tuf de versant holocène

Les expérimentations effectuées dans les lœss pléistocènes avaient pour but de fournir un matériel datable pour ces séries aux restes organiques généralement absents et aux vestiges archéologiques dont les occurrences sont ponctuelles dans ces épaisses couvertures sédimentaires. Concernant l'Holocène, l'essentiel des expérimentations avait été

conduit sur des coquilles de grande taille, aujourd'hui largement discréditées (Tamers, 1970 ; Evin *et al.*, 1980 ; Burleigh et Kerney, 1982 ; Yates *et al.*, 2002 ; Romaniello *et al.*, 2008).

Au regard des résultats encourageants obtenus sur les lœss, nous avons entrepris de tester la validité des âges sur coquilles dans d'autres types d'archives sédimentaires, en particulier sur les tufs. Ces dépôts carbonatés peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur lorsqu'ils sont développés sur les versants, en connexion avec une source perchée. Or, dans ces séquences, les mollusques constituent souvent le seul indicateur biologique préservé en continu, les restes organiques ne jouissant pas de conditions de conservation optimale dans ces dépôts.

À Direndall, sur la commune de Lorentzweiler (Luxembourg), une succession sédimentaire de près de 9 m de tuf a été mise au jour. En l'absence d'archéologie pour établir une chronologie relative et de matériaux tels que graines, charbons ou tourbes sur l'essentiel de la séquence, les coquilles de mollusques étaient le seul indicateur sur lequel des datations absolues pouvaient être pratiquées (Granai *et al.*, 2020a). Dans le but de contrôler d'éventuelles sources d'erreur, plusieurs taxons ont été sélectionnés pour datation (*Discus rotundatus*, *Carychium tridentatum* et *Vallonia costata*). Cette diversité taxonomique était recherchée pour s'abstraire d'un éventuel biais de vieillissement imputable à la tendance à l'ingestion de « vieux carbone » par une espèce en particulier. En outre, les datations ont parfois concerné des coquilles issues de niveaux très proches en altimétrie sur le profil stratigraphique (fig. 1). Aucune inversion d'âges n'a été observée et les âges obtenus sont apparus en bon accord avec les hypothèses d'attribution chronoclimatique formulées sur la base de l'analyse des assemblages malacologiques et de leur discussion avec les référentiels paléobotaniques régionaux (Granai *et al.*, 2020a).

Bien que les résultats encourageants obtenus à Direndall restent sujets à caution à défaut d'être contrôlés par un autre indicateur chronologique, les tufs de versant semblent un contexte sédimentaire particulièrement favorable pour l'obtention d'âges satisfaisants sur coquilles de mollusques terrestres. En effet, ces dépôts carbonatés se mettent préférentiellement en place dans les environnements forestiers, comme reconstitués par la malacologie à Direndall (Granai *et al.*, 2020a). Dans ces environnements, les mollusques terrestres ont à disposition suffisamment de carbone par leur alimentation végétale pour ne pas avoir à chercher une source complémentaire de calcium pour construire leur coquille. De plus, les formations forestières constituent des contextes où l'érosion ne peut que très rarement dénuder les sols ou laisser apparaître des éléments calcaires, susceptibles de représenter une source de carbonate de calcium pour les escargots.

Dans cette série tufeuse, un encroûtement des coquilles était observé sur certains spécimens. Des coquilles sans encroûtement visible en surface ont été sélectionnées par un contrôle minutieux à fort grossissement à la loupe binoculaire. La puissance du dépôt de tufs et la rapidité de l'accumulation sédimentaire sur cette séquence ont certainement limité les processus diagénétiques en fournissant un environnement clos sur le plan physico-chimique, sans que des minéralisations secondaires puissent s'opérer après la mort des mollusques.

2.2. Des résultats mitigés sur une succession de limon, de tourbe et de tuf dans un paléochenal

Encouragés par les résultats prometteurs obtenus sur les tufs de versant, des datations radiocarbones sur coquilles de mollusques terrestres ont été effectuées à Passel « Le Vivier », dans l'Oise. Sur ce site, les datations sur coquilles ont été réalisées à titre expérimental au sein d'une approche intégrée. La séquence étudiée consistait en une accumulation sédimentaire naturelle comblant la berge d'un paléochenal où alternaient limons, tourbes et tufs (fig. 2). Trois des mesures sur coquilles ont été doublées par des mesures sur des microcharbons non déterminés sur le plan taxonomique.

Les âges obtenus à la base de la séquence, dans des limons argileux, se sont révélés cohérents sur les deux matériaux. Dans les tufs des unités supérieures, des âges environ 800 BP plus vieux que sur charbons ont été obtenus sur coquilles. La position des vestiges archéologiques sur les séquences adjacentes et des éléments de biostratigraphie ont permis de discréditer les mesures d'âge sur coquilles et de considérer comme fiables les mesures d'âge sur charbons (Granai *et al.*, 2020b).

En supposant que les coquilles soient en position primaire, ce que les éléments de biostratigraphie nous permettent d'assurer (Granai *et al.*, 2020b), le biais de vieillissement peut s'expliquer de deux manières : 1) soit des minéraux secondaires ont échappé au contrôle du malacologue ; 2) soit les mollusques ont puisé une partie du calcium dont ils avaient besoin du sol carbonaté constitué par les tufs. Cette dernière hypothèse nous semble peu probable au regard du dense couvert végétal reconstitué sur ce site par l'assemblage malacologique et les mœurs des espèces datées, *Discus rotundatus* et *Carychium tridentatum*. Ces deux taxons, qui vivent principalement sur de la végétation ou du bois mort, ont à disposition assez de carbonate de calcium dans leur alimentation végétale au sol pour chercher une source complémentaire dans les sédiments. La première hypothèse nous semble donc plus probable. Les coquilles avaient pourtant été nettoyées au préalable aux ultra-sons et à l'eau déminéralisée puis observées à fort grossissement (× 50) à la loupe binoculaire pour parer ce type de biais, mais l'intérieur des coquilles n'avait pas pu être observé.

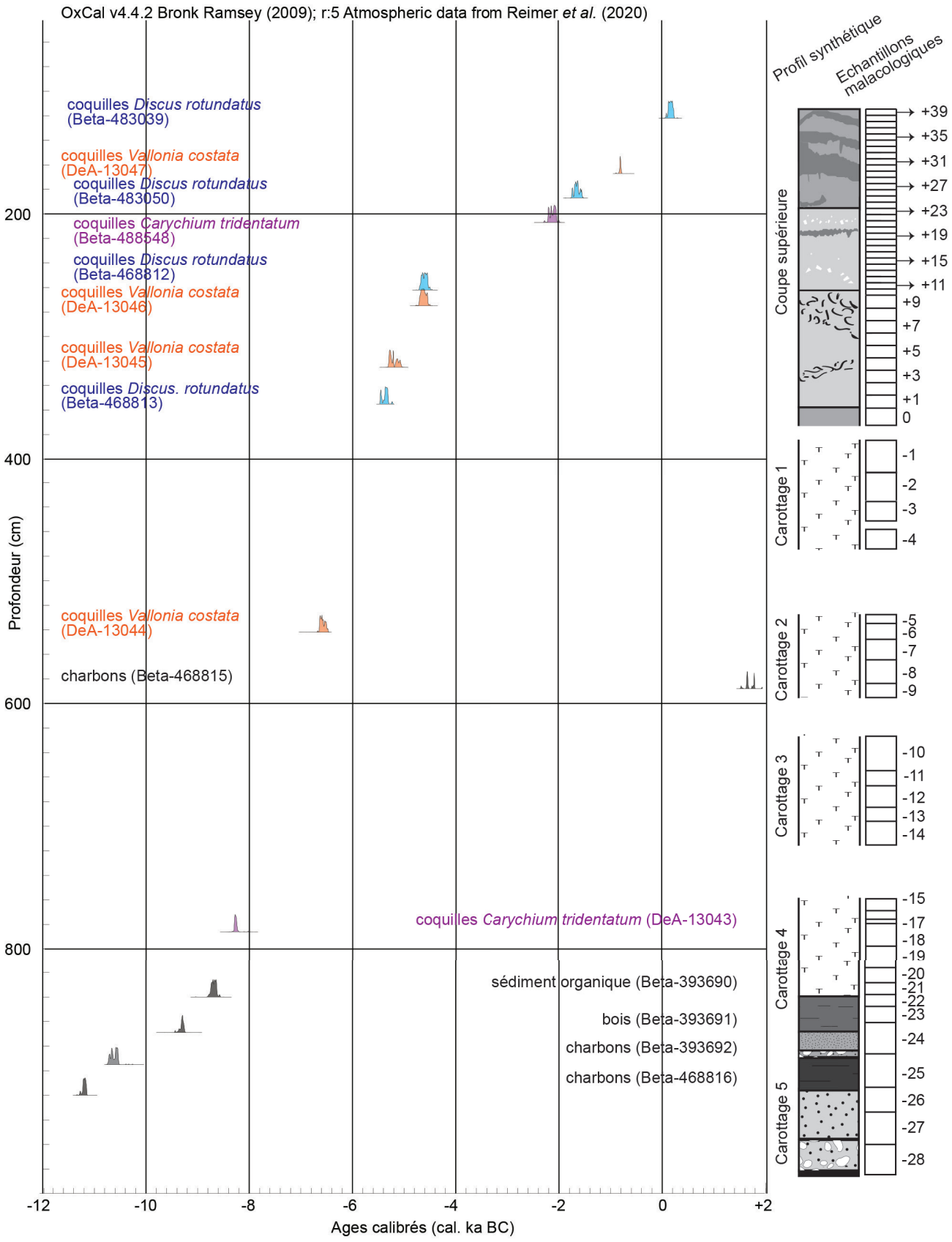
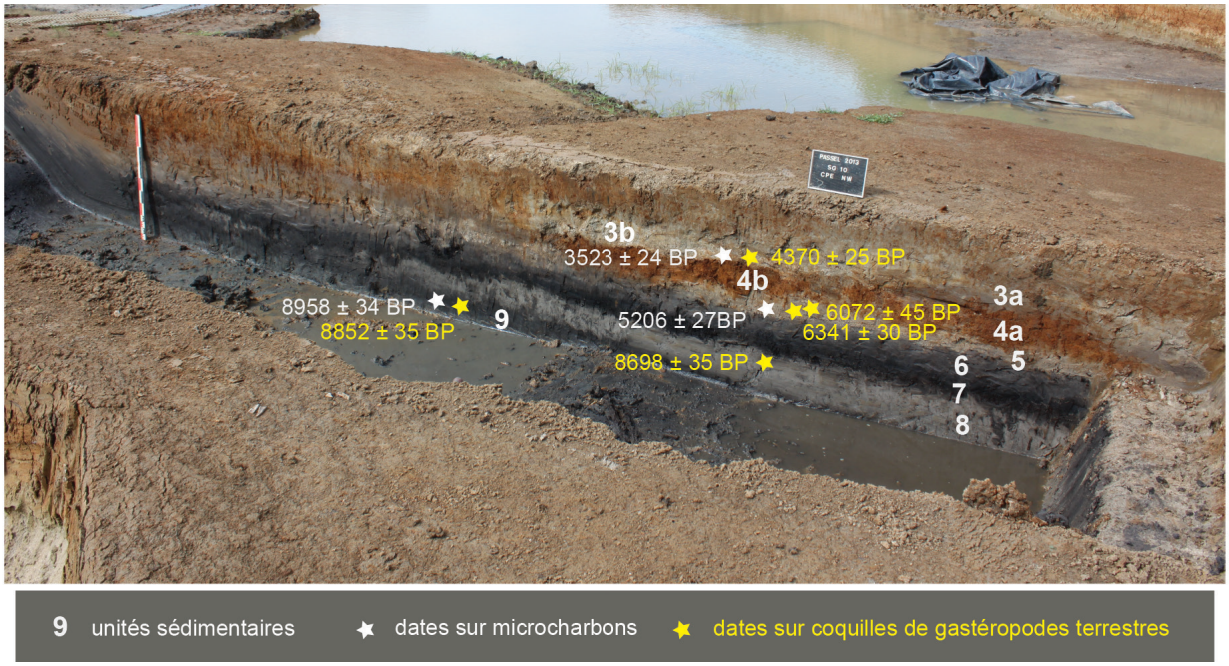


Figure 1 - Direndall (Luxembourg). Âges calibrés en années cal BC positionnés en regard de la séquence sédimentaire, synthétisée à droite, constituée de tufs à partir de 840 cm de profondeur.



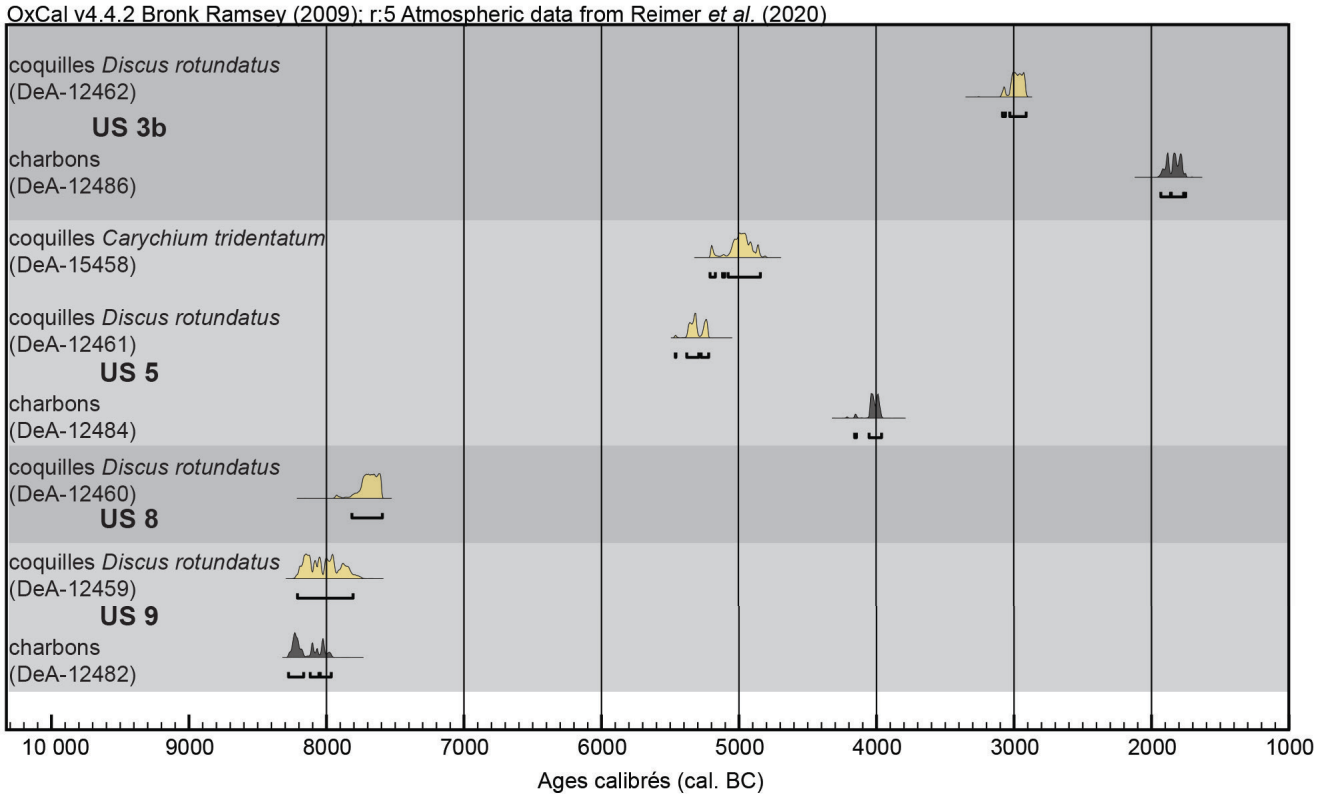


Figure 2 - Passel « Le Vivier », Oise (France). En haut : cliché photographique de la coupe SG 10 avec position des âges non calibrés (modifié d'après N. Cayol, Inrap). En bas : âges calibrés en années cal BC.

2.3. Des résultats incohérents dans les argiles d'une zone anthropisée

À la Narse de la Sauvetat, dans le Puy-de-Dôme, l'analyse multi-indicateurs de carottes effectuées dans une ancienne dépression marécageuse a permis de reconstruire l'évolution paléoenvironnementale de ce bassin entre le Néolithique final et le début du Moyen Âge (Mayoral *et al.*, 2020). Pour renforcer les corrélations établies entre des carottes localisées au centre et en périphérie de la dépression, des âges radiocarbones étaient nécessaires. Si la carotte du centre de la dépression était plutôt riche en microcharbons, celles localisées en périphérie en étaient moins pourvues. La découverte d'un abondant matériel malacologique dans l'une de ces carottes a motivé la tentative de datations sur coquilles. Cette tentative n'était néanmoins pas faite à l'aveugle, une estimation de l'âge des dépôts ayant déjà été formulée par des corrélations stratigraphiques.

Deux datations sur des coquilles de *Vallonia pulchella* ont été effectuées sur la même carotte (NAR.3), dans des niveaux différents. Cette espèce était la seule à fournir des populations suffisamment développées pour disposer d'un matériel assez abondant à partir duquel une sélection des coquilles à dater pouvait être opérée. Les assemblages malacologiques desquels proviennent les spécimens datés sont dominés par cette espèce et permettent de décrire un milieu largement ouvert (fig. 3).
Les deux mesures d'âge présentent un biais de vieillissement supposé supérieur à 500 BP. Or, comme souligné par Hill *et al.* (2017) au sujet des contextes aux sols en partie mis à nu par l'agriculture, les mollusques terrestres n'y ont pas à disposition un couvert végétal suffisant pour satisfaire leurs besoins en carbone par la seule végétation et le risque d'ingestion de « vieux carbone » y est donc plus prégnant. Dans le cas de la Narse de la Sauvetat, que le caractère ouvert du milieu soit d'origine anthropique ou non, la structure de la végétation telle que reconstituée par les mollusques est une voie d'explication plausible des âges incohérents obtenus sur coquilles.

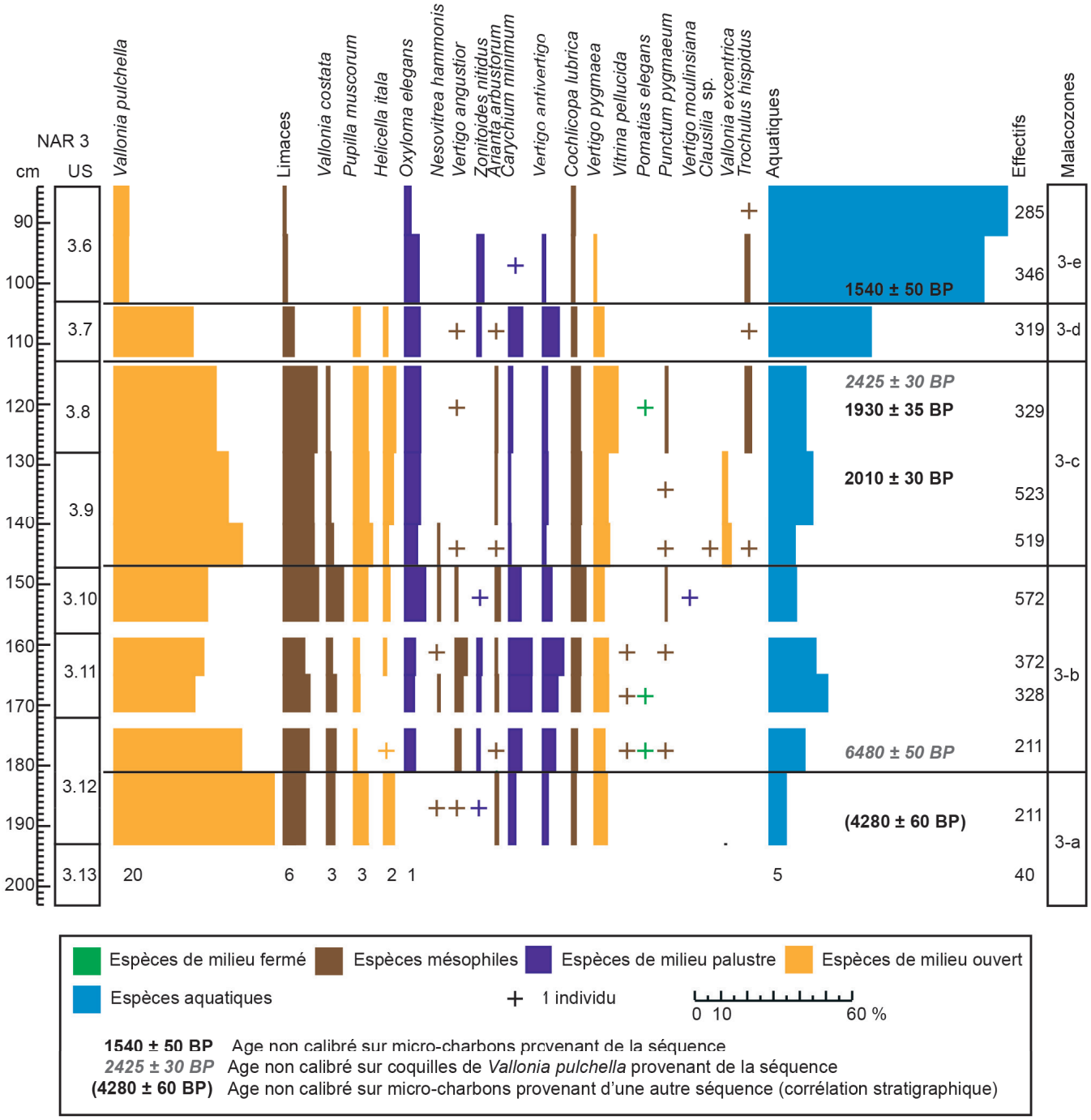


Figure 3 - La Narse de la Sauvetat, Puy-de-Dôme (France). Diagramme des fréquences spécifiques des mollusques terrestres de la carotte NAR3 et datations associées.

3. Dater des coquilles sous le contrôle du malacologue quaternariste

3.1. La sélection du matériel à dater

L'état de l'art des datations sur coquilles par le ^{14}C révèle toutes les incertitudes liées à cette pratique. La sélection à vue sur le terrain de grosses espèces est à proscrire. En effet, un biais de vieillissement important a systématiquement été observé sur ces espèces. Notre première recommandation est donc de dater des petites coquilles issues d'un assemblage étudié par un malacologue quaternariste.

Les coquilles datées doivent également avoir été découvertes en position primaire. Pour estimer la position primaire ou secondaire de l'assemblage malacologique, l'expertise combinée du géomorphologue et du malacologue est souhaitée, du terrain à la synthèse des résultats. La cohérence d'une date saura être appréciée en fonction des autres éléments de chronologie disponibles, s'il y en a, mais également en fonction de la composition de l'assemblage dont les spécimens datés sont issus, le malacologue pouvant déceler des occurrences d'espèces incohérentes avec l'âge présumé des sédiments. À Warluis, dans l'Oise, la contamination de sédiments tardiglaciaires par des faunes forestières holocènes déplacées verticalement par les bioturbations, a ainsi pu être mise en évidence (Coutard *et al.*, 2010). Si ces faunes avaient été datées, elles auraient livré des âges incohérents avec la présence de vestiges d'occupation de la fin du Paléolithique dans les sédiments.

Après la collecte des échantillons sur le terrain, les prélèvements sont tamisés à l'eau sur une maille minimale de 500 microns. L'usage d'eau oxygénée (H2O2) est déconseillé et, s'il doit être pratiqué, doit être mentionné dans le rapport d'analyse par le malacologue avec une description précise de son utilisation (solution pure ou diluée dans de l'eau, volume de solution utilisée et durée de trempage de l'échantillon), car le pH acide de cette solution aqueuse peut dissoudre les carbonates et fausser le signal isotopique (Zhang *et al.*, 2020). De même, la dureté de l'eau utilisée doit être connue, une eau dure pouvant participer à précipiter des carbonates. Si un passage rapide à l'eau n'est pas en mesure de perturber le signal isotopique des coquilles, leur trempage plusieurs heures dans une eau dure sont propres à venir perturber ce signal.

Après le tri des coquilles à la loupe binoculaire, la sélection des taxons à dater nécessite le regard avisé du malacologue. En effet, le biais de vieillissement que peut induire l'ingestion de « vieux carbone » par les mollusques de leur vivant est fortement lié aux affinités écologiques des espèces. Les mollusques vivant dans des couverts végétaux assez denses sont possiblement moins affecté par ce biais que ceux vivant dans des couverts végétaux bas et épars, en particulier en contexte anthropisé (Hill *et al.*, 2017). Cependant, en contexte forestier, les mollusques vivant préférentiellement sur des troncs d'arbre auront potentiellement plus tendance à fournir des âges vieillis car, lors de leur venue au sol, ils auront cherché à satisfaire leur besoin en calcium en ciblant, si possible, des sources directes d'approvisionnement, sans le medium de la végétation (Xu *et al.*, 2011). De nombreuses questions demeurent néanmoins irrésolues concernant cette influence de l'écologie des espèces dans le biais de vieillissement possible. Dans la littérature, certaines espèces vivant en milieu ouvert assez peu végétalisé, comme les *Quickella*, fréquentes dans des habitats à la végétation éparse, sont ainsi identifiées comme des taxons fiables à dater (Pigati *et al.*, 2010). Malgré ces incertitudes, le malacologue reste le mieux placé pour fournir une sélection avisée du matériel à dater puis une lecture critique de la validité des résultats obtenus.

La masse de coquilles à fournir aux laboratoires de datation utilisant la spectrométrie de masse par accélérateur est comprise entre 5 et 30 mg. Cette masse correspond à un nombre de coquilles très variable selon les espèces, en fonction que des spécimens entiers ou des fragments sont sélectionnés. Dans l'ensemble, le malacologue choisira préférentiellement dans sa liste d'espèces candidates, des taxons pour lesquels il dispose d'un nombre d'individus identifiés supérieurs à 10 et, idéalement, pour les plus petites espèces, à 30.

3.2. La préparation du matériel à dater

Les coquilles de l'espèce sélectionnée sont examinées à la loupe binoculaire à fort grossissement (jusqu'à × 50). Cet examen permet d'évaluer l'état de propreté des coquilles et de faire un premier examen des risques de minéralisation secondaire, propres à fausser les mesures d'âge.

Un nettoyage des coquilles est généralement pratiqué à l'eau déminéralisée et à la cuve à ultra-sons. Cependant, il est impossible de s'assurer de l'absence de minéraux piégés à l'intérieur des coquilles. Aussi, il est préférable de disposer de coquilles brisées, dont les fragments peuvent être examinés sur toutes les faces. Or, lors du tri à la loupe binoculaire des refus de tamis, le malacologue ne récolte que rarement les fragments de coquille qui ne sont ni des apex (tours du sommet de la coquille) ni des ouvertures, restes sur lesquels repose l'estimation du nombre d'individus. Pour certains taxons dont l'ornementation de la coquille est assez caractéristique pour ne pas permettre de doutes quant à l'attribution taxonomique de simples fragments (ni ouverture ni sommet de la coquille), un retour au refus de tamis peut donc être nécessaire pour récupérer ces fragments. À titre préventif, les plus gros fragments de *Discus rotundatus*, sont aujourd'hui systématiquement collectés lors de la phase de tri des assemblages malacologiques holocènes étudiés par nos soins.

Malgré le soin apporté à disposer d'un matériel dont il est possible d'examiner la propreté sur toutes les faces à

la loupe binoculaire, Rech *et al.* (2011) ont démontré que seul le MEB pouvait permettre d'exclure la présence de minéraux secondaires propres à biaiser le résultat des mesures radiocarbones. Cependant, peu de laboratoires sont dotés de cet équipement coûteux. De plus, les nombreux prétraitements infligés aux coquilles dans les laboratoires de datation devraient nous rassurer quant à l'effet de ces minéralisations secondaires sur les résultats. En laboratoire, la surface des coquilles est en effet généralement décapée physiquement pour éliminer tout carbonate secondaire qui s'y serait déposé. Une sonication peut être utilisée pour le nettoyage de l'intérieur de la coquille. Après abrasion des coquilles, un lavage à l'acide chlorhydrique (HCl) est ensuite pratiqué pour éliminer les derniers restes de calcite. Ce protocole permet de limiter les risques de contamination par des minéraux secondaires, mais il est important d'informer le laboratoire des spécificités du matériel à dater et de solliciter un compte-rendu précis des prétraitements effectués.

3.3. L'interprétation des résultats

Une fois la mesure de l'âge de l'échantillon obtenue, l'interprétation de son résultat repose sur l'expertise du malacologue. Sur le continent américain, Tamers (1970) et, en France, Evin *et al.* (1980) ont confronté les datations sur coquilles avec celles acquises sur d'autres matériaux issus des mêmes séquences sédimentaires sur des sites archéologiques. Des écarts d'âges ont été systématiquement observés entre les matériaux datés, mais avec des amplitudes variables. Au sein de ces exemples d'approche intégrée, reposant sur la datation de plusieurs matériaux sur une même séquence, la reconnaissance de résultats biaisés par un vieillissement ou par un rajeunissement est donc facilitée par l'existence d'éléments tangibles de discussion.

En l'absence d'élément de discussion disponible sur un autre indicateur, permettant un contrôle chronologique indépendant, les âges obtenus sur coquilles doivent être considérés avec une infinie prudence et considérés comme potentiellement biaisés. Malgré cette imprécision, comme souligné par Evin *et al.* (1980), sans autre élément de chronologie à disposition, une datation sur coquille permet néanmoins de fixer grossièrement le *terminus postquem* d'un dépôt.

À Direndall, au Luxembourg, où seules des coquilles étaient disponibles pour datation, rien ne permet d'assurer la validité des âges obtenus sans le renfort d'un contrôle indépendant de la chronologie sur un autre matériau. Cependant, la stratégie de dater plusieurs espèces, en particulier sur des niveaux très proches en altimétrie, s'est révélée adéquate pour minimiser les sources d'erreur possibles. Cette précaution prise lors de l'étape de sélection du matériel à dater semble un prérequis essentiel lorsqu'il s'agit de bâtir une chronologie sur la seule base de datations sur coquille.

4. Conclusion

Un certain regain d'intérêt pour la datation par le ^{14}C des coquilles de mollusques terrestres a été suscité, ces dix dernières années, par des résultats encourageants obtenus par expérimentation sur les coquilles modernes de petites espèces dans les lœss. La pratique de datation sur des spécimens fossiles de ces espèces dans des lœss pléistocènes s'est ensuite diffusée. Dans ces contextes sédimentaires, les coquilles constituaient les seuls supports de datation disponibles. Sur des sites où d'autres éléments de chronologie sont à disposition, les âges obtenus sur coquilles sont parfois incohérents avec les autres supports de datation.

L'ingestion de carbonates de calcium issus de matières minérales appauvries en carbone et la présence de minéraux secondaires sur les coquilles sont deux des principaux biais pouvant induire une source d'erreur dans les âges obtenus. Si le second biais peut être écarté par l'usage du MEB et la sélection de fragments de coquille examinables sur toutes les faces, des investigations supplémentaires restent à effectuer pour mieux contraindre le premier de ces biais.

L'habitat et les sources de nourriture disponibles ont un rôle explicatif dans la contribution de l'ingestion de « vieux carbone » par les mollusques vivants. Cette contribution n'est pas constante entre espèces, entre individus de la même espèce ni au cours de la vie d'un individu. En dépit de cette limite induite par la grande variabilité des paramètres qualitatifs à prendre en compte pour estimer l'ampleur de l'ingestion de « vieux carbone », certaines espèces et certains habitats semblent plus favorables que d'autres pour minimiser la survenue de ce biais. Les espèces vivant dans la litière des bois de feuillus semblent parmi les supports les plus fiables, à l'inverse des espèces vivant sur les troncs d'arbre et les espèces de milieux ouverts des espaces agricoles.

Les biais de vieillissement aléatoire, même réduits par une sélection avisée du matériel, ne permettent pas encore d'établir des chronologies solides sur des périodes courtes, comme l'âge du Bronze, à partir de datations sur coquilles. En outre, l'imprécision des âges découlant des effets plateaux vient se surajouter aux biais induits par le matériel daté.

Malgré des incertitudes dans les résultats obtenus sans renfort d'autres éléments de chronologie au sein d'une approche intégrée, dater des coquilles reste une option satisfaisante sous deux principales conditions : (i) si une imprécision de quelques millénaires ou de quelques siècles est suffisante pour estimer l'âge d'un dépôt et, (ii) si les mesures sont effectuées sur plusieurs espèces au sein d'une séquence, notamment sur des niveaux proches en altimétrie, pour débusquer d'éventuelles inversions.

Plusieurs voies de recherche semblent encore ouvertes pour mieux contraindre les paramètres pouvant induire une source d'erreur dans les âges obtenus. Seule une collaboration entre malacologues quaternaristes et géochronologues pourra permettre d'approfondir cette question.

5. Remerciements

Nous remercions les éditeurs pour leur invitation à contribuer à ce volume. L'étude de la séquence de Passel a bénéficié du financement de l'Inrap et du conseil départemental de l'Oise. L'étude de la séquence de Direndall a été financée par le Centre National de la Recherche Archéologique (CNRA) du Luxembourg. Les dates de ces deux séquences ont été financées par le CNRA du Luxembourg, la Czech Science Foundation (P504/17-05696S) et l'université Paris 1-Panthéon Sorbonne (programme EscarGO). Nous remercions Olivier Moine pour ses conseils avisés pour réviser la version initiale de ce manuscrit.



Salomé Granai

Chargée de recherche, équipe GéoarchPal, GéoArchéon, et UMR 8591, Laboratoire de Géographie Physique : environnements quaternaires et actuels, CNRS/Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne/Univ. Paris Est Créteil, Université Paris Est Créteil, CNRS, LGP et université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
salomegranai@yahoo.fr

Quentin Wackenheim

Doctorant, UMR 8591, Laboratoire de Géographie Physique : environnements quaternaires et actuels, CNRS/Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne/Université Paris Est Créteil, UMR 8215, Trajectoires, CNRS/ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
quentin.wackenheim@gmail.com

Bibliographie

Brennan R. et Quade J., 1997, « Reliable Late-Pleistocene stratigraphic ages and shorter groundwater travel times from ^{14}C in fossil snails from the southern Great Basin », *Quaternary Research*, 47, 3, p. 329-336.

Broecker W. S. et Walton A., 1959, « The geochemistry of ^{14}C in fresh-water systems », *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 16, 1, p. 15-38.

Bronk Ramsey C., 2009, « Bayesian analysis of radiocarbon dates », *Radiocarbon*, 51, 1, p. 337-360.

Burleigh R. et Kerney M. P., 1982, « Some chronological implications of a fossil molluscan assemblage from a Neolithic site at Brook, Kent, England », *Journal of Archaeological Science*, 9, 1, p. 29-38.

Coutard S., Ducrocq T., Limondin-Lozouet N., Bridault A., Leroyer C., Allenet G. et Pastre J.-F., 2010, « Contexte géomorphologique, chronostratigraphique et paléoenvironnemental des sites mésolithiques et paléolithiques de Warluis dans la vallée du Thérain (Oise, France) », *Quaternaire*, 21, 4, p. 357-384.

Crowell H., 1973, « Laboratory study of calcium requirements of the brown garden snail, Helix aspersa Müller », *Journal of Molluscan studies*, 40, p. 491-503.

Douka K., 2017, « Radiocarbon dating of marine and terrestrial shell », dans Allen M. J. (dir.), *Molluscs in Archaeology. Methods, approaches and applications*, Oxford, Oxbow Books, p. 381-399.

Evin J., Maréchal J., Pachiaudi C. et Puisségur J.-J., 1980, « Conditions involved in dating terrestrial shells », *Radiocarbon*, 22, 2, p. 545-555.

Evin J., 1994, « Le temps et la chronométrie en archéologie », *Histoire & Mesure*, 9, 3-4, p. 239-257.

Fontugne M., 2002, « La dérive des âges carbone 14 », dans Miskowski J.-C. (dir.), *Géologie de la Préhistoire*, Paris, Géopré, p. 1999-1207.

Fontugne M., 2004, « Les derniers progrès du calibrage des âges radiocarbone permettent-ils une révision des chronologies entre 25 et 50 000 ans BP ? », *Quaternaire*, 15, 3, p. 245-252.

Fournié J. et Chétail M., 1984, « Calcium dynamics in land gastropods, *American Zoologist*, 24, 4, p. 857-870.

Frick W., 1965, « Der Kalziumstoffwechsel bei Helix pomatia unter dem Einfluß wechselnder Kohlensäureatmosphären », *Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde in Berlin*, 41, 1, p. 95-120.

Frye J. C. et Willman H. B., 1960, « Classification of the Wisconsinan Stage in the Lake Michigan glacial lobe », *Illinois Geological Survey*, Circular 285, p. 1-16.

Goodfriend G. A., 1987, « Radiocarbon age anomalies in shell carbonate of land snails from semi-arid areas », *Radiocarbon*, 29, 2, p. 159-167.

Goodfriend G. A. et Hood D. G., 1983, « Carbon isotope analysis of land snail shells: implications for carbon sources and radiocarbon dating », *Radiocarbon*, 25, 3, p. 810-830.

Goodfriend G. A. et Stipp J. J., 1983, « Limestone and the problem of radiocarbon dating of land-snail shell carbonate », *Geology*, 11, 10, p. 575-577.

Goodfriend G. A., Ellis G. L. et Toolin L. J., 1999, « Radiocarbon age anomalies in land snail shells from Texas: ontogenetic, individual, and geographic patterns of variation », *Radiocarbon*, 41, 2, p. 149-156.

Granai S., Dabkowski J., Hájková P., Naton H.-G. et Brou L., 2020a, « Holocene palaeoenvironments from the Direndall tufa (Luxembourg) reconstructed from the molluscan succession and stable isotope records », *The Holocene*, 30, 7, p. 982-995.

Granai S., Coutard S., Cayol N. et Boulen M., 2020b, « The role of the duration and recurrence of settlements in our perception of human impact on the environment: an example from Northern France », dans Kuzucuoğlu C., Tsirtsoni Z., Weller O. et Nondédéo P. (dir.), *Different times? Archaeological and environmental data from intra-site and off-site sequences. Proceedings of the XVIIIe world UISPP congress (Paris, 2018)*, Oxford, Archaeopress Archaeology, p. 10-27.

Heller J. et Magaritz M., 1983, « From where do land snails obtain the chemicals to build their shells? », *Journal of Molluscan Studies*, 49, 2, p. 116-121.

Hill E. A., Reimer P. J., Hunt C. O., Prendergast A. L. et Barker G. W., 2017, « Radiocarbon ecology of the land snail Helix melanostoma in northeastern Libya », *Radiocarbon*, 59, 5, p. 1521-1542.

Keith M. L. et Anderson G. M., 1963, « Radiocarbon dating: fictitious results with mollusk shells », *Science*, 141, 3581, p. 634-637.

Leighton M. M., 1960, « The classification of the Wisconsin Glacial Stage of North Central United States », *The Journal of Geology*, 68, 5, p. 529-552.

Lev L., Boaretto E., Heller J., Marco S. et Stein M., 2007, « The feasibility of using Melanopsis shells as radiocarbon chronometers, Lake Kinneret, Israel », *Radiocarbon*, 49, 2, p. 1003-1015.

Limondin-Lozouet N. et Moine O., 2014, « Taphonomie des malacofaunes continentales », dans Denys C. et Patou-Mathis M. (dir.), *Manuel de Taphonomie*, Paris, Errance, p. 165-184.

Mayoral A., Granai S., Develle A. L., Peiry J. L., Miras Y., Couderc F., Vernet G. et Berger J. F., 2020, « Early human impact on soils and hydro-sedimentary systems: Multi-proxy geoarchaeological analyses from La Narse de la Sauvetat (France) », *The Holocene*, 30, 12, p. 1780-1800.

McConnaughey T. A. et Gillikin D. P., 2008, « Carbon isotopes in mollusk shell carbonates », *Geo-Marine Letters*, 28, 5, p. 287-299.

Metref S., Rousseau D. D., Bentaleb I., Labonne M. et Vianey-Liaud M., 2003, « Study of the diet effect on δ13C of shell carbonate of the land snail *Helix aspersa* in experimental conditions », *Earth and Planetary Science Letters*, 211 (3-4), p. 381-393.

Molnár D., Sümegi P., Fekete I., Makó L. et Sümegi B. P., 2019, « Radiocarbon dated malacological records of two Late Pleistocene loess-paleosol sequences from SW-Hungary: Paleoecological inferences », *Quaternary international*, 504, p. 108-117.

Pigati J. S., Quade J., Shahanan T.M. et Haynes Jr. C.V., 2004, « Radiocarbon dating of minute gastropods and new constraints on the timing of late Quaternary spring-discharge deposits in southern Arizona, USA », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 204 (1-2), p. 33-45.

Pigati J. S., Rech J. A. et Nekola J. C., 2010, « Radiocarbon dating of small terrestrial gastropod shells in North America », *Quaternary Geochronology*, 5 (5), p. 519-532.

Pigati J. S., McGeehin J. P., Muhs D. R. et Bettis III E. A., 2013, « Radiocarbon dating late Quaternary loess deposits using small terrestrial gastropod shells », *Quaternary Science Reviews*, 76, p. 114-128.

Pigati J. S., McGeehin J. P., Muhs D. R., Grimley D. A. et Nekola J. C., 2015, « Radiocarbon dating loess deposits in the Mississippi Valley using terrestrial gastropod shells (*Polygyridae*, *Helicinidae* and *Discidae*) », *Aeolian Research*, 16, p. 25-33.

Puisségur J. J., 1976, *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne*, Paris, Mémoires Géologiques de l'université de Dijon, 3.

Quarta G., Romaniello L., D'elia M., Mastronuzzi G. et Calcagnile L., 2007, « Radiocarbon age anomalies in pre- and post-bomb land snails from the coastal Mediterranean basin », *Radiocarbon*, 49 (2), p. 817-826.

Rech J. A., Pigati J. S., Lehmann S. B., McGimpsey C. N., Grimley D. A. et Nekola J. C., 2011, « Assessing open-system behavior of ^{14}C in terrestrial gastropod shells », *Radiocarbon*, 53 (2), p. 325-335.

Rech J. A., Nekola J. C. et Pigati J. S, 2012, « Radiocarbon ages of terrestrial gastropods extend duration of ice-free conditions at the Two Creeks forest bed, Wisconsin, USA », *Quaternary Research*, 77 (2), p. 289-292.

Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. et Talamo S., 2020, « The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP) », *Radiocarbon*, 62 (4), p. 725-757.

Romaniello L., Quarta G., Mastronuzzi G., D'elia M. et Calcagnile L., 2008, « ^{14}C age anomalies in modern land snails shell carbonate from Southern Italy », *Quaternary Geochronology*, 3, p. 68-75.

Rubin M., Likins R. C. et Berry E. G., 1963, « On the validity of radiocarbon dates from snail shells », *The Journal of Geology*, 71 (1), p. 85-89.

Tamers M. A., 1970, « Validity of radiocarbon dates on terrestrial snail shells », *American Antiquity*, 35 (1), p. 94-100.

Újvári G., Molnár M. et Páll-Gergely B., 2016, « Charcoal and mollusc shell ^{14}C-dating of the Dunaszekcső loess record, Hungary », *Quaternary Geochronology*, 35, p. 43-53.

Webb G. E., Price G. J., Nothdurft L. D., Deer L. et Rintoul L., 2007, « Cryptic meteoric diagenesis in freshwater bivalves: Implications for radiocarbon dating », *Geology*, 35 (9), p. 803-806.

Xu B., Gu Z., Han J., Hao Q., Lu Y., Wang L., Wu N. et Peng Y, 2011, « Radiocarbon age anomalies of land snail shells in the Chinese loess plateau », *Quaternary Geochronology*, 6 (3-4), p. 383-389.

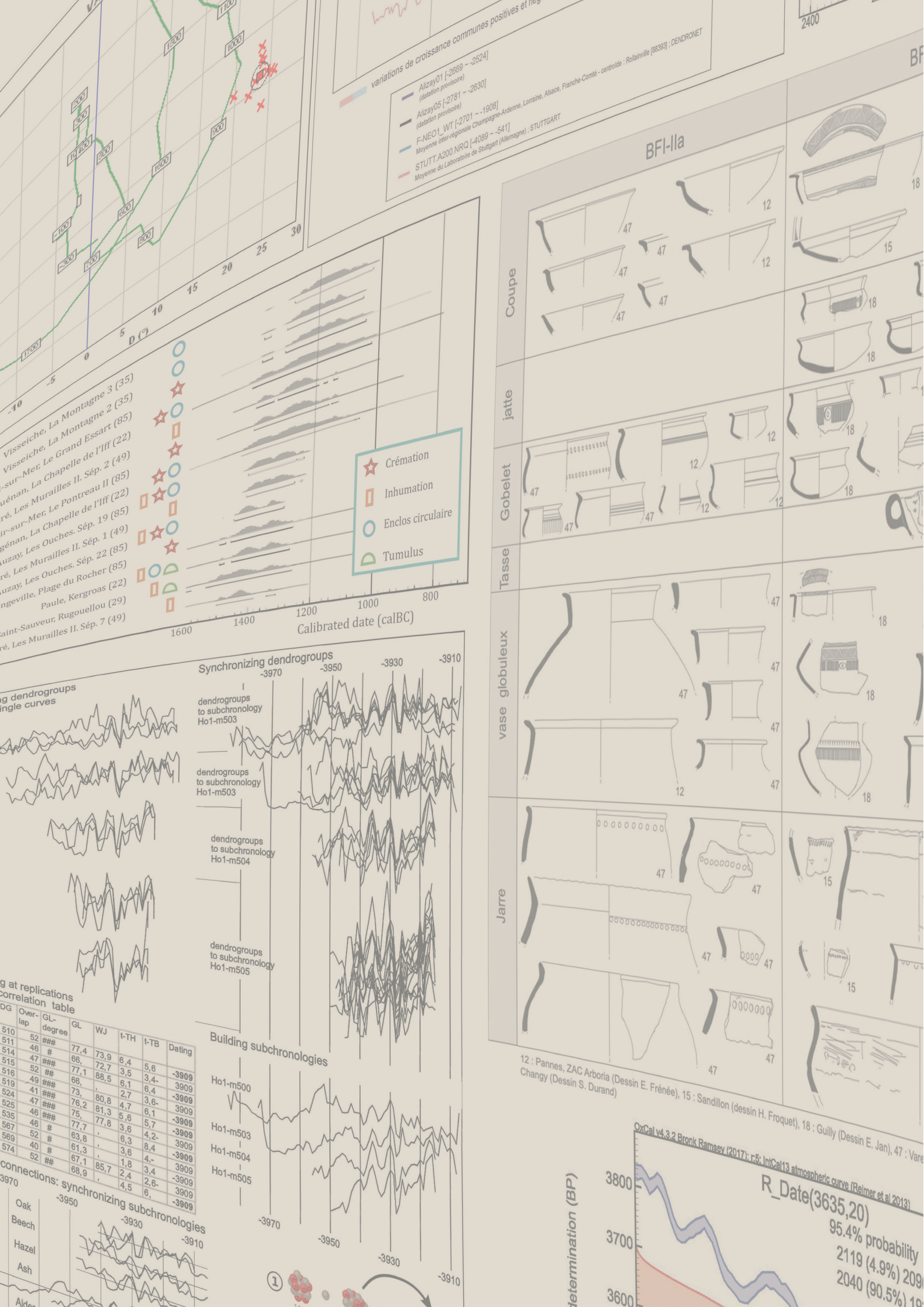
Yates T. J. S., 1986a, *The selection of non-marine molluscan shells for radiocarbon dating*, Londres, thèse de doctorat, university College of London.

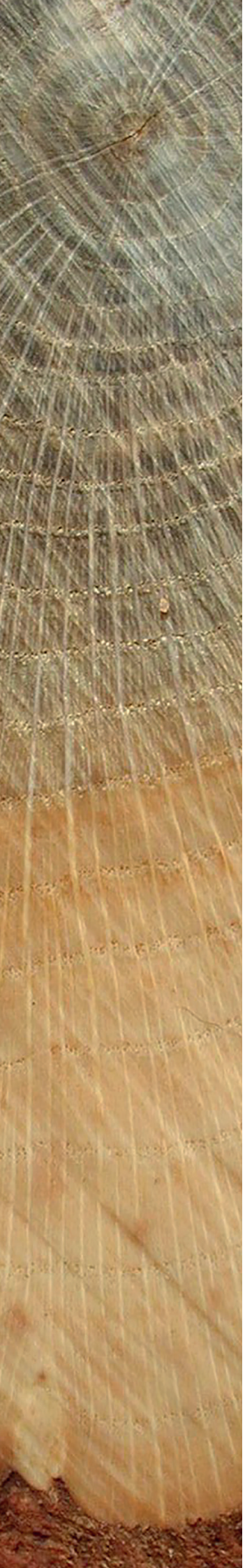
Yates T. J. S., 1986b, « Studies of non-marine mollusks for the selection of shell samples for radiocarbon dating », *Radiocarbon*, 28 (2A), p. 457-463.

Yates T. J. S., Spiro B. F. et Vita-Finzi C., 2002, « Stable isotope variability and the selection of terrestrial mollusc shell samples for ^{14}C dating », *Quaternary International*, 87 (1), p. 87-100.

Zhang N., Lin M., Yamada K., Kano A., Liu Q., Yoshida N. et Matsumoto R., 2020, « The effect of H2O2 treatment on stable isotope analysis (δ13C, δ18O and Δ47) of various carbonate minerals », *Chemical Geology*, 532 [https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119352].

Zhou W., Head M. J., Wang F., Donahue D. J. et Jull A. J. T., 1999, « The reliability of AMS radiocarbon dating of shells from China », *Radiocarbon*, 41 (1), p. 17-24.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



La datation dendrochronologique de l'âge du Bronze

Fabien Langenegger

Résumé

La précision d'une datation dendrochronologique, à la saison près, associée à une reconstitution du plan au sol d'un habitat lacustre, permet de connaître en détail l'évolution chronologique du développement interne d'un habitat, mais aussi de le mettre en lien avec d'autres événements contemporains. Les chronologies de référence, qui permettent la datation des bois, couvrent un espace-temps beaucoup plus large que la période d'occupation des sites et, ainsi, peuvent venir compenser le manque de données dendroarchéologiques pour les siècles d'abandon de l'habitat littoral en apportant des éclairages sur la dynamique forestière. En effet, la présence continue de peuplements de chênaies mixtes d'âges variés montre que l'homme n'a jamais cessé de modeler le paysage forestier pendant l'âge du Bronze. Grâce à des milliers de datations effectuées sur les palafittes du littoral neuchâtelois, un modèle d'occupation des baies a été proposé pour le Bronze final qui montre une organisation sous la forme de communautés villageoises. L'acquisition de données comparables a été possible en France, grâce aux opérations subaquatiques menées par Yves Billaud dans la baie de Conjux située au nord-ouest du lac du Bourget. Ainsi, la contemporanéité des stations de la baie nous a amené à transposer ce modèle pour le lac du Bourget.

Mots-clés

dendrochronologie, archéologie subaquatique, âge du Bronze, lac, palafittes, architecture, organisation villageoise, terroirs forestiers

Abstract

It is now possible using dendrochronological dating, which can date down to the season and a reconstruction of the ground plan of a lake settlement to follow the detail of and put into perspective the chronological evolution of the settlement as well as linking it to other contemporary events. The reference chronologies used when dating wood cover a larger timescale and can thus compensate for the lack of dendroarchaeological data for the centuries after the site was abandoned by providing information on the evolution of the forest cover. The continued presence of mixed oak of various ages shows that communities never stopped shaping the forest landscape during the Bronze Age. Thanks to thousands of dates carried out on the pile dwellings of the shores of Neuchâtel, a bayesian model for the Late Bronze Age shows how village communities were organised. Comparable data is available in France, thanks to the underwater operations carried out by Yves Billaud in the Bay of Conjux located to the north-west of the Bourget Lake. As the settlements are contemporary, we have been able to transpose the Neuchâtel model to the Bourget Lake.

Keywords

dendrochronology, underwater archaeology, Bronze Age, lake, pile dwellings, lakeshore settlements, architecture, village organisation, forest resources

1. La précision d'une datation dendrochronologique

La dendrochronologie est une méthode de datation absolue qui analyse les variations des largeurs de cernes de croissance des arbres. Elle permet d'obtenir des datations précises à la saison près. En effet, en observant la composition des cellules du dernier cerne de croissance au moment de la coupe ou de la mort naturelle des arbres, le dendrochronologue peut affiner la datation entre le printemps, l'été ou l'automne-hiver qui correspond à la période d'arrêt végétatif de l'arbre (fig. 1). Ce niveau de précision implique la présence sur l'échantillon du cambium, l'assise primaire productive du végétal vivant qui se situe entre le dernier cerne et l'écorce. Cette précision de la datation, associée à une reconstitution du plan au sol d'un habitat lacustre, permet de connaître en détail l'évolution chronologique du son développement interne, mais aussi de le mettre en lien avec d'autres événements datés de la même année (voir chap. 3). La précision d'une datation dendrochronologique peut être classée en trois niveaux (fig. 2). La date optimale est celle permettant de définir la saison de coupe de l'arbre. Cependant, lorsque le cambium n'est pas présent, mais qu'au minimum un cerne d'aubier est observé, une estimation de la date d'abattage est réalisée. L'épaisseur de l'aubier, la partie vivante de l'arbre, varie très peu dans un même peuplement de chênes et permet, lorsqu'un ou plusieurs cernes de bois vivants sont retrouvés sur un échantillon d'estimer la date de coupe. En moyenne, le nombre de cernes dans l'aubier varie entre 20 et 30 pour des chênes âgés et comprend environ une dizaine de cernes pour les jeunes arbres. Pour être plus précis, on attribue à l'aubier le même nombre de cernes que ceux décomptés dans les deux derniers centimètres du duramen. Ensuite, on place la date d'abattage dans une fourchette chronologique entre une date estimée minimale (ou optimale) et une date estimée maximale. En revanche, lorsque le façonnage ou l'état de conservation d'un échantillon ne permet pas de discerner la moindre trace d'aubier, une estimation de l'année d'abattage devient impossible. Le nombre de cernes manquants dans le duramen jusqu'au départ de l'aubier ne peut pas être déterminé. Pour s'approcher de la date, on ajoutera systématiquement vingt ans sur les bois âgés, dix sur les bois jeunes qui correspondent aux années d'aubier qui nécessairement manquent afin d'obtenir un *terminus post quem*. L'arbre ne peut pas être abattu avant cette date. Pour déterminer la durée d'occupation des sites lacustres, il faut tenir compte du niveau de précision de la date dendrochronologique et prendre uniquement celles qui présentent de l'aubier. Les durées d'occupation des sites doivent, si possible, être déterminées grâce à la datation d'une structure et pas seulement en se fiant à la datation d'un bois isolé. Des sites fouillés intégralement montrent le recours fréquent à des bois récupérés beaucoup plus anciens que les phases de construction (voir 3.1). L'intégration de tels bois dans des durées d'occupation de sites peut conduire à de mauvaises interprétations.

1.1. Les chronologies de référence

Pour atteindre ce degré de précision dans la datation, il faut disposer d'un système de référence qui recoupe les périodes chronologiques concernées. La portée géographique des séquences peut être locale, régionale ou même continentale suivant la provenance des courbes qui ont permis à la création d'un référentiel. Les courbes locales sont le reflet des différents terroirs forestiers présents le long des rives des lacs alpins. Une multiplication des référentiels est importante, car les conditions

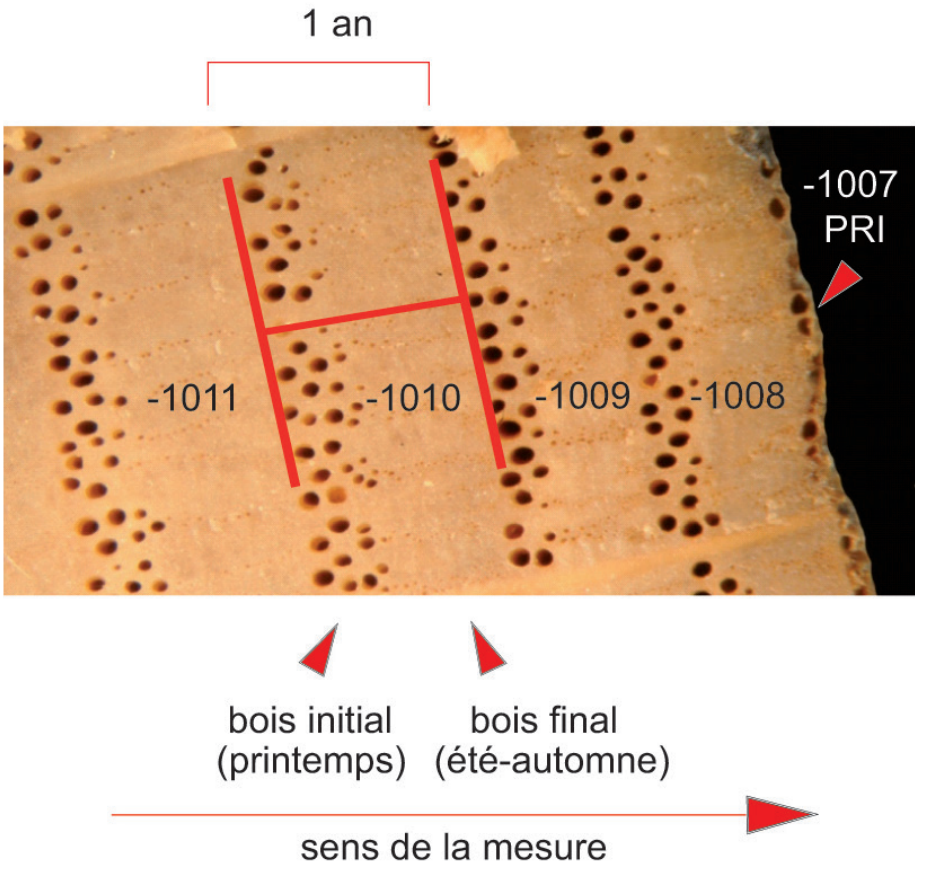


Figure 1 - Le chêne est un bois à zones poreuses. Le bois initial, formé au printemps, est composé de grosses cellules disposées sur une ou plusieurs rangées. Le bois final, constitué en été et au début de l'automne, est plus compact. La réunion du bois initial et final donne une année. Ce chêne a été abattu au début du printemps -1007.
DAO F. Langenegger/OPAN.

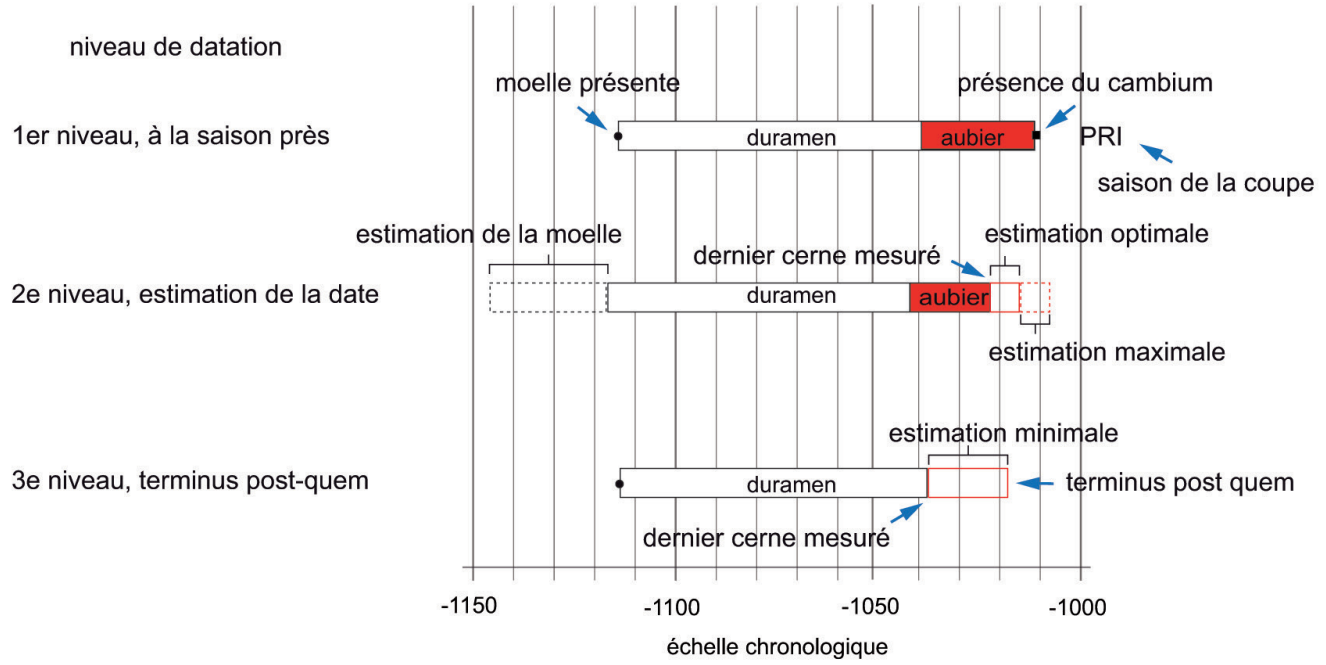


Figure 2 - Les blocs-diagrammes sont la représentation graphique de la couverture temporelle des échantillons datés en dendrochronologie. Sur cette figure, ils sont représentés selon les trois niveaux de précision d'une datation dendrochronologique. DAO F. Langenegger/OPAN.

de croissance peuvent être fort différentes entre les milieux d'approvisionnement en bois et, ainsi, générer des courbes au *trend* varié pour un même intervalle de temps et pour une même essence. Pour l'âge du Bronze, certains siècles ou certaines zones géographiques sont plus ou moins fournies en bois. Pour le Bronze ancien, la période est couverte par des référentiels depuis environ 1900 av. J.-C. grâce aux datations de plusieurs habitats littoraux retrouvés dans la plupart des lacs alpins et qui couvrent la période jusqu'au premier quart du XVIe siècle. À partir de cette date, l'abandon de l'habitat littoral au Bronze moyen, provoqué par une dégradation climatique, se traduit par une diminution importante des chronologies de référence liées aux manques de découvertes ligneuses. Toutefois, une partie de cette période est couverte grâce aux séquences des palafittes du Bronze final qui couvrent une période beaucoup plus large que la période d'occupation des sites (fig. 3). Malgré tout, une insuffisance de données est particulièrement importante pour la période chronologique comprise entre 1570

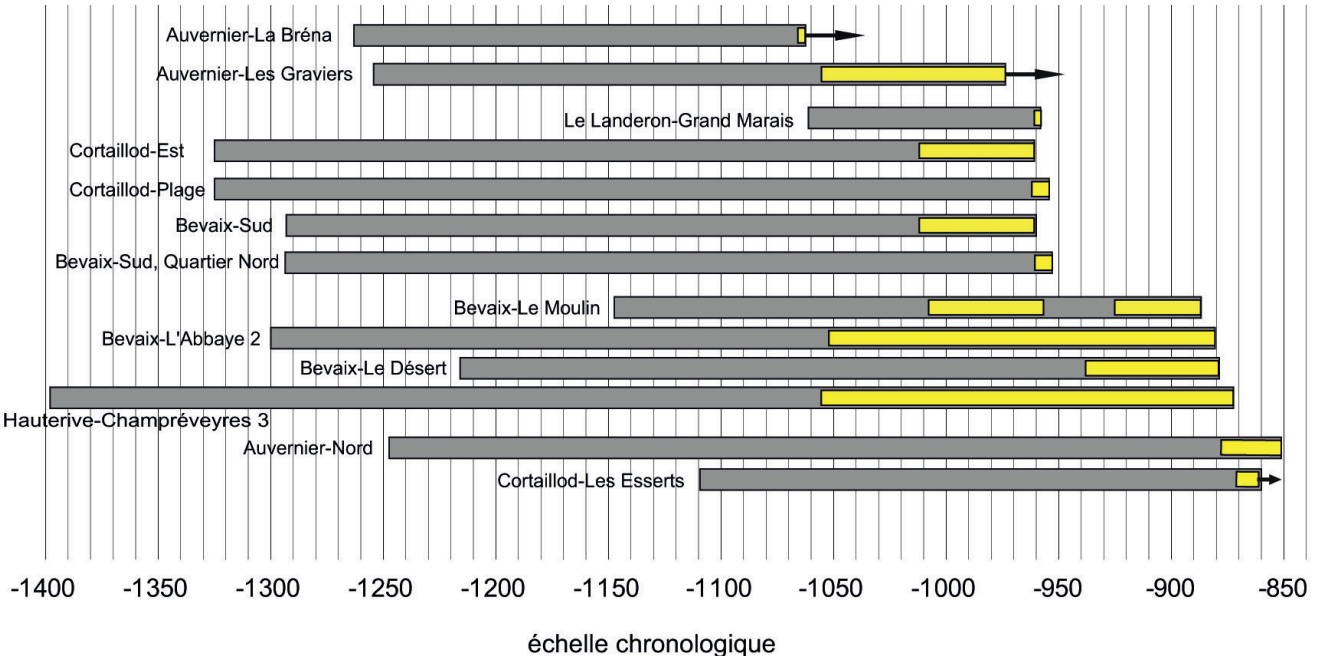


Figure 3 - Couverture chronologique de quelques référentiels de l'âge du Bronze final du littoral neuchâtelois. L'exploitation de vieux arbres permet de couvrir un espace-temps beaucoup plus long que la durée réelle d'occupation des sites. En jaune ; DAO F. Langenegger/OPAN.

et 1400 av. J.-C. Cette lacune est comblée par l'étude de charbons de bois, de bois naturels et de quelques éléments architecturaux dendrodatés en milieu humide, mais rares sont ceux qui proviennent de notre zone d'étude dans cet article (voir 4.1).

Les meilleures courbes de référence concernent le Bronze final avec une profusion de chronologies locales de qualité. Les référentiels développés en Suisse romande, et en pays savoyards, concernent essentiellement le chêne (*Quercus Sp.*), puisque cette essence a été largement privilégiée dans ces régions pour les pieux de fondation des villages bâtis sur la craie lacustre (fig. 4). Ces dix dernières années, pour le Bronze final, d'importants référentiels ont été construits. Ces nouvelles chronologies proviennent du lac de Neuchâtel, de la rive nord (Bevaix-Sud, Bevaix / L'Abbaye 2, Bevaix / Le Désert ; Arnold et Langenegger, 2012), de la rive sud (Autavaux / La Crasaz 2,

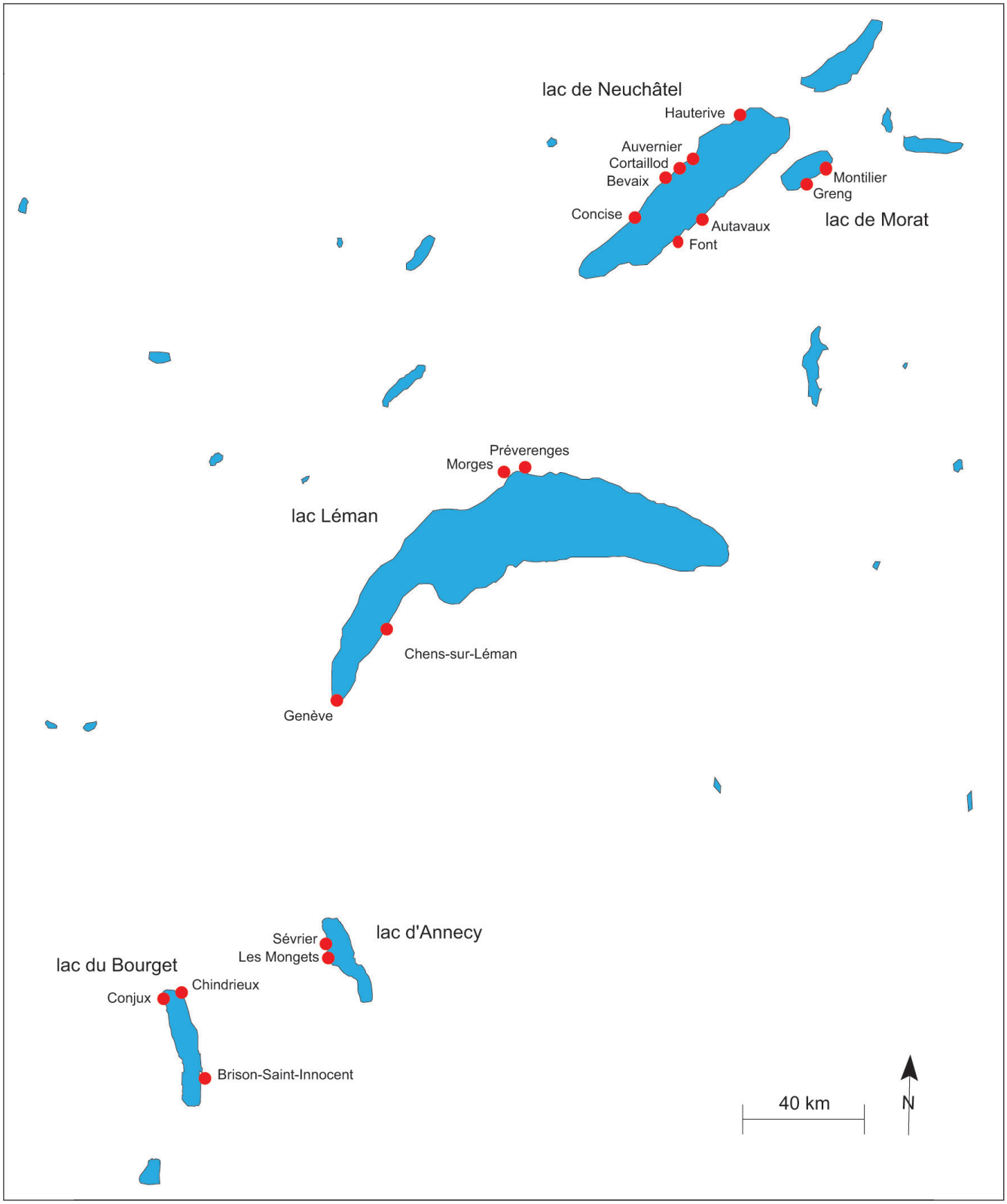


Figure 4 - Carte géographique avec les principales communes mentionnées dans cet article. DAO F. Langenegger/OPAN.

Font / Pianta, Font / Trabiétaz ; Kramer et Mauvilly, 2020), du lac de Morat (Greng / Grengspitze, Montilier / Steinberg ; Crivelli *et al.*, 2012), du lac Léman (Genève / Plonjon ; Corboud, 2020), du lac d'Annecy (Sévrier / Crêt de Châtillon ; Billaud, 2020) et du lac du Bourget (Brison-Saint-Innocent / Mémard, Chindrieux / Châtillon, Conjux / Conjux 1 et Conjux-Le Port 3 ; Billaud, 2020).

2. La chronologie de l'occupation lacustre à l'âge du Bronze

Pour le lac de Neuchâtel, la réoccupation des rives débute avec les premières architectures de Concise-sous-Colachoz, située entre 1800 et 1770 av. J.-C. (Winiger et Burri-Wyser, 2012). Une seconde phase de construction plus récente est documentée dans la baie d'Auvernier où 24 pieux datés situent cet habitat entre 1648 et 1610, en contemporanéité avec le second village de Concise (1645-1570 av. J.-C). D'autres stations, le long de la rive nord du lac, sont connues essentiellement par des découvertes anciennes de mobiliers archéologiques, comme celles de Bevaix / Station du Châtelard, Cortaillod / Petit-Cortaillod ou Auvernier / les Ténevières, mais elles ne bénéficient pas encore d'une datation absolue, faute d'avoir pu retrouver des éléments en bois. Sur la rive nord du lac, chaque grande baie occupée au Bronze final semble renfermer également une occupation plus ancienne du Bronze ancien. Ces deux phases d'occupations observées au bord du lac de Neuchâtel se retrouvent également bien documentées sur les berges du lac Léman avec notamment le site de Morges / Les Roseaux et celui voisin de Préverenges / Préverenges I qui couvrent les mêmes périodes chronologiques (Corboud, 2012, p. 242). Du côté français, dans les fouilles terrestres successives de Chens-sur-Léman, on retrouve des occupations de grande envergure au Bronze ancien, mais peu de vestiges dans les sites littoraux. Leur inventaire n'a guère évolué depuis les prospections pour la carte archéologique des rivages lacustres (Billaud et Marguet, 2007). En revanche, dans le lac d'Annecy, le site des Mongets présente des similitudes remarquables avec Concise-sous-Colachoz. L'occupation du site est datée entre 1803 et 1775 et elle est contemporaine des premières constructions du Bronze ancien. Cette station a bénéficié d'une nouvelle documentation en 2015, une partie de la topographie a été complétée (Billaud, 2020).

Au Bronze final, la réoccupation des rives reprend dans la première moitié du XIe s. av. J.-C. Elle est relativement synchrone dans tous les lacs de Suisse romande et de France. Certes, elle semble un peu plus précoce sur le lac Léman avec des installations à partir de 1085 av. J.-C. (Corboud, 2020, p. 70). Dans le lac de Neuchâtel et de Morat, cette repossession des rives débute quinze à vingt ans plus tard, d'abord sur la rive sud, vers 1067 av. J.-C. et sur les bords du lac de Morat, puis une dizaine d'années plus tard sur la rive nord. En effet, les grands sites bien datés du canton de Neuchâtel, se développent tous entre 1057 et 1053 av. J.-C. (Langenegger, 2019). L'occupation se poursuit de façon ininterrompue jusque vers la moitié du IXe s. où tous les habitats littoraux sont abandonnés pour un repli définitif dans l'arrière-pays.

En France, pour les lacs Léman, d'Annecy et du Bourget, la compilation des datations dendrochronologiques montre trois phases d'occupation : autour de -1100, autour de -1000/-900 et de -930 à -805. Elles sont entrecoupées d'épisodes transgressifs plus ou moins marqués et plus ou moins synchrones, en liaison avec les particularités de chaque bassin versant (Billaud, 2020). Des dates ont été obtenues sur certains sites durant ces épisodes de transition : à Veyrier-du-Lac / Sous les Guerres sur le lac d'Annecy et à Brison-Saint-Innocent / Mémard sur le lac du Bourget. Pour Le Bourget, la particularité importante est la perduration des occupations bien au-delà de la moitié du IXe s. longtemps considérée comme marquant la fin de toutes les occupations palafittiques.

2.1. Le lac du Bourget, le refuge des dernières stations lacustres

Pour la fin de l'occupation lacustre, l'acquisition de nouvelles données dendroarchéologiques a été possible, grâce aux opérations subaquatiques menées par Y. Billaud dans le lac du Bourget, plus précisément dans la baie de Conjux située au nord-ouest du lac du Bourget (fig. 4). Dans cette baie, deux villages sont documentés depuis 2010 et les opérations subaquatiques ne sont pas terminées. Conjux-Le Port 3 a été fouillé intégralement et Conjux 1, en grande partie topographié (Billaud et Langenegger, 2018). Pour ces deux villages, 310 sections de pieux ont participé à l'étude dendrochronologique. L'analyse de ces 40 000 cernes de croissance a permis d'affiner la chronologie de l'habitat en définissant les principales phases de construction. Le village de Conjux 1 a une durée minimale d'occupation de 62 ans, de -870 à -808. Plusieurs phases de construction se distinguent par une concentration de dates, vers -870 et autour de -840, -830 et -813. Pour le village de Conjux-Le Port 3, la durée est réduite à une seule phase de construction entre -814 et -812. Ainsi, ces deux villages ne se succèdent pas dans le temps, mais sont contemporains (fig. 5). Dans tout l'arc alpin, Conjux-Le Port 3 est le dernier village bâti avant l'abandon définitif des rives par les Lacustres. Aucune réparation n'a été effectuée sur les structures, pourtant bâties avec des sections de pieux importantes. Tous les éléments de fondation des maisons proviennent de la refente de chênes centenaires, voire bicentenaires. Un tel travail de façonnage et de construction n'a certainement pas été entrepris avec la certitude de s'éloigner des rives dans un proche avenir. En effet, cette qualité de construction est faite pour pouvoir résister plusieurs dizaines d'années avec un entretien régulier (Arnold et Langenegger, 2012, p. 220-261). Mais, sans le

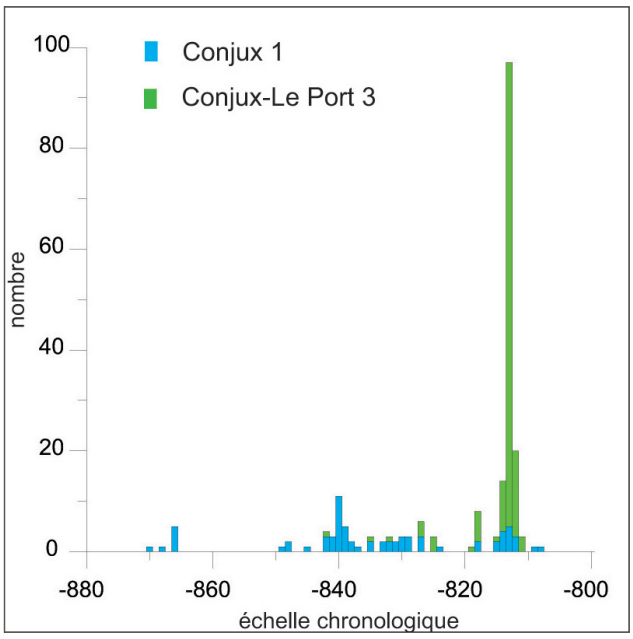


Figure 5 - Histogramme des fréquences d'abattage pour Conjux 1 et Conjux-Le Port 3. Les deux villages sont contemporains et sont abandonnés vers la fin du IXe s. av. J.-C. DAO F. Langenegger/OPAN.

témoignage de travaux de réparation ou de consolidation, ce palafitte ne peut guère perdurer plus d'une dizaine d'années. La date la plus récente à Conjux-Le Port 3 a été obtenue avec un chêne coupé pendant l'hiver -811/-810 et pour Conjux 1, elle résulte d'un abattage pendant l'hiver -808/-807. En l'état des recherches et des datations du site, -807 peut signifier le début de l'abandon définitif de la baie. Pour le Bronze final, une seule date est plus récente, -805, et provient également d'une station au bord du lac du Bourget, Tresserve-Le Saut (Billaud, 2020). Cette prolongation de l'habitat lacustre au bord du lac du Bourget, au-delà de la moitié du IXe s., est également attestée dans d'autres sites, comme pour le pilotis de Chindrieux/Châtillon où les phases d'abattage les plus récentes datent de -814. Sept nouveaux référentiels ont été créés ces dernières années pour le lac du Bourget et, ainsi, ils contribuent à une bonne couverture de la croissance des chênes pour tout le IXe s. av. J.-C.

3. L'essor des communautés villageoises à l'âge du Bronze final

La recherche sur l'âge du Bronze final bénéficie, pour le littoral neuchâtelois, des données archéologiques provenant de la fouille intégrale de quatre villages palafittiques (Hauterive-Champréveyres 3, Auvernier-Nord, Cortaillod-Est et Bevaix-Sud). Plus de 10 000 datations ont été faites par le laboratoire de dendrochronologie de Neuchâtel et elles permettent de définir un modèle original d'occupation qui met en lumière les liens qui pouvaient se tisser entre les habitants des différentes baies du lac (Langenegger, 2012). Contrairement aux occupations néolithiques qui occupent l'ensemble du littoral, les palafittes à l'âge du Bronze final se concentrent dans les baies principales du lac avec l'installation de plusieurs villages proches les uns des autres. Les dates obtenues montrent un retour synchrone dans toutes les baies entre 1057 et 1053 av. J.-C. Elles ont été recolonisées par l'implantation de villages que nous appelons « fondateurs » et qui vont perdurer pendant presque toute la période du Bronze final (1057-871 av. J.-C.). Ces palafittes vont être le centre du développement d'une importante communauté au sein de chaque baie qui comprendra également plusieurs villages contemporains, appelés « villages satellites ». Ces derniers se différencient par une occupation plus limitée dans le temps. Leur localisation, dans le voisinage immédiat des « villages fondateurs », suggère leur appartenance à une même communauté et ils devaient nécessairement, vu la configuration des lieux, exploiter le même terroir agricole et forestier. Ce modèle théorique d'occupation a été bien documenté dans la baie de Bevaix et a trouvé des parallèles remarquables dans les autres baies du littoral neuchâtelois. Les villages satellites les mieux étudiés sont ceux de Bevaix-Sud (Arnold et Langenegger, 2012) et Cortaillod-Est (Arnold, 1986), entièrement dégagés lors d'opérations subaquatiques. Ils sont distants de deux kilomètres à vol d'oiseau et se sont développés de façon parfaitement synchrone. Entre ces deux baies, les observations dendroarchéologiques soulignent, à travers les bois architecturaux des maisons, un approvisionnement en bois d'œuvre dans des terroirs forestiers distincts. En revanche, l'analyse des sols, basée principalement sur l'évaluation de leur fertilité chimique et physique, permet de dresser un panorama des potentialités et des contraintes agropastorales. Elle révèle des différences significatives dans la qualité et l'étendue des terres exploitables pour l'agriculture aux alentours des deux baies et met en évidence une probable collaboration dans la gestion du terroir agricole pour subvenir aux besoins alimentaires des populations ; un mode de fonctionnement suggérant ainsi l'existence de liens étroits unissant les deux communautés villageoises (Déak *et al.*, 2020).

Entre 878 et 871 av. J.-C., un événement majeur a dû se produire puisque cette période est marquée par un abandon généralisé de tous les villages existants. Ceux-ci sont remplacés par deux, voire trois énormes habitats, localisés dans les baies de Cortaillod, d'Auvernier et peut-être même de Neuchâtel (fig. 6). Ils sont suffisamment étendus pour permettre aux habitants de toutes les baies de s'y établir. La remontée du niveau du lac n'est pas le facteur déclenchant pour la construction de ces « nouveaux villages » puisqu'ils sont situés plus au large que les villages fondateurs. Vers -850, soit trois décennies après leur création, ces nouveaux villages sont abandonnés, alors que les structures d'habitat doivent être encore dans un très bon état de conservation. Cette fois-ci, cet événement est probablement la conséquence de l'importante péjoration climatique qui, alliant accroissement de la pluviosité et refroidissement, débute vers 850 av. J.-C. (Magny, 2015).

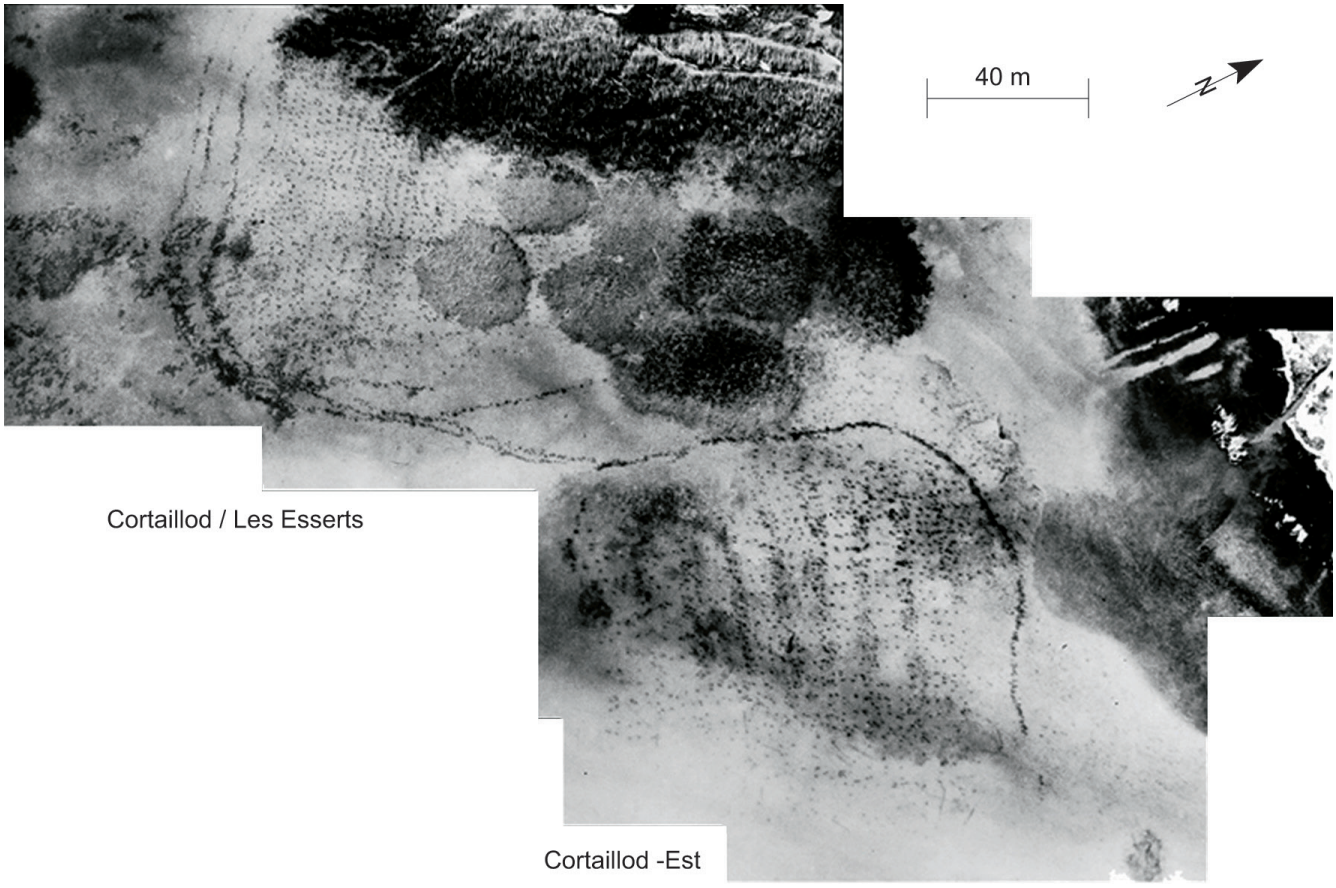


Figure 6 – Photomontage des vues aériennes effectuées en 1927 sur le site du « village satellite » de Cortaillod-Est (à droite) et sur le « nouveau village » de Cortaillod/Les Esserts entouré d'une triple palissade. À gauche ; photomontage © M. Juillard/OPAN.

3.1. La communauté villageoise de la baie de Conjux

En l'état des recherches en 2012, ce modèle théorique d'occupation des baies ne pouvait guère être extrapolé dans d'autres lacs. Mais depuis une dizaine d'années, l'acquisition de données comparables est réalisée en France, grâce aux opérations subaquatiques menées dans la baie de Conjux située au nord-ouest du lac du Bourget (Billaud, 2020). Le village de Conjux-Le Port 3 a été fouillé intégralement et celui de Conjux 1, en grande partie topographié. Entre ces deux villages, l'étude dendrochronologique de 310 sections de pieux a permis d'affiner la chronologie de l'habitat (Billaud et Langenegger, 2018). Ainsi, la contemporanéité de deux stations voisines de Conjux 1 et de Conjux-Le Port 3, nous amène à tenter de proposer ce modèle pour le lac du Bourget. Dans la baie de Conjux se trouve un troisième village de l'âge du Bronze final, Conjux 2, mais cette station n'a pas encore bénéficié de relevés topographiques ni de datations en grand nombre. Un échantillonnage a eu lieu en 1984, quatre gros pieux de section circulaire ont été prélevés dans un triangle de 5 m de côté. Leur datation dendrochronologique a permis de les corréler avec des bois datés sur le gisement de Conjux-Le Port 1 (datation Archéolabs). Les phases d'abattages mises en évidence -875 et -874 correspondent aux phases anciennes de Conjux 1 et prouvent la contemporanéité des deux stations. Sur l'autre rive, la station de Chindrieux/Châtillon, a été topographiée sur 1 700 m² pour une emprise de l'ordre de 5 000 m². Elle montre une structuration évidente avec des alignements orthogonaux et des maisons construites depuis la fin du xe s. av. J.-C. Châtillon se développe au moins jusqu'en -814 et pourrait être le village moteur d'une communauté située à l'extrémité nord du lac du Bourget (Billaud et Langenegger, 2018, p. 403-404). Cinquante ans plus tard que la première phase de construction de Conjux 1, le village de Conjux-Le Port 3 a été construit à proximité immédiate et ces deux villages présentent également des abattages concordants (fig. 5). Une étude sur la gestion du bois d'œuvre est en cours sur le modèle des analyses effectuées dans la baie de Bevaix afin de tirer des enseignements sur la gestion du terroir forestier et sur le type de peuplements exploités par ces deux villages. Mais un lien les unit déjà grâce à l'identification de la récupération d'anciens bois d'œuvre pour la construction de la première structure de Conjux-Le Port 3. En effet, ce village a été bâti en une seule phase de construction avec des arbres abattus entre -814 et -812, mais la structure, la plus à l'ouest du village, comprend des pieux façonnés dans des chênes coupés une vingtaine d'années auparavant (fig. 7).

En 2008, grâce aux premières dates obtenues pour le site de Conjux-Le Port 3, la récupération de bois d'œuvre pour la construction de cette structure avait déjà été identifiée (Billaud, 2011). Cette maison est entièrement faite avec des pieux façonnés dans des chênes abattus entre -832 et -822.

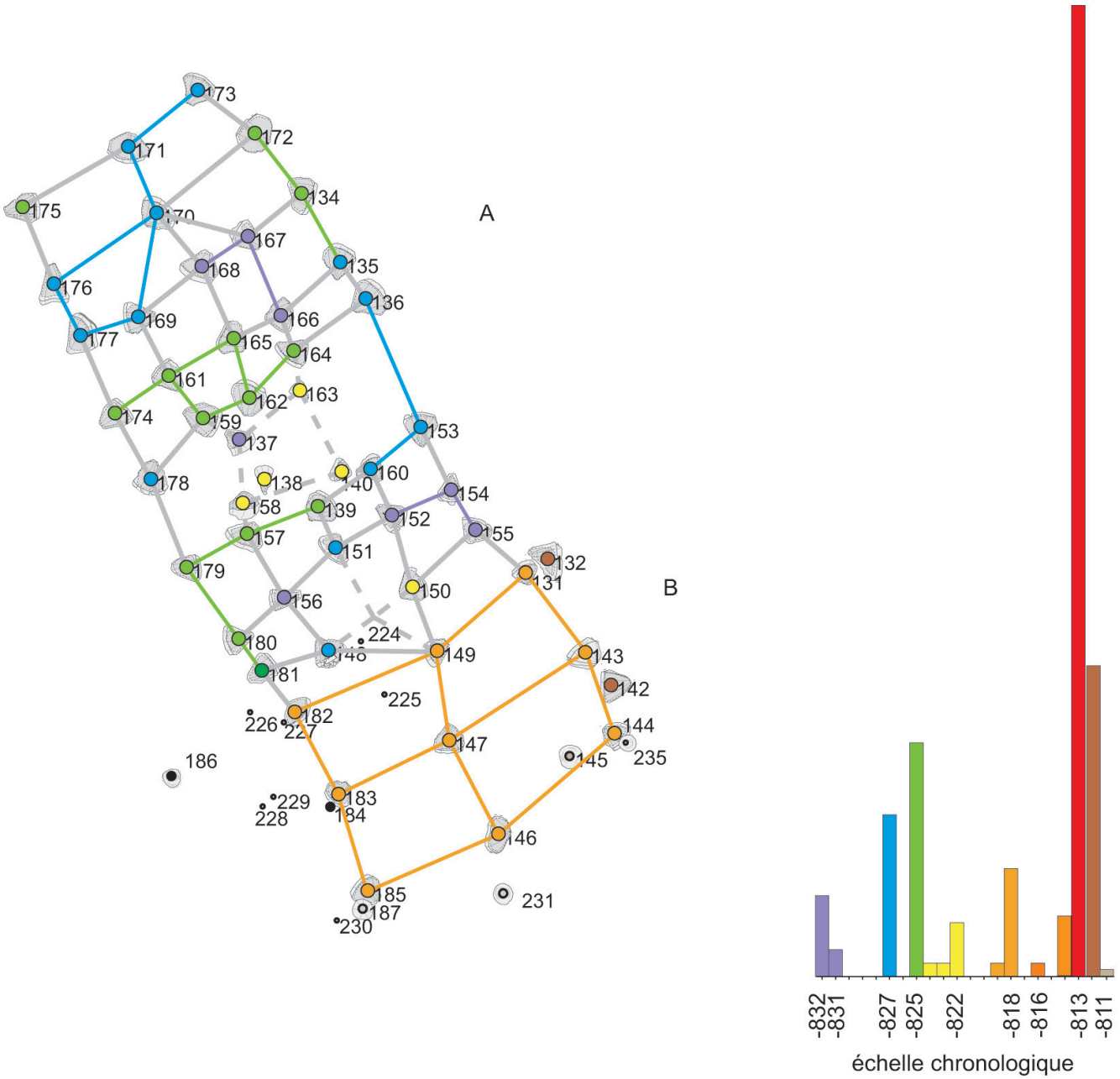


Figure 7 - Plan au sol des structures A et B avec les années d'abattage identifiées des chênes sur le site de Conjux-Le Port 3.
DAO, Y. Billaud / DRASSM, F. Langenegger/OPAN.

Les produits de ces coupes, espacées d'une dizaine d'années, sont mélangés dans le plan au sol. Ainsi, une partie de la structure a pu être construite à partir du printemps -824, puis de nouvelles coupes pendant les trois hivers suivants -824/823, -823/822 et -822/821 ont permis d'obtenir les derniers éléments pour terminer la structure dès le printemps -821. La structure est agrandie en -818 avec l'ajout des trois nouvelles rangées de pieux de la partie B. Cette coupe de -818 semble être la première réalisée pour la construction du village de Conjux-Le Port 3. Le reste des pieux témoignent d'une relation entre les deux villages de Conjux-Le Port 3 et Conjux 1, car ces anciennes coupes de chêne, mises en évidence dans cette structure, correspondent à des phases d'abattage de Conjux I (fig. 5).

Dans la baie de Bevaix, lors de l'étude dendroarchéologique du village satellite de Bevaix-Sud, neuf pieux affichaient des dates nettement plus anciennes que la fondation du village en -1009/-1007 et coïncidaient avec des coupes de bois du village fondateur de Bevaix / L'Abbaye 2. L'échantillon le plus ancien de la baie provient même de ce lot et date d'une coupe effectuée pendant l'hiver -1053/-1052, qui concorde avec la première phase d'abattage du village fondateur de cette communauté villageoise. Ces pièces de bois avaient été conservées dans l'eau avant d'être recyclées comme pieux de fondation. Ces bois n'ont pas participé aux phases de construction des maisons, mais ont servi comme pieux de réparation ou comme pieux pour des structures annexes à l'habitat (Arnold et Langenegger, 2012, p. 82).

4. La dendrochronologie, au-delà de l'exercice de datation

Lorsque les ressources forestières le permettaient, les lacustres ont toujours privilégié le chêne pour créer l'ossature de leurs structures d'habitat. Le choix de l'essence arborescente n'est pas fortuit et la plus appropriée était utilisée en fonction du type de construction. La détermination de la date d'abattage de chaque chêne permet de définir les phases de construction, de réparation ou d'agrandissement des structures. Pour distinguer les peuplements forestiers exploités pour la préparation du bois d'œuvre, les datations sont triées non plus en fonction de la date de coupe, mais selon les dates des premiers cernes mesurés pour les pieux qui ont conservé la moelle ou en tenant compte de l'estimation de celle-ci pour les autres bois. Il est important de faire la différence entre la date de naissance d'un arbre déterminée sur l'échantillon biologique (selon la mesure ou l'estimation de la moelle) et l'âge réel de l'arbre, qui doit encore prendre en compte la hauteur de l'échantillon et ajouter le nombre de cernes manquants (fig. 8). Il faut effectuer une correction en vieillissant l'échantillon de plusieurs années. La différence du nombre de cernes entre la base de l'arbre et la hauteur biologique de l'échantillon est estimée entre 20 et 40 cernes, ce qui correspond à autant d'années (Arnold et Langenegger, 2012, p. 141-143). L'observation des nœuds présents sur les pieux montre que le façonnage de la pointe a été généralement effectué du côté de la cime de l'arbre.

4.1. La régénération forestière au Bronze moyen et au début du Bronze final

Grâce à la détermination des peuplements exploités pendant l'âge du Bronze, à côté de la restitution du plan de l'habitat, beaucoup d'autres thématiques peuvent être abordées grâce à l'analyse des cernes de croissance comme la provenance des bois, l'étude des ressources forestières, ou la gestion du bois d'œuvre. Ces informations aident à mieux comprendre les rapports tissés entre un site archéologique et son milieu naturel (Langenegger, 2019). Les chronologies couvrent une période beaucoup plus large que la période d'occupation des sites et, ainsi, peuvent venir combler les vides, notamment pour les phases de transition entre les occupations lacustres. Les pieux de fondation des maisons étaient régulièrement façonnés dans de vieux chênes bicentenaires, tricentenaires, voire même quadricentenaires. En effet, sur le site d'Hauterive-Champréveyres 3 au bord du lac de Neuchâtel, les plus vieux arbres abattus comptent entre 400 et 417 cernes de croissance mesurés. Ils permettent de faire remonter les chronologies de référence jusqu'au début du XIVe s. av. J.-C. (fig. 9). Ces arbres ont été abattus principalement vers 946 av. J.-C. à la fin de la dernière grande phase de construction du village. Ce vieux peuplement devait se situer assez loin du village pour être exploité seulement 110 ans après les premières architectures de cette station qui continuera d'être habitée jusqu'en 871 av. J.-C., mais avec une diminution drastique des abattages (Pillonel, 2007). Ces chênes sessiles préhistoriques d'Hauterive peuvent aujourd'hui être comparés avec les derniers survivants de la futaie Colbert en forêt de Tronçais (Allier), mais avec un cerne moyen de 0,43 mm par an, les chênes d'Hauterive poussaient presque trois fois moins vite.

L'acquisition de ces données dendroarchéologiques apporte des éclairages sur la dynamique forestière pendant ces périodes de transition entre les occupations lacustres (Billamboz *et al.*, 2017). Les peuplements forestiers ne présentent pas un paysage homogène qui aurait été régénéré par la déprise générale du Bronze moyen, mais montre plutôt une mosaïque de peuplements de chênaies mixtes, d'âges variés, dues aux activités humaines. Cette variabilité constatée dans les âges des peuplements de chêne est particulièrement importante le long des rives du lac de Neuchâtel (Billamboz *et al.*, 2017, p. 602). À l'âge du Bronze, l'homme n'a jamais cessé de modeler le paysage forestier, même pendant

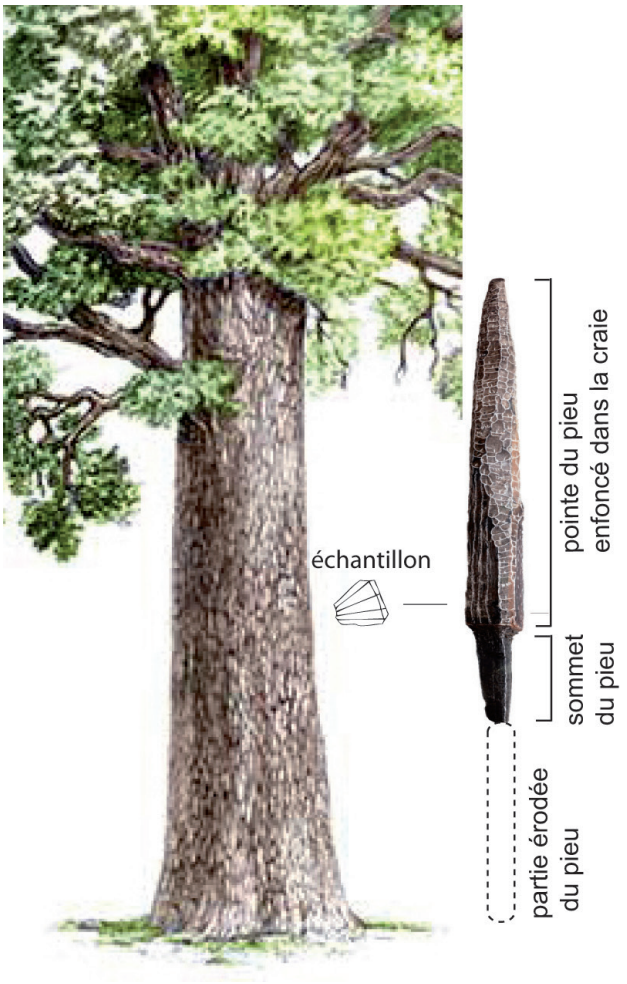


Figure 8 - Restitution de la position d'un pieu sur un tronc de chêne avec l'estimation minimale de la hauteur du prélèvement par rapport à la souche de l'arbre qui contient le maximum de cernes de croissance. Ainsi, toute la partie érodée du pieu correspond à autant de mètres entre la souche de l'arbre et l'échantillonnage effectué pour l'analyse dendrochronologique.

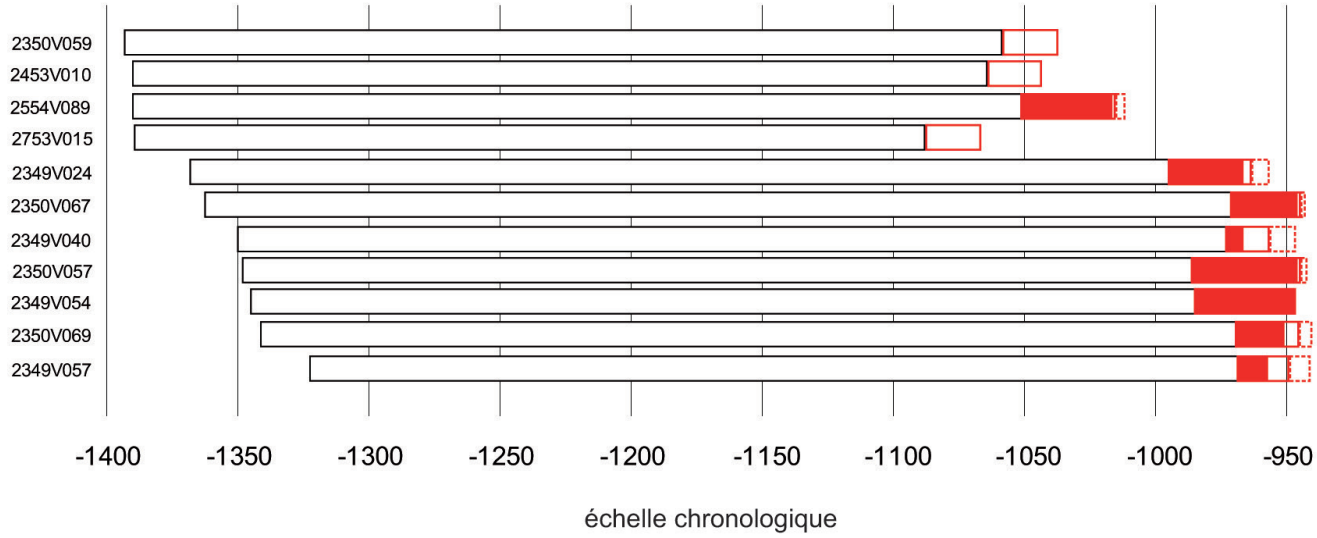


Figure 9 - Blocs-diagrammes des courbes de croissance des chênes quadricentenaires d'Hauterive-Champréveyres. DAO F. Langenegger/OPAN.

cette longue absence de l'habitat littoral du Bronze moyen et du Bronze récent. Si les habitats ne sont plus en contact direct avec l'eau, le lac continue de jouer un rôle primordial. Le patrimoine immergé recèle de nombreux indices qui témoignent des activités humaines à cette époque en lien avec le lac et la forêt. Le lac est utilisé pour se déplacer et plusieurs pirogues retrouvées datent de cette phase de repli dans l'arrière-pays. Ces esquifs témoignent de l'activité de pêche, du transport de personnes et également de marchandises. En effet, une des plus grandes pirogues retrouvées en Suisse date du tout début du Bronze récent, un monoxyle en chêne de 11 m de long pour 1 m de large. Elle a été découverte au large de la commune de Grandson le long de la rive nord du le lac de Neuchâtel. Cette pirogue peut être considérée comme un chaland préhistorique avec ses 3 tonnes de charge utile (Arnold, 1996, p. 71). Pour cette même époque, une découverte récente dans le lac de Neuchâtel témoigne du transport du bois sur le lac et de l'exploitation continue de grosses pièces de chêne. En février 2019, lors d'un vol de prospection en ballon dirigeable, deux troncs disposés côte à côte ont été observés à 700 m au large de la commune de La Tène. Des plongées ont permis de documenter ces bois qui gisent à 5 m de profondeur. Le plus grand est une bille de chêne sessile fendue en deux, mesurant 12,10 m de long pour une section de 30 cm de diamètre. Il présente un aménagement à une extrémité sous la forme d'une mortaise traversante (fig. 10). Il est associé à un second tronc contemporain en sapin, de forme circulaire et non travaillée. L'analyse dendrochronologique les situe au milieu du XIIe s. av. J.-C, une centaine d'années avant la réappropriation des rives au Bronze final. Il est possible que la mortaise ait eu pour seule fonction de permettre le passage d'une corde afin de faciliter son tractage par une pirogue. Le transport par flottage de troncs en chêne est problématique, car leur densité est très proche de 1 g/cm^3. Ainsi, une fois imprégnés d'eau, ils coulent. Une solution à ce problème est d'y attacher un bois de plus faible densité qui agit comme un flotteur, un sapin dans le cas précis (0,5 g/cm^3). Cette découverte permet, en plus d'une interprétation originale, de disposer de deux nouvelles courbes qui remontent le temps jusqu'en 1345 av. J.-C. pour deux essences différentes.

4.2. Les remontages des produits de refente

Une approche intéressante du matériel ligneux consiste en la comparaison des courbes des chênes entre elles pour isoler les pieux provenant d'un même individu. Chaque arbre a sa propre histoire et, dans la pratique, deux séquences ne sont jamais parfaitement identiques, mais elles comportent des similitudes qui peuvent être quantifiées statistiquement. Dans le cas des signatures climatiques, le dendrochronologue recherche des ressemblances graphiques qui se retrouvent sur toutes les courbes de croissance, sans exception, et qui correspondent à des conditions climatiques extrêmes. À l'inverse, pour retrouver des bois provenant d'un même arbre, le dendrochronologue recherche des irrégularités graphiques qui apparaissent uniquement sur quelques séquences individuelles. Il s'agit de retrouver des singularités propres à un seul arbre qui s'observent surtout sur le rythme de pousse (le *trend*), par des ruptures ou des reprises de croissance spécifiques, parfois indépendantes du climat. Si un stress subi par un arbre peut venir perturber sa synchronisation sur un référentiel, à l'inverse, il devient un élément majeur permettant d'identifier les courbes d'un même arbre (Langenegger, 2012, p. 246-250).

Les objectifs d'un tel travail sont la détermination de la répartition spatiale des pieux, le mode de distribution des produits façonnés dans un même arbre depuis la forêt jusqu'au village. Un tel exercice n'est envisageable que

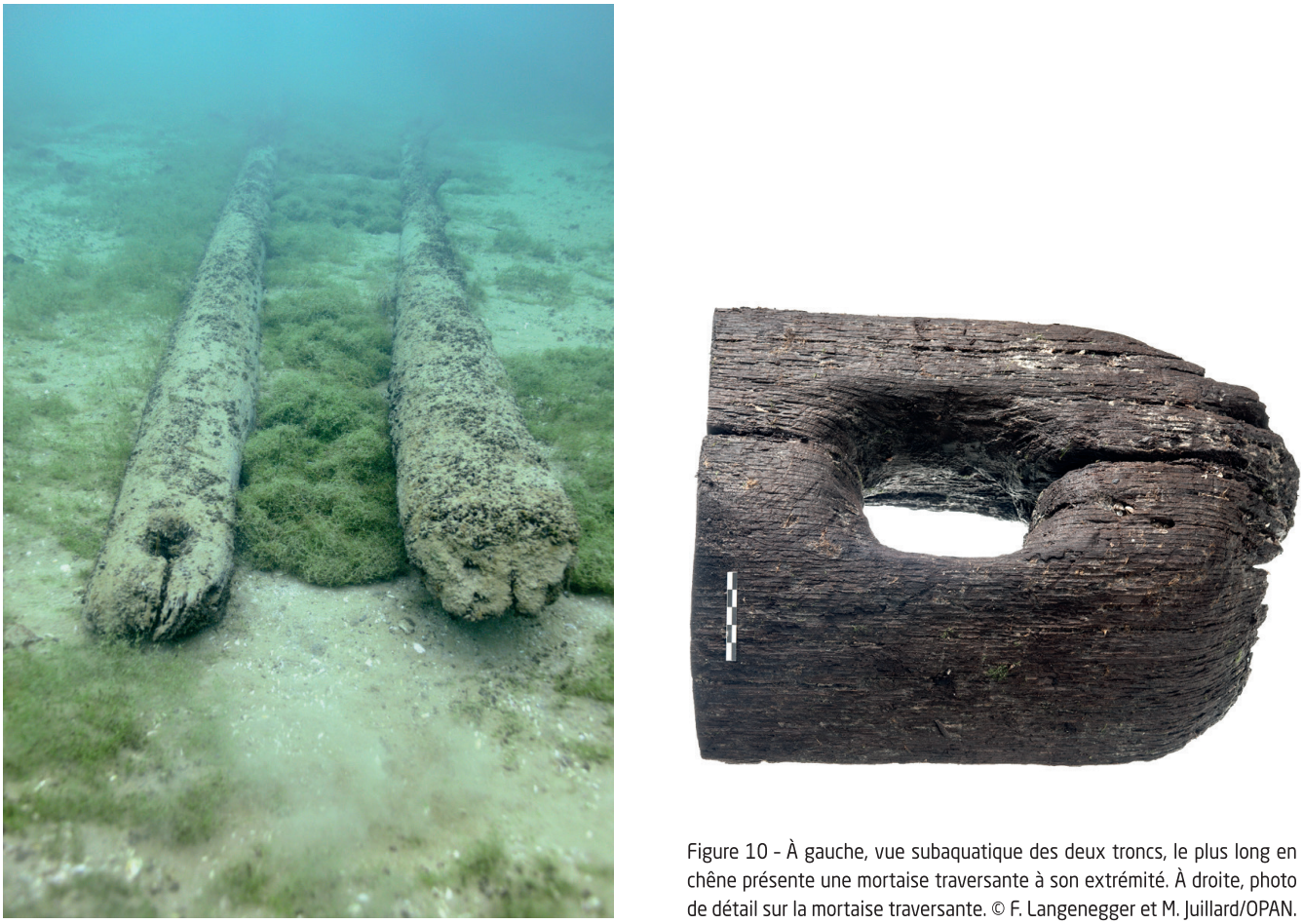


Figure 10 - À gauche, vue subaquatique des deux troncs, le plus long en chêne présente une mortaise traversante à son extrémité. À droite, photo de détail sur la mortaise traversante. © F. Langenegger et M. Juillard/OPAN.

pour l'étude d'un village fouillé et daté intégralement. Une méthode développée lors de l'étude du site de Bevaix-Sud qui a montré une gestion du bois par maisonnée. La même technique d'assemblage a récemment été appliquée aux échantillons provenant de la fouille intégrale du village de Conjux-Le Port 3. Là également, la quasi-totalité des pieux provient d'un travail de refente en tiers ou en quarts de chênes centenaires ou bicentenaires (Billaud et Langenegger, 2021). Toutes les mesures de Conjux-Le Port 3 ont été calculées entre elles avec des valeurs minimales très élevées pour les coefficients de synchronisation afin de retrouver les assemblages les plus représentatifs. Des valeurs sont définies pour chaque calcul, plus de 11 lors du test de Student (indice BP), 6 au moins sur le test d'Eckstein et moins de 2,5 pour la distance euclidienne. Ensuite, parmi les assemblages qui ressortent, les autres critères anatomiques sont vérifiés. En diminuant les valeurs minimales, la liste des assemblages extraits des calculs augmente et le temps de travail passé à contrôler les critères anatomiques prend l'ascenseur. Il s'agit, pour chaque site étudié, d'adapter la méthode, de trouver un juste milieu entre calculs de corrélation et interprétations visuelles. Ce travail est plus facile sur de longues courbes de croissance où l'étude des cernes peut se faire sur les trois phases de croissance du chêne, juvénile, mature et sénescente.

Les résultats obtenus pour le site de Conjux-Le Port 3 sont riches en enseignements (fig. 11) et la répartition des produits de refente montre clairement que le travail de construction a été également organisé, de la forêt au village, par maisonnée comme dans la baie de Bevaix. Les produits d'un chêne se trouvent concentrés dans une seule structure. Il n'y a pas de liens entre les maisons. Et si un tronc est refendu en quarts et que seulement deux pieux remontent ensemble, le reste du chêne a pu servir à d'autres pièces d'architecture de la maison.

5. Perspectives

Aujourd'hui, les apports de la dendrochronologie dépassent largement l'exercice premier de la datation. L'étude du matériel ligneux passe par trois étapes. La première est purement chronométrique et permet de fournir des dates absolues. Dans la deuxième étape, l'accent est porté sur l'arbre, les peuplements, la provenance du bois grâce à une lecture attentive de l'évolution des cernes de croissance. Enfin, le dernier volet se concentre sur l'intégration de ces données au sein d'un site archéologique. Le bois, replacé dans son cadre naturel, reflète ainsi la croissance, année après année, du peuplement forestier soumis aux caprices du climat et permet de saisir les premières formes de domestication du

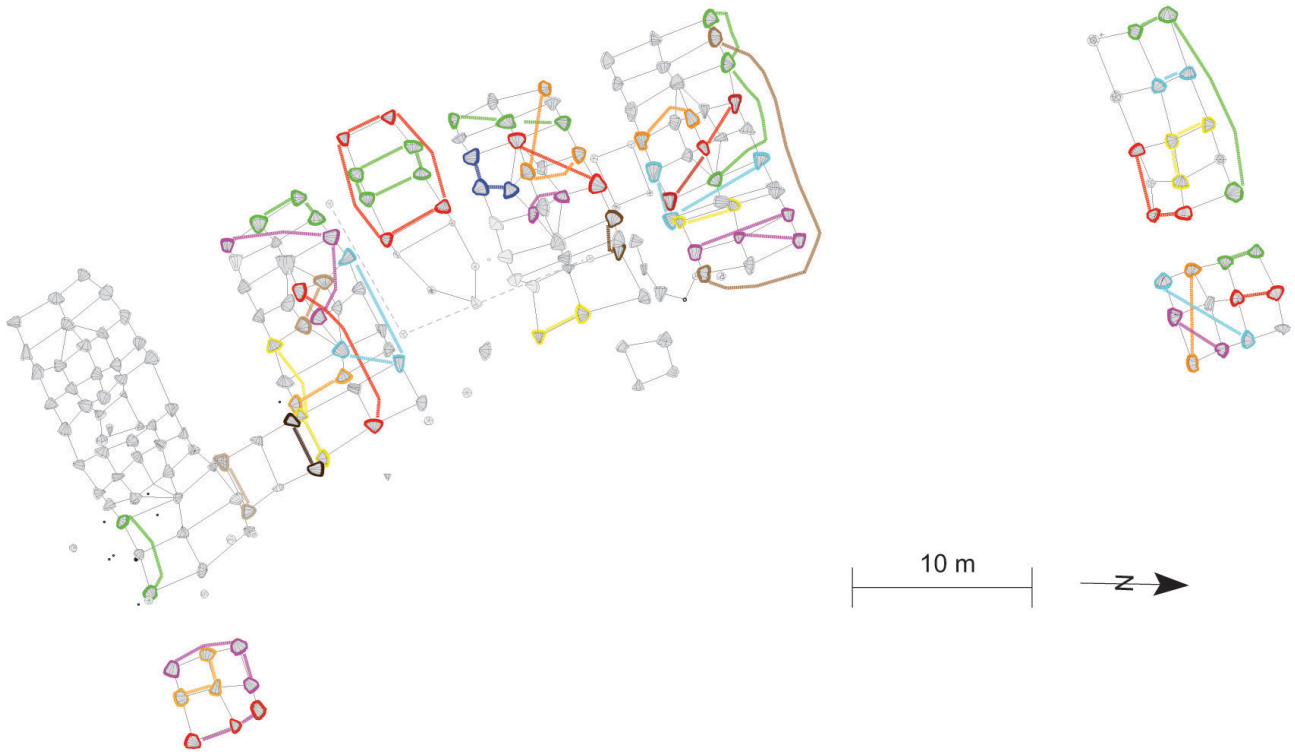


Figure 11 - Plan du village de Conjux-Le Port 3 avec les principaux assemblages effectués. Les produits de refente d'un même arbre se retrouvent dans une seule structure. DAO, Y. Billaud/DRASSM, F. Langenegger/OPAN.

paysage forestier par les groupements humains dans leurs activités agricoles, pastorales et constructrices. Pour aboutir à la troisième étape, il faut pouvoir travailler à partir d'un corpus de centaines, voire de milliers de mesures dendrochronologiques. La réalisation d'une étude dendroarchéologique ou dendroécologique est souvent confrontée à l'accès à ces données de base, les fichiers de mesure au 1/100e de mm qui sont le fonds de commerce d'un laboratoire. Le partage de ces données avec des chercheurs n'est pas toujours possible et la portée géographique d'une étude dendrochronologique est souvent très limitée. Depuis plus d'une dizaine d'années, des collaborations étroites sont effectuées entre le lac de Neuchâtel et les lacs savoyards qui permettent de partager les connaissances acquises de part et d'autre de la frontière pour l'étude de l'âge du Bronze. Aujourd'hui, cette collaboration se poursuit avec un accent mis sur l'étude des peuplements forestiers afin de mieux intégrer les sites fouillés avec leur environnement naturel, la réalisation effective de la troisième étape.

Fabien Langenegger

Archéologue-dendrochronologue
Laboratoire de dendrochronologie, Office du patrimoine et de l'archéologie de Neuchâtel, Espace Paul Vouga 7
CH-2068 Hauterive (NE)
fabien.langenegger@ne.ch

Bibliographie

Arnold B., 1986, *Cortaillod-Est, un village du Bronze final. Fouille subaquatique et photographie aérienne*, Saint-Blaise, Office du patrimoine et de l'archéologie, Archéologie neuchâteloise, 1, 200 p.

Arnold B., 1996, *Pirogues monoxyles d'Europe centrale : construction, typologie, évolution*, Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie, Archéologie neuchâteloise, 21, t. 2, 167 p.

Arnold B. et Langenegger F., 2012, *Plateau de Bevaix, 8. Bevaix-Sud : plongée dans le passé, fouille subaquatique d'un village du Bronze final*, Neuchâtel, Office et musée cantonal d'archéologie, Archéologie neuchâteloise, 50 ; cd-rom, 261 p.

Billamboz A., Bleicher N., Gassmann P., Langenegger F., Gut U. et Martinelli N., 2017, « Dendroarchéologie du Bronze moyen au nord et au sud des Alpes : de la chronologie aux questions de climat et d'écologie », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Véber C. (éd.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (XVIIe-XVIIIe s. av. J.-C.), Colloque APRAB "Bronze 2014" (Strasbourg, 17-20 juin 2014)*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 601-614.

Billaud Y., 2011, « Récupération de bois d'œuvre et réemploi sur une station littorale de la fin du Bronze final : Conjux / Le Port 3, lac du Bourget, Savoie », dans Sénépart I., Perrin T., Thirault É. et Bonnardin S. (dir.), *Marges, frontières et transgressions, actes des 8e Rencontres méridionales de préhistoire récente (Marseille, 7-8 novembre 2008)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 475-480.

Billaud Y., 2020, « Les palafittes des lacs savoyards : du bâtiment au territoire, quels éléments d'interprétation ? », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terre et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificité et relations avec l'arrière-pays*. Actes de la séance de la Société préhistorique française (Agde, 2017), Paris, Société préhistorique française, Séances de la SPF, 14, p. 47-65.

Billaud Y. et Langenegger F., 2021, « Du bâtiment aux villages littoraux : deux décennies d'investigations dans les lacs savoyards », dans Marcigny C. et Mordant C., *Bronze 2019, 20 ans de recherche. Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux, 19-22 juin 2019)*, p. 361-371.

Billaud Y. et Langenegger F., 2018, « Formes et rythmes de l'habitat palafittique à la fin de l'âge du Bronze sur les rives des lacs de Neuchâtel (Suisse) et du Bourget (Savoie, France) », dans Lermercier O., Sénépart I., Besse M. et Mordant C. (dir.), *Habitations et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en France et ses marges, actes des 2e Rencontres nord-sud de préhistoire récente (Dijon, 19-21 novembre 2015)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 395-406.

Billaud Y. et Marguet A., 2007, « Les installations littorales de l'âge du Bronze dans les lacs alpins français : état des connaissances », dans Mordant C., Richard H. et Magny M. (dir.), *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale, actes du 129e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Besançon, 2004)*, Paris, éditions du CTHS, Documents préhistoriques, 21, p. 211-225.

Corboud P., 2020, « Le peuplement du bassin lémanique au Bronze final. La contribution des sites littoraux », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terres et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificité et relations avec l'arrière-pays. Actes de la séance de la Société préhistorique française (Agde, 20-21 octobre 2017)*, Paris, Société préhistorique française, Séances de la SPF, 14, p. 67-78.

Corboud P., 2012, « L'archéologie lémanique un siècle après F. A. FOREL : quelques questions encore à résoudre…, *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 65, p. 237-248.

Crivelli C., Blumer R., Mauvilly M., Langenegger F. et Bär B., 2012, « Passé, présent et avenir de l'archéologie lacustre fribourgeoise », *Cahiers d'Archéologie fribourgeoise*, 14, p. 4-88.

Deak J., Langenegger F. et Wüthrich S., 2020, « Les baies lacustres de Bevaix et de Cortaillod, organisation de l'habitat et occupation de l'arrière-pays (Plateau de Bevaix, Neuchâtel, Suisse) », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terres et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificité et relations avec l'arrière-pays. Actes de la séance de la Société préhistorique française (Agde, 20-21 octobre 2017)*, Paris, Société préhistorique française, Séances de la SPF, 14.

Kramer L. et Mauvilly M., 2020, « Essai sur la dynamique de peuplement à l'échelle du canton de Fribourg, 2020 », dans Lachenal T., Roure R. et Lemercier O. (dir.), *Demography and Migration: Population trajectories from the Neolithic to the Iron Age, Proceedings of the XVII UISSP World Congress (Paris, 4-9 June 2018)*, vol. 5, p. 21-38.

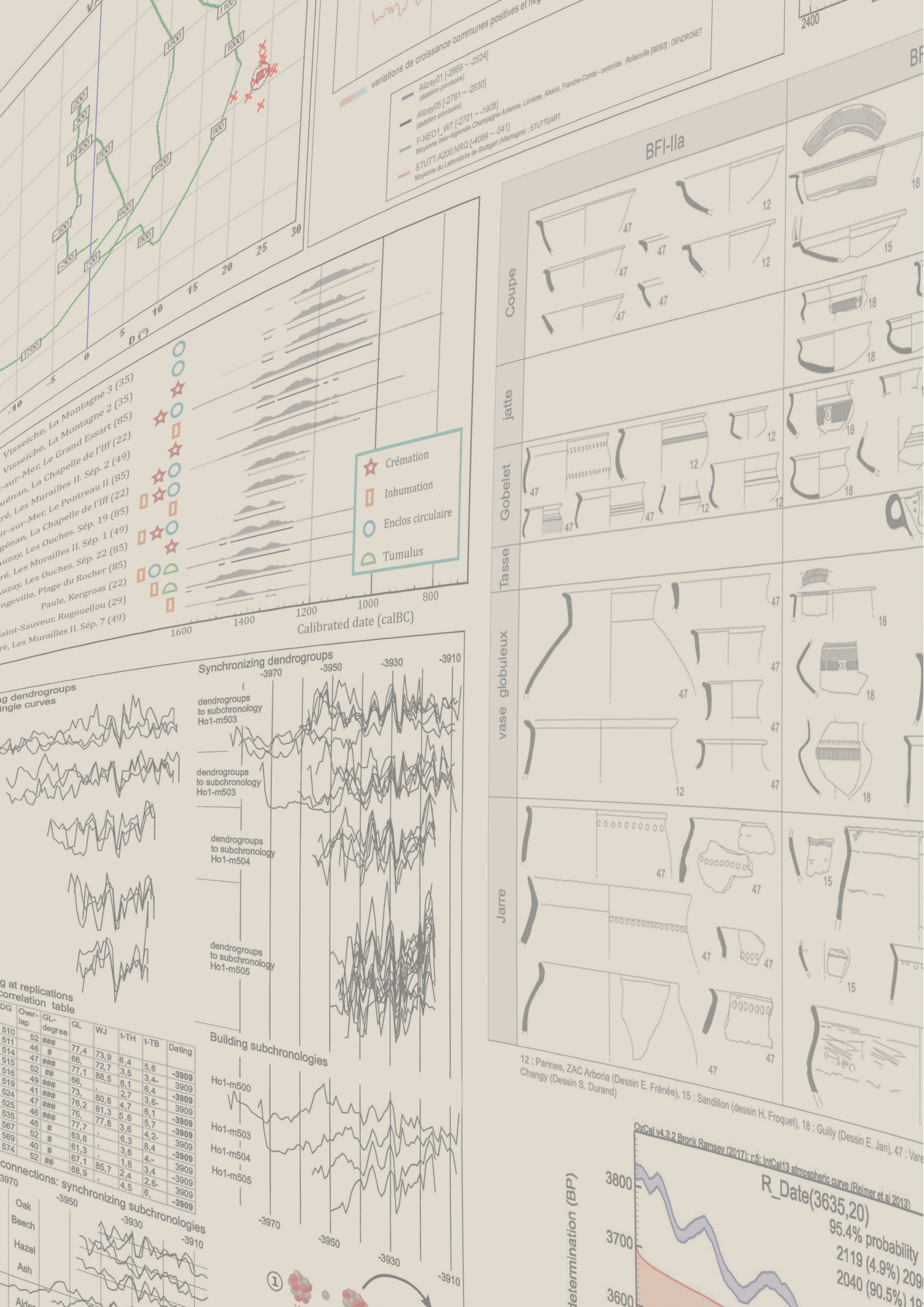
Langenegger F., 2012, « De la forêt au village sur le littoral neuchâtelois. Dendroarchéologie des pieux de Bevaix/Sud (Neuchâtel, Suisse, 1009 à 952 av. J.-C.) », dans Honegger M. et Mordant C. (éd.), *L'homme au bord de l'eau : archéologie des zones littorales du Néolithique à la Protohistoire. Actes du 135e congrès CTHS « Paysages » (Neuchâtel, 2010)*, Paris, Cahiers d'Archéologie Romande, 132, p. 23-259.

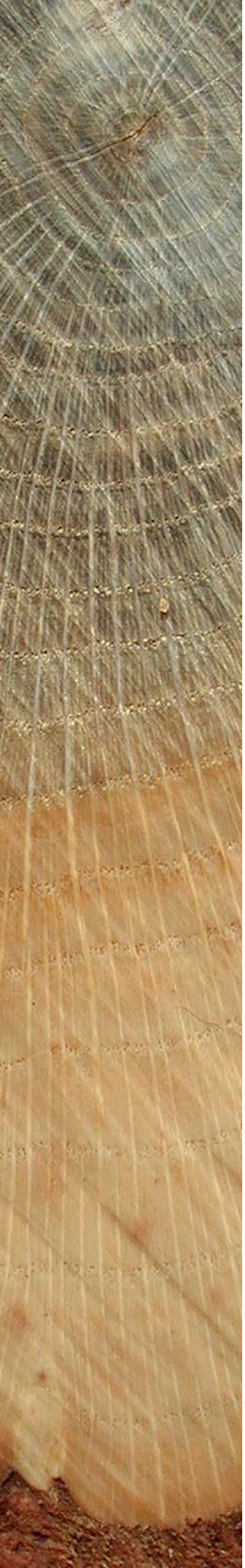
Langenegger F., 2019, « Dendroarchéologie et dynamique de construction d'un village de l'âge du Bronze final. Entre maisonnées et espaces collectifs à Bevaix Sud (Neuchâtel, Suisse) », dans Shindo L., Édouard J.-L., Sumera F., Bailly M. et Hartmann-Virnich A. (dir.), *ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement, actes du colloque ARCADE 2014, Aix-en-Provence*, Aix-en-Provence, Direction régionale des Affaires Culturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur, p. 59-68.

Magny M., 2015, « Climatic variations in the Circum-Alpine area during the period 4500-2500 cal BP, as reflected by palaeohydrological changes », dans Menotti F. (dir.), *The end of the lake-dwellings in the Circum-Alpine region*, Oxford, Oxbow Books, p. 85-100.

Pillonel D., 2007, *Hauterive-Champréveyres 14. Technologie et usage du bois au Bronze final*. Neuchâtel, Office et musée cantonal d'archéologie, Archéologie neuchâteloise, 37, 322 p., 51 pl.

Winiger A. et Burri-Wyser E., 2012, *La station de Concise 5. Les villages du Bronze ancien : architecture et mobilier*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande, 135, 414 p.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



Composer le temps en archéologie avec ChronoModel

Philippe Lanos et Philippe Dufresne

Résumé

L'analyse statistique bayésienne des données chronologiques s'est considérablement développée dans le domaine de l'archéologie depuis les années 1990. Nous proposons ici une revue des différents aspects de la modélisation chronologique vue au travers du logiciel ChronoModel. Cette modélisation repose sur une approche probabiliste qui est elle-même basée sur la statistique bayésienne. Cette approche permet de formaliser une connaissance chronologique *a priori* que l'on combine aux données de datation fournies par les laboratoires de datation et par l'expertise des archéologues (typochronologie) afin d'améliorer notre connaissance sur la chronologie. C'est un processus d'apprentissage qui suit au plus près la démarche des archéologues tout en permettant de gérer efficacement les problèmes liés aux incertitudes. Le logiciel ChronoModel (gratuit, open-source et multiplateforme) formalise le raisonnement archéologique en suivant le cadre bayésien grâce à une ergonomie la plus intuitive possible, tout en permettant d'effectuer une inspection approfondie des calculs effectués. Nous exposons la démarche bayésienne par une présentation progressive des différents modèles (date calibrée, date d'événement, phase temporelle) et outils d'analyse (post-traitement, analyse du rythme des événements) mis en œuvre pour construire un modèle chronologique et interpréter les résultats.

Mots-clés

modélisation chronologique, statistique bayésienne, calibration, modèle de date d'événement, phase chronologique, contraintes sur le temps, multi-phasage, post-traitement, Tempo-Plot, Courbe d'activité, logiciel ChronoModel.

Abstract

Bayesian statistical analysis of chronological data has developed considerably in the field of archaeology since the 1990s. We propose here a review of the different aspects of chronological modelling as seen through the ChronoModel software. This modelling is based on a probabilistic approach which is itself based on Bayesian statistics. This approach makes it possible to formalise *a priori* chronological knowledge that is combined with dating data provided by dating laboratories and by the expertise of archaeologists (typochronology) in order to improve our knowledge of chronology. It is a learning process that follows the archaeologists' approach as closely as possible while allowing the problems linked to uncertainties to be managed efficiently. The ChronoModel software (free, open-source and multi-platform) formalises archaeological reasoning by following the Bayesian framework thanks to the most intuitive ergonomics possible, while allowing for a thorough inspection of the calculations made. We explain the Bayesian approach through a progressive presentation of the different models (calibrated date, event date, temporal phase) and analysis tools (post-processing, analysis of the rhythm of events) used to build a chronological model and interpret the results.

Keywords

Chronological modelling, Bayesian statistics, calibration, Event date model, chronological phase, temporal constraints, multi-phasing, post-processing, Tempo-Plot, activity curve, ChronoModel software.

L'analyse statistique bayésienne des données chronologiques s'est considérablement développée dans le domaine de l'archéologie depuis les années 1990. Ce développement répond à l'augmentation considérable des données de datation qu'il n'est plus possible de traiter de façon « manuelle ». Le succès de cette approche de modélisation repose sur la capacité à incorporer plusieurs sources de données et de connaissance très variées, dites *a priori*, dans des modèles chronologiques complexes, et sur la capacité à prendre en compte la variabilité et les incertitudes des datations. Les inférences et les prédictions produites par cette modélisation bayésienne s'expriment sous une forme probabiliste permettant une analyse quantifiée de la chronologie. Nous présentons ici, dans le cadre du logiciel ChronoModel que nous développons, les outils qui permettent d'analyser les données chronologiques (datations de laboratoire, datation des mobiliers archéologiques, datation relative, datation historique, ensembles culturels...) dans le but d'obtenir les informations temporelles d'intérêt : date d'un événement, début, fin, durée, hiatus ou bien encore rythme d'un ensemble d'événements.

L'approche statistique bayésienne permet de combiner les mesures chronométriques (les datations) avec les informations archéologiques *a priori*. Cette approche a donné naissance à essentiellement trois logiciels de modélisation chronologique : OxCal (1995, 2001), Bcal (1999) et ChronoModel (2015, 2019). Les résultats de la combinaison bayésienne s'expriment sous la forme de densités de probabilité dites *a posteriori*. Les observations (données ≡ dates) viennent ainsi améliorer, on peut dire corriger, les informations (la connaissance) *a priori* pour obtenir, *a posteriori*, une connaissance sur la chronologie des événements étudiés plus fiable et plus précise.

Le projet ChronoModel développé au laboratoire d'archéomagnétisme de Rennes, au sein de l'UMR 5060 IRAMAT-CRP2A de l'université Bordeaux-Montaigne et au sein de l'UMR 6118 Géosciences-Rennes à l'université de Rennes 1, a été soutenu par le programme ANR-11-MONU-007 de 2011 à 2015. Depuis cette date, notre équipe, avec la collaboration des archéologues, continue de développer le logiciel, ce qui a donné lieu à deux nouvelles versions mises en ligne en 2016 et en 2019.

1. Construire une chronologie dans le cadre du paradigme bayésien

Les informations chronologiques en archéologie peuvent être classées en deux grandes catégories : les informations qui sont obtenues avant toute datation, et les datations proprement dites (dites observations, ou encore données, traduites par le terme *data* dans ChronoModel) qui sont fournies par les expertises des archéologues et des historiens et par les laboratoires de datation.

1.1. Les informations chronologiques *a priori*

Les informations chronologiques *a priori* sont appelées ainsi du fait qu'elles sont connues avant d'avoir effectué des datations « absolues ». Nous identifions au moins trois types d'information *a priori* :

- a. Le premier type d'information *a priori* intégré dans ChronoModel est représenté par la période durant laquelle on suppose que les événements étudiés sont survenus. Cette information intervient avant le processus de datation lui-même et est fournie par la connaissance « antérieure » de l'archéologue ou de l'historien sur le phénomène étudié. Elle s'exprime par un intervalle de date calendaire $[T_a, T_b]$ appelé « plage d'étude » (*study period* dans ChronoModel). C'est une information *a priori* nécessaire afin de rendre possible les calculs en termes de probabilité. Notons que cette information peut contraindre fortement les dates à l'intérieur de la plage d'étude si celle-ci est petite par rapport à l'étendue des dates. Les bornes de la plage d'étude constituent de fait un terminus *post quem* (TPQ) et un terminus *ante quem* (TAQ) pour toutes les dates d'événement mises en jeu dans l'étude.
- b. Le deuxième type important d'information *a priori* concerne les relations d'antéro-postériorité. Les relations d'ordre sur le temps entre des événements, qui définissent la datation relative, peuvent par exemple être déduites de l'étude de la stratigraphie. Ces relations peuvent aussi être déduites de l'étude de l'évolution de « faciès » au cours du temps : céramique, lithique, technique, architectural, sédimentologie, botanique qui définissent des phases chronologiques. Les études de sériation sur les artéfacts par exemple peuvent mettre en évidence de telles relations d'ordre entre des phases. Indiquons dès à présent que, dans ChronoModel, la phase correspond à un groupe d'événements (voir section 6).
- c. L'information *a priori* peut provenir de la connaissance de la durée maximale d'un groupe d'événements (durée maximale d'une phase). Par exemple, la durée d'occupation d'une maison peut être connue à l'avance, sur la base de critères historiques ou anthropologiques par exemple, avant tout processus de datation sur des artéfacts qui y sont découverts. Cette information peut aussi provenir d'un hiatus connu par avance entre deux groupes d'événements (deux phases) : ce hiatus est l'écart de temps minimal qui sépare les événements des deux groupes.

1.2. Les observations : les datations de laboratoire

Afin d'améliorer notre connaissance sur la date des événements pour lesquels nous disposons des informations *a priori* précédentes, nous effectuons des datations d'artéfacts grâce à des mesures chronométriques (méthodes ^{14}C, TL/OSL, DC,

AM, etc.). Nous pouvons aussi dater les artéfacts à l'aide de comparaisons avec des références (corpus) bien datées : ce sont les marqueurs chronologiques de la typochronologie. Nous verrons plus loin que ces différentes datations (appelées *data* dans ChronoModel) peuvent s'exprimer mathématiquement sous la forme de distributions de probabilité de date.

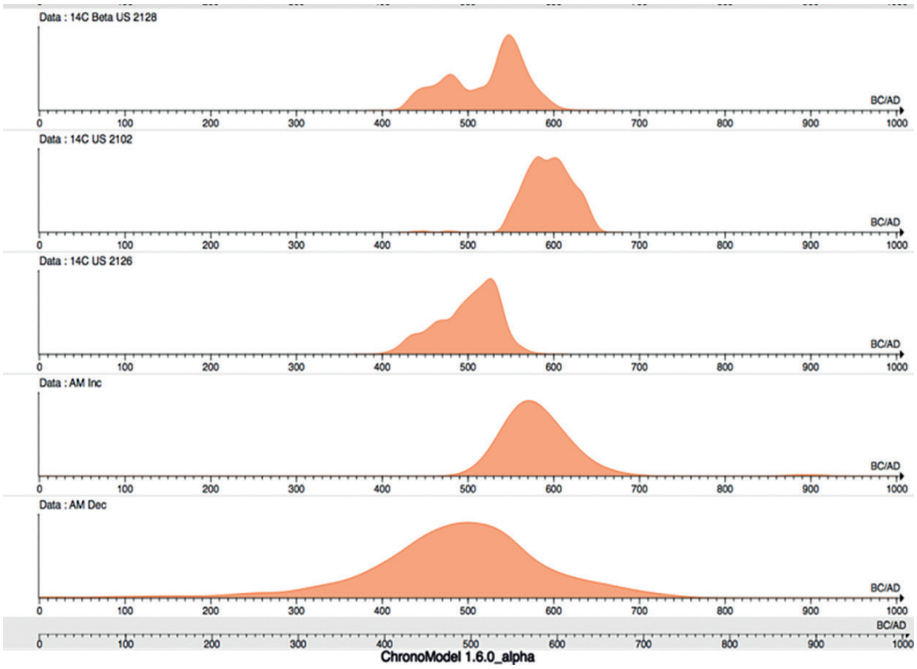


Figure 2 - Exemples de distributions de date *a posteriori* obtenues par datation ^{14}C et par archéomagnétisme. Ces distributions, qui sont aussi appelées « densités de probabilité de date », expriment le fait que la date vraie se situe quelque part sous cette courbe et plus probablement vers les régions de plus forte densité.

1.3. Combinaison de l'information *a priori* avec les observations : statistique bayésienne et information *a posteriori*

L'objectif de la combinaison de l'information *a priori* avec les observations est de pouvoir estimer dans un second temps, *a posteriori*, soit la date d'un événement, soit l'extension temporelle d'un groupe d'événements, c'est-à-dire d'une phase : son début, sa fin, sa durée. Enfin, lorsque le nombre des événements datés est important, on peut chercher à caractériser le rythme de survenue de ces événements.

Dans le cas simple où les dates d'événements seraient sans incertitude et toutes fiables, alors les début, fin, durée, ordre, rythme des événements seraient parfaitement connus, comme on peut facilement le voir sur la figure 1 où chaque date est un instant précis représenté par un bâton (aussi appelé « distribution de Dirac », ou encore « Dirac »).



Figure 1 - Dates exactes représentées par des bâtons (distributions de Dirac) réparties sur l'échelle du temps. La probabilité associée à chaque Dirac est 1.

Mais les datations obtenues en laboratoire ou fournies par la typochronologie sont le plus souvent entachées d'incertitudes qui proviennent de différentes sources d'erreur : des erreurs de mesures, d'étalonnage, de référence mais aussi des erreurs inconnues qui se traduisent par des désaccords entre les dates obtenues pour caractériser un même événement. Les datations sont alors représentées, non plus par des Dirac, mais par des distributions de dates, appelées encore « densités de probabilité de dates », qui expriment le fait que la date vraie se situe quelque part sous cette courbe et plus probablement dans les régions de plus forte densité (voir section 4). La figure 2 montre cinq exemples de distributions de dates obtenues par datation ^{14}C et par archéomagnétisme sur des échantillons caractérisant l'événement « dernière chauffe d'un four de potier ». L'idée dans ce cas est de déduire, *a posteriori*, grâce à un modèle statistique bayésien, la date de dernière chauffe à partir de la combinaison de ces cinq datations individuelles.

Pour réaliser la combinaison des informations *a priori* avec les observations dans le but d'obtenir les informations *a posteriori*, nous utilisons les outils mathématiques de la statistique bayésienne, du nom du mathématicien Thomas Bayes (1702-1761). En résumé, la statistique bayésienne permet de définir un modèle mathématique qui va relier les observations aux informations *a priori* afin d'en déduire une information *a posteriori* exprimée sous une forme probabiliste.

2. Le paradigme bayésien : un processus d'information

Pour illustrer le paradigme bayésien, nous décrivons en figure 3 le cas simple de l'estimation *a posteriori* d'un paramètre θ qui correspond par exemple ici à la date d'un événement. La connaissance *a priori* sur θ est représentée par une distribution de probabilité $p(\theta)$ (dont la surface est égale à 1, soit 100 %, par définition). Ici, cette distribution a une forme de loi gaussienne étalée, ce qui représente une connaissance plutôt vague sur la date recherchée. Pour préciser cette date, une datation en laboratoire est effectuée. Celle-ci fournit, par exemple dans le cas du ^{14}C, une mesure d'âge Y qui sera elle-même associée à une erreur σ. Pour obtenir la distribution *a posteriori* qui combine l'information *a priori* avec la mesure d'âge, il faut construire un modèle statistique, une relation

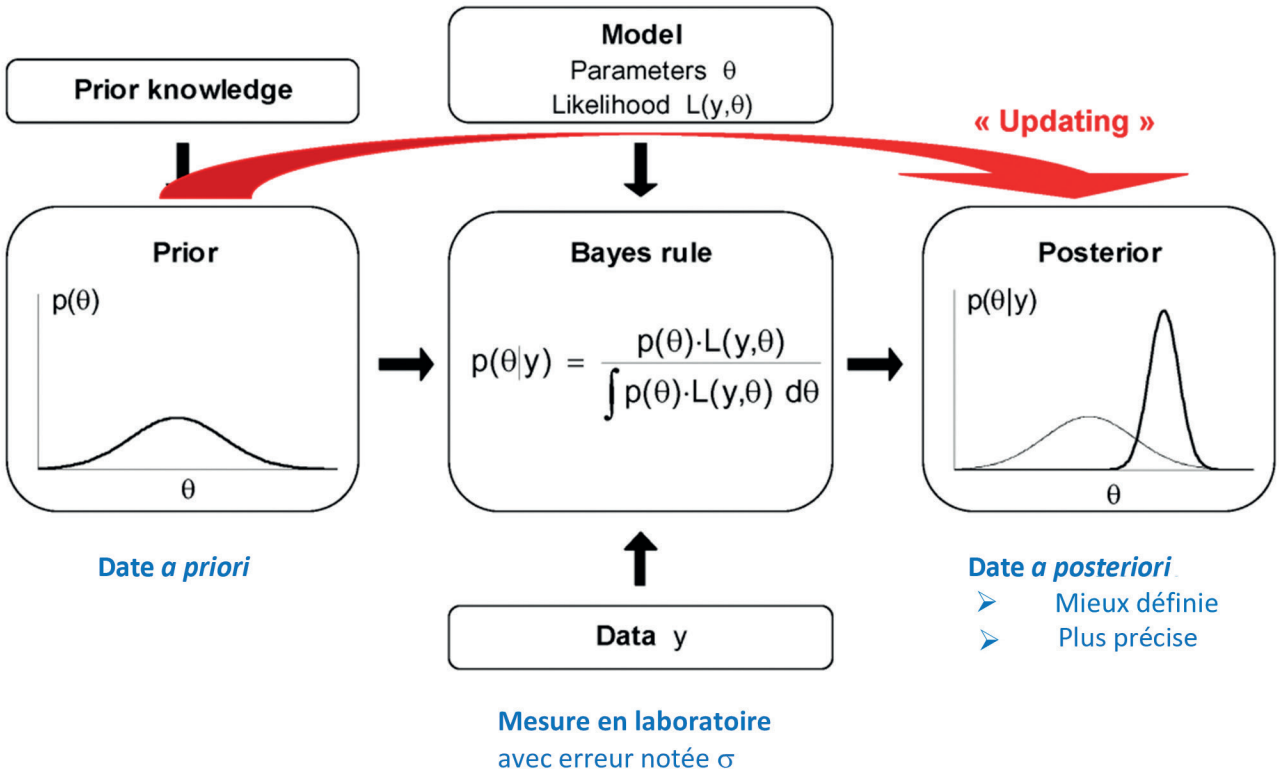


Figure 3 - Illustration du processus bayésien (d'après Bernier *et al.*, 2000) : expression de la distribution de dates *a posteriori* p(θ |Y) (*Posterior*) en fonction de la distribution *a priori* (*Prior knowledge*) et de la fonction de vraisemblance (*Likelyhood*), grâce à la règle (ou formule) de Bayes (*Bayes rule*), où le paramètre θ représente le temps et où Y (*Data*) représente la mesure en laboratoire (par exemple un âge ^{14}C). C'est un processus de mise à jour (*Updating*) de notre connaissance sur le paramètre θ.

mathématique $L(Y, \theta)$ (L pour *Likelyhood* en anglais, appelée fonction de vraisemblance en français), qui relie la mesure Y au temps calendaire θ recherché. Ce modèle utilise dans ce cas une courbe de calibration établie par ailleurs (c'est un référentiel) qui relie l'âge Y au temps calendaire recherché. Ce modèle prend en compte les erreurs de mesure ainsi que les erreurs sur la courbe de calibration. La formule de Bayes permet alors de calculer la distribution de date *a posteriori* de θ sachant la mesure d'âge effectuée et les erreurs associées, qui est notée $p(\theta|Y)$ Le trait vertical n'est pas un opérateur de calcul mais veut simplement dire : « θ sachant Y » ou encore : « θ conditionné par Y », Y étant ici une valeur connue, fixée (en l'occurrence déterminée en laboratoire).

On voit dans cet exemple que la distribution *a posteriori* sachant Y apparaît mieux définie (la moyenne est décalée vers de plus grandes valeurs de θ) et plus précise (sa variance est moins grande). On peut qualifier le paradigme bayésien de processus d'information, de processus d'apprentissage (par acquisition de nouvelles données Y) qui permet de réaliser une mise à jour (*updating* en figure 3) de la connaissance que l'on a, *a priori*, sur le paramètre θ.

Ainsi, la connaissance (autrement dit l'incertitude) sur la valeur d'une quantité inconnue θ d'un modèle est représentée sous la forme d'une distribution de probabilité (Parent et Bernier, 2007) qui prend en compte toutes les erreurs mises en jeu dans le processus de datation. Les probabilités sont interprétées comme des degrés de crédibilité associés à chaque valeur des inconnues (c'est une interprétation subjective des probabilités). La loi *a priori* apporte une connaissance sur le paramètre du modèle, θ, ceci avant d'avoir effectué les observations (avant acquisition des données, avant mesure). Ce dernier point constitue l'originalité de l'approche bayésienne : elle modélise notre connaissance *a priori* sur un ou des paramètres que l'on cherche à estimer, avant de la combiner avec de nouvelles données qui viendront améliorer à leur tour cette connaissance.

Dans ChronoModel, différents modèles bayésiens sont développés selon que l'on considère une datation seule (calibration individuelle), une date d'événement seule (modèle d'*Event*), un groupe de dates d'événements (modèle d'*Event* avec contrainte stratigraphique et modèle de phase). Dans chacun de ces cas, des distributions *a priori* sur les paramètres impliqués sont définies.

3. Un exemple de modèle bayésien : la calibration d'une mesure en date calendaire

3.1. Calibration d'un âge ^{14}C

La figure 4 donne un exemple de la formule de Bayes appliquée à la résolution d'un problème classique en chronologie :

la calibration d'un âge ^{14}C en date calendaire, date que l'on notera ici t (nous réservons la notation θ pour désigner la date d'un événement, voir section 5). Le temps t sera par exemple la date d'abattage d'un arbre si la datation ^{14}C porte sur le dernier cerne sous l'écorce.

Avant tout processus de mesure (datation), l'information *a priori* dont nous disposons sur le temps t est une information dite vague, uniforme sur l'intervalle fixé ici à [-5000 ; -3000], intervalle qui correspond à la plage d'étude (*study period*) dans ChronoModel. Ceci veut traduire l'idée que nous n'avons *a priori* aucune préférence pour une date particulière dans cet intervalle. Nous représentons ce manque d'information par une distribution $p(t)$ qui est une densité de probabilité uniforme sur l'intervalle [-5000 ; -3000]. Par conséquent, pour améliorer notre connaissance *a priori* sur t, nous n'avons pas d'autre moyen que d'effectuer une datation, en l'occurrence une mesure d'âge $Y = A$ qui sera elle-même reliée au temps t. Cette mesure d'âge, obtenue à partir de la détermination du taux résiduel de ^{14}C dans l'échantillon, est représentée par une distribution gaussienne $p(A|t)$ (fonction qui correspond à la vraisemblance $L(y,\theta)$ de la section précédente), de moyenne A et d'écart-type σ : ce sont ces valeurs qui sont fournies par les laboratoires de radiocarbone. Sa représentation graphique est donnée en grisé sur l'axe vertical de l'âge en figure 4. En parcourant successivement toutes les valeurs de t dans l'intervalle [-5000 ; -3000], nous pouvons tracer, en utilisant la formule de Bayes de la figure 3, la distribution de date *a posteriori* $p(t|A)$, qui est représentée en bleu sur la figure 4. Cette distribution n'est plus gaussienne à cause des variations locales de la courbe de calibration utilisée (ici Intcal13). Toute l'information *a posteriori* est contenue dans cette distribution $p(t|A)$. Pour faciliter l'expression de ce résultat, différents résumés statistiques sont présentés en section 4.

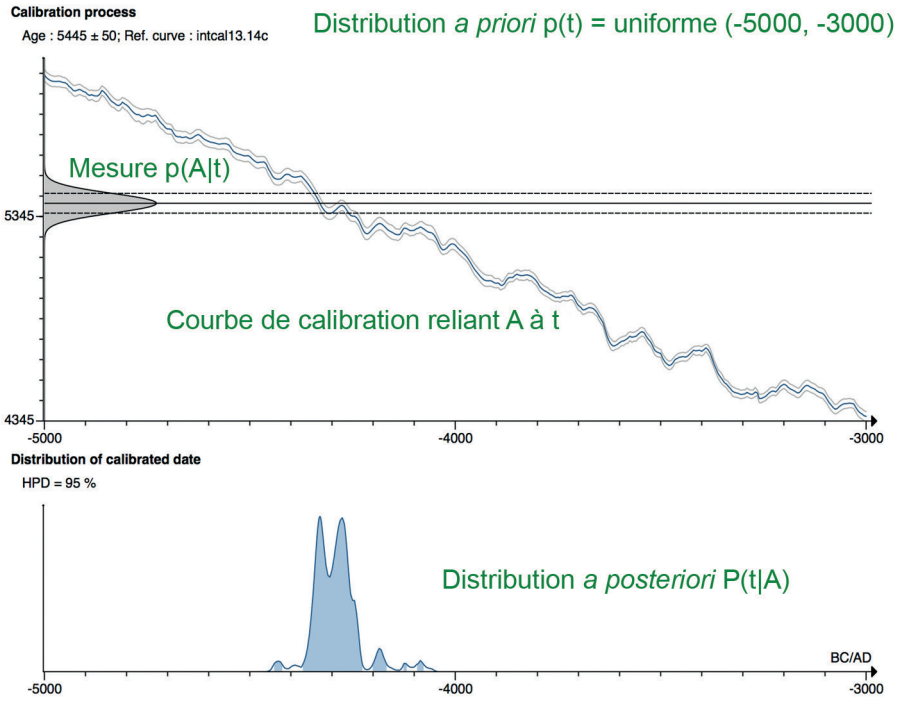


Figure 4 - Processus de calibration d'une mesure d'âge ^{14}C en date calendaire *via* la courbe de calibration IntCal13 (Reimer *et al.*, 2013).

3.2. Calibration d'une mesure archéomagnétique

La figure 5 montre un autre exemple de calibration dans le cas de la méthode de datation par archéomagnétisme. On mesure ici l'inclinaison du champ magnétique terrestre ancien porté par une terre cuite prélevée sur les parois d'un four de potier. On datera ainsi la dernière chauffe du four, donc sa dernière utilisation. La courbe de calibration représente la variation séculaire de l'inclinaison du champ magnétique terrestre en France (à Paris) au cours des trois derniers millénaires (Hervé *et al.*, 2013). Les points rouges, avec leurs erreurs représentées par les barres verticales, représentent les points de référence bien datés ayant servi à construire cette courbe (en utilisant là encore une méthode bayésienne : Lanos, 2004). La barre en bleu en haut de la figure 5 représente la distribution $p(t)$ *a priori* uniforme sur le temps calendaire t, dans un intervalle $[t_m, t_M]$. La mesure M (ici l'inclinaison) avec son erreur d'estimation σ est représentée par une distribution gaussienne (en bleu) à gauche de l'axe vertical. La distribution de date calendaire calibrée *a posteriori* sera donc donnée sur l'axe du temps horizontal, comme dans le cas du radiocarbone, par $p(t|M)$. Nous obtenons ici une distribution *a posteriori* multimodale du fait que la valeur moyenne M recoupe la courbe de calibration en trois points différents.

3.3. Généralisation du processus de calibration aux différentes méthodes de datation

Chaque méthode de datation chronométrique peut se traduire par un processus de calibration suivant le schéma précédent, dans lequel seule la courbe de calibration change. C'est le cas pour la datation par luminescence, et aussi pour les méthodes fondées sur la radioactivité (U-Th, K-Ar, Ar-Ar, etc.). Ce peut aussi être le cas pour la dendrochronologie (un algorithme bayésien est en cours de développement pour insertion dans ChronoModel, dans le cadre du projet 80Prime « ChronoCurve » soutenu par le CNRS de 2019 à 2021).

Le schéma bayésien de calibration est différent dans le cas de la typochronologie car il n'existe pas de mesure à proprement parler dans ce cas, ni de courbe de calibration. La mesure est remplacée par une identification, plus précisément par une comparaison d'un artéfact avec un corpus de référence daté.

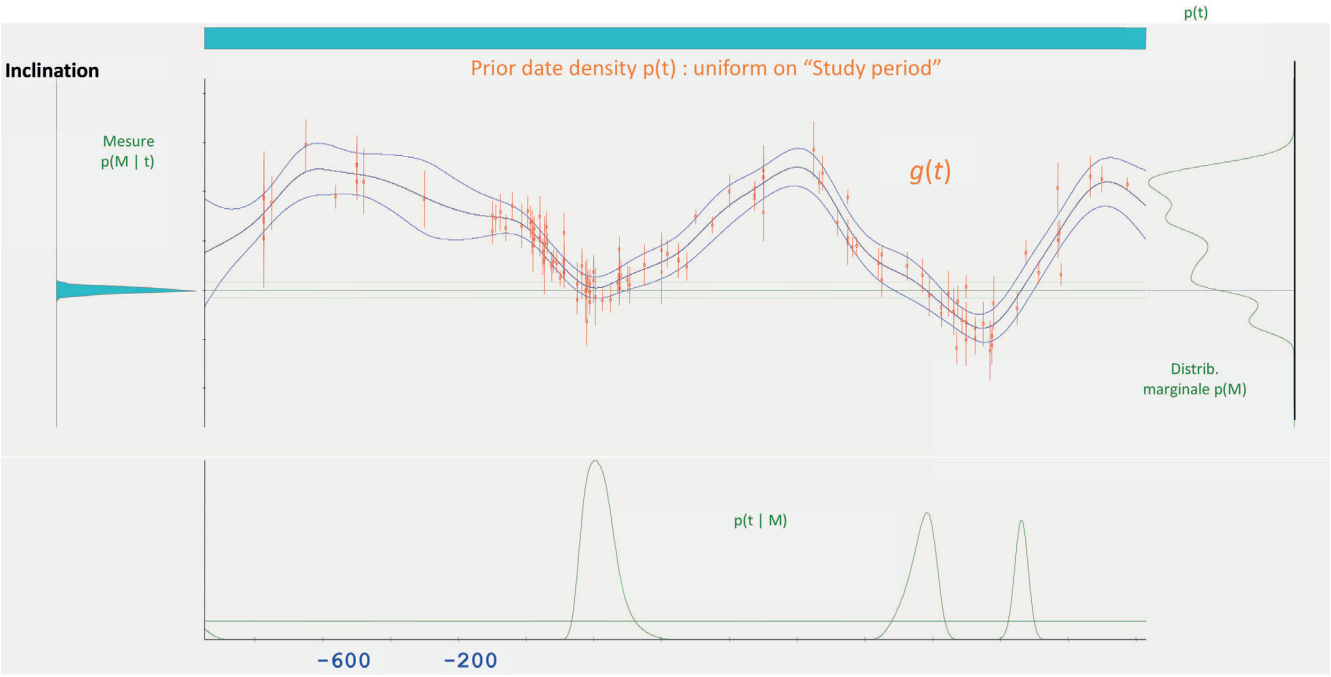


Figure 5 - Processus de calibration d'une mesure M (ici : inclinaison du champ magnétique ancien en datation par archéomagnétisme) en date calendaire *via* la courbe de variation séculaire de l'inclinaison du champ magnétique terrestre en France durant les trois derniers millénaires (Hervé *et al.*, 2013).

Notons que c'est une opération qui est tributaire de nombreux paramètres liés à la formation et à la connaissance de chaque archéo-dateur. Pour formaliser cette datation d'un point de vue statistique, on dira d'un artéfact qu'il a été fabriqué entre une date t_1 et une date t_2. Dans ce cas, on peut montrer (grâce à un modèle statistique approprié) que la distribution *a posteriori* sera donnée par une distribution uniforme entre t_1 et t_2, pourvu que t_1 et t_2 soient dans la plage d'étude. Ce résultat reste simple et intuitif et il peut être combiné, dans le modèle d'événement, avec les distributions des autres méthodes de datation.

3.4. Expression complète de la formule de Bayes

Nous avons ajouté sur la figure 5 une distribution qui n'est généralement pas donnée dans les publications : c'est la distribution $p(M)$ de la mesure M, qui ne fait pas intervenir le temps t : elle est obtenue par intégration du produit $p(M|t)\,p(t)$ sur le temps t : on parle dans ce cas de distribution « marginale » de M. Ainsi, sur les trois derniers mille ans, cette distribution donne la densité de probabilité des valeurs prises par l'inclinaison M, quel que soit le temps t. Cette distribution peut servir de critère de fiabilité, de pertinence pour une calibration archéomagnétique : en effet, si la mesure M tombe en dehors du support à 99 % (par exemple) de cette distribution, alors la calibration peut être considérée comme non significative, car la valeur de M ne recoupe pas la courbe de calibration. Notons que cette situation n'intervient pas en calibration radiocarbonique car toute mesure d'âge A recoupera la courbe de calibration, à moins d'une grosse erreur sur la mesure !

Ainsi, la formule de Bayes complète pour toute méthode de datation s'écrit :

$$p(M|t)\,p(t) = p(t|M)\,p(M) = p(M,t) \qquad (1)$$

où $p(M,t)$ est la densité jointe du couple de variables (M,t).

On peut en déduire que :

$$p(t|M) = p(M|t)\,p(t)/p(M) \qquad (2)$$

ou encore :

$p(t|M)$ est proportionnel au produit $p(M|t)\,p(t)$, puisque $p(M)$ ne dépend pas du temps t.

Rappelons que dans le cas de la calibration individuelle d'une mesure M en date calendaire, la densité $p(t)$ est supposée uniforme sur un intervalle $[t_m, t_M]$.

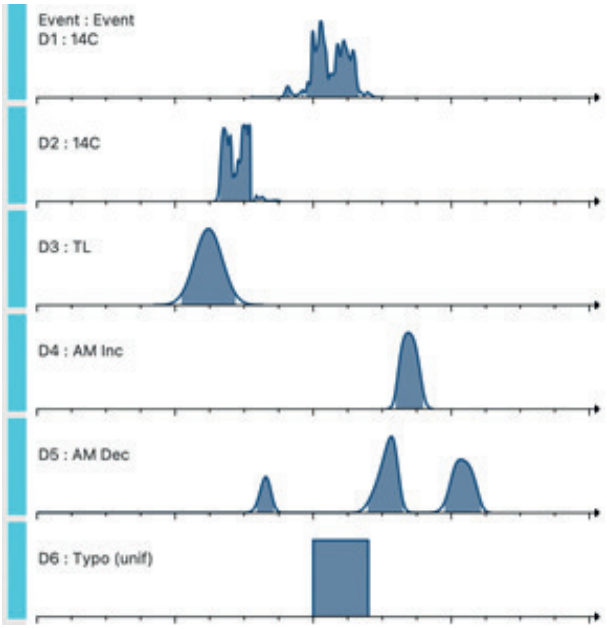


Figure 6 - Multi-graphe des distributions de dates calibrées individuelles obtenues dans le cas de différentes méthodes de datations : radiocarbone (^{14}C), thermoluminescence (TL), archéomagnétisme (AM Inc : inclinaison; AM Dec : déclinaison), typochronologie (Typo unif : distribution uniforme).

3.5. Représentation des calibrations individuelles en multi-graphe

Dans le logiciel ChronoModel, les distributions de dates calendaires calibrées individuelles (prises indépendamment les unes des autres, avant toute modélisation globale) peuvent être représentées sur un même graphe (*multi-plot* dans CM) comme en figure 6. Ceci permet d'avoir une vision d'ensemble des données de datation sur une même échelle de temps qui est ici le calendrier BC/AD. Ce graphe permet de voir immédiatement l'étendue des données, l'amplitude des incertitudes après calibration ainsi que les regroupements et les écarts entre dates.

4. Expression des résultats statistiques *a posteriori*

4.1. Paramètres statistiques et intervalles de confiance

Depuis les travaux de C. Buck sur la modélisation chronologique dans les années 1990 (Buck *et al.*, 1996), la distribution de date est résumée par une région appelée HPD pour *highest posterior density*, c'est-à-dire par une union d'intervalles de plus forte densité de probabilité à un niveau de confiance 1-α fixé, le plus souvent à 95 % (valeur habituellement choisie) : cette région correspond aux deux segments en rouge en figure 7a (Vibet *et al.*, 2016). La surface à 95 % est représentée par la surface colorée en gris sur les distributions de date.

On peut aussi déterminer un intervalle de crédibilité (CI) qui est défini comme l'intervalle le plus court possible tel que la surface sous la courbe pour cet intervalle, c'est-à-dire la probabilité, soit de 95 % : segments en rouge en figure 7b.

Rappelons que la probabilité est mesurée par la surface sous la courbe de densité entre deux dates données. La surface totale sous la courbe est par définition de 100 %. Lorsque la distribution de date est monomodale (avec un seul maximum), on montre que la région HPD déterminée se réduit à un seul intervalle égal à l'intervalle de crédibilité.

Nous pouvons aussi résumer la distribution de date par des paramètres ponctuels tels que le mode *a posteriori* (MAP), la moyenne ou encore les quartiles Q1, Q2 = médiane, Q3.

Le MAP est la date qui correspond au mode *a posteriori*, c'est-à-dire au maximum (au pic) de densité de probabilité. Cette valeur permet de se situer sur l'échelle du temps, mais elle « oublie » l'incertitude associée à la date et qui est représentée par la distribution tout entière. Dire que ce pic correspond à la date la plus probable est un abus de langage. Sa probabilité, en termes d'instant, est en fait nulle ! Réduire la date à ce pic reviendrait à considérer que cette date est certaine (représentable par un « Dirac », dont la surface est égale à 1), ce qui est faux vu le résultat *a posteriori*.

Il est déconseillé de considérer la date moyenne (avec son écart-type) car celle-ci peut se situer dans des régions de densité de probabilité très faible dans le cas de distributions multimodales. Elle serait donc très peu représentative au sens de la datation.

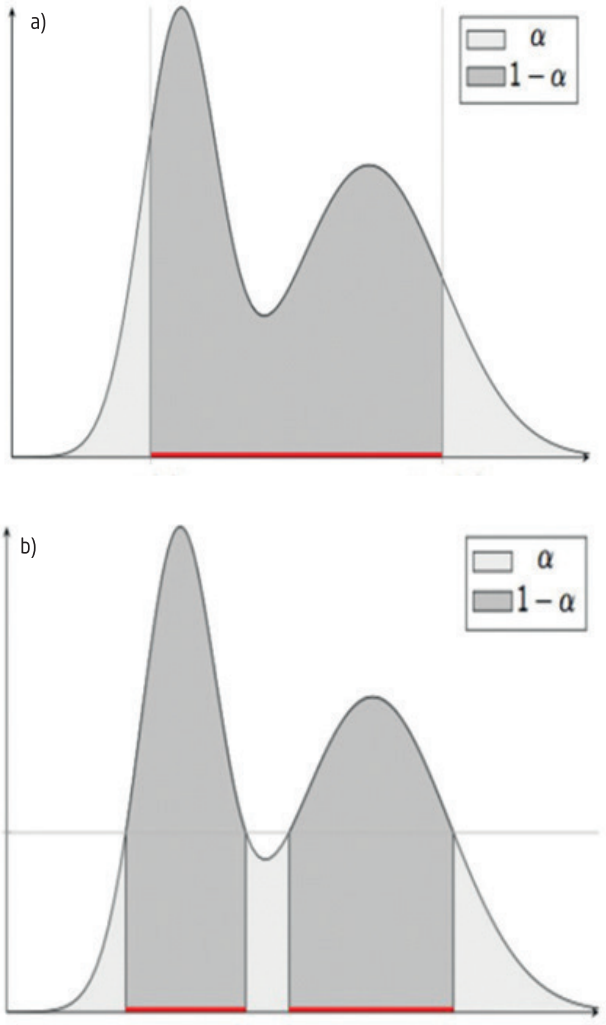


Figure 7 - Sur une même distribution de date : a) Région HPD (*highest posterior density region*) composée ici de deux intervalles dont la surface sous la courbe est égale à 1-α, choisi égal à 95 % en général ; b) Intervalle de crédibilité : c'est le plus court intervalle tel que la surface sous la courbe soit de 95 %. On voit que l'HPD permet de caractériser les régions de plus forte densité. (D'après Vibet *et al.*, 2016).

Les quartiles Q1, Q2 et Q3 sont les dates qui partagent la distribution en quatre surfaces égales de 25 % de probabilité chacune. Q2 correspond donc à la définition de la médiane. Ces trois valeurs peuvent servir à tracer les boîtes à moustaches, encore appelées *box-plot*. Mais l'habitude a été prise, en chronologie, suite aux travaux de C. Buck (1996), d'utiliser plutôt les régions HPD définies plus haut pour résumer l'information, essentiellement pour la raison qu'elles résument mieux l'information chronologique.

Insistons cependant sur le fait qu'un MAP, un intervalle de crédibilité IC, une région HPD, etc. sont des résumés statistiques qui font perdre une partie de l'information bayésienne *a posteriori* sachant les données observées. C'est dans la courbe de densité de probabilité elle-même que cette information reste entièrement contenue.

4.2. Comment formuler un résultat de datation

Voici un exemple d'expression d'une datation : « Au vu des données de datation, et à un niveau de confiance de 95 %, les fossés ont été creusés entre 4265 et 4075 av. n. è. (selon l'intervalle HPD [4265, 4075] BC à 95 %) et abandonnés entre 4160 et 3975 av. n. è. (selon l'intervalle HPD [4160, 3975] BC à 95 %) ». Plus précisément, dans le contexte bayésien, on dira : « Il y a 95 % de chances que la date se situe dans cet intervalle, sachant les données de datation. » Remarquons que le fait de dire « entre 4265 et 4075 à 95 % de confiance » revient à ramener la forme de la distribution de probabilité dans cet intervalle à une distribution uniforme : on « oublie » la forme réelle de la distribution *a posteriori* en résumant l'information à cet intervalle, au niveau de confiance fixé.

5. La date d'événement (*Event date*) dans ChronoModel : un modèle chronologique bayésien hiérarchique

5.1. Le concept de date d'événement

Le paradigme ChronoModel est basé sur le concept de date d'événement θ (*Event date*). L'idée fondamentale à la base de ce concept est de différencier deux variables de temps :

- le temps t fourni par une datation chronométrique, issu d'une calibration individuelle.
- le temps θ d'un événement que l'on cherche à dater, appelé événement cible, ou événement d'intérêt (c'est celui qui intéresse l'archéologue ou l'historien), qu'on peut encore appeler « Fait ».

Cette idée de date d'événement cible (événement d'intérêt) a rejoint de façon totalement indépendante une conceptualisation non mathématique qui avait été publiée par Jeffrey S. Dean en 1978, qui définit principalement le *dated Event*, événement daté par une méthode de datation chronométrique, et le *target Event* : date cible que l'on veut caractériser : la dernière chauffe d'un four de potier par exemple.

Dans cette approche, on considère que l'événement est « ponctuel » dans le temps, qu'il n'a donc pas de durée. La date de l'événement θ sera estimée par une ou plusieurs dates chronométriques t_i (l'indice i désignant une date chronométrique i) que l'on suppose *a priori* contemporaines entre elles et de l'événement cible θ. Ce point constitue le cœur du modèle de date d'événement : l'archéologue doit définir l'événement cible θ ainsi que l'ensemble des dates t_i qui s'y réfèrent.

Le modèle de date d'événement est un modèle statistique bayésien hiérarchique qui permet d'estimer la date de l'événement cible à partir de la combinaison de dates d'artéfacts supposés contemporains, dates qui sont obtenues par différentes méthodes de datation. C'est un modèle à effet aléatoire qui incorpore des erreurs aléatoires individuelles pour prendre en compte la dispersion des dates t_i par rapport à la date cible θ.

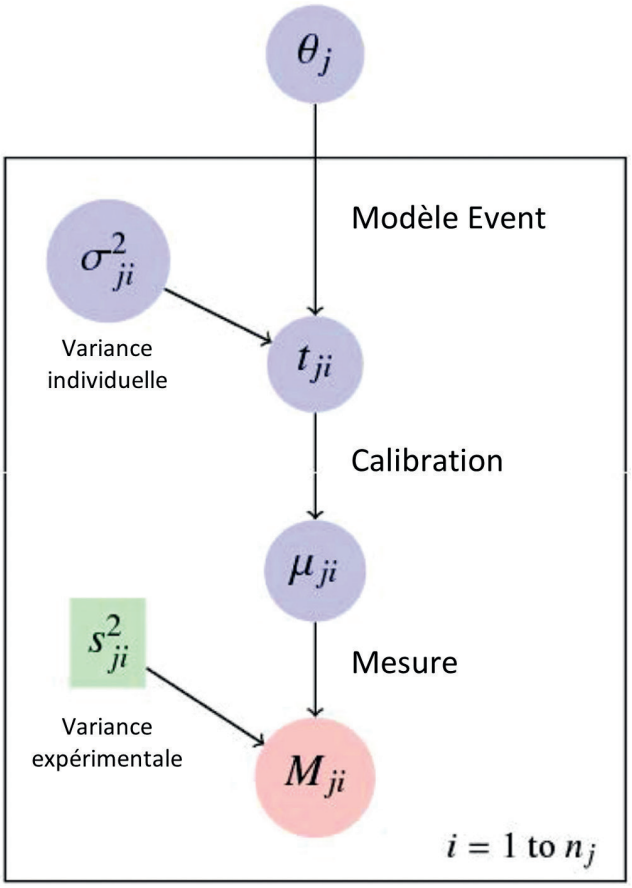


Figure 8 - Graphe acyclique orienté (*Directed acyclic graph* : DAG) du modèle d'événement (*Event*) dans ChronoModel (Lanos et Philippe, 2017), qui décrit les variables mises en jeu dans les nœuds (cercles en violet), les données (cercle orange et carré vert), les relations de dépendance hiérarchique probabiliste (flèches).

De façon générale, on peut considérer plusieurs événements j de dates cibles θ_j pour chacune desquelles nous disposons de n_j dates chronométriques t_{ji} issues de mesures M_{ji} avec erreurs expérimentales s_{ji}. L'originalité du modèle d'événement réside dans l'introduction d'une variable d'erreur aléatoire supplémentaire, notée σ_{ji}, associée à chaque date chronométrique. Cette variable représente les effets des erreurs humaines dans le processus de datation, les erreurs d'échantillonnage, les problèmes taphonomiques, de pollution ou de variabilité des conditions de conservation, ou tout autre facteur d'origine inconnue et qui font que les datations individuelles t_{ji} ne donnent pas toutes le même résultat pour un événement j.

Le modèle statistique de date d'événement possède une structure bayésienne hiérarchique qui est représentée par le graphe acyclique orienté (DAG : *directed acyclic graph*) en figure 8. Nous passons de la mesure M_{ji} (avec son erreur expérimentale s_{ji}) observée à la mesure vraie inconnue μ_{ji} (variable dite latente, éliminée par intégration), puis au temps t_{ji} *via* le processus de calibration, et enfin à la date cible θ_j et à l'erreur individuelle *via* un modèle statistique défini *a priori* : nous avons choisi une loi de Gauss pour relier t_{ji} à θ_j et σ_{ji}. Enfin, l'approche bayésienne nécessite aussi de définir une densité de probabilité *a priori* pour chacune des variables θ_j et σ_{ji}.

Les motivations dans le choix de ces densités *a priori* et les détails mathématiques sont exposés dans l'article de Lanos et Philippe (2017).

5.2. Date d'événement et contexte archéologique

L'entité de base d'un diagramme séquentiel est le contexte stratigraphique ; un modèle chronologique bayésien comprend des événements directement datés (*Event dates*) ainsi qu'un ensemble de phases chronologiques. Chaque événement daté est directement associé à un contexte archéologique.

Les archéologues identifient généralement cinq types de contexte : les dépôts, les interfaces d'éléments horizontaux, les interfaces d'éléments verticaux, les interfaces de couches verticales et les interfaces de couches horizontales. La matrice de Harris a été conçue, en partie, pour s'assurer que tous les contextes identifiés sur un site sont inclus dans la séquence (Roskams, 2001).

Nous partons ainsi d'une liste d'échantillons à dater et d'un modèle de relations chronologiques relatives fournies par la stratigraphie, parfois sous la forme d'un diagramme séquentiel telle que la matrice de Harris (Harris, 1989) mais plus souvent sous la forme de dessins de profil et de notes de fouille, afin de développer un modèle chronologique qui maximise l'information issue de l'ensemble de ces informations. Nous transformons un modèle chronologique relatif en un autre, passant du modèle du stratigraphe exprimé en termes d'unités de stratification, ou contextes (Carver, 2005), au modèle du statisticien exprimé en termes de relations algébriques formelles entre les événements datés et entre les phases chronologiques.

Une différence entre un modèle chronologique bayésien et un diagramme de séquence archéologique est que le diagramme de séquence archéologique ne concerne que les relations entre les contextes archéologiques, alors que le modèle chronologique inclut des relations entre une variété d'entités différentes, comprenant la plage d'étude et les événements datés.

5.3. Pénalisation des datations hors tendance

Une des propriétés remarquables de ce modèle d'événement est qu'il est structurellement simple et qu'il permet de gérer de façon quasi automatique la présence de dates hors tendance ou aberrantes (*outliers*). En effet, l'introduction d'erreurs aléatoires individuelles σ_{ji} permet d'opérer une pondération automatique des dates t_{ji}. Le calcul de la date cible θ_j apparaît alors comme un calcul particulier de moyenne basé sur le principe d'une loi de la majorité : autrement dit, les dates qui s'éloignent d'un groupement principal de dates t_{ji} ne contribueront pas de façon significative au calcul de la date cible θ_j et seront par conséquent caractérisées par une erreur individuelle σ_{ji} *a posteriori* d'autant plus forte que son caractère hors tendance sera accentué.

Le modèle de date d'événement s'avère être un modèle statistique robuste, c'est-à-dire peu sensible aux dates aberrantes. Toute date incohérente sera rendue cohérente grâce à une variance individuelle qui deviendra grande. Cette propriété intervient aussi dans le cas de séquences stratigraphiques où des dates chronométriques t_{ji} peuvent être en contradiction avec l'ordre stratigraphique observé. Les erreurs individuelles σ_{ji} permettront de gérer ces incohérences afin que les dates cibles θ_j *a posteriori* respectent l'ordre stratigraphique imposé.

Très souvent, le modèle de date d'événement ne contiendra qu'une seule datation (qu'une seule *data*). En effet, il n'est pas courant en archéologie de disposer de plusieurs datations, comme dans l'exemple donné en section suivante, pour estimer la date d'un seul événement. L'encapsulation d'une seule date dans un modèle d'événement aura donc pour effet de donner une distribution de date d'événement *a posteriori* plus large que la date calibrée individuelle t_{ji} : la variance sera en gros deux fois plus grande que celle de la distribution calibrée individuelle ! Ceci provient de la loi *a priori* placée sur l'erreur individuelle qui fera que cette dernière prendra des valeurs non nulles. Ainsi, la modélisation par « date d'événement » revient en quelque sorte à « flouter » les datations lorsqu'elles sont considérées seules. Ceci peut paraître plutôt pessimiste, voire indésirable. Pourtant, paradoxalement, c'est ce « flou » qui permet à un modèle chronologique global complexe d'améliorer la précision et la fiabilité des estimations tant au niveau des dates d'événement qu'au niveau des dates de début et fin de phase, comme dans l'exemple de la figure 13. En effet, la modélisation chronologique prend son sens lorsqu'elle est appliquée à de grands jeux de données où le nombre des événements est important et où les contraintes d'ordre sur le temps (ordre stratigraphique, succession de phases) sont nombreuses.

5.4. Exemple de date d'événement : la date de dernière chauffe d'un four de potier

L'objectif ici est de dater la dernière cuisson d'un four de potier médiéval retrouvé sur le site de la Maison-de-Rewtraite-Publique (Mennessier-Jouannet *et al.*, 1995), à Lezoux (Auvergne, France). L'événement cible correspond à la dernière cuisson du four qui correspond à la dernière utilisation du four (Lanos et Philippe, 2017). Des artéfacts reliés à cet événement cible ont été datés par trois techniques chronométriques : archéomagnétisme (AM), thermoluminescence (TL) et radiocarbone (^{14}C). Les dates AM et TL ont été déterminées à partir d'argile cuite « marquée » par la dernière chauffe du four, et la date ^{14}C a été déterminée à partir d'un lot de 11 fragments d'os longs retrouvés dans le foyer et dont la carbonisation partielle montrait leur contemporanéité avec la dernière utilisation du four. Les observations sont ainsi composées de trois dates TL (CLER 202a, 202b, 203), de deux dates AM (inclinaison, déclinaison), et d'une date radiocarbone (Ly-5212), dont les distributions de date calibrée individuelles sont représentées en figure 9. Comme le four appartient à la période historique, la plage d'étude *a priori* est fixée de façon très large à [-1000, 2000]. Les densités *a posteriori* (en couleur)

obtenues sont fortement resserrées par rapport aux densités individuelles calibrées (en trait noir), en particulier pour les dates archéomagnétiques et luminescence (figure 10a). La date cible θ (sur fond grisé) donne un intervalle HPD égal à [574, 885] AD à 95 %. Certaines des densités *a posteriori* pour les erreurs individuelles (figure 10b) sont étalées. Ceci provient de la multimodalité des dates calibrées AM obtenues avec l'inclinaison (Inc) et la déclinaison (Dec). Plus généralement, le paramètre prend des valeurs plus importantes lorsque la date associée est une valeur hors tendance, voire aberrante.

5.5. Les dates typochronologiques

La datation par typochronologie peut s'avérer dans bien des cas plus précise qu'une datation absolue : par exemple, la typologie des vases protocorinthiens peut donner une date à 20 ou 30 ans près. Cependant, cette méthode fournit plus souvent un terminus *post quem* (TPQ), notamment pour les objets retrouvés en contexte funéraire, puisqu'un objet peut être encore utilisé de nombreuses années après sa fabrication. Les monnaies dans l'Antiquité circulent longtemps et des éléments de parure peuvent présenter une valeur affective et être retrouvés dans des contextes beaucoup plus tardifs. Mais une monnaie, par exemple, peut également fournir un *terminus ante quem* (TAQ) quand on la retrouve dans une structure à occupation longue, comme un habitat par exemple : on peut supposer que l'habitat existait avant que la monnaie n'y soit perdue peu de temps après sa frappe. L'introduction d'une date typochronologique dans un événement (*Event*), aux côtés de datations par radiocarbone et/ou archéomagnétiques par exemple, nécessite donc de vérifier le bienfondé de la contemporanéité supposée de ces dates. Dans certains contextes archéologiques, on pourra faire usage d'un double-modèle : « une borne plancher (TPQ) placée avant une date d'événement » ou bien « une date d'événement placée avant une borne plafond (TAQ). Une telle borne fixe peut être rentrée dans ChronoModel avec l'objet *bound* (voir section 7.2). Cette borne ne sera pas modifiée par le calcul bayésien global, à la différence de la date d'événement qui elle pourra s'adapter en fonction des contraintes imposées par les relations d'ordre, notamment grâce aux erreurs aléatoires individuelles σ_{ji}.

5.6. La question de la pondération des dates

Au cours de la constitution d'une base de données rassemblant l'ensemble des datations disponibles pour une région et une culture donnée, se pose la question de la qualité des datations. Le rejet des datations ne doit pas se fonder sur la vue des résultats de datation eux-mêmes car cela conduirait à briser la démarche bayésienne et à forcément biaiser les résultats *a posteriori*.

Cependant, le rejet de certaines datations peut être effectué en amont sur la base d'arguments non chronologiques : par exemple des dates obtenues sur fossiles humains sans contexte culturel clair, des dates provenant de sites présentant des indices de mélanges et où, au final, on ne sait pas très bien ce qui est daté. On peut aussi classer comme non fiables des dates ^{14}C réalisées sur des échantillons non précisés, ou sur de la terre charbonneuse ou encore sur des tas d'os brûlés, ou encore sur des échantillons soupçonnés d'avoir été contaminés. Chaque méthode de datation possède ainsi des critères de qualité qu'il convient de vérifier.

Le premier indice de fiabilité d'une date est d'abord le lien établi entre le fait archéologique daté (la cible) et la datation elle-même, sans regarder le résultat de la datation ! En effet, si l'on excluait *a priori* les dates qui ne nous « plaisent » pas (ou moins), on obtiendrait forcément de magnifiques modèles très robustes, mais qui masqueraient certainement les problèmes, voire les choses intéressantes.

Une difficulté apparaît lorsque l'on a affaire à des dates qui sortent complètement du cadre par rapport au contexte qu'elles datent (ex : 18000 BP pour un niveau daté à 25000 BP par ailleurs). Une forte proportion de dates aberrantes pourra alors avoir un fort impact sur le résultat final. Mais dans ce cas, c'est sans doute toutes les dates du niveau en question qu'il faudrait rejeter. Un autre cas plus délicat concerne l'effet réservoir en datation ^{14}C. Cet effet provoque un vieillissement apparent des datations, par exemple sur coquille par rapport à des datations effectuées sur du matériel continental. Ces datations ne peuvent donc être intégrées dans un même modèle d'événement, sauf s'il est possible d'avoir une estimation du décalage temporel.

Quoi qu'il en soit, dans ChronoModel, comme dans les logiciels OxCal et BCal, il n'est mathématiquement pas possible de « pondérer » les dates par des coefficients de fiabilité. Outre les difficultés mathématiques engendrées, cela poserait la question de la définition d'une échelle de pondération commune à tous les utilisateurs. Par conséquent, une solution est de « marquer » les données qui semblent poser problème par rapport à l'état de nos connaissances actuelles. Un modèle chronologique bayésien complet sera alors construit et comparé au modèle basé sur le tri des dates « fiables ». Ceci constitue un moyen de tester la robustesse du modèle complet et offre une méthode pour détecter les datations qui posent problème. C'est cette approche qui a été mise en œuvre dans Banks *et al.*, 2019.

5.7. Décalages de dates : le *wiggle-matching*

Au sein d'un modèle de date d'événement, il peut arriver que l'on connaisse le nombre d'années qui séparent deux échantillons datés : c'est le cas lorsque l'on effectue deux datations ^{14}C sur une séquence dendrochronologique où il est possible de compter le nombre de cernes de croissance séparant deux échantillons prélevés. C'est la méthode du *wiggle-matching* (Christen et Litton, 1995). On pourra ainsi mieux préciser la datation du cerne le plus récent en combinant les deux datations grâce à la prise en compte de l'écart de date entre les deux échantillons au sein du modèle d'événement. Un tel exemple est traité en détail dans Lanos et Philippe, 2017.

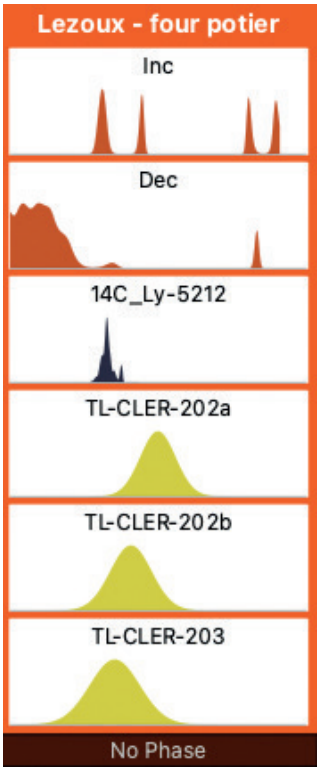


Figure 9 - Exemple d'un modèle d'événement dans ChronoModel pour déterminer la date de la dernière chauffe d'un four de potier (date cible) à partir de six datations différentes (radiocarbone, archéomagnétisme et luminescence).

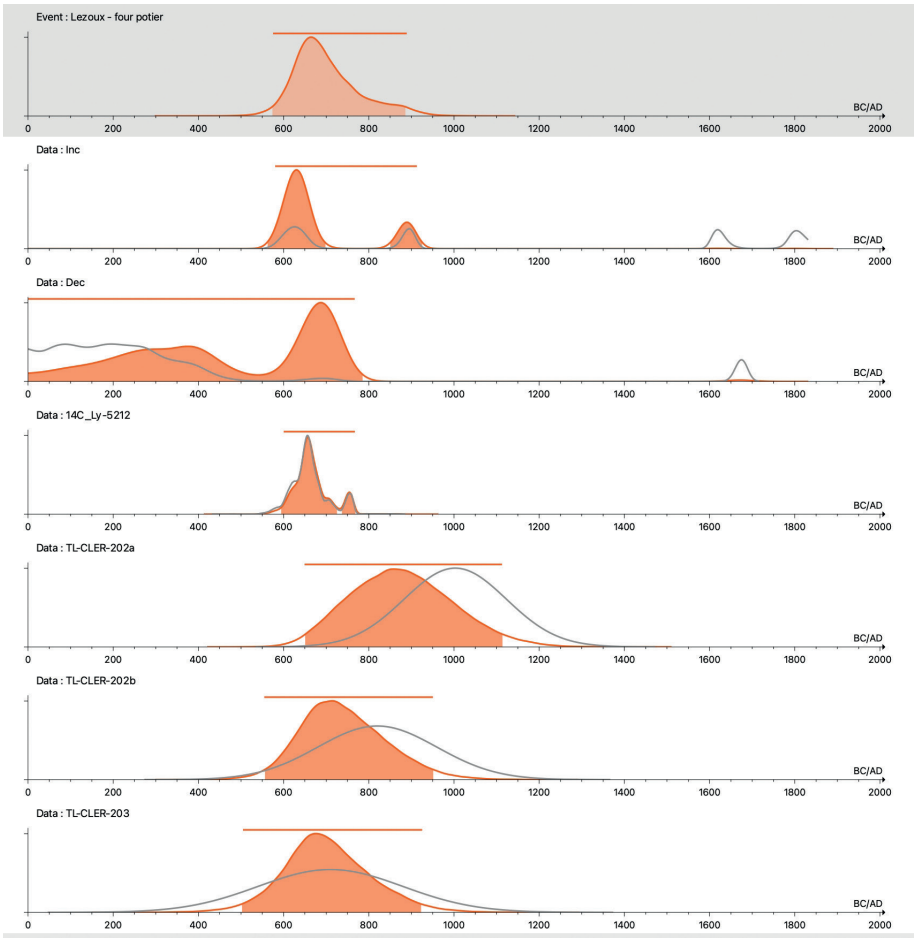


Figure 10a - Distributions de dates et d'erreurs individuelles *a posteriori* (*Posterior densities*) obtenues pour l'exemple de la figure 9. En trait grisé, nous avons les distributions calibrées individuelles (aussi représentées en figure 9). En orange, nous avons les distributions calibrées obtenues par le modèle d'*Event* et sur fond grisé en haut à gauche, nous avons la distribution de la date cible (*Event* θ) qui correspond à la dernière chauffe du four de potier.

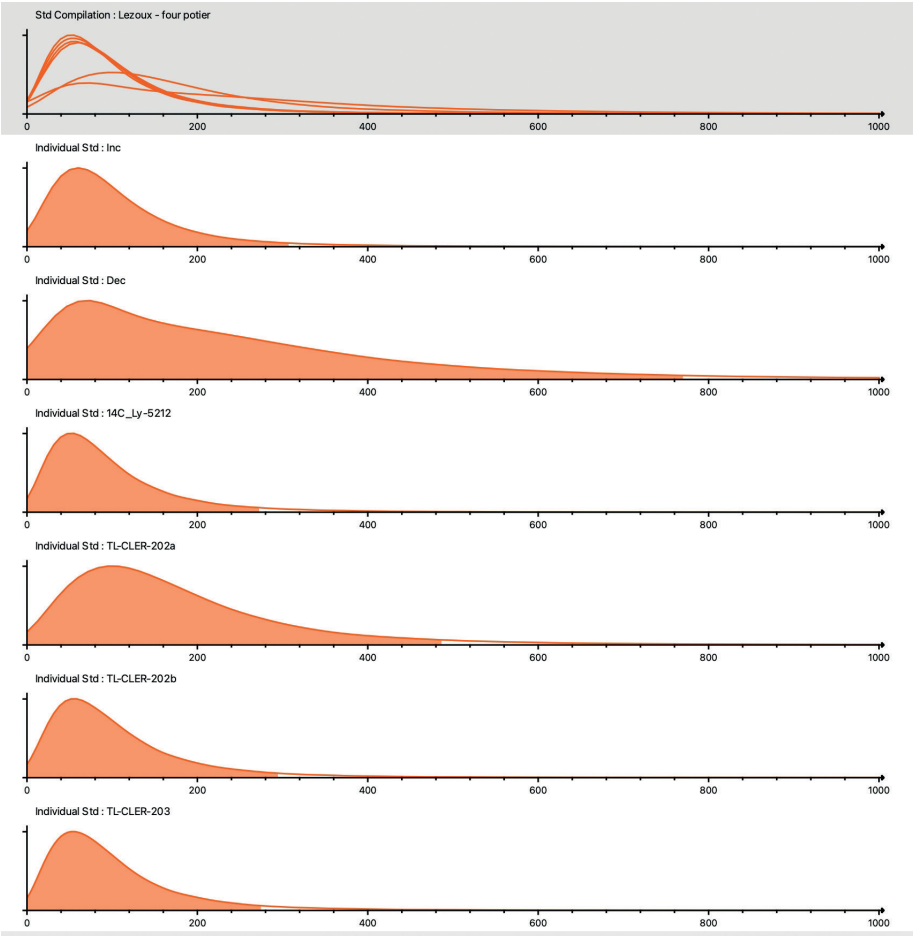


Figure 10b - Distributions *a posteriori* des erreurs individuelles (*Individual std*) : deux distributions sont plus étalées que les autres du fait que les dates correspondantes (la déclinaison en archéomagnétisme et une des trois dates en luminescence) sont plus écartées des autres dates.

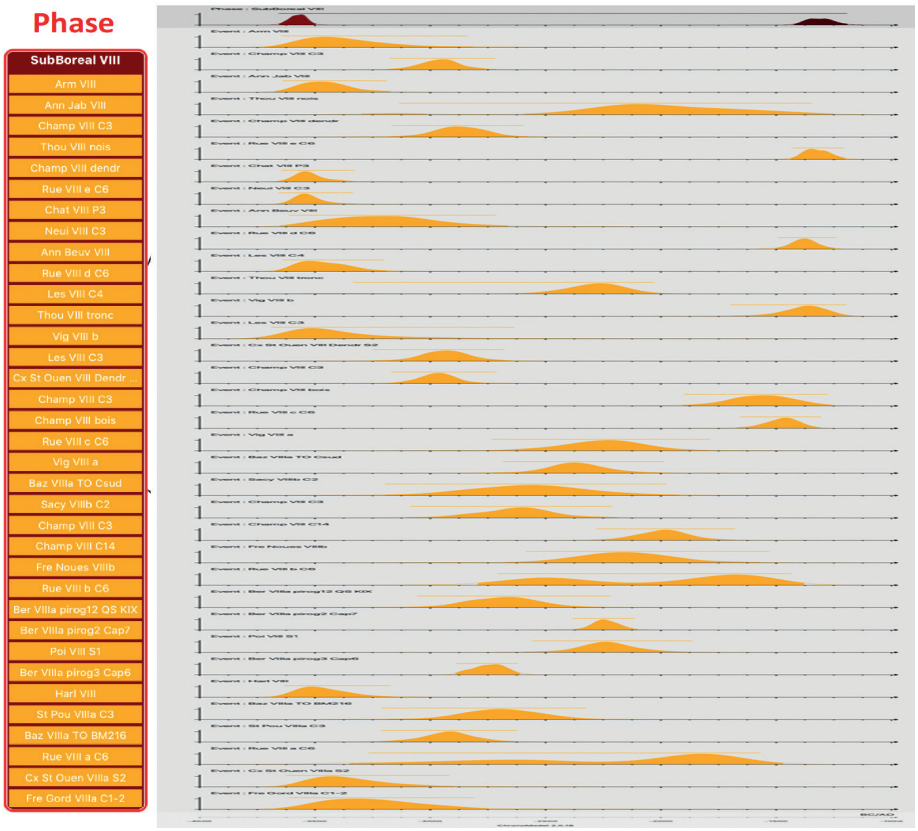


Figure 11a - Exemple de distributions de date *a posteriori* obtenues à partir de 35 événements regroupés dans une Phase ChronoModel (à gauche) appelée ici « SubBoreal VIII ».

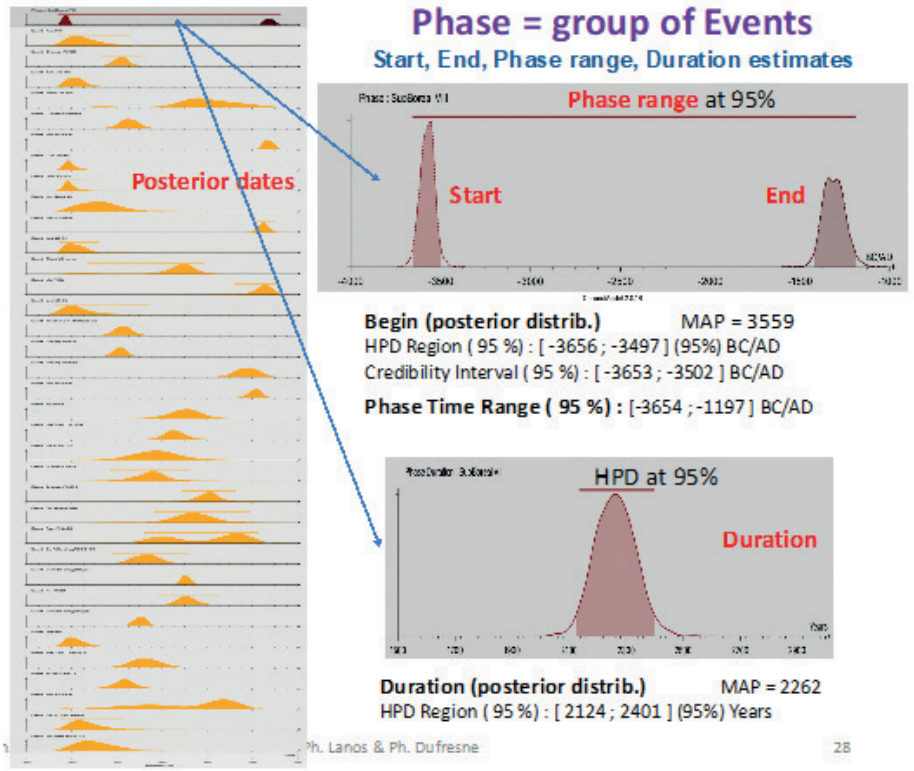


Figure 11b - suite de l'exemple de phase « SubBoreal VIII » : Distributions de début et de fin de phase avec les caractéristiques statistiques (MAP, région HPD, intervalle de crédibilité, *Phase Time Range*) et distribution de la durée de la phase (écart de temps entre le début et fin de phase).

6. La phase dans ChronoModel : un groupe d'événements

6.1. Le concept de phase

La phase dans ChronoModel est définie comme étant un groupe d'événements, une collection d'événements réunis sur la base de critères archéologiques, historiques, géologiques, environnementaux ou autres et que nous voulons situer dans le temps.

La phase est donc constituée d'un ensemble de r dates d'événement θ_j (j numérotant les événements de 1 à r) pour lesquelles on doit définir, toujours dans le contexte bayésien, une densité de probabilité *a priori* de réalisation dans l'intervalle de la plage d'étude (*study period*), intervalle lui-même défini *a priori* par l'utilisateur. Actuellement, dans ChronoModel, faute d'information supplémentaire sur la survenue des événements considérés, nous avons défini la loi de probabilité *a priori* sur les dates d'événements comme étant une loi uniforme sur la plage d'étude. C'est un choix d'information minimale qui favorise *a priori* l'étalement des dates θ_j dans toute la plage d'étude. Ce modèle bayésien de phase est implémenté dans les trois versions CM 1.1, 1.5 et 2.0. Nous verrons en section 7.8 que ce modèle peut être amélioré du point de vue de l'*a priori* sur la chronologie.

La notion de phase dans ChronoModel peut être vue comme un « conteneur statistique » dans laquelle on peut mettre différents contextes archéologiques (Dye et Buck, 2015) : une unité stratigraphique, une séquence stratigraphique (**phase stratigraphique**), un complexe culturel, technique, architectural, botanique, etc. qui se développe sur une période de temps (**phase chronologique**). Grâce au calcul des dates d'événement dans ChronoModel, il est possible d'estimer *a posteriori* le début et la fin

d'une phase ainsi que sa durée à partir des événements qui y sont inclus.

6.2. Estimation des caractéristiques d'une phase

La distribution de la date de début d'une phase sera estimée par le minimum des dates θ_j échantillonnées au cours du calcul MCMC (Monte Carlo par Chaîne de Markov, voir section 10). De même, la distribution de la date de fin d'une phase sera estimée comme le maximum des dates θ_j échantillonnées. La distribution de la durée de la phase (*duration* dans CM) sera estimée par la différence $max(\theta_j) - min(\theta_j)$ (figures 11a et 11b).

En archéologie, il est souvent plus pratique et plus synthétique de « dater » une phase par l'intervalle de temps le plus court possible incluant à la fois le début et la fin de phase, à un niveau de confiance de 95 %. Cet intervalle est calculé en prenant les couples (début, fin) déterminés à partir des chaînes MCMC (voir section 10) des dates d'événement de la phase considérée. Cette « plage de temps de la phase » (*Phase Time Range* dans CM) peut être représentée par une barre sur l'échelle du temps. Dans ChronoModel, cette barre est placée au-dessus des deux distributions de début et de fin de phase. L'intervalle *Phase Time Range*, à ne pas confondre avec un intervalle HPD ni avec un intervalle de crédibilité (CI), a pour avantage de donner une estimation de la durée de la phase tout en localisant cette durée sur l'échelle du temps, le tout à un niveau de confiance de 95 % (figure 11b). L'algorithme de calcul de cet intervalle a été mis au point par A. Philippe et M.-A. Vibet (2020) et est aussi implémenté dans la version 2.0 de ChronoModel.

Par conséquent, dans CM, nous avons deux façons d'exprimer le résultat de l'estimation du début et de la fin d'une phase :

- soit à partir les distributions *a posteriori* de début et de fin de phase, avec l'expression d'un intervalle HPD de début et d'un intervalle HPD de fin, à 95 % ;
- soit par un intervalle *Phase Time Range* qui est l'intervalle le plus court qui contient 95 % des couples (début, fin) échantillonnés au cours du calcul MCMC.

La meilleure représentation serait l'intervalle *Phase Time Range* car il prend en compte le fait que les variables début et fin sont dépendantes l'une de l'autre dans la distribution *a posteriori* jointe.

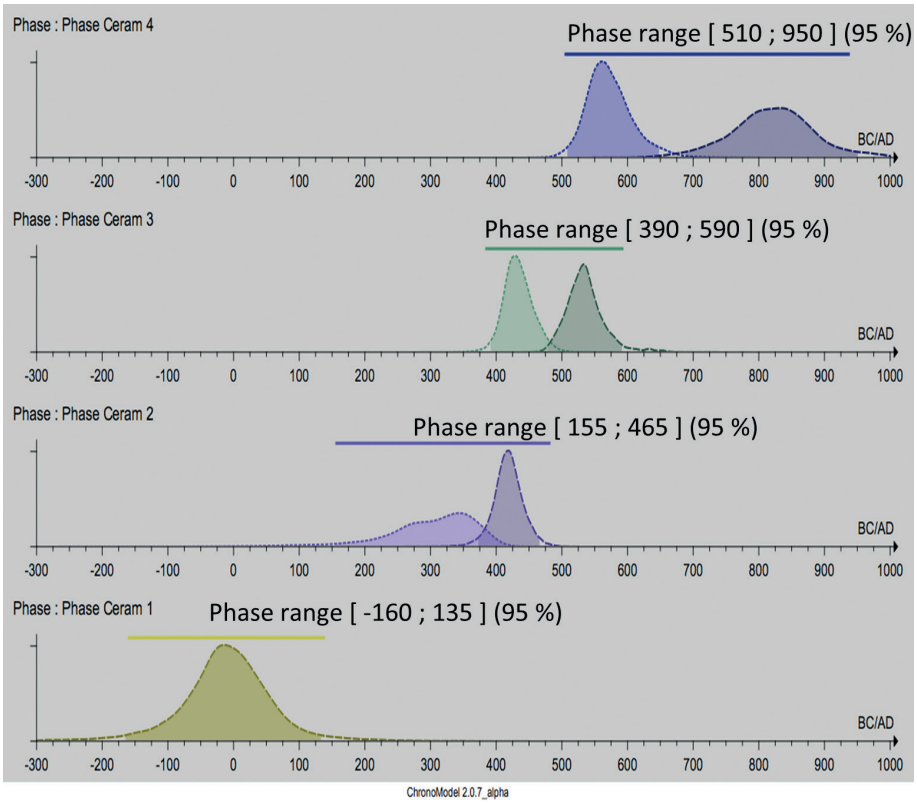


Figure 12 - Exemple de distributions de début et de fin de quatre phases différentes. La barre horizontale représente l'intervalle *Phase Time Range* à 95 % (voir texte).

6.3. Transition et écart de temps entre deux phases

Dans le cas où une contrainte de succession est imposée entre deux phases, on peut aussi définir deux autres intervalles : un intervalle « plage de transition » et un intervalle « écart de temps ».

L'intervalle « plage de transition » (*Transition Range* dans CM) caractérise le passage d'une phase précédente à une phase suivante : c'est l'intervalle le plus court possible comprenant à la fois la fin de la phase précédente et le début de la phase suivante, à un niveau de confiance de 95 %. La plage de transition ne veut pas dire que les deux phases peuvent se chevaucher puisque par hypothèse, elles sont en succession. Cette plage veut dire que la date de passage d'une phase à la suivante se situe quelque part dans cet intervalle à 95 %, du fait des incertitudes sur les dates de fin et de début. S'il y a un hiatus observé entre les deux phases, il est possible de le caractériser par un écart de temps appelé *Gap Range* dans CM.

L'intervalle « écart de temps » (*Gap Range*) caractérise l'absence d'événements datés entre deux phases en succession. C'est l'intervalle le plus grand possible séparant la fin de la phase précédente et le début de la phase suivante, au niveau de confiance de 95 %. Cet intervalle sera nul lorsque la fin de la phase précédente aboute (aux incertitudes près sur les dates) au début de la phase suivante. On peut mieux comprendre le sens et le fonctionnement de ces deux intervalles en imaginant des dates exactes.

6.4. Les résultats statistiques de la phase dans ChronoModel

Les figures 11a et 11b résument les différents éléments qui caractérisent une phase dans ChronoModel.

- Une boîte avec un nom, qui représente la phase et qui comprend la liste de tous les événements lui appartenant.
- Un multi-graphe donnant la suite de toutes les distributions *a posteriori* de dates d'événement de la phase considérée.
- Les deux distributions de début (Start) et de fin (End), avec au-dessus la barre représentant le *Phase Time Range* à 95 % et au-dessous les résultats statistiques donnés ici pour la distribution de début : mode *a posteriori* (MAP), région HPD, intervalle de crédibilité, intervalle *Phase Time Range*.
- La distribution de la durée de la phase (*duration* dans CM), avec le MAP, l'intervalle HPD et l'intervalle de crédibilité (barre au-dessus de la distribution). La distribution étant monomodale, les intervalles HPD et de crédibilité sont identiques, aux fluctuations près de l'échantillonnage MCMC.

La figure 12 donne un exemple de comparaison des distributions de début et de fin de quatre phases. Les aires colorées sous les distributions correspondent aux intervalles HPD. La phase Ceram 1 ne présente qu'une seule distribution : ceci est dû au fait que cette phase ne contient qu'une seule date d'événement. Autrement dit, le début et la fin de cette phase sont toujours égaux : l'estimation de la durée de cette phase, au vu des données, sera égale à zéro ! Même si les calculs de phase sont possibles avec une seule date d'événement, la signification du résultat reste faible comparée aux résultats des autres phases qui contiennent beaucoup de dates.

Les intervalles *Transition Range* et *Gap Range* ne sont pas représentés sur les graphes dans ChronoModel mais les valeurs sont données dans l'onglet « *Posterior Distrib. Stats* » du bouton LOG.

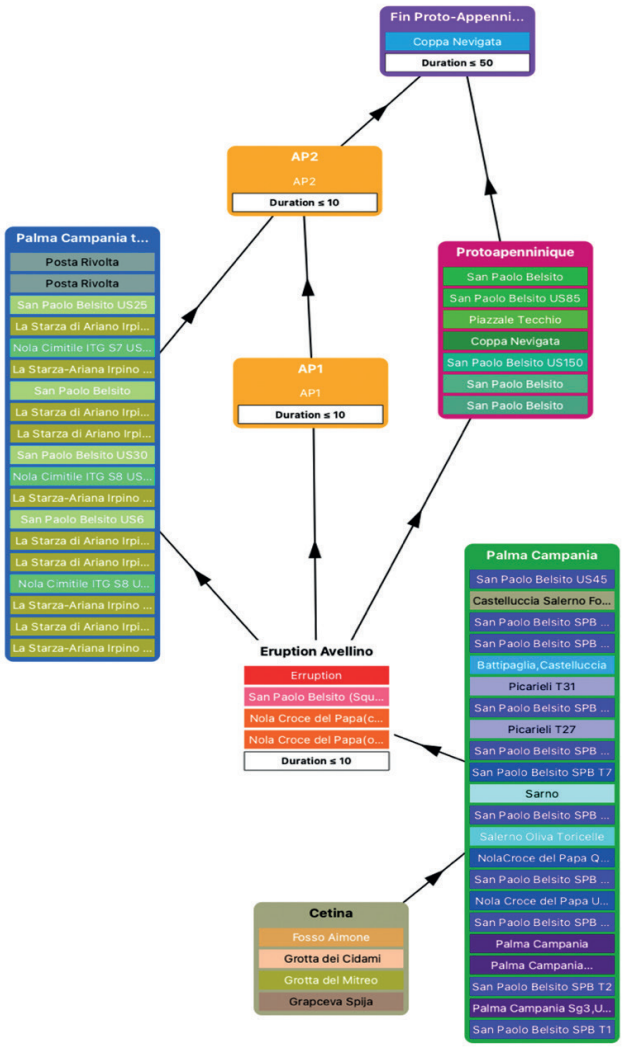


Figure 13 - Modèle chronologique des phases (scène des Phases dans ChronoModel) associées à la datation du village de l'âge du Bronze de Croce-del-Papa, situé à Nola près de Naples en Italie, enseveli par l'éruption vésuvienne dite des « ponces d'Avellino » (Albore Livadie et Vecchio, 2020).

6.5. Stratégie pour mieux estimer les paramètres d'une phase

Pour estimer au mieux le début et la fin d'une phase, il faut trouver des événements datés qui s'y rapportent.

- Si on a des dates historiques (par exemple, naissance et mort d'un individu), alors l'estimation peut être précise, à condition que ces dates soient fiables et qu'elles représentent bien ces limites.
- Si l'on a des événements imprécis mais qui sont en rapport exact avec les début et fin, alors seules de multiples opérations de datation de ces événements peuvent améliorer la précision.
- Enfin, si l'on se place d'un point de vue aléatoire, l'estimation des début et fin sera améliorée au fur et à mesure de la découverte et de la datation d'un nombre de plus en plus grand d'événements au sein de la phase. On finira ainsi par « remplir » l'amplitude de la phase et ainsi par mieux cerner ses limites temporelles. Ceci pose donc la question de la représentativité de l'échantillonnage qui est une condition première à respecter en amont du traitement statistique.

7. Les contraintes *a priori* sur le temps

La prise en compte des relations d'ordre sur le temps permet, le plus souvent, d'améliorer sensiblement la précision et la fiabilité des datations au sein d'un modèle chronologique.

7.1. Les contraintes d'ordre temporel : stratigraphie et succession

Les événements et/ou les phases (qui sont, pour rappel, des groupes d'événements dans ChronoModel) peuvent être liés par des relations d'ordre temporel. Ces relations d'ordre peuvent être définies de différentes manières :

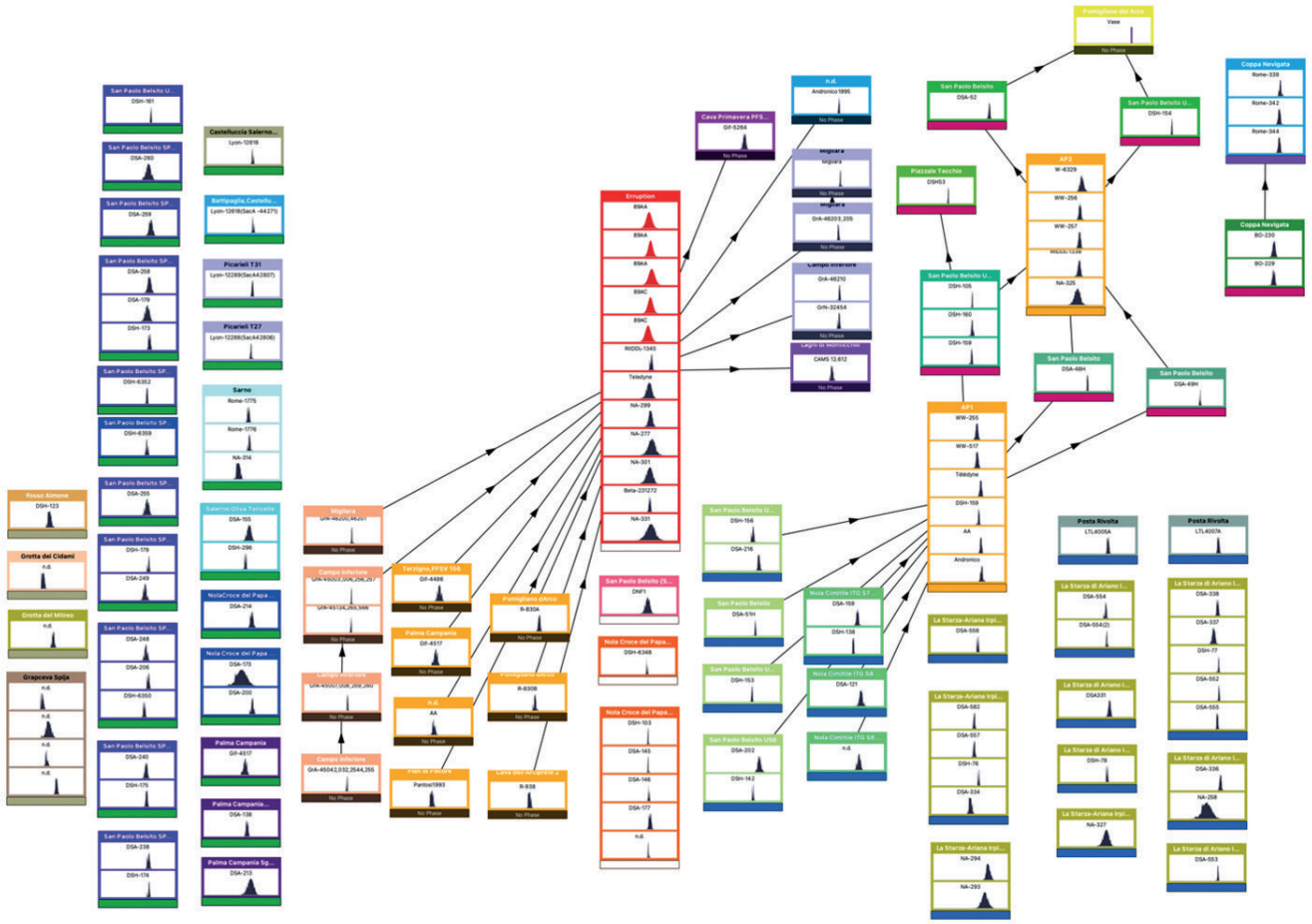


Figure 14 – Modèle chronologique des événements (scène des *Events* dans ChronoModel) associées à la datation du village de l'âge du Bronze de Croce-del-Papa, situé à Nola près de Naples en Italie, enseveli par l'éruption vésuvienne dite des « ponces d'Avellino » (Albore Livadie et Vecchio, 2020). Les flèches représentent les relations stratigraphiques entre les *Events*. L'ellipse représente un *Bound*, c'est-à-dire ici un TPQ.

– par une relation « physique » observée sur le terrain entre des événements ou des groupes d'événements appartenant à des contextes au sein d'une séquence stratigraphique ;
– par des critères stylistiques, techniques, architecturaux, etc. qui peuvent être connus *a priori* et dont on peut suivre l'évolution par une succession de phases chronologiques.

Ces relations d'antéro-postériorité (Desachy, 2005 ; 2008) opèrent directement sur les dates θ des événements cibles et sont représentées par des flèches dans ChronoModel allant de la date la plus ancienne vers la date la plus récente. Les contraintes de succession entre phases, dans CM, ne sont ni plus ni moins que des contraintes d'ordre entre les dates des événements composant ces phases. Ces contraintes entre phases, dans la scène des phases (figure 13), permettent d'éviter la multiplication des flèches dans la scène des événements.

7.2. Les contraintes de borne : Terminus *Post Quem* (TPQ) et Terminus *Ante Quem* (TAQ)

On peut intégrer des TPQ et des TAQ dans ChronoModel en utilisant l'objet borne (*Bound* dans CM). Cet objet permet de rentrer une date sans erreur (date « Dirac », voir figure 1), c'est-à-dire sans erreur expérimentale, sans erreur de calibration et sans erreur aléatoire individuelle. C'est souvent une date historique. Le *Bound* est par définition une borne non modifiable qui sert à contraindre les dates des événements postérieurs ou antérieurs. Par exemple, la plage d'étude (*Study Period*) constitue un intervalle [TPQ, TAQ] *a priori* pour toutes les dates d'événement intervenant dans le modèle.

Dans le cas d'un artéfact dont la date de fabrication du type auquel il appartient est déterminée en typochronologie par un intervalle $[t_1, t_2]$, il est recommandé de contraindre la date de l'événement « fabrication de cet artéfact » par un TPQ dont la valeur est égale à la borne inférieure t_1. Ainsi, la date de fabrication obtenue *a posteriori* ne pourra pas précéder la date t_1 du type. Mais si, en revanche, on considère que la datation typochronologique du type n'est pas forcément fiable, il ne faut alors pas mettre de TPQ sur l'événement « fabrication de l'artéfact ». Dans ces deux cas, il s'agit de bien dissocier la date de fabrication d'un type de celle de l'artéfact appartenant à ce type. Notons que la datation de la fabrication de l'artéfact pourra aussi être améliorée par combinaison avec d'autres datations (archéomagnétisme, luminescence, radiocarbone, dendrochronologie…).

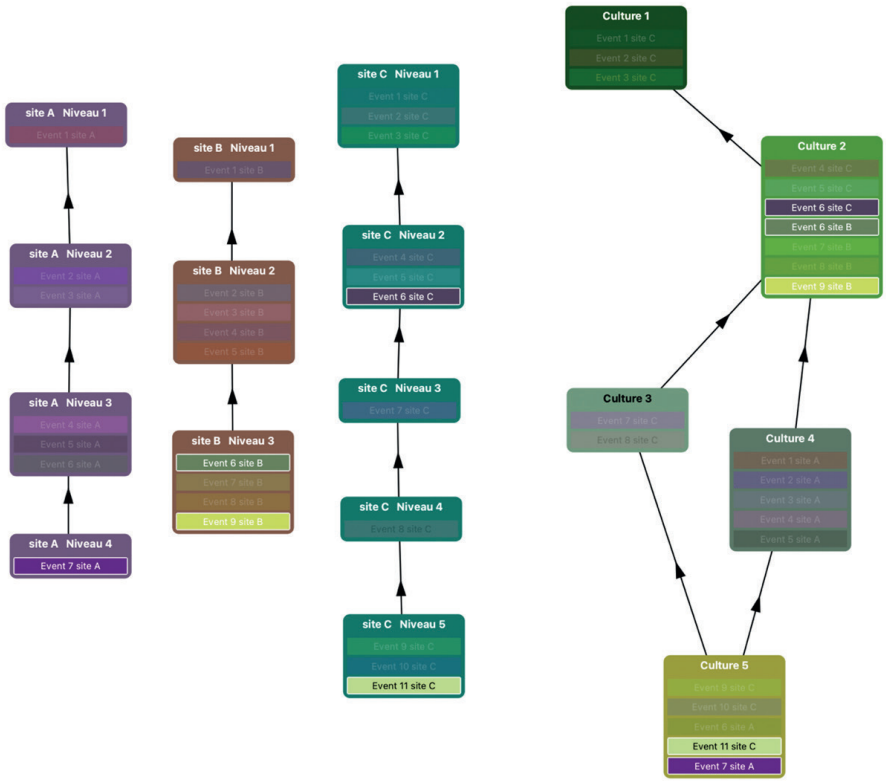


Figure 15 - Exemple formel d'un multi-phasage avec trois séquences stratigraphiques à gauche et une séquence culturelle à droite. Des événements datés peuvent appartenir aux deux systèmes (*Events* cerclés de blanc dans les phases).

7.3. Les contraintes de durée

Dans certains cas, on peut disposer de données ethnographiques qui montrent que la durée de vie de certains édifices est limitée dans le temps, ce qui permet d'estimer, *a priori*, une durée de la phase d'occupation d'une structure. On peut par exemple estimer la durée d'occupation d'une maison à un maximum de 60 ans. Il s'agit là d'une contrainte temporelle que l'on peut imposer aux dates d'événements incluses dans la phase « occupation de la maison ». Si les dates d'événement sont plus étalées que la durée maximale imposée, alors les dates *a posteriori* seront resserrées. Ceci revient à améliorer les datations tout en les localisant plus précisément sur le temps dans la plage d'étude. Si les dates d'événement observées sont beaucoup plus resserrées que la durée maximale *a priori*, les résultats ne seront pas modifiés. Simplement, elles ne contrediront pas l'information *a priori*. Un exemple de ce type est traité pour le site de Malpais Prieto (état de Michoacan, Mexique), étudié par G. Pereira et collaborateurs (Lanos et Philippe, 2017).

Une autre contrainte de durée peut consister à imposer un écart de temps, un hiatus entre deux phases 1 et 2 en succession de telle sorte que l'écart de temps observé entre la date minimale de la phase 2 et la date maximale de la phase 1 soit supérieur ou égal à ce hiatus. Les exemples archéologiques offrant ce type d'information ne sont pas courants.

Notons qu'on ne peut pas définir, *a priori*, de durée minimale pour une phase à partir des dates elles-mêmes. En effet, imposer une durée minimale à une phase reviendrait à trouver au moins un écart entre deux dates qui soit supérieur ou égal à cette durée minimale. Ce serait donc imposer entre certaines dates un hiatus égal à cette durée minimale. Mais quelles dates choisir *a priori*? Si l'on dispose de cette information, il faudrait créer deux phases pour ces dates, séparées par ce hiatus.

7.4. Mise en place des événements, des phases et des contraintes sur le temps : exemple d'un site de l'âge du Bronze : Avellino (Italie)

Nous présentons ici l'exemple d'un modèle chronologique qui porte sur la datation du village de l'âge du Bronze de Croce-del-Papa, situé à Nola près de Naples en Italie, enseveli par l'éruption vésuvienne dite des « ponces d'Avellino » (Albore Livadie et Vecchio, 2020, et dans cet ouvrage : article de Lanos *et al.*, 2020). L'objectif de cette étude est d'établir la chronologie de huit phases dont celle correspondant à l'éruption d'Avellino.

Dans ChronoModel (Lanos et Dufresne, 2019, version CM 2.0), le modèle est décomposé sur deux scènes : la scène des phases et la scène des événements. La scène des phases en figure 13 comprend trois phases géologiques : l'éruption d'Avellino proprement dite et les éruptions protohistoriques ultérieures « AP1 » et « AP2 ». Ces phases se succèdent et sont contraintes par une durée maximale de dix ans. Le modèle comprend aussi cinq phases archéologiques qui correspondent à différentes cultures de l'âge du Bronze en Campanie qui sont antérieures ou postérieures à l'éruption d'Avellino : « Palma Campania Tardif » qui succède à « Éruption Avellino » et précède « AP2 », « Proto-Apenninique » qui succède à Avellino et précède « Fin proto-Apenninique ». Enfin, la phase « Cetina » précède la phase « Palma Campania » qui elle-même précède la phase « Éruption Avellino ». Les relations de succession entre les phases sont représentées par les flèches en figure 13. Il n'y a pas de contrainte de durée sur ces phases archéologiques excepté pour « Fin proto-Apenninique » dont la durée maximale est de cinquante ans. Mais cette contrainte n'aura pas d'effet puisque cette phase ne contient qu'une seule date.

La scène des événements en figure 14 regroupe l'ensemble des événements géologiques ou archéologiques définis

chronologiquement par une ou plusieurs datations. Par exemple, l'événement « Éruption », en rouge au centre de la figure, comprend sept datations ^{14}C de différents sites et cinq datations Potassium-Argon. Les flèches représentent les relations stratigraphiques observées sur le terrain. Certaines de ces relations interviennent entre des événements qui ne sont dans aucune phase mais qui viennent contraindre l'événement « Éruption » lui-même dans la phase « Éruption Avellino ».

La prise en compte des données chronologiques et des relations stratigraphiques et de phasage permet d'établir, *a posteriori*, la date de l'éruption d'Avellino qui est donnée par l'intervalle *Phase Time Range* [-1906, -1829] à 95 % de confiance. On peut constater que cet intervalle comprend la borne inférieure de l'intervalle HPD du début de la phase : [-1906, -1836] et la borne supérieure de l'intervalle HPD de fin de la phase : [-1898, -1828], aux fluctuations près de l'échantillonnage MCMC. Cet exemple montre l'importance de pouvoir traiter un grand nombre de données et de contraintes afin d'obtenir des estimations *a posteriori* précises.

7.5. Le multi-phasage dans ChronoModel

Dans ChronoModel, il est possible de créer un multi-phasage afin de croiser des contraintes d'ordre sur le temps selon plusieurs critères qui peuvent être à la fois stratigraphiques, typologiques, culturels, etc. Par exemple, un phasage culturel peut recroiser un phasage stratigraphique dans le sens où certains événements cibles peuvent appartenir à ces deux phasages (figure 15). Ces phasages apparaissent donc séparés sur la scène des phases dans ChronoModel. Un tel réseau de contraintes, lorsqu'il est possible, peut contribuer de manière significative à améliorer la précision des estimations des dates dans le modèle. À titre d'exemple, cette approche par multi-phasage a été mise en œuvre par (Banks *et al.*, 2019) pour mieux contraindre les cultures archéologiques du Paléolithique supérieur en France entre 32000 et 21000 BP.

L'exemple théorique de la figure 15, inspiré de l'article de Banks *et al.* (2019), montre quatre phasages différents. Nous avons trois séquences stratigraphiques A, B et C comprenant respectivement 4, 3 et 5 phases (contextes stratigraphiques) contenant chacune un ou plusieurs *Events* (pouvant eux-mêmes comporter une ou plusieurs datations chronométriques). Et nous avons une séquence culturelle composée de cinq phases en contrainte de succession, où les phases « Culture 3 » et « Culture 4 » ne sont pas contraintes entre elles : elles peuvent donc être contemporaines *a priori*.

En figure 15, nous avons souligné par un cadre blanc cinq événements qui appartiennent aux deux phasages. Ainsi, l'événement « *Event* 7 site A » appartient à la phase stratigraphique « Site A niveau 4 » et à la phase culturelle « Culture 5 ». L'événement « *Event* 6 site C » appartient à la phase stratigraphique « Site C niveau 2 » et à la phase culturelle « Culture 2 ». On peut bien sûr avoir le cas d'événements qui n'appartiennent qu'à un seul phasage. Ces relations d'antéro-postériorité entrecroisées permettent de bien contraindre les données (les dates d'événement θ échantillonnées au cours du calcul MCMC (voir section 10) devront respecter toutes ces contraintes en même temps) et donc d'obtenir des estimations *a posteriori* là encore plus précises.

7.6. Question de l'insertion d'un événement de date inconnue

Les événements ne peuvent être intégrés dans ChronoModel que si des datations y sont associées. Un modèle stratigraphique construit dans ChronoModel est donc équivalent à un sous-ensemble du diagramme stratigraphique complet d'un site ou d'un ensemble de sites. En effet, dans les diagrammes stratigraphiques, les structures non datées sont nombreuses, le plus souvent majoritaires. Aussi la question se pose de savoir si la date d'une structure comprise entre des événements datés peut être estimée *via* ChronoModel ? Une idée souvent proposée est d'intégrer cette structure à dater sous la forme d'un événement contenant une date typo-chronologique (date uniforme) large couvrant par exemple toute la plage d'étude, ou bien une date gaussienne ayant une très grande variance. Le problème est que l'insertion d'un événement (*Event*) de ce type va forcément provoquer une modification du modèle global et par conséquent risque de conduire à des résultats biaisés. Or, les questions posées du type date d'un événement « non daté », date de début, date de fin, durée d'une phase, ne doivent pas conduire à introduire des paramètres ou des données qui modifieront le modèle et donc les résultats *a posteriori*. Les requêtes doivent se faire sans être obligé de modifier le modèle global (voir section 8).

Cependant, il est possible d'introduire une (ou plusieurs) date « flottante » entre deux événements datés A et B (*Events*), grâce à un objet statistique pour lequel il faut alors définir une densité de probabilité *a priori* de la forme $1/(\theta_B - \theta_A)$. Cet objet statistique, qui constitue un élément de modélisation différent de l'*Event* et du *Bound*, n'est pas encore en place dans ChronoModel. Mais il le sera à terme car il permet de répondre à deux types de questions :

- i) Estimer une date (ou plusieurs) date(s) entre deux événements datés, sans que cela ne modifie le modèle global, comme exigé plus haut.
- ii) Prendre en compte des contraintes d'ordre *a priori* qui opèrent entre des événements datés et des événements non datés mais contraints par d'autres informations. Dans ce cas, ces contraintes *a priori* agiront sur le modèle global. Par exemple, une construction (événement daté par archéomagnétisme) précède une autre construction non datée mais dont l'architecture appartient à une phase architecturale elle-même datée par d'autres événements et dont la durée maximale est connue et fixée.

7.7. La question des *boundaries* : BCal et OxCal *versus* ChronoModel

Les *boundaries* début (noté α) et fin (noté β) implémentés dans BCal et OxCal sont des paramètres supplémentaires de modélisation de la phase. Ces paramètres interviennent dans le modèle statistique en agissant sur les dates d'événement et servent aussi de requête afin de caractériser *a posteriori* le début et la fin d'une phase. Dans Lanos et Philippe (2018), nous avons montré que l'ajout de ces paramètres provoque *a priori* un resserrement des dates d'événement dans la phase qui a, en particulier, pour effet de privilégier les dates précises par rapport aux dates imprécises. Ceci nous semble artificiel, peu conforme à la réalité archéologique : en effet, une date peu précise peut être très fiable et une date très précise complètement fausse ! C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas introduit ces paramètres dans la modélisation CM. Une autre raison réside dans le fait que les *boundaries* s'appliquent très difficilement, voire pas du tout, dans le cas du multi-phasage (voir section 7.5).

7.8. La question de l'*a priori* sur les dates d'événement

La question de la définition de l'*a priori* sur les dates d'événement θ dans une phase nous place au cœur du paradigme bayésien, à savoir comment construire un *a priori* de type non informatif (Robert, 2001 ; Parent et Bernier, 2007). Dans le cas de CM 2.0, nous avons vu en section 6.1 que cet *a priori* sur les dates θ est choisi uniforme. Or, dans le cas de l'application de contraintes d'ordre sur des dates dont les distributions se chevauchent (c'est-à-dire ayant une très forte tendance à la contemporanéité), les distributions *a posteriori* obtenues peuvent largement s'écarter les unes des autres, au sens des distributions marginales (c'est-à-dire en regardant les variables θ une par une). Une façon de corriger cet effet d'étalement est de modifier l'*a priori* sur les dates θ. L'idée consiste à dire que c'est l'étendue (le *span*) des dates θ qui suit une loi *a priori* uniforme sur la plage d'étude (Nicholls et Jones, 2001). Il se trouve qu'une telle densité *a priori* uniforme sur l'étendue d'un groupe de dates est plus naturel à concevoir d'un point de vue archéologique qu'une distribution uniforme des dates elles-mêmes dans la plage d'étude. Autrement dit, il est plus naturel de considérer qu'une grande étendue des dates n'est pas plus probable, *a priori*, qu'un resserrement des dates quelque part sur l'échelle du temps. Cet *a priori* n'est pas implémenté dans la version CM 2.0 mais le sera dans la prochaine version CM 3.0. Remarquons cependant que cet effet d'étalement n'intervient de façon significative que sur les dates qui se trouvent en tout début ou en toute fin d'un modèle global. Notons aussi que cet *a priori* uniforme est implémenté dans OxCal *via* la fonction *UniformSpanPrior* qui agit alors non pas sur les dates θ mais sur les *boundaries* dans une séquence (Bronk Ramsey, 2009).

8. Requêtes et post-traitement

Les requêtes (questions, *queries* dans OxCal) sont posées dans une seconde étape qu'on appelle post-traitement, c'est-à-dire une fois tous les calculs MCMC effectués. Ainsi, les caractéristiques statistiques des distributions *a posteriori* (voir sections 4.1 et 6.4) sont calculées à partir des chaînes de Markov obtenues (voir section 10). Les intervalles « plage de temps de la phase » (*Phase Time Range*), « plage de transition » (*Transition Range*) et « écart de temps » (*Gap Range*) (voir sections 6.2 et 6.3) sont aussi calculés en post-traitement à partir des chaînes de Markov. À partir de ces chaînes, il est aussi possible de répondre à d'autres questions comme l'écart *a posteriori* entre deux dates, le test d'antéro-postériorité, la distribution de date d'un événement (ou d'une phase) non daté.

8.1. Distribution de l'écart *a posteriori* entre deux dates

Le calcul de l'écart *a posteriori* entre deux dates d'événement θ_A et θ_B peut être effectué à partir des deux chaînes de Markov correspondantes qui sont accessibles, dans ChronoModel, dans le fichier CSV « *Chain_all_Events* » obtenu *via* la procédure de sauvegarde « *Results* / *Saving* / CSV ». Le nombre de lignes correspond au nombre r d'itérations MCMC effectuées. On peut recopier les deux colonnes dans un tableur pour calculer la différence $\delta = \theta_B - \theta_A$ (si θ_A précède θ_B) pour chacune des r itérations. La distribution des écarts δ pourra alors être représentée par un histogramme.

8.2. Tests d'antéro-postériorité sur les dates

Ce test permet d'estimer la probabilité *a posteriori* qu'une date θ_A soit antérieure à une date θ_B (il n'y a pas de contraintes d'ordre *a priori*). À partir des chaînes MCMC de θ_A et θ_B, on calcule la différence $\delta = \theta_B - \theta_A$. Si la valeur δ est positive ou nulle, on lui associe la valeur 1, sinon on lui associe la valeur 0. La somme de ces valeurs divisée par le nombre r d'itérations MCMC donnera la probabilité que θ_A soit avant θ_B.

8.3. Distribution de date d'un événement non daté situé entre deux distributions de date

Il est aussi possible de déterminer la distribution de la date d'un événement A (ou d'un groupe d'événements, d'une phase) qui se serait produit entre deux événements notés D (pour début) et F (pour fin) datés *a posteriori*. À partir des chaînes MCMC des dates θ_D et θ_F, on échantillonnera la date θ_A uniformément entre θ_D et θ_F (uniformément car faute d'information supplémentaire) selon la formule , $\theta_A = \theta_F + alea(\theta_F - \theta_D)$ « alea » étant une fonction produisant un nombre aléatoire uniforme supérieur ou égal à 0 et inférieur à 1. La distribution de θ_A pourra être caractérisée comme en section 8.1.
Il est aussi possible d'estimer les distributions *a posteriori* de deux ou plusieurs dates θ_A, θ_B,… comprises entre θ_D et θ_F sous la contrainte que $\theta_A \leq \theta_B \leq \ldots$ On échantillonne alors :

$\theta_1 = \theta_D + alea(\theta_F - \theta_D)$
$\theta_2 = \theta_D + alea(\theta_F - \theta_D)$ …
et on trie les valeurs obtenues dans l'ordre croissant de telle sorte que $\theta_A = \theta_{(1)}$, $\theta_B = \theta_{(2)}$…

8.4. La densité jointe *a posteriori*

Les résultats des calculs MCMC sont résumés principalement sous la forme de distributions marginales *a posteriori*, avec les statistiques associées. En réalité, le calcul MCMC fournit une distribution jointe *a posteriori* sur toutes les variables à estimer qui sont ainsi plus ou moins fortement corrélées entre elles. Cette densité jointe est donnée par le tableau où les colonnes correspondent à toutes les variables du modèle global (dates chronométriques, dates des événements, erreurs individuelles) et où chaque ligne correspond à une itération MCMC. Par exemple, le calcul des intervalles « plage de temps de la phase » (*Phase Time Range*), « plage de transition » (*Transition Range*) « écart de temps » (*Gap Range*) (voir sections 6.2 et 6.3), est basé sur cette densité jointe. Les distributions marginales *a posteriori* donnent donc une vision partielle du résultat joint. Il est possible de représenter la densité de probabilité jointe *a posteriori* pour deux variables x et y choisies (correspondant à deux colonnes dans le tableau MCMC), en traçant les courbes d'iso-densité sur un plan (x, y). Mais il reste difficile, même dans ce cas simple, de définir une région HPD bidimensionnelle. En revanche, on peut déterminer un mode *a posteriori* (MAP) multidimensionnel qui peut permettre de localiser où se concentre l'information (s'il existe un seul MAP). Il n'en reste pas moins que la façon d'utiliser et d'interpréter ces caractéristiques multidimensionnelles reste encore à définir !

8.5. Caractérisation des *Outliers*

Il n'y a pas de procédure de détection ou de test d'*Outlier* à proprement parler dans ChronoModel. Cependant, l'examen des distributions d'erreur individuelle *a posteriori*, comme dans l'exemple de la section 5.4, permet de les repérer : ce sont les distributions qui présentent les plus grandes valeurs par rapport aux autres pour les dates au sein d'un même modèle d'événement. Les dates chronométriques cohérentes entre elles présenteront de faibles erreurs *a posteriori* alors que les dates éloignées ou multimodales présenteront de fortes valeurs d'erreur, souvent avec un grand étalement (figure 10b).

9. Caractérisation du rythme des événements dans une phase

9.1. Cumul (ou somme) des distributions de dates *a posteriori* : quelle signification ?

La littérature archéologique représente souvent un ensemble de dates par la somme des densités de probabilités *a posteriori*. La courbe obtenue est appelée *Cumulative Probability Density Function* (CPDF) ou encore *Summed distribution* (Vermeesch, 2012 ; Contreras et Meadows, 2014 ; Bronk Ramsey, 2017). Elle est proposée par de nombreux logiciels, par exemple par BCal, OxCal (fonction *Sum*), Calib et ChronoModel.
Cette distribution permet de caractériser la répartition des événements au sein d'une phase. Nous pouvons ainsi mettre en évidence des changements rapides (qui peuvent être interprétés comme des crises au sein d'une période), ou bien encore des moments calmes ou encore des hiatus (absence d'événements datés). Ceci revient à regarder la densité (ou l'intensité) des dates d'événement au cours du temps.
Peut-on imaginer *a priori* un processus temporel de survenue des événements dans une phase ? En fait, nous n'avons pas cette information *a priori* et c'est la raison pour laquelle nous faisons des datations afin de caractériser le processus en jeu ! Cependant, il est important de remarquer que le modèle de phase de ChronoModel, qui suppose une distribution uniforme *a priori* (faute d'information supplémentaire) des dates d'événement dans la plage d'étude, constitue en soi un processus *a priori*, et plus exactement un processus aléatoire ponctuel homogène de Poisson (Foata et Fuchs, 2002). L'idée consiste donc à comparer le processus empirique estimé à partir des dates d'événement *a posteriori* avec le processus de Poisson pour détecter d'éventuelles variations significatives dans le rythme des événements étudiés.

9.2. Courbe Tempo-Plot

On peut caractériser le processus temporel empirique par la courbe *Tempo-Plot* (Dye, 2016 ; Philippe et Vibet, 2020) qui représente le nombre $N(\theta)$ d'événements qui se sont produits avant une date θ, sachant les mesures M du modèle global. Ce nombre est défini par la formule de comptage :
$N(\theta) = \sum^{n}_{i=1} 1_{]-\infty,\theta]}(\theta_i)$ (3)
où $1_{]-\infty,\theta]}(x)$ est la fonction indicatrice qui vaut 1 si x est inférieur à θ et 0 sinon.
La variable $N(\theta)$ suit une loi binomiale de paramètres n et p_θ. Le paramètre p_θ est la proportion théorique d'événements survenant avant θ, sachant les données M, d'où la notation : $p_\theta = \text{Prob}(\theta_i < \theta | M) = F(\theta)$. La fonction $F(.)$ est appelée fonction de répartition de la variable θ. Pour la loi binomiale, la moyenne et la variance de $N(\theta)$ sont données par :
$E[N(\theta)] = np_\theta$ (4)
où E[.] représente la fonction moyenne (appelée Espérance).
$Var[N(\theta)] = np_\theta(1 - p_\theta)$ (5)
Le paramètre p_θ est estimé à partir des r itérations de la chaîne MCMC, par la formule de comptage :

$$\hat{p}_\theta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{r}\sum_{k=1}^{r} 1_{]-\infty,\theta]}\left(\theta_i^k\right)\right)$$

La valeur θ_i^k est la date échantillonnée pour l'événement i à l'itération k du calcul MCMC. À titre d'exemple, la

figure 16 donne le *Tempo-Plot* obtenu pour les 35 événements datés de la phase présentée en figure 11a, avec l'enveloppe d'erreur à 95 % déterminée à partir de la variance (5), en supposant une distribution d'erreur gaussienne.

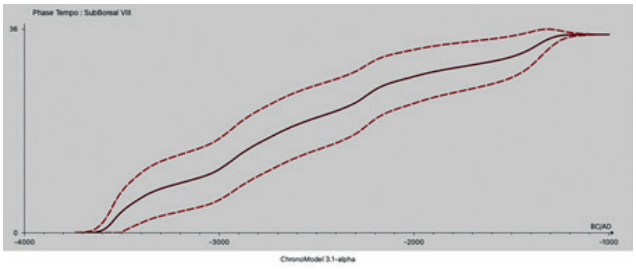


Figure 16 - *Tempo-Plot* obtenu à partir des 35 dates d'événement de la figure 11a, avec l'enveloppe d'erreur à 95 % (courbe en pointillé) autour du *Tempo-Plot* moyen.

9.3. Courbe d'activité (ou d'intensité)

Le rythme des événements datés est indiqué par les inflexions de la courbe *Tempo-Plot*. Lorsque la pente de la courbe est forte, il se produit beaucoup d'événements, lorsque la pente est faible, il se produit peu d'événements. Si la pente est nulle, il ne se produit aucun événement. Bien sûr, la signification des variations de la pente dépend de la largeur de l'enveloppe d'erreur associée. Pour faciliter la lecture de cette courbe, nous calculons la courbe d'Activité, appelée aussi courbe d'intensité, qui donne le nombre d'événements qui se sont produits dans un intervalle de temps, appelé fenêtre, de largeur h centré sur θ :

$$Act(\theta,h)=\frac{1}{h}\sum_{i=1}^{n}1_{\left]\theta-\frac{h}{2},\theta+\frac{h}{2}\right]}(\theta_i)=\frac{1}{h}\left(N\left(\theta+\frac{h}{2}\right)-N\left(\theta-\frac{h}{2}\right)\right) \quad (6)$$

De façon analogue au *Tempo-Plot*, la somme $\sum_{i=1}^{n}1_{\left]\theta-\frac{h}{2},\theta+\frac{h}{2}\right]}(\theta_i)$ est une variable aléatoire qui suit une loi binomiale de paramètres n et q_θ. Le paramètre q_θ est la proportion théorique d'événements survenant dans la fenêtre de largeur h centrée sur θ, sachant les données M, d'où la notation :

$$q_\theta=Prob\left(\theta-\frac{h}{2}<\theta_i<\theta+\frac{h}{2}\,\middle|\,M\right)=F\left(\theta+\frac{h}{2}\right)-F\left(\theta-\frac{h}{2}\right)$$

La fonction $F(.)$ est la fonction de répartition du *Tempo-Plot*. La moyenne (nombre moyen d'événements par unité de temps) et la variance de l'activité sont alors données par :

$$E\left[Act(\theta,h)\right]=\frac{n}{h}q_\theta \quad (7)$$

$$Var\left[Act(\theta,h)\right]=\frac{n}{h^2}q_\theta(1-q_\theta) \quad (8)$$

Le paramètre q_θ est estimé à partir des r itérations de la chaîne MCMC, par la formule de comptage :

$$\hat{q}_\theta=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{r}\sum_{k=1}^{r}1_{\left]\theta-\frac{h}{2},\theta+\frac{h}{2}\right]}(\theta_i^k)\right)$$

Comparaison de la courbe d'activité observée avec l'hypothèse de dates aléatoires uniformes.

La question se pose de savoir si les pics observés sur la courbe d'activité sont statistiquement significatifs par rapport à la courbe que l'on obtiendrait dans l'hypothèse d'un processus ponctuel de Poisson, c'est-à-dire avec une répartition aléatoire uniforme des dates dans la phase, sachant le nombre n de dates. Ainsi, dans l'hypothèse où toutes les dates sont uniformément distribuées entre les dates θ_m et θ_M (définies à partir des distributions de début et fin de la phase), on a $q_\theta = h/(\theta_M - \theta_m)$. Nous pouvons alors déduire de (7) et (8) que :

$$E\left[Act(\theta,h)\right]_{unif}=\frac{n}{(\theta_M-\theta_m)} \quad (9)$$

$$Var\left[Act(\theta,h)\right]_{unif}=\frac{n}{(\theta_M\quad\theta_m)}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{(\theta_M\quad\theta_m)}\right) \quad (10)$$

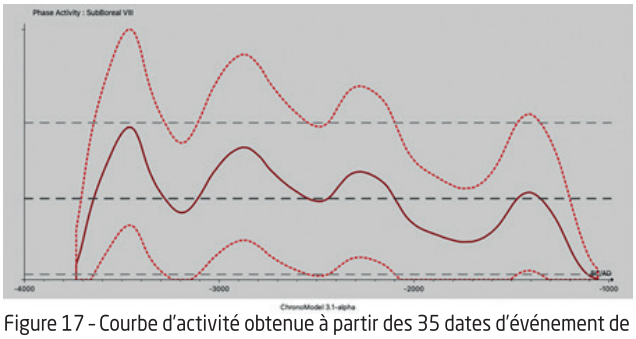


Figure 17 - Courbe d'activité obtenue à partir des 35 dates d'événement de la figure 11a, calculée ici avec une fenêtre h = 300 ans (courbe moyenne en marron). L'enveloppe (en pointillé) est définie à 95 %. La courbe horizontale en trait pointillé avec son enveloppe à 95 %, en gris, représente ce que serait la distribution théorique des 35 dates dans l'hypothèse d'une répartition aléatoire uniforme des dates dans la phase. La signification des pics observés est fortement dépendante du nombre de dates disponibles (voir texte).

La figure 17 montre la courbe d'activité moyenne $E[Act(\theta,h)]$ (en trait continu) avec son enveloppe d'erreur à 95 % donnée par $E[Act(\theta,h)] \pm 1.96\sqrt{Var[Act(\theta,h)]}$ (en trait pointillé), supposée gaussienne, calculée avec une fenêtre de largeur h = 300 ans sur les données de la figure 11 qui sont réparties entre $\theta_m = -3750$ et $\theta_M = -1050$. Pour comparaison, la courbe obtenue dans l'hypothèse d'événements aléatoires uniformes à partir des formules (9) et (10) est tracée en trait pointillé horizontal pour la moyenne et en trait pointillé gris pour l'enveloppe à 95 %. On voit ici que les « pics » moyens observés, pour la largeur de fenêtre h choisie, restent dans l'enveloppe d'erreur uniforme à 95 %. Pour un temps θ donné, on peut faire un test pour comparer la moyenne observée (7) avec la moyenne « uniforme » (9) en tenant compte des variances et en supposant que les moyennes suivent des lois gaussiennes. Dans le cas de la figure 17, il n'y a aucun pic (ou creux) qui contredit l'hypothèse selon laquelle la moyenne observée ne diffère pas significativement de la moyenne « uniforme ». Autrement dit, il n'y a pas de signal archéologique particulier qui puisse être extrait de cette courbe d'activité ! La conclusion est que le nombre de dates n'est pas suffisant pour mettre en évidence un net changement de rythme, à supposer qu'il y en ait un.

Ainsi, la prise en compte de l'enveloppe d'erreur pour une largeur de fenêtre fixée permet d'éviter de surinterpréter toute variation dans la courbe d'activité.

Notons qu'il est supposé que les dates mises en jeu dans ce type d'analyse constituent un échantillon représentatif du phénomène étudié, hypothèse qu'il faut vérifier. Reste aussi la question du choix de la largeur h de la fenêtre. Une idée est de faire varier la largeur h de la fenêtre pour optimiser l'écart entre les deux courbes, ce qui peut fournir un moyen de caractériser la résolution temporelle d'un pic ou d'un creux si celui-ci est détecté comme significatif au sens du test de comparaison utilisé.

Activité moyenne instantanée

En faisant tendre la largeur de la fenêtre h vers 0, nous obtenons le taux de variation instantané du nombre moyen d'événements en fonction du temps $\widehat{Act}(\theta)$, soit :

$$\widehat{Act}(\theta) = \lim_{h\to o} E\left[Act(\theta,h)\right] = \lim_{h\to o}\left(n\frac{F\left(\theta+\frac{h}{2}\right)-F\left(\theta-\frac{h}{2}\right)}{h}\right) = nF'(\theta) = n\,f(\theta)$$

$F'(\theta) = f(\theta)$ représente la dérivée (au sens mathématique) de la fonction de répartition $F(.)$ supposée continue et dérivable.

D'autre part, on montre que cette activité moyenne instantanée est aussi égale à la limite, sous le signe somme $\sum$ de la formule (6), des moyennes (espérances) des variables $1_{\left]\theta-\frac{h}{2},\theta+\frac{1}{2}\right]}(\theta_i)$:

$$\widehat{Act}(\theta) = \lim_{h\to 0}\sum_{i=1}^{n}\frac{Prob\left(\theta-\frac{h}{2}<\theta_i<\theta+\frac{h}{2}\,|\,M\right)}{h} =$$

$$\sum_{i=1}^{n}\lim_{h\to 0}\left(\frac{F_i\left(\theta+\frac{h}{2}\right)-F_i\left(\theta-\frac{h}{2}\right)}{h}\right) = \sum_{i=1}^{n}F_i'(\theta) = \sum_{i=1}^{n}f_i(\theta)$$

Les dérivées $F_i'(.) = f_i(.)$, qui ont pour fonctions de répartition $F_i(.)$, correspondent aux distributions *a posteriori* des dates θ_i des événements i : en effet, les dates ne sont pas connues de façon exacte.

Des deux calculs précédents on en déduit que la densité :

$$f(\theta) = \frac{1}{n}\widehat{Act}(\theta) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}f_i(\theta) \qquad (11)$$

L'expression (11) montre que, lorsque h tend vers zéro, l'activité moyenne instantanée $\widehat{Act}(\theta)$ est égale à la somme des n densités de date *a posteriori* des événements considérés, c'est-à-dire égale à la distribution cumulée des dates *a posteriori* sachant les données. On a ainsi le résultat :

Courbe d'activité moyenne instantanée $\widehat{Act}(\theta)$ = distribution cumulée (CPDF) = distribution 'SUM'.

Mais cette activité $\widehat{Act}(\theta)$ constitue une estimation de l'activité instantanée que si dans le même temps sa variance tend vers zéro lorsque h tend vers zéro : ce qui implique que le produit nh tende lui-même vers l'infini, autrement dit que le nombre de dates n dans l'intervalle $\left[\theta-\frac{h}{2},\theta+\frac{h}{2}\right]$ soit suffisamment grand.

Dans la pratique, une distribution CPDF est construite au sens d'un histogramme avec une largeur de classe h. La question se pose de déterminer le meilleur h (Bronk Ramsey, 2017). Dans notre approche, nous remplaçons l'approche par histogramme par le calcul de la courbe d'activité instantanée $\widehat{Act}(\theta)$ qui est fondamentalement un estimateur de densité par fenêtre glissante à noyau uniforme (Rivoirard et Stoltz, 2012). À partir de là, nous cherchons le meilleur h qui maximise l'écart avec une distribution uniforme et pouvons appliquer un test pour voir si cet écart est significatif.

Ainsi, il est absolument nécessaire de calculer l'enveloppe d'erreur sur la courbe d'activité afin d'éviter toute surinterprétation des pics ou des creux observés dans cette courbe. La comparaison de la courbe d'activité empirique munie de son enveloppe d'erreur (formules 7 et 8) avec la courbe dans l'hypothèse uniforme (formules 9 et 10) est donc indispensable pour mettre en évidence d'éventuels changements de rythme significatifs dans une suite d'événements datés.

9.4. Courbe d'activité et calibration ^{14}C

Est-ce que les variations non linéaires de la courbe de calibration du ^{14}C influencent la forme de la courbe d'activité? Est-ce que les pics ou creux observés peuvent être provoqués par les ciseaux ou plateaux de la courbe de calibration? Pour répondre à ces questions, on se propose de calculer la courbe d'activité dans le cas de la calibration simple d'une série d'âges A_i (correspondant à des mesures M_i) en date calendaire t (en lieu et place de la date θ qui correspond au modèle d'*Event* dans ChronoModel), ces âges A_i étant eux-mêmes issus de dates t_i indépendantes et uniformément répartis sur le temps.

Nous effectuons les opérations suivantes :

1. On simule un temps t_i selon une loi uniforme $p(t_i)$ sur la période d'étude entre t_m et t_M. Dans ce cas, la densité de probabilité de date *a priori* s'écrit : $p(t_i) = \frac{1}{(t_M - t_m)}1_{[t_M - t_m]}(t_i)$

Cette fonction prend la valeur constante $\frac{1}{(t_M - t_m)}$ entre t_m et t_M.

2. On simule un âge A_i selon la distribution $p(A_i|t_i)$qui représente la loi de l'observation A_i lorsque l'on se fixe le temps t_i (voir sections 2 et 3). Cette distribution suit une loi normale (de Gauss) de moyenne $g(t_i)$ et de variance $\sigma_A^2 + \sigma_{g(ti)}^2$, où $g(.)$ est la courbe de calibration.

Dans cette simulation, on suppose que l'erreur sur chaque âge A_i est identique et égale à σ_A. D'autre part, $\sigma_{g(ti)}$ est l'erreur sur la courbe de calibration à l'instant t_i.

3. Suivant la formule (2), où l'on suppose que $p(t)$ est uniforme, on calcule les densités de date calibrées $p(t|A_i) = f_i(t)$ pour l'ensemble des couples simulés (t_i, A_i). On détermine ensuite la courbe d'activité instantanée $\widehat{Act}(t)$ en repartant

de la formule (11), où l'on remplace θ par t et où les données connues M sont remplacées par des âges aléatoires A_i de densité $p(A_i|t_i)$:

$$\widehat{Act}(t) = \int p(t \mid A_i) p(A_i \mid t_i)\, p(t_i)\, dA_i dt_i \qquad (12)$$

L'âge A_i varie de $-\infty$ à $+\infty$ et le temps t_i varie de t_m à t_M. La densité $p(A_i|t_i)$ agit comme un terme de pondération sur l'âge A_i, tandis que le terme $p(t_i)$ constitue le terme de pondération sur le temps t_i. L'intégration sur le temps t_i selon une loi uniforme sur l'intervalle $[t_m,t_M]$ conduit à l'expression :

$$\widehat{Act}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(t \mid A_i) p(A_i)\, dA_i \qquad (13)$$

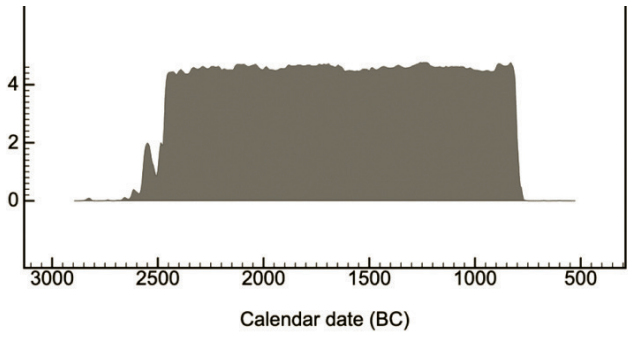
Le terme $p(A_i)$ correspond à la distribution marginale de l'âge quel que soit le temps t_i entre t_m et t_M. Il agit comme une pondération de la distribution calibrée $p(t|A_i)$ et il tient compte à la fois des variations plus ou moins agitées de la courbe de calibration et des erreurs sur la mesure d'âge et sur la courbe de calibration. En conséquence, à une distribution du temps t_i uniforme correspond une distribution des âges A_i qui n'est plus uniforme.

Finalement, en intégrant par rapport à l'âge A_i de $-\infty$ à $+\infty$, on obtient le résultat final : $\widehat{Act}(t) = p(t)$ (14)

Ainsi, du fait que $p(t)$ est supposé uniforme dans la formule de calibration (2), la courbe d'activité instantanée obtenue est égale à la somme (au cumul) de n distributions uniformes sur l'intervalle $[t_m,t_M]$ (figure 18). Autrement dit, la forme et l'enveloppe d'erreur de la courbe de calibration n'ont pas d'influence sur le calcul de la cumulée ou courbe d'activité $\widehat{Act}(t)$ lorsque n est très grand et si les temps t_i sont uniformes.

En 2016, Thomas Perrin a abordé cette question du calcul de $\hat{A}(t)$ en utilisant la fonction *R-Simulate* et la fonction *SUM* du logiciel OxCal. À partir de dates t_i régulièrement réparties tous les 25 ans entre -4600 et -3400 (c'est une façon de réaliser le point 1), en utilisant la courbe IntCal13 et en affectant une erreur de σ_A = 50 ans sur les âges, il a généré une série d'âges A_i (point 2). Il a ensuite calibré chacun de ces âges A_i et cumulé les distributions *a posteriori* obtenues. Cette suite d'opérations revient à calculer, par simulation numérique, l'expression :

$$\widehat{Act_P}(t) = \sum_{i=1}^{n} p(t \mid A_i) \qquad (15)$$



On constate que cette expression diffère de la formule (12) au sens où la densité $p(A_i|t_i)$ est considérée ici comme égale à 1, autrement dit l'âge A_i est considéré comme certain puisqu'il y en a qu'un seul échantillonné. De plus, la somme discrète vient remplacer la somme continue sur les t_i en formule (12). Le calcul de la courbe $\widehat{Act_P}(t)$ (Perrin, 2016, distribution cumulée en figure 4) reste donc incomplet et c'est la raison pour laquelle cette courbe ne tend pas vers une distribution uniforme comme annoncé par la formule (14). Il ressort donc de ce qui précède un résultat qui peut surprendre : il n'y a pas de correction statistique à faire sur les courbes d'activité pour tenir compte de la forme de la courbe de calibration dans l'hypothèse où l'activité vraie est aléatoire uniforme.

En revanche, l'analyse proposée par Thomas Perrin attire fort justement l'attention sur un point important : la calibration des âges ^{14}C fournit des distributions de dates calendaires qui sont plus ou moins étalées suivant la présence de plateaux, plus ou moins multimodales en fonction des oscillations de la courbe, voire très précises lorsque la courbe varie très vite localement. Par conséquent, les distributions de date *a posteriori* calibrée de même que les courbes cumulées (courbes d'activité) doivent être interprétées avec une grande prudence. Par exemple, il faut se garder de définir un phasage chronoculturel à partir des limites temporelles générées par les effets de plateau ou d'oscillation (Perrin, 2016, fig. 4, p. 442 *et sq.*). Un phasage doit d'abord être défini sur des critères archéologiques, hors chronologie. C'est seulement dans un second temps, *via* la modélisation chronologique, que l'on peut chercher à établir la chronologie de ce phasage, qui sera plus ou moins précise en fonction de la forme de la courbe de calibration. Les problèmes évoqués ci-dessus s'effaceront alors d'eux-mêmes. Ainsi, il y aura de fortes chances que les phases culturelles identifiées ne correspondront plus, au niveau chronologique, aux phases « plateau » des courbes de calibration !

10. Le logiciel ChronoModel

Le modèle de date d'événement (*Event Model* dans CM) de même que la procédure de calibration d'une mesure chronologique en date calendaire ont été implémentés dans le logiciel ChronoModel (figure 19), qui a été développé entre 2011 et 2015 dans le cadre du programme ANR « modèles numériques » sur le sujet « Modélisation chronologique et développement de logiciel pour le traitement des données de datation en archéométrie, archéologie et sciences de la Terre »).

Figure 18 - simulation de la courbe d'activité avec le logiciel OxCal (version 4.4) selon la formule (12) avec 341 dates réparties régulièrement tous les cinq ans entre 2500 et 800 BC. Pour chaque date, nous n'avons pu simuler qu'au maximum 23 âges selon une loi normale (voir point 2 *supra*) : ce qui fait un total de 7 843 distributions calibrées et sommées. On constate que la distribution somme est très proche d'une distribution uniforme. On tend vers la distribution uniforme lorsque le nombre de dates et d'âges simulés devient grand.

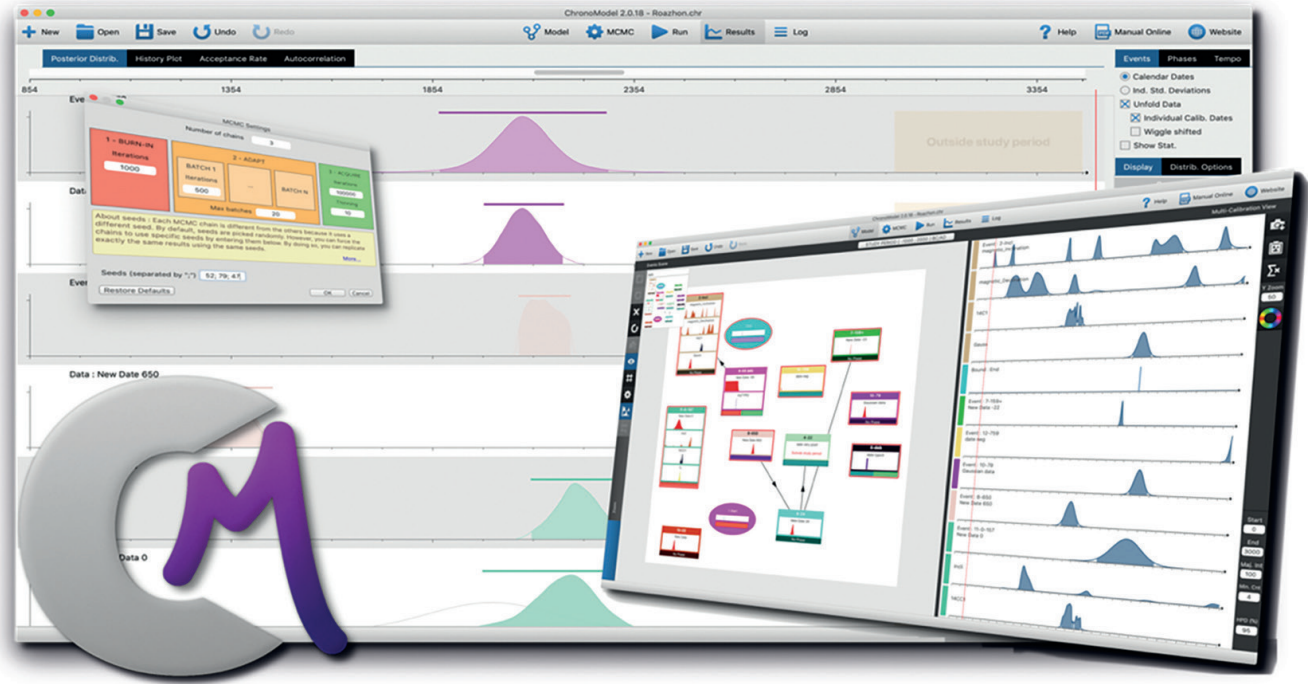


Figure 19 - Présentation et logo du logiciel ChronoModel, accessible sur https://chronomodel.com/.

Le logiciel (Lanos et Dufresne, 2019) est gratuit, open-source et multiplateforme (Mac, Windows, Linux). Il est téléchargeable avec sa documentation à l'adresse : https://chronomodel.com/. Le code source est accessible sur GitHub : https://github.com/Chronomodel/chronomodel.git. Le PDF du code source comporte plus de 600 pages. De 2015 à 2019, nous avons édité trois versions du logiciel correspondant à des améliorations et à l'ajout de nouvelles fonctionnalités :

- Version 1.1 publiée le 20 janvier 2015 + manuel de 85 pages (Vibet *et al.*, 2015) ;
- Version 1.5 publiée en mars 2016 + manuel de 97 pages (Vibet *et al.*, 2016) ;
- Version 2.0 publiée en janvier 2019 + manuel de 84 pages (Lanos et Dufresne, 2019).

La programmation est effectuée en C++ dans un environnement Qt. Les calculs sont basés sur des méthodes numériques Monte Carlo par Chaines de Markov (MCMC), dont les paramètres sont réglables par l'utilisateur (bouton MCMC). Sans rentrer dans les détails techniques du calcul, on peut dire que le calcul MCMC consiste à tirer aléatoirement (à échantillonner) un jeu de valeurs pour les variables du modèle (dates chronométriques, dates d'événements, erreurs individuelles) en fonction des densités de probabilité mises en jeu dans le modèle global (combinant vraisemblance des mesures, densités *a priori* et contraintes temporelles). Ceci constitue une itération MCMC, autrement dit un scénario chronologique possible pour les dates d'événement. Ce tirage est répété un très grand nombre de fois (typiquement 10 000, 100 000, voire 1 million de fois ou plus), ce qui produit pour chaque variable une série de valeurs appelée chaîne de Markov, valeurs que l'on peut visualiser avec la fonction *History Plot* dans ChronoModel. L'expression « chaîne de Markov » décrit le processus aléatoire qui permet de passer des valeurs d'une itération aux valeurs de l'itération suivante. Finalement, la densité de probabilité *a posteriori* sera estimée pour chaque variable à partir de ces valeurs échantillonnées au cours du calcul MCMC. Dans ChronoModel, on utilise une méthode à noyau gaussien (Silverman, 1986).

11. Conclusion

Le développement du logiciel ChronoModel tente de répondre à plusieurs objectifs dans le domaine de la construction de chronologies :

- Offrir aux utilisateurs une interface de modélisation chronologique la plus conviviale possible, au plus près du raisonnement archéologique, basée sur les diagrammes stratigraphiques.
- Sur la base du raisonnement statistique bayésien qui fait intervenir le calcul des probabilités, permettre une modélisation hiérarchique des « temps » archéologiques :
  - Date chronométrique ou typochronologique ;
  - Date d'événement (*Event Model*) ;
  - Dates de début et de fin de phase (groupe d'événements) ;
  - Datations relatives (contraintes d'ordre ou de durée sur le temps).
- Offrir un cadre statistique robuste au sens statistique, c'est-à-dire aussi peu sensible que possible aux dates aberrantes dans le cas d'une grande dispersion des

dates chronométriques ou bien dans le cas d'inversion stratigraphique dans un diagramme séquentiel. Ces dates sont alors pondérées de façon automatique, par le modèle d'événement, grâce à la prise en compte d'erreurs aléatoires individuelles d'origine inconnue.

- Permettre le multi-phasage sur les événements datés. En croisant par exemple des séquences stratigraphiques avec des séquences chronologiques portant sur des ensembles spécifiques (culturels, techniques, etc.).
- Offrir la possibilité de choisir les échantillonneurs et les paramètres du calcul MCMC et permettre d'inspecter les résultats et de contrôler la convergence des calculs sur les chaînes de Markov obtenues dans le but d'estimer les distributions *a posteriori* (*history plot*, taux d'acceptation, autocorrélation, etc.).
- Favoriser le développement d'une communauté de développeurs qui peuvent ainsi proposer des améliorations au logiciel ou encore proposer de nouveaux modules de datation, de modélisation ou de post-traitement.

Une prochaine version 3.0 est en cours de préparation. Elle offrira en particulier des améliorations au niveau de la modélisation de la phase (section 7.8) et du traitement des courbes d'activité (section 9.3). Elle permettra aussi de construire des courbes de calibration grâce à un nouveau module appelé ChronoCurve (développement financé de 2019 à 2023 par le programme 80 Prime du CNRS « Projets de recherche interdisciplinaires multi-équipes »). Ce module, qui s'intègre dans la structure bayésienne de ChronoModel, permettra de construire des courbes de référence (de calibration) qui relient des observations au temps. Ces observations proviennent de trois types de mesure : la direction et l'intensité du champ magnétique terrestre (archéomagnétisme), les phénomènes d'accumulation-sédimentation-accrétion (courbes Âge-Profondeur et dynamique de la végétation) et la croissance des arbres (dendrochronologie).



Philippe Lanos

CNRS, UMR 5060 IRAMAT-CRP2A,
université Bordeaux Montaigne et UMR 6118 Géosciences-Rennes, université de Rennes 1
philippe.lanos@univ-rennes1.fr

Philippe Dufresne

CNRS, UMR 5060 IRAMAT-CRP2A,
université Bordeaux Montaigne et UMR 6118 Géosciences-Rennes, université de Rennes 1
philippe.dufresne@univ-rennes1.fr

Bibliographie

Albore Livadie C. et Vecchio G., 2020, *Nola – Croce del Papa. Un villaggio sepolto dall'eruzione vesuviana delle pomici di Avellino*, Paris, CNRS, Collection du centre Jean-Bérard, 54, 437 p.

Banks W., Bertran P., Ducasse S., Klaric L., Lanos P., Renard C. et Mesa M., 2019, « An application of hierarchical Bayesian modeling to better constrain the chronologies of Upper Paleolithic archaeological cultures in France between ca. 32 000-21 000 calibrated years before present », *Quaternary Science Reviews*, Elsevier, 220, p. 188-214 [https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.07.025].

Bernier J., Parent E. et Boreux J.-J., 2000, *Statistique de l'Environnement. Traitement bayésien de l'incertitude*, Paris, Lavoisier, 362 p.

Bronk Ramsey C., 1995, « Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal program », *Radiocarbon*, 37, p. 425-430.

Bronk Ramsey C., 2001, « Development of the radiocarbon calibration program OxCal », *Radiocarbon*, 43, p. 355-363.

Bronk Ramsey C., 2009, « Bayesian analysis of radiocarbon dates », *Radiocarbon*, 51, 1, p. 337-360.

Bronk Ramsey C., 2017, « Methods for summarizing radiocarbon datasets », *Radiocarbon*, 59, 6, p. 1809-1833.

Buck C. E., Christen J. et James G., 1999, « BCal: an on-line Bayesian radiocarbon calibration tool », *Internet Archaeology*, 7.

Buck C. E., Litton C. D. et Cavanagh W. G., 1996, *The Bayesian Approach to Interpreting Archaeological Data*, Chichester, John Wiley and Sons, England.

Carver M., 2005, « Key ideas in excavation », dans Renfrew C. et Bahn P. (éd.), *Archaeology: the Key Concepts*, Londres, Routledge, p. 106-110.

Christen J. et Litton C., 1995, « A Bayesian approach to wiggle-matching », *Journal of Archaeological Science*, 22(6), p. 719-725.

Contreras D. A. et Meadows J., 2014, « Summed radiocarbon calibrations as a population proxy: a critical evaluation using a realistic simulation approach », *Journal of Archaeological Science*, 52, p. 591-608.

Desachy B., 2005, « Du temps ordonné au temps quantifié : application d'outils mathématiques au modèle d'analyse stratigraphique d'Edward Harris », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102, p. 729-740.

Desachy B., 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, thèse de doctorat de l'université de Paris 1.

Dye T. S. et Buck C. E., 2015, « Archaeological sequence diagrams and Bayesian chronological models », *Journal of Archaeological Science*, 63, p. 84-93.

Dye T. S., 2016, « Long-Term Rhythms in the Development of Hawaiian Social Stratification », *Journal of Archaeological Science*, 71, p. 1-9 [doi:10.1016/j.jas.2016.05.006].

Foata D. et Fuchs A., 2002, *Processus stochastiques : processus de Poisson, chaînes de Markov et martingales*, Paris, Dunod, 256 p.

Harris E. C., 1989, *Principles of Archaeological Stratigraphy*, Londres, second ed. Academic Press.

Hervé G., Chauvin A. et Lanos P., 2013, « Geomagnetic field variations in Western Europe from 1500 BC to 200 AD », Part I : « Directional secular variation curve », *Physics of the Earth and Planetary Interiors (PEPI)*, 218, p. 1-13.

Lanos P., 2004, « Bayesian inference of calibration curves, application to archaeomagnetism: Chapter 3 », dans Buck C. E. et Millard A. R. (éd.), *Tools for Constructing Chronologies, Crossing Disciplinary Boundaries*, series: Lecture Notes in Statistics, vol. 177, Londres, Springer-Verlag, p. 43-82.

Lanos P. et Philippe A., 2017, « Hierarchical Bayesian modeling for combining dates in archaeological context », *Journal de la Société Française de Statistique*, 158 (2), p. 72-88.

Lanos P. et Philippe A., 2018, « Event date model: a robust Bayesian tool for chronology building », *Communications for Statistical Applications and Methods* (CSAM), 25, 2, p. 131-157.

Lanos P., Lefèvre J.-C., Oberlin C., Albore Livadie C., Dufresne P. et Hervé G., 2020, « Chronologie de l'éruption et des cultures archéologiques associées par le logiciel de statistique bayésienne ChronoModel », dans Albore Livadie C. et Vecchio G. (dir.), *Nola-Croce del Papa, Un villaggio sepolto dall'eruzione vesuviana delle pomici di Avellino*, Paris, CNRS, Collection du centre Jean-Bérard, 54, p. 71-82.

Lanos P. et Dufresne P., 2019, « Chronomodel version 2.0 », *Software for Chronological Modelling of Archaeological Data using Bayesian Statistics* [http://www.chronomodel.com (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02427428)].

Mennessier-Jouannet C., Bucur I., Evin J., Lanos P. et Miallier D., 1995, « Convergence de la typologie de céramiques et de trois méthodes chronométriques pour la datation d'un four de potier à Lezoux (Puy-de-Dôme) », *Revue d'Archéométrie*, 19, p. 37-47.

Nicholls G. et Jones M., 2001, « Radiocarbon dating with temporal order constraints », *Applied Statistics*, 50, part 4, p. 503-521.

Parent E. et Bernier J., 2007, *Le raisonnement bayésien, modélisation et inférence*, Paris, Springer (Statistiques et probabilités appliquées), 364 p.

Perrin T., 2016, « Le délicat séquençage du Chasséen meridional », dans Perrin T., Chambon P., Gibaja J.-F. et Goude G. (éd.), *Le Chasséen, des Chasséens… Retour sur une culture nationale et ses parallèles, Sepulcres de fossa, Cortaillod, Lagozza. Actes du colloque international (Paris, 18-20 novembre 2014)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 437-455.

Philippe A. et Vibet M., 2020, « Analysis of Archaeological Phases Using the R Package ArchaeoPhases », *Journal of Statistical Software, Code Snippets*, 93(1), p. 1-25 [doi :10.18637/jss.v093.c01].

Philippe A., Lanos P. et Vibet M.-A., 2020, « De la medida a la modelización de una secuencia de fechas. Un ejercicio de metodología matemática », dans Barcelo J. A. et Morell B. (éd.), *Métodos cronométricos en arqueologia, historia y paleontologia*, p. 371-381.

Robert C., 2001, *The Bayesian Choice*, Springer-Verlag (Springer Texts in Statistics), 2e éd., 606 p.

Reimer P., Bard E., Bayliss A., Beck J., Blackwell P., Ramsey C. B., Buck C., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T., Hoffmann D., Hogg A., Hughen K., Kaiser K., Kromer B., Manning S., Niu M., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Staff R., Turney C. et van der Plicht J., 2013, « Intcal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal bp », *Radiocarbon*, 55(4).

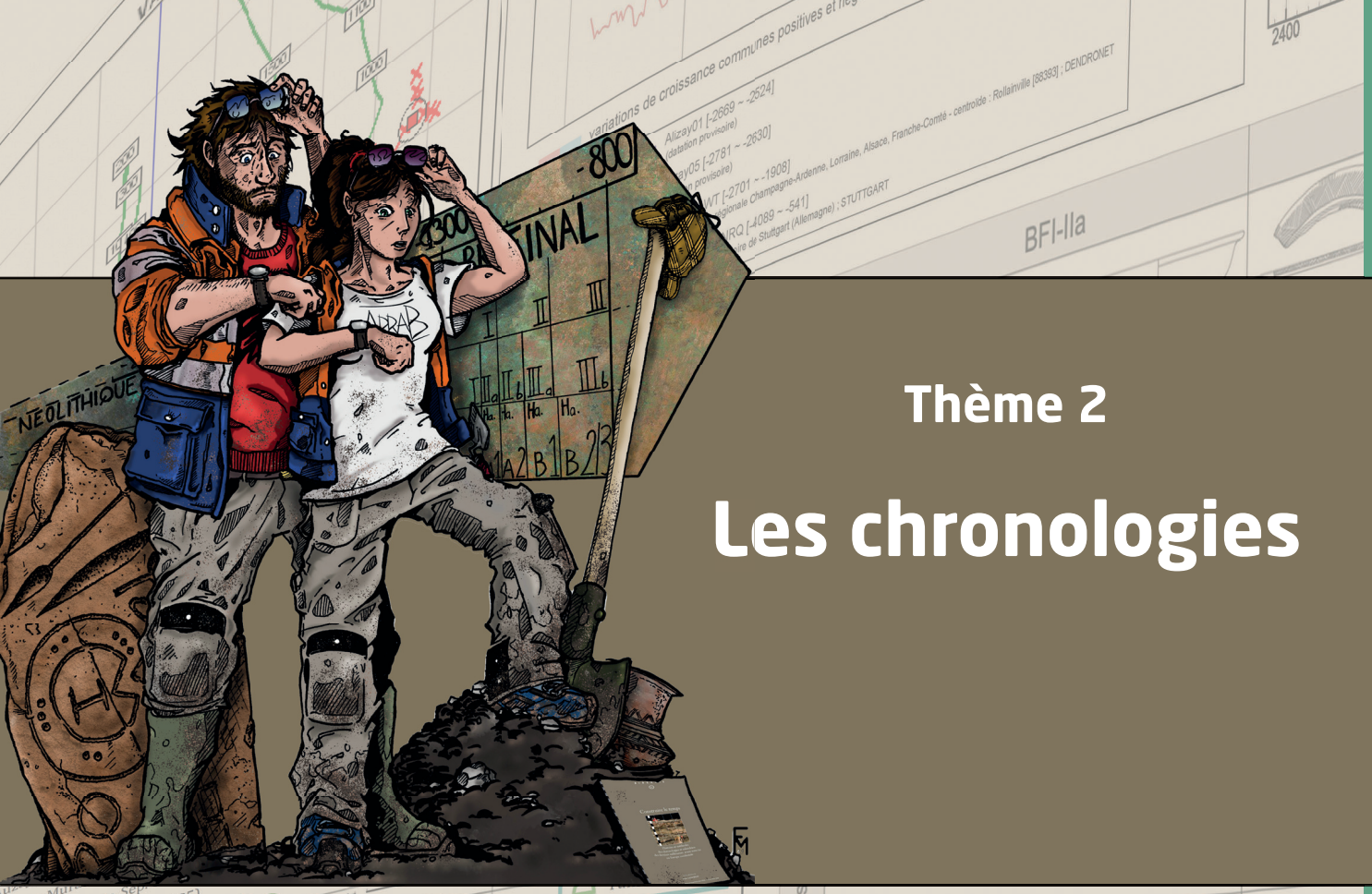
Rivoirard V. et Stoltz G., 2012, *Statistique mathématique en action*, Paris, Vuibert, 448 p.

Roskams S., 2001, *Excavation. Cambridge Manuals in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Vermeesch P., 2012, « On the visualisation of detrital age distributions », *Chemical Geology*, 312-313, p. 190-194.

Vibet M.-A., Philippe A., Lanos P. et Dufresne P. , 2015, *Chronomodel user manual.*

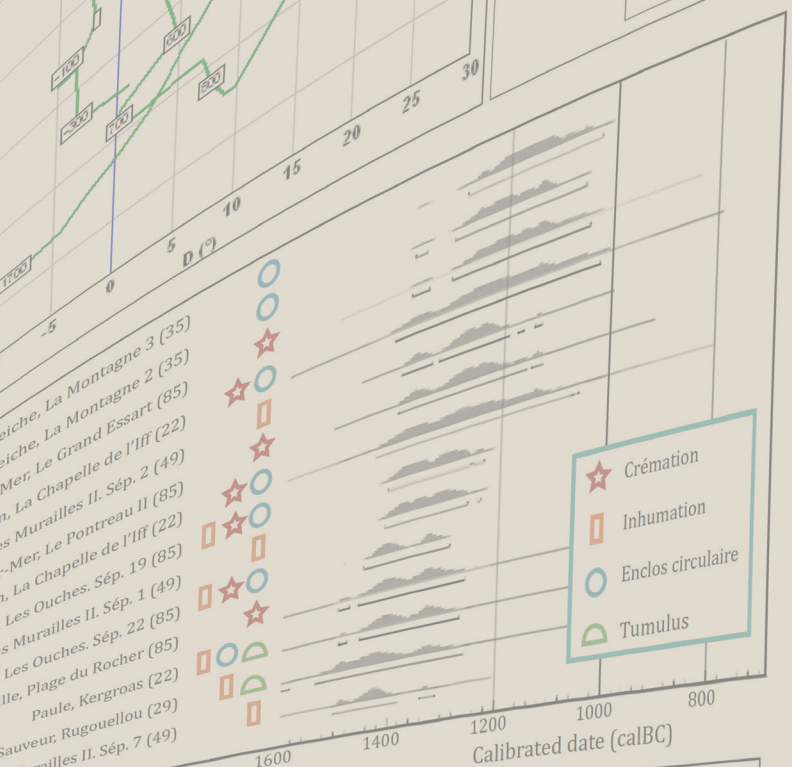
Vibet M.-A., Philippe A., Lanos P. et Dufresne P. , 2016, *Chronomodel v.1.5. user's manual* [www.chronomodel.fr].

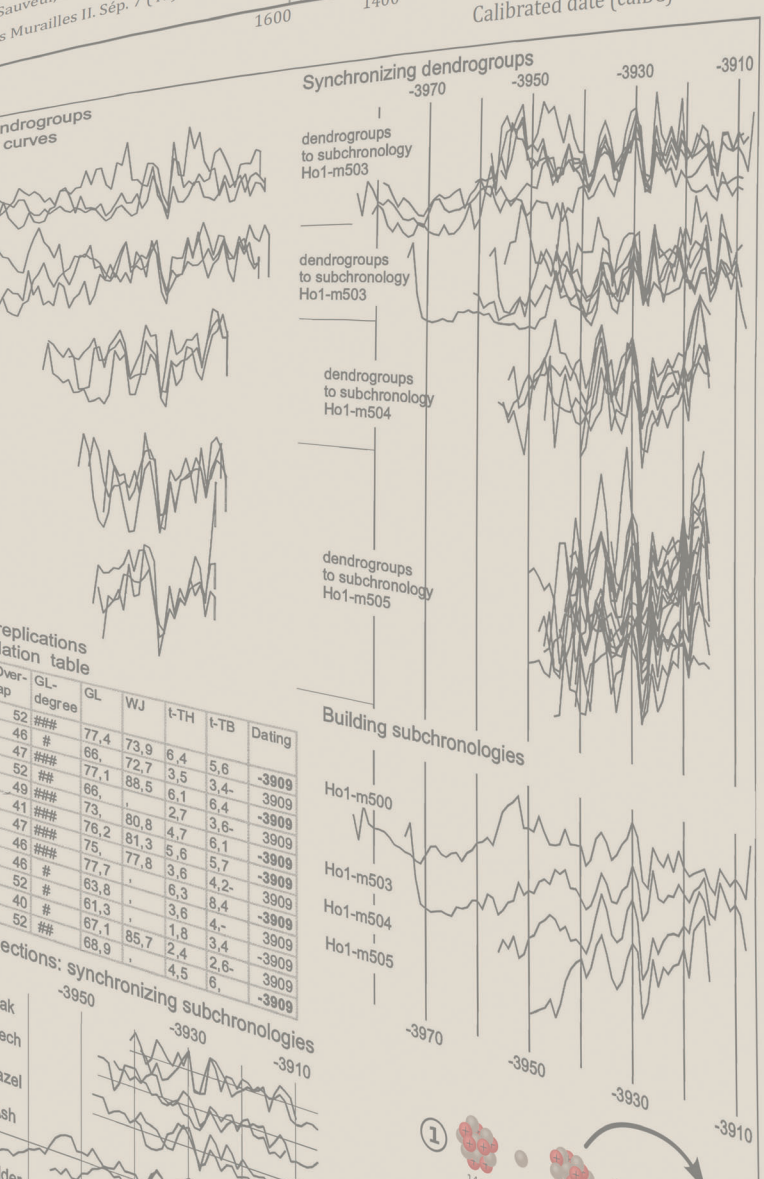


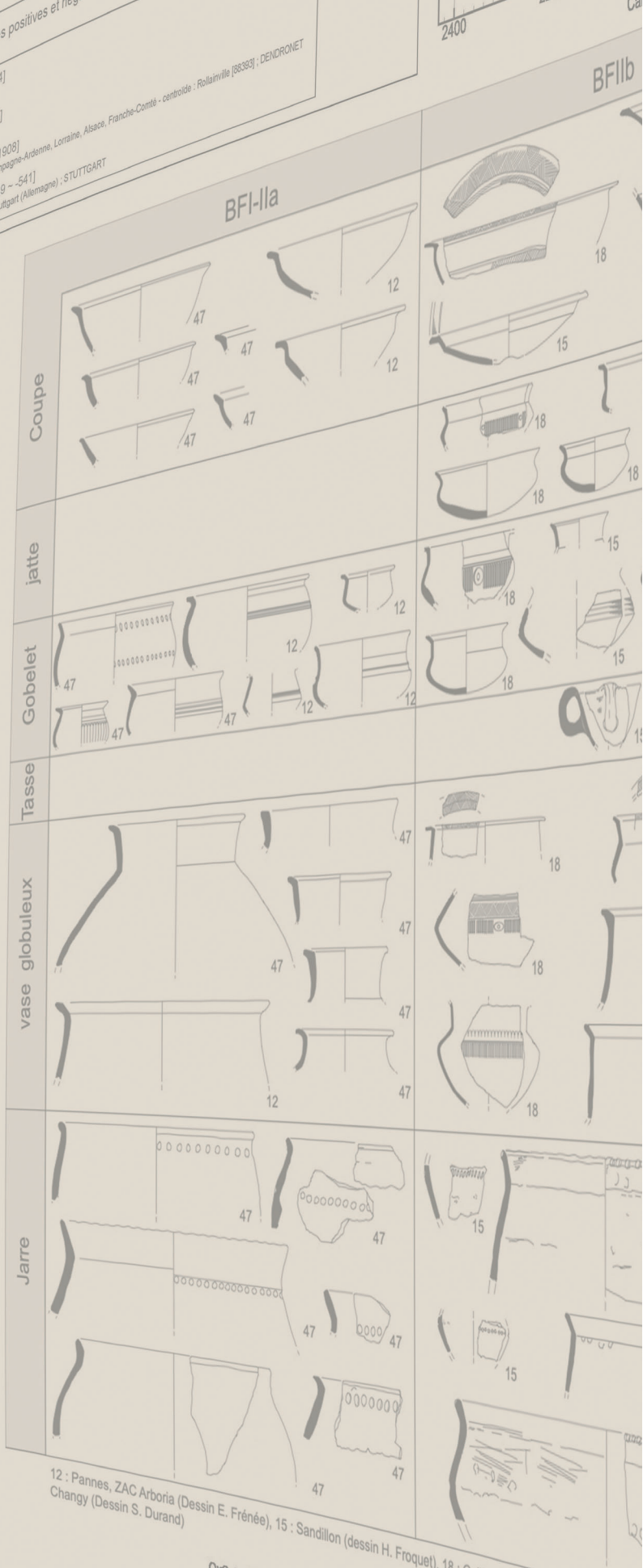
Thème 2

Les chronologies

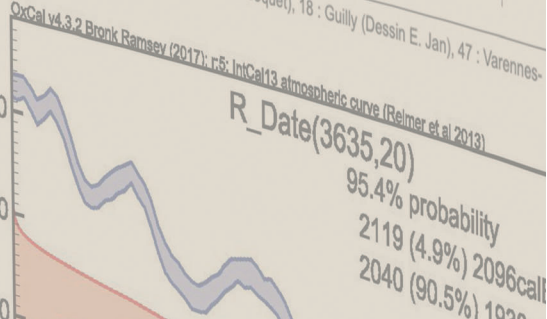








12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Varennes-Changy (Dessin S. Durand)





D'un usage cohérent des méthodes de mesure du temps de l'âge du Bronze

Mireille David-Elbiali

J'aimerais dédier cet article à notre regretté collègue Gilbert Kaenel, grand amateur de typochronologie.

Résumé

Branche des sciences historiques, la pré-protohistoire s'est constituée au XIXe siècle en se dotant d'un cadre méthodologique qui a permis d'établir les cadres chronologiques indispensables à ses recherches. Deux systèmes principaux fondés sur la chronologie relative couvrent l'Europe du Nord – celui d'O. Montelius – et l'Europe centrale – celui de P. Reinecke. Ce dernier, progressivement affiné puis calé dans la chronologie absolue grâce aux méthodes de datation, est certes un outil perfectible, mais les remises en question ne sont de loin pas toujours pertinentes. Un exemple concret qui concerne le cycle final du Bronze ancien entre environ 1750-1700 et 1550-1500 av. J.-C. est présenté.

Mots-clés

Europe Centrale, âge du Bronze, Bronze ancien, chronologie relative, chronologie absolue

Abstract

As a field of historical sciences, pre-protohistory was founded in the 19th century with a methodological framework that made it possible to establish the chronological framework essential to its research. Two main systems based on relative chronology cover Northern Europe - that of O. Montelius - and Central Europe - that of P. Reinecke. The latter, progressively refined and then adjusted to absolute chronology thanks to dating methods, is certainly a tool that can be optimised, but the criticisms are not always relevant. A concrete example is presented which concerns the final cycle of the Early Bronze Age between about 1750/1700 and 1550/1500 BC.

Keywords

Central Europe, Bronze Age, Early Bronze Age, relative chronology, absolute chronology

La pré-protohistoire fait partie des sciences historiques et, en ce qui concerne la mesure du temps, il est très important de ne jamais perdre de vue les origines de notre discipline. Les cadres chronoculturels ne sont pas que des constructions alambiquées de spécialistes ; ils constituent des référentiels indispensables à l'étude de l'ensemble des thèmes en protohistoire. Un vestige sans provenance géographique et non daté est une curiosité inutilisable dans le récit historique.

1. Chronologie relative et chronologie absolue

La pré-protohistoire est née au XIXe s. avec comme fondement, précisément, un découpage du temps : âges de la Pierre, du Bronze et du Fer. Il est proposé en 1836 simultanément par Christian Jürgensen Thomsen au Danemark et Johann Friedrich Danneil en Allemagne du Nord. Ce n'est pas une idée tout à fait neuve, car les auteurs antiques avaient déjà conscience des changements « sociaux » qui résultent du passage du temps. Hésiode dans sa Théogonie (VIIIe-VIIe s. av. J.-C.) évoque ainsi cinq « races » successives : d'or, d'argent, de bronze, des héros et de fer.

Le premier véritable système de mesure du temps de l'âge du Bronze est celui d'Oscar Montelius établi en 1885 pour le nord de l'Europe, mais une première subdivision en seulement deux parties – inhumations plus anciennes que les incinérations – a été proposée par J. J. A. Worsaae en 1854 (Randsborg, 2008, p. 297). O. Montelius s'inspire de la théorie de l'évolution des espèces de Charles Darwin, publiée en 1857, pour développer un système analogue. L'évolution des espèces vivantes est remplacée par celle des formes des objets et de leurs décors. C'est sur ce même modèle que Paul Reinecke va établir, dès 1899, un système chronologique adapté cette fois à l'Europe centrale, publié en hongrois ; il sera repris en 1902 en allemand.

Dans un ouvrage de 1903, O. Montelius développe le cadre théorique de la méthode archéohistorique ou typologique (Eggers, 1974). Il considère que chaque objet fabriqué par l'homme est soumis à des lois d'évolution et il avance trois critères qui permettent de reconstituer la succession typologique :

1) l'évolution des formes et des décors, ce qu'il appelle le *Rudiment typologique* ;
2) les associations d'objets déposés au même moment, soient les *Ensembles clos* (il avait dans un premier temps négligé leur importance pourtant mise en avant par Sophus Müller (Randsborg, 2008, p. 297) ;
3) la superposition des couches, soit la *stratigraphie*, principe identifié en géologie dès le XVIIe s.

O. Montelius pose ainsi les bases de la chronologie relative qui répond à la question : cet objet est-il plus ancien ou plus récent que cet autre objet ?

Il y a une seconde question à laquelle le préhistorien souhaite trouver une réponse, c'est : de quand, de quel siècle av. J.-C. cet objet date-t-il ? On aborde alors la chronologie absolue qui est résolue d'abord par le *cross-dating*, puis à partir du milieu du XXe s. par la mise au point des méthodes des sciences naturelles, le ^{14}C puis la dendrochronologie.

2. Risque de confusion méthodologique

Au cours des dernières décennies, les méthodes de datation absolue ont pris une place de plus en plus prépondérante dans notre discipline, en particulier le radiocarbone, qui est la moins fiable des deux, celle qui fournit les dates les moins précises et avec un important taux d'erreurs, qui résulte de multiples facteurs – qualité ou quantité de l'échantillon, contamination, mauvais stockage, mauvais prélèvement, stratigraphie complexe, problèmes du laboratoire, etc.

Or les deux types d'information, celui de la chronologie relative et celui de la chronologie absolue, sont historiquement liés. En effet, les systèmes chronologiques utilisés, que ce soit celui d'O. Montelius ou celui de P. Reinecke, proposent un découpage du temps qui se fonde, pour l'âge du Bronze, sur l'évolution des objets, surtout de métal, ce qui est un choix qui découle de l'origine même du système, celui-ci dérivant de la théorie évolutionniste.

Ainsi des notions comme le Bronze ancien ou la phase Bz D2/Ha A1, par exemple, reposent sur une définition qui inclut un catalogue d'assemblages d'objets, que ce soient des mobiliers funéraires, des dépôts ou des corpus provenant d'habitat. Ces assemblages sont caractérisés par la présence récurrente d'objets de même type, les fameux fossiles directeurs.

Le danger réside aujourd'hui, à mon avis, dans le fait qu'on a de plus en plus tendance à procéder par métonymie en rattachant une simple date radiocarbone directement à une phase chronotypologique au mépris de sa définition initiale, qui comprend un contenu mobilier, mais souvent aussi des liens avec des phases d'autres régions.

La démarche qui respecte le système est la suivante : un assemblage d'objets *a* à *n* peut être attribué à la phase de chronologie relative X et des dates ^{14}C situent cette phase dans l'intervalle de temps y1-y2, ce qui est bien différent du raccourci qui consiste à ne considérer que les dates ^{14}C et à déduire secondairement que le corpus date de la phase de chronologie relative X. Lorsqu'il y a du mobilier typologique, c'est la chronologie relative qui prime, étant donné que les phases ont été définies à partir de la typologie et pas de la chronologie absolue. S'il n'y a aucun mobilier ou du mobilier non significatif, la datation doit rester une hypothèse de rattachement à une phase chronotypologique, mais sans plus. Il est bien évident qu'en l'absence de mobilier ou d'autres indices chronologiques, le recours aux datations ^{14}C est le seul moyen d'apprécier l'ancienneté de vestiges.

3. Un exemple de confusion méthodologique

Ces considérations théoriques sont importantes pour éviter les dérives qui se multiplient dans une discipline qui a tendance à oublier ses racines. Un bon exemple de confusion méthodologique est offert par un article de 2015 signé par P. Stockhammer *et al.* et publié sur *PLOS One*, une plateforme à facteur d'impact répertoriée dans *Web of Science*. Cet article remet en question, par le biais de dates ^{14}C et au mépris de toutes les autres données, le cadre chronologique de la fin du Bronze ancien en Europe centrale, niant l'existence du dernier horizon, alors qu'il est un des mieux étayés de l'âge du Bronze.

Le cycle final du Bronze ancien : Bz A2b-Bz A2c-Bz B ancien (~1750/1700-1550/1500 av. J.-C.)

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici la définition et l'historiographie de la deuxième partie du Bronze ancien. Dans un article de 1924, P. Reinecke subdivise son Bz A en deux parties, le Bz A1 et le Bz A2. Il intitule ce dernier « *horizon Trassem – Langquaid – Tinsdahl* » en référence à trois dépôts classiques qui partagent certaines formes d'objets : des haches, des épingles et les premières pointes de lance. Dans son *Manuel de protohistoire* de 1980, Hermann Müller-Karpe recense les éléments typologiques caractéristiques de cet horizon au nord des Alpes : les épingles à tête globuleuse perforée en oblique et tige torsadée, les haches à rebords et tranchant très développé en demi-cercle (type Langquaid), ainsi que les poignards à base arrondie et lame légèrement galbée. Les épingles ont une répartition plutôt orientale – elles atteignent le bassin des Carpates à l'est et l'Europe septentrionale (David, 2002, fig. 6) –, alors que les haches ont une répartition plus occidentale. Ces dernières sont densément présentes en Suisse, sur le Rhin moyen, mais aussi en Italie du Nord.
Une hache de type Langquaid provient, par exemple, du corpus de Meilen-Schellen, un site palafittique du lac de Zürich (Conscience *et al.*, 2005). Elle a été retrouvée dans la couche même qui a été datée par dendrochronologie vers le milieu du XVIIe s. av. J.-C. Elle est associée à une épingle à cabochons et à de la céramique. Deux objets métalliques analogues proviennent d'un habitat palafittique du lac de Varèse au sud des Alpes, celui de Cazzago-Ponti, pour lequel existe une date ^{14}C : LTL661A : 3329±45 BP, soit 1695-1506 cal BC (91,7 %) [Grassi et Mangani, 2014, p. 103]. Grâce à ces trouvailles, il est possible de dater l'horizon de Langquaid à la fois par le radiocarbone et par la dendrochronologie du milieu du XVIIe s. av. J.-C.

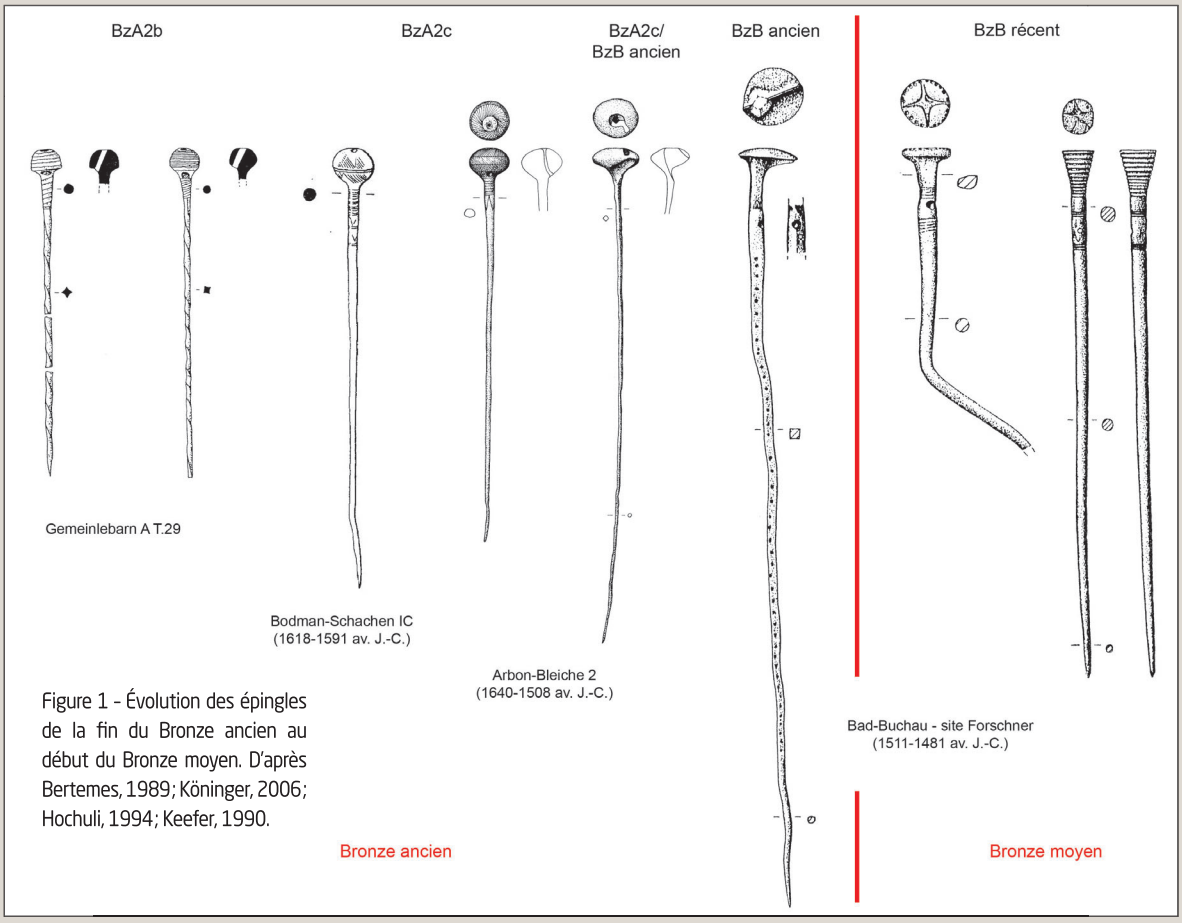


Figure 1 - Évolution des épingles de la fin du Bronze ancien au début du Bronze moyen. D'après Bertemes, 1989; Köninger, 2006; Hochuli, 1994; Keefer, 1990.

Le site de Bodman Schachen, sur le lac de Constance, offre un degré de précision supplémentaire, car deux des horizons attribuables à la fin du Bronze ancien sont datés par dendrochronologie (Köninger, 2006) :

- l'horizon Ib du Bz A2b – daté entre 1644 et 1640 av. J.-C. – avec de la céramique qui présente des similitudes avec celle de Meilen-Schellen ;
- et l'horizon IC du Bz A2c – daté entre 1618 et 1591 av. J.-C. – avec une épingle à tête globuleuse décorée perforée en biais, une hache à rebords proche du type Langquaid et de la céramique décorée de la culture d'Arbon-Landsberg. Les deux bronzes sont ici légèrement plus récents que ceux évoqués ci-dessus. Du point de vue de l'évolution typologique, on suit très bien les modifications de forme des épingles à tête globuleuse perforée du Bz A2b au Bz B ancien, dont dérivent ensuite les formes à col perforé du début du Bronze moyen (fig. 1).

Les poignards mentionnés par H. Müller-Karpe corroborent ces datations absolues. En Suisse occidentale, on retrouve un horizon Bz A2b-c à Concise-sous-Colachoz, village E12 (Vaud), daté par dendrochronologie grâce à 1 367 pieux entre 1646 et 1619 av. J.-C. (Winiger *et al.*, 2012). Le corpus comprend de la céramique décorée de type Roseaux, caractéristique de la fin du Bronze ancien, un poignard à lame galbée probablement de type Broc et une petite épingle à tête en massue perforée. Tant la céramique décorée que le poignard de type Broc et l'épingle à tête perforée permettent de tracer des liens avec les régions plus orientales. On observe toutefois aussi un lien typologique très fort avec deux célèbres mobiliers de sépultures du Jura français, Charcier et La Chapelle-sur-Furieuse (Mordant et Pétrequin, 1989).

En conclusion, le dernier tiers du Bronze ancien est caractérisé par un horizon qui s'étend du Bassin des Carpates à la Saône et de la région nordique au nord de l'Italie. Il est défini par la chronologie relative et peut être daté par la chronologie absolue, grâce à des dates dendrochronologiques et ^{14}C disponibles sur plusieurs sites.

Dans ce texte, les auteurs font l'impasse sur tout le cycle final du Bronze ancien – soit les phases Bz A2b, Bz A2c et Bz B ancien (voir encadré et fig. 2) – et prétendent que le Bronze moyen commence directement après le cycle classique, soit après la phase Bz A2a récent. Malgré de grossières lacunes typologiques et méthodologiques, cet article a reçu une certaine audience positive et il révèle, par là, la fragilité de notre discipline.

Le but de cet article est d'étayer ou plutôt de démonter, par des dates ^{14}C, la chronotypologie du Bronze ancien établie par Walter Ruckdeschel en 1978 pour la Bavière et l'Europe centrale en général. Cette chronologie représente pourtant un effort louable pour affiner les propositions successives de P. Reinecke.

La région choisie est celle d'Augsbourg en Bavière dans la vallée du Lech, qui a livré 390 sépultures du Néolithique final et du Bronze ancien. Ce corpus a fait l'objet d'une thèse de doctorat publiée en 2018 par Ken Massy, un des auteurs de l'article. 140 individus ont été datés, dont une série de tombes avec des types d'épingles considérés comme des fossiles directeurs. Deux problèmes importants expliquent la faillite de ce travail. Tout d'abord le choix de la région. Elle constitue un des cœurs du groupe de Straubing qui se développe au Bz A1 et au Bz A2a, mais elle ne livre quasiment plus de sépultures pour les phases suivantes du Bz A2b-c et Bz B ancien, qui sont représentées par des dépôts et des habitats qui n'ont pas été pris en compte dans l'étude. Malgré sa richesse, le corpus funéraire révèle ainsi un énorme biais.

Le second problème est que certains types de la fin du Bronze ancien ont été attribués par les auteurs à la première phase du Bronze moyen. C'est notamment le cas des épingles à tête enroulée et tige torsadée qui sont bien datées par plusieurs assemblages en Suisse.

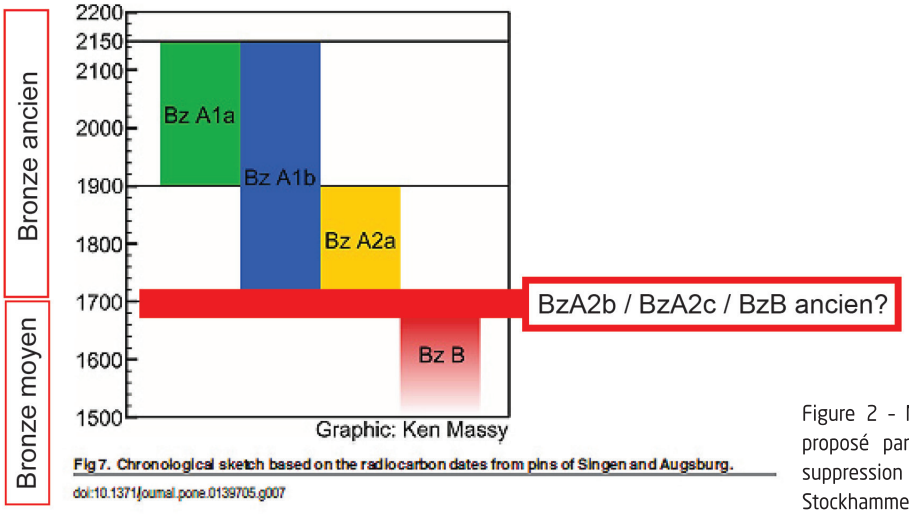


Figure 2 - Nouveau schéma chronologique proposé par les auteurs de l'article avec suppression du cycle final du Bronze ancien. Stockhammer *et al.*, 2015, fig. 7 modifiée.

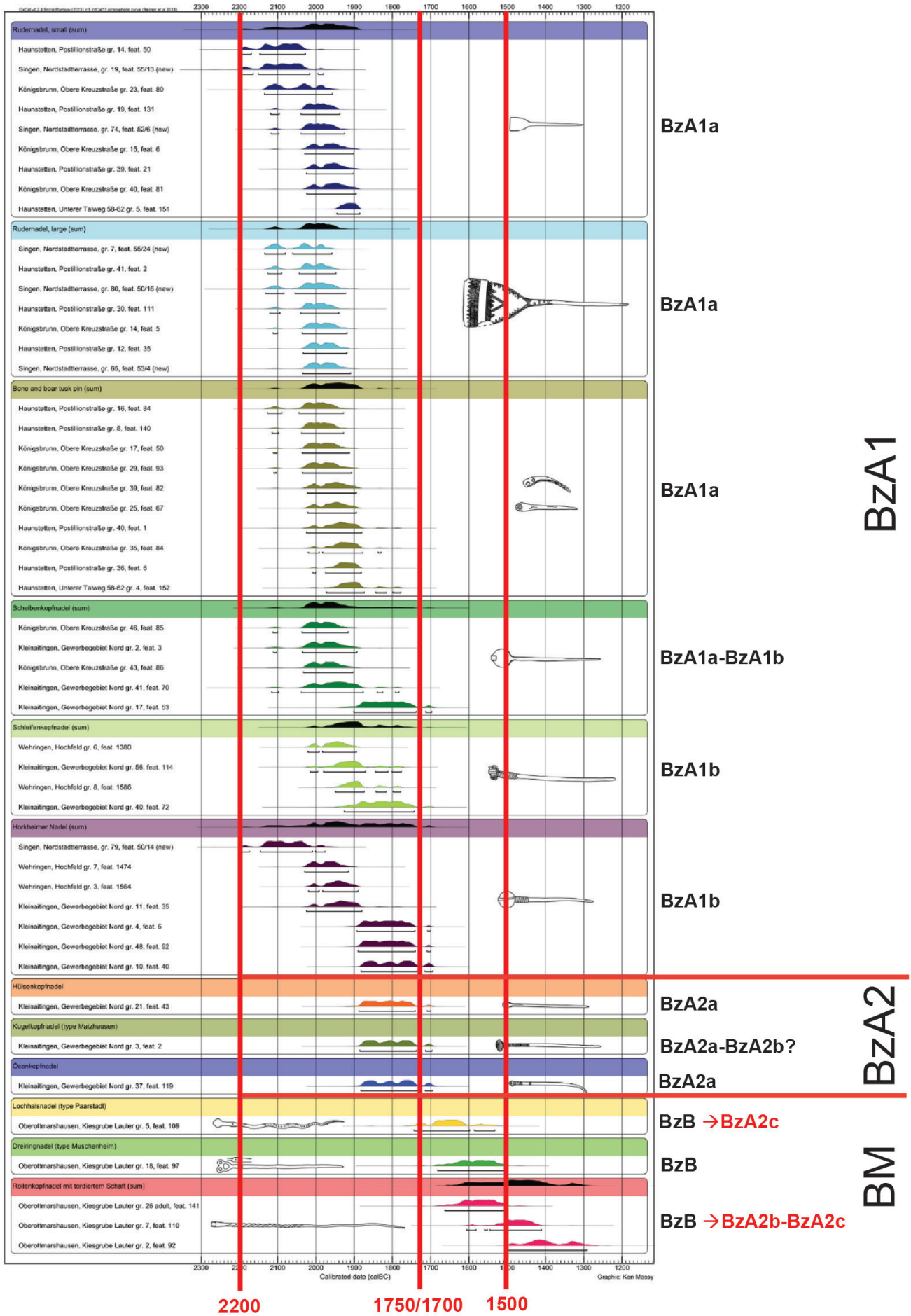


Figure 3 - Tableau des dates ^{14}C avec indication des phases de chronologie relative auxquelles sont attribuées les types d'épingles, en rouge les phases corrigées. Stockhammer *et al.*, 2015, fig. 6 modifiée.

L'une de ces épingles provient de Wädenswil – Vor der Au (Zürich), d'une couche datée par dendrochronologie entre 1607 et 1598 av. J.-C. et qui a également livré de la céramique décorée de type Arbon-Landsberg, donc de la fin du Bronze ancien (Conscience *et al.*, 2005).
Lorsqu'on regarde le tableau des dates ^{14}C (fig. 3), qui est très élégamment construit, on se rend vite compte que cet exercice repose finalement sur peu de datations – une seule par tombe et moins de dix par type d'épingle –, que les fourchettes sont larges, ce qui est la caractéristique des dates ^{14}C, et qu'il y a inadéquation du corpus à la question posée, car les données disponibles concernent presque exclusivement les types d'épingles les plus anciens. Le résultat est un large recoupement de dates qui suggèrent que les cycles ancien et classique du Bronze ancien se développent entre environ 2200 et 1700 av. J.-C., ce qui est déjà établi. Quant au cycle final du Bronze ancien, attribué dans l'article au Bronze moyen, les données qui le concernent sont trop peu nombreuses pour qu'on puisse en dire quelque chose. Cette étude montre finalement que le radiocarbone est inadapté à ce genre de problématique (fig. 4).

4. Dates absolues : parole d'évangile ?

En ce qui concerne l'exactitude des dates absolues par les méthodes scientifiques, il n'est pas inutile de rappeler l'épopée de la datation de l'éruption de Théra/Santorin, qui est associée à la chute de la civilisation minoenne. Les données archéologiques, notamment l'étude de la céramique, placent ce déclin aux environs de 1570-1500 av. J.-C. d'après P. Warren (1996), alors que les dates ^{14}C et dendrochronologiques de l'éruption sont remontées, au gré des études, jusqu'au milieu du XVIIe s. av. J.-C. pour se rapprocher finalement des dates historiques (Pearson *et al.*, 2018).

D'autres exemples de dates absolues erronées qui ont dû être révisées et qui n'auraient jamais été publiées si les auteurs avaient pris la peine de considérer les mobiliers archéologiques associés sont notamment : les villages Bronze ancien de Zürich-Mozartstrasse (Gross *et al.*, 1987, révisé par Conscience, 2001) et le puits de Saint-Moritz (Siefert, 2000 révisé par Reitmaier, 2012).

5. Conclusion

Comme cela a été dit en préambule, la pré-protohistoire fait partie des sciences historiques pour lesquelles les données étudiées ne sont pertinentes que si elles sont placées dans le temps et dans l'espace et plus ces informations sont précises, meilleures sont ces données. Il est donc indispensable de mesurer le temps de manière la plus fiable possible et ce n'est qu'en instaurant un dialogue entre les différentes disciplines et en croisant toutes les données que les résultats sont les meilleurs. Cette prérogative doit rester celle de l'archéologue, qui devrait maîtriser aussi bien la chronotypologie, que la chronostratigraphie, etc., et non pas simplement reprendre les dates ^{14}C fournies par les physiciens.
Un dernier aspect méthodologique important mérite d'être relevé : séparer la construction chronologique et l'histoire. La construction chronologique est un outil qui sert à mesurer le temps. Elle repose sur une combinaison de chronologie relative – chronotypologie/chronostratigraphie – et de chronologie absolue. Ce cadre calendaire est en grande partie établi depuis le XIXe s. et s'il peut et doit être enrichi et amélioré, il est suffisamment étayé pour ne pas nécessiter des remises en question comme celle évoquée ci-dessus, qui n'amènent que de la confusion.
Le cadre historique vise à mettre en évidence des phénomènes sociaux, culturels et religieux qui découlent de l'étude approfondie des données archéologiques et sa construction

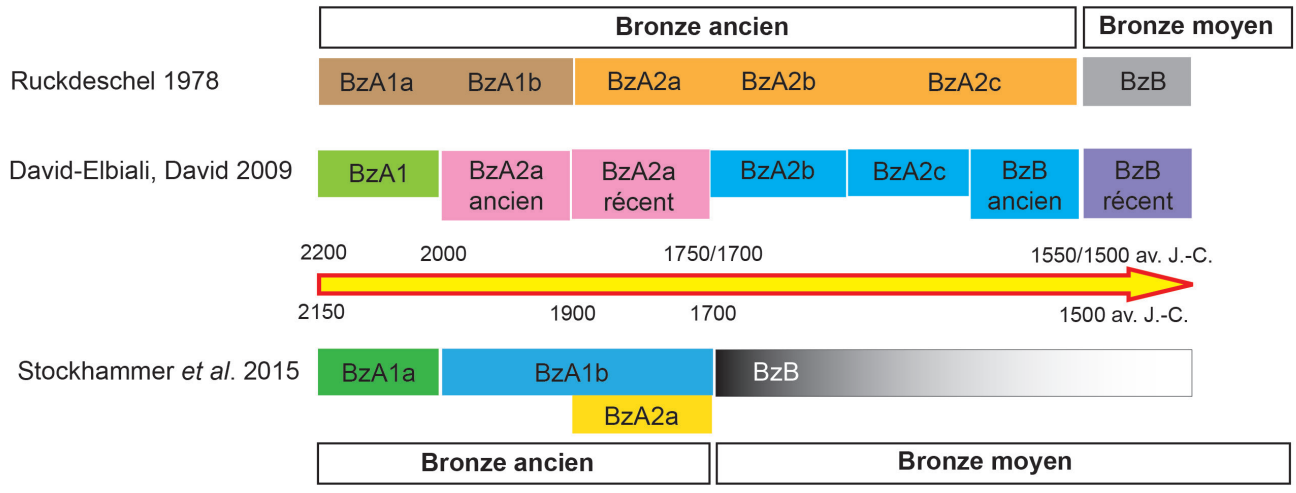


Figure 4 - Schéma comparatif des phases de chronologie relative et absolue du Bronze ancien et du début du Bronze moyen proposées par les auteurs mentionnés.

dépend en fait beaucoup des thématiques qui sont en vogue à l'époque durant laquelle est actif l'archéologue. La lecture de l'histoire peut ainsi changer radicalement d'une époque à l'autre, pensons simplement au recours aux invasions utilisé par les archéologues de la première moitié du XXe s. pour expliquer les changements culturels. Par contre, la chronologie peut être affinée, mais elle nécessite rarement une remise en question fondamentale et lorsqu'une telle proposition est faite, elle s'avère rarement judicieuse.



Mireille David-Elbiali

Université de Genève
Département F.-A. Forel des Sciences de l'environnement
Laboratoire d'archéologie préhistorique et anthropologie
Uni Carl-Vogt – Boulevard Carl-Vogt 66 – 1211 Genève 4 (Suisse)
mireille.david-elbiali@unige.ch

Bibliographie

Bertemes F., 1989, *Das frühbronzezeitliche Gräberfeld von Gemeinlebarn: kulturhistorische und paläometallurgische Studien*, Bonn, Saarbrücker Beiträge zur Altertumskunde, 45.

Conscience A.-C., 2001, « Frühbronzezeitliche Uferdörfer aus Zürich-Mozartstrasse : eine folgenreiche Neudatierung », *Jb der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte* 84, p. 147-157.

Conscience A.-C., Brombacher C., Jacomet S. et Rehazek A., 2005, *Seeufersiedlungen. Wädenswil-Vorder Au: Eine Seeufersiedlung am Übergang vom 17. zum 16. Jh. v. Chr. im Rahmen der Frühbronzezeit am Zürichsee. Unter besonderer Berücksichtigung der frühbronzezeitlichen Funde und Befunde von Meilen-Schellen*, Zürich und Egg, Zürcher Archäologie, 19.

David-Elbiali M. et David W., 2009, « À la suite de Jacques-Pierre Millotte, l'actualité des recherches en typologie. Le Bronze ancien et le début du Bronze moyen : cadre chronologique et liens culturels entre l'Europe nord-alpine occidentale, le monde danubien et l'Italie du Nord », dans Richard A., Barral P., Daubigney A., Kaenel G., Mordant C., Piningre J.-F. (dir.), *L'isthme européen Rhin-Saône-Rhône dans la Protohistoire. Approches nouvelles en hommage à Jacques-Pierre Millotte. Actes du colloque de Besançon 2006*, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté (Annales Littéraires / Série « Environnement, sociétés et archéologie » ; 860/13), p. 311-340.

David W., 2002, « Bayern und Böhmen zwischen Ost und West während früher und mittlerer Bronzezeit », dans Chytrácek M., Michálek J. et Schmotz K. (éd.), *11.Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen in Obernzell*, Rahden/Westfalen, p. 62-93.

Eggers H.-J., 1974, 2e Auflage, *Einführung in die Vorgeschichte*, München.

Grassi B. et Mangani C., 2014, *Storie sommerse. Ricerche alla palafitta di Bodio centrale a 150 anni dalla scoperta*, Soprintendenza per i Beni Archeologici della Lombardia.

Gross E., Brombacher C., Dick M., Diggelmann K., Hardmeyer B., Jagher R., Ritzmann C., Ruckstuhl B., Ruoff U., Schibler J., Vaughan P. C. et Wyprachtiger K., 1987, *Zürich «Mozartstrasse»: neolithische und bronzezeitliche Ufersiedlungen, 1*, Zürich, Berichte der Zürcher Denkmalpflege, Archäol. Monogr., 4.

Hochuli S., 1994, *Arbon-Bleiche. Die neolithischen und bronzezeitlichen Seeufersiedlungen*, Frauenfeld, Archäologie im Thurgau, 2.

Keefer E., 1990, « Die "Siedlung Forschner" am Federsee und ihre mittelbronzezeitlichen Funde », *Bericht der Römisch-Germanischen Kommission des Deutschen Archäologischen Inst*, 71/1, p. 38-51.

Köninger J., 2006, *Die frühbronzezeitlichen Ufersiedlungen von Bodman-Schachen I: Befunde und Funde aus den Tauchsondagen 1982 bis 1984 und 1986*, Stuttgart, Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg, 85.

Massy K., 2018, *Die Gräber der Frühbronzezeit im südlichen Bayern*, Kallmünz/Opf, Materialhefte zur Bayerischen Archäologie, 107.

Montelius O., 1885, *Om tidsbestämning inom bronsåldern : afseende på Skandinavien*, Stockholm, Kongl. Vitterhets Historie och Antiqvitets Akademiens Handlingar, 30.

Mordant C. et Pétrequin P., 1989, « À la transition Bronze ancien-Bronze moyen : le tumulus de Charcier (Jura) », *Dynamique du Bronze moyen en Europe occidentale*, Paris, p. 259-282.

Pearson C. L., Brewer P. W., Brown D., Heaton T. J., Hodgins G. W. L., Jull A. J. T., Lange T., Matthew W. et Salzer M. W., 2018, « Annual radiocarbon record indicates 16th century BCE date for the Thera eruption », *Science Advances*, 4 : eaar8241.

Randsborg K., 2008, « Detailed Bronze Age chronology at 1850 », *Acta Archaeologica*, 79, p. 296-304.

Reinecke P., 1902, « Zur Chronologie der zweiten Hälfte des Bronzealters in Süd- und Norddeutschland », *Correspondenz-Blatt der deutschen Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte*, 33/3, 17-22, 27-32.

Reitmaier T., 2012, « 1411 v. Chr. – Die mittelbronzezeitliche Quellfassung von St. Moritz », *Waffen für die Götter. Krieger, Trophäen, Heiligtümer*, Innsbruck, Katalog zur Ausstellung, p. 111-113.

Ruckdeschel W., 1978, *Die frühbronzezeitlichen Gräber Südbayerns : ein Beitrag zur Kenntnis der Straubinger-Kultur*, Bonn, Antiquas: Reihe 2 / Abhandl. aus dem Gebiete der Vor- und Frühgeschichte, 11.

Seifert M., 2000, « Vor 3466 Jahren erbaut! Die Quellfassung von St. Moritz », *Archäologie der Schweiz*, 23/2, p. 63-75.

Stockhammer P., Massy K. *et al.*, 2015, « Rewriting the Central European Early Bronze Age Chronology: Evidence from Large-Scale Radiocarbon Dating », *PLoS ONE*, 10, 10.

Warren P., 1996, « The Agean and the limits of radiocarbon dating », *Acta Archaeologica*, 67, p. 283-290.

Winiger A., Burri-Wyser E., Andrey S., Cattin F., Chenal-Velarde I. et Chiquet P., 2012, *La station lacustre de Concise, 5. Les villages du Bronze ancien : architecture et mobilier*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande, 135.



Premier et second âges du Bronze, ou comment périodiser l'âge du Bronze en France ?

Pierre-Yves Milcent

Résumé

Les chronologies de l'âge du Bronze utilisées en France reposent sur des périodisations, c'est-à-dire sur l'identification de périodes successives. Distinguer ces périodes revient à les séparer les unes des autres, et à découper en tranches un *continuum*, celui du temps. Découper le temps n'est pas neutre, car cela revient à mettre en exergue des discontinuités, des transitions majeures, entre des périodes qui seraient marquées par des évolutions continues ou progressives. Périodiser, c'est donc proposer une interprétation à caractère historique.

Pour périodiser l'âge du Bronze, les protohistoriens français utilisent généralement le système ternaire élaboré par Jean-Jacques Hatt entre 1954 et 1962, à une époque où la documentation exploitable demeurait limitée. Ce système, malgré de nombreuses et complexes modifications, ne correspond plus à une réalité objective et possède avant tout une valeur conventionnelle. En nous appuyant sur une synthèse des données issues de champs documentaires variés, nous proposons une nouvelle périodisation, bipartite, de l'âge du Bronze dans les deux tiers nord de la France. Un premier âge du Bronze, long et plutôt homogène par son développement très progressif, se dessine du XXVe au courant du XVe s. av. J.-C. Un second âge du Bronze, à l'évolution plus heurtée, mais en *crescendo*, lui succède jusqu'à la crise des environs de 800 av. J.-C.

L'allongement de l'âge du Bronze par inclusion de la période campaniforme et sa partition en deux visent d'abord à mieux rendre compte des connaissances acquises récemment. C'est aussi une invitation à porter un regard différent sur l'âge du Bronze en s'affranchissant de cadres chronologiques devenus progressivement conventionnels et contraignants.

Mots-clés

périodisation, historiographie, Jean-Jacques Hatt, premier âge du Bronze, second âge du Bronze, Campaniforme, dynamiques historiques

Abstract

Bronze Age chronologies used in France are based on periodization or, in other words, on identifying successive periods. Distinguishing these periods is equivalent to separating them from one another, and carving out sections in the time continuum. Dividing time into tranches is not neutral since it highlights discontinuities and major transitions between periods that would otherwise be characterized by continuous or progressive changes. To periodize is therefore to propose a historical interpretation.

To periodize the Bronze Age, French protohistorians commonly use the ternary system established by Jean-Jacques Hatt between 1954 and 1962. This was at a time when workable documentation was limited. This system, despite numerous and complex modifications, no longer corresponds to an objective reality, but mainly possesses a conventional value. Based on a synthesis of data from various documentary fields, we are proposing a new periodization, subdivided in two, for the Bronze Age in the northern two thirds of France. A first Bronze Age, long and rather homogeneous by its very progressive development, delineates itself from the XXVth to the mid XVth century B.C. It is succeeded by a second Bronze Age with a more uneven but generally increasing evolution until the crisis of around 800 B.C.

The extension of the Bronze Age, by including the Bell-Beaker period and its division in two, aims mostly to better report knowledge acquired recently. It's also an invitation to look differently at the Bronze Age by freeing ourselves from chronological frameworks which have become progressively more conventional and binding.

Keywords

periodisation, historiography, Jean-Jacques Hatt, First Bronze Age, Second Bronze Age, Campaniform, historical dynamics

« La périodisation de l'histoire […] répond au désir, au besoin de l'humanité d'avoir prise sur le temps dans lequel elle évolue. Les calendriers lui ont permis de maîtriser celui de la vie quotidienne. La périodisation répond au même objectif, pour la longue durée. Encore faut-il que cette invention de l'homme corresponde à une réalité objective. »

J. Le Goff, 2014, *Faut-il vraiment découper l'histoire en tranches ?*, Paris, Seuil, (Points Histoire), p. 187-188.

Le temps est continu. Périodiser revient donc à découper artificiellement un *continuum*, celui du temps, en tranches. Toutes les chronologies de l'âge du Bronze utilisées reposent sur des périodisations, c'est-à-dire sur l'identification de périodes successives et leur séparation. Séquencer le temps est tout sauf neutre d'un point de vue historique car il s'agit de mettre l'accent sur des discontinuités ou des transitions, réelles ou supposées, entre des périodes qui seraient marquées par des évolutions continues ou progressives. Périodiser, c'est nécessairement proposer une interprétation à caractère historique (Le Goff, 2014). Souvenons-nous que, durant une grande partie du XXe s., le passage d'une période à une autre de la Protohistoire en Europe occidentale fut interprété comme la manifestation d'invasions de populations venues de l'Est ! Ou bien encore que la succession de l'apparition de certaines techniques (métallurgies du cuivre, du bronze puis du fer) était perçue comme conditionnant l'évolution des sociétés au point que l'on puisse parler des âges historiques du Chalcolithique, de l'âge du Bronze et de l'âge du Fer.

Les périodisations ont aussi des implications qui dépassent le cadre de la discussion scientifique : elles conditionnent certaines spécialités (on devient donc spécialiste de telle ou telle période) de même que les contours des enseignements académiques, au risque parfois du cloisonnement : en France, la définition chronologique des sections 31 et 32 du CNRS, fluctuante ces dernières années, en est un bon exemple puisqu'elle a pour effet, aujourd'hui, de rendre schizophrène le ou la jeune protohistorien·ne qui travaille aussi bien sur l'âge du Bronze que sur l'âge du Fer lorsque vient le moment crucial de candidater à un poste.

Ces constats débouchent sur deux interrogations à caractère historiographique, méthodologique et proprement archéologique :

- comment et par qui les périodisations de l'âge du Bronze en vigueur en France ont-elles été élaborées ?
- quel est le degré de pertinence de ces périodisations qui renvoient partiellement à un état ancien de la recherche et pèsent nécessairement sur nos conceptions et représentations de l'âge du Bronze ?

Les réponses à ces deux questions, très liées, suggèrent qu'il est temps de proposer un nouveau séquençage général de l'âge du Bronze en France, dans une approche globale combinant des indicateurs pertinents et fiables, si possible quantifiés, et en replaçant la période dans la longue durée de la Protohistoire.

1. Historiographie : la périodisation française de l'âge du Bronze et ses origines

Il serait trop long d'examiner l'histoire des périodisations en usage en France. Concentrons-nous sur la principale et la plus « française », celle de Jean-Jacques Hatt.

1.1. La périodisation ternaire de Hatt

Pour l'âge du Bronze, les protohistoriens français utilisent le plus souvent la périodisation initiée par J.-J. Hatt (1913-1997), même si le système chronologique allemand, exposé d'abord par Paul Reinecke, gagne du terrain, spécialement dans le Nord-Est de la France. De 1954 à 1962, J.-J. Hatt a voulu contribuer à refonder la Protohistoire française dont la déliquescence remontait à la fin du XIXe s. (et non pas à la Première Guerre mondiale selon une opinion répandue ; Milcent, 2019a). Il l'a fait au travers de « Chroniques de Protohistoire » publiées dans un support prestigieux et très bien diffusé à l'époque, le *Bulletin de la Société préhistorique française*. Professeur des Antiquités nationales à la Faculté des Lettres de Strasbourg (c'est ainsi qu'il se présente au début de sa première Chronique de Protohistoire), élève de Claude-Frédéric Schaeffer, J.-J. Hatt avait une position académique et donc une autorité qui lui permirent d'asseoir ses points de vue. Ses chroniques concernent essentiellement la périodisation de la Protohistoire de l'Est de la France. En 1954, il propose de remplacer le système chronologique développé par J. Déchelette, qu'il considère « vieilli », par une périodisation de l'âge du Bronze fondée sur une base 4 (Hatt, 1954, p. 1-2), c'est-à-dire directement inspirée de celle de P. Reinecke et Friedrich Holste, mais sans être explicite à ce sujet et pour des raisons qui pourraient s'expliquer par le contexte singulier de l'archéologie de l'après Seconde Guerre mondiale, où mieux valait ne pas mettre trop en avant les figures allemandes de la recherche. En 1958, dans sa 4e chronique, J.-J. Hatt évolue et affirme « qu'il faut renoncer […] à concilier Montelius et Reinecke, et suivre Montelius, auquel se sont ralliés les archéologues anglais […] » (Hatt, 1958, p. 304). Il propose d'appliquer à tout l'âge du Bronze, un système tripartite à deux niveaux, avec un « Bronze ancien », un « Bronze moyen » et un « Bronze final », eux-mêmes subdivisés en trois phases numérotées « I », « II » et « III », soit trois « périodes » et neuf « époques » en tout. Théorique dans sa logique, ce découpage est proposé sans argumentation véritable et avec peu de détails, sinon en s'appuyant sur quelques planches typochronologiques. Il s'agit donc plutôt d'un modèle empirique que d'une démonstration méthodique.

Cette logique ternaire (ancien, moyen et final) sera étendue plus tard au premier âge du Fer, mais sans subdivision tripartite (Hatt, 1962), puis au second âge du Fer champenois, avec l'aide de Pierre Roualet et avec, de nouveau, la subdivision tripartite (Hatt et Roualet, 1977). Entre-temps, J.-J. Hatt fait état et tient compte des travaux menés par ses collègues d'outre-Rhin, en particulier lorsqu'il s'agit de la célèbre contribution de Hermann Müller-Karpe consacrée à la chronotypologie du Bronze final (Müller-Karpe, 1959). Il maintient sa chronologie tripartite, mais en l'adaptant. En tout, le système chronologique de l'âge du Bronze de J.-J. Hatt, tel que présenté puis adapté entre 1954 et 1961, tient en six chroniques, soit 47 pages et 11 illustrations.

J.-J. Hatt n'a pas expliqué la genèse de son système tripartite. S'est-il inspiré des travaux de C.-F. Schaeffer, son mentor, qui identifiait à travers les matériaux des nécropoles de Haguenau un début, un milieu et une fin de l'âge du Bronze (Schaeffer, 1926) ? Il est plus probable qu'il ait fait sienne la tripartition de l'âge du Bronze aux accents évolutionnistes (*Early Bronze*, *Middle Bronze*, *Final Bronze periods*) initiée puis vulgarisée par des archéologues anglo-saxons entre les deux guerres (Fox, 1923 ; Childe, 1930), mais déjà esquissée par John Evans quelques décennies plus tôt (Evans, 1881).

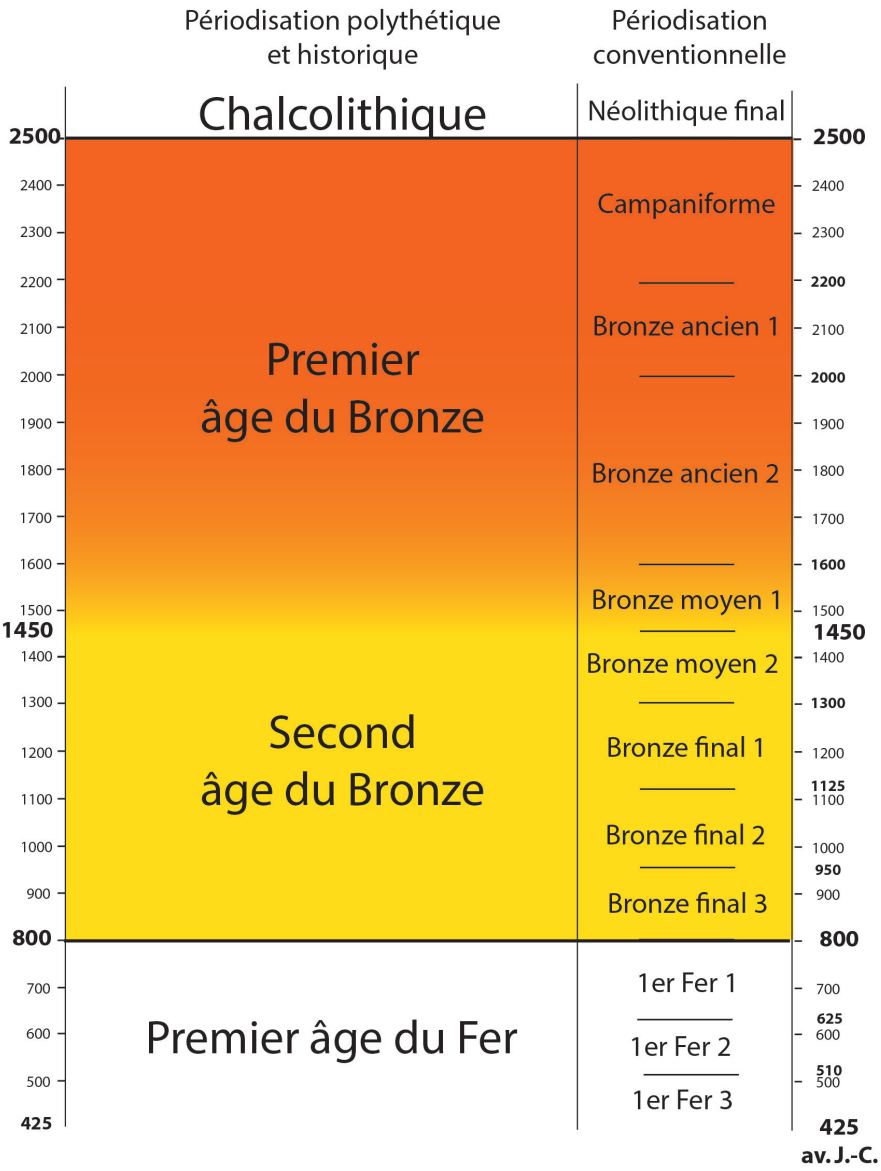


Figure 1 - Chronologies relatives et absolues de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer. À droite, chronologie conventionnelle héritée des travaux de J.-J. Hatt (les chiffres arabes permettent ici de marquer la différence avec les découpages initiaux de J.-J. Hatt) ; à gauche, proposition de périodisation générale bipartite de l'âge du Bronze.

1.2. Adoption et modifications du système tripartite

Le succès jusqu'à nos jours de la chronologie de J.-J. Hatt tient à plusieurs raisons. Sans toutes les épuiser, disons que le système Reinecke, par l'incongruité de sa nomenclature (la fin de l'âge du Bronze est incluse dans le « Hallstatt A » et le « Hallstatt B » !), a pu jouer un rôle de repoussoir et favoriser la réception d'un système qui apparaissait à la fois plus logique, et mieux adapté aux matériaux français. Rappelons aussi que J. Briard, en adoptant rapidement la chronologie de J.-J. Hatt et en l'adaptant au matériel métallique des dépôts bretons, a largement contribué à ce succès (Briard, 1965). Dans le Sud de la France, d'autres thèses publiées peu après élargirent cette assise en reprenant également le système tripartite (Roudil, 1972) ou en l'adaptant à la marge (Guilaine, 1972, p. 216). Des raisons plus sociologiques, telles que l'autorité d'un professeur d'université ou l'orgueil national, purent également contribuer à ce succès hexagonal. Rapidement, lors de discussions un peu byzantines parfois, la périodisation de J.-J. Hatt a été soumise à des modifications et adaptations. La plus importante de celles-ci a consisté à réviser la hiérarchie des coupures chronologiques du Bronze final, ce qui aboutit à une nomenclature répandue, mais complexe pour les non-spécialistes (Bronze final I-IIa ; Bronze final IIb-IIIa ; Bronze final IIIb-Hallstatt ancien), et que l'on doit principalement à Aimé Bocquet (1976). Nous avons sacrifié nous-mêmes à cette pratique en proposant une version révisée du système Hatt pour le Bronze final et le premier âge du Fer (fig. 1).

2. Bilan et préconisations méthodologiques

2.1. Quel bilan tirer de l'utilisation du système chronologique de J.-J. Hatt ?

Il n'est pas question ici de porter un jugement, *a posteriori*, sur une recherche, ni de professer une vision surplombante facile, parce que rétrospective. La chronologie de J.-J. Hatt a été extrêmement utile et efficace, ce qui explique du reste qu'on l'utilise encore aujourd'hui. Comme pour la périodisation initiée par P. Reinecke, elle est assez ancienne maintenant (60 ans déjà), et a été transformée et affinée progressivement au prix d'adaptations nombreuses, complexes, parfois contradictoires. L'une et l'autre reposent essentiellement sur l'évolution de quelques productions métalliques (haches, épingles, épées…), plus secondairement sur celle des productions céramiques et un peu sur celle des pratiques funéraires. Elles ont donc été conçues à des époques où l'on ne connaissait finalement que peu de choses des évolutions environnementales, de l'habitat et des modalités d'occupation du sol, sans même parler des systèmes techniques, des organisations socio-économiques ou symboliques. La documentation archéologique a été pourtant considérablement renouvelée et diversifiée ces trente dernières années, mais cela n'a pas permis de véritablement refonder ces systèmes chronologiques traditionnels.

En outre, pour définir et distinguer différentes tranches chronologiques, la chronologie de J.-J. Hatt, comme celle de P. Reinecke, repose essentiellement sur des matériaux archéologiques mis au jour dans le domaine culturel centre-européen, plus particulièrement dans une zone couvrant le Sud de l'Allemagne, l'Est de la France et le Plateau suisse. C'est donc au prix de nouvelles distorsions qu'elle a été parfois étendue à des régions relevant de cultures très différentes, dans le Sud et l'Ouest de la France notamment, peut-être dans une logique très française, car jacobine.

Toutes ces observations débouchent sur un constat : ces périodisations typochronologiques ont été tellement bricolées à force d'être adaptées à de nouvelles connaissances et à de nouvelles aires culturelles qu'elles sont devenues peu à peu des constructions polysémiques, artificielles et, par certains aspects, absconses : bien peu savent aujourd'hui ce que recouvrent et signifient précisément telle ou telle des phases « inventées » par J.-J. Hatt.

Plus largement, ces périodisations sont devenues conventionnelles dans leurs grandes lignes au sens où elles ont perdu leur signification générale de départ. Qui sait d'ailleurs pourquoi le Bronze moyen est distingué du Bronze ancien ou du Bronze final ? J.-J. Hatt lui-même ne l'explique pas dans ses publications… On pourrait penser que cela est lié notamment à une évolution des « fossiles directeurs » métalliques qui sont à la base de ces distinctions, mais même de ce point de vue, le découpage tripartite de l'âge du Bronze n'a rien de très évident, comme on peut le voir à partir de quelques exemples. Dans l'Ouest de la France, en chronologie conventionnelle, les haches à talon naissent seulement dans le cours du Bronze moyen au nord, et au début du Bronze final au sud (Aquitaine notamment) ; elles ne disparaissent que très tard, vers la fin du Bronze final au sens conventionnel et dans l'espace culturel ibéro-atlantique, elles sont même encore coulées au début de l'âge du Fer. Parallèlement, les premières haches à douille apparaissent aussi au Bronze moyen, mais très ponctuellement il est vrai, et ne deviennent très fréquentes qu'à la toute fin du Bronze final. Pour prendre l'exemple des armes, on sait que les poignards longs existent en France dès le Campaniforme (ils sont parfois qualifiés improprement d'épées) et que ce que l'on appelle « épées » pour le Bronze moyen ne sont jamais que des poignards très allongés. Les épées faites pour frapper de taille n'émergent qu'au début du Bronze final, très lentement même dans l'espace culturel atlantique. Quant aux premières épées à lame en fer, elles apparaissent certes avec le Hallstatt ancien, mais il faut attendre la fin de cette étape, c'est-à-dire le VIIe s., pour qu'elles remplacent les épées de bronze.

Dans le détail des découpages cette fois-ci, la situation est encore plus complexe. Dans certaines régions ou pour certains auteurs, l'usage de certaines phases a été abandonné, tandis qu'elles ont été investies de nouvelles significations ailleurs : le Bronze moyen III en est un bon exemple. D'un archéologue à l'autre aujourd'hui, la définition typologique qui est donnée à ces phases peut donc varier sans que cela soit toujours explicité.

En d'autres termes, la complexité des systèmes de chronologie relative et des parallèles établies entre chacun d'entre eux est devenue telle parfois que seul un petit groupe d'érudits est encore en capacité de bien les comprendre et de continuer à les faire évoluer. À un moment ou à un autre de notre parcours scientifique, nous avons tous été rebutés par ces fameux tableaux de concordances des systèmes chronologiques qui ne sont jamais les mêmes et sont, en réalité, toujours discordants, surtout lorsqu'il s'agit des calages en chronologie absolue de ces phases de chronologie relative. La connaissance de ces périodisations, qui est fondée sur l'érudition plutôt que sur des démonstrations scientifiques, tend même à devenir l'apanage d'hyperspécialistes.

Dans ces conditions, comment reprocher à des archéologues d'utiliser sans méthode, ni esprit critique, ces chronologies relatives ? Il peut être tentant de plaquer artificiellement ces chronologies sur des réalités archéologiques, comme s'il s'agissait de simples boîtes de rangement vides de sens ou conventionnelles. Dater en chronologie relative « Hatt » (ou Reinecke) en regardant quelle phase « Hatt » semble concorder avec des datations absolues obtenues sur des vestiges matériels qui n'ont rien à voir, sauf exception, avec ceux qui définissent ces phases relatives est une aberration méthodologique, mais c'est un mauvais réflexe qui n'est pas rare ! C'est ainsi que l'on est confronté à des chronologies relatives faussement précises, appliquées à des sites et des régions qui ne se prêtent pas du

tout à leur utilisation. La confusion est à son comble lorsque l'on utilise des nomenclatures de chronologie relative qui possèdent également une dimension culturelle : c'est le cas par exemple pour les sites du domaine culturel atlantique lorsqu'ils sont affublés de datations en phases « Hallstatt » pour la fin de l'âge du Bronze (en chronologie Reinecke) ou le premier âge du Fer (en chronologies « Reinecke et Hatt »), alors même qu'ils n'ont presque rien à voir avec les cultures de Hallstatt. À ces confusions s'ajoute donc un véritable déni : dater en chronologies « Hatt ou Reinecke », les matériaux des sociétés qui n'appartiennent pas aux réseaux culturels centre-européens, revient à nier l'existence d'une histoire propre ou originale pour ces sociétés.

Pour autant, toutes ces observations ne permettent pas de considérer que les périodisations conventionnelles sont inopportunes ou obsolètes. Ces dernières conservent une utilité dès lors que l'on reste conscient qu'il s'agit de simples outils, et que ceux-ci ne disent plus rien des grandes évolutions, au sens historique, des sociétés de l'âge du Bronze, du moins telles qu'on les perçoit aujourd'hui. Mais elles forment toujours un système de référence en chronologie relative, à la manière d'une stratigraphie à l'échelle d'un site. Les étapes et les horizons successifs de ces périodisations, lorsqu'ils sont bien définis par des ensembles clos significatifs, sont des références indispensables pour se repérer dans le temps de la chronologie relative. Leur calage en chronologie absolue, toujours à discuter et à améliorer, reste pertinent pour dater les sites qui ne se prêtent pas à une datation fine en laboratoire ou pour vérifier les dates obtenues en laboratoire. Lorsqu'un fossile directeur métallique est découvert dans une occupation de l'âge du Bronze, on sait qu'il permet, par correspondance typochronologique, de proposer une datation absolue généralement plus précise et parfois plus fiable que celle que fournit une date par radiocarbone. Cela signifie que cette méthode de datation croisée, celle qui avait été systématisée par Oscar Montelius pour caler en chronologie absolue sa périodisation de l'âge du Bronze européen, demeure pleinement d'actualité ; la datation croisée, complémentaire des méthodes de datation en laboratoire, fonctionne d'autant mieux lorsqu'elle s'appuie sur des systèmes typochronologiques fins et dont les correspondances, des uns aux autres, sont bien établies.

Un autre avantage des périodisations à valeur générale telles que celles de J.-J. Hatt, c'est qu'elles facilitent le dialogue entre archéologues en servant de *lingua franca* imagée, puisqu'elles s'appuient sur des définitions typologiques, et donc des planches associant, artificiellement ou non, des fossiles directeurs. Elles évitent ainsi l'écueil d'une fausse bonne idée qui consisterait désormais à parler uniquement en siècles. Parler en siècles est un pari, car c'est un cadre qui peut se révéler encore plus rigide, voire arbitraire : les sociétés protohistoriques n'ont bien entendu pas fait évoluer leur culture matérielle de façon régulière, et encore moins en fonction de nos repères calendaires (par exemple, l'an Mil ou le xe s. av. J.-C. ne correspondent à rien de particulier en termes d'évolution ou d'horizon chronologique). Mais surtout, la chronologie absolue de nombreux horizons de l'âge du Bronze reste très lâche ou débattue en raison de problèmes de résolution chronologique, liés notamment aux plateaux radiocarbones. C'est pourquoi il peut être délicat d'utiliser une datation séculaire pour désigner un horizon typochronologique ou une période. Le XIVe s. av. J.-C. est un bon exemple : pour certains, tenants d'une chronologie vieillie, la seconde moitié de ce siècle correspond déjà au début du Bronze final I de J.-J. Hatt tandis que pour d'autres (dont nous faisons partie), le XIVe s. appartient pleinement encore au Bronze moyen. Parler en « typochronologie relative » reste encore le meilleur moyen de se faire comprendre sans équivoque lorsque l'on s'adresse à ses collègues, actuels ou à venir, et dont la formation et le domaine de compétences sont nécessairement divers. C'est d'ailleurs ce qui fait la force aujourd'hui du système « Reinecke », et explique qu'il pourrait peut-être se substituer un jour à la périodisation Hatt en France pour désigner conventionnellement tel ou tel horizon typochronologique. Mais la limite de cette typochronologie relative reste son degré d'abstraction pour les non spécialistes de la période.

2.2. Ouvertures méthodologiques

Dans la mesure où, d'une région à une autre, les cultures matérielles disposent de leurs dynamiques propres, et de faciès plus ou moins originaux, il demeure absolument nécessaire de construire des périodisations adaptées, pour chaque culture archéologique ou groupe de cultures archéologiques, n'en déplaise à une certaine tradition jacobine ; c'est ce que font de nombreux collègues dans les pays voisins. Ces périodisations autonomes doivent être construites sur la base d'une typochronologie relative d'ensembles clos fiables et diversifiés, incluant si possible les productions matérielles les plus à même d'enregistrer des évolutions sur de courtes durées (parures et armes métalliques, vaisselle fine en céramique…). Cette chronologie relative peut être déduite de l'observation de stratigraphies (mais les sites stratifiés de l'âge du Bronze sans pollution ou mobilier résiduel sont très rares), construite par sériation automatique des associations de types issues d'ensembles clos, ou établie par une mise en séquence argumentée par des comparaisons (datation croisée). Chacune de ces différentes méthodes présente avantages et inconvénients : la dernière est la moins rigoureuse d'un point de vue méthodologique par exemple, mais c'est celle qui permet de mettre en évidence des hiatus documentaires et de les combler (horizons typochronologiques fantômes : Milcent, 2012), là où les deux premières laissent voir seulement une pseudocésure typologique. Les subdivisions les plus fines de ces chronologies relatives peuvent être qualifiées d'horizons chronologiques. Pour éviter toute ambiguïté, et parce que c'est plus efficace d'un point de vue mnémotechnique, mieux vaut les désigner du nom de l'ensemble clos qui semble le plus illustratif et le mieux documenté (cf. par exemple, pour les productions

métalliques de la toute fin de l'âge du Bronze atlantique en France, l'« horizon typochronologique de Vénat » qui parle à tout le monde).

Dans un second temps, ces chronologies relatives fines nécessitent d'être calées en chronologie absolue par datation directe des matériaux ou contextes en laboratoire. Il est fondamental de pouvoir s'appuyer aussi sur une chronologie absolue autonome, c'est-à-dire construite indépendamment de celles qui existent ailleurs. Aussi curieux que cela paraisse, il n'en existe encore aucune en France à l'échelle de l'âge du Bronze !

Dans un troisième temps, il reste utile de proposer des correspondances avec des périodisations régionales voisines, ce qui aboutit aux tableaux de concordances chronologiques. Ces tableaux apparaissent complexes, mais sont fondamentaux avec la multiplication des chronologies régionales. Ils offrent de surcroît l'opportunité de mieux caler, en chronologie absolue, les séquences de chronologies relatives restées flottantes. Pour les chronologies relatives régionales bien calées en chronologie absolue, les décalages qui peuvent apparaître ensuite de l'une à l'autre sont porteurs de sens et doivent être discutés : artéfacts de la recherche ou particularismes régionaux ? Toutes ces séquences régionales rendent plus robustes et précises les chronologies à valeur interrégionale. C'est finalement un peu la même chose qu'en dendrochronologie où des essences se prêtent mieux que d'autres à l'établissement de chronologies, et où les référentiels sont construits à partir de séquences régionales plus ou moins complètes et synchrones, les lacunes des unes étant comblées par les séries importantes des autres. Les séquences locales ont leur utilité et leur signification, tout comme les référentiels plus larges qui moyennent l'information.

3. L'âge du Bronze : ouvrir le débat

Les périodisations en vigueur pour l'âge du Bronze possèdent une terminologie et un découpage général devenus progressivement conventionnels. Même en étant conscient du décalage induit entre ces découpages conventionnels et ce que l'on perçoit aujourd'hui de l'histoire des sociétés de l'âge du Bronze, il n'en demeure pas moins que nos modèles interprétatifs sont artificiellement contraints par ces nomenclatures dont on ne sait plus guère l'origine précise. C'est pourquoi il importe de réfléchir à une nouvelle périodisation de l'âge du Bronze, qui puisse avoir une valeur générale, c'est-à-dire à l'échelle de différents groupes de cultures ou réseaux culturels, mais aussi qui puisse dépasser la seule caractérisation de l'évolution des cultures matérielles afin d'embrasser d'autres indicateurs tout aussi importants : environnementaux, socio-économiques, symboliques... Ne nous méprenons pas : le but n'est pas d'imposer un système rigide qui viendrait se substituer aux précédents et compliquer encore un peu plus la situation, mais de susciter, à travers de nouvelles propositions, un cadre renouvelé et ouvert pour un débat historique de fond, à savoir qu'est-ce qui définit l'âge du Bronze et ses principales périodes ? En poussant la logique jusqu'à son terme, on doit même s'interroger sur la pertinence du concept d'âge du Bronze. Cette discussion a déjà été amorcée pour le Nord-Ouest de la France (Milcent, 2019b), mais elle mérite développement.

Le débat sera ouvert à l'échelle des cultures atlantiques et continentales des deux tiers nord de la France. Nous avons conscience qu'il peut apparaître réducteur ou artificiel d'envisager d'emblée que ces différentes cultures aient pu connaître les mêmes tournants historiques de façon plus ou moins synchrone. Nous laisserons provisoirement le tiers sud de la France à l'écart : la documentation y est en effet très lacunaire ou insuffisamment publiée, spécialement dans le Sud-Ouest, tandis que pour les régions les plus ouvertes au reste du bassin méditerranéen, une autre histoire que celle que l'on perçoit mieux, plus au nord, est envisageable.

3.1. L'âge du Bronze existe-t-il ?

La notion d'âge du Bronze ne va pas de soi. Entre l'époque où elle fut formulée (la première moitié du XIXe s. avec les travaux de Christian Jürgensen Thomsen et de son successeur Jens Jacob Asmussen Worsaae) et celle où elle fut définitivement acceptée, près d'un siècle s'est parfois écoulé dans certains cercles savants récalcitrants (cf. la notion d'« *Enéolithique prolongé* » ; Guilaine, 1972, p. 15-16). En France, même si l'âge du Bronze, de même que dans une moindre mesure la notion de Protohistoire furent imposés par les archéologues naturalistes dès la fin des années 1860, grâce au prosélytisme contagieux de Gabriel de Mortillet (Mortillet, 1869 ; 1881) et à la synthèse fondamentale d'Ernest Chantre consacrée entièrement à l'âge du Bronze (Chantre, 1875), il ne faut pas négliger la force des réticences parmi quelques réseaux érudits plus conservateurs (Lehoërff, 2011). Avec le recul et la multiplication de la documentation, le débat mérite d'être réouvert, d'autant qu'il n'est plus question aujourd'hui de définir une période historique seulement par rapport à un stade supposé de développement dans un domaine technique (Coye, 1997). En France, il l'a déjà été sous la plume de Patrice Brun, bien que cette discussion n'ait pas donné encore lieu à développement : dans un bref manuel dédié à l'âge du Fer en France, il indique en effet, dans une synthèse introductive, que l'âge du Bronze n'existe que par convention puisque l'âge du Bronze ancien « ne rompt pas avec la période antérieure » et « apparaît plutôt comme le prolongement d'une période qui a débuté au milieu du Ve millénaire » tandis que « les sociétés de ce que l'on appelle par tradition l'âge du Fer sont restées longtemps analogues à celles de l'âge du Bronze à partir de 1600 av. n. è. » (Brun et Ruby, 2008, p. 25). Dans cette perspective, la Protohistoire serait scindée en deux périodes principales, la première étant inscrite entre 4500 et 1600 av. J.-C. (du Néolithique moyen au Bronze ancien), la seconde entre 1600 et 250 av. J.-C. (du Bronze moyen à La Tène moyenne).

3.2. Traits structurels de l'âge du Bronze

De notre point de vue, l'âge du Bronze n'est pas un âge purement conventionnel, car des traits structurels le définissent. Cette définition est toutefois polythétique, ce qui signifie que certains de ces traits sont partagés avec d'autres périodes (l'âge du Fer notamment) et qu'ils peuvent apparaître avant ou disparaître après l'âge du Bronze au sens conventionnel. Ces traits obligent en outre à s'interroger sur les bornes chronologiques assignées traditionnellement à l'âge du Bronze.

Tels qu'ils peuvent être perçus aujourd'hui, ces traits structurels sont les suivants :

- l'économie des sociétés est fondamentalement agropastorale et diversifiée, ce qui permet une croissance démographique assez régulière, mais l'artisanat, au sens d'activité spécialisée réalisée à plein temps par des professionnels, y est bien représenté, notamment dans le secteur de la métallurgie ;
- de grands réseaux d'échanges, fondés notamment sur les transferts de matériaux valorisés (métaux, ambre, lignite…), favorisent l'émergence ou fortifient de vastes réseaux culturels dans la durée (réseaux atlantiques, centre-européens…). Les bateaux en planches cousues, connus au moins depuis le Bronze ancien, ont dû accompagner l'intensification des circulations maritimes ; les premiers chevaux domestiques, apparus au même moment, semblent également associés à l'extension de ces réseaux ;
- la métallurgie des alliages à base de cuivre joue un rôle considérable dans la dynamisation de ces réseaux économiques et culturels, car elle implique la mise en connexion de régions éloignées, les principales ressources en cuivre et étain étant généralement très distantes les unes des autres. Elle se trouve investie d'une importance particulière puisqu'elle sert à fabriquer l'essentiel de l'armement, des outils spécialisés, des parures… ;
- les productions métalliques (or, cuivre et alliages à base de cuivre) occupent une place cardinale dans l'économie de biens de prestige et sont utilisées comme paléomonnaie dans le cadre d'obligations socio-économiques fondamentales (dette, prix du sang, de la fiancée…) ;
- les sociétés sont stratifiées, mais avec des niveaux de complexité qui peuvent osciller beaucoup, sans pour autant atteindre un niveau protoétatique ;
- les élites, bien présentes, adoptent des politiques très changeantes dans leurs manifestations matérielles. Ces manifestations fluctuantes voient des basculements entre dépôts métalliques en sépulture et dépôts métalliques non funéraires en milieux terrestres et humides. Les dépôts métalliques non funéraires sont très majoritaires dans cette matérialisation élitaire ;
- la figure du guerrier, en tant que spécialiste dans les violences intercommunautaires, émerge plus clairement avec l'élaboration d'armes qui ne peuvent plus être confondues avec celles du chasseur (épées, armes défensives et sans doute char léger de guerre) ;
- les rites funéraires, quand ils sont détectables, privilégient le dépôt des défunts dans une tombe individualisée. Lorsqu'elles sont monumentalisées, les tombes sont ceintes d'un enclos circulaire et souvent surmontées d'un tumulus. Les gisements funéraires, même lorsqu'ils sont occupés sur la longue durée, présentent un nombre réduit de sépultures, ce qui traduit un recrutement funéraire très sélectif ;
- les expressions symboliques et artistiques nous parviennent sous la forme de compositions géométriques où les cercles et les lignes droites, souvent brisées, dominent. L'aniconisme est une règle dont on s'affranchit exceptionnellement puisque la représentation, qu'elle soit végétale, animale ou humaine, est rarissime en proportion. Mais les symboles solaires, avec des signes géométriques radiants, sont nombreux.

Certains de ces traits apparaissent avant l'âge du Bronze conventionnel, mais peu avant, ce qui oblige à s'interroger sur le début véritable de cette époque. D'autres se prolongent durant le premier âge du Fer, si bien qu'il convient également de se demander ce qui sépare ou non ces deux époques.

3.3. Borner la fin de l'âge du Bronze : une rupture vers 800 av. J.-C.

C'est sans doute avec le premier âge du Fer et le début du second que les traits structurels identifiés à l'âge du Bronze sont les plus partagés. Toutefois, une rupture nette observée vers 800 av. J.-C., que nous avons qualifiée de crise du VIIIe s. (Milcent, 2009), marque une forte discontinuité qui permet de borner la fin de l'âge du Bronze. Cette crise est multifactorielle et touche de nombreux aspects : ressources agropastorales, habitats et modalités d'occupation du sol, pratiques funéraires et de dépôt métallique pour l'essentiel. Elle correspond notamment à une forte péjoration climatique, à l'abandon généralisé des établissements de hauteur, à la disparition, pour 150 ans environ, des dépôts métalliques non funéraires, au retour de la pratique de l'inhumation sous tumulus dans les régions continentales. Le développement véritable de la métallurgie du fer matérialise en creux l'effritement, voire l'effondrement, de la partie d'un système socio-économique polarisée précédemment par les échanges à longue distance, la production et la valorisation des objets en bronze : il s'agit là d'un trait structurel distinctif de l'âge du Fer. On ne mesure pas bien malheureusement l'impact démographique de toutes ces transformations ni l'impact de la péjoration climatique au VIIIe s.

3.4. Borner le début : la période campaniforme, matrice de l'âge du Bronze

À la fin du XIXe et au début du XXe s., il ne faisait pas de doute aux yeux de grands auteurs que le Campaniforme, entendu en tant que période, inaugurait l'âge du Bronze (Montelius, 1895 ; 1901 ; Déchelette, 1910). Pour des raisons qu'il serait trop long de développer ici, ce sont les spécialistes du Néolithique qui ont progressivement investi la période campaniforme, au point d'asseoir l'impression que celle-ci conclurait le Néolithique final (ou le Chalcolithique selon les points de vue). Sauf exception, les spécialistes français de l'âge du Bronze n'ont guère disputé ce point de vue depuis l'après-Seconde Guerre mondiale. Les arguments sont pourtant nombreux, comme le reconnaissent des spécialistes de la période, pour considérer que le « Campaniforme semble globalement plutôt introduire les transformations de l'âge du Bronze […] que clore le cycle néolithique » (Lemercier, 2018, p. 215). C'est en effet au milieu du IIIe millénaire qu'apparaissent les premiers objets d'alliage cuivre-étain (Gandois, 2018). Le Campaniforme marque également le développement significatif de « grands » produits métalliques (lames de poignard et de hache ; armatures de javeline) dans les régions sans gîte de cuivre, ni étain. Cela traduit que le Campaniforme inaugure les grands systèmes d'échanges interrégionaux connectant les régions cuprifères et stannifères, et ces régions à celles qui en étaient dépourvues. Le caractère « international » du Campaniforme entre ainsi en résonnance avec l'amorce d'un phénomène d'échanges intensifiés de produits métalliques. Le contrôle de ces circuits des métaux et des productions à base d'alliage cuivre-étain constituant une des assises des élites de l'âge du Bronze, les implications de ces phénomènes naissant au Campaniforme ne sont pas seulement socio-économiques : elles sont aussi sociétales.

Parallèlement, dans nombre de régions, mais pas dans toutes, la substitution des inhumations individuelles aux sépultures collectives, la généralisation de céramiques à fond plat et des décors à base de lignes droites et de cercles, la raréfaction de la figuration, ou encore la disparition des très grands bâtiments sur poteaux plantés confortent l'idée d'une rupture. Ces mutations ne sont pas neutres ; elles instaurent des traits, notamment morpho-stylistiques, emblématiques de l'âge du Bronze. Quant aux premiers résultats des synthèses paléogénétiques (Olalde *et al.*, 2018), bien qu'il faille considérer leur interprétation avec beaucoup de réserves, ils démontrent que la première moitié ou le courant du IIIe millénaire voit l'arrivée en Europe occidentale d'un flux génétique à la fois neuf et puissant, apparemment d'origine steppique, avec des apports masculins qui seraient prédominants. L'hypothèse d'apports significatifs de populations, même si elle reste à préciser dans la durée, s'appuie sur des données concordantes et croissantes. Il est tentant dans ces conditions de supposer que le Campaniforme connaît une forme de nouveau brassage de populations à l'origine des communautés de l'âge du Bronze.

En définitive, les arguments en faveur d'un âge du Bronze initié avec la période Campaniforme, vers 2500 av. J.-C., apparaissent très concluants. Il faudra donc s'habituer à concevoir un âge du Bronze inclusif, étalé sur une longue durée (17 siècles), équivalente approximativement au double de la séquence de l'âge du Fer.

4. Dynamiques historiques de l'âge du Bronze

Les 17 siècles de l'âge du Bronze en France ne forment pas une période homogène. Mais le séquençage interne de cette longue durée requiert d'identifier les principales dynamiques historiques en mobilisant les grands champs documentaires à notre disposition et des indicateurs pertinents. Ces dynamiques définissent des temporalités nécessairement arythmiques, mais dont les points de concordance ou de convergence forment des tournants historiques. Notons que dans le domaine de la culture matérielle, les changements observés par l'archéologie ne correspondent pas à des moments d'innovation ou d'invention, mais à ceux qui voient, au mieux, la première généralisation de ces innovations ; c'est aussi la raison pour laquelle l'origine précise des changements est difficile à percevoir. Dans les lignes qui suivent, les étapes de l'âge du Bronze issues du système de J.-J. Hatt sont utilisées au sens conventionnel, comme repères temporels sans réelle valeur historique (fig. 1 ; partie gauche du tableau). Nous parcourrons un spectre allant des informations économiques et matérielles aux dimensions sociales et symboliques, en nous appuyant particulièrement sur des synthèses récentes (Guilaine et Garcia, 2018). Un tableau récapitule certains marqueurs des dynamiques évolutives (fig. 2), tandis que d'autres marqueurs ont pu faire l'objet d'une quantification (fig. 3).

4.1. Le climat

Pour des sociétés fondamentalement agro-pastorales, l'évolution du climat est un déterminant essentiel. Dans une économie de subsistance structurée par un régime agricole traditionnel, chaque modification du climat est capitale et peut aboutir notamment à des cycles de disette, voire de famine. L'âge du Bronze est inauguré et clôt par deux péjorations climatiques, l'une qui débute vers le XXVe, l'autre au VIIIe s. av. J.-C. (passage du Subboréal au Subatlantique). Entre ces deux épisodes s'intercale un troisième, aux XIVe et XIIIe s. av. J.-C. Du XXe au XVe s., puis du XIIe au IXe s., les conditions climatiques ont été globalement propices (Magny *et al.*, 2009).

4.2. L'économie vivrière

En l'absence de synthèses archéozoologiques, il est difficile de dégager des tendances. Le cheval s'ajoute au cortège des animaux domestiques dans le milieu du IIIe millénaire ; sa place et son utilisation à l'âge du Bronze demeurent assez

Chronologie conventionnelle	Campaniforme	BA 1	BA 2	BM 1	BM 2	BF 1	BF 2	BF 3	1er Fer 1	1er Fer 2
Périodisation générale révisée et dates absolues amont	Premier âge du Bronze				Second âge du Bronze				Premier âge du Fer	
	2500	2200	2000	1600	**1450**	1300	1125	950	**800**	725 av. J.-C.
Péjoration climatique										
Sites fortifiés										
Habitats palafittiques										
Densification habitat										
Généralisation de nouvelles techniques (métallurgie)	all. Cu+Sn	all. Cu+Sn			cire perdue	dinanderie	Pb ajouté	fer	fer	
Dépôts métalliques										
Objets métalliques immergés										
Inhumations individuelles										
Crémations										
Tumulus / enclos funéraires										
Tendance à l'homogénéisation des cultures matérielles										
Niveaux d'intensité	nul/anecdotique			faible			moyenne			forte

Figure 2 - Tableau des dynamiques des deux âges du Bronze en France septentrionale à partir d'un choix de marqueurs archéologiques. Les deux premières étapes de l'âge du Fer figurent à titre de comparaison.

floues même si les harnachements équestres sont documentés au moins dès le courant du « Bronze moyen ». On note que la part de la faune sauvage est réduite, sauf sur quelques sites élitaires. Au Bronze final, la raréfaction des fosses de piégeage et de certaines grandes espèces sauvages corrobore l'idée d'un recul de la végétation arborée, d'abord déduite des études palynologiques.

Dans l'alimentation végétale, de nouvelles plantes cultivées apparaissent, généralement dès le « Bronze moyen » (épeautre, féverole,) et documentent une diversification alimentaire par rapport au Néolithique. Pour la plupart, elles ne sont véritablement bien attestées qu'au « Bronze final » (les millets, l'ers et la caméline). Parallèlement, l'orge vêtue, une céréale rustique, devient majoritaire un peu partout (Toulemonde *et al.*, 2020). La fréquence des silos au Bronze ancien, puis des greniers surélevés dans un second temps pourrait marquer l'importance de la production végétale alors que la production animale semblait prendre une place plus prépondérante au Néolithique. Au Bronze final, la part majoritaire occupée par les greniers par rapport aux silos suppose un basculement lent dans les pratiques de stockage et peut-être une évolution des pratiques culturales et des stratégies alimentaires dans le courant du IIe millénaire av. J.-C., comme le montre aussi la nette diversification des productions végétales. Sur les côtes maritimes du Massif armoricain et ses marges, on note le développement de parcellaires réticulés fossoyés, et sans doute talutés. Ces investissements importants en travail de terrassement et entretien seraient datés entre le XXIIe et les XVe-XIVe s., mais seraient délaissés par la suite (Marcigny, 2016, p. 57-59).

4.3. Les matériaux valorisés (métaux, ambre)

Attesté au Campaniforme, l'alliage du bronze domine dès le « Bronze ancien ». Il faut attendre le « Bronze final 2 » pour que de nouveaux alliages, ternaires (cuivre, étain et plomb), deviennent majoritaires, mais seulement dans les régions atlantiques dans un premier temps. Le « Bronze moyen 2 » est un tournant majeur car les productions métalliques se répandent considérablement au point qu'elles ne sont plus réservées aux économies élitaires. En témoignent le nombre considérable de lames de hache produites en série et déposées, les parures annulaires (Nordez, 2019), ainsi que la production d'outils agricoles (faucilles) et artisanaux métalliques (marteaux, enclumettes, gouges et ciseaux à bois…), fabriqués auparavant en pierre et matériaux périssables. C'est également durant le « Bronze moyen » qu'est observé un changement dans les approvisionnements en cuivre en zone atlantique (Williams et Le Carlier, 2019, fig. 10).

On sait que l'ambre, quoique connu bien avant l'âge du Bronze, devient plus visible à partir du « Bronze moyen ». Les attestations sont nombreuses également au « Bronze final », et peut-être plus significatives qu'au « Bronze moyen » car mieux représentées dans les habitats, une source documentaire plus fiable que les tombes en la matière (l'omniprésence de la crémation au Bronze final occasionne la destruction par le feu de l'ambre durant le rituel funéraire).

4.4. Les techniques artisanales

La fonte à la cire perdue des alliages cuivreux apparaît très tôt, mais son essor est très significatif durant le « Bronze moyen ». Les premiers fléaux et poids de balance sont attestés à la même époque. Les techniques de la chaudronnerie ne sont bien documentées qu'à partir du « Bronze final 1 » car c'est la période où sont multipliés dans les dépôts métalliques les biens de prestige, comme les armes défensives et la vaisselle en tôles chaudronnées, les lourdes parures en or

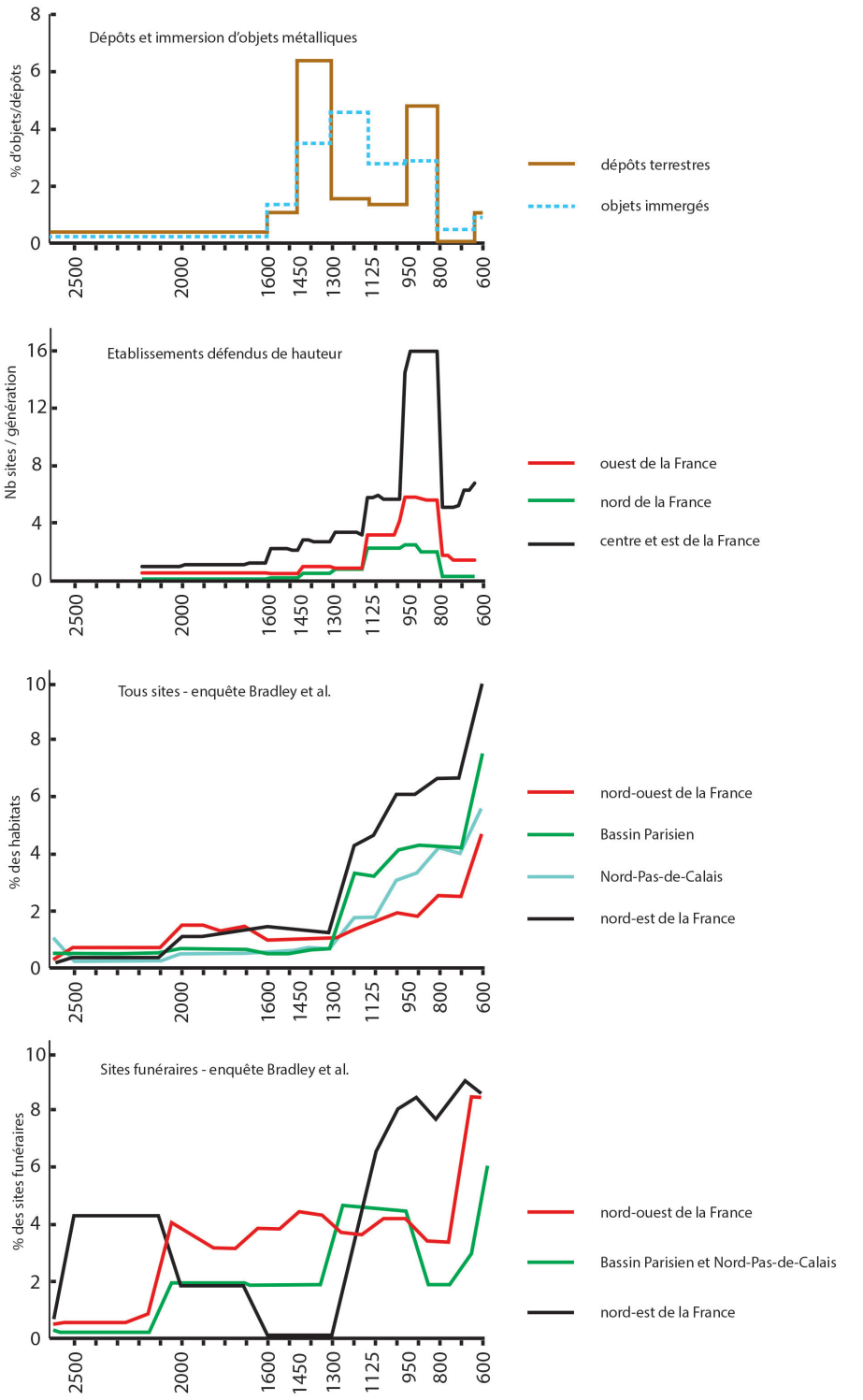


Figure 3 - Courbes de distribution chronologique des dépôts métalliques terrestres (d'après Boulud *et al.*, à paraître) et des immersions d'objets métalliques en France (d'après Mélin, 2011), des établissements défendus de hauteur en France (d'après Milcent et Couderc, 2021), des sites d'habitat et des sites funéraires en France septentrionale (d'après Bradley *et al.*, 2016).

ou les chars ornés de pièces métalliques. Toutefois, les marteaux de chaudronnier sont attestés peu avant. Dans d'autres domaines, le « Bronze moyen » pourrait aussi marquer un tournant technique avec la diversification des pratiques de filage et de tissage, et les premières attestations des tissus de type sergé. Dans le courant du Bronze final, l'usage du tour, pour la finition, et des techniques de cuisson très bien maîtrisées, pour certains vases en céramique, révèlent une spécialisation ponctuelle dans le cadre de la production potière.

4.5. Les grands réseaux culturels

Les réseaux culturels suprarégionaux atlantiques et centre-européens, caractérisés par des cultures matérielles relativement homogènes (productions céramiques, métalliques, certaines formes de l'habitat) sont bien identifiables dès le courant du Bronze moyen, ce qui traduit un renforcement des échanges et explique peut-être la forte augmentation des stocks métalliques en circulation. Pour les époques antérieures au « Bronze moyen 2 », ces réseaux n'apparaissent que sous une forme ébauchée, et insérés dans une mosaïque de cultures matérielles d'emprise géographique plus limitée. De l'époque campaniforme au début du « Bronze moyen », ce sont ces faciès aux spécificités régionales qui dominent.

4.6. Habitats et démographie

L'habitat de l'âge du Bronze est constitué de fermes dispersées principalement, mais les hameaux et villages existent aussi, ces derniers ponctuellement au « Bronze ancien 2 », en nombre important à la fin du « Bronze final 2 » et au « Bronze final 3 ». Certains de ces villages prennent la forme d'établissements palafittiques. Parallèlement, des habitats fortifiés, généralement perchés sur des reliefs, ont été occupés. Les chiffres d'une enquête nationale montrent qu'ils se développent lentement à partir du « Bronze moyen », puis qu'ils se multiplient brusquement durant le « Bronze final 2 » pour atteindre un pic au « Bronze final 3 » (Milcent et Couderc, 2021 ; fig. 3B). D'autres enquêtes à l'échelle de plusieurs régions proposent des courbes complémentaires, correspondant à des sites découverts essentiellement en contexte d'archéologie préventive, donc plutôt en plaine et fond de vallée. Cumulées, ces courbes montrent une transition nette, située

dans le courant du « Bronze moyen », mais avec des tendances différentes d'une région à une autre, puis une augmentation assez généralisée et forte des sites autour du « Bronze final 2 » (Bradley *et al.*, 2016 ; Marcigny *et al.*, 2020 ; fig. 3C). Ce changement d'échelle dans le courant du « Bronze final » se manifeste parallèlement par l'émergence d'agglomérations denses et de grande taille, l'exemple de Corent (Puy-de-Dôme), avec ses dizaines d'hectares d'habitat, est très significatif à cet égard. Tout ceci traduit une forte croissance démographique, évidente dans la seconde moitié du « Bronze final », mais amorcée avant, au « Bronze final 1 » ou au « Bronze moyen 2 ».

4.7. Les dépôts métalliques non funéraires

L'abandon, volontaire ou non, de dépôts et d'objets métalliques en dehors des sépultures, que ce soit en terre ou en milieu aquatique, fascine les archéologues depuis longtemps et c'est pourquoi nous disposons d'inventaires précis, qui permettent de construire, comme pour certains habitats, des courbes d'intensité du phénomène (fig. 3A). Bien qu'elles restent à corriger en prenant mieux en compte les masses réelles des objets, ces courbes montrent que jusqu'au début du Bronze moyen, les abandons d'objets sont épisodiques, ce qui peut traduire partiellement le caractère encore précieux ou semi-précieux du métal. En milieu terrestre, le « Bronze moyen 2 » marque une franche rupture avec une phase spectaculaire de mises en dépôt, surtout dans les espaces culturels atlantiques (Boulud *et al.*, à paraître). Par la suite, les masses de métal déposées ne sont plus aussi importantes, mais elles restent à un niveau bien supérieur à ce qui était connu avant le « Bronze moyen 2 ». Du reste, un pic marqué de dépôts s'observe à nouveau à la fin du « Bronze final 3 ».
En milieux aquatiques, la courbe des découvertes d'objets métalliques montre également le seuil du « Bronze moyen 2 », mais le pic est décalé au « Bronze final 1 » (Mélin, 2011 ; fig. 3A). Pour le début de l'âge du Fer, en milieu sec comme en milieu humide, l'effondrement des découvertes est patent. Interpréter de telles courbes est délicat, car on ne sait toujours pas ce qui motivait ces ensevelissements et immersions ; on sait seulement que les causes en sont multiples. On peut juste en déduire que les stocks de métal en circulation devaient être importants à partir du courant du Bronze moyen ; c'est quelque chose qui se perçoit également à travers la diversification des produits métalliques.

4.8. Les pratiques funéraires

L'individualisation du défunt dans l'espace funéraire est déjà présente au milieu du IIIe millénaire, nous l'avons vu, et progresse vite au « Bronze ancien » pour devenir la norme jusqu'à la fin de la période. Cette tendance qui traverse toute la période est modulée fortement néanmoins par les pratiques de traitement du corps : du « Campaniforme » au « Bronze moyen », c'est l'inhumation, en position latérale repliée puis étendue sur le dos, qui domine, tandis que la crémation s'impose rapidement ensuite. Dans l'espace culturel atlantique, les crémations sont déjà présentes à la période campaniforme et deviennent dominantes dès le « Bronze moyen ». L'absence ou la rareté du mobilier associé explique qu'elles n'aient pu être datées que depuis une quinzaine d'années, avec l'application de la méthode du radiocarbone à la bioapatite des os brûlés. Plus au sud et à l'est, la crémation se diffuse plus tard et plus progressivement ; elle ne devient dominante que dans le courant du « Bronze final 1 ». Quant à la dynamique des tombes monumentales, ceintes d'un enclos et, souvent, d'un tumulus, elle semble pour une large part corrélée à la crue de l'inhumation individuelle jusqu'au Bronze moyen, puis sa décrue, avant le début d'un renouveau qui préfigure le premier âge du Fer (fig. 3D).

4.9. Les symboles

Le style géométrique à base de traits et de cercles caractéristique de l'âge du Bronze est constitué dès le Campaniforme. D'abord limitées à l'Est de la France, de rares représentations explicites, mais toujours très stylisées, apparaissent vers le « Bronze final 1 », puis deviennent relativement plus nombreuses à partir de la fin du « Bronze final 2 » et gagnent en direction du Sud et de l'Ouest. C'est au Bronze final 3 qu'on les rencontre, mais très exceptionnellement, dans l'espace culturel atlantique qui demeure globalement étanche à la figuration, le Centre-Ouest excepté. La figuration disparaît à nouveau vers le début de l'âge du Fer. Au Bronze final, elle montre essentiellement des astres rayonnants, des oiseaux (surtout aquatiques), des silhouettes humaines, des cornes de bovins ou des croissants lunaires, des vases miniatures, des bateaux, des métiers à tisser. Plusieurs de ces motifs sont combinés pour former le thème de la barque solaire bien connu depuis les travaux de J. Déchelette.

5. Conclusion : premier et second âges du Bronze

Les périodisations que nous utilisons procèdent d'une évolution complexe de la recherche et se fondent sur des travaux anciens, correspondant à des époques où la documentation disponible était limitée. L'empreinte de leurs initiateurs et des conditions de leur production sont telles qu'en dépit de nombreux aménagements successifs, ces périodisations sont devenues académiques et conventionnelles dans leur découpage général, au sens où elles ne correspondent plus, pour reprendre les termes de J. Le Goff, à une « réalité objective ».
En partant d'une synthèse de données issues de champs documentaires très variés, nous faisons la proposition d'une vision globale renouvelée de l'âge du Bronze en France tempérée et par conséquent d'une nouvelle chrononymie. Pour dissiper toute ambiguïté, il ne s'agit pas ici de jeter les premières bases d'une nouvelle chronologie de l'âge du Bronze qui serait à venir, comme avait pu le faire en son temps J.-J. Hatt. Le but est simplement d'identifier les grandes séquences évolutives,

c'est-à-dire les périodes, qui animent l'époque de l'âge du Bronze en France. De l'analyse des données ressort l'identification de deux séquences historiques : une première séquence, longue et plutôt homogène par son développement très progressif, se dessine du « Campaniforme » jusqu'au début du « Bronze moyen », sur un millénaire environ. Une seconde séquence, plus complexe et heurtée, mais en crescendo, se détache nettement, avec en particulier un « Bronze final 2 » et « 3 » qui marquent une acmé avant la rupture du VIIIe s. Le « Bronze final 1 » montre parfois des effets de bascule, mais de façon moins évidente semble-t-il que pour le « Bronze moyen 2 ». En effet, entre les deux longues séquences que l'on vient d'esquisser, le Bronze moyen, dans presque chaque domaine, montre soit l'amorce d'une transition, soit un véritable seuil. Lorsqu'il y a seuil, celui-ci intervient avec le « Bronze moyen 2 » dans la plupart des cas. Dans notre esprit, la notion de seuil renvoie non pas à une rupture, mais à l'idée d'une transition complexe, correspondant à l'accrétion de divers processus au rythme propre et dont l'amorce peut être largement antérieure au seuil lui-même. Plutôt que détacher artificiellement du reste une séquence de transition qui serait le « Bronze moyen 2 – Bronze final 1 », il est plus pertinent de ne distinguer que deux âges du Bronze au plan historique : un premier âge du Bronze, initié avec l'époque campaniforme, vers le XXVe s., auquel succède un second âge du Bronze amorcé autour du XVe s. av. J.-C. Il va de soi que selon les régions, la succession premier-second âge du Bronze a dû s'enchaîner plus tôt (domaine atlantique ?) ou plus tard (domaine centre-européen ?). Il serait donc très imprudent de fixer une limite trop précise au seuil identifié entre ces deux périodes historiques et d'envisager que toutes les cultures étaient animées de dynamiques évolutives synchrones et comparables.

Allonger la durée de l'âge du Bronze et la scinder historiquement en deux époques peut décontenancer, habitués que nous sommes à un âge du Bronze court et tripartite. Mais ce schéma n'est neuf qu'en apparence, surtout si l'on remonte le temps : vers le milieu et la fin du XIXe s., l'âge du Bronze était aussi divisé en deux, pour des raisons bien différentes toutefois, par J. J. A. Worsaae ou G. de Mortillet. O. Montelius quant à lui faisait référence explicitement à une distinction entre un « premier âge du Bronze » et un « second âge du Bronze », dans lesquels il rangeait respectivement ses périodes I à III et IV à VI (Montelius, 1895, p. 63-64) ; il s'agit là d'un aspect historiographique auquel nous-même n'avions pas fait attention avant de formaliser nos travaux. Enfin, des propositions plus comparables aux nôtres ont été formulées ailleurs plus ou moins récemment, notamment en Grande-Bretagne (Bradley *et al.*, 2016, p. 171). En regardant du côté d'autres périodes que celles qui relèvent de la Protohistoire, on constate aussi que des collègues ont entrepris de remettre à plat les périodisations historiques ces dernières années : c'est le cas pour le premier et le second Moyen Âge (Burnouf, 2008) ; pensons aussi à J. Le Goff lorsqu'il plaide très sérieusement l'existence d'un Moyen Âge étendu jusqu'à la Révolution française (Le Goff, 2014).

La proposition d'un découpage binaire d'un âge du Bronze allongé vise d'abord à mieux rendre compte des connaissances acquises récemment et du dépassement de nos représentations traditionnelles de la période, trop déterminées encore par l'importance excessive de la typochronologie des productions métalliques et céramiques. Elle s'appuie sur une approche en partie empirique de la documentation tant les données chiffrées manquent. Une meilleure caractérisation de l'âge du Bronze par la quantification de l'information reste donc un objectif majeur. Si nos hypothèses incitent à une compilation raisonnée et quantitative des données, elles auront atteint une partie de leur objectif.

La seconde de nos ambitions est d'inviter à porter un regard différent sur l'âge du Bronze en s'affranchissant de cadres chronologiques conventionnels contraignants et de contribuer, modestement, à l'élaboration de modèles historiques renouvelés. Se demander ce qui fait vraiment époque est l'opportunité de réfléchir à ce que valent nos données archéologiques et aux discours qui s'appuient dessus. Cette question simple en apparence appelle des enquêtes larges, précises et quantifiées, qui ne peuvent qu'être bénéfiques. En ouvrant sur une nouvelle dialectique historique avec les données, le changement de périodisation proposé peut s'avérer fécond.



Pierre-Yves Milcent

Maître de conférences habilité en Antiquités nationales
Coresponsable de l'équipe RHAdAMANTE et du Master ASE2P
Université de Toulouse Jean Jaurès / UMR 5608 TRACES
pierre-yves.milcent@univ-tlse2.fr

Bibliographie

Boulud-Gazo S., Bordas F., Gandois H., Mélin M. et Nordez M., à paraître, « Bronze Age land hoards in France: immobilisation and burial patterns », dans Svend Hansen (dir.), *Connecting Worlds. Bronze- and Iron Age depositions in Europe, actes du colloque international de Berlin (19-21 juin 2018)*, DAI-Eurasien Abteilung.

Bocquet A., 1976, « Les civilisations de l'âge du Bronze dans les Alpes », dans Guilaine J. (dir.), *La Préhistoire française*, II, *Les civilisations néolithiques et protohistoriques de la France*, Paris, CNRS, p. 483-494.

Bradley R., Haselgrove C., Vander Linden M. et Webley L., 2016, *The Later Prehistory of North-West Europe: The Evidence of Development-Led Fieldwork*, Oxford, Oxford University Press.

Briard J., 1965, *Les dépôts bretons et l'âge du Bronze atlantique*, thèse de sciences naturelles, Rennes.

Brun P. et Ruby P., 2008, *L'âge du Fer en France : premières villes, premiers États celtiques*, Paris, La Découverte.

Burnouf J., 2008, *Archéologie médiévale en France. Le second Moyen Âge (XIIIe-XVIe s.)*, Paris, La Découverte.

Chantre E., 1875, *Études paléoethnologiques dans le bassin du Rhône. Âge du bronze. Recherche sur l'origine de la métallurgie en France*, t. I : *Industries de l'âge du Bronze*, Paris, J. Laubry (éd.).

Childe G., 1930, *The Bronze Age*, Cambridge, Cambridge University Press.

Coye N., 1997, *La préhistoire en paroles et en actes. Méthodes et enjeux de la pratique archéologique. 1830-1950*, Paris, L'Harmattan.

Déchelette J., 1910, *Manuel d'archéologie préhistorique, celtique et gallo-romaine. II - Archéologie celtique ou protohistorique. Première partie : âge du bronze*, Paris, Picard.

Evans J., 1881, *The ancient Bronze Implements, Weapons, and Ornaments, of Great Britain and Ireland*, Londres, Longmans, Green, & co.

Fox C., 1923, *The Archaeology of the Cambridge Region. A topographical Study of the Bronze, Early Iron, Roman and Anglo-Saxon Ages, with an Introductory Note on the Neolithic Age*, Cambridge, Cambridge, Cambridge University Press.

Gandois H., 2018, « L'adoption du bronze à l'étain en France », dans Boulud-Gazo S. et Mélin M. (dir.), *Contributions à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche-Mer du Nord*, vol. 2 : *Actes des séminaires archéologiques de l'Ouest (2008, 2009 et 2010)*, APRAB, p. 117-126,

Guilaine J. et Garcia D. (dir.), 2018, *La Protohistoire de la France*, Paris, Hermann.

Guilaine J., 1972, *L'âge du Bronze en Languedoc occidental, Roussillon, Ariège*, Mémoires de la Société préhistorique française, 9, Paris, Société préhistorique française.

Hatt J.-J., 1954, « De l'âge du Bronze à la fin du premier âge du Fer. Problèmes et perspectives de la Protohistoire française », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 51, 8, p. 101-110.

Hatt J.-J., 1958, « Chronique de Protohistoire, IV. Nouveau projet de chronologie pour l'âge du Bronze en France », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 55, 5-6, p. 304-306.

Hatt J.-J., 1961, « Chronique de Protohistoire, V. Une nouvelle chronologie de l'âge du Bronze final. Exposé critique du système chronologique de H. Müller-Karpe », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 58, 3-4, p. 184-195.

Hatt J.-J., 1962, « Chronique de Protohistoire, VI. Pour une nouvelle chronologie de l'époque hallstattienne. Les trois phases du premier âge du Fer en Allemagne du Sud et en France de l'Est », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 59, p. 652-667.

Hatt J.-J. et Roualet P., 1977, « La chronologie de la Tène en Champagne », *Revue archéologique de l'Est*, 28, p. 7-36.

Le Goff J., 2014, *Faut-il vraiment découper l'histoire en tranches ?*, Paris, Seuil.

Lehoërff A., 2011, « L'âge du Bronze est-il une période historique ? », dans Garcia D. (dir.), *L'âge du bronze en Méditerranée. Recherches récentes*, Paris, Errance, p. 13-26.

Lemercier O., 2018, « La question campaniforme », dans Guilaine J. et Garcia D. (dir.), *La Protohistoire de la France*, Paris, Hermann, p. 205-217.

Magny M., Bossuet G., Gauthier E., Richard H., Vannière B., Billaud Y., Marguet A. et Mouthon J., 2009, « Variations du climat pendant l'âge du Bronze au Centre-Ouest de l'Europe : vers l'établissement d'une chronologie à haute résolution », dans Richard H., Magny M. et Mordant C. (dir.), *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale*, *129e congrès du CTHS, Besançon 2004*, Paris, CTHS, p. 13-28.

Marcigny C., 2016, *Peuplement et échanges culturels sur les rivages de la Manche à l'âge du Bronze : l'exemple normand*, thèse de doctorat en anthropologie sociale et historique, Toulouse, EHESS.

Marcigny C., Riquier, V., Audouit F., Frénée E., Néré E., Peake R. et Talon M., 2020, « Dynamiques de peuplement de la fin du Néolithique à la fin de l'âge du Bronze en France », dans Lachenal T., Roure R. et Lemercier O. (éd.), *Demography and Migration. Population trajectories from the Neolithic to the Iron Age. Proceedings of the XVIII UISPP World Congress (4-9 June 2018, Paris, France)*, vol. 5, Archaeopress Archaeology, p. 58-70.

Mélin M., 2011, *Les dépôts en milieu humide pendant l'âge du Bronze en France. Caractérisation des pratiques d'immersion*, thèse de doctorat, Rennes, université Rennes 1.

Milcent P.-Y. et Couderc F., avec la collaboration de Delrieu F., 2021, « Corent et les établissements défendus de hauteur à l'âge du Bronze en France », dans Marcigny C. et Mordant C., *Bronze 2019. 20 ans de recherches. Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux, 19-22 juin 2019)*, supplément n° 7 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, p. 349-360.

Milcent P.-Y., 2009, « Le passage de l'âge du Bronze à l'âge du Fer en Gaule au miroir des élites sociales : une crise au VIIIe s. av. J.-C. ? », dans Daubigney A., Milcent P.-Y., Talon M. et Vital J. (dir.), *De l'âge du Bronze à l'âge du Fer en France et en Europe occidentale (Xe-VIIe s. av. J.-C.). La moyenne vallée du Rhône aux âges du Fer. Actes du XXXe colloque international de l'AFEAF, co-organisé avec l'APRAB (Saint-Romain-en-Gal, 26-28 mai 2006)*, supplément 27 à la *Revue archéologique de l'Est*, p. 453-476.

Milcent P.-Y., 2012, *Le temps des élites en Gaule atlantique. Chronologie des mobiliers et rythmes de constitution des dépôts métalliques dans le contexte européen (XIIIe-VIIe s. av. J.-C.)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes (Archéologie & Culture).

Milcent P.-Y., 2019a, « Maudite guerre ou discipline maudite ? Mythe et réelles origines de l'éclipse de l'archéologie protohistorique française au début du xxe s. », dans Pèré-Noguès S. (dir.), *La construction d'une archéologie européenne (1865-1914). Colloque en hommage à Joseph Déchelette*, Montagnac, Éditions Mergoil, p. 347-369.

Milcent P.-Y., 2019b, « Les sociétés humaines au fil de l'âge du Bronze dans le Morbihan », dans Boulud-Gazo S. et Le Pennec C. (dir.), *L'âge du Bronze dans le Morbihan*, Vannes, Société Polymathique du Morbihan, p. 20-22.

Montelius O., 1895, *Les temps préhistoriques en Suède et dans les autres pays scandinaves*, Paris, E. Leroux.

Montelius O., 1901, « La chronologie préhistorique en France et en d'autres pays celtiques », *L'Anthropologie*, XII, p. 609-623.

Mortillet G. de, 1869, *Promenades au musée de Saint-Germain*, Paris, C. Reinwald.

Mortillet G. et A. de, 1881, *Musée préhistorique*, Paris, C. Reinwald.

Müller-Karpe H., 1959, *Beiträge zur Chronologie der Urnenfelderzeit nördlich und südlich der Alpen.* Römisch-germanische Forschungen, 22, Berlin, W. de Gruyter & Co.

Nordez M., 2019, *La parure en métal de l'âge du Bronze moyen atlantique*, Paris, Société préhistorique française.

Olalde I., Brace S., Allentoft M.-E., Armit I., Kristiansen K., Booth T. *et al.*, 2018, « The Beaker phenomenon and the genomic transformation of northwest Europe », *Nature*, 2, p. 190-196.

Roudil J.-L., 1972, *L'âge du Bronze en Languedoc oriental*, Paris, Mémoires de la Société préhistorique française, 10.

Schaeffer C.-F., 1926, *Les tertres funéraires préhistoriques dans la forêt de Haguenau*, I : *Les tumulus de l'âge du Bronze*, Haguenau, Musée de Haguenau.

Toulemonde F., Neveu E., Dietsch-Sellami M.-F., avec la collaboration de Zech-Matterne V., 2020, « Saveurs végétales de l'âge du Bronze : d'est en ouest, le goût du changement », dans Auxiette G., Mougne C., Peake R. et Toulemonde F. (dir.), *Autour de la table. L'alimentation à l'âge du Bronze et au premier âge du Fer*, supplément n° 6 au Bulletin de l'APRAB, p. 39-66.

Williams R. A. et Le Carlier de Veslud C., 2019, « Boom and bust in Bronze Age Britian: major copper production from the Great Orme mine and European trade, c. 1600-1400 BC », *Antiquity*, 93, p. 1178-1196.



Quelques problèmes chronologiques de l'âge du Bronze en Méditerranée

Dirk Brandherm

Résumé

Deux problèmes de longue date relatifs à la chronologie de l'âge du Bronze méditerranéen sont brièvement abordés ici : la date de l'éruption de Santorin et la date du début de la présence phénicienne en Méditerranée centrale et occidentale. Aucune résolution de ces problèmes ne peut être proposée ici mais les questions fondamentales au cœur de ces problèmes sont exposées.

Mots-clés

Méditerranée, âge du Bronze, datation par radiocarbone, Santorin, colonisation phénicienne

Abstract

Two long-standing problems in Mediterranean Bronze Age chronology are briefly discussed here: the date of the Thera erupton and the start date of the Phoenician colonization effort in the central and western Mediterranean. No solution to these problems can be offered here, but we peel back to the basic issues at the heart of those problems.

Keywords

Méditerranean, Bronze Age, radiocarbon dating, Thera, Phoenician colonization

Dans cette courte note, nous aimerions revenir brièvement sur deux débats chronologiques, menés de longue date, qui concernent l'archéologie de l'âge du Bronze méditerranéen : la date de l'éruption de Santorin et la question du début de la présence phénicienne en Méditerranée centrale et occidentale.

1. La date de l'éruption de Santorin : XVIIe ou XVIe s. av. J.-C. ?

L'éruption du volcan de Santorin est l'une des plus grandes éruptions que l'hémisphère nord ait connues depuis la fin de la période glaciaire. Les dépôts sédimentaires de cette puissante éruption peuvent être trouvés dans toute la mer Égée, dans certaines parties du Proche-Orient et en Égypte. Ces dépôts d'éruption fournissent de ce fait un marqueur chronologique qui peut être utilisé pour synchroniser les chronologies régionales dans toute la Méditerranée orientale et au-delà. Si ce fait ne soulève pas d'interrogations, l'âge calendaire absolu de cette éruption reste en question.

Sur la base des contextes dans lesquels ces dépôts d'éruption se produisent en Égypte et au Levant, il ne fait aucun doute que l'éruption a dû se produire après le début du Nouveau Royaume d'Égypte, c'est-à-dire après qu'Ahmôsis Ier a commencé son règne. La chronologie historique de l'Égypte situe le début du Nouvel Empire au milieu du XVIe s. av. J.-C., 1570 étant la date la plus précoce possible pour l'ascension d'Ahmôsis au trône (Warren et Hankey, 1989 ; Wiener, 2010). Cette chronologie historique est également étayée, en général, par une série exhaustive de datations par le radiocarbone provenant d'Égypte (Bronk Ramsey *et al.*, 2010).

Des datations par le radiocarbone de l'île de Santorin ont longtemps été utilisées pour suggérer une date antérieure pour l'éruption. Elles sont issues de l'analyse d'échantillons de courte durée de vie – graines et légumineuses – trouvés directement sous les sédiments liés à l'éruption et d'une branche d'olivier enfouie à l'intérieur de ces sédiments. Les dates, obtenues à partir de la branche d'olivier carbonisée en particulier, projetées sur les courbes d'étalonnage IntCal04, IntCal09 et IntCal13, semblaient suggérer qu'il n'y avait aucune possibilité que cette branche soit morte après 1600 av. J.-C. (Friedrich *et al.*, 2006 ; 2014). L'ensemble de données globales radiocarbone de Santorin semblait clairement suggérer aussi que la fin de la plage estimée des dates calendaires tombe dans la seconde moitié du XVIIe s. av. J.-C. Les datations par le radiocarbone obtenues à partir de ces échantillons sont cohérentes les unes avec les autres, et généralement aussi cohérentes avec les datations par le radiocarbone provenant des sédiments liés à l'éruption ailleurs en Méditerranée orientale (Manning *et al.*, 2014).

Cette proposition se place au moins trente à quarante ans plus tôt que la date la plus rapprochée possible pour le début du Nouvel Empire et soixante-dix à quatre-vingts ans avant les dates les plus probables de son début. Dans la bibliographie archéologique des vingt dernières années, un long débat a porté sur presque tous les aspects possibles de cette divergence. Sans entrer dans les détails de cette discussion, il suffit de dire qu'elle n'a pas été en mesure de résoudre l'impasse entre les partisans de la chronologie « haute » et les tenants de la chronologie « basse » (Höflmayer, 2012).

Des recherches exploratoires récentes tentant de fournir une courbe d'étalonnage plus détaillée pour la période en question semblaient suggérer que cet écart chronologique était peut-être un artéfact lié au fait de prendre la moyenne des dates par le radiocarbone par décennie lors de la construction de la courbe d'étalonnage (Pearson *et al.*, 2018). L'utilisation dans ce cas des valeurs moyennes décennales était depuis longtemps une pratique généralement acceptée, car la variation du carbone 14 atmosphérique des années suivantes était généralement supposée être de l'ordre d'1 à 2 %, tandis que l'erreur de mesure minimale des accélérateurs les plus avancés est généralement de plus d'une décennie.

Cependant, au cours des dernières années, plusieurs cas ont été identifiés où la différence entre deux cernes adjacents d'un même arbre s'élevait à plusieurs décennies et même dans certains cas, près d'un siècle d'années radiocarbone. Ces différences ne peuvent être dues qu'à une variation à court terme de la teneur en carbone 14 dans l'atmosphère. C'est la raison pour laquelle la révision la plus récente de la courbe d'étalonnage internationalement reconnue (IntCal20) n'utilise plus la moyenne décennale (Reimer *et al.*, 2020). Cette dernière courbe d'étalonnage montre que l'écart chronologique entre la chronologie historique conventionnelle et les dates par le radiocarbone pertinentes est nettement plus petit qu'on ne le pensait auparavant. Cependant, cet écart n'a pas complètement disparu et le problème fondamental de la réconciliation des deux chronologies demeure. Il n'y a apparemment pas de solution facile à ce problème (Bietak, 2003).

2. Le début de la présence phénicienne en Méditerranée centrale et occidentale

Dans le cas de l'éruption du volcan de Santorin, le décalage chronologique discuté ci-dessus existe entre la chronologie historique égyptienne, finalement liée aux phénomènes astronomiques et les datations par le radiocarbone provenant de Santorin. Dans cette deuxième étude de cas, la situation est encore plus complexe, avec des chronologies historiques différentes et des dates par le radiocarbone qui ne sont pas cohérentes entre les différentes régions.

Il existe très peu de sources textuelles directes qui fournissent des informations sur la chronologie de la colonisation phénicienne en Méditerranée. Les dates historiques de fondation des colonies phéniciennes sont basées principalement sur

des sources romaines secondaires et tertiaires, qui situent la fondation d'Utique, Lixus et Gadès à la fin du IIe millénaire av. n. è. (Pline l'Ancien, Hist. nat. XVI, 79 ; Velleius Paterculus, Hist. rom. I,2). Une date ultérieure est donnée par Denys d'Halicarnasse pour la fondation de Carthage, qu'il place en 824 av. J.-C. (Ant. rom. I,74).

La chronologie conventionnelle de la poterie phénicienne, et par extension aussi celle de la poterie géométrique grecque, ne repose pas sur ces dates de fondation, mais sur un certain nombre de stratigraphies clés au Levant, où certains horizons de destruction avaient été provisoirement liés aux événements bibliques mentionnés dans l'Ancien Testament (Brandherm, 2006). Le débat sur la concordance entre strates archéologiques et événements bibliques a conduit une fois de plus à la formulation de deux chronologies concurrentes, une « haute » et une « basse » (voir les articles dans Levy et Higham, 2005). Le débat sur ces chronologies concurrentes a duré plus d'un demi-siècle, jusqu'à ce qu'un grand nombre de nouvelles dates par le radiocarbone provenant de différents sites levantins commencent à apporter un soutien écrasant à la chronologie « basse » (Fantalkin *et al.*, 2015).

Cependant, cela a conduit à révéler un écart flagrant avec les dates les plus anciennes des contextes phéniciens de la Méditerranée centrale et occidentale, où la grande majorité des dates par le radiocarbone disponibles soutiennent toujours la chronologie traditionnelle « haute » (Torres Ortiz, 1998 ; Brandherm 2008a). Par exemple, les types de poteries, qui à Tyr au Liban s'observent dans des strates datées conventionnellement du milieu du VIIIe s. av. J.-C., se trouvent systématiquement en Ibérie dans des milieux qui ont produit des dates par le radiocarbone, antérieures à 800 av. J.-C., ce qui coïncide également beaucoup mieux avec la date de fondation historique pour Carthage, fournie par Denys d'Halicarnasse. De plus, certaines dates occidentales pour les contextes de poteries importées qui, sur la base de la stratigraphie de Tyr, sont attribuées à une phase ultérieure, sont entièrement situées avant le début du plateau de Hallstatt dans la courbe d'étalonnage et donc avant 760 av. J.-C. (Brandherm, 2008b). La solution à ce problème ne peut évidemment pas être qu'il existe en Occident des centres de production plus anciens pour cette poterie sur lesquels nous ne saurions tout simplement rien ! L'analyse de la poterie indique que nous avons effectivement affaire à des importations levantines et donc elles ne peuvent pas être plus précoces à l'ouest qu'à l'est, d'où elles proviennent. En outre, les datations des importations de poterie géométrique grecque sont affectées de la même manière. Nous avons de la poterie géométrique récente de Carthage associée à des dates par le radiocarbone qui la placent là où, selon la chronologie « basse » levantine, nous devrions nous trouver dans la période géométrique moyenne (Docter *et al.*, 2005). De même, pour la poterie de la période géométrique moyenne de Huelva et Utique, selon le même critère, nous devrions nous trouver dans la période géométrique ancienne (Nijboer, van der Plicht, 2006 ; López Castro *et al.*, 2016).

Ces problèmes sont profonds et ne sont pas facilement résolubles. Il faudra plus que des mises à jour des courbes d'étalonnage et de nouvelles versions de logiciels d'étalonnage ou de modélisation chronologique pour les résoudre.

Dirk Brandherm

School of Natural and Built Environment
Queen's University Belfast
Belfast, BT7 1NN (Royaume-Uni)
d.brandherm@qub.ac.uk

Bibliographie

Bietak M., 2003, « Science versus archaeology: problems and consequences of high Aegean chronology », dans Bietak M. (dir.), *The Synchronization of Civilizations in the Eastern Mediterranean in the Second Millenium B.C.*, Vienne, p. 23-33.

Brandherm D., 2006, « Zur Datierung der ältesten griechischen und phönizischen Importkeramik auf der Iberischen Halbinsel: Bemerkungen zum Beginn der Eisenzeit in Südwesteuropa », *Madrider Mitteilungen*, t. 47, p. 1-23.

Brandherm D., 2008a, « Erneut zur Datierung der ältesten griechischen und phönizischen Importkeramik auf der Iberischen Halbinsel », *Madrider Mitteilungen*, t. 49, p. 115-144.

Brandherm D., 2008b, « Greek and Phoenician potsherds between east and west : a chronological dilemma? », dans Brandherm D. et Trachsel M. (dir.), *A New Dawn for the Dark Age? Shifting Paradigms in Mediterranean Iron Age Chronology – L'âge obscur se fait-il jour de nouveau? Les paradigmes changeants de la chronologie de l'âge du Fer en Méditerranée. Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques – Actes du XVe Congrès mondial (Lisbonne, 4-9 septembre 2006)*, t. 9, BAR International Series, 1871, Oxford, p. 149-174.

Bronk Ramsey C., Dee M. W., Rowland J. M., Higham T. F. G., Harris S. A., Brock F., Quiles A., Wild E. M., Marcus E. S. et Shortland A. J., 2010, « Radiocarbon-based chronology for Dynastic Egypt », *Science*, t. 328, fasc. 5985, p. 1554-1557.

Docter R. F., Niemeyer H. G., Nijboer A. J. et van der Plicht J., 2005, « Radiocarbon dates of animal bones in the earliest levels of Carthage », dans Bartoloni G. et Delpino F. (dir.), *Oriente e occidente : metodi e discipline a confronto. Riflessioni sulla cronologia dell'età del ferro italiana. Atti dell'incontro di studio, Roma 30-31 ottobre 2003*, Pise, p. 557-575.

Fantalkin A., Finkelstein I. et Piasetzky E., 2015, « Late Helladic to Middle Geometric Aegean and contemporary Cypriot chronologies: a radiocarbon view from the Levant », *Bulletin of the American Schools of Oriental Research*, t. 373, p. 25-48.

Friedrich W. L., Kromer B., Friedrich M., Heinemeier J., Pfeiffer T. et Talamo S., 2006, « Santorini eruption radiocarbon dated to 1627-1600 BC », *Science*, t. 312, fasc. 5773, p. 548.

Friedrich W. L., Kromer B., Friedrich M., Heinemeier J., Pfeiffer T. et Talamo S., 2014, « The olive branch chronology stands irrespective of tree-ring counting », *Antiquity*, t. 88, fasc. 339, p. 274-277.

Höflmayer F., 2012, « The date of the Minoan Santorini eruption: quantifying the "offset" », *Radiocarbon*, t. 54, fasc. 3-4, p. 435-448.

Levy T. et Higham T. (dir.), 2005, *The Bible and Radiocarbon Dating: Archaeology, Text and Science*, Londres, p. 301-309.

López Castro J. L., Ferjaoui A., Mederos Martín A., Martinez Hahnmüller V. et Ben Jerbania I., 2016, « La colonización fenicia inicial en el Mediterráneo central: nuevas excavaciones arqueológicas en Utica (Túnez) », *Trabajos de Prehistoria*, t. 73, fasc. 1, p. 68-89.

Manning S. W., Höflmayer F., Moeller N., Dee M. W., Bronk Ramsey C., Fleitmann D., Higham T., Kutschera W. et Wild E. M., 2014, « Dating the Thera (Santorini) eruption: archaeological and scientific evidence supporting a high chronology », *Antiquity*, t. 88, fasc. 342, p. 1164-1179.

Nijboer A. J. et van der Plicht J., 2006, « An interpretation of the radiocarbon determinations of the oldest indigenous-Phoenician stratum thus far, excavated at Huelva, Tartessos (south-west Spain) », *Bulletin Antieke Beschaving*, t. 81, p. 31-36.

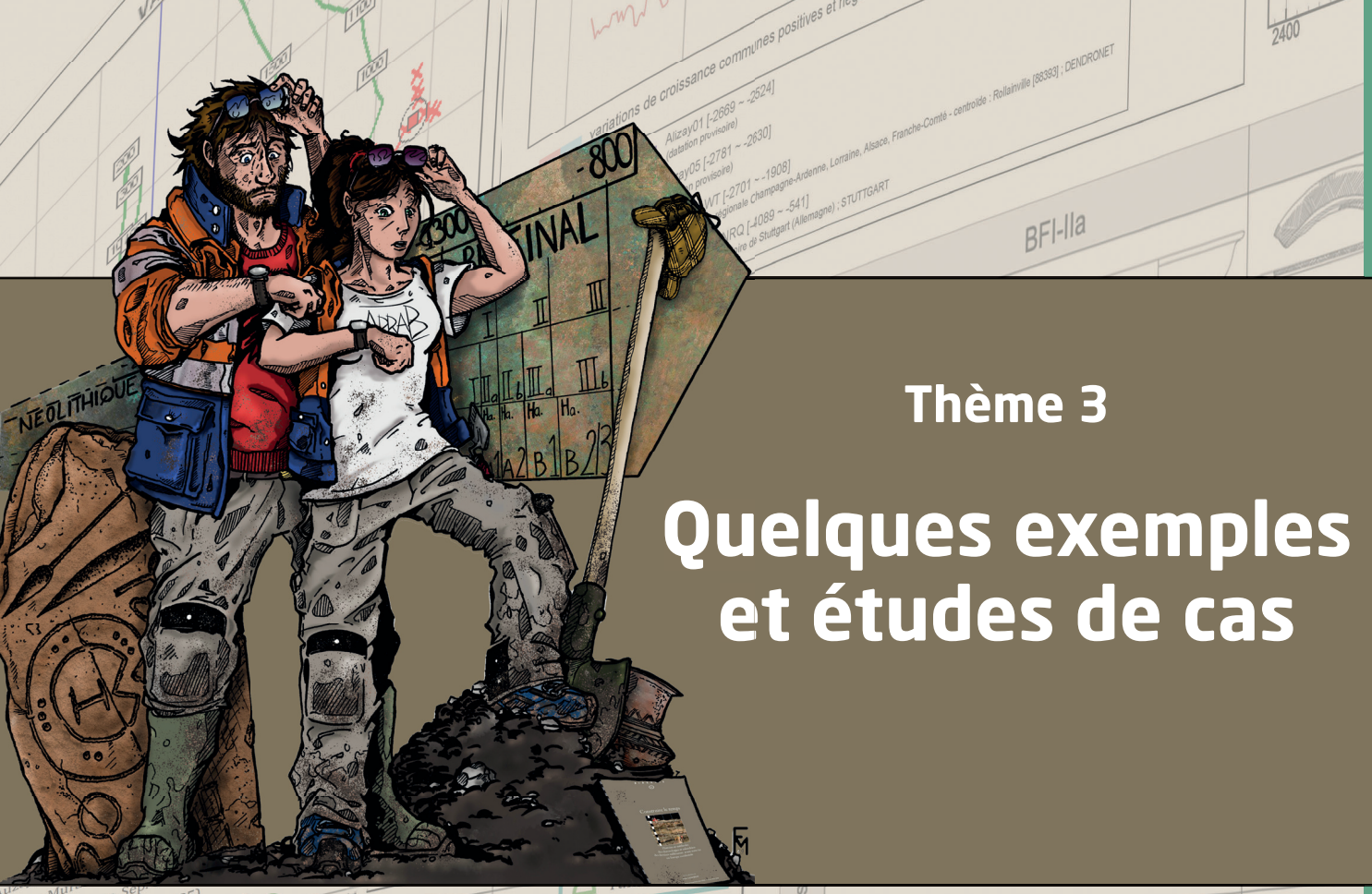
Pearson C. L., Brewer P. W., Brown D., Heaton T. J., Hodgins G. W. L., Jull A. J. T., Lange T. et Salzer M. W., 2018, « Annual radiocarbon record indicates 16th century BCE date for the Thera eruption », *Science Advances*, t. 4, fasc. 8, eaar8241, DOI: 10.1126/sciadv.aar8241.

Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reining F., Sakamoto M., Sookdeo A. et Talamo S., 2020, « The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP) », *Radiocarbon*, t. 62, fasc. 4, p. 725-757.

Torres Ortiz M., 1998, « La cronología absoluta europea y el inicio de la colonización fenicia en Occidente : Implicaciones cronológicas en Chipre y el Próximo Oriente », *Complutum*, t. 9, p. 49-60.

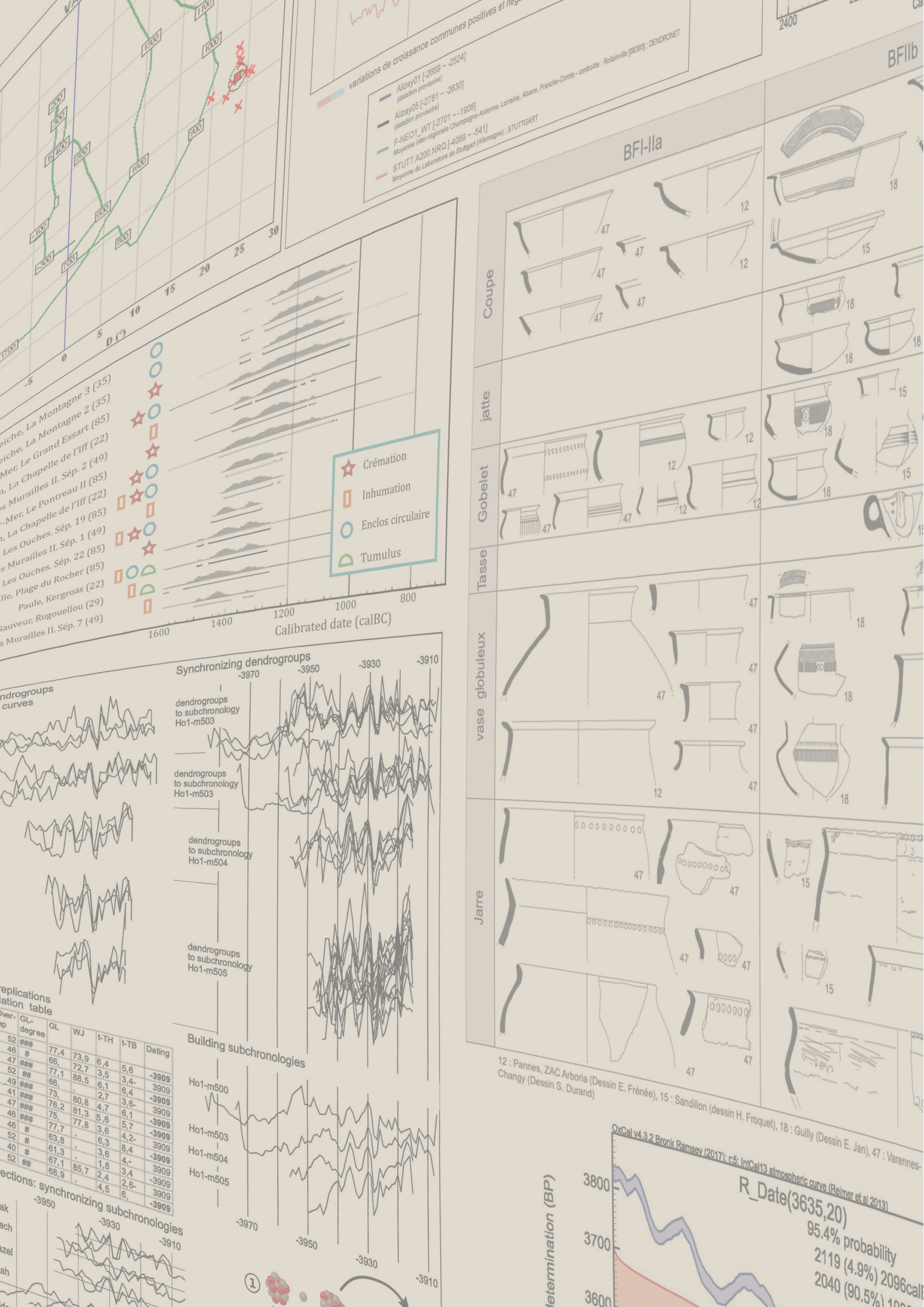
Warren P. M. et Hankey V., 1989, *Aegean Bronze Age Chronology*, Bristol.

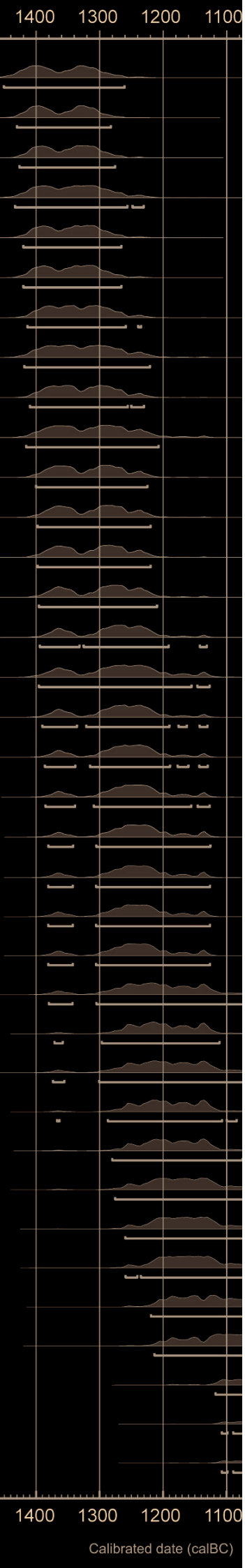
Wiener M.H., 2010, « A point in time », dans Krzyszkowska O. (dir.), *Cretan Offerings: Studies in Honour of Peter Warren*, British School at Athens Studies, 18, Athènes, p. 367-394.



Thème 3

Quelques exemples et études de cas


variations de croissance communes positives et nég
Alizay01 [-2689 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88383] : DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) : STUTTGART
2400
D (°)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
1600
1400
1200
1000
800
Calibrated date (calBC)
BFIIb
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Varennes-
Changy (Dessin S. Durand)
Synchronizing dendrogroups
-3970
-3950
-3930
-3910
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 2096cal
2040 (90.5%) 19
Determination (BP)
3800
3700
3600



La pénurie face à l'abondance des palafittes : de la meilleure utilisation des analyses dendrochronologiques dans un contexte contraint

Yves Billaud

Résumé

Le décalage de la documentation des palafittes des lacs savoyards par rapport à ceux du Jura français et de Suisse a été régulièrement souligné. L'état du corpus de datations dendrochronologiques en est une illustration. Les raisons en sont multiples, absence d'opérations préventives (mais faut-il s'en plaindre ?), de cadre universitaire et de grands programmes. Depuis maintenant trente ans, les opérations ont été menées par de petites équipes et, à de rares exceptions près, dans le cadre contraint de l'archéologie programmée. Après une longue période axée sur l'inventaire des sites et l'obtention de calages chronologiques, les travaux récents s'orientent sur la recherche des formes de l'habitat et l'occupation du territoire. En fonction de ces objectifs, différentes stratégies ont été mises en œuvre pour le prélèvement des échantillons destinés à l'analyse dendrochronologique. Au-delà des problèmes techniques liés à l'intervention en milieu subaquatique, la pertinence de l'échantillonnage passe par la prise en compte d'un certain nombre de critères (essence, densité de cernes, présence de nœuds…) dont l'évidence a parfois été négligée. Il en est de même pour *a minima* le dialogue et au mieux la collaboration entre l'archéologue et le dendrochronologue.

Mots-clés

archéologie subaquatique, âge du Bronze, lac, palafittes, dendrochronologie, architecture, terroirs forestiers

Abstract

The differences in the level of knowledge between the Savoyard and Jura palafittic lake dwellings and the Swiss sites are often highlighted. The corpus of dendrochronological dates is just one example. These differences are mainly due to the lack of preventive excavation on the French sites (but is this really a negative?), university projects and largescale research programmes. For the last thirty years, small teams have carried out investigations within the framework of programmed excavations. After spending a substantial amount of time cataloguing and dating lakeshore sites, recent work has centred on the settlements and the surrounding areas. Different sampling strategies have been engaged for dendrochronological analysis. Beyond the technical problems of underwater excavation, sampling strategy relies on a number of criteria such as variety, tree ring density, presence of a knot in the wood, this evidence having sometimes been neglected in the past. Dialogue and scientific collaboration between archaeologists and dendrochronologists has also improved.

Keywords

underwater archaeology, Bronze Age, lake, pile dwellings, dendrochronology, architecture, forest resources

1. Contexte

1.1. La charge de l'histoire

Les grandes fouilles préventives en Suisse, en particulier sur les rives du lac de Neuchâtel, ont d'une certaine façon, permis la mise en œuvre de la dendrochronologie sur les palafittes de ce côté-ci de la frontière. À partir de 1960, dans la région des Trois-Lacs, puis sur les rives du lac de Neuchâtel, les analyses dendrochronologiques sont systématiquement mises en œuvre (Delley, 2015). Les référentiels sont alors constitués, en particulier pour le chêne centre-européen, et la dendrochronologie prend une part de plus en plus importante dans la datation des occupations et la reconstitution des structures. Les grands travaux dans la baie d'Auvernier, de 1969 à 1975, ont livré des milliers de bois et ont permis à deux fouilleurs, Georges-Noël Lambert et Christian Orcel, de se spécialiser en dendrochronologie. Le premier poursuivra sa carrière à Besançon, en appui aux travaux menés par Pierre Pétrequin dans les lacs de Chalain et Clairvaux. Le second contribuera à l'interprétation du village néolithique de Charavines-Les Baigneurs, fouille dirigée sur le lac de Paladru par Aimé Bocquet (Bocquet et Orcel, 1975) avant de constituer une structure privée, le LRD, Laboratoire Romand de Dendrochronologie à Moudon (Suisse). Une autre structure de droit privé, Archéolabs, sera ultérieurement installée en France, en 1986. Entretemps, Aimé Bocquet a eu la charge de mettre en place au ministère de la Culture, un service spécialisé en archéologie des eaux douces, le CNRAS (Centre National des Recherches Archéologiques Subaquatiques), regroupé en 1997 avec le DRASSM (Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines). Pour les datations dendrochronologiques des stations palafittiques des lacs savoyards, ce service a fait appel aux structures privées – alors décriées par certains – certes en raison des liens tissés sur le chantier des Baigneurs, mais aussi face à l'absence en région Rhône-Alpes de laboratoires universitaires équivalents à celui de Chrono-écologie dans le Jura.

Les premières datations dendrochronologiques de stations du Bronze final des lacs de Savoie sont obtenues au début des années 1980 dans le cadre d'un projet d'ATP (Action thématique programmée) et sont présentées en 1986 lors du colloque de Nemours (Bocquet *et al.*, 1988). Elles concernent trois stations du lac d'Annecy (Le Port, le Crêt de Châtillon, le Roselet) et deux du lac du Bourget (« La Châtière » = Conjux 2 et « Grésine 1 » = Grésine Est). Les abattages se répartissent en deux phases, l'une dans le Bronze final IIb, de -1058 à -1033, et l'autre dans le Bronze final IIIb, de -937 à -868. Deux opérations viennent ensuite fournir de nouvelles séries de dates et consolider les référentiels : Chens-sur-Léman/Tougues en 1987 (Billaud et Marguet, 1992) et Chindrieux/Châtillon sur le lac du Bourget en 1990 (Billaud *et al.*, 1992). Sur ce deuxième site, l'obtention de dates d'abattage très récentes, jusqu'en -814, au-delà de la barrière de -850 classiquement admise pour la fin des occupations littorales, est alors mise en doute par certains et mettra plusieurs années à être admise. Par la suite, les principales contributions viennent de deux séries d'opérations

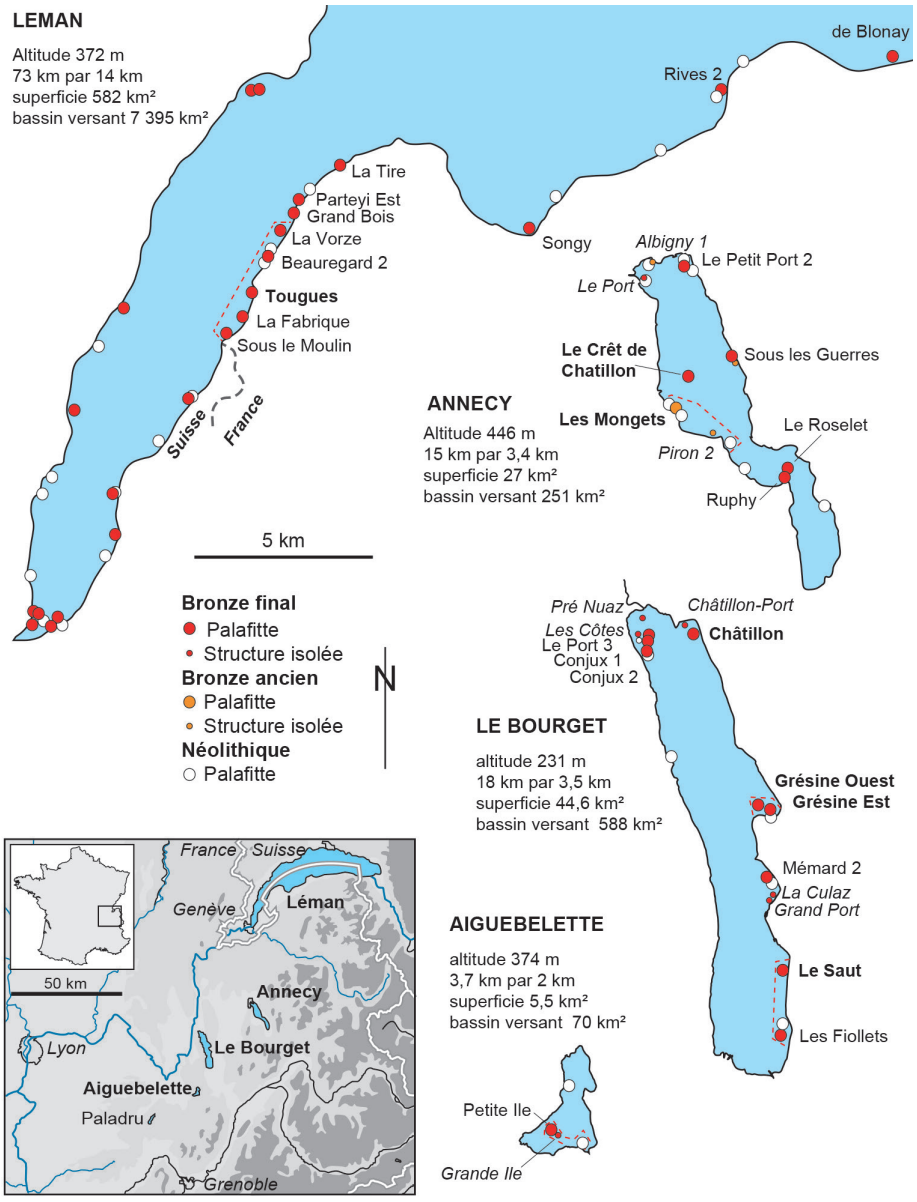


Figure 1 - Situation des palafittes des lacs de Savoie et du Dauphiné; en gras, stations inscrites au patrimoine mondial par l'Unesco avec indication de l'emprise des zones tampons.

avec d'une part, les prospections systématiques pour la carte archéologique menées par André Marguet de 1995 à 2001 sur l'ensemble des lacs savoyards, et d'autre part, les évaluations des stations Bronze final que je dirige depuis 1997 sur le lac du Bourget et, depuis peu, sur le lac d'Annecy. Depuis 2010, les échantillons prélevés sur les stations du Bronze final sont analysés par Fabien Langenegger de l'Office du Patrimoine et de l'Archéologie de Neuchâtel.

Enfin, suite à l'inscription par l'Unesco du bien sériel et transnational « Stations palafittiques préhistoriques autour des Alpes », des campagnes ont été menées de 2015 à 2018 grâce à une dotation spécifique de la Sous-direction des Monuments historiques. Elles ont permis de dresser un bilan documentaire et la révision sur le terrain des stations inscrites, de celles comprises dans les zones tampons et de celles classées au titre des Monuments historiques (Billaud *et al.*, 2019).

1.2. Corpus, sites et datations

En l'état actuel des travaux menés dans les lacs de Savoie, le Bronze ancien et le début du Bronze final sont principalement représentés par des structures isolées (groupes de pieux, chemins de rondins). Un seul site d'habitat est identifié, celui de Sévrier/Les Mongets sur le lac d'Annecy (Billaud, 2020b, fig. 3). Une attribution au Bronze final I a été avancée pour la grande palissade avec des pieux de résineux encerclant la Petite Île sur le lac d'Aiguebelette, mais elle s'avère en contradiction avec une autre datation dans le Bronze final IIIb (Billaud, 2020b, p. 53).

Le plus grand nombre de sites littoraux savoyards s'inscrit dans la période allant de -1080 à -805. Quelques-uns sont des petits groupes isolés, mais la plupart sont des « palafittes » au sens strict, ensembles plus ou moins étendus à fonction principale d'habitat. Le tableau de la figure 2 regroupe 24 de ces sites. L'inventaire est complet pour les lacs d'Annecy et du Bourget. Pour le Léman, deux sites attribués au Bronze final, Sciez/Songy et Évian/quai Baron-de-Blonay (Marguet, 2003) n'ont pas été retenus par manque de données les concernant.

Le niveau de connaissances des différentes stations est très variable. Il est sommaire pour la plupart des sites du Léman, lesquels, à l'exception de Chens-sur-Léman/Tougues, n'ont été vus que lors des prospections pour la carte archéologique. Les données de superficie et de nombre de pieux ne sont que des estimations qui seront très probablement amenées à être revues dans le futur comme cela a été le cas pour Chens-sur-Léman/La Fabrique. Donnée pour 195 m de longueur, cette station s'avère constituée de deux petits groupes de pieux, l'un de 45 m de longueur et l'autre de 15 m de longueur espacés de 100 m, et qui, de plus, ont donné des datations différentes (Billaud, 2020a).

Tout en tenant compte de ces réserves, il est à noter une importante variabilité de la densité de pieux, de 0,2 à 1,9 pieu par mètre carré. Pour le Léman, les faibles valeurs tiennent à l'importance de l'érosion des sites. Sur le lac du Bourget, où la conservation est bonne à très bonne, elle traduit l'opposition entre des stations densément occupées et réoccupées sur la durée, comme Tresserve/Le Saut, et des stations à évolution centrifuge comme Conjux 1. L'autre constat est que, face aux dizaines de milliers de pieux, nous ne disposons à ce jour que d'un nombre très faible de datations dendrochronologiques représentant à peine 1,1 % du nombre total de pieux estimé. De plus, leur répartition est très inégale. Le Bourget concentre 80 % des datations et parmi lesquelles près de la moitié concernent l'ensemble Conjux 1-Le Port 3 sur lequel les efforts sont portés depuis plusieurs années. Ces disparités résultent de grandes différences dans les objectifs, les moyens et les modes d'approche amenant plusieurs stratégies d'échantillonnage. Toutes ont été confrontées à une contrainte majeure, l'exercice difficile du sciage en plongée de pieux souvent encore très résistants.

2. Les stratégies d'échantillonnage

2.1. Premières références, échantillonnage ciblé

Les échantillonnages de 1985 pour la constitution des premières références sont peu documentés. Toutefois, ce qui a été revu sur le terrain indique qu'ils ont été ciblés sur des pieux de fort diamètre et ayant encore leur aubier, voire leur écorce ; le but étant d'avoir les séquences les plus longues possibles et le dernier cerne permettant de déterminer la date d'abattage. Récemment, la position de ces échantillons a pu être retrouvée et géoréférencée sur certains sites. Sur le Crêt de Châtillon, le marquage par des tubes dépassant du sol était encore présent trente ans après. Pour Grésine Est, les pieux avaient été choisis dans un secteur topographié en 1967 par l'équipe de Raymond Laurent dans un maillage de triangles de 5 m (fig. 5) dont les sommets ont pu être retrouvés. Sur ce deuxième site, en plus des prélèvements par sciage, trois pieux ont été arrachés par traction depuis un ponton. Il est indiqué que les pieux étaient enfoncés de 2,5 m, deux étaient « taillés en pointe, à la hache, d'une manière assez grossière » et le troisième « simplement ébranché et enfoncé par la cime » (Castel, 2004, p. 156) mais aucune documentation graphique ou photographique n'a été retrouvée. Il s'agit là du seul exemple d'arrachage de pieux dans nos lacs, technique qui fort heureusement n'a pas été développée. Le sciage de la partie supérieure du pieu présente l'avantage de laisser un témoin pour d'éventuels futurs échantillons.

Les premières références ayant été établies en s'appuyant sur les courbes obtenues en Suisse, les opérations de 1987 à Tougues et de 1990 à Châtillon visaient à déterminer les périodes d'occupation de chacun de ces sites. La stratégie adoptée a alors été d'une part d'échantillonner tous les pieux dans les sondages une fois leur décapage achevé et, d'autre part, en complément, des échantillonnages systématiques dans quelques triangles après topographie des pieux.

Commune	Site	19e	<95	CA	>95	UN	L m	Emp m²	Nb Px	Dens	Dat	Ratio
Léman									**21 240**		**87**	**0,41**
Chens-sur-Léman	Tougues	19e	<95	-	>95	UN	180	3 470	3 800	1,1	36	0,95
Chens-sur-Léman	La Fabrique	19e		CA		ZT	60	650	200	0,3	7	3,50
Chens-sur-Léman	Sous le Moulin	19e		CA		ZT	120	2 300	600	0,3	4	0,67
Chens-sur-Léman	Beauregard 2	??		CA		ZT	60	900	150	0,2	3	2,00
Chens-sur-Léman	La Vorze	19e		CA		ZT	180	3 500	2 750	0,8	5	0,18
Messery	Grand Bois			CA			25	200	140	0,7	4	2,86
Messery	Parteyi Est			CA			80	1 250	600	0,5	6	1,00
Nernier	La Tire	19e		CA			210	11 500	5 000	0,4	8	0,16
Thonon-les-Bains	Rives 2	19e		CA			135	4 700	8 000	1,7	14	0,18
Annecy									**15 700**		**98**	**0,62**
Sévrier	Le Crêt de Chatillon	19e	<95	CA	>95	UN	180	7 000	7 500	1,1	35	0,47
Annecy	Le Port	19e	<95	-				??	??		14	??
Annecy-le-Vieux	Le Petit Port 2			CA		X	80	2 500	3 500	1,4	nd	-
Duingt	Le Roselet	19e	<95	-			150	3 500	3 000	0,9	23	0,77
Duingt	Ruphy		<95	-			20	300	200	0,7	8	4,00
Veyrier-du-Lac	Sous les Guerres	19e	<95	-	>95		65	800	1 500	1,9	18	1,20
Le Bourget									**47 133**		**749**	**1,59**
Chindrieux	Châtillon	19e	<95		>95	UN	80	6 000	7 500	1,3	65	0,87
Conjux	Conjux 1	19e	<95	CA	>95		190	7 850	2 900	0,4	123	4,24
Conjux	Conjux 2		<95	CA			??	??	??		6	??
Conjux	Le Port 3			CA	>95	MH	55	1 250	233	0,2	210	90,13
Brison-Saint-Innocent	Grésine Est	19e	<95		>95	UN	130	6 000	4 500	0,8	53	1,18
Brison-Saint-Innocent	Grésine Ouest	19e	<95		>95	UN	140	6 500	8 000	1,2	64	0,80
Brison-Saint-Innocent	Mémard 2	??	<95	CA	>95		105	2 800	3 000	1,1	70	2,33
Tresserve	Le Saut de la Pucelle	19e	<95		>95	UN	150	9 000	13 500	1,5	140	1,04
Tresserve	Les Fiollets	19e	<95			ZT	220	14 000	7 500	0,5	18	0,24

Figure 2 - Stations littorales de la fin du Bronze final des lacs de Savoie, principales caractéristiques.
- Opérations : XIXe : repérée et exploitée au XIXe siècle par les pêches aux antiquités lacustres ; <95 : opérations subaquatiques menées avant 1995 ; CA : prospections 1995-2001 pour la carte archéologique ; >95 : opérations subaquatiques menées après 1995 ; stations revues lors des campagnes de « monitoring » 2015-2018 : UN site inscrit, ZT site compris dans une zone tampon, MH site classé au titre des Monuments historiques, X autre site.
- Caractéristiques : L m longueur maximale en mètres, Emp m² emprise estimée en m², Nb Px nombre estimé de pieux, Dens densité de pieux, Dat nbre de datations dendrochronologiques, Ratio rapport nombre de dates / nombre de pieux.

2.2. Carte archéologique, échantillonnage pseudo-aléatoire

Les prospections pour l'établissement de la carte archéologique des lacs alpins avaient pour objectifs la recherche et le rattachement topographique des sites ainsi que l'obtention de calages chronologiques objectifs, la quasi-totalité de ces sites n'étant alors connus que par du mobilier. Les espaces à couvrir et le nombre de sites ne permettant pas de passer beaucoup de temps sur chacun d'entre eux, la démarche retenue a été, une fois l'emprise des pieux visibles reconnue, d'implanter un axe sur les points extrêmes (exemple pour le site de Thonon/Rives 2 dans Landry *et al.*, 2020, fig. 4). Le long de cet axe, un ou deux triangles de 5 m sont mis en place et décapés afin de recueillir du mobilier et d'échantillonner la totalité des pieux. Il est toutefois à noter que l'implantation des triangles n'est pas identique d'un site à l'autre, mais paraît guidée par ce qui a été vu sur le terrain (densité et aspect des pieux, présence de mobilier…). Les échantillonnages ne sont donc pas strictement équivalents. Un autre problème est que, même si l'implantation des triangles est plus ou moins guidée par l'aspect des pieux visibles, les lots recueillis ne sont pas toujours exploitables dans leur totalité. Le nombre de dates obtenues est parfois très réduit, voire nul (fig. 2).



Figure 3 - Du pieu à l'échantillon, le prélèvement reste manuel. (a et b) Conjux / Le Port 3, (c) Brison-Saint-Innocent / Mémard 2, (d) Chindrieux / Châtillon (cliché E. Champelovier / MC-Drassm).

À partir de ces dates, la trame chronologique des occupations littorales a été constituée tout en faisant l'objet de présentations actualisées au cours de son élaboration (Billaud et Marguet, 2007). Par le biais de l'échantillonnage et des possibilités de datation sur certains sites, cette trame présente, ou au moins a présenté, un problème soulevé pour des contextes similaires, comme la deuxième correction des eaux du Jura (Delley, 2015, p. 151). Les quelques dates obtenues sont considérées comme représentant le tout, devenant ce qui est qualifié de « datation métonymique ». De plus, généralement groupées, elles manquent de « profondeur temporelle », n'étant qu'un instant dans l'occupation d'un site.

2.3. Évaluations, échantillonnage ciblé « par confort »

Pour les évaluations des grandes stations du lac du Bourget, l'objectif initial était d'obtenir pour chaque site des courbes aussi longues que possible et consolidées, permettant par la suite de synchroniser des échantillons de peu de cernes. La démarche était alors de rechercher des pieux de diamètres importants et à forte densité de cernes (estimée sous l'eau sur une coupure fraîche au cutter). Mais plusieurs stations ayant montré dans les carottes des séquences anthropiques épaisses, il fallait de plus que ces pieux soient dans des secteurs où le sciage ne risquait pas de porter atteinte à des couches.

Sur la station de Tresserve/Le Saut, la bordure ouest du site, en limite du tombant, a été prospectée avec cet objectif (fig. 4). Ce secteur présentait l'intérêt de l'absence de niveau organique et aussi, en raison de la pente, d'une plus grande facilité pour le sciage en ayant peu de sédiments à dégager pour accéder à la partie conservée du pieu. La sélection des échantillons s'est avérée judicieuse puisque tous ont été datés. De plus, les dates obtenues se sont avérées largement réparties dans le temps, indiquant par leur « profondeur temporelle » que ce secteur de berge avait fait l'objet de réaménagements fréquents tout au cours des occupations du site.

À Grésine Est, le bâtiment isolé repéré par Raymond Laurent en 1967 a fait l'objet d'un échantillonnage ciblé, facilité par l'absence de niveau anthropique (fig. 5). Le premier objectif était la constitution d'une courbe à partir de bois de forts diamètres et denses en cernes. De plus, il s'agissait de tester l'homogénéité de cette structure à deux nefs, mais au plan irrégulier. Le résultat est différent du schéma modèle un peu idéal de même année d'abattage pour tous les bois d'une structure. Ici, les échantillons des quatre travées nord sont bien synchrones en automne-hiver -878. Le bois de la travée au sud est un peu plus ancien, toujours en -878, mais au printemps. Celui de la travée la plus au sud est le plus récent, abattu au printemps -876. L'interprétation est délicate sans la datation de tous les pieux, mais il peut être proposé que la mise en place du bâtiment puisse être datée de la fin de l'année -878 ou juste après,

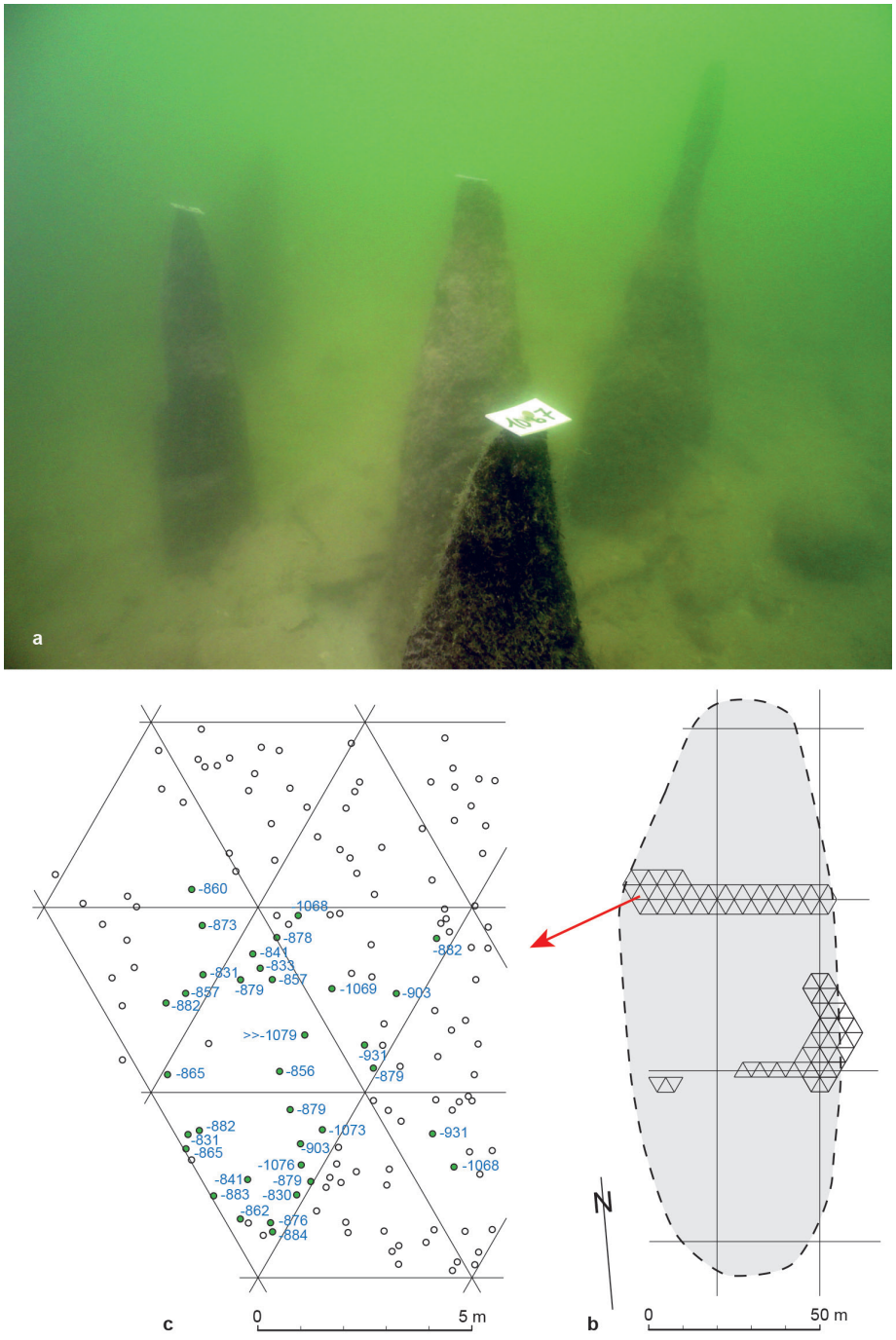


Figure 4 - Tresserve / Le Saut (lac du Bourget). Échantillonnage ciblé en bordure du tombant.
a : vue des pieux (dans une eau chargée de début de saison chaude ; cliché Y. Billaud / MC-Drassm), au premier plan le pieu 1067 daté de -879 ; b : plan masse avec la position du secteur ; c : détail de la topographie, pieux échantillonnés et datation.

avec au moins un bois abattu en début d'année. Puis, en -876, un agrandissement est fait. L'hypothèse d'une construction en -876 avec une partie des bois abattus deux ans auparavant n'est pas à écarter comme le montrent d'autres cas (cf. *infra* avec Mémard 2).

2.4. Formes de l'habitat, échantillonnage ciblé extensif

Sur le lac du Bourget, une fois le cadre chronologique consolidé et des ensembles de mobilier obtenus en stratigraphie par des sondages dans chacune des quatre grandes stations à couches conservées, s'est posée la question des formes de l'habitat. Les éléments de réponse ne pouvaient être obtenus qu'avec difficulté sur ces quatre stations, occupées sur la durée et pour lesquelles les plans de pieux constituent un palimpseste de structures successives. La présence de niveaux anthropiques épais, avec jusqu'à 70 cm de séquence, compliquait de plus la prise d'échantillons. Nous nous sommes alors tournés vers des stations sur lesquelles les couches étaient tout ou partie érodées et avec des densités de pieux faibles.

La station de Mémard se présente comme une demi-ellipse de 100 m de longueur, bordée du côté de la rive actuelle par une palissade continue de piquets (Billaud, 2020b, fig. 8). Dans la partie sud, la topographie des pieux et piquets sur 736 m² a permis d'en dénombrer près de 600. Afin de tester la présence d'une structure qui semblait s'individualiser sur le plan d'ensemble, tous les pieux ont été échantillonnés sur la surface l'encadrant, soit 195 m². L'analyse dendrochronologique par F. Langenegger a mis en évidence des abattages de -986 à -927, avec pour la première fois dans les lacs savoyards, la synchronisation d'échantillons de frênes sur la courbe du chêne. La phase principale est constituée par des chênes abattus de -934 à -932. Leur répartition permet de proposer le plan d'une grande structure à deux nefs, large de 5,5 m et longue d'au moins 13 m. La disposition des bois dans la structure ne correspond pas à des phases d'agrandissement ou de réparation, mais bien à une mise en place en une seule fois avec des bois dont certains ont été stockés pendant deux années.

Toujours dans cette même démarche, nous avons repris les investigations sur le petit ensemble de Conjux/Le Port 3, repéré et « primo-daté » en -813 suite aux prospections pour la carte archéologique. Ce site est particulier par son extension réduite, 55 m par 25 m, une très faible densité de pieux et la présence d'alignements particulièrement nets. À l'issue de cinq campagnes, la totalité de la surface a été décapée, montrant un niveau de réduction avec encore quelques

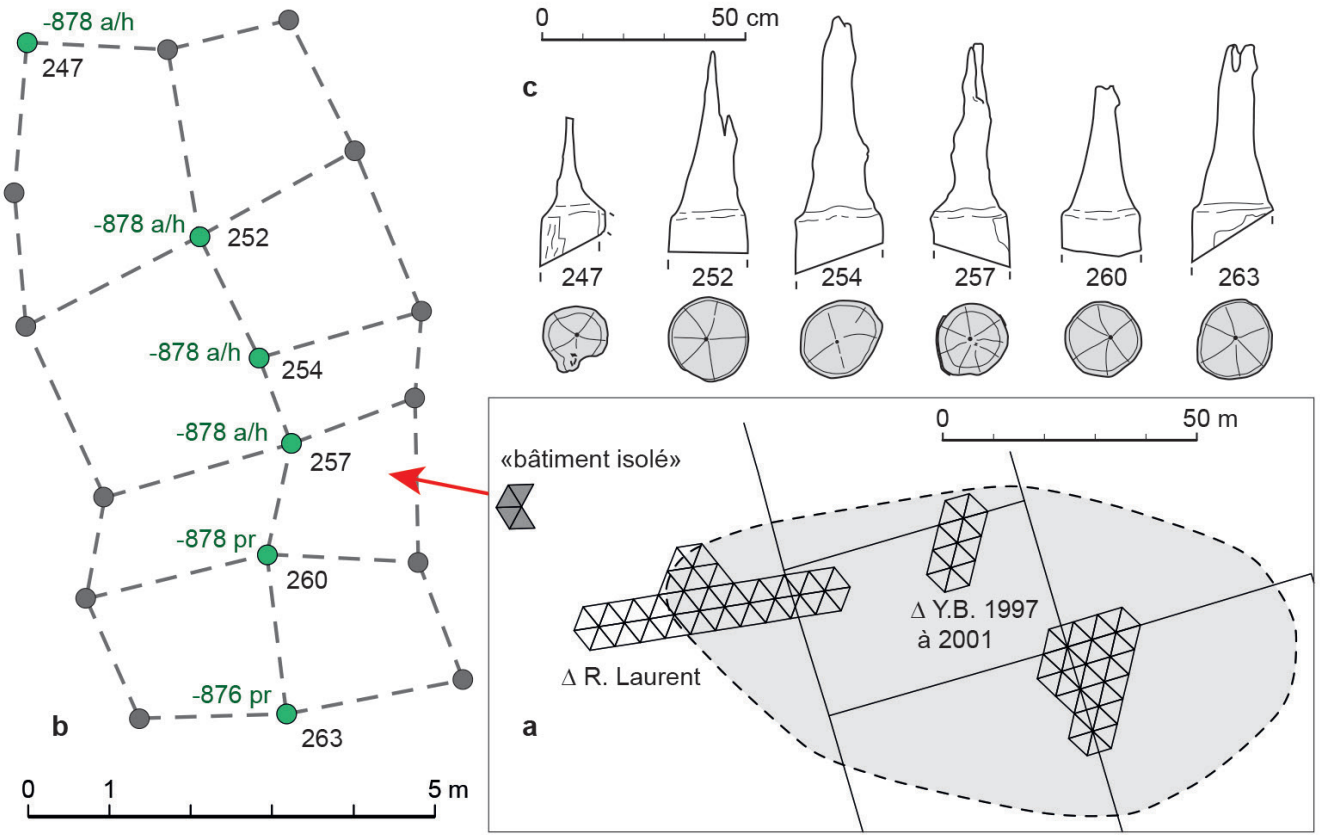


Figure 5 - Brison-Saint-Innocent / Grésine Est (lac du Bourget). Échantillonnage ciblé sur le « bâtiment isolé » repéré par R. Laurent en 1976. a, plan masse du site ; b, plan de la structure et datations dendrochronologiques des pieux ; c, aspect des pieux échantillonnés.

éléments de mobilier céramique attribuables à la fin du Bronze final. La totalité des 233 pieux a été échantillonnée. Leur étude, en cours d'achèvement, indique des abattages de -832 à -812. Quatre bâtiments principaux à deux nefs et à structure centrale sont clairement individualisés (Billaud, 2020b, fig. 10). Le plus au nord a été mis en place en -816, ou juste après, avec pour partie des bois de récupération (indiquée par la présence de xylophages). Les trois autres bâtiments ont été construits en -813 ainsi que deux bâtiments annexes à deux nefs et de plan simple. En -812, l'ensemble est complété par deux structures de type « grenier », l'une à 9 poteaux et l'autre à 4 poteaux.

2.5. Évolution de l'habitat, échantillonnage ciblé ponctuel

La présence de bois de récupération à Conjux 1 a amené à s'intéresser à la grande station située moins de 100 m au sud, Conjux 1, connue depuis le XIXe siècle et objet de quelques interventions par les précurseurs de l'archéologie subaquatique. De nets alignements de pieux étant également perceptibles, un long travail de topographie systématique a débuté. Après la campagne de 2019, 6 500 m² ont été couverts avec 2 450 pieux et piquets. Le plan s'avère particulièrement lisible permettant d'individualiser plus de 40 bâtiments (à 2 nefs et structure centrale ou de plan simple) et « greniers » à 9 poteaux (Billaud, 2020b, fig. 10).

Les décapages et échantillonnages ont été ciblés sur certaines structures réparties sur l'ensemble du site. Les abattages se répartissent en quatre phases de -870 à -808. Malgré le nombre encore réduit de dates, il est possible de mettre en évidence une évolution centrifuge de l'habitat avec au moins deux palissades successives en liaison avec les deux premières phases.

3. Au-delà des tableaux de dates

3.1. Typochronologie vers chronotypologie

Dès la mise en œuvre des datations dendrochronologiques sur les sites littoraux lacustres, la question s'est posée de la relation entre les bois de construction verticaux et les niveaux archéologiques horizontaux (Delley, 2015, p. 163). Sur le lac d'Annecy, les stations sont pour la plupart très érodées. Un des rares exemples de couches conservées pour le Bronze final a été observé à Duingt/Ruphy, en bordure d'un relief calcaire faisant presqu'île (Billaud, 1994). La séquence est affectée d'un fort pendage en direction du large. Épaisse de près de 70 cm, elle est constituée de lentilles organiques interstratifiées avec des niveaux de limons carbonatés. Des pieux sont présents, les plus au large étant couchés par le phénomène de fauchage, tout en déformant les couches. Le mobilier est rare, mais bien conservé,

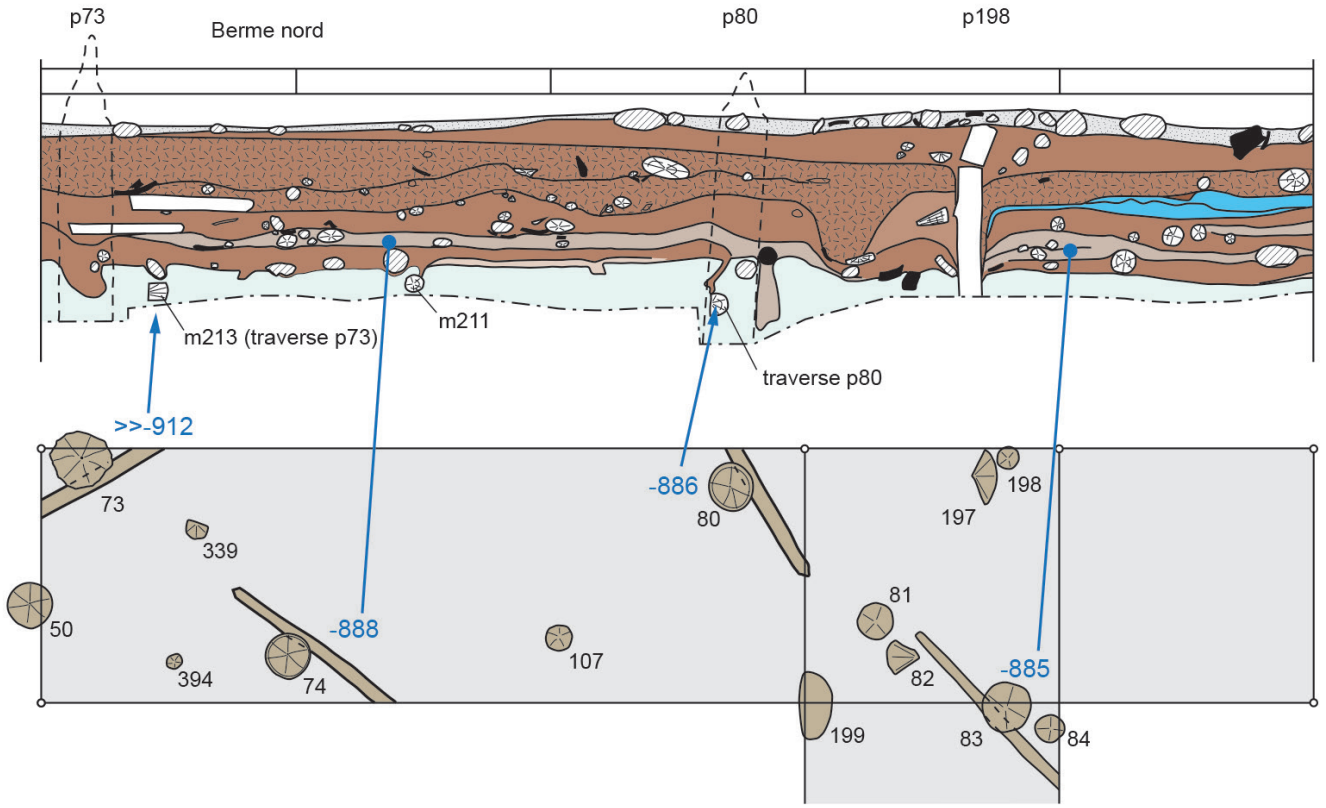


Figure 6 - Brison-Saint-Innocent / Grésine Est (lac du Bourget). Calage chronologique de la base de la séquence dans le sondage « Point 0 », à partir de la position des traverses de pieux datés en dendrochronologie.

permettant de proposer, compte tenu également des altitudes par rapport au seuil du lac, un dépôt en milieu aquatique au-delà d'une sorte de brise-lames. Le corpus céramique est homogène et se rapporte à l'étape finale du Bronze final. Seulement huit pieux ont pu être datés, mais ils indiquent des abattages relativement groupés, de -902 à -860 donnant un calage de la séquence pouvant être considérée comme fiable.

Sur le Léman, à Tougues, les datations se répartissent de -1071 à -859 tout en présentant trois concentrations qui ont été mises en parallèle avec les trois niveaux observés en sondage. Une planchette dans l'ensemble médian et deux bois horizontaux datés dans l'ensemble inférieur permettent d'assurer ces associations (Billaud et Marguet, 1992). Avec les quelques compléments obtenus par la suite, il peut être retenu :

- ensemble inférieur : -1071 à -1054, et possiblement -1038 ;
- ensemble médian : pourrait débuter dès -1017, abattages de -995 à -965 ;
- ensemble supérieur : encore mal défini avec seulement deux dates extrêmes de -905 et -859.

Pour le lac du Bourget, il a été possible de faire la relation entre bois verticaux et couches grâce à la présence de traverses dans certains pieux. Ce dispositif, est constitué d'un bois de longueur métrique engagé dans une mortaise en queue d'aronde entaillée sur le flanc du pieu (Billaud, 2020b, fig. 14). Il permet dans un premier temps de manipuler le pieu et de l'enfoncer par un mouvement de rotation alternatif. Une fois au niveau du sol, il se comporte comme une semelle de blocage. Un exemple est donné dans l'un des sondages sur Grésine Ouest (fig. 6). Deux traverses sont présentes dans l'un des niveaux de la base de la séquence. Une autre les déforme et poinçonne légèrement le substratum. Les dates sur les pieux correspondants sont étroitement groupées : -888, -886 et -885, donnant un bon calage pour le début de la séquence.

3.2. Occupation du territoire

Sur le lac du Bourget, les premières périodes d'occupation, peu avant -1050 puis autour de -990, sont mal documentées les sites ayant été érodés par des pulsations transgressives. En revanche, pour la période principale, débutant vers -930, il est possible, avec les réserves liées à la faible taille du corpus de dates, de proposer un schéma d'occupation des rives. Pour chacune des trois parties du lac, des relais entre stations proches semblent se dégager à l'image, toute proportion gardée, des « villages fondateurs » et « villages satellites » mis en évidence sur le lac de Neuchâtel (Billaud et Langenegger, 2018). Il est de plus à noter que l'état des travaux pour les deux stations de la partie nord, Châtillon et Conjux 1, permet de proposer une spécialisation fonctionnelle de ces installations, villégiature pour la première (avec abondance de mobilier ostentatoire), production et stockage

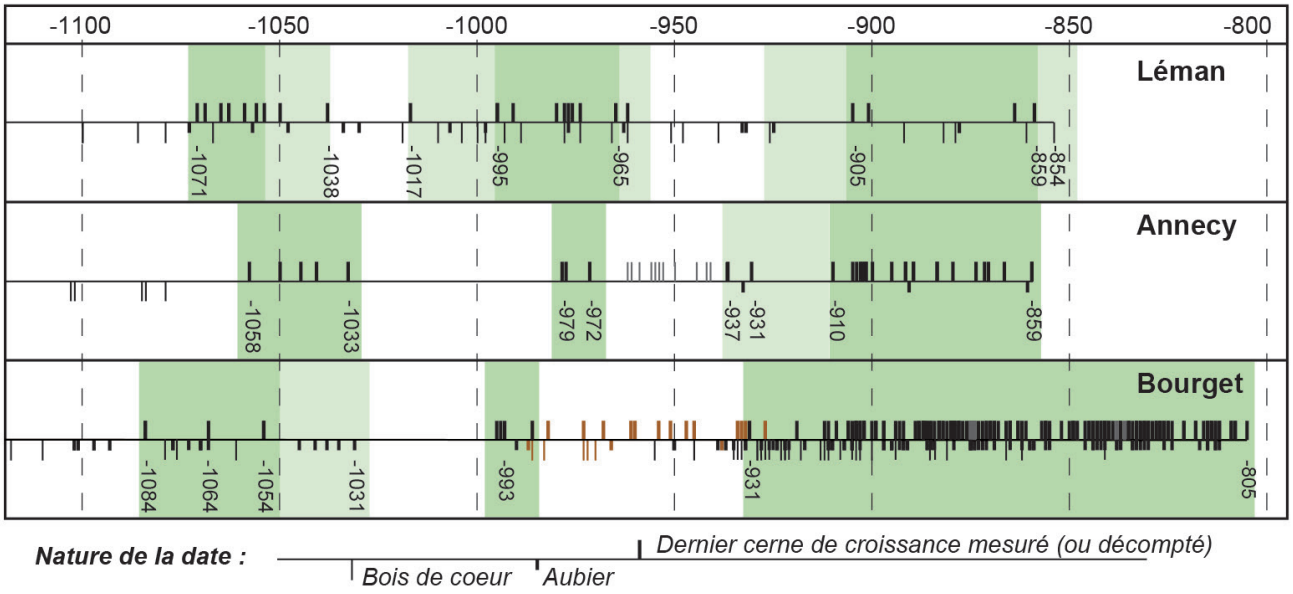


Figure 7 - Diagramme synthétique des dates dendrochronologiques obtenues sur les sites de la fin du Bronze final des lacs de Savoie ; indication des périodes d'occupation (synthèse Y. Billaud / MC-DRASSM).

pour la seconde (avec la fréquence du matériel de bronzier et la présence des nombreux « greniers »).
Si une tripartition du lac peut être envisagée, avec celle de l'arrière-pays et de ses ressources, l'ensemble des installations semble fonctionner de façon synchrone pour les événements majeurs. Ainsi, c'est juste avant -900 que débute la grande station de Châtillon ainsi que les villages satellites de Grésine Ouest et des Fiollets. En -870, cette dernière est abandonnée tout comme, au moins temporairement Grésine Ouest, tandis que le noyau central de Conjux 1 est mis en place. Ces changements répondent certainement à un phénomène de plus grande ampleur, mais qui reste à identifier, car c'est entre -878 et -871 que sur le lac de Neuchâtel, toutes les stations sont abandonnées au profit de quelques nouveaux villages dont les occupations ne dépasseront pas une vingtaine d'années.

3.3. Exploitation de la forêt

L'analyse des bois du petit ensemble du Port 3 a été poussée par Fabien Langenegger au-delà de la simple datation et de la recherche de la provenance écologique des bois. Constatant que la quasi-totalité des pieux sont des refendus, il s'est attaché à retrouver les pieux provenant d'un même arbre. Les paramètres pris en compte sont non seulement les courbes mesurées avec les dates d'abattage, la date de la moelle, la position de l'aubier, le nombre de cernes dans l'aubier, mais aussi des signatures particulières à chaque arbre, marquées par des ruptures ou des reprises de croissance.
Pour le Port 3, la répartition des produits de refente montre clairement que le travail de construction a été organisé de la forêt au village par maisonnée (Billaud et Langenegger, 2021, fig. 6). Il n'y a pas de lien entre bâtiments. Les produits de refente d'un arbre ne sont utilisés que dans une seule structure, tant bâtiments principaux que bâtiments annexes ou greniers. Ce constat indiquerait que la gestion du terroir forestier n'est pas collective pour le village, mais relève d'une répartition et d'une exploitation par maisonnée.

3.4. Constances et différences entre territoires

En l'état actuel des travaux sur les lacs savoyards, pour les 24 grandes stations palafittiques de la fin du Bronze final, il est possible d'estimer le nombre total de pieux à près de 85 000. À ce jour, nous disposons d'à peine 930 dates dendrochronologiques dont la répartition est très inégale. Le tableau synthétique de leur répartition par lac met en évidence trois périodes d'occupation (fig. 7) : autour de -1100, autour de -1000/-900 et de -930 à -805. Ces trois grandes périodes se retrouvent sur le Plateau suisse, entrecoupées de pulsations transgressives plus ou moins marquées. Pour nos trois lacs savoyards, ces pulsations sont plus ou moins synchrones, en liaison avec les particularités des bassins versants. Dans ce schéma, deux « moutons noirs » apparaissent dans l'épisode transgressif centré sur -950. Sur le lac d'Annecy, il s'agit du site de Sous les Guerres, mais pour lequel les datations sont données « avec réserve ». L'analyse en cours de prélèvements effectués récemment pourrait amener à revoir ces datations. Sur le lac du Bourget, c'est la station de Mémard 2 pour laquelle l'occupation est singulière avec des dates d'abattage (tout à fait assurées) réparties durant une période de haut niveau et alors que tous les autres sites sont abandonnés et que la palynologie indique une déprise agricole. Il est tentant de voir en Mémard 2 un site de repli. Enfin, la perduration des occupations sur les rives du lac du Bourget au-delà de la barrière (symbolique) de -850 est tout à fait assurée tant par la multiplication du nombre de dates que par le croisement par un deuxième laboratoire.

4. En guise de bilan

Résultats d'un long travail « de fourmi » mené par de petites équipes et des moyens réduits, le corpus de dates dendrochronologiques des stations du Bronze final des lacs savoyards reste encore peu représentatif des dizaines de milliers de pieux présents. Toutefois, en adaptant les stratégies d'échantillonnage selon les objectifs recherchés, il est maintenant possible de dépasser le simple stade des inventaires et tableaux de dates. Des données originales commencent à être obtenues en termes de formes et d'évolution de l'habitat, voire d'exploitation du terroir forestier. Ces résultats confirment, si besoin était, l'intérêt de ces sites particuliers pour l'étude du Bronze final. Cet intérêt est régulièrement souligné auprès des instances de l'archéologie par Claude Mordant, président de l'Aprab, avec constance et persévérance. Espérons que son message finira par être entendu alors que la limite d'âge va atteindre le dernier intervenant et que, paradoxalement, la France va être en charge de gérer le 10e anniversaire de l'inscription à l'Unesco.



Yves Billaud

Ingénieur de recherche, ministère de la Culture,
DRASSM Marseille
yves.billaud@culture.gouv.fr

Bibliographie

Billaud Y., 1994, « Prospections et sondage à Ruphy (Duingt, Haute-Savoie). Nouvelle station littorale sur le lac d'Annecy », *Cahiers d'archéologie subaquatique*, 12, p. 83-94.

Billaud Y., 2020a, « Le suivi des palafittes Unesco de la rive lémanique française (Haute-Savoie). État des stations du Bronze final du secteur de Tougues, nouvelles données et perspectives », *Bulletin de l'APRAB*, 18, p. 74-78.

Billaud Y., 2020b, « Les palafittes des lacs savoyards : du bâtiment au territoire, quels éléments d'interprétation ? », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terre et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificité et relations avec l'arrière-pays. Actes de la séance de la Société préhistorique française (Agde, 20-21 octobre 2017)*, Paris, Société préhistorique française (Séances SPF, 14), p. 47-65.

Billaud Y. et Langenegger F., 2018, « Formes et rythmes de l'habitat palafittique à la fin de l'âge du Bronze sur les rives des lacs de Neuchâtel (Suisse) et du Bourget (Savoie, France) », dans Lermercier O. *et al.* (dir.), *Habitations et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en France et ses marges. Actes des 2e rencontres Nord-Sud de préhistoire récente (Dijon 19-21 novembre 2015)*, Toulouse, Archives d'Écologie Préhistorique, p. 395-406.

Billaud Y. et Langenegger F., 2021, « Du bâtiment aux villages littoraux : deux décennies d'investigations dans les lacs savoyards », dans Marcigny C. et Mordant C., *Bronze 2019, 20 ans de recherche. Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux, 19-22 juin 2019)*, p. 361-371.

Billaud Y. et Marguet A., 1992, « Le site Bronze final de Tougues à Chens-sur-Léman (Haute-Savoie). Stratigraphie, datations absolues et typologie », dans *Archéologie et environnement des milieux aquatiques. Actes du 116e Congrès national des Sociétés savantes (Chambéry, 1991)*, Paris, éditions du CTHS, p. 311-347.

Billaud Y. et Marguet A., 2007, « Les installations littorales de l'âge du Bronze dans les lacs alpins français : état des connaissances », dans Mordant C., Richard H. et Magny M. (dir.), *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale. Actes 129e congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Besançon, 2004)*, Paris, éditions du CTHS (Documents préhistoriques, 21), p. 211-225.

Billaud Y., Marguet A. et Simonin O., 1992, « Chindrieux, Châtillon (lac du Bourget, Savoie). Ultime occupation des lacs alpins français à l'âge du Bronze ? », dans *Archéologie et environnement des milieux aquatiques. Actes du 116e Congrès national des Sociétés savantes (Chambéry, 1991)*, Paris, éditions du CTHS, p. 277-310.

Billaud Y., Laroche C. et Brigand R., 2019, « Lacs savoyards et patrimoine mondial de l'Unesco : suivi et protection des stations palafittiques », dans Beck C. et Marinval M.-C. (coord.), *Zones humides et archéologie. Actes 6e colloque international du Groupe d'Histoire des Zones Humides (Mont Beuvray, novembre 2017)*, Saint-Brisson, *Revue scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature*, hors-série 16, p. 234-244.

Bocquet A., Marguet A., Orcel C. et Orcel A., 1988, « Datations absolues sur les stations littorales de l'âge du Bronze final dans les Alpes du Sud », dans Brun P. et Mordant C. (dir.), *Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de civilisation des Champs d'Urnes. Actes du colloque international de Nemours 1986*, Nemours, Mémoire du musée de Préhistoire d'Île-de-France, 1, p. 435-443.

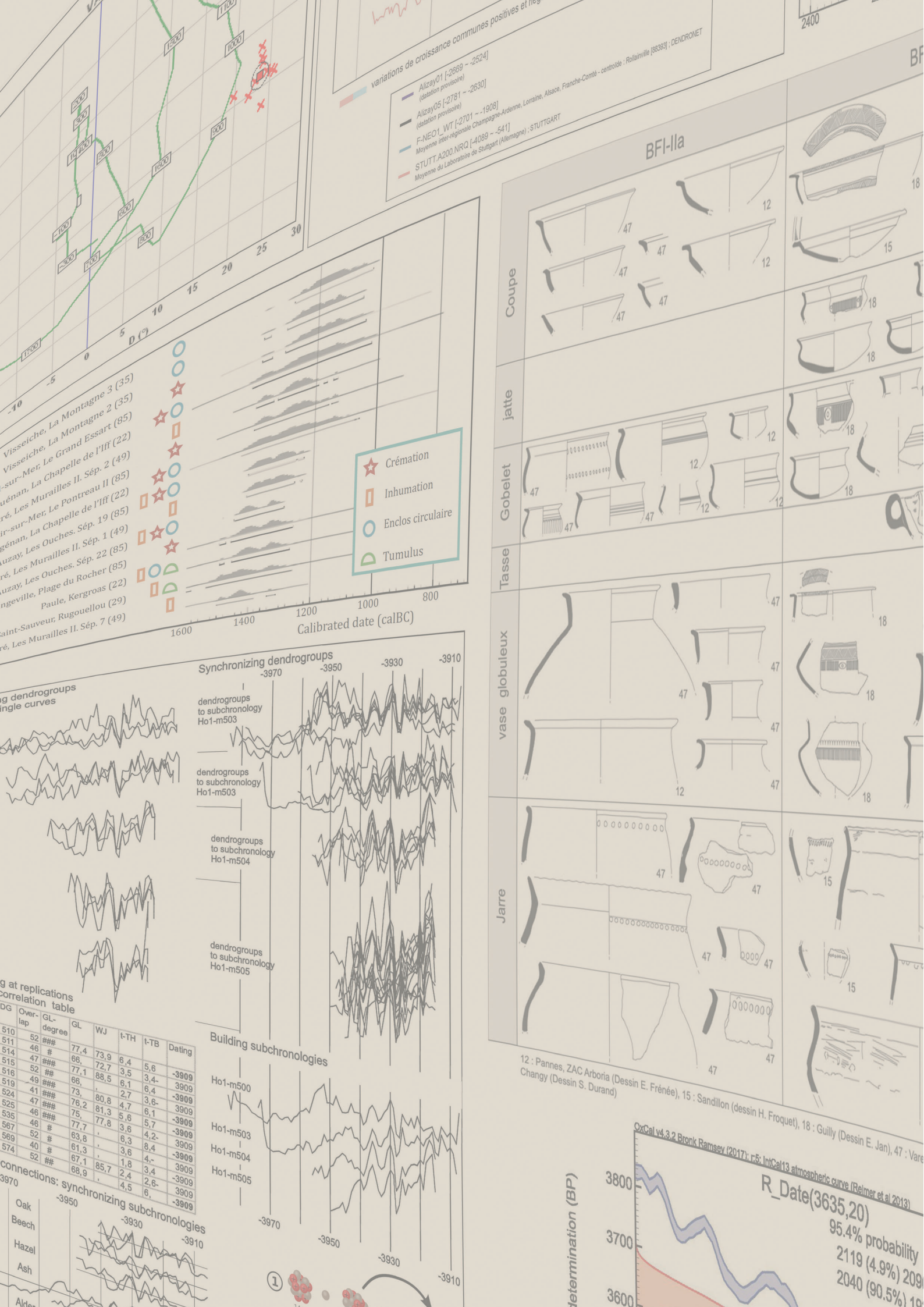
Bocquet A. et Orcel C., 1975, « Premiers résultats dendrochronologiques dans les structures de la station des Baigneurs à Charavines (Isère) », *Nouvelles Archives du muséum d'Histoire naturelle de Lyon*, 13, p. 15-20.

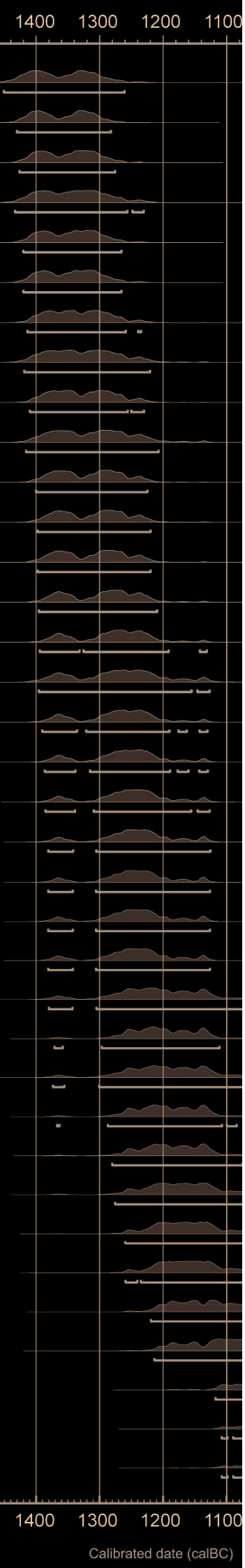
Castel R., 2004, *Le Lac du Bourget, 50 ans de recherches archéologiques, 5 000 ans d'histoire*, Chambéry, la Fontaine de Siloé.

Delley G., 2015, *Au-delà des chronologies. Des origines du radiocarbone et de la dendrochronologie à leur intégration dans les recherches lacustres suisses*, Neuchâtel, Archéologie neuchâteloise, 53.

Landry C., Marguet A., Treffort J.-M. et coll., 2020, « Le village lacustre de Rives 2 et l'occupation des terrasses de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie, France) à l'âge du Bronze », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terre et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificité et relations avec l'arrière-pays. Actes de la séance de la Société préhistorique française (Agde, 20-21 octobre 2017)*, Paris, Société préhistorique française (Séances SPF, 14), p. 93-113.

Marguet A., 2003, « Haute-Savoie : carte archéologique de la rive française du lac Léman », *Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines ; Bilan scientifique 1997*, Paris, ministère de la Culture et de la Communication, p. 128-137.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



Analyse préliminaire de l'ensemble des dates absolues de Champagne ; quelques réflexions sur leurs implications, notamment pour l'âge du Bronze

Jan Vanmoerkerke

Résumé

Depuis plus de vingt ans, nous avons constitué des bases de données de datations absolues, par radiocarbone et dendrochronologiques, effectuées en Champagne. Le traitement de l'ensemble de ces milliers de dates, par type de matériau daté, par type de vestige, par époque, etc., autorise une révision méthodologique et un regard complètement nouveau sur la plupart des sujets, toutes époques confondues. La publication de ce corpus et son exploitation est en préparation (Tegel et Vanmoerkerke, *en cours*).
La notion de « date différente », plus large et neutre que « date aberrante », est introduite : elle permet non seulement de démontrer qu'il y a très peu de dates qui posent réellement de problèmes de cohérence, mais son intérêt est aussi de suggérer d'autres hypothèses explicatives. Le traitement global de toutes ces dates amène à de nombreuses hypothèses chronothématiques dont plusieurs concernent l'âge du Bronze.

Mots-clés

datation absolue, datation radiocarbone, dendrochronologie, bases de données, Champagne, âge du Bronze

Abstract

More than twenty years ago, we have started to register all absolute (especially radiocarbon and dendrochronological) dates from Champagne. The analysis and study of these thousands of dates, classified by material dated, by type of structure, by period, etc., enables us to evaluate our methodologies and to develop new hypotheses. The publication of this global study is in preparation (Tegel, Vanmoerkerke, *in preparation*).
For this study, we introduced a new term « *date différente* », defined as a date with a different result than indicated by other arguments. This term is much larger and neutral than « *date aberrante* » (deviant date) which can be seen as a circular argument. The study of all these dates, and particularly the different ones, shows not only that there are very little incoherent dates but allows us also to develop multiple chrono-thematic hypotheses ; several of them concern the Bronze Age.

Keywords

absolute dating, radiocarbon dating, dendrochronology, database, Champagne, Bronze Age

Dans cet article préliminaire, nous présentons les grandes lignes d'un travail en cours sur la totalité des dates absolues réalisées sur des échantillons provenant de Champagne, étude qui fera l'objet d'une publication détaillée dans un futur proche (Tegel et Vanmoerkerke, *à paraître*). Nous analysons ces données dans un but méthodologique, mais nous cherchons aussi à proposer de nouvelles hypothèses pour les multiples époques et thèmes concernés par ces nombreuses dates. Cet article se concentre expressément sur l'analyse globale de ces dates, réalisées selon une même logique, afin de démontrer, comment et dans quelles conditions, elles permettent déjà ou permettront de réécrire bon nombre de chapitres de l'histoire régionale, et *a fortiori* pour l'âge du Bronze.

Nous expliquons d'abord comment les choix difficilement effectués pendant ces trois dernières décennies ont permis de créer un corpus de datations dont la quantité, et surtout la qualité, permettent de nouvelles exploitations. Après description de ce corpus dans sa globalité, nous présentons rapidement quelques problèmes et critiques des pratiques actuelles. Quelques pistes d'exploitations originales de ces données seront proposées et en conclusion, nous insisterons sur la poursuite des démarches engagées, malgré des choix toujours difficiles qui pourront être contestés. Cependant, c'est la seule approche possible pour une représentativité des données constamment améliorée et pourvoyeuse régulière de nouvelles hypothèses.

Une telle analyse n'est pas possible sans redéfinir un grand nombre de termes, en particulier ici, celui de « date différente », essentiel à notre propos. Il remplace et dépasse largement le terme habituel de « date aberrante », terme aberrant qui confine au raisonnement circulaire ; cette expression « date différente » signifie simplement que le résultat diverge d'une autre date ou argument, fondés sur le mobilier, la stratigraphie, etc. Une date différente « expliquée » donne un résultat pouvant correspondre à une autre occupation (connue) sur le même site et elle est, dans ce cas, probablement liée à un piégeage ou à une intrusion d'un échantillon résiduel ou intrusif. Une date différente « inexpliquée » (provisoirement) n'a pas d'explication immédiate, mais certaines peuvent être liées à des phénomènes particuliers à élucider dès lors qu'elles se répètent, comme par exemple la présence de dates très anciennes qui se concentrent sur la zone du front de la Première Guerre mondiale (Vanmoerkerke, 2017). Le taux de dates différentes correspond à la part des dates différentes par rapport aux autres dates et ce paramètre peut être utilisé par site, par type de vestige, par époque, etc. De telles définitions simples sont essentielles pour l'analyse poussée d'un corpus de dates, puis d'une époque ou d'un thème. En fonction des connaissances, des dates peuvent changer de catégorie, ce qui illustre par ailleurs la dynamique des recherches, mais aussi une certaine légèreté de nos interprétations.

1. La lente mise en place d'un échantillonnage et d'une politique de datation cohérente, pour la construction d'un corpus exploitable

Des années 1960 jusqu'aux années 1980, la datation absolue n'est que peu pratiquée en Champagne. Parfois la dendrochronologie s'impose du fait de la présence de bois, même si cela ne se traduit pas toujours par des analyses, loin de là ; la datation par radiocarbone est plus un choix assumé, à l'occasion de découvertes considérées comme importantes. Généralement, il s'agit d'attribuer une date absolue à une culture archéologique, à une structure précise ou à un mobilier appartenant ou supposé appartenir à cette culture ou à cette époque, comme si la datation absolue pouvait remplacer la sériation typochronologique (Demoule, 1995). Bien sûr, les déceptions sont nombreuses et beaucoup de dates sont rejetées ou plutôt passées sous silence.

Jusque dans les années 1980, la situation est assez paradoxale en Champagne : quelques rares chercheurs font parfois réaliser des dates, mais sans les mettre en avant et sans maîtriser le potentiel de la méthode, tandis que d'autres, donneurs de leçons, en parlent longuement, mais ne se donnent pas la peine de les tenter. C'est dans ce contexte général empreint de scepticisme qu'une certaine archéologie préventive, pratiquée dans le Nord-Est et aussi en Normandie, attribue progressivement un nouveau rôle à la datation radiocarbone (et dans une moindre mesure à la dendrochronologie). L'idée de remplacer la sériation typochronologique par la datation absolue est implicitement ou explicitement rejetée. En revanche, l'utilisation, en quelque sorte détournée, de la datation sert, de plus en plus, à vérifier quels vestiges appartiennent à l'occupation faisant l'objet de la fouille, puis, dans un deuxième temps, pour définir d'autres occupations. Il s'agit d'adaptations incessantes à de nouvelles pratiques d'archéologie (préventives). La datation absolue n'a pas été conçue dans cette optique, mais est bien tombée. La question des (nouveaux) moyens (financiers) disponibles y joue certainement un rôle, bien que plutôt marginal.

Cette implication de plus en plus large de la datation absolue, par bonds successifs, fait souvent face à des critiques et blocages, mais ces nouveautés ont toujours été intégrées et généralisées assez rapidement. Il s'agit d'une sorte de désacralisation, par étape, de la datation par radiocarbone, créant à chaque fois des crispations. Il est important de décrire et comprendre ce processus, afin d'appréhender ce que nous disent ces nouvelles dates réalisées à partir d'échantillons choisis selon de nouveaux critères. Pour le besoin de la démonstration, nous avons séparé ces étapes même si elles se recouvrent en partie.

Par rapport au sujet discuté ici, les fouilles de la fin des années 1980 et du début des années 1990 possèdent deux nouvelles caractéristiques principales. L'augmentation des surfaces fouillées est maintenant bien connue, mais, ce qui n'est pas souvent

mis en avant, c'est que ces fouilles ne concernent plus seulement des sites connus, bien définis, auxquels tous les vestiges peuvent être attribués ; on « traite » maintenant des surfaces dans lesquelles les vestiges, souvent très divers, sont plus au moins concentrés ou dispersés. Les archéologues sont ainsi confrontés à une très grande majorité de vestiges, dont l'attribution à une époque ou à une culture relève parfois plus de la foi que de la démonstration scientifique.

À une époque où la datation des vestiges se base pour beaucoup sur la proximité spatiale qu'ils entretiennent entre eux, parfois toute relative, le simple fait de décaper plus largement – grand paradoxe – diminue de fait le nombre de vestiges datés puisque en élargissant la fenêtre de travail, il devient de moins en moins évident d'apparier un vestige avec un autre du seul fait de sa proximité spatiale. Ce problème ne s'exprime pas (ou plutôt on n'en est pas conscient) avec une petite fenêtre de 200 m² où tous les vestiges sont proches de celui ou de ceux qui sont bien daté(s) !

Ces deux caractéristiques (augmentation des surfaces et de la variété des vestiges) contribuent largement à ce qu'une, puis rapidement plusieurs datation(s) par radiocarbone (et là où c'était possible dendrochronologiques), soient réalisée(s) sur ces sites, souvent sur des types de vestiges bien particuliers, sans mobilier associé. Ainsi, après avoir daté les petits groupes de tombes (supposées) campaniformes (Blouet *et al.*, 2019), on s'est intéressé aux tombes individuelles, bien plus courantes qu'on ne le dit et bien moins associables qu'il était attendu sur le plan chronologique aux vestiges proches (Laurelut *et al.*, 2014).

La suite logique de ces premiers acquis est de s'attaquer à d'autres types de vestiges, en fonction des possibilités et des inconnues : puits (de toutes époques), petites enceintes, enclos palissadés (du premier âge du Fer), etc. Le point commun de toutes ces structures bien identifiées est l'absence ou la rareté de mobilier datant et c'est principalement sur cet argument que la démarche de datation absolue d'abord contestée, a été motivée, puis finalement acceptée.

Les deux démarches suivantes s'attaquent, en apparence, à des fondamentaux de l'archéologie ; leur mise en œuvre est à peine entamée et elles méritent des explications qui seront traitées longuement dans des chapitres spécifiques de la publication globale des dates (Tegel et Vanmoerkerke, *à paraître*). La première démarche qui consiste à utiliser les dates comme simple descripteur, déjà décrite dans quelques articles (Vanmoerkerke 2013, 2017, 2020), a permis des progrès considérables dans certains domaines, par exemple les fosses de chasses profondes (Achard *et al.*, 2013, 2017). Le deuxième choc est venu de la datation par radiocarbone des (poteaux de) bâtiments, pratique à enjeux forts et avec des implications évidentes pour l'âge du Bronze détaillées ici. Il est essentiel de faire comprendre les arguments de ce débat fondamental pour sortir des simples rejets/acceptations et aussi illustrer les contradictions symptomatiques de certaines résistances. Au final, ce débat a aussi le mérite de remettre en question nombre de datations sur d'autres types de vestiges et il inaugure probablement une nouvelle étape.

L'archéologie préventive de ces trois dernières décennies a livré des milliers de plans de bâtiments et les arguments pour leur datation ont fortement évolué ; pendant longtemps, le type architectural a dominé fortement, mais comme les fouilles n'arrêtaient pas de livrer de nouveaux types, souvent contradictoires avec les hypothèses précédentes, le scepticisme s'est installé, tout comme pour l'argument de datation par proximité ou par orientation. Aujourd'hui l'on sait que ces arguments, qui nous ont fait perdre beaucoup de temps (par exemple, les grands bâtiments du Néolithique final), ne valent que dans des conditions très spécifiques, tierces et fosses le long de maisons rubanées, avec une orientation bien spécifique, par exemple. En faisant abstraction de ces trois arguments de datation (type architectural, proximité, orientation), il ne restait plus qu'un peu de mobilier, dans ces banals trous de poteau et comme une grande majorité des bâtiments ne livre pas de mobilier du tout, seule la datation par le radiocarbone (la conservation des bois étant exceptionnelle) pouvait faire avancer les choses.

Les datations obtenues, souvent sur 3 à 5 poteaux différents, ne sont pas toujours très cohérentes et parfois pour le moins inattendues ; certains archéologues en ont bien évidemment profité pour les contester, en s'attaquant au passage à toutes ces dates qui sont faites « sur n'importe quoi » ! En effet, notre analyse en cours, sur environ 200 bâtiments datés (radiocarbone et dendrochronologie), montre que le taux de dates différentes voir *supra* pour la définition) n'est pas si élevé (environ un cinquième). Si l'on suppose que le mobilier contenu dans ces poteaux permet (ou pas) de dater les bâtiments, alors on peut appliquer la même remarque aux charbons et os provenant de ces mêmes poteaux. De ce fait, on ne peut accepter de dater des bâtiments à partir du mobilier des trous de poteau (ce qui se fait tous les jours !) et en même temps rejeter les dates par radiocarbone faites sur ces derniers. Tout rejeter reste une position facile, mais encore faut-il avancer et proposer mieux que la datation par proximité (relative), certes moins contraignante pour des interprétations sommaires, voire « romantiques ».

La pratique de la datation des bâtiments par radiocarbone est devenue très courante aux Pays-Bas (Ball et Van Heeringen, 2017), en Saxe (Stauble, 2019) et au Danemark (Bech *et al.*, 2018) où quelques archéologues ont testé les deux méthodes, certes encore sur de petites séries : datations à partir du mobilier et d'échantillons de charbon de bois (et os), en utilisant parfois des bâtiments de types architecturaux spécifiques ou stratifiés qui possèdent une datation assurée par ailleurs. Dans une (petite) majorité de cas, les deux méthodes sont confirmées, car elles présentent des résultats identiques ou proches. Dans de rares cas, les deux sont infirmées, avec des résultats (radiocarbone et mobilier) identiques ou différents. Le plus

important pour notre discussion est que dans un nombre non négligeable de cas, l'une des deux méthodes est infirmée. Ce qu'il faut bien entendu retenir, en attendant des séries plus importantes avec de véritables études comparatives des résultats (Tegel et Vanmoerkerke, *à paraître*) et de taphonomie, c'est qu'il n'y a pas de raison de privilégier l'une ou l'autre méthode. L'absence d'explication aujourd'hui a des conséquences énormes sur nos analyses des plans de fouille, de fait remises en question.

D'autres arguments enrichissent ce débat et il importe de relancer des études et la discussion sur la taphonomie des sites, comme par exemple la conservation, en surface, des charbons de bois. En dehors de la fragmentation, suite aux gels successifs et bioturbation, il semblerait aussi que le milieu alcalin (et d'autres facteurs physiques et chimiques) favorise la dégradation du charbon de bois (Braadbaart *et al.*, 2009 ; Huisman *et al.*, 2012). La logique du « piégeage » ou de « l'intrusion » du mobilier dans les structures est manifestement différente de celle du charbon de bois (ou de l'os) et elle est, en plus, différente selon les types de vestiges. Ainsi, vérification faite, la fréquence du mobilier mélangé dans les poteaux (sur des sites à plusieurs époques) est au moins égale ou parfois supérieure à celui du taux des dates différentes. Aucune explication n'est connue pour le moment, mais de ce fait et dans certains cas, il n'est peut-être pas si incongru de préférer la datation par radiocarbone plutôt que celle par le mobilier, plus résistant, et qui de ce fait peut être piégé à répétition sur un site à occupations multiples. La probabilité que les dates « sur poteaux » correspondent à la construction ou plutôt à l'utilisation et reconstruction des bâtiments dépend aussi du nombre d'occupations successives sur un site (Tegel et Vanmoerkerke, *à paraître*). Par ailleurs, le nombre de poteaux avec mobilier, souvent 1 ou 2, limite la portée de la méthode « sur mobilier », ce qui est moins souvent le cas pour les charbons. De plus, la position stratigraphique du mobilier s'impose, celle des échantillons est choisie.

Une clarification d'urgence doit être conduite, mais ce n'est certainement pas un argument pour cesser les dates sur bâtiments, bien au contraire. Il convient de les multiplier tout en améliorant la qualité des choix de prélèvement (fosses de creusement *versus* fantôme du poteau, par exemple), de la documentation (position exacte de l'échantillon, par exemple) et des discussions (comparer systématiquement le mobilier « différent » et les dates différentes, par exemple).

2. Le corpus

Dans la base de données radiocarbone, en cours d'achèvement, 4 300 dates sont enregistrées, leur nombre total (réalisé fin 2020) est estimé à un peu plus de 5 000. La base dendrochronologique, à jour, dénombre 8 462 bois étudiés, dont 5 109 mesurés et 2 883 datés pour environ 400 000 mesures (Tegel et Vanmoerkerke, *à paraître*). Les quelques dizaines de datations obtenues avec d'autres méthodes (thermoluminescence, magnétique, etc.) ne sont pas utilisées ici. Dans cet article, nous discuterons essentiellement de la datation par radiocarbone.

En Champagne, ces dates ont été en très grande partie obtenues à partir de 1998, puis de façon accélérée depuis 2010 (Vanmoerkerke, 2003 ; 2019), avec les premières fouilles munies de véritables batteries de dates et aussi – fait important – avec les premiers diagnostics pourvus d'une ou plusieurs dates (fig. 1). Le Néolithique, suivi de l'âge du Fer et du Moyen Âge, puis l'âge du Bronze sont les plus représentés (fig. 2). Comptées par millénaire, ce sont le Ier millénaire avant et le Ier millénaire après notre ère qui sont largement les plus représentés, suivis par le IVe avant notre ère, puis le IIe et le IIIe millénaire (fig. 3). Au sein des matériaux datés, les datations sur charbon de bois représentent environ la moitié des échantillons, elles sont suivies par celles réalisées sur l'os humain, puis animal et enfin le bois non carbonisé (fig. 4). Par type de vestiges (fig. 5), le funéraire, avec le poids prépondérant des inhumations individuelles, représente environ un quart des échantillons, les fosses profondes (fosses en Y et fosses mésolithiques) correspondent presque à un cinquième. Les trous de poteau (des bâtiments) comptent pour un peu moins, tout comme les échantillons extraits des séquences sédimentaires. Diverses structures excavées comme les fosses, silos, puits, fonds de cabane, etc. sont également bien représentées.

L'intérêt majeur de disposer d'un tel outil est de permettre des approches globales sur une époque ou un thème, sans exclure les dates « différentes », afin de contrer les raisonnements circulaires. En effet, la pratique actuelle de la datation ^{14}C écarte, de fait, plus de la moitié des datations : par rejet explicite (rare) ou implicite, par omission (très courant) ou par mise à l'écart dans une rubrique « autre », etc., ce qui revient à la même chose.

Il y a bien sûr des dates « différentes » inexpliquées et incohérentes, qui sont à rejeter (datation sur coquille, par exemple) mais elles sont anecdotiques. *A contrario*, les idées que l'on peut développer à partir des séries de dates, dont de nombreuses « différentes » qu'elles soient expliquées ou non, peuvent être particulièrement fructueuses (Vanmoerkerke, 2018). En effet, à l'échelle d'un site, une ou quelques dates différentes, un peu plus anciennes par exemple, ne permettent pas toujours de proposer une phase d'occupation plus ancienne, mais vue globalement, cette même hypothèse, peut être parfaitement argumentée par une série de dates. Il n'est pas toujours possible de le prouver par la mise au jour de structures révélatrices d'un site précis, mais cette « absence » ne récuse pas d'emblée l'intérêt de la proposition.

L'approche globale des dates, notamment les « différentes inexpliquées », permet aussi d'évacuer des explications faciles dont le but non avoué est de nier l'intérêt de ces datations. Dire que des « vieilles » dates différentes relèvent d'incendies de forêts ou de pratiques de brûlis a pendant longtemps été

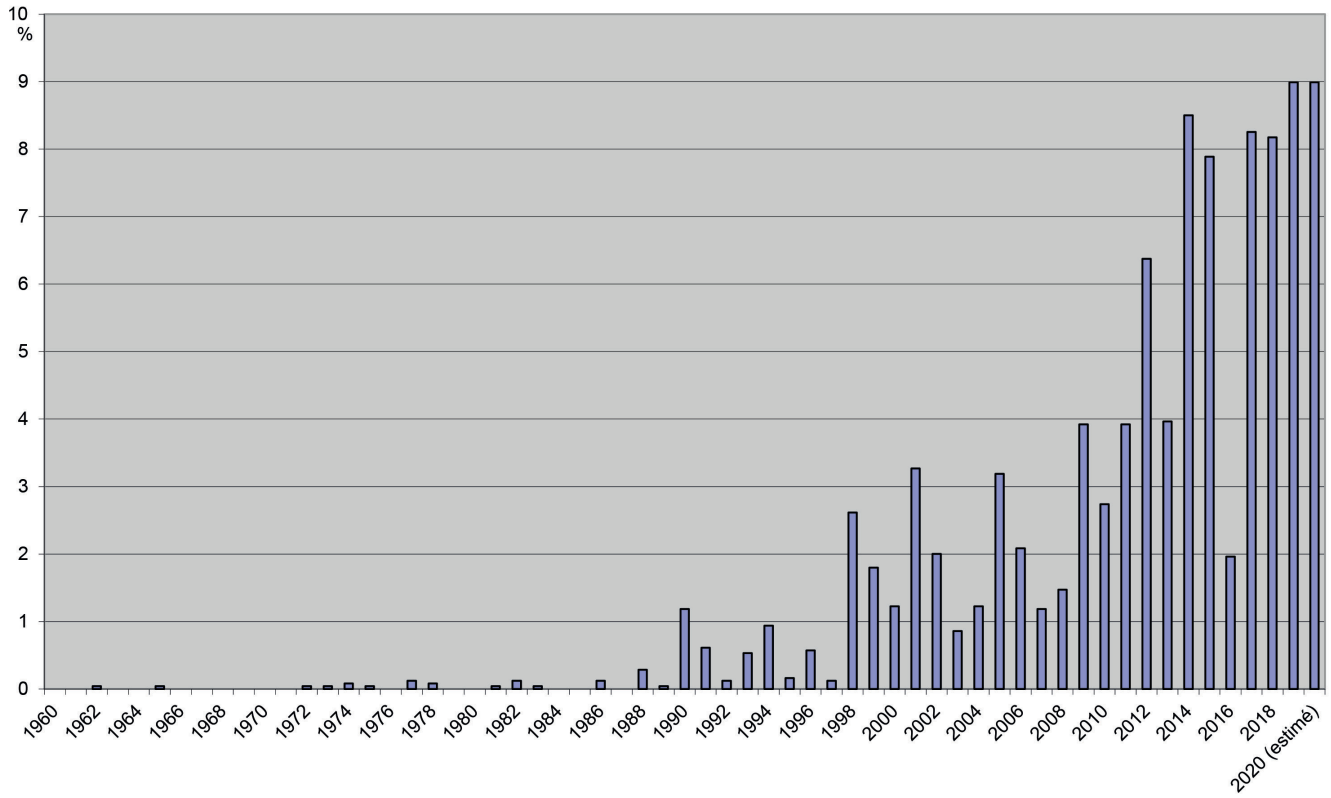


Figure 1 - Datations par radiocarbone effectuées en Champagne entre 1960 et 2020 (en %).

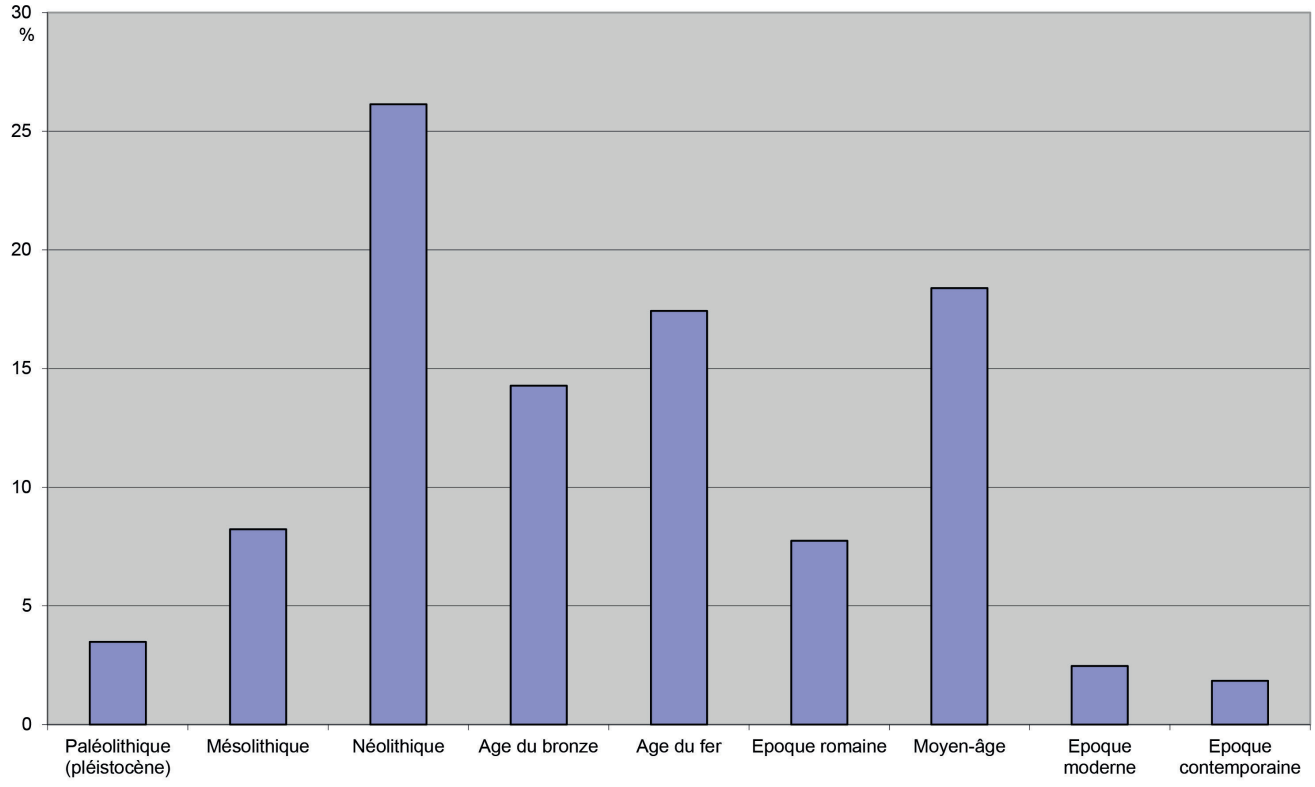


Figure 2 - Époques représentées par les datations par radiocarbone de Champagne (en %).

considéré comme de bon sens, mais les « vieilles » dates sur des nécropoles protohistoriques diffèrent de celles établies sur d'autres types de sites, on se rend vite compte de la superficialité de ces explications globales voire simplistes, qui existent évidemment, mais qui restent rares.

Ces grandes séries permettent aussi d'analyser la cohérence interne et externe des datations proposées par comparaison avec les autres dates attribuées aux mêmes contextes, en fonction de la stratigraphie, mais fournies aussi par la dendrochronologie, le mobilier, la stratigraphie, etc. Ce travail n'est

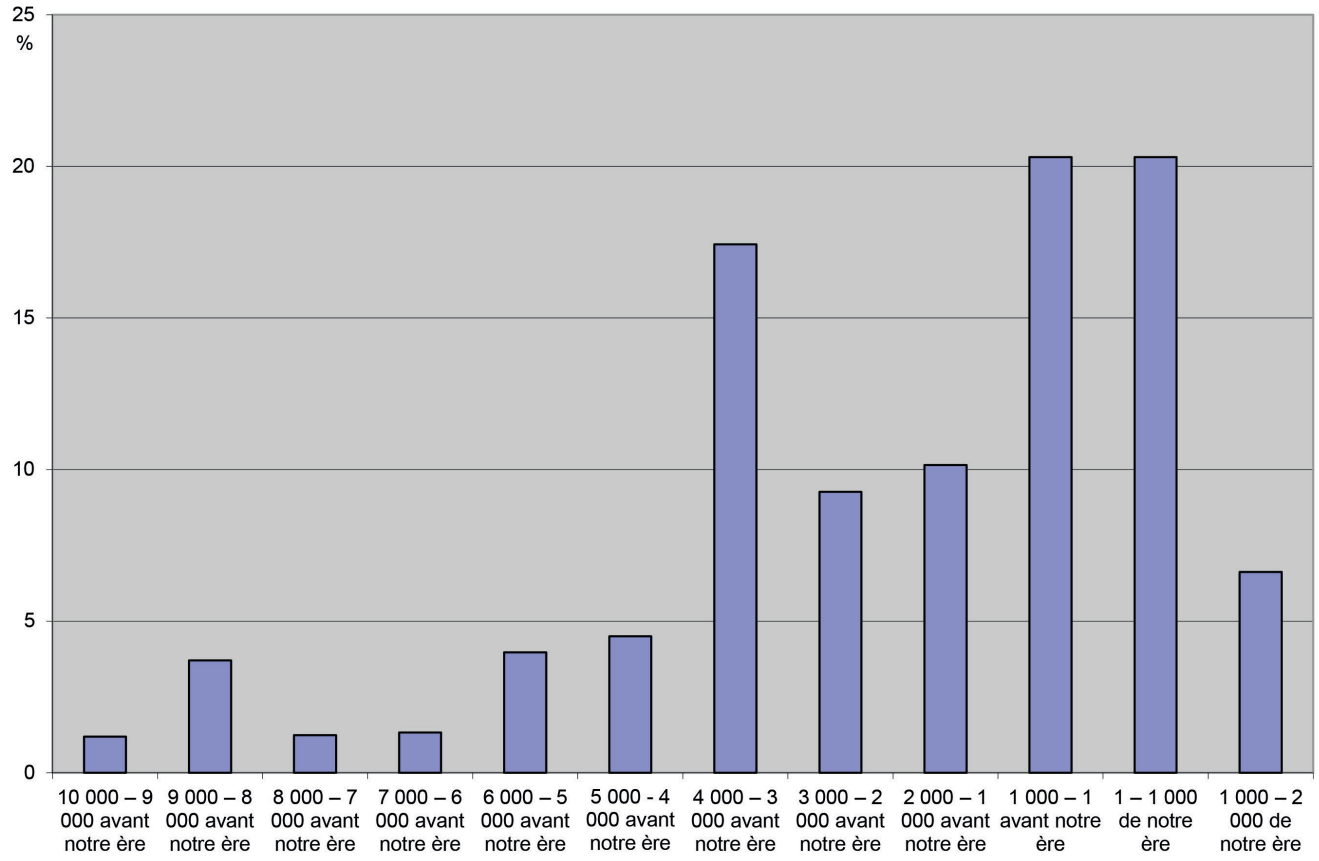


Figure 3 - Millénaires représentés par les dates par radiocarbone (en %).

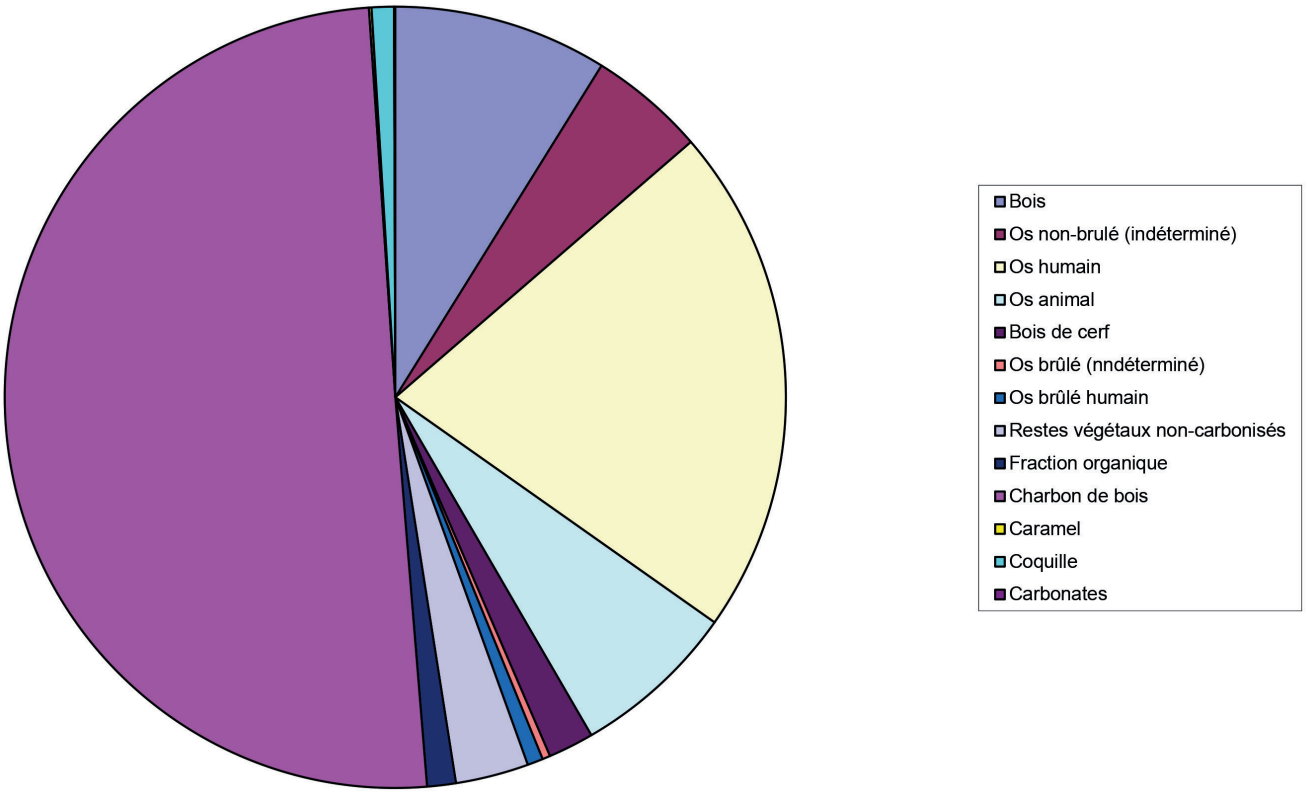


Figure 4 - Matériaux utilisés pour la datation radiocarbone (en %).

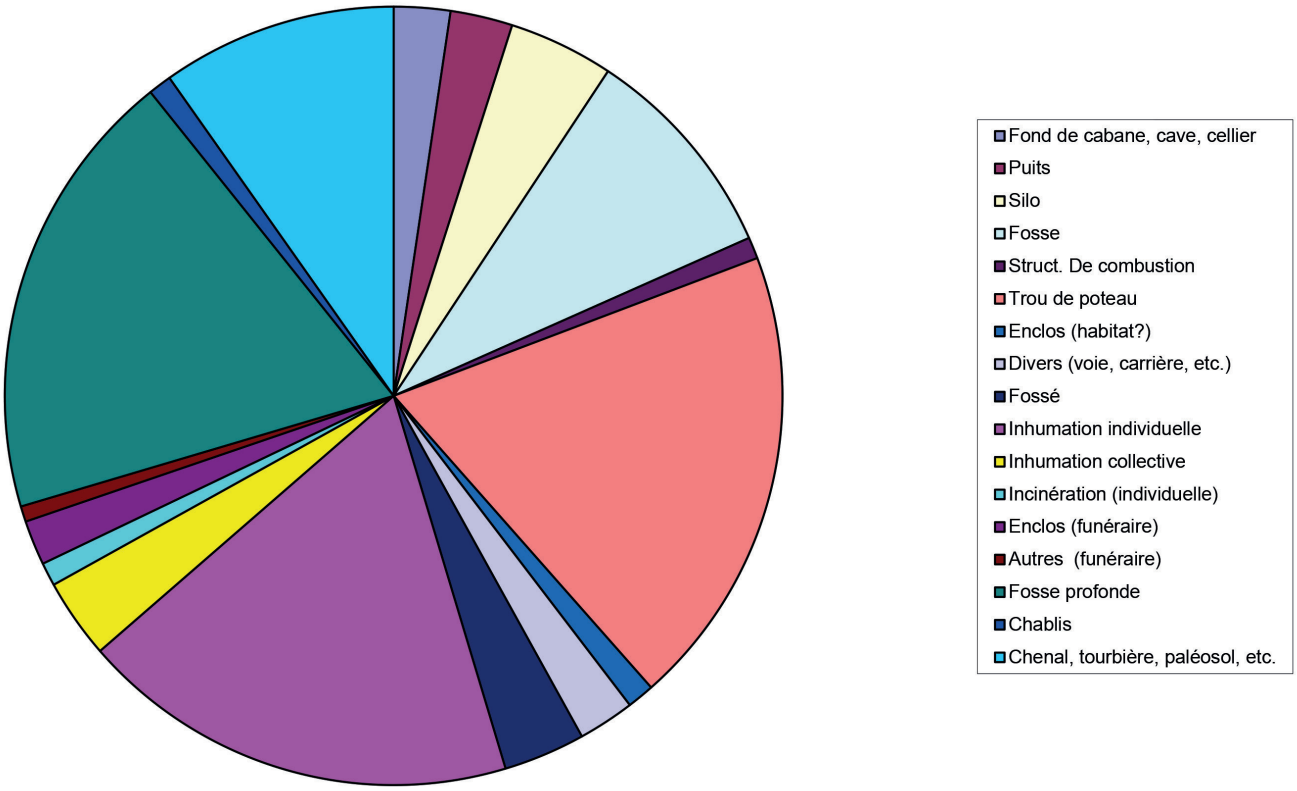


Figure 5 - Types de vestiges datés par radiocarbone (en %).

pas achevé, mais il apparaît d'ores et déjà que les dates « différentes » s'expliquent aisément pour une grande partie d'entre elles. Selon les types de vestiges et la nature des sites (à une, plusieurs ou multiples occupations), leurs nombres varient et la mise en évidence de cette fréquence, en fonction du nombre d'occupations, s'avère intéressante. Le rejet de la datation sur coquille s'avère fréquemment justifié, en revanche d'autres positions doivent être fortement nuancées. Pour le charbon de bois, les problèmes sont bien plus liés à la résidualité ou à l'intrusion qu'à l'effet vieux bois, si décrié, qui est statistiquement peu significatif, même s'il est bien à l'origine de décalages. Pour l'os, les problèmes ne concernent qu'une petite partie des échantillons, mais ils ne peuvent être anticipés ou corrigés. De fait, le matériau idéal n'existe pas, il dépend de la question et du contexte d'étude (diagnostic ou fouille, par exemple) ; le bois, carbonisé ou pas, est le plus sûr, mais il n'est pas forcément le plus précis... L'os semble plus précis, mais sans certitude absolue...

Par type de vestiges, la comparaison des dates n'est pas aboutie, mais la part des « dates différentes » apparaît bien propre à chaque type de vestige et c'est un axe de recherche fondamental pour améliorer nos pratiques. Quant aux dates différentes inexpliquées, leur analyse est un sujet en soi, fort complexe et à multiples facettes. Leur traitement global permet, dans un premier temps, de se rendre compte qu'il existe un « groupe » avec des caractéristiques communes, puis de proposer des hypothèses quant à leur signification. En quelque sorte, on peut dire que ce qui a été rejeté comme « date aberrante » devient une source essentielle pour lancer de nouvelles hypothèses.

3. Critiques des pratiques actuelles et du corpus

Ce n'est pas le lieu ici de pointer tous les défauts, souvent formels (problèmes de documentation et de reproduction), parfois majeurs, caractérisant les pratiques actuelles (Tegel et Vanmoerkerke, *à paraître*) ; les majeurs sont généralement directement liés à la qualité de la prescription et à son suivi, aux projets d'intervention, puis à la pertinence de la prise en compte de la datation par les responsables d'opération. On ne peut que constater que l'approche raisonnée de la datation absolue des faits non ou mal datés, est absente ou noyée au sein de développements de peu d'intérêt, sans fondement en l'absence d'attribution chronologique. Parmi les responsables d'opération et les archéologues en général, la difficile distinction entre durée et fourchette de datation a certes progressé, mais elle reste problématique dans l'interprétation des occupations. De façon plus concrète, il faut signaler deux problèmes prégnants concernant des centaines de dates dans le premier cas, des milliers dans le second. La distinction entre fosse de creusement et fantôme de poteau, pourtant lisible dans un quart des cas et jamais faite, est pourtant si essentielle ; de plus, les trous avec traces bien lisibles ne sont nullement privilégiés. Concernant les ossements des inhumations (datées), les choix et les informations sont tout aussi bancals ; en l'absence de précisions sur la position de l'ossement choisi pour la datation, on passe, par exemple, à côté de pratiques de manipulation et de stockage, éventuellement en relation avec de la momification et de l'excarnation, comme

cela a été largement démontré en Europe nord-occidentale (Booth et Brück, 2020).

4. Implications pour l'âge du Bronze

De façon globale, la pratique de la datation par radiocarbone a profondément changé notre perception du Néolithique final, du Bronze ancien et moyen, deux périodes comparables par la pauvreté des données disponibles (Vanmoerkerke, 2021b). Des occurrences mal définies et pourvues d'au moins une datation n'apparaissent pas forcément convaincantes au cas par cas, mais leur récurrence devient un paramètre à prendre en compte. À titre d'exemple, ces datations démultiplient le nombre d'occupations potentielles (94 sites avec au moins une date enregistrée pour la période 4000-3100 BP) et élargissent les zones occupées.

Quelques bâtiments ont livré une ou plusieurs dates de cette époque ; en l'absence d'autres éléments incontestables, ce n'est que la répétition des types datés qui permettra de mieux caler nos synthèses ; soulignons qu'à ce jour, ce ne sont pas les plans qui manquent, mais les dates ! Par exemple, les greniers sur poteaux, très rarement datés par radiocarbone (et par du mobilier), semblent apparaître au Bronze moyen si l'on se réfère à l'ensemble des dates, certes encore trop peu nombreuses. *A contrario*, les puits semblent présents tout le temps depuis le Néolithique ancien même si de multiples phases ne sont pas encore documentées par une date. Là aussi, avec moins d'un quart des puits datés, le manque de dates est criant. Les fosses en Y (Riquier, 2021) redeviennent courantes au Bronze ancien-moyen ; elles perdurent au Bronze final en diminuant progressivement puis elles disparaissent peu après.

Pour les tombes des nécropoles et monuments de ces époques, la pratique de la datation absolue est déjà en partie intégrée depuis quelques années et le renouveau apparaît ainsi moins abrupt pour les pratiques funéraires *stricto sensu*. En revanche, la rupture est plus nette pour la question de l'origine des nécropoles protohistoriques. Cette situation découle de la combinaison de deux pratiques, une nouvelle, contestée, et une déjà mieux acceptée : la datation courante des ossements « isolés » ou d'autres témoins venant des fossés d'enclos ou des structures « annexes », en relation avec les larges décapages. Ainsi, dès lors qu'une nécropole du Bronze final ou de l'âge du Fer a été décapée largement et qu'une série de datations a été effectuée sur un certain nombre d'éléments « fragmentaires », il apparaît plus ou moins clairement un « noyau » originel, ou du moins une présence, du Néolithique récent-final et/ou du Bronze ancien et moyen. Cela se confirme de façon flagrante par la découverte de tombes collectives ou multiples du Néolithique récent-final, mais aussi par de multiples dates du Néolithique récent-final et/ou du Bronze ancien-moyen. Sur les sites avec tombes collectives ou multiples, la présence de monuments en élévation (disparus par érosion) est admise. Les multiples dates obtenues poussent aussi vers les hypothèses de présence d'autres monuments très dégradés, avec ou sans tombes contemporaines, ou postérieures et dont quelques éléments seulement nous sont parvenus (Vanmoerkerke, 2020 ; 2021a).

Par ailleurs, la datation des différents types d'enclos est également impactée par de nombreuses datations et par exemple, plusieurs types dont les circulaires avec petite interruption existent bien avant le Bronze final.

Le corpus de dates, dont la géolocalisation est en cours, permet aussi de comparer l'occupation de différents secteurs géographiques, des bassins, etc. Ainsi l'idée que la vallée de la Seine, notamment dans le Nogentais et la plaine de Troyes, soit plus fortement impactée par des occupations précoces semble relativisée par une série de dates anciennes autour de Reims.

Pour le Bronze final, bien mieux doté en mobilier, la pratique de la datation absolue, présente un impact moindre, mais reste fondamentale : la forte progression, voire l'explosion, de l'occupation au XIVe, voire XIIIe s. av. n. è., ressort bien de ce corpus, même si le poids de la datation « funéraire » incite à la prudence. Là aussi, la géolocalisation des dates de cette phase, présentes aussi dans le secteur de Reims, semble contredire la « primauté » de la vallée de la Seine, qui apparaissait pourtant encore évidente il y a quelques années.

5. Conclusion

La généralisation de la datation absolue appliquée à un nombre important de vestiges dégagés à la fouille où la majorité d'entre eux n'est pas ou mal datée s'avère une évolution indispensable de nos pratiques. Elle devra s'accompagner, d'urgence, d'un examen très critique et statistique de la validité des datations déjà effectuées pour juger dans quelles conditions il est nécessaire et possible de passer à des datations plus massives et dans quels cas, il vaut mieux s'abstenir ou rester très prudent. Ces critiques peuvent être faites, dans l'absolu, sans crainte de désacraliser la méthode et elles doivent s'exercer en toutes situations, en priorité, pour les diagnostics ou fouilles d'une part et aussi pour les structures en absence (voire rareté) ou présence de mobilier d'autre part. Au vu de la masse de dates à venir, il est important de créer les instruments souples qui permettront une utilisation immédiate et une intégration dans le *corpus* au fur et à mesure. Cela n'a cependant de sens que si les dates sont réalisées selon une même logique.

De plus, une nouvelle étape dans cette évolution difficile devra être franchie très rapidement si l'on ne veut accumuler les retards : les choix d'échantillons, en fonction d'un futur traitement de type bayésien, devront s'imposer.

Cela impliquera des choix à moyen terme qui ne seront peut-être pas ceux des responsables d'opération ou archéologues intéressés à court terme par des résultats directs. Ainsi pour dater une structure importante de façon précise, on peut être conduit à dater des vestiges, souvent anodins, qui la recoupent ou sont recoupés par elle. Ces pratiques ont prouvé leur efficacité et leur potentiel est très sous-estimé. Elles sont particulièrement complexes à comprendre et à faire appliquer surtout là où les principes élémentaires de la datation par le radiocarbone n'ont même pas encore été compris.

Nous soulignons également que le traitement global de cette masse de datations absolues tend à devenir une spécialité autonome, notamment dans les pays anglo-saxons, avec des exploitations très discutables, déconnectées du terrain et de la critique archéologique, comme notamment le paramétrage démographique (Shennan, 2013). Si les archéologues ne veulent pas que ce domaine leur échappe, à l'instar de ce qui se passe en paléogénétique, avec les dérives que l'on connaît, il nous importe de maîtriser les tenants et les aboutissants de ces masses de datations et de mettre en place une méthodologie propre pour les exploiter ; celle-ci doit répondre aux besoins de multiplier et d'affiner toujours plus nos datations et de les exploiter pour développer de nouveaux thèmes de recherche. Toutefois, cette exploitation si essentielle doit se faire sans couper les liens entre, d'une part, ces dates et les choix de terrain qui les ont permis (ou pas), et d'autre part, les données contextuelles plus générales et leurs interprétations, tout en augmentant l'exigence critique de l'échantillonnage et des méthodes de datation.



Jan Vanmoerkerke

Service régional de l'Archéologie Grand-Est,
Châlons-en-Champagne
Jan.Vanmoerkerke@culture.gouv.fr

Bibliographie

Achard N., Auxiette G., Fechner K., Riquier V., Vanmoerkerke J., 2013, « Bilan du programme de recherche : fosses à profil en Y-V-W et autres en Champagne-Ardenne », dans Achard-Corompt N. et Riquier V., *Chasse, culte ou artisanat ? Les fosses à profil en Y-V-W. Structures énigmatiques et récurrentes du Néolithique aux âges des Métaux en France et alentour*, Dijon, *Revue archéologique de l'Est*, 33e supplément, p. 11-82.

Achard-Corompt N., Ghesquière E. et Riquier V. (dir.), 2017, *Creuser au Mésolithique – Digging in the Mesolithic. Actes de la Séance de la Société préhistorique française à Châlons-en-Champagne (29-30 mars 2016)*, Paris, Société préhistorique française.

Ball E. A. G. et Van Heeringen R. M., 2017, « Westelijk Noord-Brabant in het Malta-tijdperk. Synthetiserend onderzoek naar de bewoningsgeschiedenis van het westelijk deel van het Brabants zandgebied », *Nederlandse Archeologische Rapporten*, 51, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort.

Bech J.-H., Eriksen B. V. et Kristiansen K., 2018, *Bronze Age Settlement and Land-Use in Thy, Northwest Denmark*, Museum Thy, Jutland Archaeological Society Publications, 102, 2 vol. Moesgard.

Blouet, V., Brénon J.-C., Franck J., Klag T., Koenig M.-P., Pernot P., Petitdidier M.-P., Thiériot F, Thomashausen L. et Vanmoerkerke J., 2019, « Le IIIe millénaire entre la Sarre et la Meuse française », dans Montoya C., Fagnart J.-P. et Locht J.-L., *Préhistoire de l'Europe du Nord-Ouest. Mobilités, climats et identités culturelles. XXVIIIe Congrès préhistorique de France (Amiens, 30 mai-4 juin 2016), vol. 3 : Néolithique - Âge du Bronze*, Paris, Société préhistorique de France, p. 321-343.

Booth T. et Brück J., 2020, « Death is not the end: radiocarbon and histo-taphonomic evidence for the curation and excarnation of human remains in Bronze Age Britain », *Antiquity*, 94 (377), p. 1186-1203 [https://doi.org/10.15184/aqy.2020.152].

Braadbaart F., Poole I. et Van Brussel A., 2009, « Preservation potential of charcoal in alkaline environments: an experimental approach for the archeological record », *Journal of Archeological Science*, 36, p. 1672-1679.

Demoule J.-P., 1995, « Les datations au carbone 14 sont-elles utiles? », *Revue archéologique de l'Ouest*, supplément no 7, p. 135-138.

Huisman D. J., Braadbaart F., Van Wijk I. M. et Von Os B. J. H., 2012, « Ashes to ashes, charcoal to dust: micromorphological evidence for ash-induced disintegration of charcoal in Early Neolithic (LBK) soil features in Elsloo (the Netherlands) », *Journal of Archeological Science*, 39, p. 994-1004.

Laurelut C., Blancquaert G., Blouet V., Klag T., Malrain F., Marcigny C., Riquier V., Tegel W. et Vanmoerkerke J., 2014, « Vingt-cinq ans de recherche préventive protohistorique en France du Nord : évolution des pratiques et changements de perspectives, de l'accumulation à la synthèse des données », dans Sénépart I., Billard C., Bostyn F., Praud I. et Thirault E., *Méthodologie de recherches de terrain sur la préhistoire récente en France. Nouveaux acquis, nouveaux outils, 1987-2012. Actes des premières rencontres nord-sud de préhistoire récente (Marseille, 23-25 mai 2012)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 419-456.

Riquier V., Desbrosse V. et Rémy A. (sous presse), « Les établissements palissadés du premier âge du Fer en Champagne : nouvel état de la question », dans Riquier V., *Enclos palissadés du premier âge du Fer*, Paris, colloque de l'École du Louvre, Inrap.

Riquier V., Auxiette G., Ghesquière E. et Lorin Y., 2021, « L'âge du Bronze et les *Schlitzgruben* : récit d'une extinction », dans Marcigny C. et Mordant C. (dir.), *Bronze 2019. 20 ans de recherches. Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux, 19-22 juin 2019)*, p. 399-407.

Shennan S., 2013, « Demographic Continuities and Discontinuities in Neolithic Europe: Evidence, Methods and Implications », *Journal of Archaeological Method and Theory*, 20, p. 300-311.

Stauble H., 2019, « Hausgrundrisse – Brunnen/Gruben – Gräber : die unglechmässige Verteilung archäologischer Spuren am Ende des Neolithikums und in der frühen Bronzezeit im Braunkohlentagebau Zwenkau, Lkr. Leipzig », Siedlungsarchäologie des Endneolithikums und der frühen Bronzezeit. Late Neolitihic and Early Bronze Age Settlement Archaeology. Mitteldeutscher Archäologentag vom 18. bis 20. Ottober in Halle (Saale). 11th Archaeological Conference of Central Germany. October 18-20, 2018 in Halle (Saale), dans Meller H., Friederich S., Küssner M., Stäuble H. et Risch R. (dir.), 2019, *Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt – Landesmuseum für Vorgeschichte Halle (Saale). Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle*, Halle, Band 20/1 et 20/2, p. 79-94.

Tegel W. et Vanmoerkerke J., 2018, « Le référentiel dendrologique du IIIe au Ier millénaire av. n. è. dans le Nord-Est de la France : état d'avancement, problèmes et perspectives », *Bulletin de l'APRAB*, p. 73-78.

Tegel W. et Vanmoerkerke J., à paraître, *Bilan et analyse des datations absolues en Champagne 1960-2020 ; résultats méthodologiques et implications chronothématiques*.

Vanmoerkerke J., 2003, « Bilan des dates radiocarbones en Champagne-Ardenne. Journée archéologique régionale de Champagne-Ardenne, 29 novembre 2003 », Résumés des interventions, SRA, Fédération des Sociétés Archéologiques de Champagne-Ardenne, p. 55-57.

Vanmoerkerke J., 2013, « Détecter, appréhender et fouiller des vestiges non datés et/ou non identifiés : une priorité méconnue de la recherche archéologique », dans Achard-Corompt N. et Riquier V., *Chasse, culte ou artisanat ? Les fosses à profil en Y-V-W. Structures énigmatiques et récurrentes du Néolithique aux âges des Métaux en France et alentour*, Dijon, *Revue archéologique de l'Est*, 33e supplément, p. 295-308.

Vanmoerkerke J., 2017, « Détecter, reconnaître, identifier et dater les structures archéologiques indéterminées : un préalable et une priorité non reconnus dans la programmation de la recherche archéologique française », dans Achard-Corompt N., Ghesquière E. et Riquier V. (dir.), 2017, *Creuser au Mésolithique – Digging in the Mesolithic. Actes de la Séance de la Société préhistorique française à Châlons-en-Champagne (29-30 mars 2016)*, Paris, Société préhistorique française., p. 205-210.

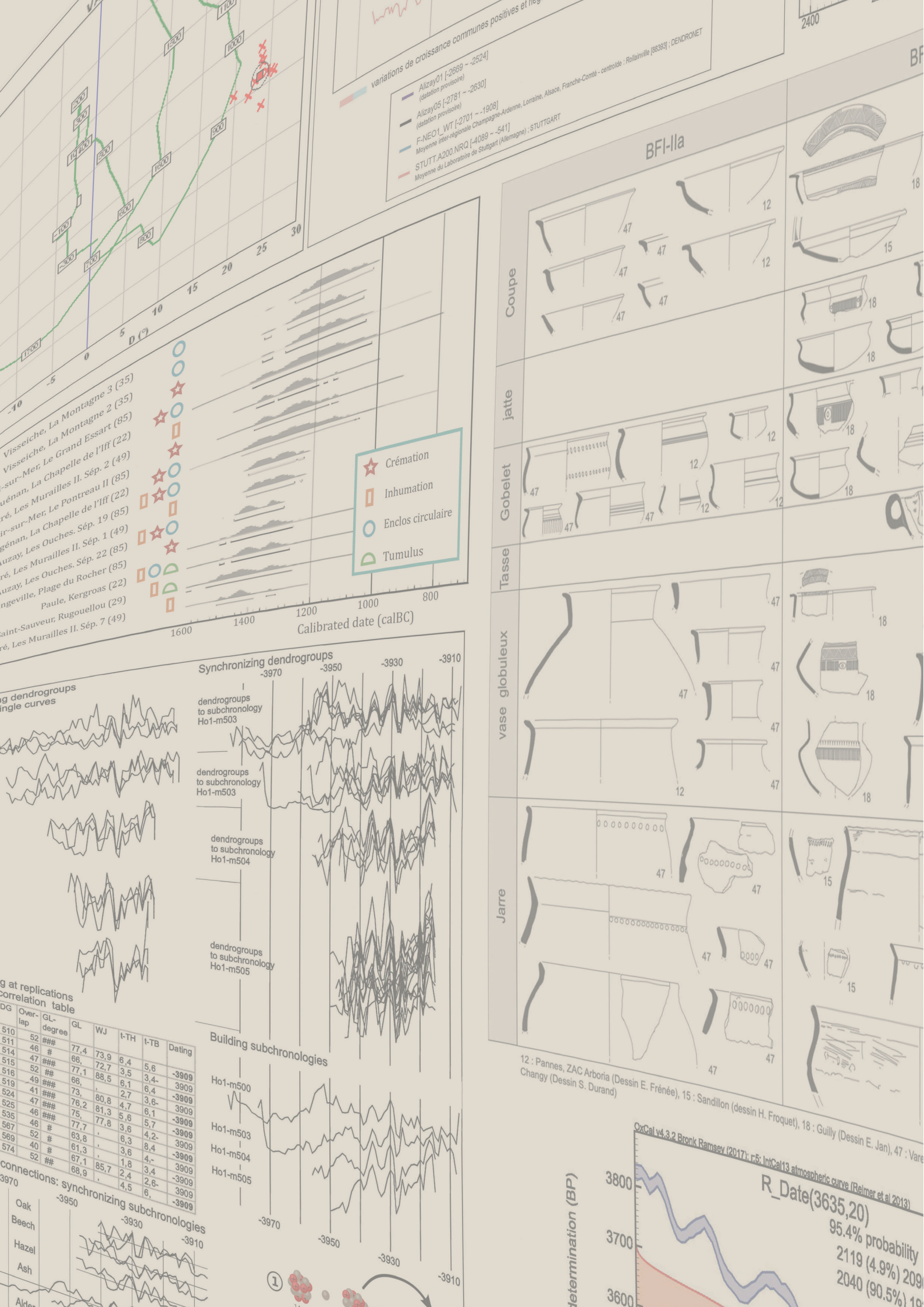
Vanmoerkerke J., 2018, « Une relation étrange entre les plus vieilles dates radiocarbones en Champagne et le front de la Première Guerre », Journées archéologiques régionales, Châlons-en-Champagne, décembre 2017, *Bulletin de la Société archéologique champenoise*, 111, no 1, résumés des communications, p. 53-54.

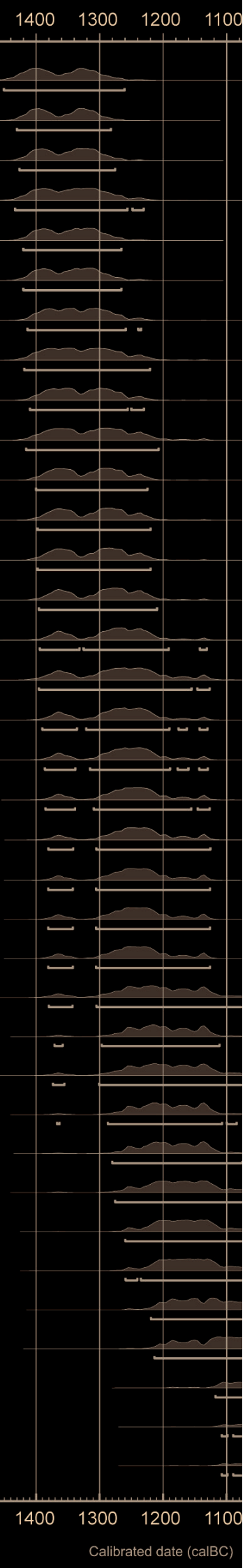
Vanmoerkerke J., 2019, « Bilan de la datation absolue en Champagne-Ardenne. Premières évaluations et conclusions. Journée de l'Archéologie en Champagne-Ardenne, Châlons-en-Champagne 2019, Résumés des communications, *Bulletin de la Société archéologique champenoise*, 113, 1, p. 31-32.

Vanmoerkerke J., 2020, « Ré-écrire l'âge du Bronze de la Champagne au travers des dates radiocarbones », *Mesurer le temps de l'âge du Bronze. Journée thématique de l'APRAB, Musée d'Archéologie Nationale de Saint-Germain-en-Laye, 6 mars 2020*, résumés des communications, p. 9.

Vanmoerkerke J., 2021a, « Les traces fugaces, mais courantes des occupations funéraires du Néolithique et du Bronze ancien et moyen dans les nécropoles à enclos du Bronze final et de l'âge du Fer », Journée de l'Archéologie en Champagne-Ardenne, Châlons-en-Champagne 2020, résumés des communications, *Bulletin de la Société archéologique champenoise*, 114, p. 47-48.

Vanmoerkerke J., 2021b, « Et le grand gagnant est : l'âge du Bronze! Apport décisif de trois décennies d'évolution de la politique archéologique depuis l'instruction à la post-fouille », dans Marcigny C. et Mordant C. (dir.), *Bronze 2019. 20 ans de recherches. Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux, 19-22 juin 2019)*, p. 47-53.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



La chronologie absolue de l'âge du Bronze en France méditerranéenne
Modélisation bayésienne des datations par le radiocarbone

Thibault Lachenal

Résumé

L'affinement de la périodisation des productions céramiques de l'âge du Bronze en France méditerranéenne permet actuellement de disposer d'un canevas chronologique bien établi qui a fait l'objet de plusieurs contributions. L'objectif de cet article est de préciser la chronologie absolue des phases identifiées, en se basant sur les données fournies par les datations ^{14}C. Pour cela, une sélection des dates a été opérée pour ne retenir que celles directement associées à du mobilier suffisamment significatif pour être rattaché à l'une de ces phases. Ces dernières peuvent être considérées comme des données temporelles. Il est donc envisageable d'utiliser ces informations *a priori* comme contraintes dans l'analyse des résultats des datations radiocarboniques, selon une approche statistique bayésienne. Une modélisation a donc été réalisée pour les 95 dates retenues à l'aide du logiciel ChronoModel, en utilisant la nouvelle courbe de calibration dendrochronologique IntCal20. Les résultats sont cohérents pour la plupart des phases identifiées, à l'exception de celles ayant bénéficié de peu de mesures (BA 3 et BF 2a). Ils s'accordent par ailleurs relativement bien avec les temporalités proposées pour la région du Plateau suisse, intégrant des datations dendrochronologiques. Cette méthode permettra donc à terme de générer un solide référentiel chronologique régional.

Mots-clés

Datation radiocarbone, modélisation bayésienne, céramique, chronologie, France méditerranéenne

Abstract

The refining of the periodisation of Bronze Age pottery production in Mediterranean France currently provides a well-established chronological framework which has been the subject of several contributions. The aim of this paper is define an absolute chronological sequence based on data provided by radiocarbon dating. For this purpose, only a selection of dates directly linked to significant and datable artefacts was used. The latter can be considered as temporal data. It is therefore possible to use this information for a Bayesian statistical approach with 95 dates being used for the modelling produced by the ChronoModel software and the new IntCal20 dendrochronological calibration curve. The results are consistent for most of the phases, with the exception of the BA 3 and BF 2a phases that had only a few corresponding measurements. They also fit relatively well with the phases for the region of the Swiss Plateau that also used dendrochronological dating. This method will therefore enable us to develop a solid regional chronological framework in the long term.

Keywords

Radiocarbon dating, Bayesian modelling, ceramics, chronology, Mediterranean France

Le mobilier céramique a très tôt constitué un document privilégié pour la construction du cadre chronologique de l'âge du Bronze en France méridionale. Il en va ainsi des travaux pionniers de Jean Arnal, Jacques Audibert et Henri Prades (Arnal et Prades, 1956 ; Audibert et Bousquet, 1957 ; Audibert et Delord, 1959), inspirés notamment par la *Chronique de Protohistoire* de Jean-Jacques Hatt (1955a et b ; 1956 ; 1958 ; 1961). C'est donc naturellement que le système chronologique proposé par ce dernier s'est imposé dans les travaux des chercheurs méridionaux, comme l'illustrent les séries de travaux qui, à la fin des années 1960, ont couvert l'ensemble de la frange méditerranéenne française (Lagrand, 1968 ; Guilaine, 1972 ; Roudil, 1972). Les périodisations cherchent alors à se fondre dans le schéma proposé et en empruntent les bornes chronologiques déjà discutées par J.-J. Hatt par l'intermédiaire du *cross-dating*[1].

C'est à partir des années 1980 et 1990 que l'usage des datations par le radiocarbone pour préciser la chronologie absolue des différentes phases de l'âge du Bronze se développe véritablement. L'élaboration d'un standard international et de logiciels dédiés à la calibration des mesures radiocarboniques à la fin des années 1980 avait en effet favorisé leur usage (Perrin, 2014, p. 13). Les dates sont alors considérées individuellement, au regard du mobilier auquel elles étaient associées, ou traitées en série par phases, en ayant parfois recours aux diagrammes cumulatifs (Vital, 1996 ; 1999 ; Gascó, 1985 ; 2001 ; Guilaine et Gascó, 1989 ; Gascó *et al.*, 1996).

Par la suite, le canevas typochronologique, ou plutôt chronotypologique d'après J. Vital (2002)[2], de l'âge du Bronze méridional s'est progressivement affiné, qu'il concerne le Bronze ancien (Vital, 2008 ; 2014a ; Vital *et al.*, 2012 ; Lachenal, *à paraître*), le Bronze moyen (Vital, 1999 ; Lachenal *et al.*, 2017) ou le Bronze final (Dedet, 2014 ; Gascó, 2014 ; Lachenal, 2011a ; 2014a ; Vital, 2014b). Le système chronologique utilisé dans ces travaux se réfère principalement à celui de J.-J. Hatt, bien qu'une référence ou des correspondances avec celui de P. Reinecke (1902) soient souvent proposées[3]. Il s'agissait notamment de permettre des comparaisons avec le secteur nord-alpin où le cadre absolu est mieux maîtrisé du fait de l'existence de séquences dendrochronologiques. En France méridionale, les données de chronologie absolue correspondent en revanche principalement à des datations par le radiocarbone. Leur nombre tend toutefois à se multiplier depuis une vingtaine d'années, grâce à la généralisation de l'usage de la méthode, à des coûts moins élevés et à une précision accrue permise par la généralisation de la datation par AMS (spectrométrie de masse par accélérateur).

La confrontation de ces datations absolues à la périodisation des mobiliers céramiques de Provence avait déjà fait l'objet d'un premier article (Lachenal, 2014b). Les précisions apportées depuis à ce canevas, son élargissement au territoire languedocien et l'obtention de nouvelles mesures radiocarboniques engageaient à proposer une nouvelle synthèse sur cette question. Elle offrait également l'occasion de se référer à la nouvelle courbe de calibration dendrochronologique des dates radiocarbone IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020). Les précisions apportées à cette dernière n'ont d'une manière générale pas une grande incidence pour l'âge du Bronze, cette nouvelle courbe recouvrant très largement la

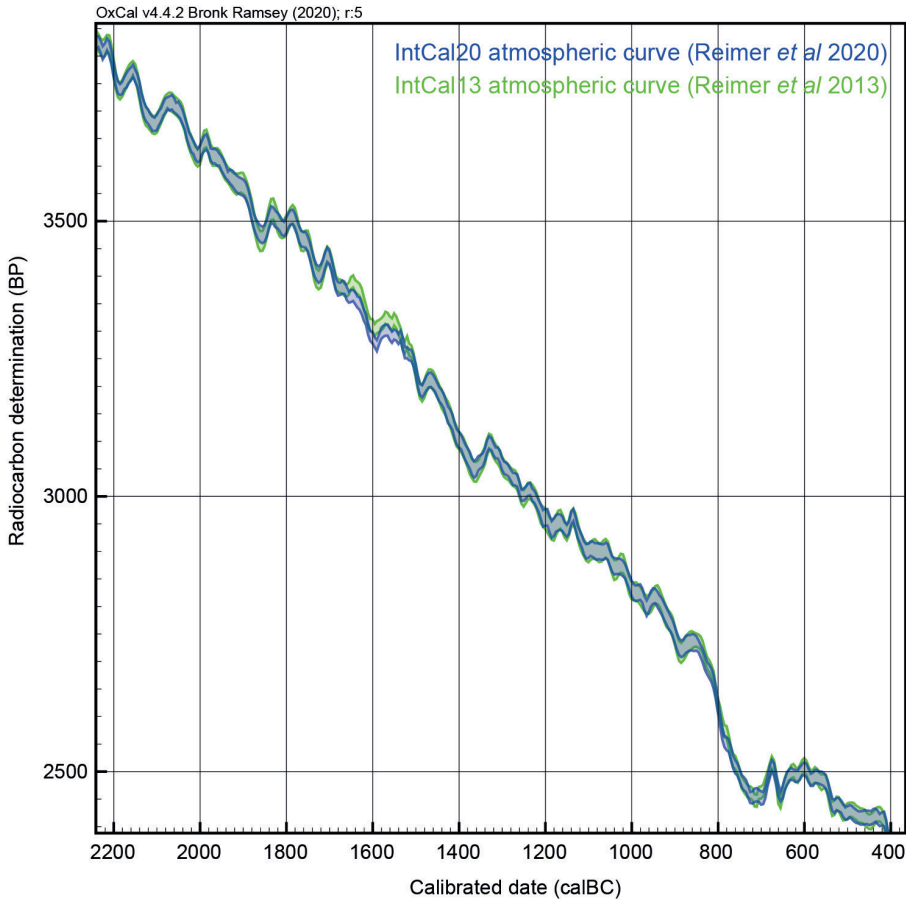


Figure 1 - Superposition des courbes de calibration dendrochronologiques IntCal 13 (Reimer *et al.* 2013) et IntCal20 (Reimer *et al.* 2020).

1 Correspondant à des « rapprochements à la fois de formes (le type) et de dates entre des objets trouvés dans différentes régions européennes et des objets trouvés dans des civilisations utilisant l'écriture et offrant des datations » (Lehoërff, 2009, note 37).

2 « Dans la première forme, *les classes temporelles ne sont définies que sur le seul plan relatif ; le temps est découpé en phases successives dont l'amplitude et la valeur ne sont pas précisées* ; dans la seconde, *la partition est replacée sur l'échelle du temps*, (Vital, 2002 citant Gallay, 1989).

3 Et qu'une dénomination des phases en chiffres arabes, plutôt que romains, ait été introduite par J. Vital (1990).

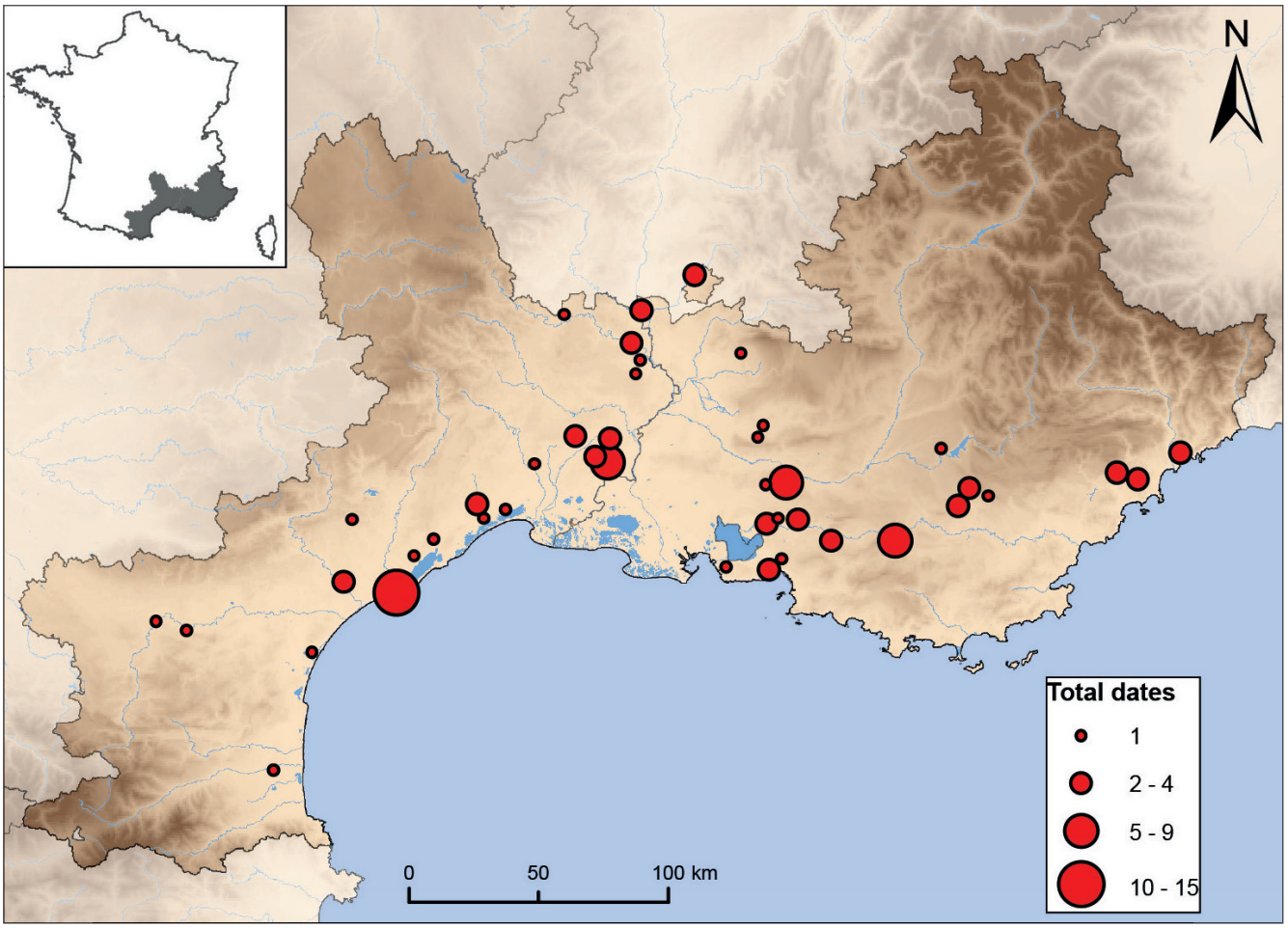


Figure 2 - Localisation des datations par le radiocarbone retenues en Provence et Languedoc (T. Lachenal).

version précédente IntCal13 (fig. 1). Des décalages significatifs sont néanmoins notables pour la période comprise entre 1650 et 1500 av. n. è., soit pour le début du Bronze moyen.

1. Sélection du corpus

L'objectif de cet article est de préciser la chronologie absolue des phases identifiées à partir du mobilier céramique, en se basant sur les données fournies par les datations ^{14}C. La périodisation correspond à celle qui a déjà été détaillée dans les articles mentionnés en introduction (Vital, 2014a et b ; Vital *et al.*, 2012 ; Lachenal, 2011a ; 2014a et b ; *à paraître* ; Lachenal *et al.*, 2017). Il convenait donc d'opérer une sélection du corpus de dates utilisées pour ne retenir que celles directement associées à du mobilier suffisamment significatif pour être rattaché à l'une de ces phases. Cette sélection s'est opérée principalement au niveau du fait archéologique, plus rarement du site si son étude permettait d'associer les deux informations. Les datations dont l'écart-type était supérieur à 90 années ont également été exclues. Elles couvrent une plage de temps trop longue pour être utiles à notre propos. Cela permettait également d'écarter les dates les plus anciennes, pour lesquelles l'utilisation de la méthode radiométrique conventionnelle requerrait parfois de réunir plusieurs charbons pour disposer d'un échantillon de masse suffisante. Quelques dates jugées incohérentes, car trop anciennes par rapport aux valeurs attendues, ont également été mises de côté[4]. S'agissant de charbons, un effet vieux bois pourrait expliquer ces écarts.

À la suite de cette sélection, ce sont donc 95 dates qui ont été retenues, dont la liste est donnée en annexe. Elles proviennent essentiellement de la frange méridionale et de la vallée du Rhône, où se concentrent les activités archéologiques (fig. 2). Il s'agit à la fois de datations ponctuelles et de séries concernant un site, en particulier lorsque ce dernier est polyphasé. Les différentes phases de l'âge du Bronze n'ont pas équitablement bénéficié de datations par le radiocarbone répondant aux critères retenus. Trois d'entre elles, le Bronze ancien 3, le Bronze final 2a et le Bronze final 3a sont particulièrement mal représentées, ce qui pourrait avoir une incidence sur l'analyse (fig. 3). Dans l'ensemble du corpus, les matériaux datés correspondant principalement à de la faune et des charbons de bois.

4 Il s'agit de mesures provenant des sites du Touar aux Arcs-sur-Argens (Bérato et Magnin, 1989) et de Laprade à Lamotte-du-Rhône, pour les deux dates les plus anciennes qui s'écartent sensiblement des trois autres (Billaud, 1999).

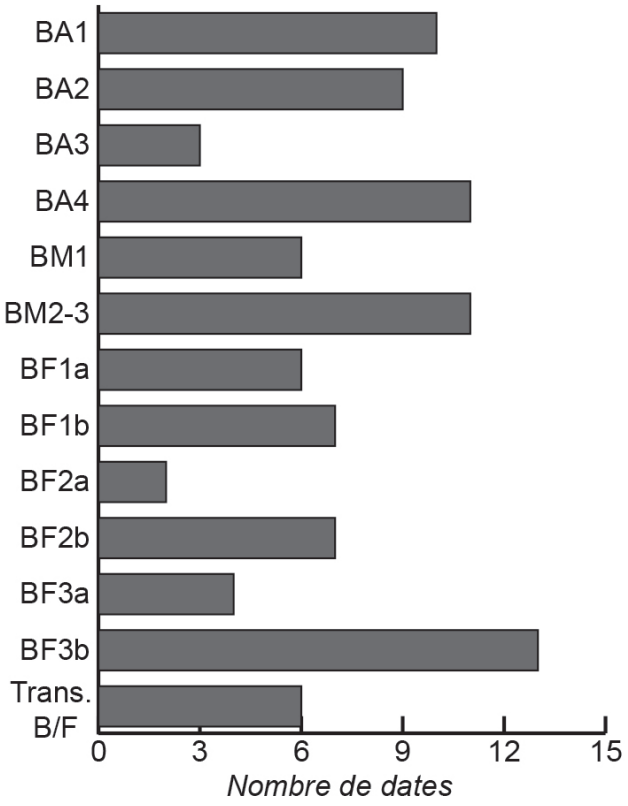


Figure 3 - Diagramme du nombre de dates radiocarbone par phase chronologique (T. Lachenal).

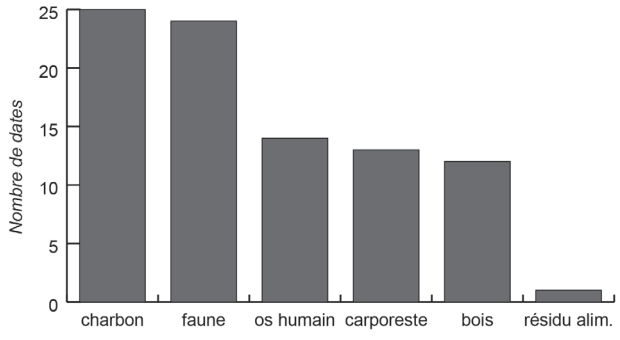


Figure 4 - Diagramme du nombre de dates radiocarbone par type de matériau mesuré (T. Lachenal).

De manière équivalente viennent ensuite les restes humains, les carporestes et le bois gorgé d'eau (fig. 4). Pour ce dernier, de même que pour une date réalisée sur un résidu carbonisé présent à l'intérieur d'un vase, les mesures ne concernent cependant que le site de La Motte à Agde (Hérault), présentant la particularité d'être conservé en milieu humide (Lachenal *et al.*, 2020b). Bien que l'essence de tous les charbons de bois pris en compte n'ait pas été déterminée, le corpus retenu concerne donc en majorité des matériaux à durée de vie courte.

2. Méthode

Les phases identifiées dans l'évolution des productions matérielles peuvent être considérées comme des données temporelles. Il est donc envisageable d'utiliser ces informations *a priori* comme contraintes dans l'analyse des résultats des datations radiocarboniques, selon une approche statistique bayésienne (Bronk Ramsey, 2009 ; Lanos et Dufresne, 2012 ; Hamilton et Krus, 2018). Lors de précédents travaux (Lachenal, 2011a ; 2014a et b ; Lachenal *et al.*, 2017), la modélisation des datations avait été opérée à l'aide du logiciel Oxcal en traitant en « sequence » les séries de dates d'une même phase et en modélisant leurs limites par l'utilisation des « *boundaries* ». Dans cet article, le choix a été fait de modéliser les données à l'aide du logiciel ChronoModel[5] (Lanos et Philippe, 2017 ; 2018 ; Lanos et Dufresne, 2019), présentant l'avantage de se concentrer sur les probabilités de début et de fin de chaque période individualisée (Lanos et Dufresne, *ce volume*).
Les dates du corpus, identifiées chacune comme un événement, ont ainsi été réunies par phases considérées comme successives. Les relations d'antériorité et de postériorité données par les contextes stratigraphiques ont également été matérialisées dans le modèle (fig. 5). Pour appréhender le début de l'âge du Bronze, huit dates correspondant au Campaniforme récent méridional, de styles rhodano-provençal et pyrénéen (Lemercier *et al.*, 2014)[6], ont également été introduites dans le modèle. Ces styles sont en effet considérés comme antérieurs au début du Bronze ancien *stricto sensu* (*Ibid.* ; Vital *et al.*, 2012).

3. Résultats

Le modèle obtenu (fig. 6) présente des différences de durée entre les phases identifiées. Les périodes les plus courtes (BA 3 et BF 2a) correspondent en fait à celles pour lesquelles peu de datations étaient disponibles. Il faut donc en tenir compte dans l'interprétation du modèle. En partant du postulat que ces différentes phases ne se chevauchent pas, leurs limites ont été appréhendées à partir du mode *a posteriori* (MAP) données pour leur début et pour leur fin (fig. 7).

3.1. Le Bronze ancien (33 dates)

Le début du Bronze ancien méridional (BA 1) est associé au style du Camp de Laure, à céramique à décor barbelé de tradition Campaniforme (Vital *et al.*, 2012). Ce style est documenté par une série de dix dates dont les mesures sont cohérentes, provenant notamment du site éponyme et des contextes de référence du clos Marie-Louise à Aix-en-Provence, du parc Georges-Besse-II à Nîmes, des Juilléras à Mondragon ou de

5 https://chronomodel.com/
6 Deux datations du site du Collet-Redon (Martigues, Bouches-du-Rhône), jugées trop anciennes par ces auteurs, ont toutefois été écartées.

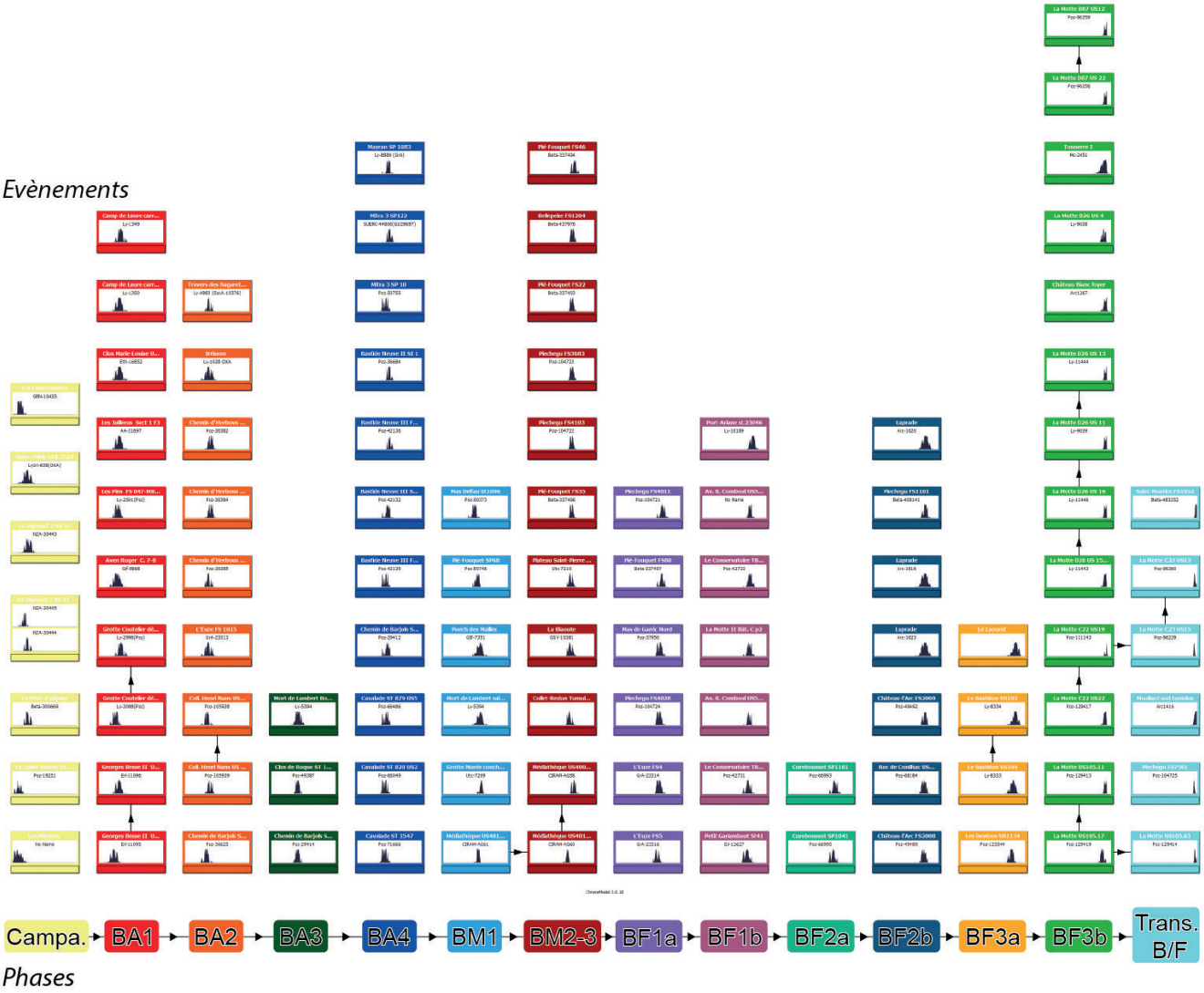


Figure 5 - Représentation schématique du modèle bayésien réalisée sous ChronoModel 2.0 (T. Lachenal) : ensemble des « Events » datés, regroupés par phase. Une contrainte de succession est appliquée entre chaque phase. Des contraintes stratigraphiques (flèches) interviennent entre certains « Events »

l'Aven Roger à Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan (Jallot *et al.*, 1996 ; Vignaud, 2002 ; Lemercier, 2004 ; Escallon *et al.*, 2008 ; Vital *et al.*, 2012).

D'après le modèle obtenu, ce style se mettrait en place lors de la seconde moitié du XXIIe s. av. n. è., jusqu'au milieu du XXe s. av. n. è. Le Bronze ancien *stricto sensu* pourrait néanmoins débuter dès 2200 av. n. è. Une date plus haute a en effet été obtenue pour la Ciste des Gouberts à Gigondas (Vaucluse), qui a livré une épingle à tête en rame du Bz A1 (Sauzade et Vital, 2002 ; Sauzade *et al.*, 2018).

La seconde phase du Bronze ancien (BA 2) est identifiable par la persistance de caractères de tradition campaniforme conjointement à l'emprunt de formes du début du Bronze ancien médio-rhodanien (Vital *et al.*, 2012 ; Lachenal, 2014b ; à paraître). Cette phase d'homogénéisation des styles céramiques dans l'axe rhodanien et sur ses marges (Vital, 2008) a bénéficié de plusieurs datations comme sur les sites d'Irrisson à Goult, de Chemin d'Herbous et Chemin de Barjols à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume ou de l'Euze à Bagnols-sur-Cèze (Buisson-Catil, 2002a ; Convertini *et al.*, 2010 ; Lachenal, 2014b). Les neuf mesures retenues sont toutes remarquablement cohérentes et indiquent que ce style s'est développé entre le milieu du XXe et le milieu du XIXe s. av. n. è. (fig. 7). Cette période assimilable à une étape de transition semble donc assez courte et ne peut pour le moment que partiellement être synchronisée avec le Bz A2a ancien.

Lors d'une précédente étude concernant la Provence (Lachenal, 2014b), seules trois phases avaient été identifiées pour le Bronze ancien, la troisième couvrant plus de deux siècles (vers 1850-1650/1600 av. n. è.). La prise en compte de nouveaux corpus du Languedoc oriental associés à des datations absolues a récemment permis de proposer un nouveau schéma d'évolution en quatre étapes (Lachenal, *à paraître*), suivant la chronologie établie pour l'espace médio-rhodanien (Vital, 2014a). Il résulte que la troisième phase du Bronze ancien (BA 3) est difficilement saisissable compte tenu de la rareté des contextes homogènes et des datations associées. Des structures provenant des sites de Chemin de Barjols et du Clos

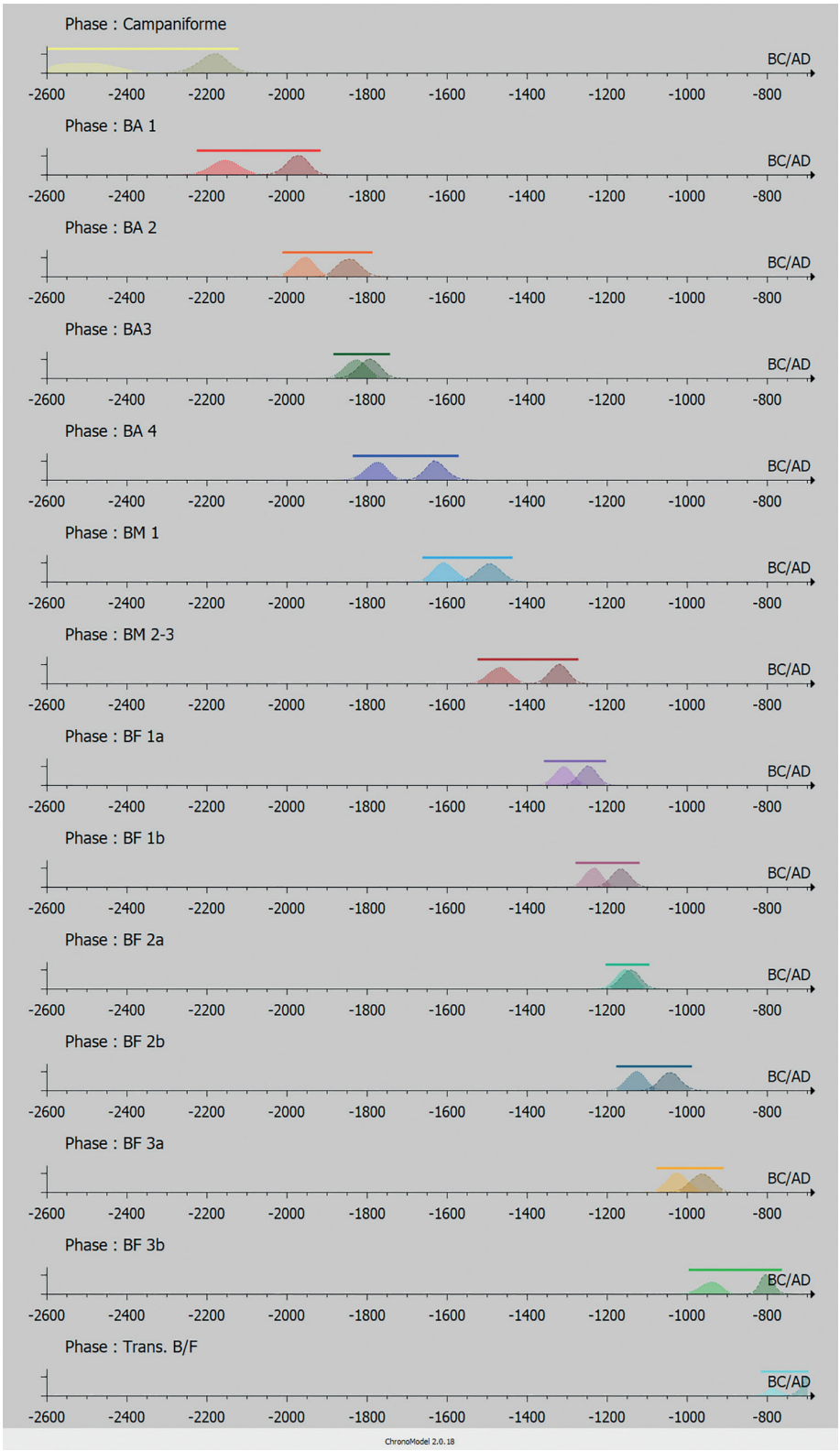


Figure 6 - Modélisation chronologique des phases de l'âge du Bronze méridional réalisée sous ChronoModel 2.0 (T. Lachenal) : distributions de début et de fin de phase a posteriori et plage de temps de la phase à 95% (barre horizontale au-dessus des deux distributions).

de Roque à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, correspondant à la même occupation, peuvent toutefois lui être rattachées (Lachenal, 2014b ; Remicourt *et al.*, 2014). Deux d'entre elles ont fait l'objet de mesures radiocarboniques. Il en va de même d'une couche de blé carbonisé associée à un dépôt de céramiques mis au jour dans l'aven de La Mort de Lambert à Valbonne (Lachenal et Rucker, 2009). Dans le modèle, la durée de cette phase est probablement sous-évaluée compte tenu du faible nombre de datations mobilisables (3 dates). Une synchronisation avec le Bz A2a récent, vers 1850-1750 av. n. è., semble donc plus probable. Des comparaisons sont en effet possibles avec les corpus des sites de Puy Long et de Petit Beaulieu à Clermont-Ferrand, que plus d'une vingtaine de datations par le radiocarbone permettent de placer dans cette phase (Vital, 2014a ; Vital et Thirault, 2016).

La quatrième phase du Bronze ancien (11 dates) est en revanche bien caractérisée par plusieurs ensembles du Languedoc oriental et de Provence occidentale. Ils sont notamment associés à des dates par radiocarbone à La Cavalade à Montpellier (Convertini *et al.*, 2016), La Bastide Neuve II et III à Velaux (Ropiot et Lachenal, 2011 ; Sargiano *et al.*, 2018) ou encore à Mitra 3 à Nîmes (Sendra *et al.*, 2016). Les productions céramiques de cette période montrent des affinités ponctuelles avec les styles des phases récentes de la Culture du Rhône. Ce synchronisme est appuyé par la présence sur le site des Iragnons-Perriers à Codognan dans le Gard (Roger et Valette, 1981), d'une épingle à tête en bélière du type suisse occidental documentée au Bz A2b et au Bz A2c (David-Elbiali, 2000, p. 163 ; David-Elbiali et David, 2010, p. 326). D'après le modèle bayésien, cette phase s'interrompt vers la fin du XVIIe s. av. J.-C. Il faut noter que les corrections apportées à la courbe de calibration IntCal 20 rajeunissent légèrement les dates de la fin de cette période, en comparaison avec la version précédente IntCal 13. Cette quatrième phase du Bronze ancien pourrait donc englober les périodes Bz A2b et Bz A2c de la chronologie nord-alpine.

3.2. Le Bronze moyen (17 dates)

Cette période reste toujours difficile à scinder en plus de deux étapes en France méditerranéenne. Malgré les travaux suc-

cessifs dont elle a fait l'objet (Vital, 1999; Lachenal *et al.*, 2017), en l'état actuel des connaissances, les corpus ne permettent de distinguer qu'une phase ancienne et une phase récente. La première (BM 1) se caractérise par la présence, en Provence orientale, d'un style céramique s'intégrant dans le faciès de Monate-Mercurago du Piémont, de Ligurie et de la Lombardie occidentale (David *et al.*, 2017; Lachenal *et al.*, 2017). Ce dernier s'illustre notamment par des gobelets et jattes munies de longues surélévations en forme de hache (*ad ascia*). Son influence se fait sentir jusqu'en Provence occidentale, en Languedoc et en Auvergne, où le style proto Saint-Vérédème intègre des formes céramiques semblables, associées à des décors plus complexes.

Des datations par le radiocarbone, obtenues anciennement concernent la couche 5 de La Grotte Murée à Montagnac-Montpezat (Vital, 1999), la salle 2 de l'aven de La Mort de Lambert, où ont été mis au jour de nombreux vases de cette période (*ibid.*) et le site du Puech des Mailles à Poussan, improprement attribué au Bronze ancien (Montjardin, 1996). Plus récemment, des mesures radiocarboniques ont aussi été réalisées pour des sépultures de cette période du Mas Delfau à Perpignan (Rivalan, 2016) et de Pié-Fouquet à Rognes (Ropiot *et al.*, 2014).

La modélisation bayésienne à partir de six dates indique que cette phase couvre le XVIe s. av. n. è. (fig. 7). Les corrections apportées à la courbe IntCal 20 induisent cette fois encore un léger rajeunissement des datations de cette période. Une mise en place tardive du faciès de Monate-Mercurago dans le Sud de la France, au regard de ce qui est connu en Italie du Nord, semble donc se confirmer. Dans cette région, ce faciès est en effet daté de la fin du XVIIe s. av. n. è. et il est synchronisé avec le Bz A2b nord-alpin (David *et al.*, 2017). Notons toutefois que les dates dendrochronologiques obtenues pour le palafitte de Sabbione sont aussi compatibles avec une contemporanéité de ce site et du BM 1 du Sud de la France[7].

La seconde étape du Bronze moyen (11 dates) documentée dans le Sud-Est de la France pourrait condenser la seconde et la troisième phase identifiées dans le Nord-Ouest de l'Italie. Les styles céramiques de Provence centrale et orientale montrent en effet des affinités fortes avec les faciès successifs de Viverone (BM II) et Alba-Scamozzina 1 (BM III) occupant le même espace géographique que celui, précédant, de Monate-Mercurago (Gambari, 2004; Venturino Gambari et Giaretti, 2004; Rubat Borel, 2010; Lachenal *et al.*, 2017). Ce style semble s'étendre, au moins dans une phase avancée, au secteur méridional du Languedoc oriental, bien que des adaptations locales soient évidentes. Dans l'attente des données nous permettant de préciser sa périodisation, cette étape pourrait être dénommé BM 2-3. Les datations concernent surtout sa phase récente, avec les mesures obtenues au plateau Saint-Pierre à Tourtour (Vital, 1999), Pié-Fouquet (Ropiot *et al.*, 2014) et Bellepeire aux Pennes-Mirabeau (Scalisi et Hasler, 2020). Le tumulus nord du Collet Redon à la Couronne (Martigues, Bouches-du-Rhône) pourrait finalement aussi correspondre à

Phase	MAP	HPD Début	HPD Fin
Campaniforme Fin	-2178	-2262	-2111
BA 1 Début	-2156	-2228	-2081
BA 1 Fin	-1971	-2030	-1922
BA 2 Début	-1954	-2011	-1907
BA 2 Fin	-1846	-1898	-1791
BA3 Début	-1826	-1882	-1776
BA3 Fin	-1793	-1848	-1743
BA 4 Début	-1774	-1833	-1726
BA 4 Fin	-1633	-1680	-1574
BM 1 Début	-1610	-1661	-1552
BM 1 Fin	-1494	-1553	-1439
BM 2-3 Début	-1466	-1524	-1417
BM 2-3 Fin	-1321	-1368	-1277
BF 1a Début	-1309	-1355	-1265
BF 1a Fin	-1249	-1292	-1205
BF 1b Début	-1232	-1278	-1192
BF 1b Fin	-1165	-1211	-1122
BF 2a Début	-1155	-1201	-1110
BF 2a Fin	-1142	-1190	-1096
BF 2b Début	-1128	-1176	-1081
BF 2b Fin	-1043	-1094	-991
BF 3a Début	-1026	-1077	-972
BF 3a Fin	-964	-1018	-912
BF 3b Début	-940	-994	-895
BF 3b Fin	-804	-835	-768
Trans. B/F Début	-788	-820	-748

Figure 7 - Résultats de la modélisation bayésienne sous ChronoModel 2.0, exprimé en BC, courbe IntCal20. HPD, *Highest Probability Density region* à 95 % des dates de début et de fin des phases; MAP, *Mode a posteriori* des débuts et fin des phases.

7 1632 ± 32, 1599 ± 30, 1591 ± 30, 1583 ± 30 et 1563 ± 30 (De Marinis, 2009).

cette période, les décors excisés étant à ce jour surtout présents dans des contextes de la fin du Bronze moyen (Lachenal et Mercurin, 2017 ; Lachenal *et al.*, 2017).
Suivant la modélisation proposée (fig. 7), la période récente du Bronze moyen serait comprise entre le début du XVe et la fin du XVIe s. av. n. è., ce qui laisse effectivement du temps pour le développement de deux phases. Il couvrirait donc le Bz B récent, le Bz C1 et C2 de la chronologie nord alpine, avec lesquels ont été synchronisées les phases BM IIa, BM IIb et BM III proposées pour l'Italie du Nord par R. de Marinis (1999 ; David *et al.*, 2017).

3.3. Le Bronze final (45 dates)

Contrairement à ce que le changement de période le laisserait supposer, le début du Bronze final montre en France méridionale une continuité manifeste avec les styles de la fin du Bronze moyen. Plusieurs sites illustrent d'ailleurs une continuité d'occupation entre ces deux phases. Cette période voit l'apparition de plusieurs styles décoratifs dans l'espace rhodanien et méditerranéen, dont la portée est à la fois chronologique et géographique (Vital, 2014b). La sériation des documents permet de scinder le Bronze final 1 en deux étapes (BF 1a avec 6 dates et BF 1b avec 7 dates) correspondant au Bz D1 et au Bz D2 nord-alpin (Vital, 2004 ; 2014b ; Lachenal, 2014a ; Lachenal *et al.*, 2017). Pour la première phase, des datations par le radiocarbone ont notamment été réalisées pour des contextes de L'Euze (Convertini *et al.*, 2010), Piechegu (Bouchet *et al.*, 2020), et Pié-Fouquet (Ropiot *et al.*, 2014). Les résultats de la modélisation bayésienne indiquent que cette phase se développe entre le début et la première moitié du XIIIe av. n. è. (fig. 7). L'introduction de nouvelles datations dans ce modèle permet ainsi de rajeunir l'apparition du BF 1 par rapport aux précédentes propositions (Lachenal, 2014a et b ; Lachenal *et al.*, 2017). Cette chronologie est plus en accord avec la révision du cadre chronoculturel nord-alpin qui place le passage du Bz C au Bz D vers 1300 av. n. è. (David *et al.*, 2017).
Les contextes du Bronze final 1b ayant bénéficié de datations absolues occupent un espace géographique plus vaste. Deux mesures proviennent du site de l'avenue Raymond-Comboul à Nice (Alpes-Maritimes) dont le mobilier montre des connexions nombreuses avec les faciès d'Alba-Solero et de S. Antonino di Perti, caractérisant respectivement le Bronze récent II du Piémont et de la Ligurie (Mercurin, 2016 ; Lachenal *et al.*, 2017). Le site du Petit Garlambaut à Béziers (Hérault) illustre pour sa part un style occidental intégrant des céramiques à décor de cannelures fines de tradition continentale suggérant un synchronisme avec le Bz D2 (Mazière *et al.*, 2012 ; Lachenal *et al.*, 2017). Une date parfois jugée trop récente est issue du site de Port Ariane à Lattes (Vital, 2007 ; Vital, 2014b). Enfin, en Provence occidentale, des datations sur os humains brûlés ont été réalisées pour des tombes attribuées à cette période (Aujaleu *et al.*, 2013). Le modèle bayésien indique pour cette phase une plage de temps comprise entre la seconde moitié du XIIIe et la première moitié du XIIe s. av. n. è. (fig. 7).
L'individualisation du Bronze final 2a (Ha A1) avec deux dates reste en effet un problème épineux dans l'ensemble du Midi méditerranéen. Suite au reclassement de certains mobiliers caractérisant l'horizon de Binningen du Ha A1 dans le Bz D2 (Fischer, 1997 ; David-Elbiali, 2000 ; Roscio, 2018), J. Vital (2014b) a cependant proposé d'attribuer à cette période des corpus de moyenne vallée du Rhône associant des céramiques à cannelures douces orthogonales et les premiers éléments de tradition Rhin-Suisse-France orientale, comme les décors d'arceaux peignés. Cette chronologie est en effet compatible avec les nouvelles périodisations réalisées pour la Bourgogne, la Lorraine ou pour les nécropoles du Bassin parisien au Jura souabe, où ces traits typologiques interviennent dès cette phase (Ducreux, 2013 ; Klag *et al.*, 2013 ; Roscio, 2018). Dans la Drôme, les sites de Pancrace à Montboucher-sur-Jabron et de La Baume Sourde à Francillon (Drôme) pourraient caractériser cette étape (Vital, 2014b). À proximité, sur les marges provençales, le site des Juilléras à Mondragon présente aussi un faciès comparable (Lachenal, 2014b ; 2017), mais il n'a pas fait l'objet de datation absolue. Le seul contexte méridional ayant livré des mesures radiocarboniques est donc celui de Cureboussot à Redessan dans le Gard (Escallon *et al.*, 2017). Le mobilier de la phase ancienne de ce site se démarque en effet par la persistance de céramiques de tradition Bronze final 1, comme des jattes à épaulement et des jarres à rebord, associées à des formes d'obédience RSFO, comprenant des coupes à ressaut interne ou à pied haut, parfois munies de décors d'arceaux cannelés. Les dates obtenues pour deux sépultures dont le mobilier renvoie à cette phase ancienne sont trop peu nombreuses pour fixer précisément la place qu'occupe cette phase dans la chronologie méridionale. Le modèle bayésien indique une période correspondant à la première moitié du XIIe s. av. n. è. Il est donc compatible avec l'hypothèse d'une courte durée du Ha A1 proposée par ailleurs au nord des Alpes (Roscio, 2018, p. 346). On ne peut toutefois prédire si l'ajout d'autres mesures dans le modèle modifierait ou non ce résultat.
Les dates brutes de Cureboussot sont plus anciennes encore que celle obtenue pour le site de Pancrace[8]. Prises isolément, les datations par le radiocarbone sont néanmoins d'un faible secours pour caractériser la chronologie absolue des premières étapes du Bronze final, tant la courbe de calibration dendrochronologique est irrégulière entre 1370 et 1130 av. n. è. Un effet d'inversion et de plateau sur la calibration affecte cette période et il en résulte que les dates des contextes du BF1a au BF2a se chevauchent très largement (fig. 8).

8 Lyon-3518(GrA) : 2955 ± 30 BP (Vital 2014b).

Le Bronze final 2b (Ha A2), avec 7 dates, correspond pour sa part à la mise en place d'un style propre au Midi de la France, localisé sur le pourtour méridional du Massif central (style PMMC), qui intègre et réinterprète les éléments RSFO présents lors de l'étape précédente (Vital *et al.*, 2012 ; Vital, 2014b ; Lachenal, 2011b ; 2014b ; 2017). Des contextes s'y rapportant ont notamment été datés par le radiocarbone à Laprade à Lamotte-du-Rhône (Billaud, 1999), Château-l'Arc à Fuveau (Hasler, 2015 ; Lachenal, 2017) et au Roc de Conilhac à Gruissan (Lachenal *et al.*, 2020a). Les résultats du modèle bayésien orientent la datation de cette phase lors de la première moitié du XIe s. av. n. è., en accord avec la chronologie admise pour le Ha A2 (David-Elbiali et Moinat, 2005).

Le Bronze final 3a (4 dates) fait partie des périodes dont peu de contextes ont été datés par le radiocarbone. Il semblerait par ailleurs que ce soit essentiellement des sites correspondant au Ha B1 récent qui ont bénéficié de mesures. Ces derniers se caractérisent par la présence de vases ornés de décors effectués au peigne bifide prenant la forme de motifs géométriques ou de lignes horizontales, présents sur des jattes ou sur le bord interne des coupes. Un style comparable est présent dans l'ensemble de la France méditerranéenne, de la Provence aux Pyrénées, et préfigure en Languedoc le faciès Mailhac I du Bronze final 3b (Lachenal, 2011a ; Gascó, 2014 ; Dedet, 2014). Les sites de cette phase ayant bénéficié de mesures sont principalement le Bastidon à Sillan-la-Cascade dans le Var (Bérato et Degaugue, 1999 ; Lachenal, 2011a) et le Laouret à Floure dans l'Aude (Gascó, 1996). Ces dates sont anciennes et il serait utile de les compléter par d'autres mesures, mais en dépit de leur éloignement géographique, les résultats bruts apparaissent cohérents. Malgré les lacunes de documentation concernant cette période, le modèle bayésien la place entre la fin du XIe et le début du Xe s. av. n. è. Cette chronologie est conforme avec celle du Ha B1 établie à partir des mesures dendrochronologiques sur les sites littoraux de Suisse occidentale (David-Elbiali et Dunning, 2005 ; David-Elbiali, 2013). Les quelques comparaisons possibles entre les styles céramiques de cette région et du Midi de la France peuvent confirmer ce synchronisme.

La dernière phase de l'âge du Bronze (BF 3b), avec 13 dates, jouit d'une documentation abondante en France méridionale. Elle enregistre en effet une augmentation substantielle du nombre de sites d'habitats et correspond, en Languedoc occidental et en Roussillon, au développement de grandes nécropoles à crémations pouvant rassembler plusieurs centaines de tombes (Py, 1990 ; Janin, 1996). Du Rhône à l'Ampourdan, cette période correspond au développement du style Mailhac 1, qui se caractérise notamment par des décors géométriques et figuratifs incisés au trait double (Guilaine, 1972 ; Janin, 1999). Des éléments communs avec ce faciès se retrouvent aussi en Provence occidentale, où se développe néanmoins un style régional marqué par des connexions avec les régions rhodanienne et alpine, tandis que dans les Alpes-Maritimes, les liens avec la Ligurie sont plus marqués (Lachenal, 2011a). Cette période est donc bien caractérisée, mais paradoxalement, les sites ayant fait l'objet de datations par le radiocarbone ne sont que peu nombreux. Des mesures répondant aux critères de sélection proviennent notamment de Tonnerre I à Mauguio (Dedet et Py, 1985) et d'un foyer du site de Château Blanc à Ventabren (Hasler, 2002). La majorité des datations utilisées sont donc celles obtenues pour les unités stratigraphiques du Bronze final 3b du site de La Motte à Agde (Hérault), constituant un référentiel conséquent de plus d'une dizaine de mesures (Lachenal *et al.*, 2020b). L'ensemble de ces résultats permet de placer cette phase entre la seconde moitié du Xe et le début du IXe s. av. n. è. (fig. 7). Elle couvre

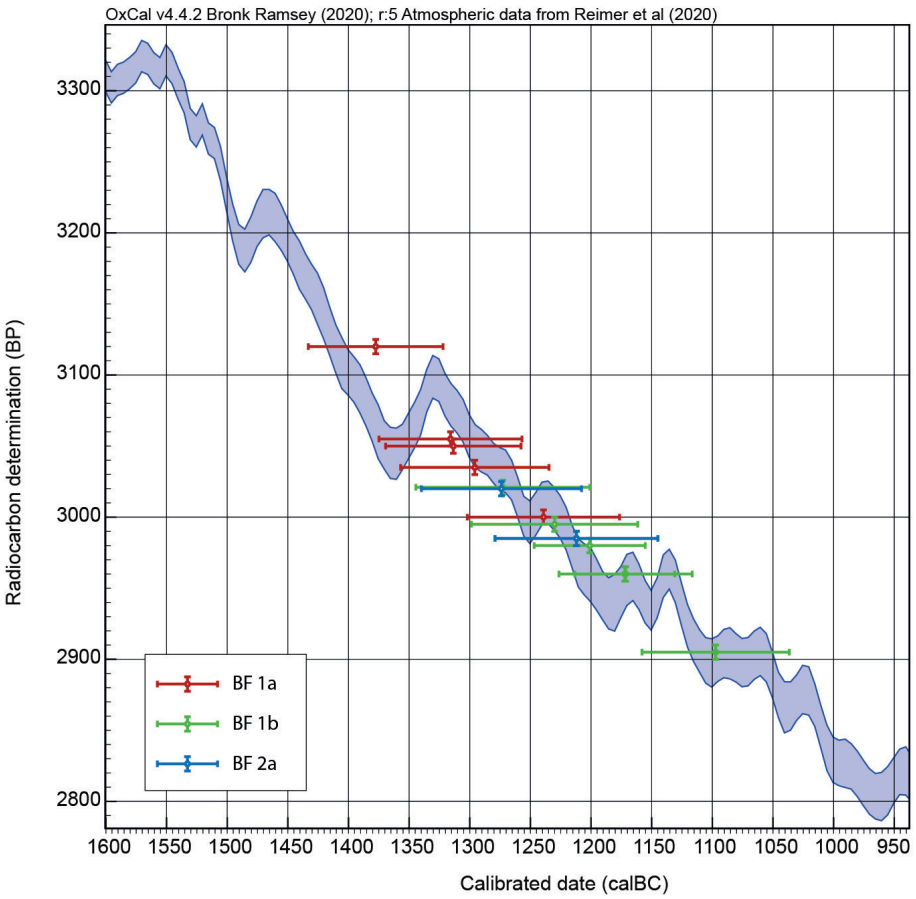


Figure 8 - Dates radiocarbone des débuts du Bronze final de France méditerranéenne placées sur la courbe de calibration dendrochronologique IntCal 20 (Oxcal 4.4). Les barres correspondent à l'écart-type et le centre à la médiane (T. Lachenal).

donc le Ha B2 et le Ha B3 de la chronologie nord-alpine (David-Elbiali et Dunning, 2005 ; David-Elbiali, 2013), en accord avec ce qui est traditionnellement proposé en France continentale (ex : Brun, 1988).

Par la suite, le passage de l'âge du Bronze à l'âge du Fer est marqué en France méridionale par une période dite « de transition », identifiée à partir de la sériation des mobiliers des nécropoles à crémation. Celle-ci se définit par une évolution des formes du mobilier céramique, alors que les premiers objets en fer ne sont pas encore présents dans les corpus méridionaux (Janin, 1992 ; Taffanel et Janin, 1998). Cette évolution, pendant longtemps perceptible uniquement par l'intermédiaire du mobilier funéraire, est enregistrée dans la séquence stratigraphique du site domestique de La Motte (Lachenal *et al.*, 2020b), où trois contextes ont été datés par le radiocarbone (6 dates). En Provence, cette périodisation est plus complexe à identifier, mais une datation est disponible pour le tumulus du Moullard Sud à Lambesc (Bouches-du-Rhône) qui est attribué à cette période (Boissinot *et al.*, 1998 ; Dedet, 2002). Le modèle bayésien permet de placer cette phase au début du VIIIe s. av. n. è. Elle correspondrait donc au Hallstatt C précoce (ou Ha C1) de la chronologie nord-alpine (David-Elbiali et Dunning, 2005). Son terme, placé par convention entre 750 et 725 av. n. è. est en revanche impossible à définir à partir du radiocarbone. Ces dates sont en effet les plus récentes à pouvoir être utilisées pour la protohistoire. Car si les mesures dont le résultat non calibré est antérieur à 2530 BC ont de fortes probabilités de correspondre au VIIIe s. av. J.-C., les suivantes s'étalent sur « le plateau du Hallstatt ». Cette irrégularité de la courbe de calibration dendrochronologique rend l'utilisation du radiocarbone imprécise pour toute la période comprise entre 750 et 400 av. n. è. D'autre part, le recours aux statistiques bayésiennes pour contrer cet effet de plateau peut, plus qu'ailleurs, générer une précision illusoire (Steier et Rom, 2000).

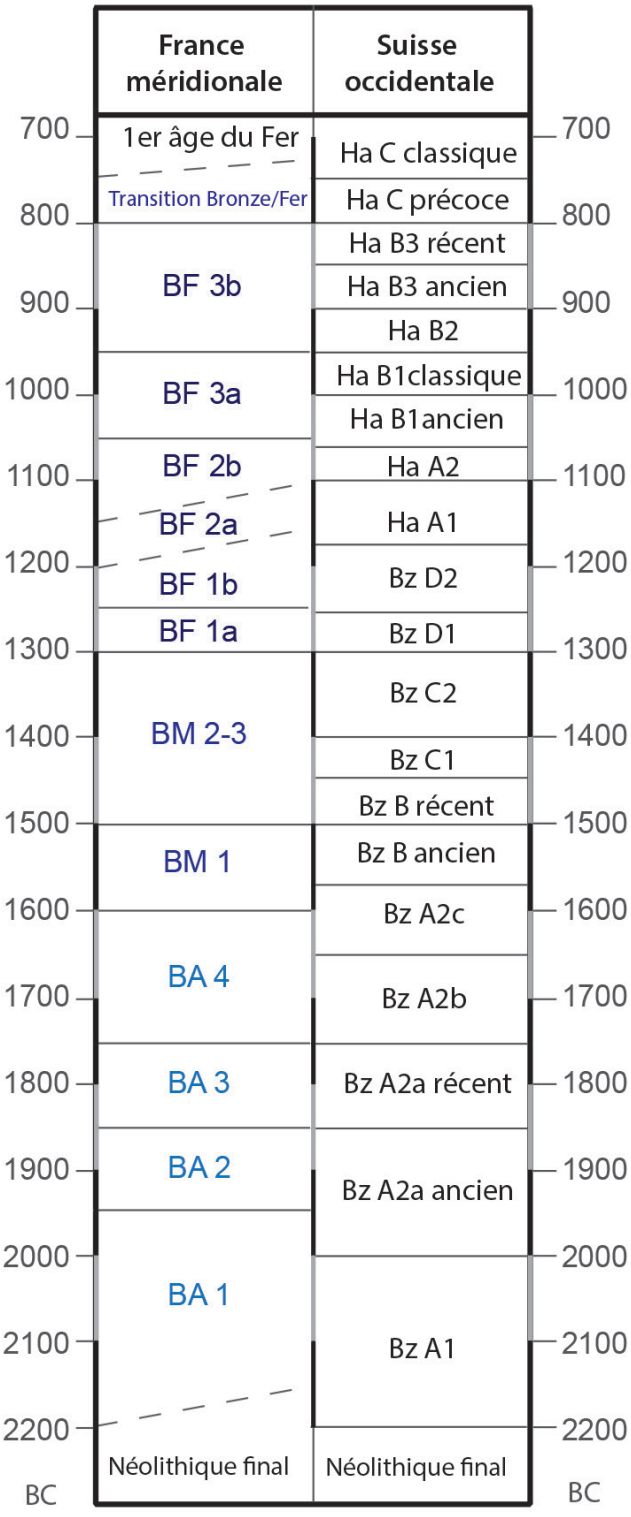


Figure 9 - Tableau de corrélation chronologique entre le sud-est de la France et la Suisse occidentale à l'âge du Bronze (d'après les résultats de la modélisation bayésienne et d'après David-Elbiali et Dunning 2005 ; David-Elbiali et David 2010 ; David *et al.* 2017).

4. Conclusion

Ce travail de combinaison entre les blocs typologiques identifiés par l'étude des productions céramiques et les datations absolues fournies par le radiocarbone peut être considéré comme un chantier perpétuel. Ce référentiel mérite en effet d'être complété, notamment pour ce qui concerne certaines périodes mal documentées. L'obtention de nouvelles mesures radiocarboniques pourra probablement en faire bouger les lignes, jusqu'à ce que le corpus soit assez fiable et fourni pour que le modèle se stabilise. Un affinement de la périodisation peut également être attendu pour certaines séquences. La méthode en elle-même nous semble néanmoins un moyen efficace d'approcher la chronologie absolue des phases matérialisées par l'évolution du mobilier. L'apport principal des modélisations bayésiennes est qu'elles permettent de s'affranchir des probabilités maximales, en prenant en compte toutes les incertitudes sur les dates. Il est en effet tentant, lorsque l'on cherche à fixer dans le temps des phénomènes dont le cadre de référence utilise le pas du siècle comme approximation chronologique, de ne retenir que les résultats centraux des datations calibrées, données généralement à 68 % de confiance. Mais ce choix est critiquable d'un point de vue statistique

(Gascó, 2001). L'usage des modélisations bayésiennes permet également de concilier les données de chronologies absolues et relatives, qui ne sont ainsi pas considérées *a priori* comme primant l'une sur l'autre.

Lors d'un précédent article (Lachenal, 2014b), un premier modèle basé sur un nombre plus restreint de datations, traitées avec le logiciel OxCal 4.1., montraient des décalages avec la chronologie nord-alpine. La nouvelle modélisation proposée dans cet article, élargie à un territoire plus conséquent, enrichie de nouvelles dates, bénéficiant d'une nouvelle courbe de calibration (IntCal 20) et basée principalement sur les résultats de ChronoModel, s'accorde pour sa part relativement bien avec ce qui est proposé actuellement pour le Plateau suisse, en tenant compte notamment des datations dendrochronologiques (fig. 9). Il ne faut pas considérer ces résultats comme intangibles, mais ils valident l'intérêt de la méthode proposée, qui pourra à terme générer un solide référentiel chronologique régional.

Ce travail a bénéficié du soutien du LabEx ARCHIMEDE au titre du programme « Investissement d'Avenir » ANR-11-LABX-0032-01.

Thibault Lachenal

Chargé de recherche CNRS
ASM - Archéologie des Sociétés Méditerranéennes,
UMR5140, université Paul-Valéry Montpellier, CNRS, MC,
F-34000 Montpellier.
thibault.lachenal@cnrs.fr

Annexe

Phase	Dép.	Commune	Site	Contexte	Mat. daté	Code labo.	Age BP	±	Biblio.
BA1	30	Nîmes	Georges Besse II	US 1106	os	Erl-11095	3749	45	Escallon *et al.*, 2008
BA1	30	Nîmes	Georges Besse II	US 1107	os	Erl-11096	3642	45	Escallon *et al.*, 2008
BA1	84	Grillon	Gte Coutelier	Dépôt inf.	os humain	Ly-3088(Poz)	3720	40	Vital *et al.*, 2012
BA1	84	Grillon	Gte Coutelier	Dépôt sup.	os humain	Ly-2996(Poz)	3595	45	Vital *et al.*, 2012
BA1	30	Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan	Aven Roger	C. 7-8	charbons	Gif-9868	3680	60	Jallot *et al.*, 1996
BA1	30	Aubais	Les Pins	FS 047-MR 016	os	Ly-2501(Poz)	3665	45	Vital *et al.*, 2012
BA1	84	Mondragon	Les Juilleras	Sect 1 F3	charbons	AA-31697	3635	50	Lemercier, 2004
BA1	13	Aix-en-Provence	Clos Marie-Louise	US 107	charbons	Eth-16852	3630	55	Vignaud, 2002
BA1	13	Le Rove	Camp de Laure	carré O51	os	Ly-1350	3630	50	Vital *et al.*, 2012
BA1	13	Le Rove	Camp de Laure	carrés O39-O43	os	Ly-1349	3600	50	Vital *et al.*, 2012
BA2	83	Saint-Maximin	Chemin de Barjols	ST 1028	os	Poz-30625	3610	40	Lachenal, 2014b
BA2	83	Aups	Collège Henri-Nans	FS1 US 103	charbon	Poz-105938	3595	35	Digelmann *et al.*, à paraitre
BA2	83	Aups	Collège Henri-Nans	FS1 US 104	charbon	Poz-105939	3540	35	Digelmann *et al.*, à paraitre
BA2	30	Bagnols-sur-Cèze	L'Euze	FS 1015	os	GrA-23313	3570	50	Convertini *et al.*, 2010
BA2	83	Saint-Maximin	Chemin d'Herbous	US 2039	cotylédon gland	Poz-30385	3565	35	Lachenal, 2014b
BA2	83	Saint-Maximin	Chemin d'Herbous	US 2079	cotylédon gland	Poz-30384	3525	35	Lachenal, 2014b
BA2	83	Saint-Maximin	Chemin d'Herbous	US 2065	cotylédon gland	Poz-30382	3525	35	Lachenal, 2014b
BA2	84	Goult	Irrisson		charbon	Ly-1028 OXA	3560	55	Buisson-Catil, 2002a
BA2	84	Ménerbes	Travers des Bagarettes		os humain	Ly-4883 (SacA-10376)	3555	30	Tchérémissinoff *et al.*, 2010
BA3	83	Saint-Maximin	Chemin de Barjols	ST 1026	os humain	Poz-29414	3500	35	Lachenal, 2014b
BA3	83	Saint-Maximin	Clos de Roque	ST 1001	charbon	Poz-49387	3495	30	Remicourt *et al.*, 2014
BA3	06	Valbonne	Mort de Lambert	Boyau	blé carb.	Ly-5394	3480	50	Lachenal et Rucker, 2009
BA4	34	Montpellier	Cavalade	ST 1547	graine lentisque	Poz-71666	3470	40	Convertini *et al.*, 2016
BA4	34	Montpellier	Cavalade	ST 828 US2	faune	Poz-66049	3465	35	Convertini *et al.*, 2016
BA4	34	Montpellier	Cavalade	ST 879 US5	chêne	Poz-66486	3440	35	Convertini *et al.*, 2016
BA4	83	Saint-Maximin	Chemin de Barjols	ST 1036	os	Poz-29412	3420	35	Lachenal, 2014b
BA4	13	Velaux	Bastide Neuve III	FY 13	charbon pin	Poz-42135	3450	30	Sargiano *et al.*, 2018
BA4	13	Velaux	Bastide Neuve III	SI 17	charbon pin	Poz-42132	3410	35	Sargiano *et al.*, 2018
BA4	13	Velaux	Bastide Neuve II	SI 1	charbon arbousier	Poz-36684	3375	30	Ropiot et Lachenal, 2011
BA4	13	Velaux	Bastide Neuve III	FY 84	Charbon pin	Poz-42136	3360	25	Sargiano *et al.*, 2018

BA4	30	Garons	Mitra 3	SP 10	os humain	Poz-50755	3450	35	Sendra *et al.*, 2016
BA4	30	Garons	Mitra 3	SP122	os humain	SUERC-44806(GU29697)	3365	35	Sendra *et al.*, 2016
BA4	30	Saint-Victor-la-Coste	Mayran	SP 1083	os humain	Ly-8889 (GrA)	3395	30	Buffat et Petitot, 1997
BM1	66	Perpignan	Mas Delfau	St1006	os humain	Poz-50373	3400	35	Rivalan, 2016
BM1	13	Rognes	Pié-Fouquet	SP68	os humain	Poz-50746	3335	35	Ropiot *et al.*, 2014
BM1	06	Grasse	Médiathèque	US40112	carporeste	CIRAM-AG61	3310	25	Blanc-Garidel, 2020
BM1	34	Poussan	Puech des Mailles		charbon	GIF-7351	3250	70	Montjardin, 1996
BM1	06	Valbonne	Mort de Lambert	salle 2	blé carbonisé	Ly-5394	3245	65	Vital, 1999
BM1	04	Montagnac-Montpezat	Grotte Muree	couche 5	charbons	Utc-7209	3221	42	Vital, 1999
BM2-3	06	Grasse	Médiathèque	US40110	carporeste	CIRAM-AG60	3220	35	Blanc-Garidel, 2020
BM2-3	13	Martigues	Collet-Redon	Tumulus-Nord	os humain		3150	45	inédit
BM2-3	84	Crillon-le-Brave	La Blaoute	F3		GsY-10381	3130	50	Buisson-Catil, 2002b
BM2-3	83	Tourtour	Plateau Saint-Pierre	SiAX	os de suidé	Utc-7210	3119	43	Vital, 1999
BM2-3	13	Rognes	Pié-Fouquet	FS35	canine suiné	Beta-337496	3090	30	Ropiot *et al.,* 2014
BM2-3	30	Bellegarde	Piechegu	FS4103	faune	Poz-104722	3090	30	Bouchet *et al.*, 2020
BM2-3	30	Bellegarde	Piechegu	FS3683	faune	Poz-104723	3080	35	Bouchet *et al.*, 2020
BM2-3	13	Rognes	Pié-Fouquet	FS22	céréale carb.	Beta-337493	3080	30	Ropiot *et al.*, 2014
BM2-3	13	Les Pennes-Mirabeau	Bellepeire	FS1204	charbon	Beta-437976	3060	30	Scalisi et Hasler, 2020
BM2-3	06	Grasse	Médiathèque	US40032	carporeste	CIRAM-AG58	3030	25	Blanc-Garidel, 2020
BM2-3	13	Rognes	Pié-Fouquet	FS46	prémolaire de chien	Beta-337494	3020	30	Ropiot *et al.*, 2014
BF1a	30	Bagnols-sur-Cèze	L'Euze	FS5	os de bovidé	GrA-23316	3120	40	Convertini *et al.*, 2010
BF1a	30	Bagnols-sur-Cèze	L'Euze	FS4	os de bovidé	GrA-23314	3055	40	Convertini *et al.*, 2010
BF1a	30	Bellegarde	Piechegu	FS4028	faune	Poz-104724	3050	35	Bouchet *et al.*, 2020
BF1a	34	Mèze	Mas de Garric Nord		charbon	Poz-37950	3035	35	Laroche, 2012
BF1a	13	Rognes	Pié-Fouquet	FS80	céréale carb.	Beta-337497	3000	30	Ropiot *et al.*, 2014
BF1a	30	Bellegarde	Piechegu	FS4011	faune	Poz-104721	2985	35	Bouchet *et al.*, 2020
BF1b	34	Béziers	Petit Garlambaut	St41	charbon	Erl-12627	3021	41	Lachenal *et al.*, 2017
BF1b	13	Aix-en-Provence	Le Conservatoire	TB37	os humain calciné	Poz-42731	2995	35	Aujaleu *et al.*, 2013
BF1b	06	Nice	Av. R. Comboul	US5542	faune	CIRAM-AF09	2980	20	Lachenal *et al.*, 2017
BF1b	34	Agde	La Motte II	Bât. C p2	bois		2975	30	Laurent et Caratto, 2016
BF1b	13	Aix-en-Provence	Le Conservatoire	TB33	os humain calciné	Poz-42733	2960	30	Aujaleu *et al.*, 2013
BF1b	06	Nice	Av. R. Comboul	US5542	faune	CIRAM-AF07	2960	20	Lachenal *et al.*, 2017
BF1b	34	Lattes	Port-Ariane	st.23046	faune	Ly-10189	2905	35	Vital, 2017
BF2a	30	Redessan	Cureboussot	SP1041	os humain	Poz-66995	3020	35	Escallon, 2017

BF2a	30	Redessan	Cureboussot	SP1161	os humain	Poz-66993	2985	35	Escallon, 2017
BF2b	13	Fuveau	Château-l'Arc	FS2008	faune	Poz-49489	2930	30	Hasler, 2015
BF2b	13	Fuveau	Château-l'Arc	FS2069	charbon	Poz-49492	2910	25	Hasler, 2015
BF2b	11	Gruissan	Roc de Conilhac	US304	charbon	Poz-68184	2925	35	Lachenal *et al.*, 2020a
BF2b	84	Lamotte-du-Rhône	Laprade		charbon (Quercus)	Arc-1623	2910	50	Billaud, 1999
BF2b	84	Lamotte-du-Rhône	Laprade		charbon (Quercus)	Arc-1616	2910	50	Billaud, 1999
BF2b	30	Bellegarde	Piechegu	FS1101		Beta-408141	2900	30	Bouchet *et al.*, 2020
BF2b	84	Lamotte-du-Rhône	Laprade		charbon (Quercus)	Arc-1620	2890	50	Billaud, 1999
BF3a	34	Montesquieu	Les Devèzes	US 1134	graine orge	Poz-123544	2900	30	inédit
BF3a	83	Sillans-la-Cascade	Le Bastidon	US104	charbon	Ly-8333	2865	45	Bérato et Degaugue, 1999
BF3a	83	Sillans-la-Cascade	Le Bastidon	US103	charbon	Ly-8334	2815	50	Bérato et Degaugue, 1999
BF3a	11	Floure	Le Laouret			Ly-6410	2805	55	Gascó, 1996
BF3b	34	Agde	La Motte	US105.17	Bois (branche)	Poz-129419	2795	30	inédit
BF3b	34	Agde	La Motte	D26 US 4	*Triticum dicoccum*	Ly-9038	2765	30	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	34	Mauguio	Tonnerre I			Mc-2451	2740	70	Dedet et Py, 1985
BF3b	34	Agde	La Motte	D26 US 15 Pieu 257	Bois *Quercus* d. ernes)	Ly-11443	2730	30	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	34	Agde	La Motte	C22 US 22	Bois (branche)	Poz-129417	2730	30	inédit
BF3b	34	Agde	La Motte	US105.11	Tenon (bois)	Poz-129413	2710	30	inédit
BF3b	34	Agde	La Motte	D26 US 16	Bois (branche)	Ly-11446	2710	30	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	34	Agde	La Motte	D26 US 11	Caryopse *Triticum dicoccum*	Ly-9039	2705	30	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	34	Agde	La Motte	D87 US 22	Résidu carbonisé	Poz-96358	2700	35	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	34	Agde	La Motte	D26 US 13	Bois (branche)	Ly-11444	2700	30	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	13	Ventabren	Château Blanc	foyer		Arc-1267	2695	50	Hasler, 2002
BF3b	34	Agde	La Motte	D87 US12	Charbon (branche)	Poz-96359	2690	35	Lachenal *et al.*, 2020b
BF3b	34	Agde	La Motte	C22 US19	Bois (branche)	Poz-111143	2655	35	Lachenal *et al.*, 2020b
Trans. B/F	30	Bellegarde	Piechegu	FS7561	faune	Poz-104725	2560	35	Bouchet *et al.*, 2020
Trans. B/F	34	Agde	La Motte	C23 US15	Bois (branche)	Poz-96229	2555	30	Lachenal *et al.*, 2020b
Trans. B/F	34	Agde	La Motte	C23 US13	Bois (branche)	Poz-96360	2525	35	Lachenal *et al.*, 2020b
Trans. B/F	34	Agde	La Motte	US105.03	Planche (bois)	Poz-129414	2510	30	inédit
Trans. B/F	30	Laudun-l'Ardoise	Saint-Maurice	FS1052	Faune	Beta-483252	2460	30	Tarrou, 2018
Trans. B/F	30	Lambesc	Moullard sud	Tumulus		Arc-1416	2450	90	Boissinot *et al.*, 1998

Bibliographie

Arnal J. et Prades H., 1956, « À propos de la civilisation des Champs d'Urnes en France. Coup d'œil sur le Midi », *Revue archéologique de l'Est*, 7, 1, p. 7-18.

Audibert J. et Bousquet J., 1957, « Essai chronologique sur l'âge du Bronze Bas-Languedocien », *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 4, p. 249-286.

Audibert J. et Delord L., 1959, « Essai de synchronisation entre l'âge du Bronze du Midi et celui du Nord-Est de la France », *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est*, 10, p. 7-23.

Aujaleu A., Granier G. et Lachenal T., 2013, « Un ensemble funéraire du début du Bronze final à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône) : les sépultures secondaires à crémation du site du Conservatoire », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 110, 4, p. 719-743.

Bérato J., Magnin F., 1989, « Le Touar, Les Arcs-sur-Argens (Var). Un habitat de plaine du Bronze final II/IIIa et du premier âge du Fer dans son environnement », *Documents d'Archéologie méridionale,* 12, p. 7-40.

Bérato J. et Degaugue F., 1999, « Le Bastidon, Sillans-la-Cascade (Var). Un gisement de plein air du Bronze final IIIa en milieu palustre », *Documents d'Archéologie méridionale*, 22, p. 117-137.

Billaud Y., 1999, « Laprade, Lamotte-du-Rhône (Vaucluse) : un habitat de plaine à architecture de terre au Bronze final 2b », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 96, 4, p. 607-621.

Blanc-Garidel F. (dir.), 2020, *Médiathèque Charles Nègre, Grasse, Alpes-Maritimes*, rapport final d'opération archéologique, vol. 4, t. 1, Rapports de spécialistes, Hadès, 455 p.

Boissinot P., Cordier L. et Marrou P., 1998, « Un transect dans le vallon du Bourrely à Lambesc, Bouches-du-Rhône (opération TGV Méditerranée). Morphogénèse et habitat préhistorique », dans D'Anna A. et Binder D. (dir.), *Production et identité culturelle. Actualité de la recherche. Rencontres méridionales de préhistoire récente, Actes de la deuxième session (Arles, 1996)*, Antibes, APDCA, p. 393-401.

Bouchet M., Bovagne M., Lachenal T., Peche-Quilichini K., Ratsimba A. et Roure R., 2020, *Occitanie, Gard, Bellegarde, Piechegu Ouest. Un territoire occupé du paléolithique jusqu'à l'époque moderne. Tome III de la Préhistoire récente à l'époque moderne, Partie 2 la Protohistoire*, rapport de fouille, Inrap Méditerranée, 208 p.

Bronk Ramsey C., 2009, « Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates », *Radiocarbon*, 51, 1, p. 337-360.

Brun P., 1988, « L'entité Rhin-Suisse-France orientale, nature et évolution », dans Brun P. et Mordant C. (dir.), *Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de la civilisation des Champs d'Urnes. Actes du colloque international de Nemours 1986*, Nemours, Mémoire du musée de Préhistoire d'Île-de-France, 1, p. 599-620.

Buffat L. et Petitot H., 1997, « Saint-Victor-la-Coste – Mayran », *ADLFI. Archéologie de la France - Informations*, *Languedoc-Roussillon*, 30, [http://journals.openedition.org/adlfi/11999].

Buisson-Catil J., 2002a, « Irrisson (Goult) », dans Buisson-Catil J. et Vital J. (dir.), *Âges du Bronze en Vaucluse*, Notices d'Archéologie Vauclusienne, 5, Le Pontet, Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence, 4, p. 73-75.

Buisson-Catil J., 2002b, « La Blaoute (Crillon-le-Brave) », dans Buisson-Catil J. et Vital J. (dir.), *Âges du Bronze en Vaucluse*, Notices d'Archéologie Vauclusienne, 5, Le Pontet, Travaux du Centre d'Archéologie préhistorique de Valence, 4, p. 119.

Convertini F., Vital J., Rodet-Belarbi I. et Manniez Y., 2010, « Les occupations du site de terrasse de l'Euze à Bagnoles-sur-Cèze (Gard) du Néolithique final au Bronze final 1 », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 107, 2, p. 291-329.

Convertini F., Jallet F., Marsac R., Vergély H., Bruxelles L., Cattin F., Labaune M., Lachenal T. et Remicourt M., 2016, « Les occupations de plein air du Néolithique final et du Bronze ancien de La Cavalade à Montpellier (Hérault) », dans Cauliez J., Sénépart I., Jallot L., de Labriffe P.-A., Gilabert C. et Gutherz X. (dir.), *De la tombe au territoire & actualité de la recherche. Actes des 11e rencontres méridionales de préhistoire récente (Montpellier, 25-27 septembre 2014)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 247-261.

David W., David-Elbiali M., De Marinis R. C. et Rapi M., 2017, « Le Bronze moyen et récent en Italie du Nord, Allemagne du Sud et Suisse et corrélation des systèmes chronoculturels », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Veber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (XVIIe-XIIIe s. av. n. è.). Actes du colloque APRAB « Bronze 2014 » (Strasbourg, 2014)*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 565-600.

David-Elbiali M., 2000, *La Suisse occidentale au IIe millénaire av. J.-C. : chronologie, culture, intégration européenne*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande, 80.

David-Elbiali M., 2013, « La chronologie nord-alpine du Bronze final (1200-800 av. J.C.) : entre métal, céramique et dendrochronologie », dans Leclercq W. et Warmembol E. (dir.), *Échanges de bons procédés. La céramique du Bronze final dans le Nord-Ouest de l'Europe. Actes du colloque international de Bruxelles 2010*, Bruxelles, Études d'Archéologie, 6, p. 181-197.

David-Elbiali M. et David W., 2010, « À la suite de Jacques-Pierre Millotte, l'actualité des recherches en typologie sur l'âge du Bronze, le Bronze ancien et le début du Bronze moyen : cadre chronologique et liens culturels entre l'Europe nord-alpine occidentale, le monde danubien et l'Italie du Nord », dans Richard A., Barral P., Daubigney A., Kaenel G., Mordant C., Piningre J.-F. (dir.), *L'isthme européen Rhin-Saône-Rhône dans la protohistoire. Approches /nouvelles en hommage à Jacques-Pierre Millotte. Actes du colloque de Besançon 2006*, Besançon, Annales Littéraires, Série Environnement, sociétés et archéologie, p. 311-340.

David-Elbiali M., Dunning C., 2005, « Le cadre chronologique relatif et absolu au nord-ouest des Alpes entre 1060 et 600 av. J.-C. », dans Bartoloni G. et Delpino F. (dir.), *Oriente e Occidente: metodi e discipline a confronto. Riflessioni sulla cronologia dell'età del Ferro italiana. Actes de la rencontre d'étude de Rome 2003*, Pise, Rome, Mediterranea 1, p. 145-195.

David-Elbiali M. et Moinat P., 2005, « Le Bronze final de la Suisse occidentale : révision du cadre chronotypologique, grâce aux découvertes de la nécropole de Lausanne-Vidy (canton de Vaud, Suisse) », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102, 3, p. 613-624.

De Marinis R. C., 1999, « Towards a relative and absolute chronology of the Bronze Age in Italy », *Notizie archeologiche bergomensi*, 7, p. 23-100.

De Marinis R. C., 2009, « La palafitta del Sabbione nel lago di Monate », dans De Marinis R. C., Massa S. et Pizzo M. (dir.), *Alle origini di Varese e del suo territorio. Le collezioni del sistema archeologico provinciale*, Rome, L'Erma Di Bretschneider, p. 661-668.

Dedet B., 2002, « Archéologie funéraire protohistorique sur le tracé du TGV dans la vallée du Rhône et en Provence occidentale », dans *Archéologie du TGV Méditerranée, Fiches de synthèse*, t. 2, *La Protohistoire*, Lattes, Monographies d'archéologie méditerranéenne, 9, p. 351-358.

Dedet B., 2012, « Le style céramique du Bronze final IIIa en Languedoc oriental », *Documents d'Archéologie méridionale*, 35, 2014, p.85-126.

Dedet B. et Py M., 1985, *L'Occupation des rivages de l'étang de Mauguio (Hérault) au Bronze Final et au premier âge du Fer*, t. 3 : *Synthèses et annexes*, Caveirac, Cahier de l'Association pour la Recherche archéologique en Languedoc oriental, 13.

Digelmann P., Mercurin R., Giner S., 2020, « Découverte d'un dépôt de mobilier céramique de l'âge du Bronze ancien, collège Henri-Nans à Aups (Var) », *Bulletin archéologique de Provence*, 41.

Ducreux F., 2013, « Les faciès céramiques dans le Centre-Est de la France de la fin de l'âge du Bronze moyen au début du Bronze final », dans Leclercq W. et Warmembol E. (dir.), *Échanges de bons procédés. La céramique du Bronze final dans le Nord-Ouest de l'Europe, actes du colloque international de Bruxelles 2010*, Études d'Archéologie, 6, Bruxelles, p. 59-83.

Escallon G. (dir.), 2017, *Occitanie, Gard Ligne Grande Vitesse - Contournement Nîmes-Montpellier Secteur 23bis, Redessan – Cureboussot. Une nécropole de l'âge du Bronze final. Des occupations du Néolithique et de l'Antiquité tardive*, rapport d'opération. Fouille archéologique, Inrap Méditerranée.

Escallon G., Furestier R., Lachenal T., Convertini F. et Forest V., 2008, « Le parc Georges Besse II : un site du Bronze ancien épicampaniforme à Nîmes (Gard) », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 105, 3, p. 517-537.

Escallon G., Tchérémissinoff Y., Mazière F., Lachenal T. et Ferraz A.-L., 2017, « Les tombes à inhumation en habitat de l'âge du Bronze final du site de Cureboussot à Redessan », dans Dusseaux D., Ode B., Gilabert C. et Breuil J.-Y. (dir.), *Circulez, y a tout à voir! Archéologie des grands travaux entre Nîmes et Montpellier*, site archéologique Lattara/musée Henri-Prades, Gand, Snoeck, p. 38-39.

Fischer C., 1997, *Innovation und Tradition in der Mittel- und Spätbronzezeit*, Zürich, Monographien der Kantonsarchäologie, 28.

Gallay A., 1989, « Place et fonction du temps dans les constructions archéologiques », dans Mohen J.-P. (dir.), *Le temps de la préhistoire*, Paris/Dijon, Société préhistorique française/*Archéologia*, p. 80-83.

Gambari F., 2004, « Le necropoli a cremazione nel quadro dell'età del Bronzo recente in Piemonte », dans Cocchi Genick D. (dir.), *L'età del bronzo recente in Italia. Atti del Congresso nazionale di Lido di Camaiore 2000*, Viareggio, Baroni, p. 53-60.

Gascó J., 1985, « Histogrammes et dates radiocarbone », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 82, 4, p. 108-111.

Gascó J., 1996, *Le Laouret et la montagne d'Alaric à la fin de l'âge du Bronze. Un hameau abandonné entre Floure et Monze (Aude)*, Toulouse/Carcassonne, Centre d'Anthropologie EHESS-CNRS/ Archéologie en Terre d'Aude.

Gascó J., 2001, « La datation absolue de la protohistoire du XXIIe au VIIIe s. av. n. è. dans le Sud de la France », *Documents d'archéologie méridionale*, 24, p. 221-229.

Gascó J., 2014 [2012], « La céramique des cultures de l'extrême fin de l'âge du Bronze en Languedoc occidental », *Documents d'archéologie méridionale*, 35, p. 127-149.

Gascó J., Briard J., Gomez J., Mordant C., Vital J. et Voruz J.-L., 1996, « Chronologie de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer de la France continentale », dans Randsborg K., *Absolute Chronology, Archaeological Europe 2500-500 BC, actes du congrès de Vérone 1995*, Copenhague, Acta archaeologica, 67.

Guilaine J., 1972, *L'âge du Bronze en Languedoc occidental, Roussillon, Ariège*, Paris, Mémoire de la Société préhistorique française, 9.

Guilaine J. et Gascó J., 1989, « Médor et la chronologie de l'âge du Bronze en Languedoc », dans Guilaine J., Vaquer J., Coularou J. et Treinen-Claustre F. (dir.), *Ornaisons, Médor, Archéologie et écologie d'un site de l'âge du Cuivre, de l'âge du Bronze final et de l'Antiquité tardive*, Toulouse/Carcassonne, Centre d'Anthropologie, p. 217-223.

Hamilton W. D. et Krus A. M., 2018, « The Myths and Realities of Bayesian Chronological Modeling revealed », *American Antiquity*, 83, 2, p. 187-203.

Hasler A., 2002, « Ventabren – Château Blanc. Les installations de la fin de l'âge du Bronze », *Archéologie du TGV Méditerranée*, Fiches de synthèse, t. 2 : *La Protohistoire*, Lattes, Monographies d'archéologie méditerranéenne 9, p. 567-572.

Hasler A. (dir.), 2015, *Bouches-du-Rhône, Fuveau, Château-l'Arc. Occupations du Néolithique et de l'âge du Bronze*. Rapport d'opération. Fouille archéologique, Inrap Méditerranée, 335 p.

Hatt J.-J., 1955a, « Chroniques de Protohistoire », I, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 52, 1-2, p. 96-101.

Hatt J.-J., 1955b, « Chroniques de Protohistoire », II, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 52, 7, p. 397-400.

Hatt J.-J., 1956, « Chroniques de Protohistoire », III : « Le Bronze ancien dans l'Est de la France, problèmes de chronologie et de typologie », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 53, 7-8, p. 434-445.

Hatt J.-J., 1958, « Chroniques de Protohistoire », IV : « Nouveau projet de chronologie pour l'âge du Bronze en France », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 55, 5-6, p. 304-306.

Hatt J.-J., 1961, « Chronique de Protohistoire », V : « Une nouvelle chronologie de l'âge du Bronze final. Exposé critique du système chronologique de H. Müller Karpe », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 58, p. 184-195.

Jallot L., Bordreuil M., Vital J. et Véjus R., 1996, « Un nouveau site à céramique à *décor barbelé* dans le Gard (Aven Roger, Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan). État de la question dans le Midi de la France », dans Mordant C. et Gaiffe O. (dir.), *Cultures et sociétés du Bronze ancien en Europe, actes du 117e congrès national des sociétés savantes de Clermont-Ferrand (1992)*, Paris, Éditions du CTHS, p. 339-348.

Janin T., 1992, « L'évolution du Bronze final IIIb et la transition Bronze-Fer en Languedoc occidental d'après la culture matérielle et les nécropoles », *Documents d'Archéologie méridionale*, 15, p. 243-259.

Janin T., 1996, « Pratiques funéraires et sociétés protohistoriques en France méridionale : les nécropoles du Bronze final IIIB mailhacien, approche préliminaire et premiers résultats », *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 6, p. 7-34.

Janin T., 1999, « Le groupe culturel Mailhac 1 en France méridionale : essai de définition et extension géographique d'après l'étude des nécropoles du Languedoc occidental », dans Gascò J. et Claustre F. (dir.), *Habitats, économies et sociétés du Nord-Ouest méditerranéen de l'âge du Bronze au premier âge du Fer*, Paris, Société préhistorique française, p. 167-174.

Klag T., Koenig M.-P. et Thieriot F., 2013, « Typochronologie de la céramique du Bronze final en Lorraine : premiers éléments de synthèse », dans Leclercq W. et Warmembol E. (dir.), *Échanges de bons procédés. La céramique du Bronze final dans le Nord-Ouest de l'Europe, actes du colloque international de Bruxelles (2010)*, Bruxelles, Études d'Archéologie, 6, p. 111-144.

Lachenal T., 2011a, « Entre Alpes et Méditerranée. Productions céramiques et dynamiques culturelles de la fin de l'âge du Bronze en Provence (x^e^-ixe s. av. J.-C.) », *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló*, 29, p. 231-267.

Lachenal T., 2011b, « En marge du RSFO : styles céramiques de l'étape moyenne du Bronze final en Provence », dans Sénépart I., Perrin T., Thirault E. et Bonnardin S. (dir.), *Marges, frontières et transgressions. Actualité de la recherche, actes des 8e Rencontres méridionales de préhistoire récente (Marseille, 2008)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 157-176.

Lachenal T., 2014a, « Chronologie de l'âge du Bronze en Provence », dans Sénépart I., Léandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault E. (dir.), *Chronologie de la préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche, actes des 10e Rencontres méridionales de préhistoire récente d'Ajaccio-Porticcio 2012*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 197-220.

Lachenal T., 2014b [2012], « Les productions céramiques des étapes ancienne et moyenne du Bronze final en Provence (xive-xie s. av. J.-C.) », *Documents d'archéologie méridionale*, 35, p. 13-51.

Lachenal T., 2017, « Norme formelle et variabilité technique des productions céramiques à l'âge du Bronze. Exemple de l'étape moyenne du Bronze final en Provence occidentale », dans Mordant C. et Wirth S. (dir.), *Normes et variabilités au sein de la culture matérielle des sociétés de l'âge du Bronze, actes de la journée thématique de la Société préhistorique française (Dijon, 2013)*, Paris, Séances de Société préhistorique française, 10, p. 85-104.

Lachenal T., à paraître, « Le Bronze ancien dans le Sud-Est de la France, des Alpes méridionales au bassin inférieur du Rhône », *Les sociétés du Bronze ancien atlantique du xxive au xviie s. av. J.-C., actes du colloque international de l'APRAB (Rennes, 2018)*.

Lachenal T. et Mercurin R., 2017, « Le Bronze moyen et le début du Bronze final entre Alpes et Méditerranée. Bilan des données de Provence-Alpes-Côte d'Azur », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Veber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (xviie-xiiie s. av. n. è.), actes du colloque APRAB « Bronze 2014 » (Strasbourg, 2014)*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 497-519.

Lachenal T., Vital J., Mazière F., Dedet B., Mercurin R., Néré É., Campmajo P., Crabol D., Rendu C. et Bousquet D., 2017, « Du Bronze moyen au début du Bronze final dans le Sud-Est de la France (Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon, sud de Rhône-Alpes et de l'Auvergne) », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Veber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (xviie-xiiie s. av. n. è.), actes du colloque APRAB « Bronze 2014 » (Strasbourg, 2014)*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 463-495.

Lachenal T., Degeai J.-P. et Salel T., 2020a, « L'îlot lagunaire du Roc de Conilhac (Gruissan, Aude). Nouvelles données sur les occupations de l'âge du Bronze et l'évolution du proche environnement », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terres et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificités et relations avec l'arrière-pays, actes de la séance de la Société préhistorique française d'Agde 2017*, Paris, Séances de Société préhistorique française, 14, p. 275-301.

Lachenal T., Gascó J., Devillers B., Bouby L., Chabal L., Girard V., Greck S., Guibal F., Lespes C., Liottier L., Ponel P. et Tourrette C., 2020b, « Un habitat de la fin de l'âge du Bronze entre lagune et fleuve : le site immergé de La Motte à Agde (Hérault, France) », dans Billaud Y. et Lachenal T. (dir.), *Entre terres et eaux. Les sites littoraux de l'âge du Bronze : spécificités et relations avec l'arrière-pays, actes de la séance de la Société préhistorique française d'Agde 2017*, Paris, Séances de Société préhistorique française, 14, p. 217-255.

Lachenal T. et Rucker C., 2009, « L'aven de La Mort de Lambert (Valbonne, Alpes-Maritimes) et les dépôts de vases en grotte à l'âge du Bronze en France méridionale », dans Bonnardin S., Hamon C., Lauwers M. et Quilliec B. (dir.), *Du matériel au spirituel : réalités archéologiques et historiques des « dépôts » de la préhistoire à nos jours, actes des rencontres internationales d'Antibes 2008*, Antibes, Association pour la Promotion et la Diffusion des Connaissances archéologiques, p. 223-237.

Lagrand C., 1968, *Recherches sur le Bronze final en Provence méridionale*, thèse de doctorat, Aix-en-Provence, Faculté des Lettres et Sciences humaines, 394 p., 88 pl.

Lanos P. et Dufresne P., 2012, *Modélisation statistique bayésienne des données chronologiques*, dans de Beaune S. A. et Francfort H.-P. (dir.), *L'Archéologie à découvert*, Paris, CNRS éditions, p. 238-248.

Lanos P. et Dufresne P., 2019, *Chronomodel version 2.0: Software for Chronological Modelling of Archaeological Data using Bayesian Statistics* [http://www.chronomodel.com].

Lanos P. et Philippe A., 2017, « Hierarchical Bayesian modeling for combining Dates in archaeological context », *Journal de la Société française de Statistique*, 158, 2, p. 72-88.

Lanos P. et Philippe A., 2018, « Event date model: a robust Bayesian tool for chronology building », *Communications for Statistical Applications and Methods*, 25, 2, p. 131-157.

Laroche M., 2012, *ZAE Mas de Garric Nord (Mèze, Hérault)*, rapport final d'opération, fouille préventive. communauté de communes Nord du Bassin de Thau, Service Archéologie et Patrimoine, 283 p.

Laurent F. et Carrato C., 2016, *La Motte II, Agde (Hérault, 34)*, rapport de prospections subaquatiques. IBIS Archéologie, ASM-UMR 5140, 2016, 74 p.

Lehoërff A., 2009, « Les paradoxes de la protohistoire française », *Annales. Histoire, Sciences Sociales,* 64, 5, p. 1107-1133.

Lemercier O., 2004, *Les Campaniformes dans le Sud-Est de la France*, Lattes, Monographies d'archéologie méditerranéenne, 18.

Lemercier O., Furestier R., Gadbois-Langevin R. et Schulz Paulsson B., 2014, « Chronologie et périodisation des Campaniformes en France méditerranéenne », dans Sénépart I., Léandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault E. (dir.), *Chronologie de la préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche, actes des 10e rencontres méridionales de préhistoire récente d'Ajaccio-Porticcio 2012*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 175-195.

Mazière F., Sendra B. et Convertini F., 2012, *Languedoc-Roussillon, Hérault, Béziers, Le Petit Garlambaut, Un habitat du Bronze final en bordure du Libron*, rapport d'opération, Inrap Méditerranée, 239 p.

Mercurin R., 2016, « L'âge du Bronze final sur le territoire niçois : peuplement et dynamiques culturelles à la lumière des recherches récentes », *Archéam*, 22, p. 16-30.

Montjardin R., 1996, « Du Campaniforme au Bronze ancien dans l'Hérault », dans Mordant C. et Gaiffe O. (dir.), *Cultures et sociétés du Bronze ancien en Europe. Acte du 117e congrès national des sociétés savantes (Clermont-Ferrand, 1992)*, Paris, Éditions du CTHS, p. 349-372.

Perrin T., 2014, « Méthodes pour l'appréhension raisonnée d'une série de dates radiocarbone : de l'histogramme cumulatif à la modélisation bayésienne », dans Sénépart I., Léandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault E. (dir.), *Chronologie de la préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche. Actes des 10e rencontres méridionales de préhistoire récente d'Ajaccio-Porticcio 2012*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 11-22.

Py M., 1990, *Culture, économie et société protohistoriques dans la région nîmoise*, Rome, Collection de l'École française de Rome, 131.

Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Buck C. E., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M. et van der Plicht J., 2013, « IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP », *Radiocarbon*, 55, 4, p. 1869-1887.

Reimer, P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M. , Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. et Talamo S., 2020, « The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP) », *Radiocarbon*, 62, 4, p. 725-757.

Remicourt M., Andrieu-Ponel V., Audibert C., Baradat A., Battentier J., Blaise E., Bonnardin S., Caverne J.-B., Fernandes P., Furestier R., Girard B., Lachenal T., Lepère C., Locatelli C., Martin L., Parisot N., Ponel P., Pousset D., Rué M., Schmitt A., Sénépart I. et Thirault E., 2014, « Les occupations pré- et protohistoriques du Clos de Roque à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume dans le Var », dans Sénépart I., Léandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault E. (dir.), *Chronologie de la préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche. Actes des 10e rencontres méridionales de préhistoire récente d'Ajaccio-Porticcio 2012*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 523-548.

Rivalan A., 2016, « Trois exemples d'habitats de plaine protohistoriques en Languedoc-Roussillon : les sites du Mas Delfau à Perpignan, du Mas de l'Oume à Nîmes et de Mitra II à Saint-Gilles-du-Gard », dans de Chazelles C.-A. et Schwaller M. (éd.), *Vie quotidienne, tombes et symboles des sociétés protohistoriques de Méditerranée nord-occidentale. Mélanges offerts à Bernard Dedet*, Lattes, Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, hors-série, 7, p. 255-272.

Reinecke P., 1902, « Beiträge zur Kenntnis der frühen Bronzezeit Mitteleuropas », *Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft Wien*, 32, p. 104-129.

Roger J.-M. et Valette P., 1981, « Les Iragnons-Perrier : un habitat de plein air du Bronze ancien, Codognan (Gard) », *Archéologie en Languedoc*, 4, p. 93-102.

Ropiot V., Lachenal T. et Stevenson A. (dir.), 2014, *Le vallon de Pié Fouquet à Rognes (Bouches-du-Rhône)*, rapport final d'opération. Fouilles archéologiques préventives, Chronoterre Archéologie, 371 p.

Ropiot V. et Lachenal, T. (dir.), 2011, *Les sites de la Bastide Neuve II et III. Velaux (Bouches-du-Rhône)*, RFO, Oxford Archéologie Méditerranée.

Roscio M., 2018, *Les nécropoles de l'étape ancienne du Bronze final du Bassin parisien au Jura souabe : XIVe-XIIe s. av. n. è.*, Dijon, Éditions universitaires (Arts, Archéologie et Patrimoine).

Roudil J.-L., 1972, *L'âge du Bronze en Languedoc oriental*, Paris, Mémoire de la Société préhistorique française, 10.

Rubat Borel F., 2010, « La ceramica della media étà del Bronzo dall'abitato perilacustre di Viverone », *Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte*, 25, p. 31-70.

Sargiano J.-P., Rinalducci de Chassey V., Bouchette A., Figueiral I., Gascó J., Gilabert C., Hasler A., Lachenal T., Martin S., Verdin P. et Wattez J., 2018, « Fréquentation du Néolithique moyen et occupation de l'âge du Bronze ancien à La Bastide Neuve (Velaux-Bouches-du-Rhône) », dans Sénépart I., Gilabert C., Cauliez J., Hasler A., Ard V. et Marticorena P. (dir.), *« Entre deux mers » & actualité de la recherche. Actes des 12e rencontres méridionales de préhistoire récente de Bayonne 2016*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 273-278.

Sauzade G. et Vital J., 2002, « La ciste des Gouberts (Gigondas) », dans Buisson-Catil J. et Vital J. (dir.), *Âges du Bronze en Vaucluse*, Le Pontet, Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence, 4, Notices d'Archéologie Vauclusienne, 5, p. 67-72.

Sauzade G., Bizot B. et Schmitt A., 2018, « La chronologie des ensembles funéraires du Néolithique final provençal. Proposition de sériation intégrant les contextes d'habitat », *Préhistoires méditerranéennes*, 6 [http://journals.openedition.org/pm/1566].

Scalisi S. et Hasler A., 2020 [2018], « Nouveau témoin d'une occupation de l'âge du Bronze moyen en Provence. Le site de Bellepeire, sur la commune des Pennes Mirabeau (Bouches-du-Rhône) », *Documents d'archéologie méridionale*, 41, p. 11-20.

Sendra B., Lachenal T., Michel J. et Moquel J., 2016, « La cellule funéraire du Bronze ancien 3 de Mitra à Garons (Gard, France) », dans Cauliez J., Sénépart I., Jallot L., de Labriffe P.-A., Gilabert C. et Gutherz X. (dir.), *De la tombe au territoire & actualité de la recherche, actes des 11e rencontres méridionales de préhistoire récente (Montpellier, 25-27 septembre 2014)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 363-383.

Steier P. et Rom W., 2000, « The Use of Bayesian Statistics for ^{14}C Dates of Chronologically Ordered Samples: A Critical Analysis », *Radiocarbon*, 42, 2, p. 183-198.

Taffanel O., Taffanel J. et Janin T., 1998, *La Nécropole du Moulin à Mailhac (Aude)*, Lattes, Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, 2.

Tarrou L. (dir.), 2018, *Occitanie, Gard, Laudun-l'Ardoise, Saint-Maurice*, rapport final d'opération, diagnostic archéologique, Inrap Méditerranée, 199 p.

Tchérémissinoff Y., Cazes J.-P., Gilabert C., Duchesne S., Lachenal T., Lagarrigue A. et Maret D., 2010, « Nouvelles sépultures individuelles du Bronze ancien dans le Sud de la France : contextes et problématiques », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 107, 2, p. 331-352.

Venturino Gambari M. et Giaretti M., 2004, « La facies Alba-Solero nell'età del Bronzo recente dell'Italia Nordoccidentale », dans Cocchi Genick D. (dir.), *L'età del bronzo recente in Italia. Atti del Congresso nazionale di Lido di Camaiore 2000*, Viareggio, Baroni, p. 449-456.

Vignaud A., 2002, « L'éperon du Clos Marie-Louise. L'âge du Bronze ancien », *Archéologie du TGV Méditerranée*, fiches de synthèse, t. 2 : *La Protohistoire*, Lattes, Monographies d'archéologie méditerranéenne, 9, p. 573-576.

Vital J., 1990, « Protohistoire du défilé de Donzère : l'âge du Bronze dans la Baume des Anges (Drôme) », *Documents d'archéologie française*, 28.

Vital J., 1996, « Etat des travaux dur l'Age du bronze ancien médio-rhodanien », dans Mordant C. et Gaiffe O. (dir.), *Cultures et sociétés du Bronze ancien en Europe, actes du 117e congrès national des sociétés savantes de Clermont-Ferrand (1992)*, Paris, Éditions du CTHS, p. 325-338.

Vital J., 1999, « Identification du Bronze moyen-récent en Provence et en Méditerranée nord-occidentale », *Documents d'archéologie méridionale*, 22, p. 7-115.

Vital J., 2002, « Les systèmes chronologiques ou le temps attendu », dans Buisson-Catil J. et Vital J. (dir.), *Âges du Bronze en Vaucluse*, Le Pontet, Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence, 4, Notices d'Archéologie Vauclusienne, 5, p. 23-36.

Vital J., 2004, « Le début du Bronze final en Provence et dans le Sud-Est de la France », dans Cocchi Genick D. (dir.), *L'età del bronzo recente in Italia. Atti del Congresso nazionale di Lido di Camaiore 2000*, Viareggio, Baroni, p. 550-551.

Vital J., 2007, « Le mobilier céramique du Bronze final », dans Daveau I. (dir.), *Port Ariane (Lattes, Hérault) : construction deltaïque et utilisation d'une zone humide lors des six derniers millénaires*, Lattes, Lattara, 20, p. 377-388.

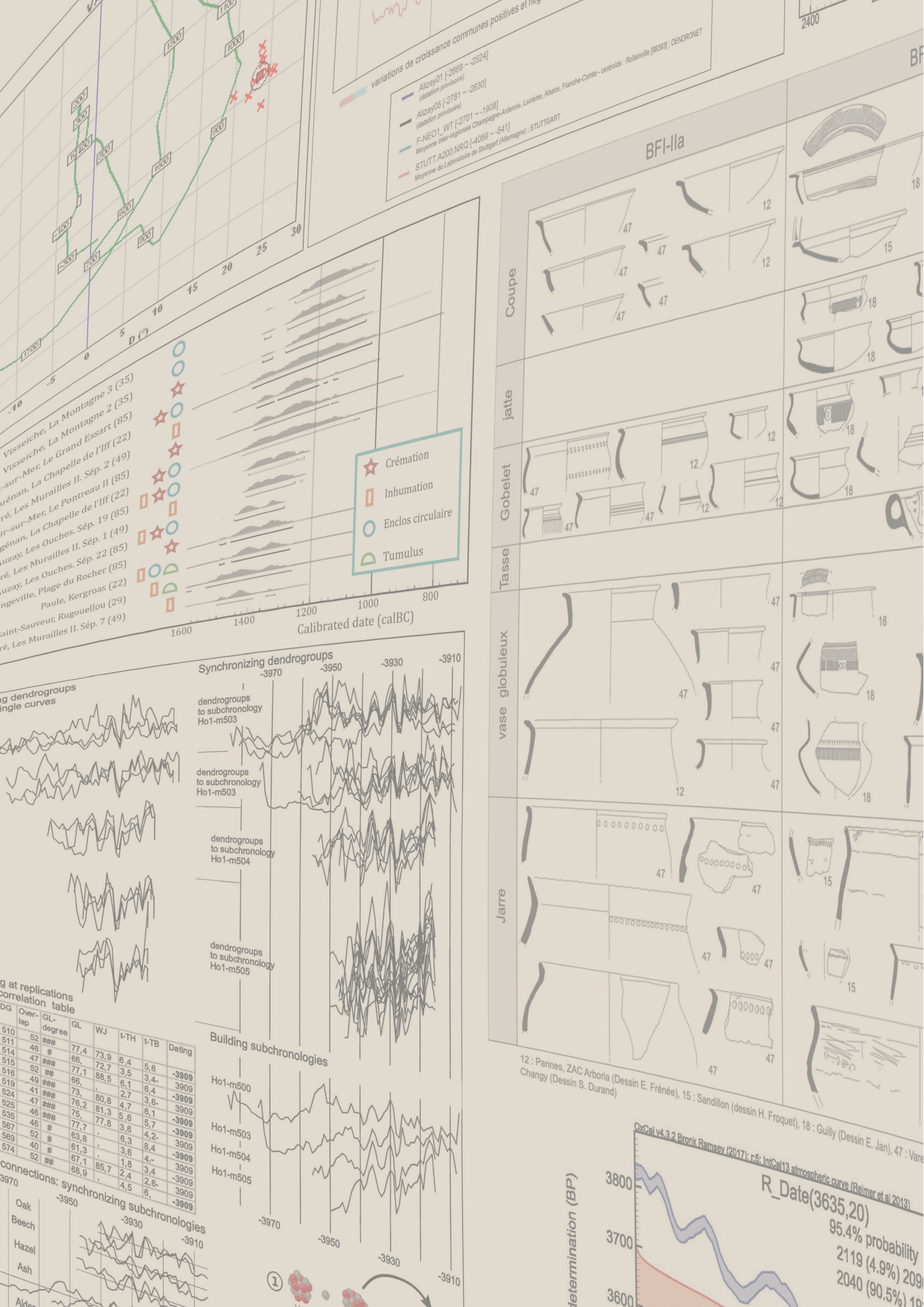
Vital J., 2008, « La séquence Néolithique final-Bronze ancien dans l'axe rhodanien : enseignements chronométriques et perspectives culturelles », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 105, 3, p. 539-554.

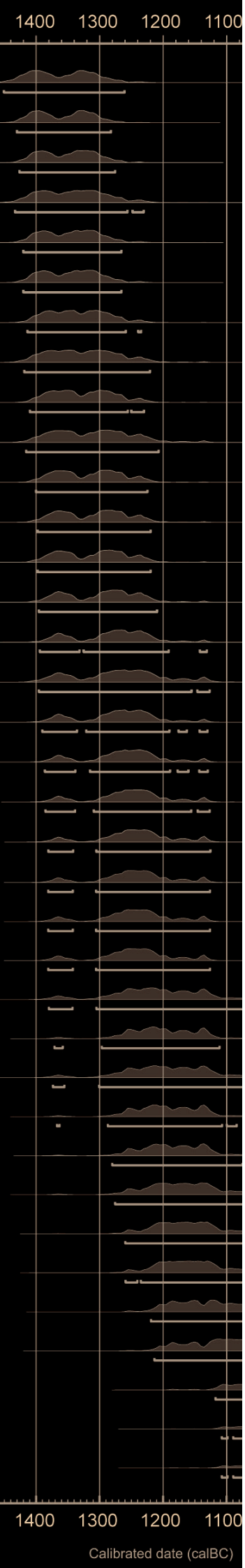
Vital J., 2014a, « La chronologie céramique du Bronze ancien et moyen du Massif central aux Alpes », dans Sénépart I., Léandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault E. (dir.), *Chronologie de la préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche, actes des 10e Rencontres méridionales de préhistoire récente d'Ajaccio-Porticcio 2012*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 221-238.

Vital J., 2014b [2012], « Repères chronométriques, typologiques et géographiques pour la céramique du Bronze final du Rhône aux Alpes », *Documents d'archéologie méridionale*, 35, p. 53-83.

Vital J., Convertini F. et Lemercier O., (dir.), 2012, *Composantes culturelles et premières productions céramiques du Bronze ancien dans le Sud-Est de la France. Résultats du Projet Collectif de Recherche 1999-2009*, Oxford, BAR International Series, 2446.

Vital J., coll. Thirault E., 2016, « Le mobilier céramique Bronze ancien du Petit Beaulieu (Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme) : caractérisation typologique, positions chronométriques et composantes culturelles », dans Cauliez J., Sénépart I., Jallot L., de Labriffe P.-A., Gilabert C. et Gutherz X. (dir.), *De la tombe au territoire & actualité de la recherche. Actes des 11e rencontres méridionales de préhistoire récente (Montpellier, 25-27 septembre 2014)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 345-361.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



La nécropole du Bronze final de Migennes « Le Petit Moulin » (Yonne) Datations par radiocarbone et modélisation bayésienne

Mafalda Roscio et Cyril Marcigny
avec le concours de Fabrice Müller, Germaine Depierre, Luc Staniaszek

Résumé

La nécropole de Migennes « Le Petit Moulin » est à ce jour un des plus grands ensembles funéraires attribuable au Bronze final initial pour le Centre-Est de la France (61 tombes). Le site est organisé en deux pôles, chacun présentant une pratique funéraire dominante : dépôts de crémation en urne dans la partie sud et inhumations en fosse dans la partie nord. Les défunts sont accompagnés d'un mobilier abondant (parures, armement, outillage), avec des dotations parfois très spécifiques (métallurgie, nécessaires de pesée). Trente-six datations par radiocarbone ont été réalisées sur les ossements. Sur la base de contemporanéités probables de certains assemblages et en ajoutant dix-sept dates issues de la nécropole de Barbuise-Courtavant–La Saulsotte, une analyse bayésienne a été mise en œuvre à l'aide du logiciel ChronoModel. Les résultats permettent de situer théoriquement le Bz D (BFI) des vallées de l'Yonne et de la Haute-Seine entre l'extrême fin du XIVe et la moitié du XIIe s. av. n. è., la phase ancienne (Bz D1 ou BFIa) occupant l'intervalle de 1310-1230 av. n. è., et la phase récente (Bz D2 ou BFIb) celle de 1230-1150 av. n. è. Cette proposition s'accorde avec ce que l'on observe plus à l'est en Alsace, mais aussi en Suisse et dans le Sud de l'Allemagne.

Mots-clés

Âge du bronze, Bassin parisien, nécropole, chronotypologie, modélisation bayésienne des datations ^{14}C.

Abstract

Migennes « Le Petit Moulin » with its 61 burials is one of the largest cemeteries dating to the early phase of the Late Bronze Age excavated in central-eastern France. The burials are divided into two groups, each one illustrating a main funerary practice: cremations in pottery urns in the southern group and inhumations making up the northern group. All the burials are richly adorned with a large array of jewellery or weapons, and sometimes more specific objects such as weighing sets or metalworking tools. Thirty-six radiocarbon dates carried out on bone samples were statistically analysed together with seventeen dates from Barbuise-Courtavant–La Saulsotte using a bayesian model with the Chronomodel software. The results of this analysis show that the Bz D period in the Yonne and upper-Seine valleys can be theoretically pinpointed to a period between the very end of the 14th century and the middle of the 12th century BC. This corresponds to the early phase (Bz D1 or BFIa) lying in the 1310-1230 BC span, and the late phase (Bz D2 or BFIb) in the 1230-1150 BC span. This proposition matches the eastern chronological systems in Alsace, Switzerland and South-Germany.

Keywords

Bronze Age, Parisian basin, necropolis, chrono-typology, Bayesian modelling of ^{14}C dates.

1. Présentation de la nécropole et du mobilier caractéristique

La nécropole du « Petit Moulin », implantée en rive droite de l'Armançon, à 3 km en amont de sa confluence avec l'Yonne (fig. 1A), a fait l'objet d'une fouille préventive en 2004 sous la direction de F. Muller (Inrap). Le site s'insère dans un contexte archéologique local très riche, le secteur du sud-est du Bassin parisien livrant à lui seul plus d'une soixantaine de sites funéraires occupés durant cette étape du Bronze final initial, essentiellement répartis entre les départements de l'Yonne, l'Aube et la Seine-et-Marne, avec une concentration notable dans les zones de confluence. Les sites les plus importants (Barbuise-Courtavant : Rottier *et al.*, 2012 ; Marolles-sur-Seine « Les Gours-aux-Lions » : Mordant et Mordant, 1970 ; Marolles-sur-Seine « La Croix-Saint-Jacques » : Delattre et Peake, 2015 ; Champlay « La Colombine » : Lacroix, 1957 ; Passy-Véron « Les Prés Pendus/La Truie Pendue » : Depierre *et al.*, 1997 ; Labeaune *et al.*, 2009) regroupent jusqu'à plusieurs dizaines de sépultures, illustrant la richesse comme la complexité des pratiques funéraires pour la période : cohabitation des crémations et des inhumations, sépultures multiples, remaniements, monumentalité ou architectures complexes et enfin, dépôt d'un mobilier abondant et personnalisé, en lien direct avec l'identité des défunts. D'un point de vue culturel, l'ensemble se rattache sans ambiguïté au groupe à céramique cannelée du Bronze final initial, qui s'étend du sud du Bassin parisien jusqu'à la moyenne vallée du Rhin (Roscio, 2018, fig. 291 : « cannelé septentrional »).

La nécropole en elle-même, explorée sur une surface de 1,8 ha, livre 61 sépultures groupées en deux secteurs (nord-ouest : ensemble 1 ; sud-est : ensemble 2) séparés d'une quarantaine de mètres, avec une sépulture à mi-chemin entre les deux et une autre à une trentaine de mètres plus au nord. Trois enclos fossoyés viennent compléter l'inventaire des structures mises au jour (fig. 1B). Si le premier ensemble apparaît comme connu dans son intégralité du fait de diagnostics réalisés sur les parcelles attenantes à l'est, l'ensemble 2 en revanche semble se poursuivre hors emprise et son ampleur totale demeure indéterminée. La structuration spatiale du site apparaît d'emblée assez forte, chaque secteur étant marqué par une pratique funéraire dominante. Au nord-ouest, les inhumations présentent une organisation clairement orthonormée, des alignements de sépultures, ainsi qu'une position périphérique des dépôts de crémation, pratique minoritaire du secteur. Au sud-est, à l'inverse, ce sont

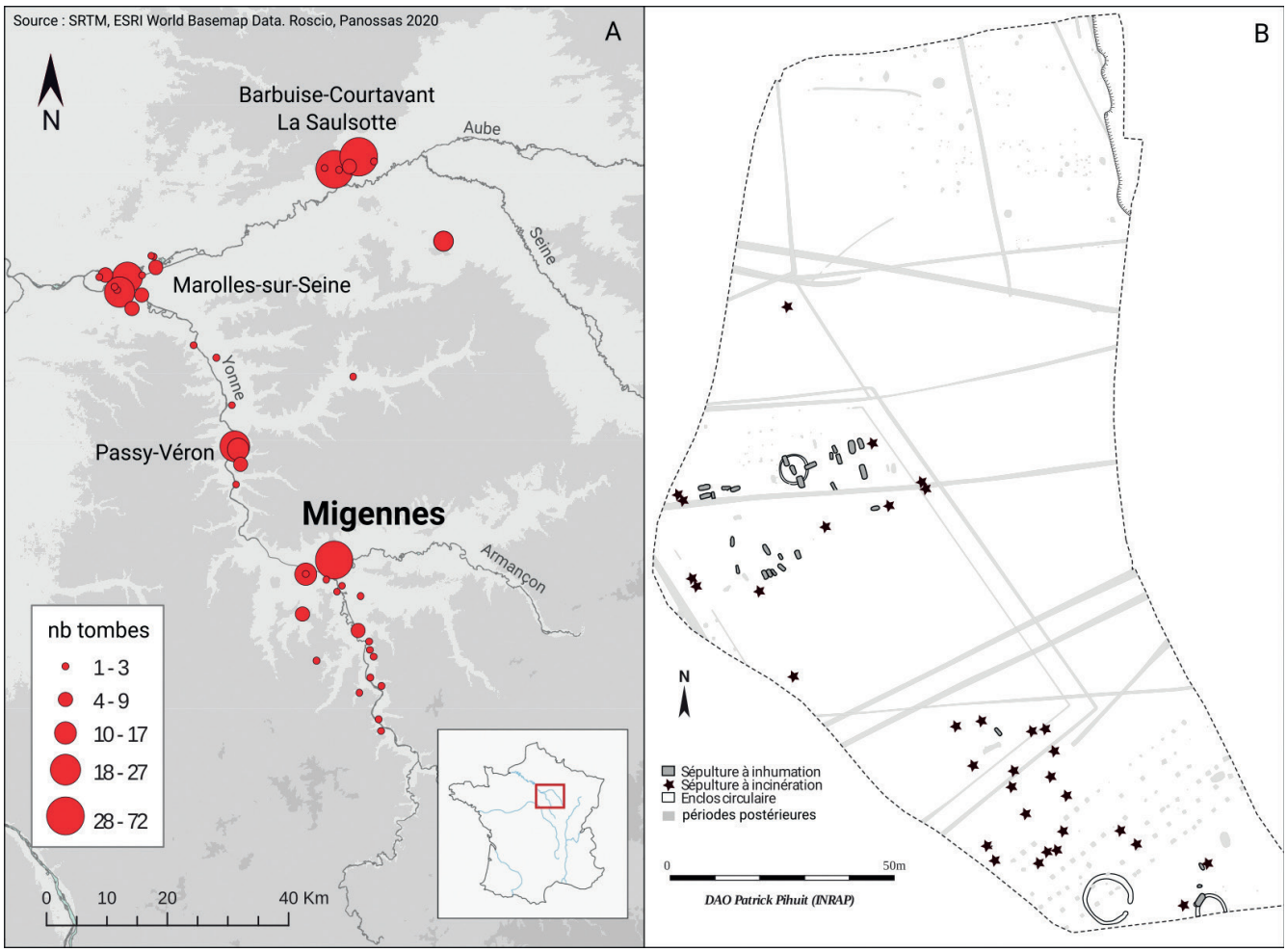


Figure 1 - A. Carte de répartition des nécropoles du Bronze final initial des vallées de l'Yonne et de la Haute Seine ; B. Plan général de la nécropole de Migennes - Le Petit Moulin (Yonne). DAO M. Roscio.

les sépultures à incinération qui dominent. La lecture de l'organisation spatiale de cet ensemble demeure plus incertaine (ensemble incomplet et fosses de plan circulaire ajustées à l'urne), mais un fonctionnement similaire à celui du nord-ouest semble toutefois se dégager. Les quelques inhumations du secteur sud-est présentent en effet une orientation comparable à celles du nord-ouest, et elles se regroupent toutes autour de la concentration principale, relativement centrale, des tombes à incinération.

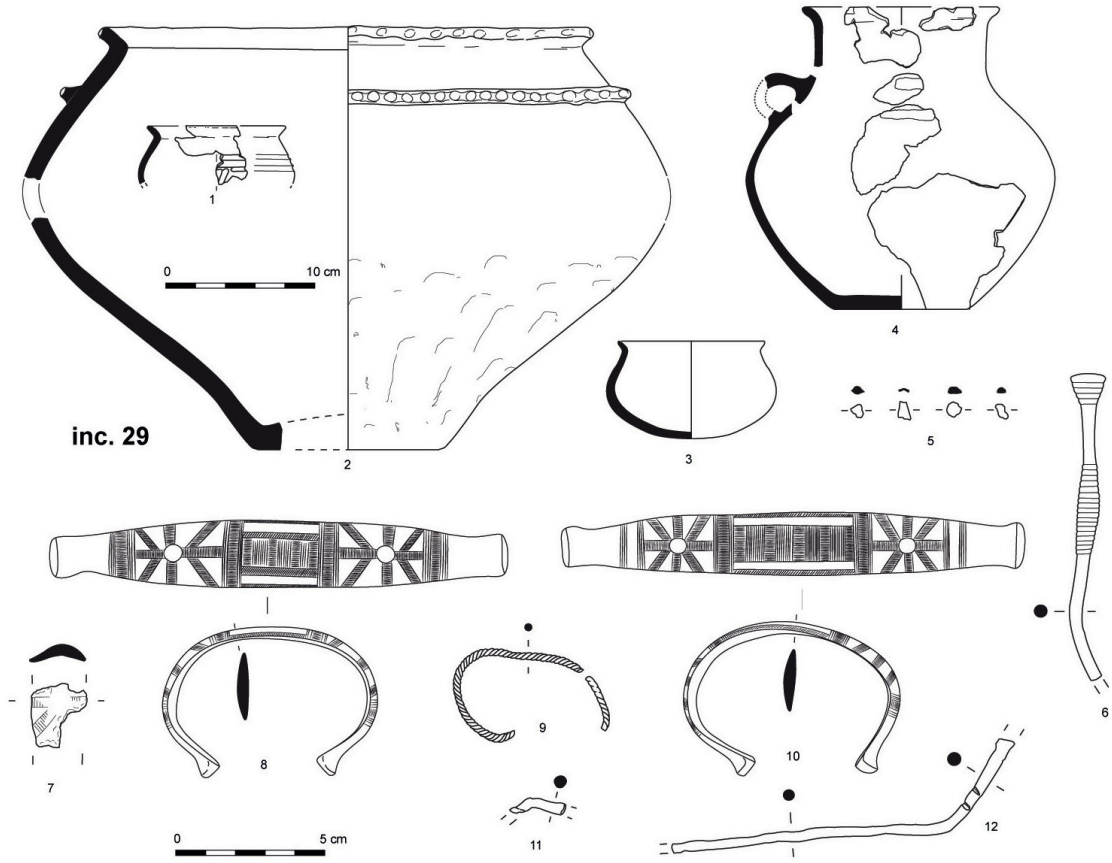
Le corpus de mobilier regroupe environ 400 objets identifiables, essentiellement des récipients en céramique et du mobilier métallique. Le faciès céramique est marqué par des jattes ou gobelets à décor cannelé (fig. 2 : inc. 29, n° 1 ; fig. 3 : inh. 180, n° 6 ; inh. 305, n° 3 ; inh. 258, n° 2) ou excisé couvrant (fig. 2 : inc. 233, n° 1 ; fig. 3, inh. 296, n° 5), parfois interrompu par un petit élément de préhension comme une languette horizontale ou une anse miniature « en X » (fig. 3 : inc. 284, n° 2 ; inh. 255, n° 2). Les grands récipients sont des jarres à col divergent ou cylindrique (fig. 2 : inc. 233, n° 2), parfois ornées d'un cordon dans le tiers supérieur de la panse (fig. 3 : inc. 26, n° 1), plus rarement de grands pots à panse bitronconique (fig. 2 : inc. 29, n° 2). Le mobilier métallique est très diversifié, mais les objets de parure dominent nettement. Il s'agit presque exclusivement d'épingles, de bracelets et de perles, mais quelques objets plus rares sont également présents (jambières, pendentif en incisive de castor, ceinture à cabochons, applique en or). L'armement est représenté par quelques poignards, un carquois et une épée. Enfin, la spécificité du site est la présence récurrente d'objets liés à la sphère de l'artisanat (briquets, affûtoirs, moule de fondeur, marteau) ainsi que de nécessaires de pesée (fig. 3 : inc. 284, n° 6, fléau de balance calciné). L'homogénéité typologique entre les deux ensembles funéraires est remarquable. Les principales différences apparaissent directement liées aux pratiques funéraires, les sépultures à inhumation livrant des assemblages plus « complets » et mieux préservés que ceux des sépultures à incinération. Pour ces dernières, le passage sur le bûcher des objets occasionne en effet une perte considérable d'informations et la disparition des éléments les plus petits ou fragiles.

Du point de vue de la chronologie relative, la majorité des sépultures peut être attribuée au début du BFI (BFIa), équivalent au Bz D1 des systèmes suisses et allemands (Sperber, 1987 ; Fischer, 1997 ; David-Elbiali, 2000). Cette phase concerne au moins 35 sépultures. Elle est caractérisée par un héritage encore marqué des traditions du Bronze moyen : décors excisés, cruches (fig. 2 : inc. 29, n° 4), anses « en X » (fig. 2 : inc. 233, n° 4), épingles à tête évasée et fût renflé (fig. 2 : inc. 29, n° 12 ; fig. 3 : inc. 26, n° 3) ou à simple tête évasée et fût côtelé ou incisé (fig. 3 : inh. 255, n° 1 ; inh. 258, n° 1), parures d'ambre (fig. 3 : inh. 180, n° 1)... mais aussi par des types régionaux spécifiques : c'est le cas des bracelets à section aplatie, petits tampons terminaux et ornement incisé organisé en panneaux tripartites apparentés au type « La Colombine » (fig. 2 : inc. 29, n°s 8 et 10) ou encore des épingles à tête massive surcoulée et fût renflé côtelé type « Saint-Gervais » (inh. 251 : Roscio, 2021, fig. 4), qui constituent une sorte d'équivalent occidental des épingles à tête de pavot. Par ailleurs, un exemplaire à tête cylindrique massive semble également pouvoir être considéré comme une variante du type (fig. 3 : inh. 305, n° 2). La céramique cannelée présente des profils très adoucis. Ces sépultures se répartissent dans les deux secteurs funéraires, autant les incinérations que les inhumations (fig. 5). Au sein des inhumations, il n'y a pas d'orientation préférentielle.

La phase évoluée du Bz D (Bz D2) est nettement bien moins documentée. Seules trois sépultures semblent pouvoir y être rattachées, sur la base d'éléments assez ténus. Concernant la céramique, il s'agit de critères typologiques qui se développeront pleinement à l'étape moyenne du Bronze final : d'une part, deux gobelets à profil bitronconique, dont la carène au niveau du diamètre maximum de la panse est bien marquée (fig. 4 : inc. 182, n°s 1 et 2) et d'autre part, par un petit récipient de type bol doté d'une lèvre facettée (*ibid.*, inc. 8, n° 4). Concernant le mobilier métallique, il s'agit d'un bracelet à section plano-convexe bombée apparenté au type « Barbuise » (*ibid.*, inc. 39, n° 2), que l'on trouve fréquemment dans les sépultures du complexe funéraire éponyme et qui sont attribuées au Bz D2 (Roscio, 2018, p. 256-257). Une dernière sépulture (n° 266) livre une épingle à tête lenticulaire (*ibid.*, inh. 266, n° 1) dont le décor rappelle ceux des exemplaires à tête cylindro-bitronconique du dépôt de Villethierry (Mordant *et al.*, 1976, fig. 12, n° A145), daté lui aussi du Bz D2 par comparaison avec différents dépôts de l'horizon « Binningen » (Roscio, 2018, fig. 273). Il pourrait aussi être postérieur si l'on tient compte de la similarité typologique des épingles à tête discoïdale épaisse, numériquement plus nombreuses au sein du dépôt (Mordant *et al.*, 1976, fig. 12, n°s 81 et 32), avec les épingles de type Schwabsburg (Kubach, 1977, p. 452), que l'on retrouve dans le Sud de l'Allemagne en contexte Ha A (Schauer, 1971, pl. 146 ; Richter, 1970, pl. 86 ; Clausing, 2005, pl. 40B). Par ailleurs, l'inc. 121 de la nécropole de Château-Landon (77) associe une telle épingle à du mobilier céramique évolué préfigurant le style « Rhin-Suisse-France orientale » (BFIIb ancien ou Ha A1 ? ; Du Bouëtiez de Kerorguen *et al.*, 2017, pl. 23).

Cette sépulture n° 266 est la seule de l'ensemble 2 qui serait potentiellement plus récente. Elle se trouve au centre d'un enclos circulaire. Ce dernier est recoupé perpendiculairement par trois sépultures à inhumation (264, 265 et 267), qui lui sont donc postérieures (fig. 5). Leur position laisse penser que lors de leur installation, la mémoire de la sépulture centrale du monument était encore perceptible. Elles ne peuvent *a priori* pas être trop éloignées dans le temps, sans toutefois pouvoir préciser le délai entre la création de chaque tombe.

Les datations par radiocarbone ont été réalisées sur os et sont au nombre de 36. Elles s'échelonnent entre la fin du XVe et



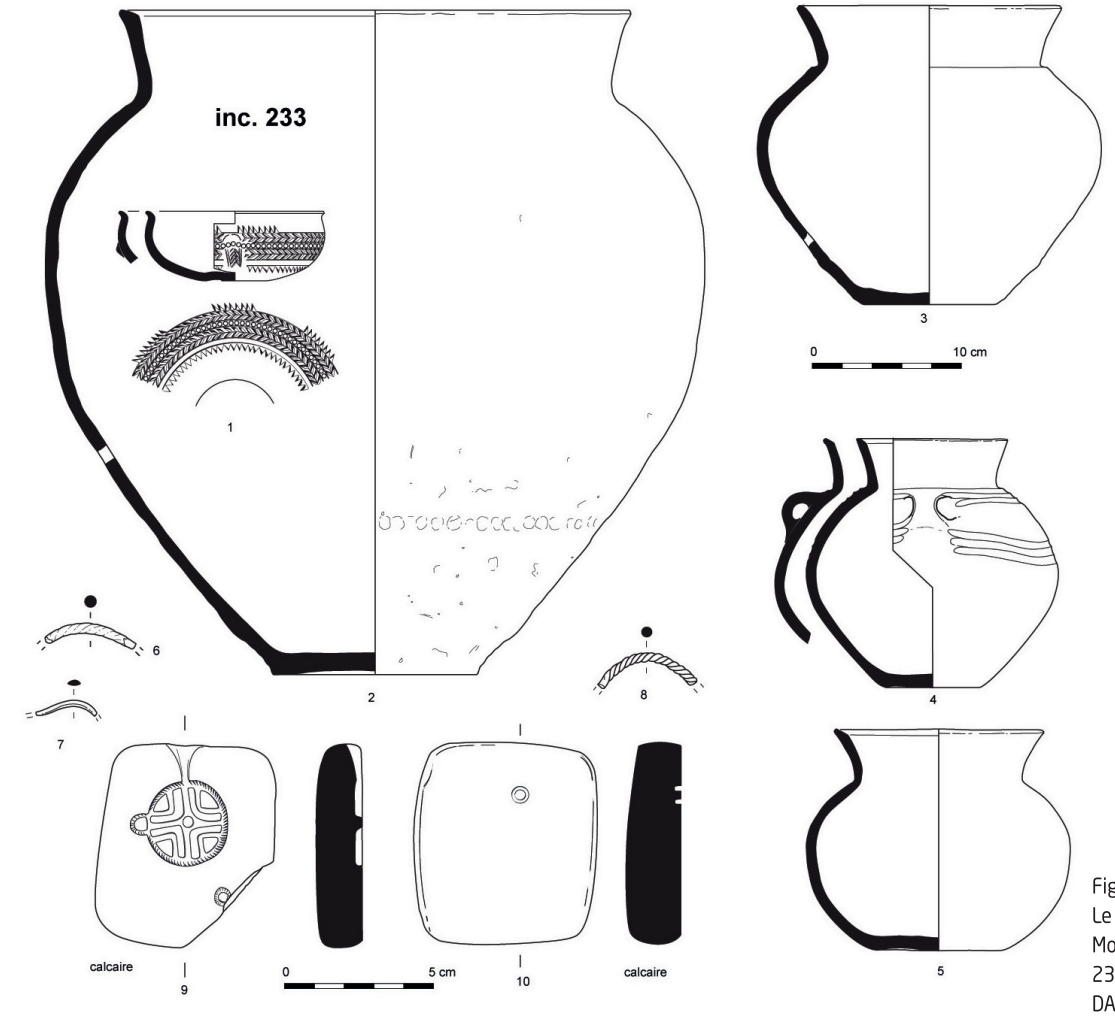


Figure 2 - Migennes - Le Petit Moulin (Yonne). Mobilier des tombes 29 et 233 (Bz D1/BFIa).
DAO M. Roscio / F. Muller.

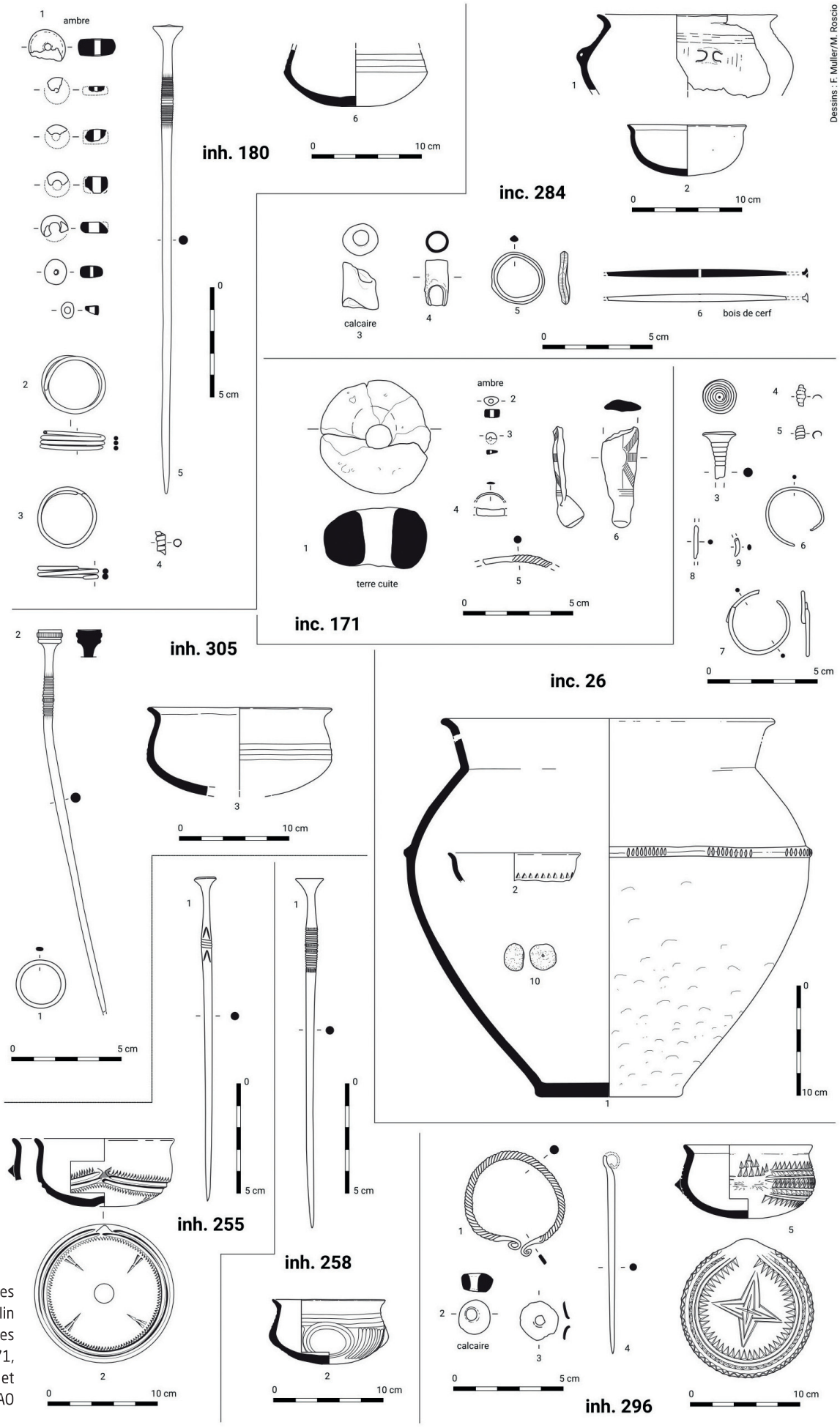


Figure 3 - Migennes - Le Petit Moulin (Yonne). Mobilier des tombes 180, 284, 171, 305, 26, 255, 258 et 297 (Bz D1/BFIa). DAO M. Roscio / F. Muller.

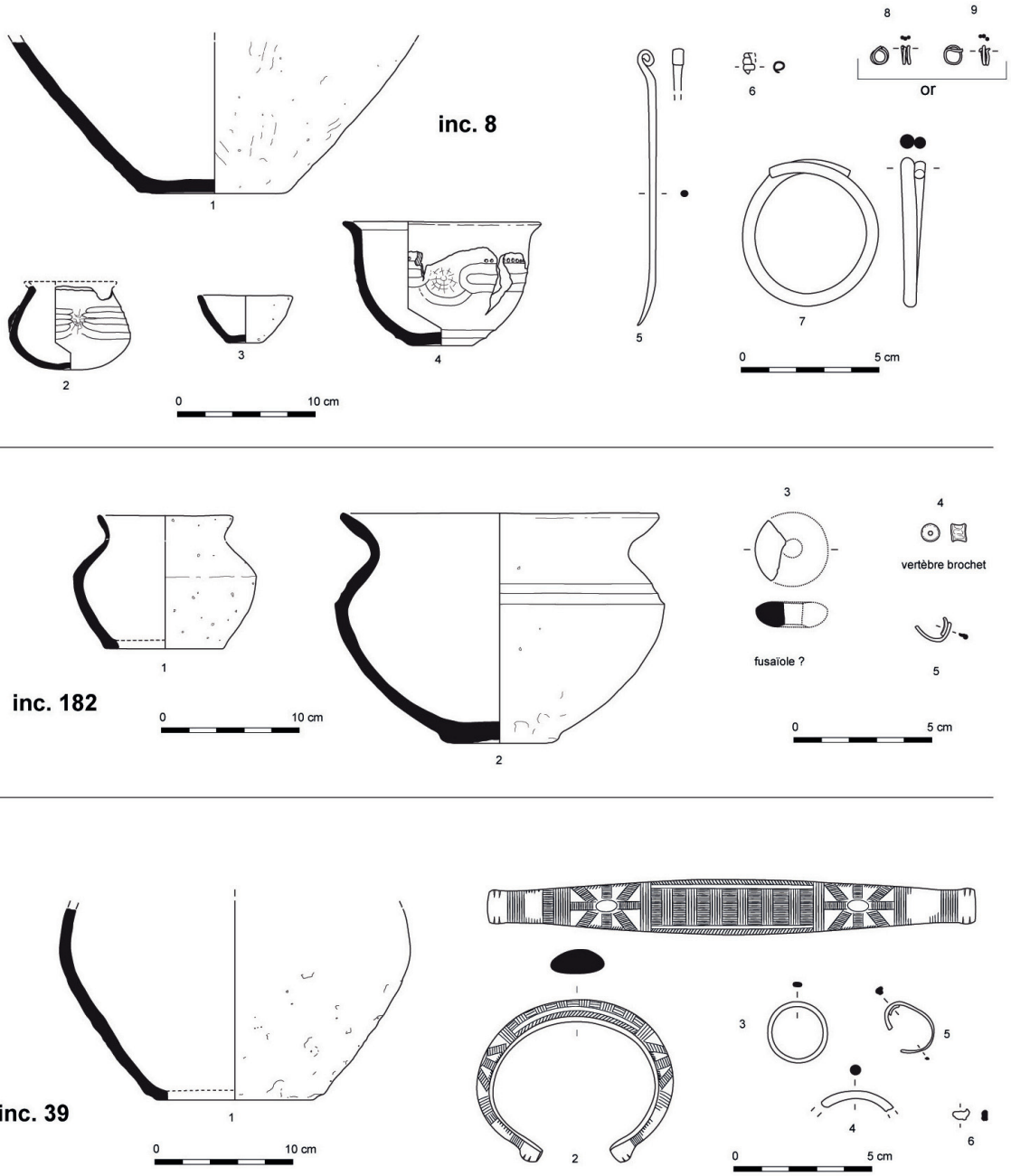


Figure 4 - Migennes - Le Petit Moulin (Yonne). Mobilier des tombes 8, 182, 39, 265 et 266 (Bz D2/BFIb). DAO M. Roscio / F. Muller.

le XIe s. av. n. è. (fig. 6). Trois dates s'écartent de l'ensemble et sont plus récentes, avec des pics de probabilité centrés sur les Xe et XIe s. (st. 171, 182 et 231). Seule la sépulture à incinération 182 était soupçonnée, d'après le mobilier, d'être plus récente (profils bitronconiques atypiques, fig. 4 : inc. 182, n° 1 et 2). L'inc. 171, quant à elle, livre un mobilier typologiquement attribuable au Bz D1 (fragment de bracelet type La Colombine : fig. 3, inc. 171, n° 6), et l'inc. 231 aucun mobilier datant. Les autres tombes attribuées au Bz D1 sur la base de la typologie se répartissent sur l'ensemble du graphique, soit de façon schématique entre 1400 et 1100 av. n. è. La précision de la méthode, à deux sigmas, n'est jamais inférieure à un siècle et une corrélation directe entre le mobilier et la datation absolue ne semble, *a priori*, pas perceptible. La problématique principale étant de savoir si les deux ensembles funéraires sont contemporains ou non, ou bien si l'on peut déceler l'antériorité d'une pratique (inhumation) sur l'autre (incinération) ; dans cette optique, un essai de modélisation bayésienne a été mis en place.

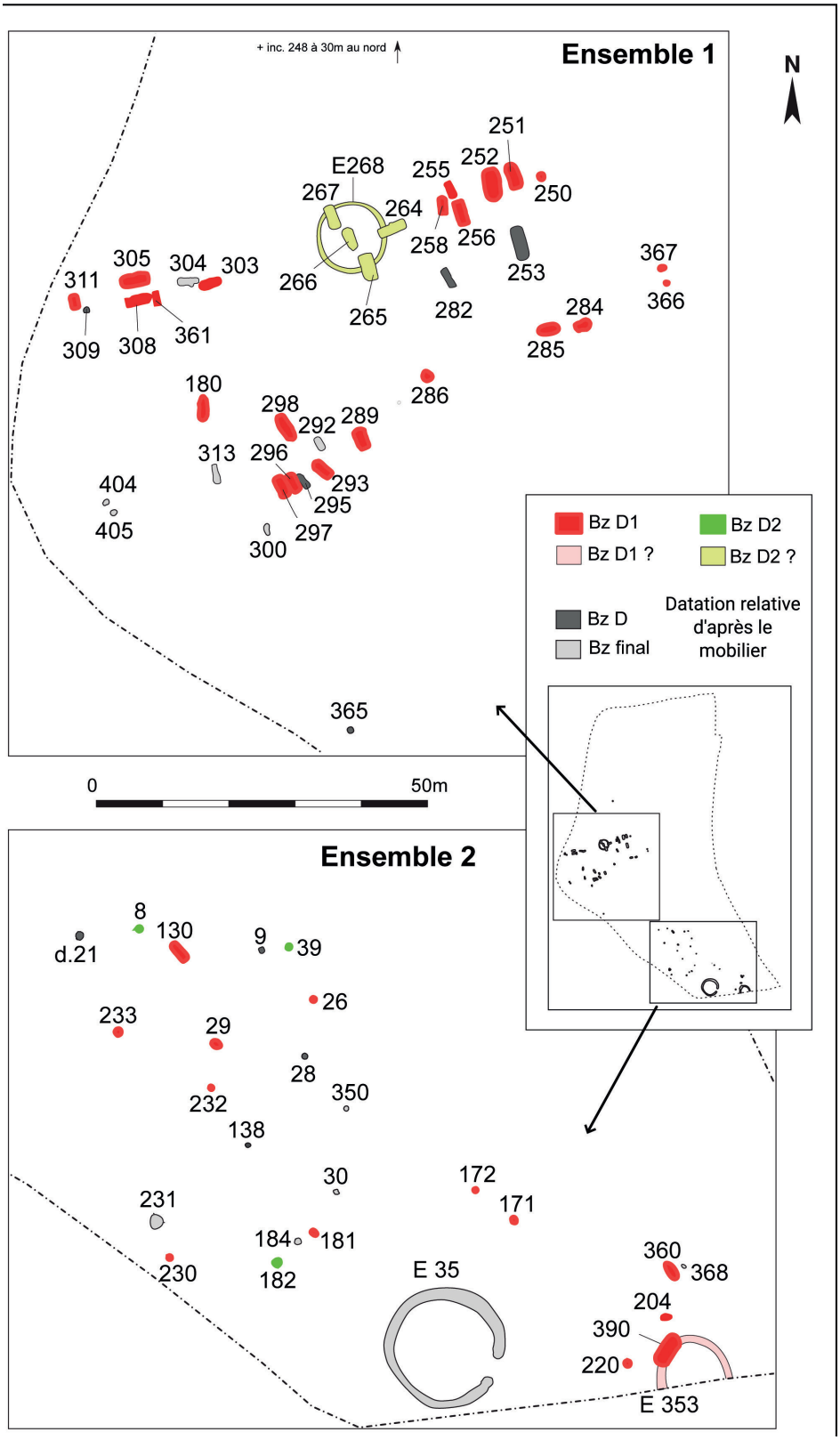


Figure 5 - Plan de la nécropole de Migennes - Le Petit Moulin, phasé par la typologie. DAO M. Roscio.

2. Les analyses bayésiennes

Les datations isotopiques sont désormais de plus en plus fréquentes sur les sites archéologiques. Elles répondent à un protocole strict de collecte des échantillons, de manière à rester au plus près des événements à dater, et sont réalisées désormais en plus grand nombre autorisant le développement d'une approche statistique des données. Dès lors, lorsque l'on souhaite démêler l'écheveau de la chronologie d'un site, deux types d'informations peuvent être mis à contribution comme ici à Migennes : des informations *a priori* regroupant les données archéologiques – faits, stratigraphie, typologie des matériaux… – et des mesures de datation.

À partir de ces données et en fonction de différents scénarios, on cherche à estimer une date. La statistique bayésienne peut être une des méthodes sollicitées pour estimer cette date (ou fourchette statistique de dates). Le théorème de Bayes (défini par Thomas Bayes au XVIIIe s.) permet d'intégrer l'information *a priori* dans une modélisation qui prend appui sur une loi de probabilité sur la date recherchée, supposée comme aléatoire. La statistique bayésienne permet ainsi de combiner ces

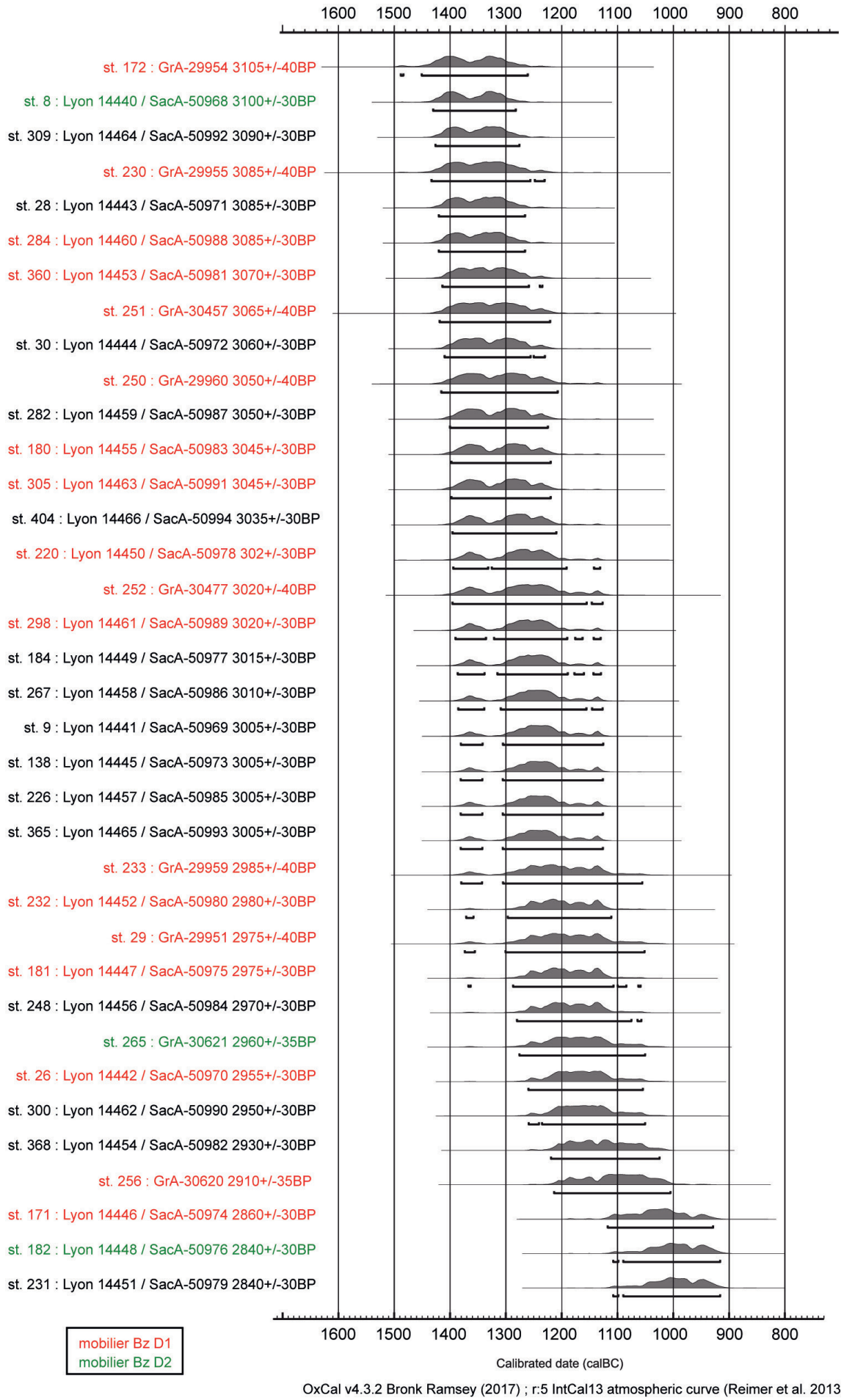


Figure 6 - Tableau schématique des datations radiocarbone de la nécropole de Migennes - Le Petit Moulin. DAO M. Roscio.

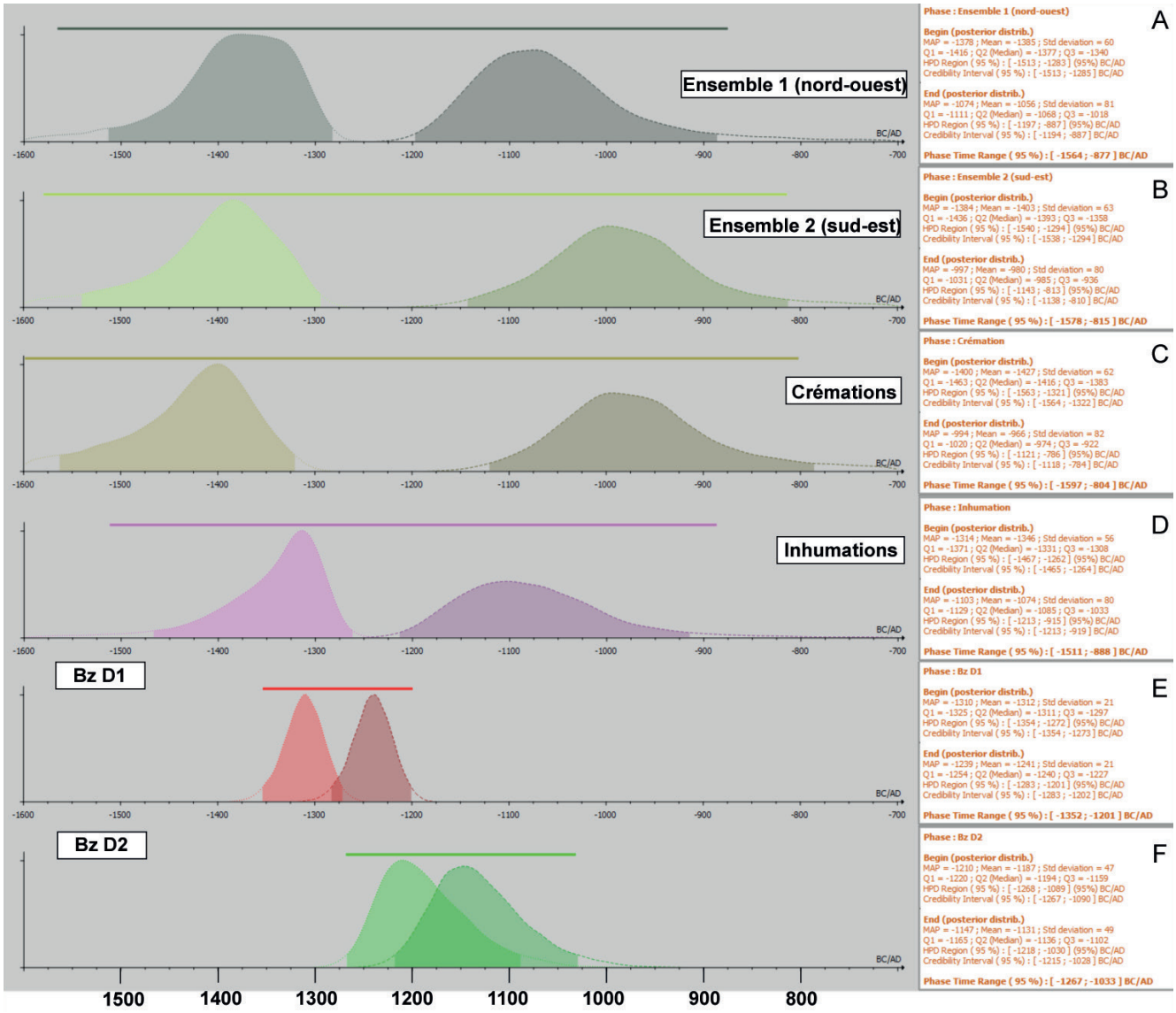


Figure 7 - Migennes - Le Petit Moulin (Yonne). A. Traitement bayésien des datations par radiocarbone de l'ensemble 1 (nord-ouest), toutes pratiques funéraires confondues ; B. Traitement bayésien des datations par radiocarbone de l'ensemble 2 (sud-est), toutes pratiques funéraires confondues ; C. Traitement bayésien des datations par radiocarbone des tombes à incinération, tous ensembles confondus ; D. Traitement bayésien des datations par radiocarbone des tombes à inhumation, tous ensembles confondus ; E. Traitement bayésien des datations par radiocarbone des tombes attribuées typologiquement au Bz D1 ; F. Traitement bayésien des datations par radiocarbone des tombes attribuées typologiquement au Bz D2. DAO M. Roscio.

informations quantitatives (datations absolues) et qualitatives (datations relatives) pour aboutir à une loi *a posteriori*.

Pour faire ces calculs, il a été décidé d'utiliser le logiciel ChronoModel qui utilise une approximation Monte Carlo (*via* une chaîne de Markov : MCMC) qui cherche à générer un échantillon issu de la loi *a posteriori* qui va nous permettre d'estimer avec une bonne précision la moyenne, la variance et l'intervalle de crédibilité de la date recherchée.

ChronoModel repose sur trois paramètres : *Events* qui correspond à un événement calé dans le temps (qui était déjà une approche statistique), *Phases* qui regroupe différents *Events* et des relations d'ordre temporel (lien stratigraphiques, typologiques connus *a priori*).

Pour Migennes, chaque incinération ou inhumation est un *Event*, regroupé par *phase* en fonction de différents scénarios : géographique (ensembles 1 et 2), pratiques funéraires (crémations *vs* inhumations) ou typologique (élément du Bz D1, du Bz D2). Dans la construction des modèles, les bornes (*bound*) -1600/-700 ont été proposées pour l'ensemble des tests. Par ailleurs, une contrainte de durée maximale de 75 ans par phase a été proposée pour le dernier scénario (comparaison Bz D1 et D2).

2.1. Analyse intra-site

Pour l'ensemble 1 (nord-ouest), toutes sépultures confondues (fig. 7A), le début de l'occupation occupe un intervalle de -1513/-1285 (MAP -*Maximum a posteriori*- : -1378 ; MAP peut être utilisé comme une date à forte probabilité), soit une période habituellement considérée comme la seconde moitié du Bronze moyen. La fin de l'occupation se trouve quant à elle dans l'intervalle -1194/-887 (MAP -1074), couvrant l'étape moyenne du Bronze final.

La fourchette théorique de l'occupation de cet ensemble est ainsi très large, couvrant un peu plus de six siècles. Pour l'ensemble 2 (sud-est), le constat est sensiblement le même (fig. 7B). Le début théorique dans l'intervalle -1538/-1294 (MAP -1384) est très proche de celui de l'ensemble 1. La fin de l'occupation en revanche est un peu plus tardive, occupant l'intervalle -1138/-810 (MAP -997). Au vu de ces remarques, les deux pôles funéraires apparaissent comme en partie contemporains, mais l'ensemble sud-est semble perdurer environ un siècle de plus. Si l'on regroupe les dates par radiocarbone par pratique funéraire, on observe que les plus anciennes dates pour les incinérations (fig. 7C) se situent dans l'intervalle -1564/-1322 (MAP -1400), correspondant en chronologie relative à la fin du Bronze moyen, et que les plus récentes se regroupent dans l'intervalle -1118/-784 (MAP -994), soit la fin du Bronze final et le tout début du premier âge du Fer. Concernant les inhumations (fig. 7D), les datations apparaissent en revanche comme plus resserrées dans le temps : les plus anciennes apparaissant dans l'intervalle -1465/-1264 (MAP -1314) et les plus récentes dans l'intervalle -1213/-919 (MAP -1103), correspondant à la fin du Bronze final initial et à l'étape moyenne du Bronze final. Il y a donc un décalage d'environ un siècle et demi entre les dernières inhumations et les dernières incinérations. L'ensemble sud-est comportant une nette majorité d'incinérations, cela permet d'expliquer pourquoi ce dernier perdure plus longtemps que l'ensemble nord-ouest, composé en majorité de sépultures à inhumation. Si l'on applique la démarche aux sépultures de l'ensemble nord-ouest seulement, les résultats sont sensiblement similaires (non illustré). En revanche, il n'est pas possible de comparer les inhumations et incinérations de l'ensemble sud-est, le corpus de tombes datées (inhumations) étant bien trop limité.

Au début du Bronze moyen, le secteur du confluent Seine-Yonne est sous influence atlantique, phénomène qui se reflète tant dans la culture matérielle que dans les pratiques funéraires. On rencontre ainsi des incinérations en urnes tronconiques ou en contenants périssables (Jaulnes « Le Bas des Hauts Champs Ouest » : Peake *et al.*, 2011 ; Varennes-sur-Seine « Le Marais du Pont » : Gouge et Peake, 2005). Avec la fin du Bronze moyen et le début du Bronze final, un basculement culturel vers le complexe nord-alpin est cependant perceptible, et les affinités sont alors tournées vers l'Est (Mordant, 1989). Le site de Migennes correspond *a priori* au moment de ce basculement, avec un héritage très marqué de la Culture des Tumulus orientaux. L'analyse bayésienne, malgré des fourchettes chronologiques très larges, montre avant tout l'apparition précoce de la pratique de l'incinération, voire sa non-disparition depuis le Bronze moyen, ainsi que sa perduration sur le long terme durant le Bronze final. Il est ainsi possible que certaines tombes à incinération du site perdurent au début de l'étape moyenne, mais soient passées inaperçues faute de mobilier caractéristique. Ces dernières ne semblent toutefois pas constituer le cœur principal de l'occupation, au vu de l'abondant mobilier attribuable au Bronze final initial comme de la forte cohésion spatiale des ensembles funéraires. Concernant les inhumations, elles apparaissent comme un phénomène plus localisé à l'échelle de la nécropole et semblent s'arrêter à l'aube de l'étape moyenne du Bronze final (date MAP -1103). Serait-il envisageable de les considérer comme la manifestation temporaire d'une identité exacerbée, dans un contexte de compétition culturelle ? (phénomène de lisière : Mordant, 1989 ; zone-tampon : Peake *et al.*, 2017, fig. 12).

2.2. Élargissement du cadre de comparaison, les durées relatives du D1 et D2 dans le sud-est du Bassin parisien

Si l'on ne tient plus compte que des tombes datées de façon relative par le mobilier, l'échantillon se réduit à 22 dates, dont la grande majorité (18) appartient au Bz D1 et seulement 4 potentiellement au D2. Du point de vue de la chronologie absolue, la durée de cette période est habituellement fixée à plus ou moins un siècle et demi (Della Casa et Fischer, 1997 ; Lachenal *et al.*, 2017, p. 936-937). C'est pourquoi la durée théorique des phases D1 et D2 a été arbitrairement fixée à un maximum de 75 ans chacune, sans préjuger de leur durée relative, dans le test statistique. L'analyse ainsi appliquée aux tombes datées du Bz D1 situe cette phase entre la moitié du XIVe s. (intervalle de -1354/-1273, MAP -1310) et la fin du XIIIe s. av. n. è. (intervalle de -1283/-1202, MAP -1239) [fig. 7E]. La phase D2 quant à elle débute dans l'intervalle -1267/-1090 (MAP -1210) et se termine dans l'intervalle -1215/-1028 (MAP -1147) : elle recoupe donc partiellement la fin de la phase D1, mais lui est clairement postérieure (fig. 7F).

Afin de préciser ces résultats, il a été décidé d'intégrer dans l'analyse les datations par radiocarbone du complexe funéraire de Barbuise-Courtavant–La Saulsotte (Aube) qui, à l'inverse de Migennes, livre un cœur d'occupation centré sur la fin du Bz D (Bz D2) : faciès céramique plus évolué (profils plus carénés, apparition des lèvres facettées), mobilier métallique contemporain de l'horizon « Binningen » (longues épingles à tête discoïdale fine, épingles courtes à tête globulaire…) [Rottier *et al.*, 2012]. Une datation issue de la nécropole de Gurgy « La Traîne » a également été prise en compte (Delor, 2005).

Ce sont ainsi 17 dates supplémentaires qui viennent alimenter la réflexion (annexe 1). L'analyse réalisée (fig. 8) présente, pour la phase D1, des résultats très similaires à ceux issus de la nécropole de Migennes seule – et pour cause –, seules deux dates de Barbuise attribuées au Bz D1 (GDF.91.04 et BPV.93.82) ont pu être rajoutées au corpus. Les dates MAP qui bornent le Bz D1 sont de -1314/-1244, avec un intervalle de début de -1351/-1279 et un intervalle de fin de -1281/-1209. Concernant la phase D2, si les dates MAP de

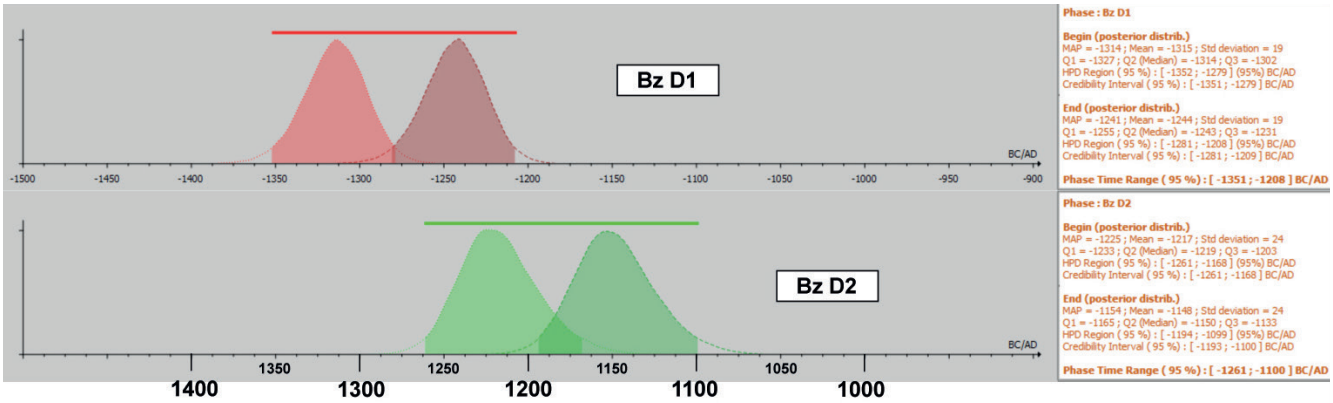


Figure 8 - Traitement bayésien des datations par radiocarbone des tombes attribuées au Bz D1 et D2 des nécropoles de Migennes (Yonne) et de Barbuise-Courtavant-La Saulsotte (Aube). DAO M. Roscio.

début et de fin sont globalement similaires à celles issues de l'analyse sur la nécropole seule (-1225/-1154), la durée des intervalles a en revanche pu être nettement resserrée : début de la phase dans la fourchette -1259/-1166 et fin de la phase dans la fourchette -1192/-1098.

Le point de bascule entre les deux phases semblant se situer entre 1240 et 1220, ces résultats permettent de proposer, de façon simplifiée, le phasage chronologique suivant :

- Bronze D1 : fin du XIVe- dernier tiers du XIIIe s. av. n. è. (-1310/-1230) ;
- Bronze D2 : dernier tiers du XIIIe-milieu du XIIe s. av. n. è. (-1230/-1150).

À l'échelle régionale, ces intervalles sont cohérents avec ce que l'on connaît par ailleurs à Marolles-sur-Seine « La Croix-Saint-Jacques » (Delattre et Peake, 2015, fig. 38) ou légèrement plus à l'ouest à Courcelles « Le Haut-de-l'Aunette-à-Guignard » et « La Pièce-du-Mail » (Froquet-Uzel, 2015, fig. 255). De façon plus générale, la période du Bz D / BFI apparaît comme un horizon synchrone à l'échelle européenne. Le début de cette phase est situé dans le dernier quart du XIVe s. av. n. è. grâce aux datations par radiocarbone et au mobilier des nécropoles de Neftenbach (Suisse) et Velika Gruda (Montenegro) (Della Casa et Fischer, 1997, fig. 25), mais aussi grâce aux dendrodates réalisées sur les cercueils nordiques, dont les plus récentes descendent jusque vers 1330 av. n. è. (*ibid.*, fig. 27 et 28 ; Randsborg, 1991). Ces contextes sont en effet attribués par le mobilier à la période II de Montelius, considérée comme contemporaine du Bz C2 du système Reinecke en Europe centrale, et correspondant à la fin du Bronze moyen. Dans le sud de l'Allemagne, les datations par radiocarbone plaident également pour une fin du Bz C2 au XIVe s. (Müller et Lohrke, 2009, fig. 5 et 6). Une transition Bz C2-D1 au XIVe s. est aussi proposée pour l'Alsace, sur la base de travaux récents compilant les analyses par radiocarbone disponibles à l'échelle régionale (Véber *et al.*, 2017, fig. 10), la phase C2 occupant une plage comprise entre la moitié du XVe s. et la moitié du XIVe s. av. n. è. (Michler, 2017, fig. 16). Dans le Jura, les dates réalisées sur la nécropole de Choisey-Damparis s'échelonnent entre le début du XIIIe et la fin du XIIe s. av. n. è. (Piningre et Ganard, 2017, fig. 15). Le mobilier est caractéristique du groupe à céramique cannelée méridional, en grande partie contemporain de celui de Migennes et de Barbuise-Courtavant (*ibid.*, fig. 24-25). Cette période du XIIIe s. pour le Bz D est aussi confirmée par les analyses dendrochronologiques et par radiocarbone issues de la nécropole d'Elgg-Breiti (canton de Zürich) [Mäder *et al.*, 2002, fig. 73 et 74, dendrodates de 1290, 1220 et 1210 av. n. è.]. Dans le Sud-Est de la France, une bipartition du Bronze final initial (BF1a, BF1b) est identifiée depuis quelques années (Lachenal, 2012 et 2014 ; Vital, 2012). Le traitement bayésien des datations par radiocarbone permet de préciser la durée de cette période entre le milieu du XIVe et la charnière XIIIe-XIIe s. av. n. è., la transition entre les deux phases se situant dans le premier quart du XIIIe s. av. n. è. (Lachenal *et al.*, 2017, fig. 6 et p. 479). Il semble donc, pour ces secteurs

Structure	Code laboratoire	Datation BP	Écart	Datation relative
GDF.2000.1293	Lyon-1405	3100	40	D2
GDF.91.04	Lyon-1641	3090	60	D1
BPV.93.82	Lyon-1415	3070	50	D1
GDF.2000.1403	Lyon-1414	3030	50	D2
GDF.91.13	Lyon-1642	3030	60	D2
BPV.94.117	Lyon-1636	3020	60	D2
GDF.2000.1315	Lyon-1407	3010	50	D2
BPV.93.90	Lyon-1634	3010	60	D2
GDF.2001.1425	Ly-11369	3010	30	D2
GDF.2000.1320	Lyon-1409	3010	50	D2
BPV.93.39	Lyon-1640	3000	60	D2
GDF.2000.1317	Lyon-1408	2990	50	D
LBB.95.142	Lyon-1639	2970	50	D2
GURGY686	Lyon-783	2960	40	D2
GDF.2001.1504	Ly-11033	2934	32	D2
BPV.93.73	Lyon-1637	2910	100	D2
BPV.93.38	Lyon-1638	2790	60	D2

Annexe 1 : Liste des datations par radiocarbone de Barbuise-Courtavant-La Saulsotte. D'après Rottier *et al.*, 2012.

méridionaux, y avoir un décalage d'environ un demi-siècle par rapport aux secteurs plus septentrionaux. Néanmoins, la rythmique est comparable et l'introduction du style « Rhin-Suisse-France orientale » semble se mettre en place dans le courant du XIIe s. av. n. è. (assemblage de Pancrace à Montboucher-sur-Jabron, Drôme : 2955 ± 30 BP, soit (1240) 1200-1130 av. n. è. : Vital, 2012, p. 69 et fig. 13).

3. Conclusion

La nécropole de Migennes « Le Petit Moulin », par la richesse de ses associations de mobilier et les datations par radiocarbone associées contribue à la définition du Bz D / BFI du Centre-Est de la France, et permet de situer le plein essor du groupe à céramique cannelée au XIIIe s. av. n. è. L'occupation est particulièrement concentrée sur la première moitié du Bz D (D1), équivalent au début du BFI en chronologie française. La fin du Bz D (D2, soit la fin du BFI) est représentée de façon plus discrète. Pour cette période, le traitement bayésien des datations de Migennes associées à celles des ensembles funéraires de Barbuise-Courtavant–La Saulsotte permet d'envisager une fin du Bz D au milieu du XIIe s. av. n. è. Cette hypothèse s'accorde avec un début du phénomène « Rhin-Suisse-France orientale » avant les premières occupations palafittiques alpines (début théorique du Ha A2 / BFIIb à -1100 : David-Elbiali et Moinat, 2005), laissant un espace théorique d'un demi-siècle pour l'apparition et le développement de ce nouveau style céramique, correspondant à un faciès ancien du BFIIb ou au Ha A1 de la chronologie allemande (phase SBIIa de Sperber, 1987 ; phase 4 de Kolling, 1968). La question de la terminologie employée en français pour qualifier cette phase (Ha A1) demeure sujette à débat et nécessite un consensus. Au vu de l'homogénéité culturelle à part entière de l'entité à céramique cannelée, il serait tentant de désigner cette phase d'évolution stylistique sous le terme « BFIIa » (ex BFIIb ancien), ce vocable permettant à notre sens de mieux refléter le renouvellement de la culture matérielle (BFI/Bz D : groupe cannelé ; BFII/Ha A : groupe Rhin-Suisse).



Mafalda Roscio

Éveha Lyon et UMR 5138-ArAr
87 av. des Bruyères, 69150 Décines-Charpieu
mafalda.roscio@eveha.fr

Cyril Marcigny

Inrap Normandie et UMR 6566-CreAAH
Le Chaos, 14400 Longues-sur-Mer
cyril.marcigny@inrap.fr

Fabrice Muller

Inrap Auvergne-Rhône-Alpes
fabrice.muller@inrap.fr

Germaine Depierre

UMR Artehis Dijon
germaine.depierre@u-bourgogne.fr

Luc Stasniazek

Inrap Bourgogne-Franche-Comté
luc.staniaszek@inrap.fr

Bibliographie

Clausing C., 2005, *Untersuchungen zu den urnenfelderzeitlichen Gräbern mit Waffenbeigaben vom Alpenkamm bis zur Südzone des Nordischen Kreises*, Oxford, British Archaeological Reports.

David-elbiali M., 2000, *La Suisse occidentale au IIe millénaire av. J.-C. Chronologie, culture, intégration européenne*, Lausanne, Messeiller, Cahiers d'Archéologie Romande, 80.

David-elbiali M. et Moinat P., « Le Bronze final de la Suisse occidentale : révision du cadre chronotypologique, grâce aux découvertes de la nécropole de Lausanne-Vidy (canton de Vaud, Suisse), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102, 3, p. 613-623.

Delattre V. et Peake R., 2015, *La nécropole de la Croix Saint-Jacques à Marolles-sur-Seine (Seine-et-Marne) et l'étape initiale du Bronze final à l'interfluve Seine-Yonne*, Paris, Mémoires de la Société préhistorique française, 60.

Della Casa P. et Fischer C., 1997, « Neftenbach (CH), Velika Gruda (YU), Kastanas (GR) und Trindhøj (DK), Argumente für einen Beginn der Spätbronzezeit (Reinecke Bz D) im 14. Jahrhundert v. Ch. », *Prähistorische Zeitschrift*, 72-2, p. 195-233.

Delor J.-P., 2005, « Les pratiques funéraires observées dans la nécropole de Gurgy la Traîne (Yonne) », dans Mordant C. et Depierre G. (dir.), *Les pratiques funéraires à l'âge du Bronze en France. Actes de la table ronde de Sens 1998)*, Paris, Éditions du CTHS, p. 379-399.

Du Bouëtiez De Kerorguen E., Pluton-kliesch S. et Simonin S., *La nécropole à incinérations du Bronze final de Château-Landon « Le Camp » (Seine-et-Marne)*, supplément à la Revue archéologique d'Île-de-France, 4, Paris, Les Amis de la RAIF.

Froquet-Uzel H., dir, 2015, *Les nécropoles de l'âge du Bronze de Courcelles (Loiret) : approche des pratiques funéraires au début du Bronze final dans le Gâtinais occidental*, supplément à la *Revue archéologique du Centre de la France*, 56, Tours, FERACF.

Gouge P. et Peake R., 2005, « Aux marges du Bronze atlantique, sites et chronologies de la région du confluent Seine-Yonne », dans Bourgeois J. et Talon M. (éd.), *L'âge du Bronze du Nord de la France dans son contexte européen. Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques de Lille 2000*, Paris, Éditions du CTHS, p. 333-360.

Kolling A., 1968, *Späte Bronzezeit an Saar und Mosel*, Bonn, R. Habelt.

Kubach W., 1977, *Die Nadeln in Hessen und Rheinhessen*, Munich, C. H. Beck, Prähistorische Bronze Funde, XIII-3.

Labeaune R., Chevrier S. et Thiol S., 2009, *Passy-Véron (89) « Les Grandes noues, La Truie Pendue »*, rapport final d'opération, Dijon, Inrap Grand Est-Sud.

Lachenal T., 2012, « Les productions céramiques des étapes ancienne et moyenne du Bronze final en Provence (XIVe-XIe s. av. J.-C.) », *Documents d'archéologie méridionale*, 35, p. 13-51.

Lachenal T., 2014, « Chronologie de l'âge du Bronze en Provence », dans Sénépart I., Léandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault É. (éd.), *Chronologie de la préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche. Actes des 10e Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente (Porticcio, 18-20 octobre 2012)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 197-220.

Lachenal T., Vital J., Mazière F., Dedet B., Mercurini R., Néré É., Campamajo P., Crabol D., Rendu C. et Bousquet D., 2017, « Du Bronze moyen au début du Bronze final dans le Sud-Est de la France (Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon, sud de Rhône-Alpes et de l'Auvergne) », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Véber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale (XVIIe-XIIIe s. av. J.-C.). Actes du colloque international de l'APRAB, Strasbourg 2014*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 463-496.

Lacroix B., 1957, *La nécropole protohistorique de la Colombine, d'après les fouilles de Georges Bolnat*, Paris, Société des fouilles archéologiques et des monuments historiques de l'Yonne, Cahiers d'Archéologie et d'Histoire de l'Art, 2.

Mäder A., Langenegger E., Veszeli M. et Huser P., 2002, *Die spätbronzezeitlichen und spätlatènezeitlichen Brandstellen und Brandbestattungen in Elgg (Kanton Zürich): Untersuchungen zu Kremation und Bestattungsbrauchtum*, Zürich.

Michler M., 2017 « Occupation de la fin du Bronze moyen à Furdenheim (Bas-Rhin) », *Revue archéologique de l'Est*, 66 (189), p. 353-370.

Mordant C., 1989, « Transgression culturelle et mouvements de population aux XIVe-XIIIe s. av. n. è. dans le Bassin parisien, compétition culturelle et phénomène de lisière », *Dynamique du Bronze moyen en Europe occidentale. Actes du 113e Congrès national des Sociétés Savantes, Strasbourg 1988*, Paris, Éditions du CTHS, p. 283-303.

Mordant C., Mordant D. et Prampart J.-Y., 1976, *Le dépôt de bronze de Villethierry (Yonne)*, Supplément à *Gallia Préhistoire*, 9.

Mordant C. et Mordant D., 1970, *Le site protohistorique des Gours-aux-Lions à Marolles-sur-Seine (Seine-et-Marne)*, Paris, Mémoires de la société préhistorique française, 8.

Müller J. et Lohrke B., 2009, « Neue absolutchronologische Daten für die süddeutsche Hügelgräberbronzezeit », *Germania*, 87, p. 25-39.

Peake R., Delattre V., Auxiette G., Toulemonde F. et Ameye F., 2011, *Jaulnes Le Bas des Hauts Champs-Ouest, Ensembles funéraires et habitats de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer*, rapport final d'opération, Pantin, Inrap.

Peake R., Roscio M., Issenmann R., Riquier V. et Simonin D., 2017, « Le Bronze moyen et le début du Bronze final dans le sud du Bassin parisien », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Véber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale (XVIIe-XIIIe s. av. J.-C.). Actes du colloque international de l'APRAB, Strasbourg 2014*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 191-213.

Pinningre J.-F. et Ganard V., 2017, « Le Bronze moyen et le début du Bronze final dans le Jura et la plaine de la Saône », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Véber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale (XVIIe-XIIIe s. av. J.-C.). Actes du colloque international de l'APRAB, Strasbourg 2014*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 157-191.

Randsborg K., 1991, « Historical implications. Chronological Studies in European Archaeology c. 2000-500 BC », *Acta Archaeologica*, 62, p. 89-108.

Richter I., *Der Arm- und Beinschmuck der Bronze- und Urnenfelderzeit in Hessen und Rheinhessen*, Munich, C. H. Beck, Prähistorische Bronze Funde, X-1.

Roscio M., 2018, *Les nécropoles de l'étape ancienne du Bronze final du Bassin parisien au Jura souabe (XIVe-XIIe s. av. n. è.)*, Dijon, Éditions universitaires de Dijon (Arts, Archéologie et Patrimoine).

Roscio M., 2021, « Les morts ont-ils un sexe ? Genres et assemblages funéraires du Bronze final initial dans le Centre-Est de la France », dans Marcigny C. et Mordant C., *Bronze 2019. 20 ans de recherches. Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux, 19-22 juin 2019)*, *Bulletin de l'APRAB*, supplément n° 7, p. 453-465.

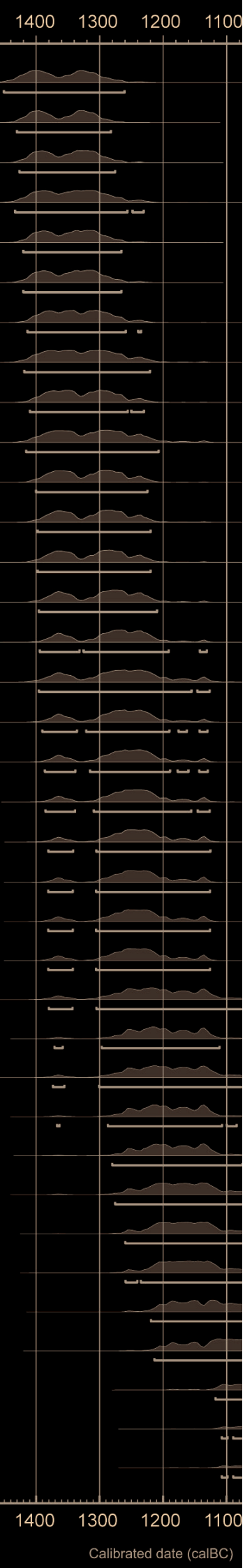
Rottier S., Mordant C. et Piette J. (dir.), 2012, *Archéologie funéraire du Bronze final dans les vallées de l'Yonne et de la haute Seine : les nécropoles de Barbey, Barbuise et La Saulsotte*, Dijon, Éditions universitaires de Dijon (Arts, Archéologie et Patrimoine).

Schauer P., *Die Schwerter in Süddeutschland, Österreich und der Schweiz*, Munich, C. H. Beck, Prähistorische Bronzefunde, IV-2.

Sperber L., 1987, *Untersuchungen zur Chronologie der Urnenfelderkultur im nördlichen Alpenvorland von der Schweiz bis Oberösterreich*, Bonn, Habelt.

Véber C., Billot-Bride M., Michler M., Plouin S., Ferrier A., Rault E., Goepfert S., Logel T., Pascutto É., Lasserre M., Fleischer F., 2017, « Le Bronze moyen et le début du Bronze final en Alsace : un état des connaissances », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Véber C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale (XVIIe-XIIIe s. av. J.-C.). Actes du colloque international de l'APRAB, Strasbourg 2014*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 28-50.

Vital J., 2012, « Repères chronométriques, typologiques et géographiques pour la céramique du Bronze final du Rhône aux Alpes », *Documents d'archéologie méridionale*, 35, p. 53-84.



Booms and Busts in settlement chronologies: creating a new model for the use of Bronze Age settlements in the British Bronze Age

Dr Edward Caswell and Dr Benjamin W. Roberts

Abstract

This paper discusses the creation of two new chronological models for the changing intensity of construction, occupation, and abandonment of Bronze Age settlements in the British Isles and contextualises this against existing chronologies for the British Bronze Age. Each model uses a different method and dataset; the first relying on summed radiocarbon dates, the second using more traditional means of dating. The results of the first analysis suggest a boom-bust cycle in the use of settlements similar to that seen in the use of the Great Orme copper mine. They also suggest that, while metalwork chronologies may be sensitive enough to detect social change, ceramic chronologies have served to hide the potential changes in activity occurring during the Bronze Age. However, the second model is more consistent with existing narratives. As such, the paper is able to highlight the issues inherent in each method, the need to critically assess chronological structures and the bias inherent in their construction.

Keywords

Bronze Age, Britain, chronology, settlement, radiocarbon dates, metalwork, ceramic

Résumé

Cet article présente deux nouveaux modèles chronologiques qui concernent l'installation, l'occupation et l'abandon des habitats de l'âge du Bronze dans les Îles Britanniques dans le cadre des chronologies existantes pour l'âge du Bronze britannique. Chacun des modèles utilise une base de données et une méthode d'analyse différente ; le premier est construit sur la somme des dates radiocarbones, le second utilise des méthodes de datation plus traditionnelles. Les résultats obtenus à partir du premier modèle suggèrent un cycle classique d'expansion du nombre d'habitats suivie d'un déclin, très semblable à celui observé pour les mines de cuivre de Great Orme. Ils indiqueraient également que bien que la typochronologie métallique soit assez précise pour observer des changements sociétaux, la typochronologie céramique, au contraire, aurait dissimulé des changements potentiels pendant l'âge du Bronze. Néanmoins, le deuxième modèle proposé ici est plus accord avec les hypothèses existantes. Ainsi, cet article soulève les questions propres à chaque méthode, identifie le besoin d'évaluer les structures chronologiques et les biais intrinsèques de leur construction.

Mots-clés

Âge du Bronze, Angleterre, chronologie, habitat, datation radiocarbone, métal, céramique

The British Bronze Age is a period that has been divided chronologically using material culture through at least six distinct models (Abercromby, 1912; Barrett and Bradley, 1980; Burgess, 1980; Hawkes 1960 published in Gerloff and O'Connor, 2019; Montelius, 1908; Needham, 1996), each using different evidence bases and so resulting in a different number of divisions of the period, often placed at different times. While the suitability of those schema relying on ceramics and metal has often been reinforced (Roberts *et al.*, 2013, pp. 30–31), their suitability for burials and settlements is less clear. Instead, these phenomena are placed within models dividing the Bronze Age into two periods, an Earlier, and a Later Bronze Age (following Barrett and Bradley, 1980). This paper seeks to develop a new chronological model for the intensity of use of bronze Age settlements in Britain. By creating this model, it then becomes possible to compare the intensity of settlement use over time to existing metalwork and ceramic chronologies. However, the creation of diachronic models and their subsequent interpretation rely heavily on the method(s) used for creating such a chronology (Crema *et al.*, 2010, p. 1). As such, two diachronic frameworks are proposed, the first using radiocarbon dates and the second using established seriation-based chronologies.

1. Bronze Age settlement radiocarbon data and its quality

This study draws upon data from a new baseline study of Bronze Age settlements sites in Britain (Caswell, 2020). Settlement sites within this study were understood to be "archaeological sites having clear structural features (post holes, slot-trenches or a combination of the two which formed the distinct footprint of a building) whose primary purpose could have been habitation".

This data includes three gazetteers of Bronze Age settlements sites, specifically:

– A list of potential Bronze Age settlement sites (n=6975).

– A near comprehensive list of all intrusively excavated or intensively studied sites with domestic structures that had in earlier research been dated to the Bronze Age (n=1488).

– A near comprehensive list of Bronze Age settlement sites associated with a defined domestic structure that was associated with at least one radiocarbon date (n=316).

A review was carried out of all accessible literature identifying and recording the radiocarbon dates for each site within the gazetteer of the 316 Bronze Age settlements (Caswell, 2020). Radiocarbon date details were accessible for 293 of the 316 settlement sites. A total of 3116 radiocarbon dates were recorded from those 293 settlements sites. It is possible that settlements with radiocarbon dates have been overlooked, for



Figure 1 - The distribution of sites with radiocarbon dates used in the paper before and after the data had been filtered based on quality. Contains OS data © Crown copyright and database right 2020.

instance if their accessible records show no indication of the site being radiocarbon dated. To assess this, the radiocarbon dates gathered were cross-checked against an archive of radiocarbon dates said to represent 75% of all those in Britain and Ireland (Bevan *et al.*, 2017). As no additional dates were identified from this latter dataset, this means the data used in this paper, at a minimum, is likely to represent 75% of those dates from Bronze Age settlement sites.

Not all of the 3116 radiocarbon dates from the 293 sites were relevant to the Bronze Age activity targeted by this study. A total of 1799 radiocarbon dates produced calibrated dates within the Bronze Age (c. 2400 – 800 cal BC), 1140 samples of which were found to relate to Bronze Age settlement occupation, either by directly dating a Bronze Age settlement structure, or a feature contemporary to one. Similarly, many samples were taken from material less than ideal for studying the occupation of these sites. Of the 1140 samples, 904 had information recording the material selected for dating, allowing comments on their quality to be made. A total of 785 of these 904 dates were of good quality or higher (defined as being a mixed or single species specimen whose life span was less than 200 years). Of these 785 radiocarbon dates, 413 could be directly related to at least one phase of either construction, occupation, or abandonment of a Bronze Age structure. These 413 dates came from 178 Bronze Age structures, taken from 87 settlement sites. The resulting sampling intensity is 25.6 dates for every 100 years and 0.002 dates per square kilometre. These sites are mostly well distributed across the majority of England, Scotland, and Wales, although there are notable absences of sites in the north east of England and Kent (fig. 1).

2. Creating a radiocarbon chronology for Bronze Age settlements

The refined dataset of radiocarbon dates have been combined into a series of summed probability distribution (SPD) graphs. This paper follows numerous studies over the past 20 years that produce summed probability distributions as a means to understand the changing frequency of certain human activities over time (Bevan *et al.*, 2017; Crema *et al.*, 2016; Ginn, 2016; McLaughlin *et al.*, 2016; Stevens and Fuller, 2012; Torfing, 2015; Williams, 2012). This paper's models were produced using recalibrated dates using IntCal 13 calibration curve within the OxCal v4.3.2 program (Ramsey, 1995, 1997, 2009) using the R_Sum function.

Some sites may be more thoroughly dated than others, this can lead to a skewing of results which overly reflect those sites rather than the dataset as a whole. The highest number of dates from this study's dataset come from the platform at Caldicot Castle Lake (19) (Nayling and Caseldine, 1997), whilst the largest number of structures were from Bestwall Quarry (12) (Ladle and Woodward, 2009). Neither of these are greater than 7% of the study population, such that it is unlikely that the distribution overly represents either, a single well excavated structure, or a single extensively dated settlement.

Similarly, multiple radiocarbon dates taken from the same feature have the potential to skew results to a single event. As such, when possible and appropriate, dates from the same phase of the same structure were combined using OxCal function R_Combine, and the combined date used within the final summed distribution graph.

The introduction of Bayesian statistics into radiocarbon dating has allowed the refinement of calibrated dates often using known stratigraphic relationships. (see Bayliss *et al.*, 2007 for a detailed discussion of the Bayesian method). While only thirteen sites had suitable numbers of related dates to apply this method, those that did were modelled using OxCal functions: Sequence, Boundary and Phase to produce more refined dates.

By using the methods above, two initial summed probability distributions were created using all high-quality dates that could confidently be related to a domestic Bronze Age structure – one with the described modelling applied, and one without (fig. 2a – labelled as combined and not combined respectively). These show that the quantity of domestic structures in the Early Bronze Age was low. Then, following 1700 cal BC, there is a sharp increase in the number of settlements constructed. This upwards trend lasted until approximately 1400 cal BC. A little after this time, the frequency of dates, and so potentially domestic structures, decreases, albeit not to a point as low as in the Early Bronze Age, before rebounding again to a slightly higher rate in the Late Bronze Age, at around 1000 cal BC.

Both distributions provide a model using radiocarbon dates that target the construction, occupation, and abandonment phases of Bronze Age settlement sites. However, these events are chronologically distinct. It was therefore decided to segment the dataset based on what phase of activity within each settlement they represented and to create summed probability distributions of each of these events. The summed probability distributions for construction and occupation events produce similar results to that of the first two models (fig. 2b-c). Once again, a boom in activity can be seen beginning at 1700 cal BC which peaks between 1400 and 1300 cal BC before collapsing. They do differ slightly in the scale of recovery at c.1100 cal BC, which is less visible in the occupation dataset. Too few dates were obtained for the abandonment phases of Bronze Age settlements so that not much can be gleaned about the variable intensity of this activity. These results instead are useful only in confirming that abandonment occurred throughout the Bronze Age (fig. 2d). When characterising the narrative produced of the construction, occupation and abandonment of Bronze Age domestic structures, a coherent pattern emerges. Bronze Age domestic structures can be

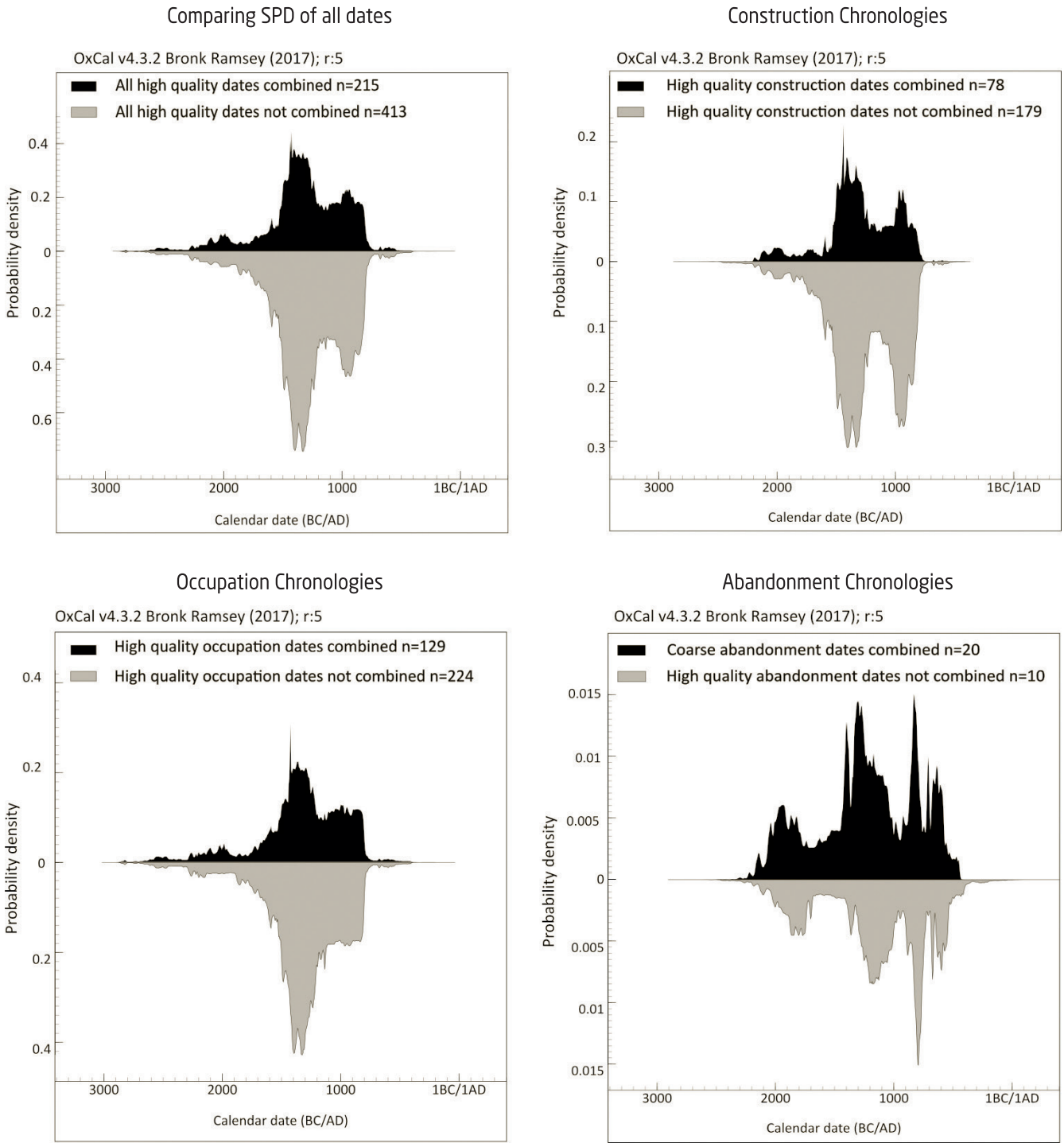


Figure 2 - The four summed probability distribution graphs of; all high quality radiocarbon dates (a-top left), those directly associated with the construction of a Bronze Age structure in Britain (b-top right), those directly associated with the occupation of a Bronze Age structure in Britain (c-bottom left), and those directly associated with the abandonment of a Bronze Age structure in Britain (d-bottom) right.

temporally divided into four primary phases following a boom-bust model (tabl. 1) this represents a wholly new radiocarbon based diachronic model for the intensity of use of permanent settlement structures in Bronze Age Britain, although it should not be seen as a proxy for population levels.

3. Creating a relative chronology for Bronze Age settlements

The model above relies on a subset of Bronze Age settlement sites (291 sites from a total of 316) which themselves are only a small sample of the total number of excavated (1488) and potential Bronze Age settlements (6975). It is possible therefore that the model outlined above is not representative of the larger dataset. As such it is necessary to test this model against the larger dataset.

Phase Name	Time period	Description
Phase 1	2400 - 1700 cal BC	There are few domestic structures in Britain, although they are found throughout England, Scotland and Wales
Phase 2a	1700 -1400 cal BC	There is rapid expansion in the number of domestic structures in Britain.
Phase 2b	1400 -1300 cal BC	The number of structures in use stabilises at a peak which lasts c.100 years.
Phase 3a	1300 -1200/1100 cal BC	There is a collapse in settlement numbers albeit not to a level as low as in Phase 1.
Phase 3b	1200/1100 cal BC	Settlement levels again stabilise at a level which is above that seen in Phase 1 but is considerably lower than that seen during Phase 2.
Phase 4	1100 - 800 cal BC	Eventually settlement numbers begin to increase again to a level at which they may stabilise before the Iron Age begins.

Table 1 - A narrative description of the radiocarbon diachronic model for settlement intensity in Britain over the Bronze Age.

The number of sites being far too large to gather and assess the temporal location of each settlement it was decided to rely on previously suggested temporal locations within existing heritage bodies' records. Within these records, sites are frequently given an approximate period for their use. The chronological schema most often used for these summaries are: the Three Age division of the Bronze Age with an Early, Middle and Late Bronze Age; a two stage division into Earlier and Later Bronze Age; or an even broader attribution to the Later Prehistoric period – which while typically defined between 2400 cal BC to 43 AD - is often taken to mean 1600 cal BC to 43 AD in most records (see for instance Harding, 2009 which uses the term in a book dedicated solely to the Iron Age). Yet, in practice within grey literature reports, periods using the three-age system are given only if certain pottery forms are found. For example, Food Vessels, Beakers and Collared Urns are used to justify an Early Bronze Age date; Deverel-Rimbury or equivalent pottery, such as Trevisker ware, are used to justify a Middle Bronze Age date (see for instance monument record 5919 within Devon's historic environment record which states *"The date of the second phase is constrained by the recovery of sherds of Trevisker ware, indicating a mid-late Bronze Age date"*). Sites with plain wares, such as post-Deverel-Rimbury ware are then assigned to the Late Bronze Age. This is despite these pottery forms not entirely accurately mapping the Three Age division over time (Brudenell, 2012; Jay *et al.*, 2019; Law, 2009; Quinnell, 2012; Sheridan, 2003, 2007; Sheridan *et al.*, 2007; Wilkin, 2013; Woodward, 2009); being found only in restricted geographic regions; and overlapping in their periods of use. Furthermore, it is not uncommon for sites to be determined as Later Prehistoric, or often Late Bronze Age/ Early Iron Age, simply on settlement form alone (the database within Caswell 2020 for instance has identified potentially 1609 sites whose dating was based solely on form according to the text within their summary data).

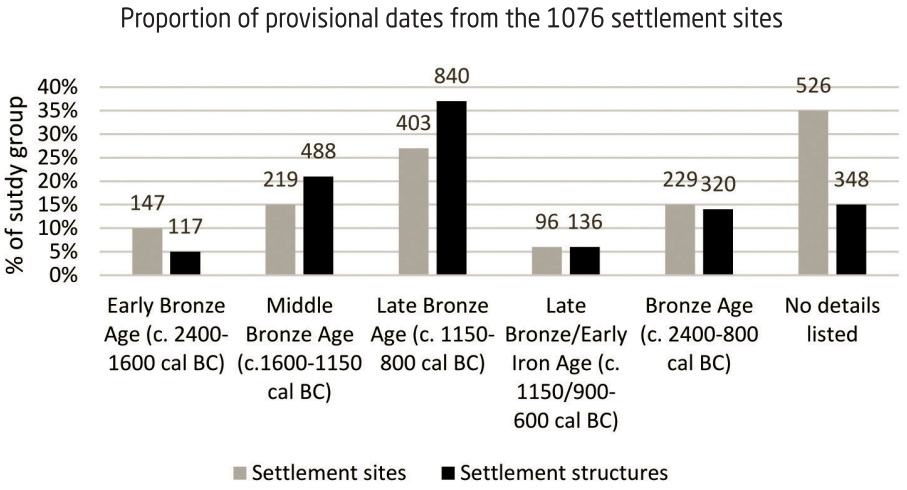


Figure 3 - Comparison of provisional dates for settlements and structures from the study arranged by typological period. Numbers above each bar represent the frequency.

Such typo-chronological schema for Bronze Age settlement date attributions are clearly imprecise and used very irregularly, such that sole reliance on any such schema should be cautioned against. However, by using these data it is possible to swiftly apply a provisional date for each of the recorded settlements that allows comparison to the radiocarbon model. In this instance all summary text provided by the heritage bodies was surveyed in full for each of 1303 sites identified as likely containing Bronze Age domestic structural remains, Any mentions of a date were then recorded and if deemed

Structure Provisional Date	Settlement Count	% of 1488	Structure Count	% of 2273
Early Bronze Age (c. 2400-1600 cal BC)	147	10%	117	5%
Middle Bronze Age (c.1600-1150 cal BC)	219	15%	488	21%
Late Bronze Age (c. 1150-800 cal BC)	403	27%	840	37%
Late Bronze/Early Iron Age (c. 1150/900-600 cal BC)	96	6%	136	6%
Bronze Age (c. 2400-800 cal BC)	229	15%	320	14%
No details listed	526	35%	348	15%

Table 2 - Count of settlements and structures that display activity within suggested time periods.

applicable to the settlement discussed, recorded. No dates were added to sites if they were not *explicitly* recorded at this phase of analysis. Using this method, 1076 of 1303 (83%) sites had a typological period assigned to them, the rest remaining undated. The results of this early study display a very clear picture of the numbers of settlements and structures increasing through the Bronze Age with the majority being found in the Late Bronze Age (tabl. 2 and fig. 3). The large number of Late Bronze Age sites may be exaggerated by the number of sites that are described as Late Bronze Age/Early Iron Age. However, even when removing these sites, there appears to be an acceleration in the construction of settlements throughout the Bronze Age.

4. Discussion

4.1. Comparing the relative and absolute chronologies for Britain

Two narratives have been proposed for the intensity of settlement structures across the Bronze Age. While the first model does allow for an increase in the number of settlements in the Late Bronze Age, the intensity of this is still far below that seen at 1400 cal BC in the Middle Bronze Age. The two models' narratives are therefore incompatible. This can be crudely demonstrated by binning those radiocarbon dates for each settlement based on their calibrated ages (fig. 4) which demonstrates that, even if dividing the dataset into a three age system, a different model of settlement growth is produced (although see Crema *et al.*, 2016 for a more thorough method of how these data might be binned for comparison). How then might these models be compared to one another? The model using radiocarbon dates relies on that data most closely scrutinised, and so may be expected to represent the true record. It may also be that Middle Bronze Age sites are disproportionally radiocarbon dated compared to Late Bronze Age sites. Such a bias might arise if this period is more easily identified through existing ceramic chronologies, yet such ceramic chronologies are as able to identify Middle Bronze Age sites through the appearance of Deverel-Rimbury Pottery. Furthermore, the second model is also not without potential bias. It has already been highlighted how sites are often termed Late or Later Bronze Age based on insufficient criteria. As such, neither model is without potential bias, the extent of which is difficult to determine beyond a wholescale re-analysis of the material culture of those larger settlement data sites, a task beyond the scope of this paper. However, it is possible to determine how likely the radiocarbon model is to change by utilising those low-quality radiocarbon dates previously omitted, and through comparing the number of dates identified within this paper to all those recorded for the Bronze Age in Britain.

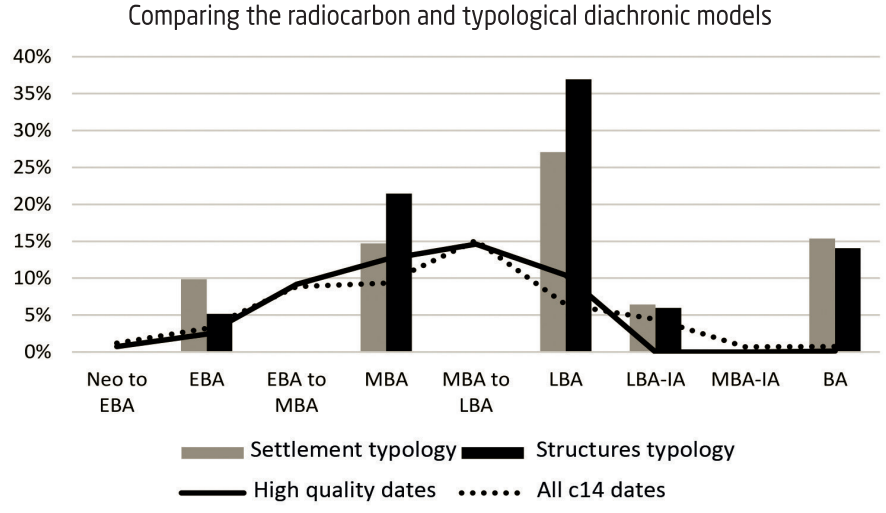


Figure 4 - A normalised comparison of the radiocarbon and relative diachronic models. Bins for radiocarbon dates were formed to allow comparison by classifying each date within a period based on its start and end date.

4.2. How vulnerable are the modelled narratives to change?

The number of high-quality dates (414 of 3116) from structures (141 of 1085) and sites (87 of 293) is far smaller than the total study sample and far smaller than the number of raw

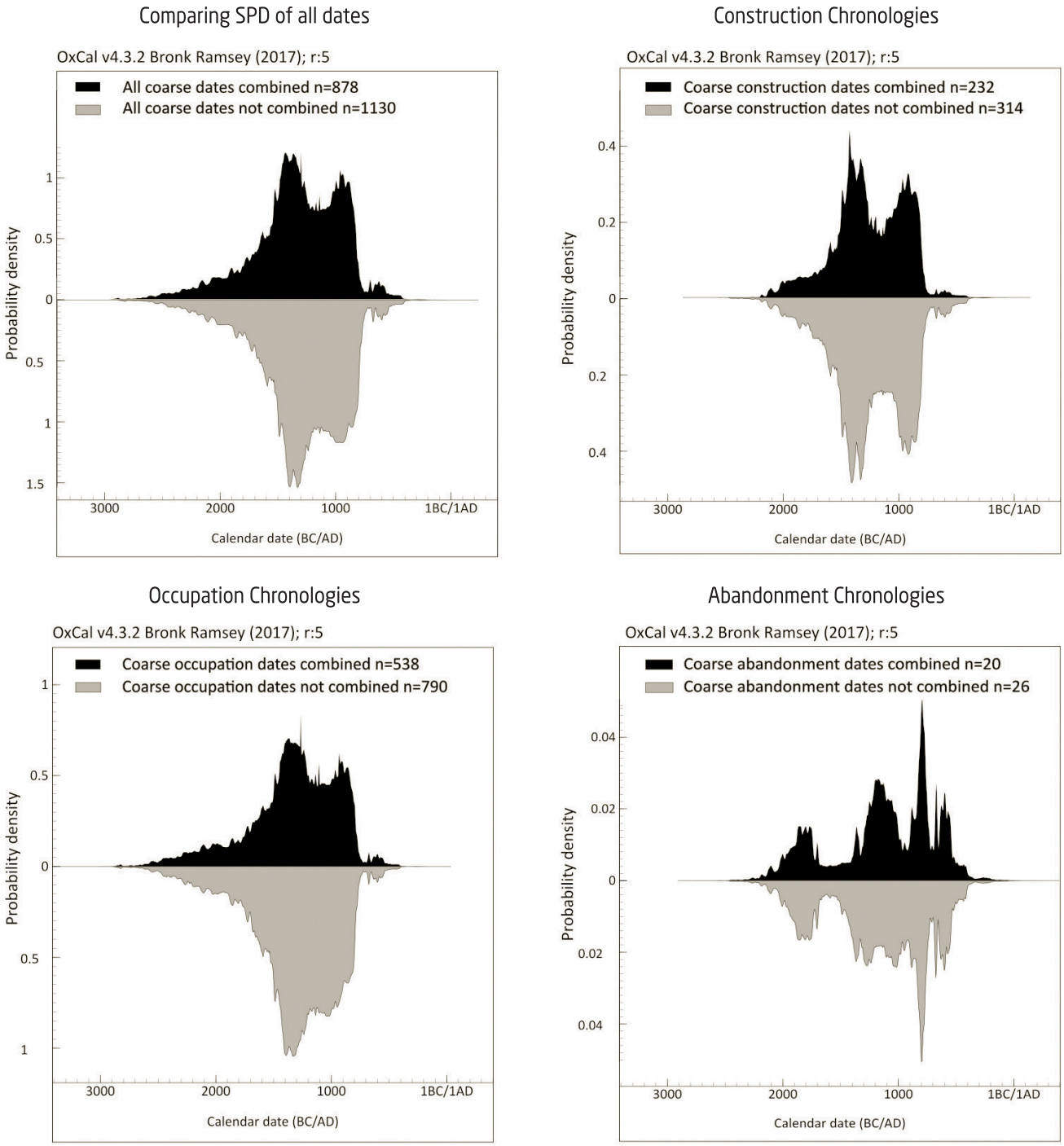


Figure 5 - The four summed probability distribution graphs of; all (low and high quality) radiocarbon dates (a-top left), those directly associated with the construction of a Bronze Age structure in Britain (b-top right), those directly associated with the occupation of a Bronze Age structure in Britain (c-bottom left), and those directly associated with the abandonment of a Bronze Age structure in Britain (d-bottom right). This is overlaid by the proposed radiocarbon diachronic model.

radiocarbon dates. While these have been cut down for appropriate reasons, the less refined dataset does allow some comparison to be made assuming more data were added to the model. As in this paper's main section of analysis, it is possible to create summed probability distributions using those data eliminated due to their poor quality. To do so, only those dates that were known to be relevant to Bronze Age structures were chosen. This analysis uses a total of 1141 radiocarbon dates associated with a total of 464 Bronze Age settlements features from 227 sites. In each instance the overall narrative proposed above fits the summed probability distribution graphs of the poorer quality data (fig. 5). This is despite twice the numbers of sites being added to the database. This indicates that those poor-quality dates only serve to reinforce the model as presented. As such, it appears unlikely that the addition of dates from those 23 sites whose literature was not accessed would change the model substantially. It seems plausible to also suggest that the model is unlikely to be seriously affected in the near future by those sites that might have been missed during data collection which

would need to have hundreds, or possibly thousands of dates to alter the results.

The only caveat to this conclusion is that the model could be altered if a major scheme of radiocarbon dating targeting Bronze Age settlements in Britain is initiated. The scale of such a project can be estimated. Those 1822 dates studied make up nearly one quarter of c.75% of all Bronze Age radiocarbon dates on British material (following Bevan *et al.*, 2017), in essence 19% of those radiocarbon dates of all material recorded since the inception of the method. As such, a radiocarbon dating program of suitable size to change the results of this analysis would likely need to match the number of dates recorded over a period of c.70 years (This can be estimated at c.9500 through Bevan *et al.*, 2017 supporting data). Relevant to this is that of the 3013 dates identified, only 414 were of sufficient quality for modelling within this study. As such, unless higher standards are maintained when collecting material for the purpose of radiocarbon dates, it is likely that many more thousands of dates will be required to substantially change the models presented. It can therefore be suggested that the model produced here is unlikely to change in the short to medium term.

4.3. How does the diachronic model fit established models of transformation in the British Bronze Age?

The radiocarbon model is independent of existing temporal schema for British Bronze Age metalwork and ceramics. It is therefore possible to assess it against these chronologies. The synchronicity of the diachronic model's periods to those argued to exist for metalwork assemblages is striking (fig. 6). Almost all of the phases suggested closely align for the start and end dates of current metal artefact assemblages. Those exceptions are the start of phase 2, which is placed at 1700 cal BC, only 50 years later than the start of Metal Assemblage VI, and the transition between period 3a and 3b which is offset only slightly from the Penard-Wilburton transition. The close alignment of these phases demonstrates that Bronze Age metalwork seriation schema are theoretically able to detect the changes seen in the radiocarbon model for settlements developed by this study. It is therefore possible to conclude that divisions of the Bronze Age using metalwork may be able to depict social change.

Unfortunately, the reverse is true of ceramic typologies (fig. 6). No single form or combination of forms suitably reflect the divisions identified within the paper's chronological schema, although Beakers and Food Vessels are restricted to only a single settlement period (P1). This is significant as ceramics are regularly the primary means of dating a settlement or burial site (see above). In particular, it appears that Deverel-Rimbury pottery, often used to only define a single phase in archaeological narratives, subsumes a large degree of change in the settlement record, namely a boom, stabilisation, collapse, and recovery phase. This grouping of four sub phases may explain the discrepancy in diachronic models identified above and demonstrates that studies solely relying on this dating evidence are likely to cluster potential social transformations.

The accurate mapping of metalwork stages to this paper's diachronic model of settlement intensity recommends further comparison of the schema to a new study of metal production at the Great Orme mine (Williams and Veslud, 2019). Recent research comparing the combined isotopic and chemical signature of this mine's copper with diagnostic artefacts from the Bronze Age has now been used to suggest that this mine was primarily used between 1600 and 1400 cal BC before being exhausted (Williams and Veslud, 2019, p. 1192). Compellingly to this study is that the boom and bust cycle within this article are identical in timing and scale as the radiocarbon model (fig. 6). It may therefore be that these two events are related, although further investigation of the relationship between metalworking and settlement sites is required to assess the nature of this contemporaneity.

4.4. Comparisons with chronological models outside Britain

The synchronicity of the proposed radiocarbon model with existing metalwork chronologies may support its validity. This being the case, it is appropriate to compare it to those existing diachronic models of wider settlement expansion within north western Europe.

The radiocarbon model contrasts with the pattern proposed by Gills and Frank (1992). Their model suggests almost pan-European patterns of expansion and contraction which, during the Bronze Age, is seen as expansion episodes between 1400–1200 BC and 1000–800 BC and contraction phases between 1700–1500/1400 BC, 1200–1000 BC and 800–550 BC. While the radiocarbon model argues for similar expansion and contraction episodes in Britain, it appears that each of these episodes may require back-dating by approximately 300 years.

A second model for settlement change suggests a more linear increase in settlement numbers over time across much of north western Europe, culminating in a peak in the Iron Age around 500 cal BC (Bradley *et al.*, 2016, p. 216). This differs from the radiocarbon model presented, although this may be due to the larger number of Iron Age sites suppressing the visibility of variation within the Bronze Age. This may be seen elsewhere. For example, in the Low Countries the number of known settlements increased from a small number of disputed sites to well over 300 individual structures (Arnoldussen, 2008, p. 167). The majority of these settlements date to the Middle Bronze Age B (42%) (1500-1050 cal BC) whilst the number of Late Bronze Age (1050-800 cal BC) settlements is far smaller (*ibid.*). Similarly, Ginn (2016, p. 47) has identified an increase in Irish settlement numbers at 1600 cal BC followed by a collapse and recovery contemporary to this study's model for Britain.

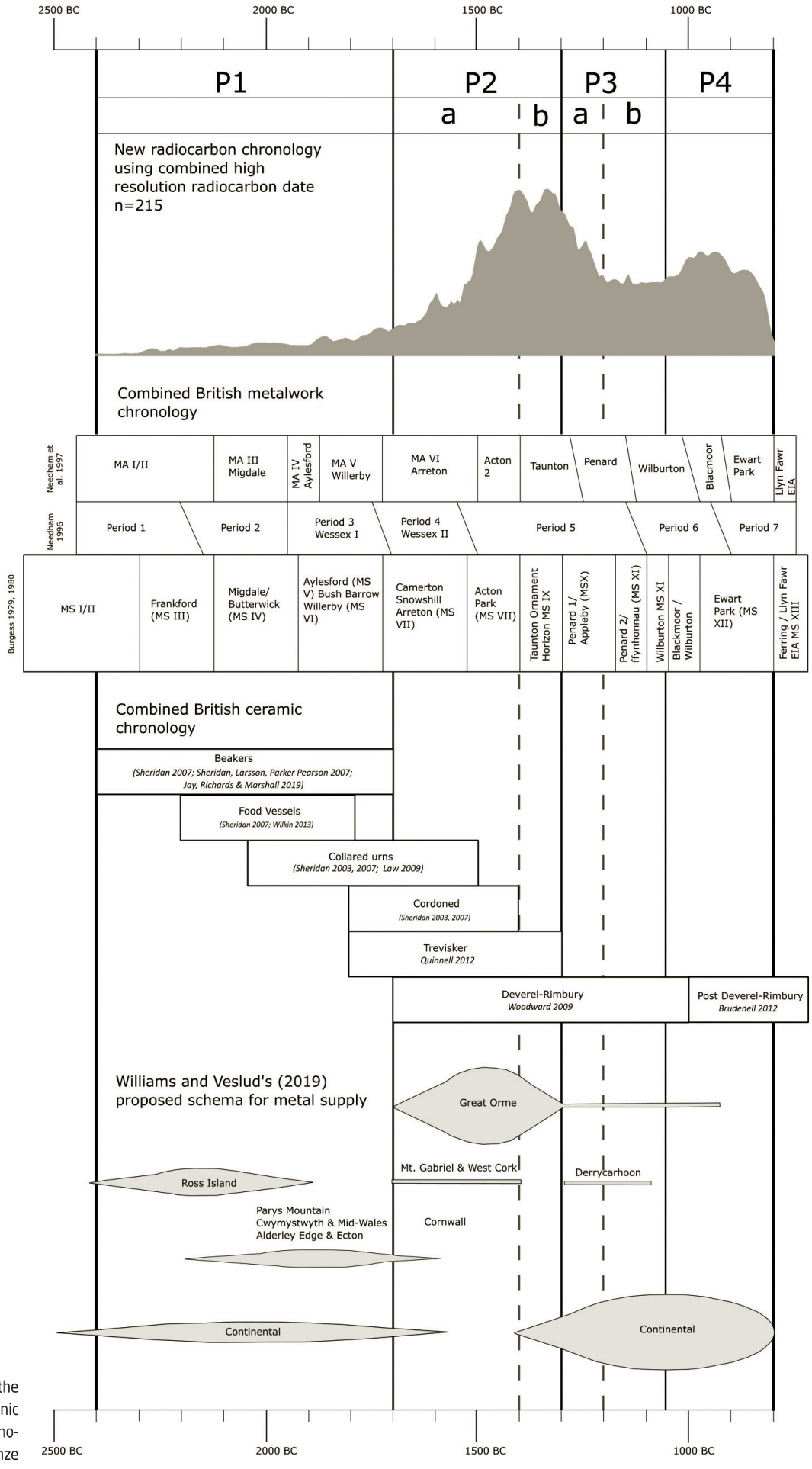


Figure 6 - Comparison of the new radiocarbon diachronic model to existing chronological schema of the Bronze Age in Britain.

It should be recognised that the changes in settlement numbers does not follow the same pattern in all regions of north western Europe. For example, while the Middle Bronze Age in Germany is now seen as a period of settlement expansion, the increase in the number of settlements is humbler (Bradley *et al.*, 2016, p. 175). Further north in Jutland, it is structure size that increases rather than settlement numbers (Holst *et al.*, 2013). In northern France, the record is more variable. In Normandy ephemeral roundhouses, similar to those Early Bronze Age examples in Britain, appear at around 1600 cal BC (Marcigny, 2017, p. 67). These appear to be replaced by rectangular structures at 1500 cal BC which are in turn replaced by more developed roundhouses at 1200 cal BC (*ibid)*. Similarly, in Brittany roundhouses only appear at c.1350 cal BC (Blanchet *et al.*, 2017, pp. 88-9). Picardy has a more sparse settlement record (Bourgeois and Talon, 2009, p. 44), although occasional Middle Bronze Age structures are now known (Billand *et al.*, 2017, pp. 223-6; Buchez *et al.*, 2017, p. 42-2). Instead, this region sees an increase in sites consisting of silos, wells and ovens at c.1350 cal BC (*ibid*).

The changes in settlement form and number across northern France correlate with Phase 3 but do not appear to represent contraction episodes like that suggested for Britain. Yet, the contemporaneity of these changes with the radiocarbon model, coupled with the complementary settlement numbers of Ireland, the Low Countries and potentially Germany, invites speculation on the possibility of a wider north western European settlement use cycle. Such an analysis would require the full integration of site numbers and radiocarbon dates beyond the scope of this paper.

5. Conclusion

This paper has set out to establish a diachronic model for Bronze Age domestic structures in Britain. Two models have been proposed which present contrasting narratives of settlement intensity. This research therefore reinforces that the method chosen for the creation of tempo-chronological models has a significant impact on the models produced (supporting Crema *et al.*, 2010, 1). Establishing firmly which of the diachronic models is more reliable is beyond the scope of this study. However, it has been argued that the model relying on radiocarbon dates is less prone to observation bias and less likely to change in any significant way, barring the collection of entirely new and different radiocarbon dates on an unprecedented scale. This being the case it is currently the author's preferred model. This issue may be better understood through a future study of the representativeness of current radiocarbon dates of the wider record. Such a study could be conducted using those cited settlement datasets through a more rigorous study of their date through associated material culture than this research has allowed (similar to Crema *et al.*, 2016).

It is significant that the new boom-bust model of settlement intensity shows changes contemporary to those in the metalwork record and so would be detected within existing metalwork-based chronologies. This does imply that such schema *are* sensitive enough to be suitable for detecting social change during this period, at least in regards of settlements. Ceramic chronologies by contrast appear to be too broad in period divisions to identify such changes. This is significant as studies of other contemporary phenomenon, such as burials, are often heavily reliant on this material. It may therefore be possible that large differences in the use of these phenomena are currently hidden, as has been suggested here for settlement. It is therefore appropriate in future studies of phenomena such as monuments, field systems and burials to produce new chronologies of use, using both radiocarbon dates and traditional seriation-based methods.

This analysis has also revealed the exciting discovery that the boom and bust in Bronze Age settlements appears to be contemporary with the exploitation of the Great Orme copper mine. Both these studies present a pivot point for this boom at 1600 cal BC which supports the validity of divisions of the period at around this time. The social significance of this finding is beyond the scope of this paper but is likely to require integration of the burial and metalworking record to fully understand.

Perhaps most significantly then, this paper has argued that, for Bronze Age settlements, the number of radiocarbon dates now available to study is large enough that new dates are unlikely to change these new radiocarbon based narratives significantly in the near to medium term. If this is accepted it can then be concluded that it is appropriate and timely to create such new radiocarbon chronologies for other contemporary phenomena using the extensive datasets now available (e.g. Bayliss, 2013; Bayliss *et al.*, 2008; Bevan *et al.*, 2017; Council For British Archaeology, 2012; Jordan *et al.*, 1994). While there are limitations to these methods (discussed above) they have the potential to identify previously unknown temporal changes that may be compared with current and future models of the Bronze Age across north western Europe.

Dr Edward Caswell

Finds Liaison Officer for Oxfordshire
edwardcaswell@outlook.com

Dr Benjamin W. Roberts

Associate Professor in the Department of Archaeology
Durham University benjamin.roberts@durham.ac.uk

Bibliography

Abercromby J., 1912, *A Study of the Bronze Age Pottery of Great Britain & Ireland and Its Associated Grave-Goods*, Oxford, Clarendon Press.

Arnoldussen S., 2008, *A Living Landscape: Bronze Age Settlement Sites in the Dutch River Area (c. 2000-800 BC)*, Leiden, Sidestone Press.

Barrett J. et Bradley R., 1980, *Settlement and Society in the British Later Bronze Age*, Oxford, BAR British Series, 83.

Bayliss A., 2013, *Radiocarbon Dates: From Samples Funded by English Heritage between 1989 and 1992*, Swindon, English Heritage.

Bayliss A., Bronk Ramsey C., van der Plicht J. et Whittle A., 2007, « Bradshaw and Bayes: Towards a Timetable for the Neolithic », *Cambridge Archaeological Journal*, 17, p. 1-28.

Bayliss A., Cook G., Bronk Ramsey C., van der Plicht J. et McCormac G., 2008, *Radiocarbon Dates: From Samples Funded by English Heritage Under the Aggregates Levy Sustainability Fund 2004-7*, Swindon: English Heritage.

Bevan A., College S., Fuller D., Fyfe R., Shennan S. et Stevens C., 2017, « Holocene Fluctuations in Human Population Demonstrate Repeated Links to Food Production and Climate », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 49, p. E10524-E1053.

Billand G., Buchez N., Henton A., Leroy-Langelin E., Lamotte D., Le Goff I., Lorin Y., Marcigny C., Sergent A. et Talon M., 2017, « Entre Bronze moyen et Bronze final : la deuxième moitié du IIe millénaire de la Normandie au Nord de la France », dans Lachenal T., Mordant C., Nicolas T. et Véber C. (éd.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale (XVIIe-XIIIe siècle av. J.-C.), Actes du colloque « Bronze 2014 » (Strasbourg, 17-20 juin 2014)*, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand-Est, 1, p. 217-236.

Blanchet S., Nicolas T. et Fily M., 2017, « L'habitat et l'occupation du sol : premier bilan synthétique pour la Bretagne », dans Carozza L., Marcigny C. et Talon M. (éd.), *L'habitat et l'occupation des sols à l'âge du Bronze et au début du premier âge du Fer*, Recherches Archéologiques, 12, Paris, Inrap/CNRS, p. 79-93.

Bourgeois J. et Talon M., 2009, « From Picardy to Flanders: Transmanche Connections in the Bronze Age », dans Clark P (éd.), *Bronze Age Connections: Culture Contact in Prehistoric Europe*, Oxford, Oxbow Books, p. 38-59.

Bradley R., Haselgrove C., Vander Linden M. et Webley L., 2016, *The Later Prehistory of North-West Europe: The Evidence of Development-Led Fieldwork*, Oxford, Oxford University Press.

Bronk Ramsey C., 2009, « Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates », *Radiocarbon*, 51, 1, p. 337-360.

Bronk Ramsey C., 1997, « Probability and Dating », *Radiocarbon*, 40, 1, p. 461-474.

Bronk Ramsey C., 1995, « Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program », *Radiocarbon*, 37, 2, p. 425-430.

Brudenell M., 2012, *Pots, Practice and Society: An Investigation of Pattern and Variability in the Post-Deverel Rimbury Ceramic Tradition of East Anglia*, Unpublished PhD thesis, university of York.

Buchez N., Henton A., Le Guen P et Talon M., 2017, « L'habitat et l'occupation du sol en Nord Picardie », dans Carozza L., Marcigny C. et Talon M. (éd.), *L'habitat et l'occupation des sols à l'âge du Bronze et au début du premier âge du Fer*, Recherches Archéologiques, 12, Paris, Inrap/CNRS, p. 33-52.

Burgess C., 1979, « The Background of Early Metalworking in Ireland and Britain », dans Ryan M. (éd.), *The Origins of Metallurgy in Atlantic Europe: Proceedings of the Fifth Atlantic Colloquium, Dublin 1978*, Dublin, Stationery Office, p. 207-214.

Burgess C., 1980, *The Age of Stonehenge*, London, Dent.

Caswell E., 2020, *A Place to Call Home: Understanding Bronze Age (c. 2400-800 cal BC) Settlement in Britain*, Unpublished PhD thesis, Durham University.

Council For British Archaeology, 2012, *Archaeological Site Index to Radiocarbon Dates from Great Britain and Ireland*, York, Archaeology Data Service.

Crema E., Bevan A. et Lake M., 2010, « A Probabilistic Framework for Assessing Spatio-Temporal Point Patterns in the Archaeological Record », *Journal of Archaeological Science*, 37, 5, p. 1118-1130.

Crema E., Habu J., Kobayashi K. et Madella M., 2016, « Summed Probability Distribution of ^{14}C Dates Suggests Regional Divergences in the Population Dynamics of the Jomon Period in Eastern Japan », *PLOS One*, 11, 4, p. 1-18.

Gerloff S. et O'Connor B., 2019, « A Scheme for the British Bronze Age by C F C Hawkes », dans Brandhern D. (éd.), *Aspects of the Bronze Age in the Atlantic Archipelago and Beyond: Proceedings from the Belfast Bronze Age Forum, 9-10 November 2013*, Hagen, Curach Bhán Publications Archæologia Atlantica, Monographiæ III, p. 16-30.

Gills N. et Gunder Frank A., 1992, « World System Cycles, Crises, and Hegemonial Shifts, 1700 BC to 1700 AD », *Review (Fernand Braudel Center)*, 15, 4, p. 621-687.

Ginn V., 2016, *Mapping Society: Settlement Structure in Later Bronze Age Ireland*, Oxford: Archaeopress Archaeology.

Harding D., 2009, *The Iron Age Round-House: Later Prehistoric Building in Britain and Beyond*, Oxford, University Press.

Holst K. K., Rasmussen M., Kristiansen K. et Bech J., 2013, « Bronze Age 'Herostrats': Ritual, Political, and Domestic Economies in Early Bronze Age Denmark », *Proceedings of the Prehistoric Society*, 79, p. 265-296.

Jordan D., Bayliss A. et Haddon-Reece D., 1994, *Radiocarbon Dates: From Samples Funded by English Heritage and Dated before 1981*, London, English Heritage.

Ladle L. et Woodward A., 2009, *Excavations at Bestwall Quarry, Wareham 1992-2005: The Prehistoric Landscape*, Dorchester, Dorset Natural History and Archaeological Society.

Law R., 2009, *The Development and Perpetuation of a Ceramic Tradition: The Significance of Collared Urns in Early Bronze Age Social Life*, Unpublished PhD thesis, University of Cambridge.

Marcigny C., 2017, « L'habitat et l'occupation du sol en Normandie », dans Carozza L., Marcigny C. et Talon M. (éd.), *L'habitat et l'occupation des sols à l'âge du Bronze et au début du premier âge du Fer*, Recherches Archéologiques, 12, Paris, Inrap/CNRS, p. 53-77.

McLaughlin T., Whitehouse N., Schulting R., McClatchie M., Barratt P. et Bogaard A., 2016, « The Changing Face of Neolithic and Bronze Age Ireland: A Big Data Approach to the Settlement and Burial Records », *Journal of World Prehistory*, 29, 2, p. 117-153.

Montelius O., 1908, « III. The Chronology of the British Bronze Age », *Archaeologia*, 61, 1, p. 97-162.

Nayling N. et Caseldine A., 1997, *Excavations at Caldicot, Gwent: Bronze Age Palaeochannels in the Lower Nedern Valley*, CBA Research Report, 108, York, Council for British Archaeology.

Needham S., 1996, « Chronology and Periodisation in the British Bronze Age », *Acta Archaeologica*, 67, p. 121-140.

Needham S., Bronk Ramsey C., Coombs D., Cartwright C. et Pettitt P., 1997, « An Independent Chronology for British Bronze Age Metalwork: The Results of the Oxford Radiocarbon Accelerator Programme », *Archaeological Journal*, 154, 1, p. 55-107.

Nowakowski J., 2012, « Trevisker Pottery: Some Recent Studies », dans Lynch F., Britnell W. et Silvester. R. (éd.), *Reflections on the Past: Essays in Honour of Frances Lynch*, Welshpool, Cambrian Archaeological Association, p. 146-171.

Roberts B., Uckelmann M. et Brandherm D., 2013, « Old Father Time: The Bronze Age Chronology of Western Europe », dans Harding A. et Fokkens H. (éd.), *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford, Oxford University Press, Oxford Handbooks in Archaeology, p. 17-46.

Sheridan A., 2007, « Dating the Scottish Bronze Age: 'There Is Clearly Much That the Material Can Still Tell Us », dans Burgess C. Topping P. et Lynch F. (éd.), *Beyond Stonehenge: Essays on the Bronze Age in Honour of Colin Burgess*, Oxford, Oxbow Books, p. 162-185.

Sheridan A., 2003, « New Dates For Scottish Bronze Age Cinerary Urns: Results From The National Museums Of Scotland Dating Cremated Bones Project », dans Gibson A (éd.), *Prehistoric Pottery: People, Pattern and Purpose*, Oxford, Archaeopress, BAR International Series, 1156, p. 201-226.

Sheridan A., Larsson M. et Parker-Pearson M., 2007, « Scottish Beaker Dates: The Good, the Bad and the Ugly », dans Larsson M. et Parker Pearson M. (éd.), *From Stonehenge to the Baltic: Living with Cultural Diversity in the Third Millennium BC*, Oxford, Archaeopress, British Archaeological Reports, International Series 1692, p. 91-123.

Stevens C. et Fuller D., 2012, « Did Neolithic Farming Fail? The Case for a Bronze Age Agricultural Revolution in the British Isles », *Antiquity*, 86, 333, p. 707-722.

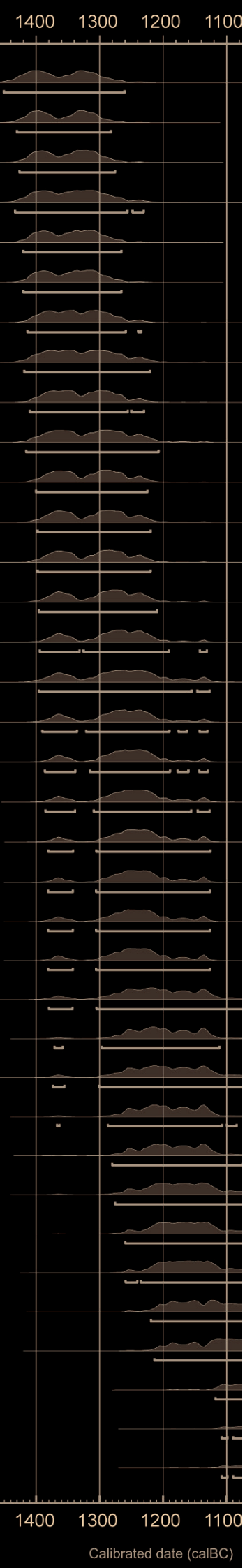
Torfing T., 2015, « Neolithic Population and Summed Probability Distribution of ^{14}C-Dates », *Journal of Archaeological Science*, 63, p. 193-198.

Wilkin N., 2013, *Food Vessel Pottery from Early Bronze Age Funerary Contexts in Northern England: A Typological and Contextual Study*, Unpublished PhD thesis, University of Birmingham.

Williams A., 2012, « The Use of Summed Radiocarbon Probability Distributions in Archaeology: A Review of Methods », *Journal of Archaeological Science*, 39, 3, p. 578-589.

Williams A. et Veslud C., 2019, « Boom and Bust in Bronze Age Britain: Major Copper Production from the Great Orme Mine and European Trade, c. 1600-1400 BC », *Antiquity*, 93, 371, p. 1178-1196.

Woodward A., 2009, « Chapter 8: The Pottery », dans Ladle L. et Woodward A. (éd.), *Excavations at Bestwall Quarry, Wareham 1992-2005. Vol. 1, the Prehistoric Landscape*, Dorset Natural History and Archaeological Society Monograph Series 19, Dorchester: Dorset Natural History & Archaeological Society, p. 200-271.



Le projet CRUMBEL – Archéométrie et os incinérés du Néolithique final à l'époque mérovingienne Des opportunités pour affiner la chronologie existante

Guy De Mulder, Eugène Warmenbol, Christophe Snoeck, Sarah Dalle, Charlotte Sabaux, Rica Annaert, Marta Hlad, Elisavet Stamataki, Barbara Veselka, Martine Vercauteren, Giacomo Capuzzo, Kevin Salesse, Amanda Sengeløv et Mathieu Boudin

Résumé

CRUMBEL est un projet interuniversitaire belge axé sur la mobilité des populations anciennes du Néolithique final à la période mérovingienne. Dans le cadre du projet, 600 datations par le radiocarbone sont prévues pour combler les lacunes de datations dans certaines régions et périodes et aussi pour affiner le cadre chronologique existant. En ce qui concerne l'âge du Bronze, les phases ancienne et moyenne sont moins représentées que les Champs d'Urnes du Bronze final. Les nouveaux résultats permettront de documenter la transition des tombelles aux tombes plates et l'apparition des différents types de tombes à crémation. Les datations par radiocarbone peuvent aussi aider à la poursuite des recherches sur la chronologie absolue et la typo-chronologie de la céramique.

Mots-clés

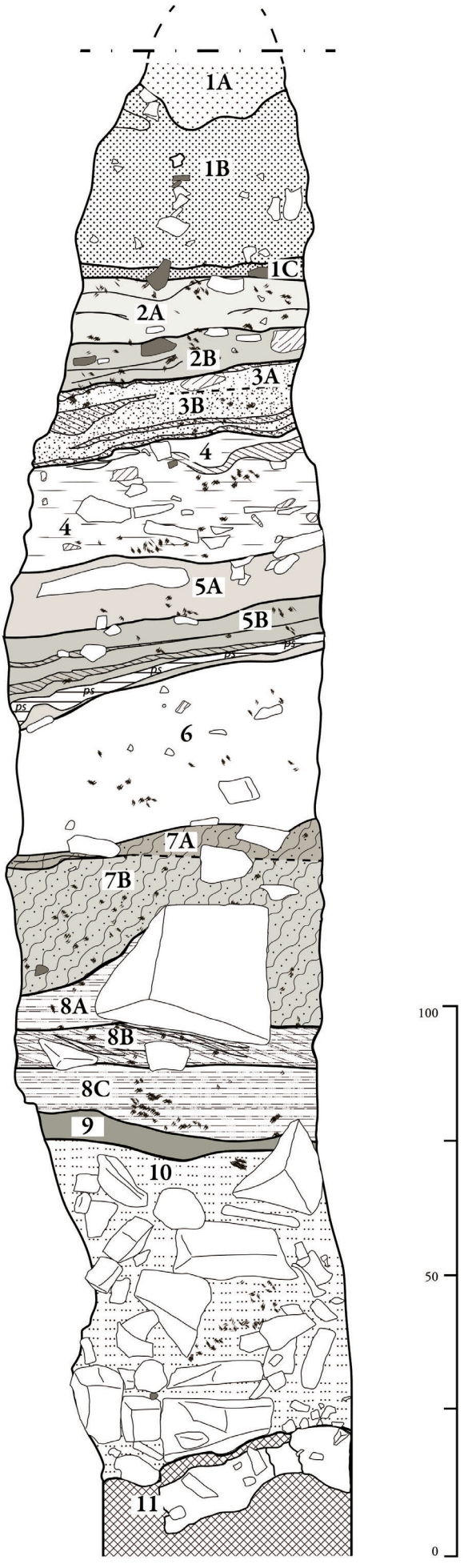
Os incinéré, datation radiocarbone, typologie, tombes plates, groupe ardennais

Abstract

CRUMBEL is a Belgian inter-university project focusing on the mobility of former populations from the Late Neolithic until the Merovingian period. Within the project, 600 radiocarbon dates are provided to fill in the gaps in radiocarbon dating in certain regions and periods and also to refine the existing chronological framework. Regarding the Bronze Age, The Early and Middle phases are less represented compared with the Late Bronze Age urnfields. The new results will help to document the transition from barrows to flat graves and the appearance of the different types of cremation deposits. The radiocarbon dates can help the further research on absolute chronology and typochronology of ceramics.

Keywords

Cremated bone, radiocarbon dating, typology, flatgraves, the Ardennes group



La construction d'une chronologie protohistorique en Belgique a été confrontée à certaines limites car un de ses points faibles demeure la pauvreté des témoins de la culture matérielle dans les contextes funéraires. La majorité des tombes contient un peu de céramique et presque pas d'objets métalliques comme pour d'autres régions européennes, à part des exceptions comme les tombelles hallstattiennes du centre de la Belgique (Mariën, 1958) et les tombes élitaires latèniennes en Limbourg (Van Impe et Creemers, 1991). De plus, les bronzes sont aussi rares dans les habitats, sauf dans les dépôts en contextes humides au Bronze final. En conséquence, les chronologies régionales ont été basées par comparaison avec les cadres chronologiques construits dans les régions européennes voisines (De Mulder, 2011).

Les premières chronologies régionales apparaissent dans la deuxième moitié du xxe siècle et les contacts de S. J. De Laet avec des archéologues des Pays-Bas influencent ses idées sur le Bronze ancien et moyen avec l'introduction du concept de la culture de Hilversum (De Laet, 1954 ; Theunissen, 1999). Les premières tentatives de chronologie pour les Champs d'Urnes remontent à M.-E. Mariën (1948) et à l'équipe de l'université de Gand sous la direction de S.-J. De Laet (1958). La recherche chronologique de ce dernier était concentrée sur des Champs d'Urnes de la province de Flandre orientale, baptisé « le groupe flamand » ; M.-E. Mariën et S.-J. De Laet utilisent tous les deux la chronologie allemande de P. Reinecke. Au cours des années 1960, M. Desittere étudie les nécropoles du Bronze final entre le Rhin et la mer du Nord et suit les traces de S.-J. De Laet. La chronologie qu'il propose est surtout basée sur la céramique funéraire du fait de la rareté des objets métalliques dans les tombes (Desittere, 1968).

Une nouvelle étape commence au début des années 1990 avec l'introduction de la datation radiocarbone dans la construction d'une chronologie absolue et à ce moment-là, le matériau privilégié à dater était le charbon de bois. J. Bourgeois a construit un premier cadre chronologique pour les tombelles de l'âge du Bronze ancien et moyen (Bourgeois *et al.*, 1996 ; De Reu, 2014). Cette chronologie pour la Flandre correspondait avec les datations absolues du Nord de la France et du Kent (De Reu, 2012). Au même moment, la datation du bois préservé dans les douilles des haches en bronze draguées de l'Escaut, aide à vérifier les typo-chronologies de bronzes existantes (Verlaeckt, 1996). Les haches et les couteaux à douille, trouvés dans le Trou de Han ont été datés de la même manière sur le bois préservé (Warmenbol

Figure 1 - Le Pilier de Han-sur-Lesse. DAO Anja Stoll.

et Van Strydonck, 2011 ; Van Strydonck et Warmenbol, 2012). Le début du IIIe millénaire a offert de nouvelles possibilités pour la datation radiocarbone avec l'introduction d'une méthode permettant de dater directement des ossements incinérés. Précédemment, il était impossible de les dater du fait de la disparation de collagène au cours de la crémation. Ce nouveau procédé utilise la bio-apatite préservée dans l'os incinéré (Lanting *et al.*, 2001 ; Van Strydonck *et al.*, 2005). Cette innovation de datation de la bio-apatite a fourni la possibilité de dater les nécropoles à crémation, qui sont dominantes durant la protohistoire en Belgique et les Champs d'Urnes sont fort représentés dans les collections archéologiques (De Mulder *et al.*, 2007 ; 2008). Dater les os incinérés offre ainsi la possibilité de réétudier des anciennes collections et dater les tombes sans urnes ou dépourvues d'offrandes funéraires, qui forment une partie importante des données funéraires en Belgique, mais aussi dans les régions adjacentes ; le nombre croissant de dates obtenues sur les nécropoles a permis d'affiner la chronologie du Bronze final (Leclercq, 2014). Dans le Sud de la Belgique, E. Warmenbol a dirigé un projet sur l'occupation des grottes fréquente au cours de la protohistoire ; la grotte de Han où une séquence du Néolithique final à La Tène finale a été documentée représente l'un de ces sites classiques (fig. 1) [Van Strydonck et Warmenbol, 2011]. Parmi les autres cavités datées de l'âge du Bronze, se retrouvent Sinsin « Le Trou del Leuve » (Warmenbol, 2007) et La Roche Alberic à Couvin (Robertz, 2008). Finalement, une analyse consacrée à l'évolution chronologique des bâtiments en bois en Flandre, la qualité et le nombre des échantillons datés a permis de développer de nouvelles idées sur le domaine de l'habitat protohistorique (De Mulder *et al.*, 2020).

1. Le projet CRUMBEL

1.1. Les buts

Le projet CRUMBEL a pour but d'étudier les collections archéologiques belges d'os brûlés datées du Néolithique final à la période mérovingienne. Le but est de reconstruire la mobilité des anciennes populations dans le territoire belge et les régions adjacentes. La datation radiocarbone est une des méthodes d'étude mobilisées avec l'ostéo-archéologie, les analyses isotopiques du carbone, de l'oxygène et du strontium et l'analyse infrarouge. Dans ce cadre, un budget pour réaliser 600 datations par radiocarbone est prévu (Dalle *et al.*, 2019 ; Dalle *et al.*, 2020).

Les résultats du projet contribueront à l'affinement du cadre chronologique absolu pour ces différentes périodes. Il faut mentionner que nous disposons déjà d'une grande quantité de datations réalisées pour le Bronze final et le premier âge du Fer avec les « Champs d'Urnes ».

1.2. Limitations et manques

La contribution de CRUMBEL se limite à un support chronologique dédié à l'archéologie funéraire. Pour la chronologie de l'âge du Bronze ancien et moyen, les activités agricoles et l'érosion sont responsables d'une mauvaise conservation des tombelles et sépultures associées à ces monuments (Bourgeois et Cherretté, 2005) : le nombre de datations sur os incinérés est limité, mais le projet pourrait cependant donner de nouvelles données pour ces périodes compte tenu des reprises d'études et de valorisations des anciennes collections. Au siècle dernier, des tombelles qui étaient encore préservées en élévation ont pu être fouillées (De Laet, 1982). Cependant, des problèmes peuvent survenir en raison à la fois d'un mauvais enregistrement au moment où le matériau osseux a été déposé et d'une mauvaise politique de conservation dans certains musées et institutions où les os ont été éventuellement perdus au fil du temps. À l'échelle européenne, dans le cadre de l'évolution des pratiques funéraires de l'inhumation vers la crémation à l'âge du Bronze (Capuzzo et Barcelo, 2015 ; Capuzzo et Lòpez Cachero, 2017), il manque non seulement des ossements incinérés, mais aussi des os provenant d'inhumations. Les sols schisteux des Ardennes et les terrains sableux de Flandre amènent la désintégration de l'os inhumé en quelques siècles (Bourgeois et Cherretté, 2005 ; De Laet, 1982).

2. Premiers résultats et perspectives

L'information donnée dans cette contribution, résultat de différentes études en cours, est susceptible d'être revue et corrigée.

2.1. Les datations en cours

À ce jour, presque 300 ^{14}C-datations ont été réalisées et 114 ont porté sur des tombes de l'âge du Bronze et du Premier âge du Fer. Les échantillons sont issus de 31 sites et parmi ceux-ci, 21 ensembles proviennent d'anciennes fouilles dont le matériel est conservé dans les musées. En même temps, les tombes à crémations de 10 sites récemment fouillés ont aussi été datées. Au sein des anciennes collections muséales, il s'agit généralement de sépultures à urnes conservées car les tombes sans urnes n'ont parfois pas du tout été enregistrées lors des fouilles anciennes ; tout dépend donc de la qualité de l'archéologue et non du terrain. Les sites récents aident à documenter les différents types de crémations sans urne déposées dans le sol.

Les résultats proviennent essentiellement et sans surprise de sites de type « Champs d'Urnes » avec des datations par radiocarbone du Bronze final et/ou du Premier âge du Fer, mais néanmoins, ils aident à combler des vides dans la distribution des sites funéraires en Belgique. Les figures sur la distribution des nécropoles à crémation montrent une combinaison de datations anciennes avec des premiers résultats tirés du projet CRUMBEL.

Période chronologique	Nombre de sites	Âge BP
Bronze ancien	1	3775-3300
Bronze moyen	4	3300-3000
Bronze final	12	3000-2650
Bronze final Premier âge du Fer	3	3000-2400
Premier âge du Fer	11	2650-2400

Tableau 1. Le nombre de sites par périodes chronologiques.

Le Bronze ancien reste une étape difficile à appréhender au travers des données archéologiques actuelles; tous les sites se trouvent dans le Nord de la Belgique et il faut voir là le résultat de l'impact de l'archéologie commerciale en Flandre depuis 2005 (fig. 2). Pour les sites funéraires du Bronze moyen, on constate un cas de figure identique avec une forte concentration de sites en Flandre, mais aussi une série de datations sur deux nécropoles du Hainaut (fig. 3) : le site de Blicquy/Ville d'Anderlecht correspond à l'une des plus anciennes nécropoles de type « Champs d'Urnes » (De Mulder *et al.*, 2008; Leclercq, 2018); Leuze-en-Hainaut/Chapelle à Oie est, par ailleurs, une petite nécropole de cinq crémations récemment fouillée près de Blicquy (Pécheur, 2011).

La dispersion des Champs d'Urnes datés dans le Nord de la Belgique illustre bien le nombre de ces nécropoles fouillées durant des décennies. Les quelques sites, au centre de la Belgique (Court-Saint-Étienne, Eghezée-Perwez, Herstal-Pré Wigier) résultent de la valorisation de sites anciennement fouillés dont le matériel est conservé depuis dans des collections muséales (fig. 4). Force est de constater aussi une augmentation de datations par radiocarbone pour le pWremier âge du Fer, qui sont aussi issues du projet CRUMBEL (fig. 5). Les sites de Gedinne et Tintigny étaient connus comme nécropoles du Premier âge du Fer (Warmenbol, 1993), mais l'âge d'autres ossements incinérés de cette région est plutôt surprenant. En effet, ces fragments viennent de tombes du groupe ardennais, qui est traditionnellement daté du Second âge du Fer.

2.2. Tombelles et tombes plates

Dans le domaine funéraire, l'âge du Bronze se caractérise par le passage de l'inhumation à la crémation, mais malheureusement, cette transition est difficile à dater en Belgique du

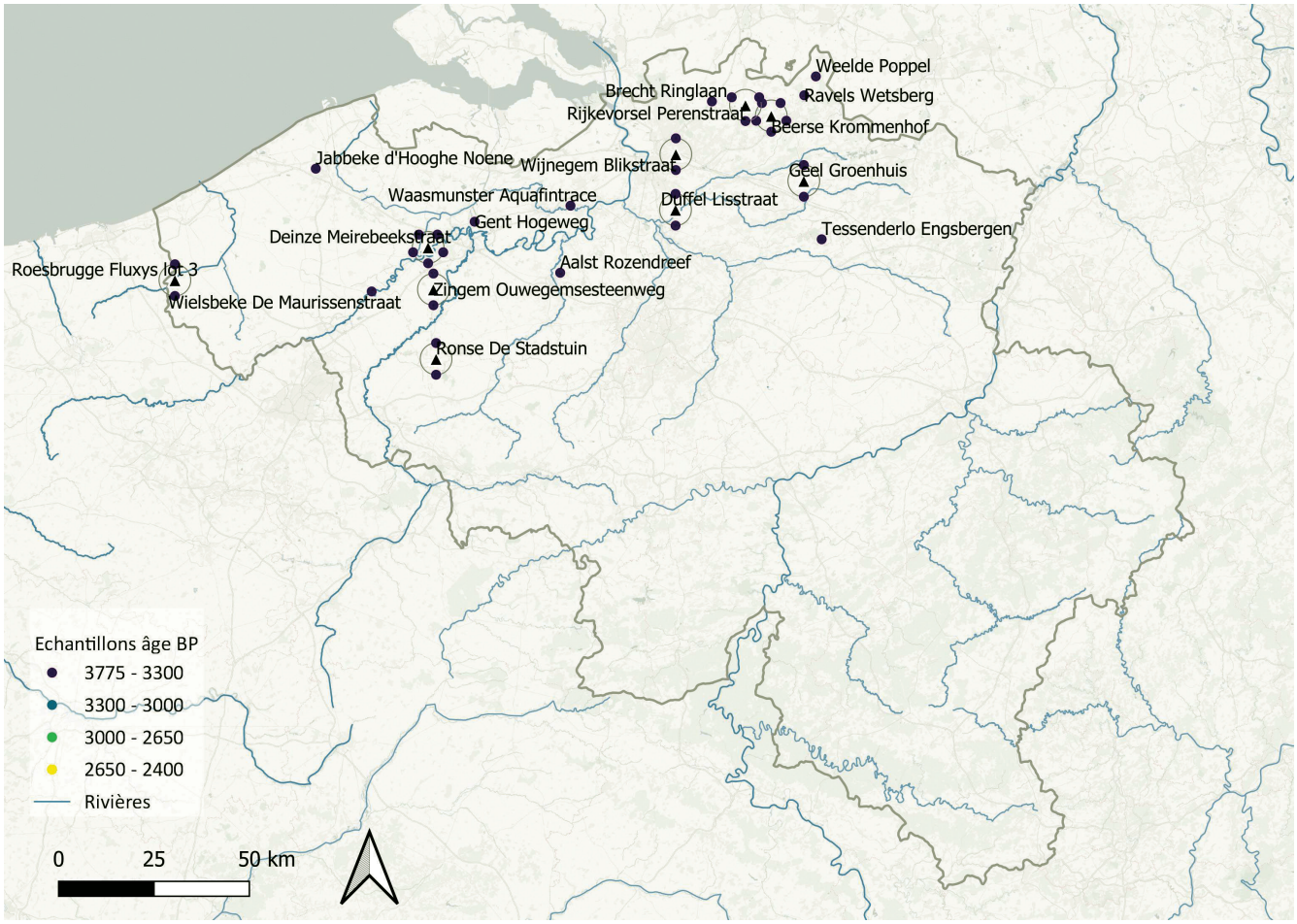


Figure 2 - Les sites datés au Bronze ancien (3775-3300 BP) en Belgique. DAO CRUMBEL.

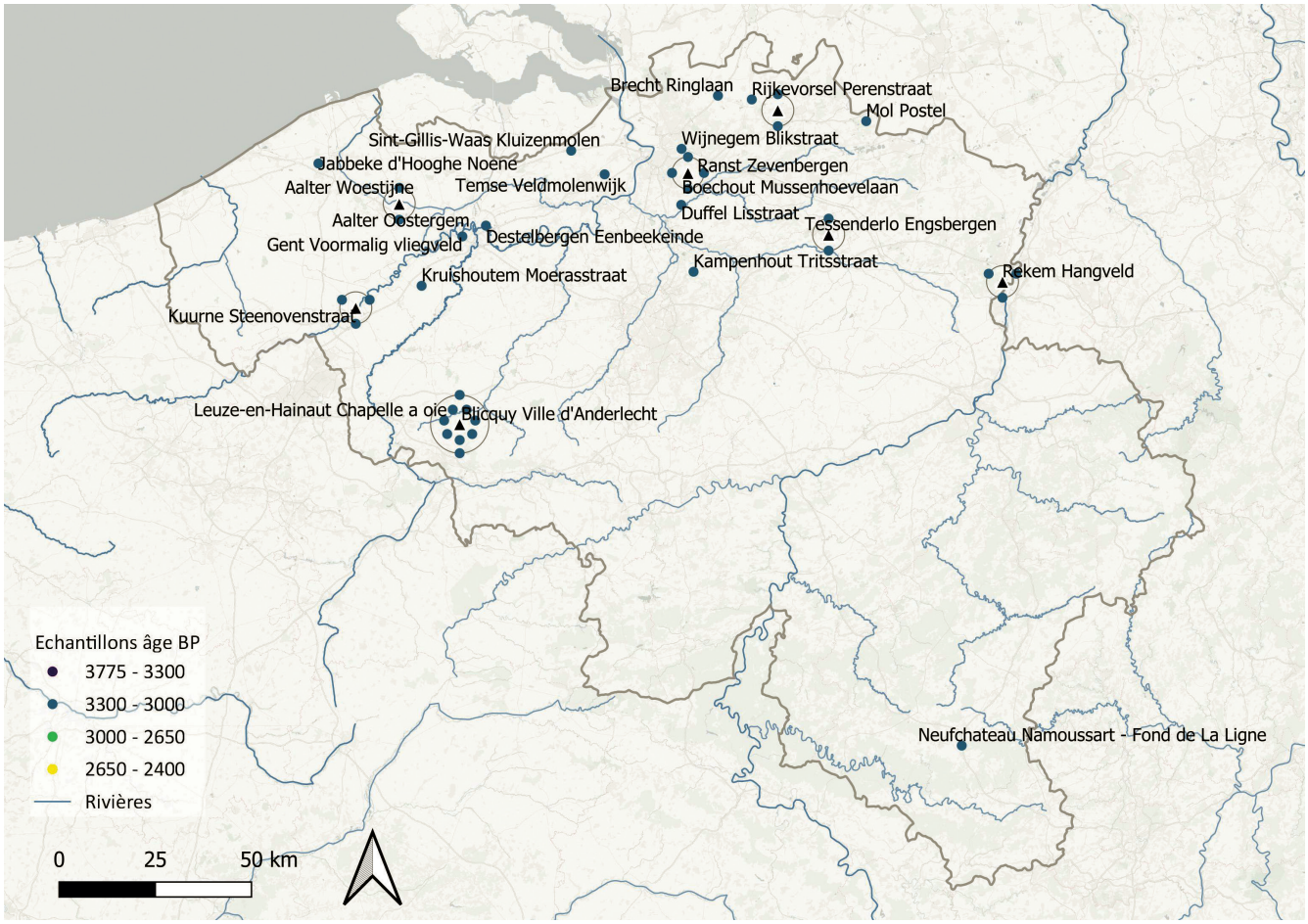


Figure 3 - Les sites datés au Bronze moyen (3300-3000 BP) en Belgique. DAO CRUMBEL.

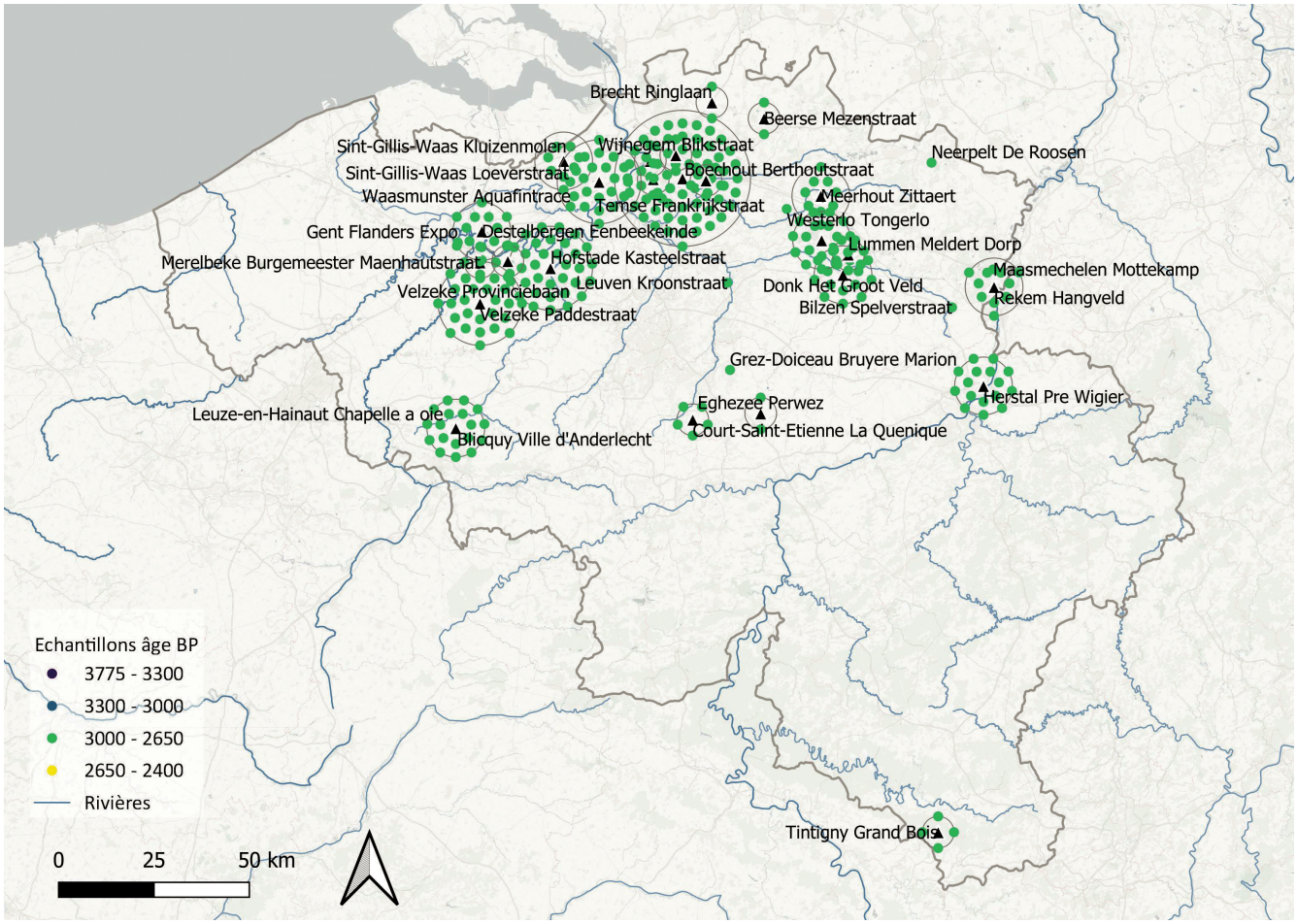


Figure 4 - Les sites datés au Bronze final (3000-2650 BP) en Belgique. DAO CRUMBEL.

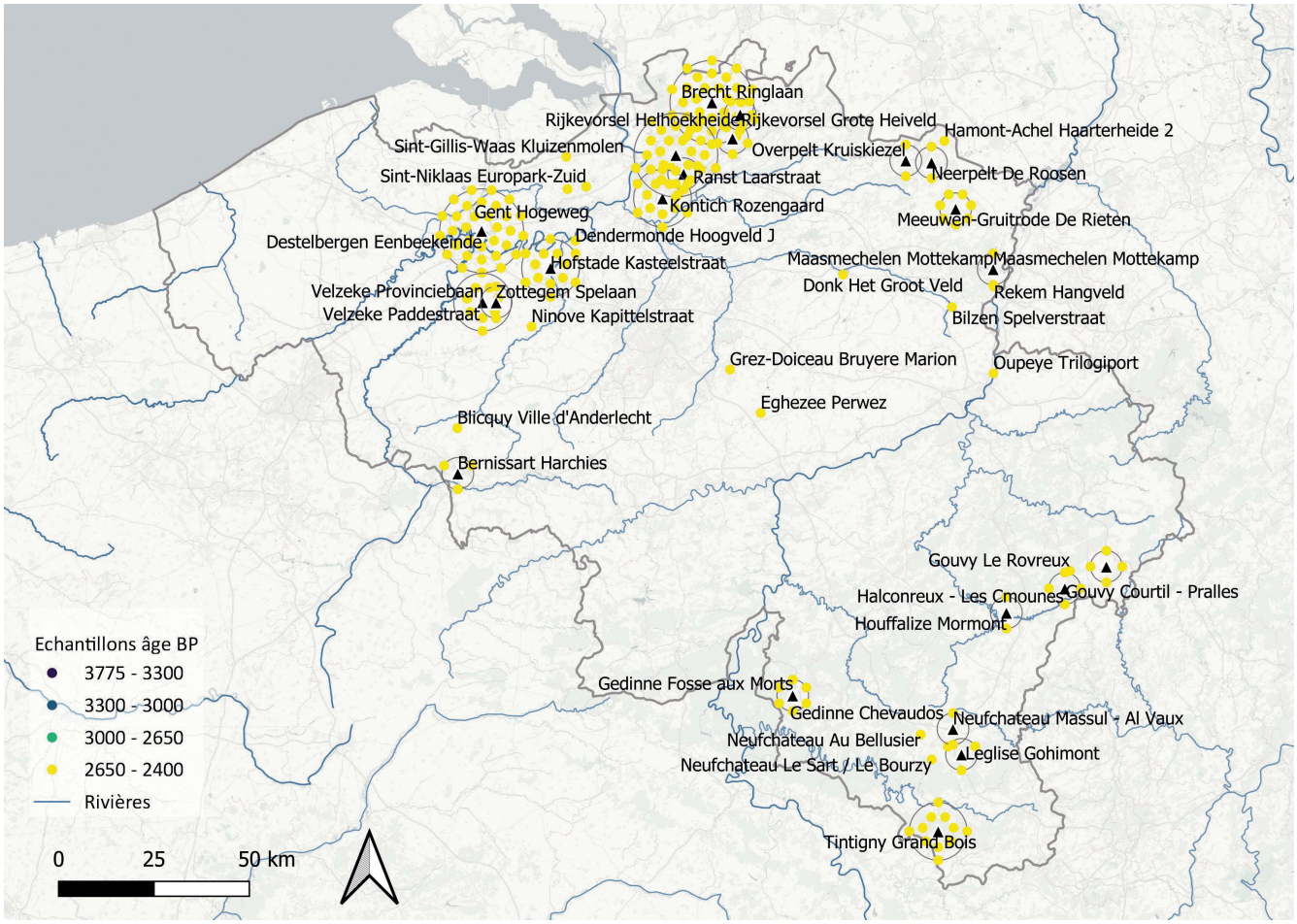


Figure 5 - Les sites datés au premier âge du Fer (2640-2400 BP) en Belgique. DAO CRUMBEL.

fait de la disparition des tombes par érosion et dissolution de l'os inhumé dans des sols acides et karstiques (Capuzzo *et al.*, 2020). Pour les rites funéraires, on constate, durant la même période, le passage du dépôt dans des grands monuments vers celui de « tombes plates » regroupées dans des nécropoles. Les étapes de cette transition peuvent être suivies grâce aux datations par le radiocarbone tant sur de l'os incinéré que sur du charbon de bois.

Les tombelles monumentales font leur apparition en Belgique durant le Néolithique final et leur apogée se situe autour 1700-1500 av. J.-C. (fig. 6) ; leur construction décline généralement entre 1500 et 1400 av. J.-C. (De Reu *et al.*, 2012). La même constatation est faite dans le Nord de la France où le maximum de constructions se place entre 1750-1350 av. J.-C. (Toron, 2006 ; Buchez *et al.*, 2017). D'autre part, le développement d'un paysage de tombelles monumentales commence déjà aux Pays-Bas dans la première moitié du IIIe millénaire av. J.-C. (Bourgeois, 2012).

L'apparition des « tombes plates » a longtemps été associée avec la diffusion des « Champs d'Urnes » au Bronze final (De Laet, 1982), mais les fouilles récentes ont montré que ce type de tombe apparaît en fait plus tôt et il semblerait bien que les plus anciennes remontent à la fin du Néolithique final (De Mulder, 2020).

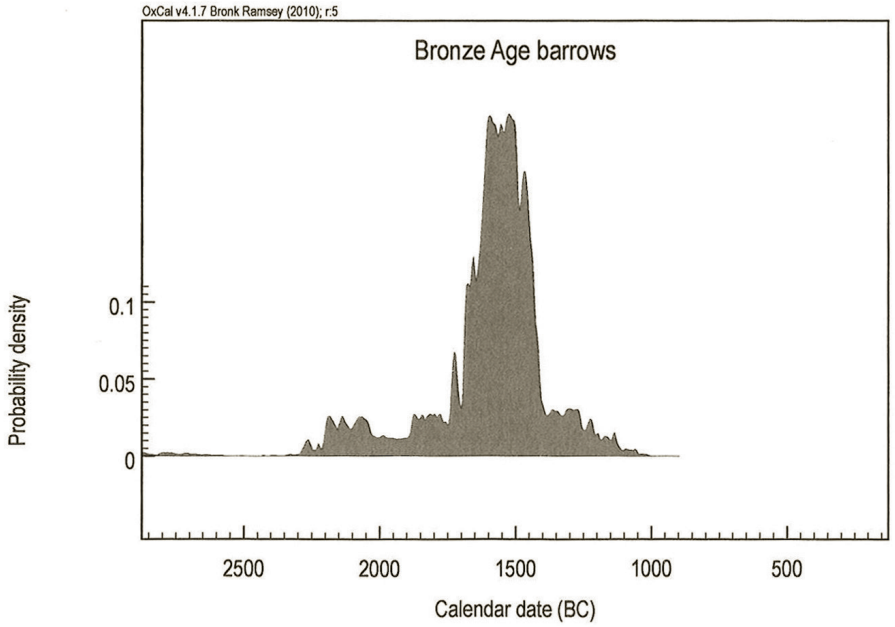


Figure 6 - L'apogée des tombelles au Bronze moyen en Belgique. D'après De Reu, 2012, fig. 2.6.

Avec la possibilité de dater désormais les os incinérés, les dépôts funéraires peuvent tous contribuer à l'étude de l'évolution, ou la transformation, des rites funéraires au cours de l'âge du Bronze, bien qu'en raison du manque d'information sur les sépultures secondaires, nous ne pouvons pas dater exactement le point final de l'utilisation des grandes tombelles. Les datations disponibles prouvent l'augmentation de tombes plates au cours du Bronze moyen B (1500-1200 av. J.-C.) et la dominance de cette tradition funéraire au Bronze final, à partir de 1200-1100 av. J.-C. (fig. 7).

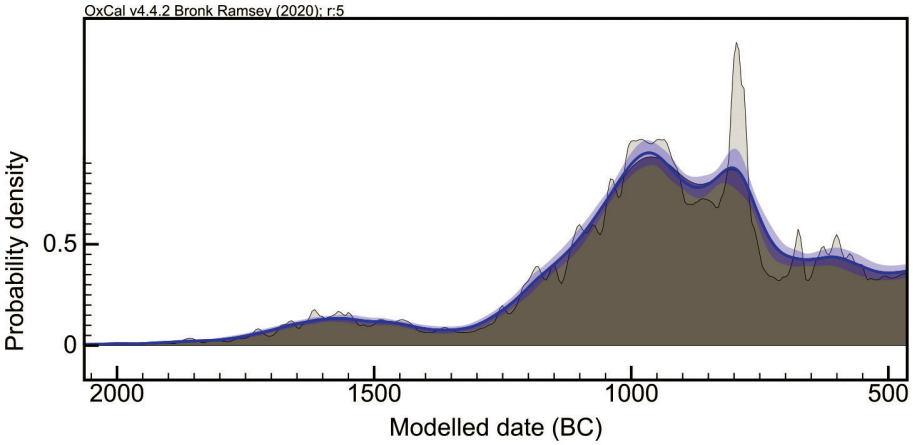


Figure 7 - Distribution temporelle des crémations datées par radiocarbone pour l'âge du Bronze et le début de l'âge du Fer en Belgique en utilisant l'estimation de la distribution par noyau. Kernel Distribution Estimation; DAO CRUMBEL.

2.3. La typologie des tombes

Dans les nécropoles de l'âge du Bronze, différentes manières de déposer les os incinérés ont été observées au sein de deux grands groupes : des tombes à urne et des dépôts sans urne, avec des sous-groupes (De Mulder, 2011). C'est surtout le groupe à crémations sans urne qui restait difficile à dater par manque de mobiliers funéraires associés. Ainsi, la possibilité de dater l'os incinéré fournit de nombreuses et nouvelles perspectives chronologiques sur cette pratique de dépôt des ossements incinérés. Un problème réel avec les anciennes collections réside dans le fait que les chances de retrouver les vestiges osseux de tombes sans urne sont plus faibles pour les raisons indiquées ci-dessus, liées principalement à des méthodes de fouilles des archéologues de l'époque. Néanmoins, des crémations sans urne ont été sporadiquement observées et fouillées et donc conservées dans les collections.

L'information sur les différents types est variable. Les tombes à urne (types A et B) sont bien documentées. Dans le groupe de crémations sans urnes, les blocs d'ossements (type C) et les tombes à restes de bûcher (D) sont aussi relativement bien connues. La connaissance du type D, reconnu une première fois dans le « Champs d'Urnes » de Destelbergen, s'est améliorée avec les nouvelles découvertes et l'étude d'anciennes fouilles bien documentées. Récemment, une nouvelle variante a été identifiée à Wijnegem/Blikstraat où quatre tombes se distinguent par une dispersion de l'os incinéré en petits paquets dans la fosse sépulcrale (De Mulder, 2011).

L'apparition dans le monde funéraire de ces types de dépositions est fort variable. Pour les tombelles, les datations par radiocarbone manquent car les monuments conservés ont surtout été fouillés au XIXe et au début du XXe siècle (De Laet, 1982). Les tombes à urnes sont documentées dans les monuments fouillés anciennement (Fourny, 1985), mais il n'y a presque pas de datations disponibles sur ces tombes des monuments funéraires du Bronze ancien et moyen. Les datations par radiocarbone des tombes plates révèlent que les types A et B apparaissent vers 1600-1500 av. J.-C. (De Mulder, 2020). Le groupe de tombes sans urnes est quant à lui plus ancien, du moins d'après les informations disponibles. Les tombes à restes de bûcher (type E) et le type G (ou « Wijnegem ») remontent même au Néolithique final. Le bloc d'ossements le plus ancien est daté du début du Bronze moyen. Finalement, le type Destelbergen (type D) fait son introduction à la fin du Bronze moyen (fig. 8) [De Mulder, 2020].

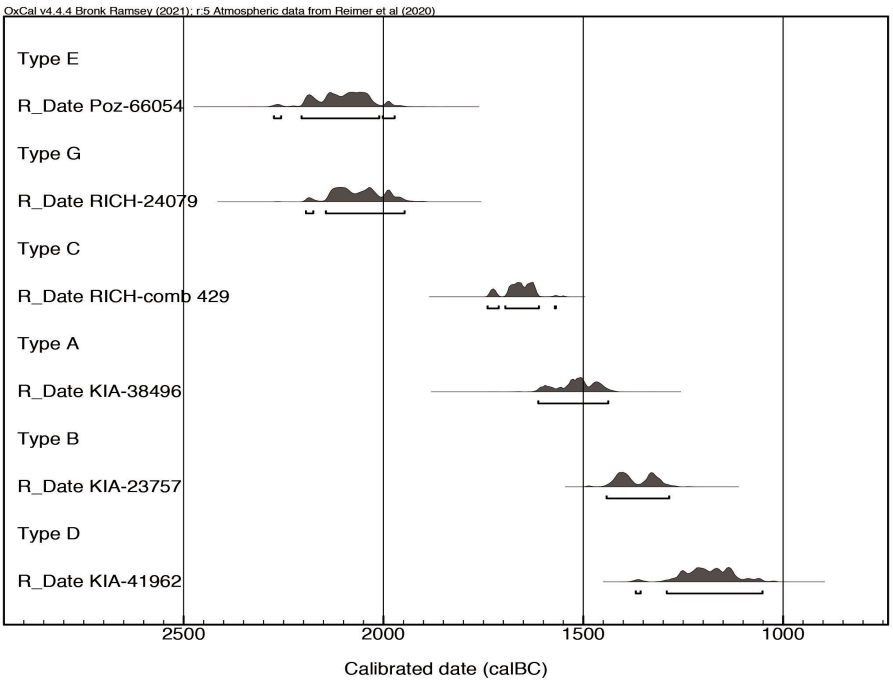


Figure 8 - L'évolution chronologique de l'apparition de chaque type de tombe à crémation en Belgique sur la base des datations par le radiocarbone, disponibles. DAO CRUMBEL.

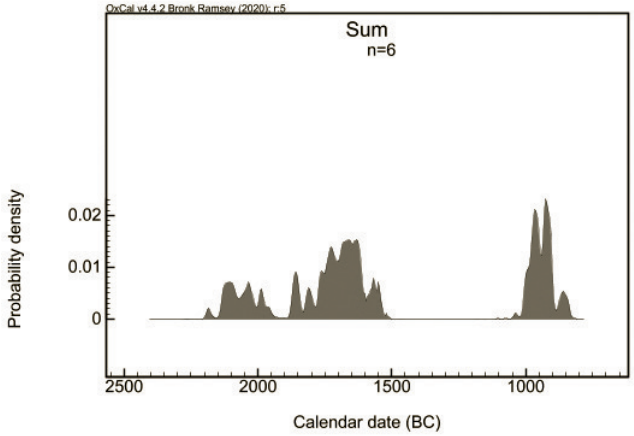


Figure 9 - Les quelques tombes de type (G) ou Wijnegem connues dans l'âge du Bronze de Belgique. DAO CRUMBEL.

Les crémations du type G constituent une nouvelle variante qui n'a été reconnue, jusqu'à présent, que sur deux sites récemment fouillés en Flandre : Wijnegem et Beernem. Les datations par radiocarbone situent les tombes dans la période du Néolithique final – début du Bronze moyen (De Mulder, 2020). L'étude des découvertes faites dans les années 1960 à Herstal/Pré Wigier a révélé deux nouvelles tombes de ce type dans la vallée de la Meuse (Alenus-Lecerf, 1974). Par contraste avec les deux sites flamands, les tombes à Herstal contiennent plus d'ossements et sont datés du Bronze final (fig. 9) [Sabaux *et al.*, 2021].

2.5. Les tombelles du groupe ardennais et les datations par le radiocarbone

Le groupe des tombelles ardennaises n'a produit que quelques crémations car l'inhumation y est le rite le plus pratiqué. La datation basée sur la culture matérielle le place à La Tène ancienne, soit aux Ve et IVe s. av. J.-C., avec quelques nécropoles dans le Sud de la Belgique réoccupées au cours du IIIe-début du IIe s. av. J.-C. (Cahen-Delhaye, 1998).

Dans la fouille du secteur sud de Namoussart-Hamipré (aussi appelé Devant le Bois de Cognon), des ossements incinérés étaient éparpillés dans la couche supérieure de la tombe au centre de la tombelle 14. La tombe, probablement une inhumation, était accompagnée de quelques objets personnels, rares dans ce secteur de la nécropole. Du fait de la pauvreté du mobilier dans cette zone du site, une occupation au Ve s. av. J.-C. est proposée (Cahen-Delhaye *et al.*, 1986). Trois datations sur des ossements de la tombe 14 livrent trois résultats différents (fig. 10). La plus ancienne date remonte au Bronze moyen, les deux autres sont situées à l'âge du Fer. La datation au Bronze moyen d'un os incinéré humain est intéressante à discuter car en effet, il n'y a pas beaucoup d'informations sur une occupation humaine à cette époque dans cette région. L'os a peut-être été déposé intentionnellement avec les autres fragments incinérés, ou alors accidentellement au moment de la construction de la tombelle, ce qui suggèrerait que les matériaux utilisés viennent d'une zone toute proche ou des activités funéraires ont eu lieu au Bronze moyen.

L'existence d'activités funéraires au cours de périodes bien antérieures ou ultérieures à la période principale d'occupation d'une nécropole est maintenant régulièrement attestée sur la base des datations par radiocarbone qui, à l'évidence, aident à reconstruire l'histoire funéraire complexe d'un site funéraire.

3. Datations par radiocarbone et typologie

Ce thème n'est pas directement lié au projet CRUMBEL mais l'accumulation de datations par le radiocarbone offre l'opportunité de confronter les datations absolues avec la typologie de la céramique. La majorité des datations est réalisée sur des ossements conservées dans des urnes conservées dans les musées et dépôts, ce qui donne la possibilité de dater certaines formes de poteries, voire de « styles céramiques », comme celui du Rhin-Suisse-France orientale (RSFO). Cette confrontation entre datation absolue et typochronologie a déjà été testée sur différents sites comme Velzeke, Hofstade et Boechout (De Mulder *et al.*, 2008 ; Hiddink, 2018 ; Hiddink, 2019). Les résultats de cette confrontation ont montré que les datations et la typochronologie ne correspondent pas toujours. Dater par radiocarbone une série de pots du même type peut donner une idée de la longévité de cette forme.

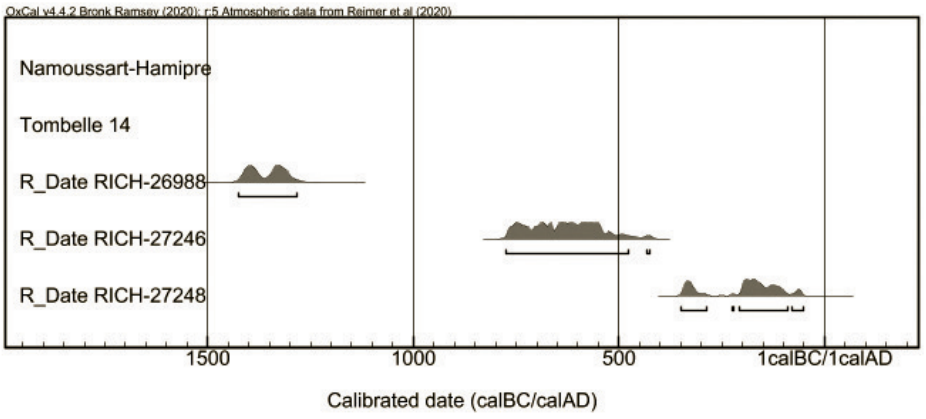


Figure 10 - Namoussart-Hamipré, tombelle 14. Les datations par radiocarbone réalisées sur trois fragments d'os humain incinéré. Remarquer la datation au Bronze moyen. DAO CRUMBEL.

Ainsi, A. Henton avait attribué une céramique, proche d'une « *Bucket form* » à l'étape du Bronze final IIb-IIIa (fig. 11), sur des arguments typologiques (Henton, 2017). Trois datations : une sur une brindille (Aalter) et deux sur un os incinéré (Hofstade et Boechout) ont montré que cette forme apparaît dès le Bronze moyen (à partir de 1400 av. J.-C.) pour durer jusqu'à la fin du Bronze final (fig. 12). La datation de quelques collections permettra d'autres tests sur certains types et formes, entre autres liés au style RSFO.

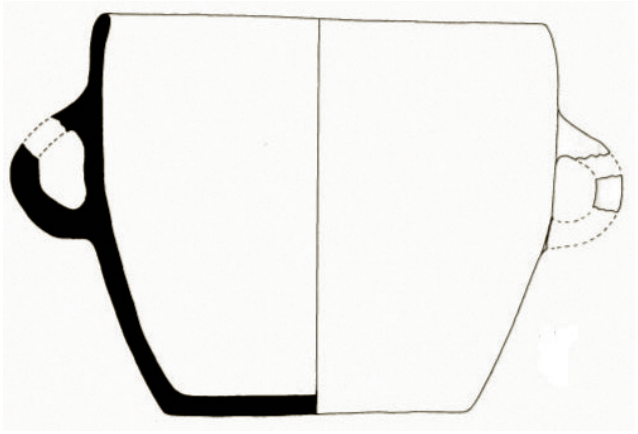


Figure 11 - Urne d'Aalter/Oostergem du type « *Bucket urn* ». D'après Desittere, 1968, fig. 99.4 ; DAO M. Desittere.

4. Conclusions préliminaires

Le projet CRUMBEL donne aux chercheurs l'opportunité d'étudier la mobilité des communautés humaines anciennes de Belgique, du Néolithique final à l'époque mérovingienne, en utilisant des méthodes archéométriques et l'anthropologie physique. Dans ce cadre, 600 datations par radiocarbone sont prévues. En ce qui concerne l'âge du Bronze, le projet offre l'opportunité de préciser la durée d'occupation des tombelles du Bronze ancien et moyen, d'affiner la datation de la transition « tombelles / tombes plates » et de détailler l'évolution de différents aspects des rites funéraires. Les premiers résultats ont révélé, comme il arrive souvent avec les datations par le radiocarbone, une ancienneté inattendue, et même parfois difficile à expliquer, de certains échantillons, ou de certaines séries. En fait, ces dates reflètent la complexité des rites funéraires sur les sites, dans l'espace et dans le temps, aux âges des Métaux. À suivre…

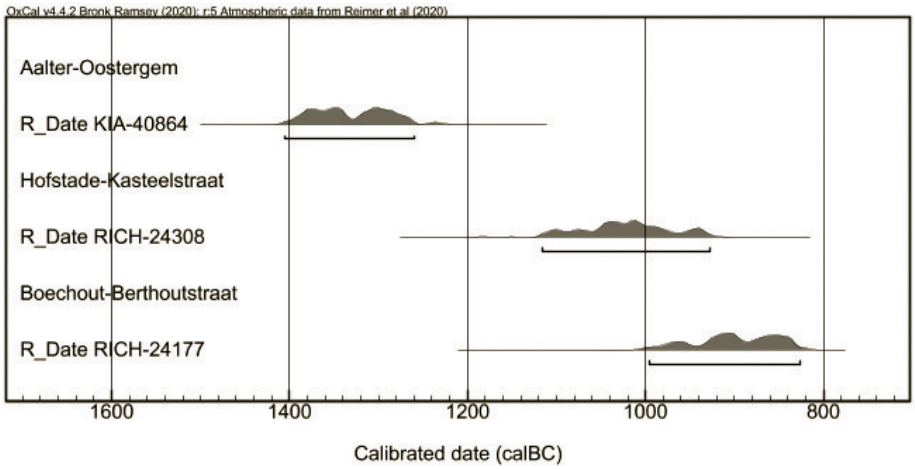


Figure 12 - Datations par radiocarbone disponibles pour un pot du type « *Bucket urn* ». DAO CRUMBEL.

Christophe Snoeck

Vrije Universiteit Brussel, AMGC-WE-VUB. Department of Chemistry, Analytical, Environmental & Geo-Chemistry. Maritime Cultures Research Institute. Department of Art Sciences & Archaeology, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel et Université libre de Bruxelles. G-Time Laboratory, CP160/02, avenue F. D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles

Sarah Dalle

Département d'Archéologie, Université de Gand, Sint-Pietersnieuwstraat 35, B-9000 Gent

Charlotte Sabaux

Département d'Archéologie, Université de Gand, Sint-Pietersnieuwstraat 35, B-9000 Gent

Rica Annaert

Vrije Universiteit Brussel. Maritime Cultures Research Institute. Department of Art Sciences & Archaeology, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel

Guy De Mulder

Département d'Archéologie, Université de Gand, Sint-Pietersnieuwstraat 35, B-9000 Gent

Eugène Warmenbol

Université libre de Bruxelles. Département d'Histoire, Arts et Archéologie. Centre de recherches en archéologie et patrimoine, CP133, avenue F. D. Roosevelt 50 B-1050 Bruxelles

Marta Hlad

Vrije Universiteit Brussel. Maritime Cultures Research Institute. Department of Art Sciences & Archaeology, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel

Elisavet Stamataki

Vrije Universiteit Brussel. Maritime Cultures Research Institute. Department of Art Sciences & Archaeology, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel

Barbara Veselka

Vrije Universiteit Brussel. Maritime Cultures Research Institute. Department of Art Sciences & Archaeology, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel

Martine Vercauteren

Université libre de Bruxelles. Département de biologie des organismes et écologie. Anthropologie et génétique humaine, CP192, avenue F. D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles

Giacomo Capuzzo

Université libre de Bruxelles. Département de biologie des organismes et écologie. Anthropologie et génétique humaine, CP192, avenue F. D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles

Kevin Salesse

Université libre de Bruxelles. Département de biologie des organismes et écologie. Anthropologie et génétique humaine, CP192, avenue F. D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles

Amanda Sengeløv

Université libre de Bruxelles. Département de biologie des organismes et écologie. Anthropologie et génétique humaine, CP192, avenue F. D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles

Mathieu Boudin

Institut Royal du Patrimoine artistique
Parc du Cinquantenaire 1, B-1000 Bruxelles

Bibliographie

Alenus-Lecerf J., 1974, « Sondages dans un Champ-d'Urnes à Herstal », *Archaeologia Belgica*, 157, Bruxelles.

Bourgeois J. et Cherretté B., 2005, « L'âge du Bronze et le premier âge du Fer dans les Flandres occidentale et orientale (Belgique) : un état de la question », dans Bourgeois J. et Talon M. (éd.), *L'âge du Bronze du Nord de la France dans son contexte européen*, Paris, Éditions du CTHS, p. 43-81.

Bourgeois J., Verlaeckt K. et Van Strydonck M., 1996, « Belgian Bronze Age chronology: results and perspectives », dans Randsborg K. (éd.), *Absolute chronology. Archaeological Europe 2500-500 BC*, KØbenhavn, p. 141-152.

Bourgeois Q., 2012, *Monuments on the horizon. The formation of the barrow landsccape throughout the 3rd and 2nd millennium BC*, Leiden.

Buchez N., Lorin Y., Leroy-Langelin E., Masse A., Sergent A. et Toron S. avec la collaboration de Brenot J., Fechner K., Lecher E., Martial E. et Petite Y., 2017, « Circular funerary structures at the beginning of the Bronze Age in the north of France: architecture and duration of use », dans Lehoërff A. et Talon M. (éd.), *Movement, Exchange and Identity in Europe in the 2nd and 1st Millennia BC: beyond frontiers*, Oxford/Philadelphia, Oxbow Editions, p. 119-132.

Cahen-Delhaye A., 1998, « Les rites funéraires laténiens en Ardenne belge », dans Gillet P. (coord.), *Les Celtes. Rites funéraires en Gaule du Nord entre le VIe et le Ier s. av. J.-C.*, Études et Documents, Fouilles 4, Namur, p. 15-30.

Cahen-Delhaye A., de Lichervelde C. et Gratia H., 1986, « Poursuite des fouilles dans les tombelles d'Hamipré-Namoussart (commune de Neufchâteau) », *Archaeologica Belgica*, II, p. 175-186.

Capuzzo G. et Barcelo J., 2015, « Cultural changes in the second millennium BC: a Bayesian examination of radiocarbon evidence from Switzerland and Catalonia », *World Archaeology*, 48/5, p. 622-641.

Capuzzo G. et López Cachero J., 2017, « De la inhumaciòn a la cremaciòn en el nordeste peninsular: cronologia y sociedad », dans Barcelo J. A, Bogdanovic I. et Morell B. (éd.), *IberCrono. Cronometrias Para la Historia de la Peninsula Ibérica. Actas del Congreso de Cronometrias Para la Historia de la Peninsula Ibérica (IberCrono 2017)*, Barcelona, CEUR-WS, 2024, p. 192-208 [http://ceur-ws.org/Vol-2024/].

Capuzzo G., Snoeck C., Boudin M., Annaert R., Dalle S., Hlad M., Kontopoulos I., Sabaux C., Salesse K., Sengeløv A., Stamataki E., Veselka B., Warmenbol E., De Mulder G., Tys D. et Vercauteren M., 2020, « Cremation vs inhumation, modelling cultural changes in funerary practices from the Mesolithic to the Middle Ages in Belgium using Kernel Density Analysis », *Radiocarbon* [DOI:10.1017/RDC.2020.88].

Dalle S., Sabaux C., Capuzzo G., Tys D., Snoeck C., Vercauteren M., Warmenbol E., Boudin M., Annaert R., Stamataki E., Kontopoulos I., Veselka B., Sengeløv A., Hlad M., Salesse K. et De Mulder G., 2019, « Preliminary results in the collecting of protohistoric cremation samples for the CRUMBEL project », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XXVII, p. 9-14.

Dalle S., Sabaux C., De Mulder G., Annaert R., Hlad M., Stamataki E., Kontopoulos I., Veselka B., Tys D., Capuzzo G., Sengeløv A., Vercauteren M., Snoeck C., Salesse K., Boudin M. et Warmenbol E., 2020, « Le projet CRUMBEL et l'apport de la recherche archéométrique », *Les Nouvelles de l'archéologie*, 159, p. 36-40.

De Laet S. J., 1954, « De bronstijd en het begin van de ijzertijd in Vlaanderen in het licht van recente opgravingen », *Gentse bijdragen tot de kunstgeschiedenis*, 15, p. 161-185.

De Laet S. J., 1982, *La Belgique d'avant les Romains*, Wetteren.

De Laet S. J., Nenquin J. A. E. et Spitaels P., 1958, *Contribution à l'étude de la civilisation des Champs d'Urnes en Flandre*, Dissertationes Archaeologicae Gandenses, IV, Brugge.

De Mulder G., 2011, *Funeraire rituelen in het Scheldebekken tijdens de late bronstijd en de vroege ijzertijd. De grafvelden in hun maatschappelijke en sociale context*, Universiteit Gent, thèse de doctorat inédite.

De Mulder G., 2020, « L'apparition des tombes plates à crémation de l'âge du Bronze en Belgique », *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*, 18, p. 88-97.

De Mulder G., Boudin M., Deschepper E., Verbrugge G., Van Strydonck M., Capuzzo G. et De Clercq W., 2020, « ^{14}C-dating of wooden buildings in Flanders (belgium). A problem of reliability », *Antropologica et Praehistorica*, 129, p. 87-101 (*sous presse*).

De Mulder G., Leclercq W. et Van Strydonck M., 2008, « Influence from the *groupe Rhin-Suisse-France orientale* on the pottery from the Late Bronze Age urnfields in Western Belgium. A confrontation between pottery building technology, ^{14}C-dates and typochronology », dans Berg I. (éd.), *Breaking the mould: challenging the past through pottery*, Oxford, BAR International Series 1861/Prehistoric Ceramics Research Group: Occasional Papers 6, p. 105-115.

De Mulder G., Van Strydonck M., Boudin M., Warmenbol E., Leclercq W. et Paridaens N., 2007, « Re-evaluation of the Late Bronze Age and Early Iron Age chronology of the western Belgian urnfields based on the ^{14}C dating of cremated bones », *Radiocarbon*, 49/2, p. 499-514.

De Reu J., 2012, *Land of the Dead. A comprehensive study of the Bronze Age burial landscape in north-western Belgium*, Universiteit Gent, thèse de doctorat inédite.

De Reu J., 2014, « The northwest Belgian Bronze Age barrow in context: a review of the ^{14}C chronology from the Late Neolithic to Bronze Age », *Radiocarbon*, 56/2, p. 479-488.

De Reu J., Hammond J., Toron S. et Bourgeois J., 2012, « Spatial and chronological continuities of Bronze Age cemeteries of northwestern Europe », dans Bérenger D., Bourgeois J., Talon M. et Wirth S, (éd.), *Gräberlandschaften der Bronzezeit / Paysages funéraires de l'Âge du Bronze. Internationales Kolloquium zur Bronzezeit, colloque international sur l'âge du Bronze (Herne 15-18 Oktober 2008)*, Bodenaltertümer Westfalens, 51, Darmstadt, p. 265-282.

Desittere M., 1968, *De urnenveldenkultuur in het gebied tussen Neder-Rijn en Noordzee (periodes Ha A en B)*, Dissertationes Archaeologicae Gandenses, XI, Brugge.

Fourny M., 1985, « Nouvelle contribution à l'étude de la nécropole de la civilisation de Hilversum/Drakenstein (âge du Bronze ancien-moyen). Examen des anciennes collections du musée du Centenaire à Mons », *Vie Archéologique*, V/19, p. 41-68.

Henton A., 2017, *Le vaisselier céramique de l'âge du Bronze final et du premier âge du Fer dans le Bassin de l'Escaut et ses marges littorales. Première approche typochronologique et culturelle*, Universiteit Gent, thèse de doctorat inédite.

Hiddink H., 2018, *Archeologisch onderzoek aan de Kasteelstraat te Hofstadde (stad Aalst, Oost-Vlaanderen). Een urnenveld uit de Late Bronstijd/Vroege IJzertijd, graven uit de Romeinse tijd en bewoningssporen uit de Midden IJzertijd*, Amsterdam Romeinse tijd, Zuidnederlandse Archeologische Rapporten, 75.

Hiddink H., 2019, *Een urnenveld aan de Berthoutstraat te Boechout (prov. Antwerpen)*, Amsterdam, Zuidnederlandse Archeologische Rapporten, 73.

Lanting J. N., Aerts-Bijma A. T. et Van der Plicht J., 2001, « Dating of cremated bones », *Radiocarbon*, 43/2A, p. 249-254.

Leclercq W., 2014, « A new perception of the Late Bronze Age chronology in Belgium », *Radiocarbon*, 56/2, p. 469-478.

Leclercq W., 2018, « La nécropole de l'âge du Bronze de Blicquy. Données céramologiques récentes et datations ^{14}C (« Ville d'Anderlecht », Hainaut, Belgique) », dans Boulud-Gazo S. et Mélin M. (dir.), *Contribution à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche-Mer du Nord*, Le Poiré-sur-Vie, supplément au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 3, p. 45-57.

Marien M. E., 1948, « Où en est la question des champs d'urnes », *L'Antiquité classique*, 17, p. 413-444.

Mariën M.-E., 1958, *Trouvailles du Champ d'Urnes et des tombelles hallstattiennes de Court-Saint-Étienne*, Bruxelles, Monographies d'Archéologie Nationale 1.

Pècheur F., 2011, « Découverte de cinq urnes à incinération du Bronze final à Leuze-en-Hainaut », *Arduinna*, 78, p. 1-3.

Robertz A., 2008, « La grotte de *La Roche d'Alberic* à Couvin (province de Namur, Belgique, âge du Fer) : contribution par l'étude du matériel céramique », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XVI, p. 107-116.

Sabaux C., Veselka B., Capuzzo G., Snoeck C., Sengeløv A., Hlad M., Warmenbol E., Stamataki E., Boudin M., Annaert R., Dalle S., Debaille V., Kontopoulos I., Salesse K., Tys D., Vercauteren M. et De Mulder G., 2021, « Multi-proxy analyses of the Late Bronze Age site of Herstal reveal new information about funerary practices and landscape use in the Belgian Meuse Valley », *Journal of Anthropological Archaeology*.

Theunissen L., 1999, *Midden-bronstijd samenlevingen in het zuiden van de Lage Landen. Een evaluatie van het begrip 'Hilversum-cultuur'*, Leiden.

Toron S., 2006, « De la Picardie aux Flandres belges : une approche comparative des enclos circulaires de l'âge du Bronze ancien et moyen », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XIV, p. 71-76.

Van Impe L. et Creemers G., 1991, « Aristokratische graven uit de 5de/4de eeuwen v. Chr. en Romeinse cultusplaats op de 'Rieten' te Wijshagen (gem. Meeuwen-Gruitrode) », *Archeologie in Vlaanderen*, I, p. 55-73.

Verlaeckt K., 1996, *Between River and Barrow. A reappraisal of Bronze Age metalwork found in the province of East-Flanders (Belgium)*, Oxford, BAR International Series, 632.

Van Strydonck M., Boudin M., Hoefkens M. et De Mulder G., 2005, « ^{14}C-dating of cremated bones, why does it work? », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XIII, p. 61-63.

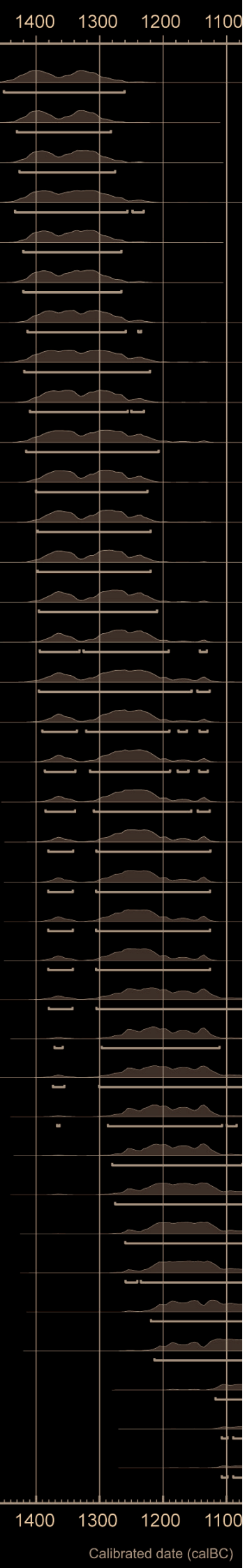
Van Strydonck M. et Warmenbol E., 2012, « Une séquence radiométrique du Néolithique final à La Tène finale : le *pilier stratigraphique* de Han-sur-Lesse (province de Namur, Belgique) », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XX, p. 3-9.

Warmenbol E., 1993, « Les nécropoles à tombelles de Gedinne et Louette-Saint-Pierre (Namur) et le groupe *mosan* des nécropoles à épées hallstattiennes », dans Boura F., Metzler J. et Miron A. (éd.), *Actes du XIe colloque de l'Association Française pour l'Étude des Âges du Fer en France non méditerranéenne (Sarreguemines [Moselle] 1-3 mai 1987)*, Metz/Luxembourg/Saarbrücken, Archaeologia Mosellana, 2, p. 83-114.

Warmenbol E., 2007, « Le dépôt d'ossements humains en grotte aux âges des Métaux en Belgique. Nouvelles questions », dans Barral P., Daubigney A., Dunning C., Kaenel G. et Roulière-Lambert M.-J. (dir.), *L'âge du Fer dans l'arc jurassien et ses marges. Dépôts, lieux sacrés et territorialité à l'âge du Fer*, Besançon, p. 537-547.

Warmenbol E. et Van Strydonck M., 2011, « Quelques dates radiométriques pour les haches à douille (Bronze final) du *Trou de Han* à Han-sur-Lesse (province de Namur, Belgique) », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XIX, p. 55-59.

Warmenbol E. et Van Strydonck M., 2012, « Quelques dates radiométriques pour les couteaux à douille (Bronze final) du *Trou de Han* à Han-sur-Lesse (province de Namur, Belgique) », *Lunula. Archaeologia protohistorica*, XX, p. 45-47.



Les datations par radiocarbone de la grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme) et leurs conséquences sur la compréhension de la dynamique d'occupation du site dans son contexte régional, de la fin du Néolithique au Bronze ancien

Joël Vital

Résumé

Les fouilles de la grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme) ont été réalisées entre 1981 et 1987. Les résultats en sont encore pratiquement inédits. Le but de cette opération était de doter la moyenne vallée du Rhône d'une séquence d'occupation protohistorique en grotte, permettant de contribuer à la recontextualisation des collections de ce secteur géographique. Le porche du gisement présente un épais remplissage pentu se développant de l'entrée vers l'intérieur. Une vingtaine de phases d'occupations ont été identifiées. Les restes céramiques sont suffisamment abondants pour étudier dans le détail leur évolution entre le xxxe et le ve s. av. n. è., de la fin du Néolithique au premier âge du Fer. Une trentaine de mesures ^{14}C ont été réalisées (J. Évin, C. Oberlin, CDRC, université Claude-Bernard – Lyon 1). Les matériaux sont le plus souvent des charbons de bois et, pour les mesures plus récentes, des ossements. Mais cet article s'attache plus particulièrement à décrire, à partir des résultats bruts calibrés sur la courbe Incal13, la forme du tracé fourni par un diagramme de corrélation rang-temps, inspiré des modèles rang-âge établis par les palynologues. Ce graphe permet de contrôler la validité des résultats et d'en rejeter ou d'en réattribuer les plus éloignés. Le principal enseignement est de révéler deux tracés chronométriques distincts, pour le Néolithique final et l'âge du Bronze. La bascule de l'un à l'autre se situe vers 2250 av. n. è., au moment où l'on enregistre une amélioration des conditions climatiques et où interviennent des changements dans l'évolution culturelle régionale, dans l'habitat, le funéraire, l'économie. Cette rupture dans la dynamique d'occupation de la cavité, révélée par les datations ^{14}C, n'est donc pas isolée et elle s'inscrit dans un mouvement plus général.

Mots-clés

Donzère, grotte de la Chauve-Souris, Drôme, France, séquence Néolithique final - Bronze ancien, datations radiocarbone, dynamiques d'occupations, évolution culturelle régionale

Abstract

The results of the excavations carried out between 1981 and 1987 at the grotte Chauve Souris in Donzère (Drôme) have remained up until now mostly unpublished. The main objective of the excavation was to provide the Middle Rhone valley with a cave occupation sequence for Late Prehistory that could contribute to the recontextualisation of the archaeological collections from this area. The cave contained a thick fill from 20 occupation phases that sloped from the entrance to the inside of the cave. Pottery is present is sufficient quantity in order to determine the detail of the occupation's evolution from the 30th to the 5th century BC, from the end of the Neolithic to the Early Iron Age. Thirty radiocarbon dates (J. Évin, C. Oberlin, CDRC, Univ. Claude Bernard - Lyon 1) were carried out on charcoal and more recently on bone samples. Using the calibrated results InCal13 curve, this paper will focus on describing the form of the curve using a rank-time correlation diagram inspired by the rank-age diagrams used by palynologists. The graph can be used to verify the results and we are able to subsequently reject or reattribute the outlying dates at each end of the spectrum. This work has revealed two distinct chronometric timelines for the Neolithic and the Bronze Age. The transfer from one to the other happens around 2250 BC at a moment of better climatic conditions when regional changes occur in the cultural evolution of settlements, funerary contexts and the economy. This break in the occupation dynamics of the cave revealed by the radiocarbon dates is not a one-off event and is part of a more general movement. (Traduction Rebecca Peake).

Keywords

Donzère, Chauve-Souris cave, Drôme, France, Late Neolithic - Early Bronze Age sequence, radiocarbon dating, occupation dynamics, regional cultural evolution

L'articulation chronoculturelle entre 2500 et 1900 av. n. è. fait l'objet depuis deux décennies de recherches particulières en moyenne vallée du Rhône. Elles ont été permises et favorisées par des sources archéologiques qui restent certes peu nombreuses, mais qui présentent fort opportunément des qualités peu fréquentes dans le Sud-Est, dans les champs de la culture matérielle, surtout céramique, de l'occupation du sol, des architectures en élévation à vocation domestique ou autre, de leur organisation spatiale, des choix parmi les modalités de conservation à long terme de certaines denrées de subsistance et des relations hommes-milieux (Vital, 2008b). Ces informations ont également été croisées avec celles du domaine funéraire, notamment en regard de l'affichage géométrique spécifique des genres masculin *vs* féminin, renvoyant au schéma centre-européen du IIIe millénaire av. n. è. (Vital, 2007b). Plus récemment, cette démarche et ses applications chronologiques et chorologiques ont été étendues à l'échelle d'une nécropole utilisée durant plusieurs siècles, de Gerzat, Chantemerle, dans le Puy-de-Dôme. Nous ne ferons qu'un bref rappel des résultats les plus saillants obtenus ces vingt dernières années pour l'intervalle prenant appui de part et d'autre de la limite de 2150 av. n. è. Dans le Sud-Est, cette date correspond à la transition Campaniforme-Bz A1 définie avec de solides arguments (Vital *et al.*, 2012 ; Vital, 2014 ; Lisfranc, Vital *et al.*, 2017). Nous verrons ensuite si la chronométrie culturelle de la grotte de la Chauve-Souris à Donzère présente ou non une forme de relation aux changements listés précédemment et qui le sont *infra*.

1. État des travaux en Auvergne-Rhône-Alpes

Nous savons qu'à quelques nuances près, la double influence des cultures orientales et méditerranéennes s'exerce dans le Sud-Est, des Alpes à la basse Auvergne (Vital *et al.*, 2012). Par contre, selon que l'on considère le domaine funéraire ou celui de l'habitat, le premier est plutôt bien illustré en Auvergne et le second en moyenne vallée du Rhône. De fait, si des parallélismes ne peuvent être strictement recherchés, ni multipliés dans chaque champ du culturel au symbolique, avons-nous tenté à une échelle supérieure de les inscrire dans un système chronoculturel de compréhension plus global (Lisfranc, Vital *et al.*, 2017, chap. 8).

L'habitat médio-rhodanien est représenté par les agglomérations successives, occupées au Campaniforme et au Bronze ancien, de Roynac le Serre 1, dans la Drôme, et du boulevard périphérique nord de Lyon, dans le Rhône. Elles ont été décrites et mobilisées à différentes reprises. L'organisation dans l'espace repose sur la mise en œuvre d'un dessein architectural préétabli (Vital, 2008a). Le plan de la quasi-totalité des aménagements en élévation de l'habitat de Roynac le Serre 1 renvoie à la période 2100-2000 av. n. è., au Bz A1, alors que l'occupation se poursuivra jusqu'au XVIIIe s. av. n. è. Cette organisation correspond au regroupement, sous une forme agglomérante, d'une demi-douzaine de bâtiments. Elle est fondée sur la préexistence d'un axe topographique structurant hérité on ne peut plus *in situ* de l'habitat antérieur du Campaniforme récent (fig. 1). Deux ensembles parallèles d'édifices (habitat, annexe, grenier sur poteaux) sont implantés au Bz A1 en suivant cet axe campaniforme, mais aussi la localisation d'un grand et unique bâtiment à deux nefs de cette période dans un niveau inférieur. Le rapport tête-bêche (en symétrie alterne) des unités d'habitations du Bz A1 évoque celui de la différenciation entre les tombes masculines et féminines du Cordé, du Campaniforme et du Bronze ancien d'Europe centrale (Vital, 2007b). Ce constat nous a conduit à l'hypothèse d'une organisation spatiale fondée sur une homomorphie idéelle sépulture-habitat héritée de la transcription dans les schèmes architecturaux de représentations symboliques, avec transfert de la bipolarité masculin-féminin (*supra*). Le même principe semble adopté sur l'habitat du boulevard périphérique nord de Lyon au Bz A2a ancien, débordant éventuellement sur le Bz A2a récent (Vital *et al.*, 2007). Une différence réside néanmoins dans le fait que cette dichotomie est à l'œuvre dans le noyau initial du site, ceinturé par une clôture spécifique, avec une *maison du fondateur* et une construction annexe dévolue pour partie à la conservation des produits agricoles (fig. 1). On retrouve ainsi en résumé un schéma chronoculturel adopté auparavant à Roynac le Serre 1, avec un bâtiment isolé et un grenier au Campaniforme, une utilisation et une délimitation des terrains alentour, et une forme d'architecture agglomérante et normée aux débuts du Bronze ancien. Une place importante est alors accordée aux produits agricoles conservés aussi bien en élévation qu'en milieu terrestre confiné avec, pour ces derniers, une valeur accordée aussi du point de vue symbolique. En regard de cet impératif, on peut dire qu'en région, les « Campaniformes » creusent peu, à part pour soustraire certains de leurs défunts au monde des vivants.

La nécropole puydômoise de Gerzat, Chantemerle, présente une évolution spatiale entre Bz A1 et Bz A2b (Lisfranc, Vital *et al.*, 2017, fig. 291), qui passe d'un schéma étendu et linéaire, à des entités plus englobantes et concentriques, pour aboutir à une organisation toujours plus dense sur une trame orthonormée, sorte d'acmé de l'architecture agglomérante inaugurée dans des habitats de moyenne vallée du Rhône et mise en pratique ensuite sur le vaste gisement de Petit Beaulieu à Clermont-Ferrand (Thirault *et al.*, 2016). Si cette succession se déroule selon un rythme différent entre zones orientales et occidentales du Sud-Est, les étapes qui la scandent semblent présenter un même enchaînement. Un autre élément est aussi à prendre en compte. En basse Auvergne, il est bien rare que les sites à vocation funéraire du Bronze ancien ne livrent pas çà et là quelques témoins céramiques campaniformes, ou du début du Bronze moyen. Mais cette présence très diffuse, pour le Campaniforme notamment, sans structure clairement

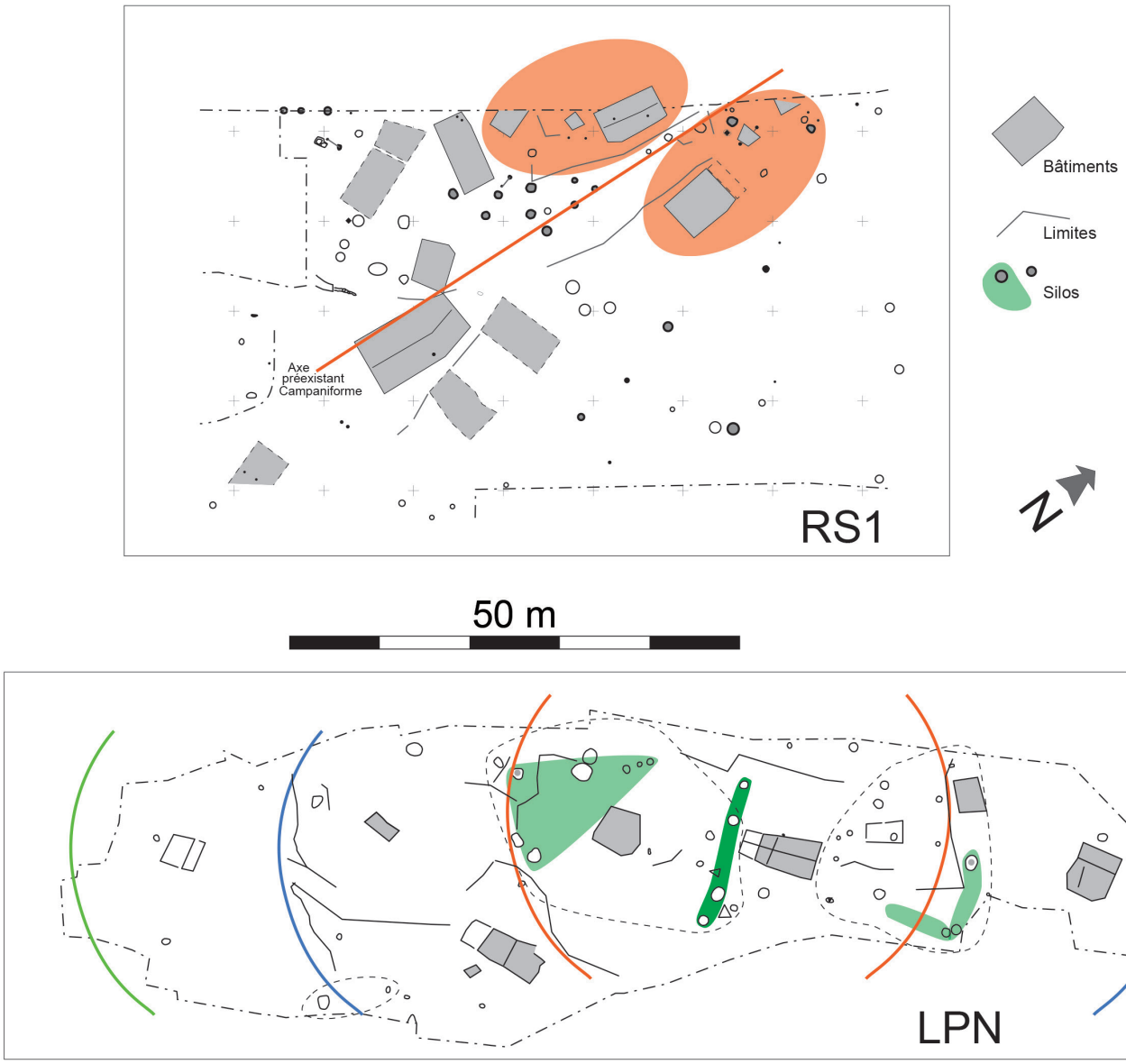


Figure 1 - Structuration spatiale des habitats de Roynac-le-Serre 1 (RS1), linéaire-alterne (BzA1), et du boulevard périphérique nord de Lyon (LPN) concentrique.

discernable sauf exceptions – Petit Beaulieu par exemple – est à l'évidence sans commune mesure avec la pression et l'ampleur que représentent les manifestations culturelles du début de l'âge du Bronze. Nous avons aussi affaire ici à une différence entre Campaniforme et Bronze ancien. Dans les deux pôles de la vaste région d'Auvergne-Rhône-Alpes, le Bz A2a récent, de 1850 à 1700 av. n. è. environ, constitue notamment un épisode marquant d'occupation territoriale que l'on peut suivre à travers la répartition géographique des styles céramiques et des volumes produits, sans égaux pour le reste du Bronze ancien (Vital, 2014).

2. La grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme)

À mi-distance de Valence et d'Avignon, la grotte de la Chauve-Souris est creusée aux dépens des calcaires urgoniens qui constituent les deux massifs qui enserrent le défilé de Donzère (fig. 2). Le Rhône, qui sépare le département de l'Ardèche, à l'ouest, de celui et de la Drôme à l'est, est à l'origine de l'incision de ce pertuis qui forme un couloir de 3,4 km de longueur pour 1,2 km de largeur. En rive droite, le relief graduel laisse la place à une étroite plaine alluviale, alors qu'en rive gauche, une falaise subverticale de 40 à 110 m de hauteur domine le fleuve. La grotte s'ouvre dans le tiers inférieur de cette paroi, à 142 m d'altitude. L'accès malaisé au site s'effectue par le cône d'éboulis qui s'est développé jusqu'à la berge orientale du Rhône (fig. 2-3). Une barre rocheuse doit ensuite être escaladée, puis l'on aboutit à une reculée en forme de conque au fond de laquelle s'ouvre l'entrée, précédée d'une étroite terrasse. L'orifice mesure 3 m de large pour 1 m de hauteur, la voûte s'élevant ensuite rapidement à l'intérieur. L'ouverture discrète ne laisse rien deviner des dimensions internes du site. La grotte se poursuit alors sur 120 m de longueur, en deux tronçons liés par des rétrécissements, pour une

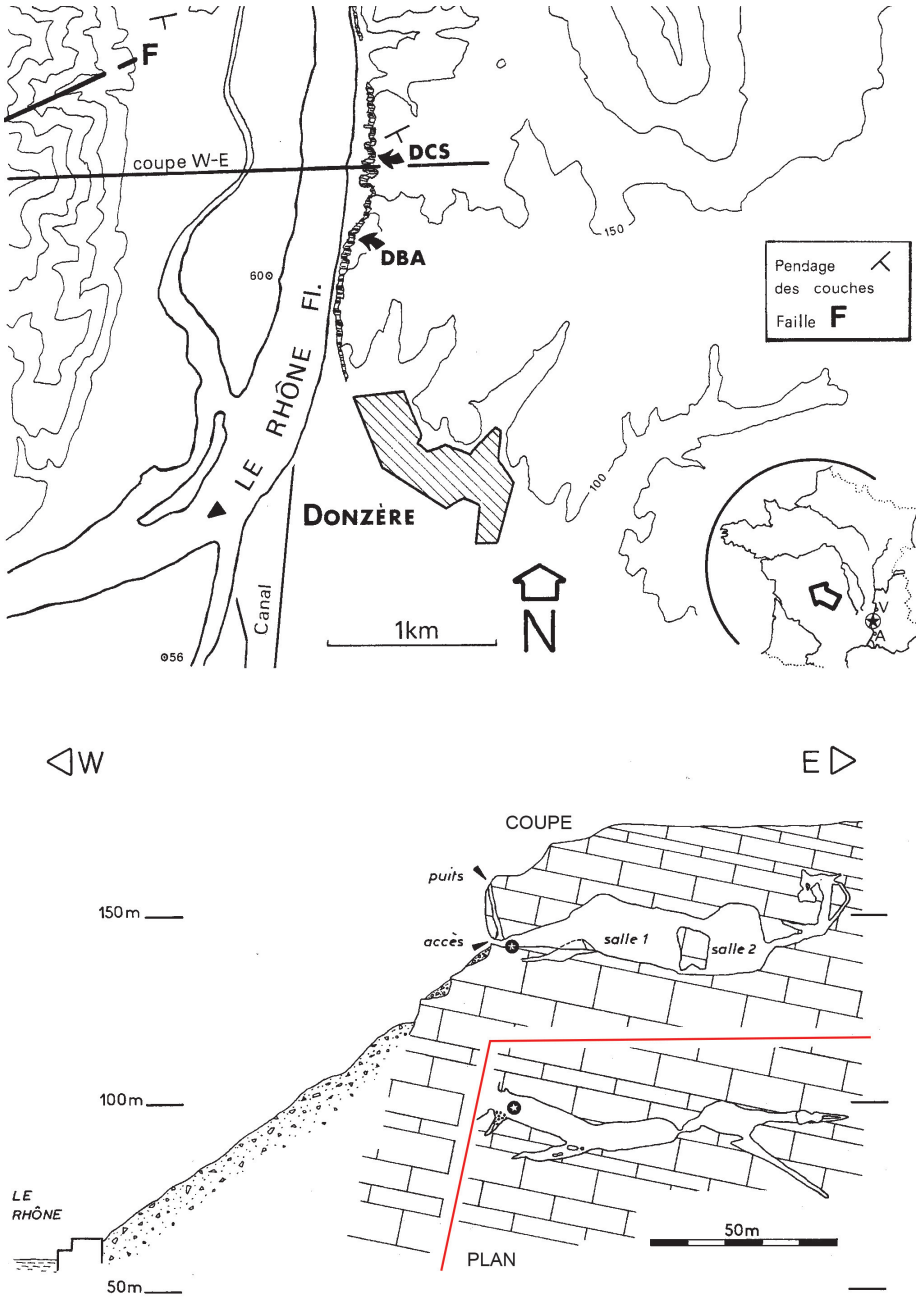


Figure 2 - Localisation du défilé de Donzère, des grottes de la Chauve-Souris (DCS) et de la Baume des Anges (DBA). Plan et coupe de la grotte de la Chauve-Souris. L'étoile marque l'emplacement des fouilles. Les flèches indiquent les accès par la berge et par le plateau.

largeur moyenne de 8 m. Le plafond atteint 30 m au maximum (fig. 2-3). En retrait de l'entrée, un conduit sub-vertical interne constitue un second accès. Il assure une jonction directe entre le porche et le plateau, à proximité de son rebord occidental, 20 m plus haut; mais il ne peut être emprunté sans un minimum de pratique. Un éboulis important s'est constitué en interne à la base de ce puits et a ainsi protégé les couches archéologiques sur une surface n'excédant probablement pas une centaine de mètres carrés. De fait, ce site est très discret à la fois par sa faible visibilité et par son accès malaisé.

Entre 1981 et 1987, les fouilles ont intéressé une large partie du porche, sur un peu plus de 60 m², jusqu'en limite d'extension de la sédimentation, en partie amputée par des creusements spéléologiques qui ont principalement touché les niveaux de l'âge du Bronze. Cette fouille visait à contribuer à la construction d'un cadre chronoculturel suffisamment étayé pour permettre d'y arrimer d'autres recherches relatives à l'âge du Bronze dans la moyenne vallée du Rhône. Nous savions en effet, au travers de différentes collections, que cette période était bien documentée dans le gisement. La publication en est encore pratiquement inédite.

Dans ce secteur rhodanien, cette cavité était la seule où il était possible d'engager de nouvelles recherches, en regard d'autres grottes plus faciles d'accès mais, avec pour rançon, un état de conservation médiocre (Vital, 1984; 1990). Cet intérêt était doublé par la présence d'une suite de surfaces de la fin du Néolithique qui se sont rapidement révélées bien conservées, situation qui fournissait l'opportunité d'alimenter les débats sur le statut fonctionnel et économique de ces occupations en grotte, problématique toujours ouverte à ce jour, et sur les indicateurs de la transition du Néolithique à l'âge du Bronze dans un cadre chronométrique détaillé.

La chronographie générale du site a été fixée par la stratigraphie des formations sédimentaires et par la chronométrie tirée de plus d'une vingtaine de datations par radiocarbone (J. Évin, C. Oberlin, CDRC, CNRS/université Claude-Bernard – Lyon 1). Hors limites de cette contribution, on signalera toutefois qu'un modèle statistique bayésien a été réalisé par C. Oberlin sur cet ensemble de mesures.

Dans le piège à sédiments que constitue la zone du porche, la séquence de la grotte de la Chauve-Souris montre une succession irrégulière de 99 unités pour 37 interfaces présentant des témoins archéologiques. La séquence holocène est à elle seule représentée par 92 unités sédimentaires et par les restes de 18 surfaces ou entités d'occupations (fig. 4), auxquelles on doit ajouter 4 sols d'époque antique tardive (IVe-Ve s. de n. è.; *ibid.* couches 5). Pour le Néolithique final, on dénombre une dizaine de phases d'occupation que l'on décompose en trois séquences : inférieure, médiane et supérieure (Vital, 2007a). Les datations pour le Néolithique final inférieur

peuvent situer ce cycle au plus tôt vers 3050 av. n. è. (fig. 4), se prolongeant jusque vers 2850 av. n. è. La séquence médiane se développerait aux alentours de 2700-2450 av. n. è. La séquence supérieure est bien datée, à partir de 2500 av. n. è. (surface 15AS, Ly-4154 : 3940 ± 110 BP et Ly-5736 : 3925 ± 50 BP), avec un terme fourni par la couche 13AB qui clôt la séquence néolithique vers 2250 av. n. è. (Ly-4756 : 3845 ± 80 BP). Du point de vue chrono-culturel, on assiste à une succession de fréquentations du groupe d'Allan-Couronnien, puis de style Les Bruyères, puis de la composante Fontbouisse-Campaniforme rhodano-provençal. Pour l'âge du Bronze, trois principales phases d'occupation ont été identifiées, de la fin du Bronze ancien (ensemble 11D-B, Bz A2b), du début du Bronze final (ensemble 11A-10, BF 1a) et de la fin du Bronze final (ensemble 9, BF 3b récent ; Vital, 2016). Nous avons aussi la preuve par le mobilier représenté qu'au moins une incursion du BF 2b classique ne s'est pas traduite par une forme décelable de sédimentation, à moins que le niveau correspondant n'ait été présent que dans une zone soustraite à l'observation du fait des destructions spéléologiques.

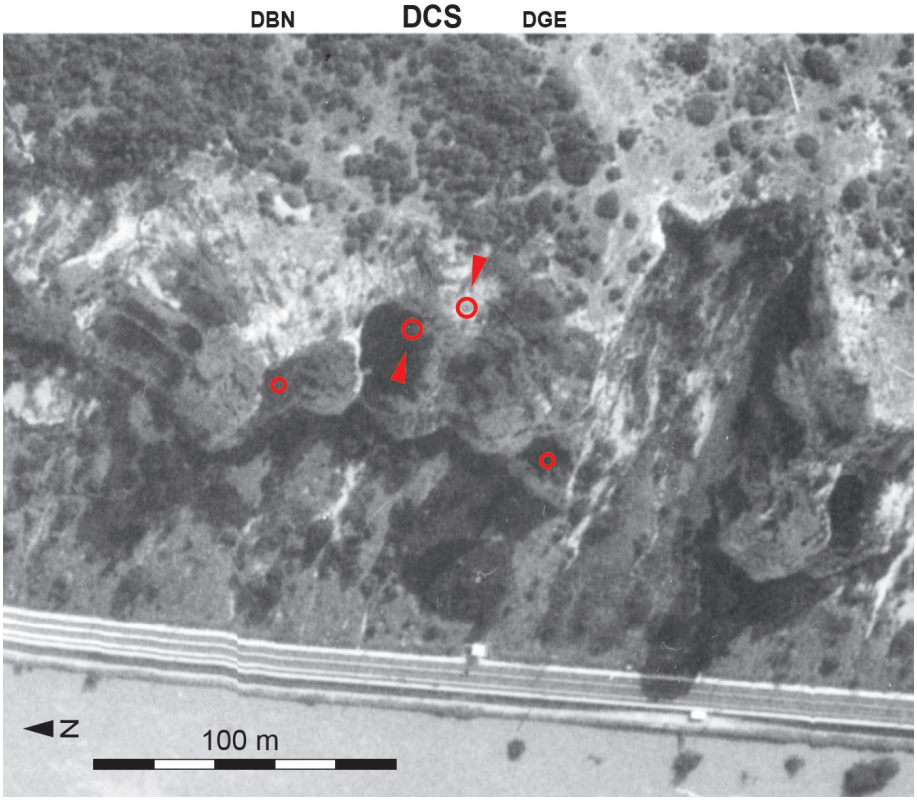


Figure 3 - Donzère (Drôme). Vue aérienne du secteur de la grotte de la Chauve-Souris, avec l'accès par l'éboulis (au centre) et par le plateau (sur la droite). En bas, le Rhône et la ligne SNCF.

3. Chronographie, sédiments, chronométrie, fonctions et dynamiques culturelles

En premier lieu, la succession et la constitution des couches archéologiques permettent un certain nombre d'observations (fig. 4). Entre la séquence du Néolithique final et celle de l'âge du Bronze, les caractères macroscopiques des sédiments présentent une différence fondamentale. Afin de mettre en lumière ce phénomène, deux indices ont été calculés. L'un consiste en la ventilation de la fraction grossière dans différentes classes granulométriques de progression arithmétique. Le second est un indice d'émoussé, évalué sur les faces et arêtes de ces éléments, de quelques-uns à plusieurs dizaines de centimètres (Vital, 2007a, fig. 5). Il n'est pas rare en effet que les niveaux pierreux comprennent une part très importante en volume d'éléments de classe granulométrique supérieure à 10 cm. Il en résulte un triple effet. En premier lieu, avec une présence largement dominante de blocaille dans les formations du Néolithique final, alors que la fraction terrigène est plus caractéristique des couches de l'âge du Bronze, les limons argileux enrobant des cailloux plus petits et moins nombreux en une séquence plus compactée. Ensuite, l'ensemble sédimentaire néolithique est fortement impacté par les agents physico-chimiques en fin de cycle et en surface. Cette dernière correspond au sommet de 13 AB. Elle présente de manière spécifique un arrondi et une diminution de la taille moyenne des pierres. Cet état laisse l'impression d'une période de plusieurs siècles sans sédimentation marquée, entre 2250 et 1700 av. n. è. (ensemble 11D-B). S'agit-il alors d'un témoin de l'abandon de cette cavité pendant plusieurs siècles ? Un troisième caractère permet d'alimenter cette question. Il s'agit de la répétition systématique de couples blocailles stériles-surfaces d'occupations. Celles-ci sont matérialisées par des nappes de vestiges et des restes de combustions, charbons, cendres, foyers. Le premier niveau de blocs est successif à la première occupation installée au sommet d'un amas épais et stérile de guano fossile de chauves-souris, après 6500 ans d'interruption à la fin de son accrétion calée vers 9400-9300 av. n. è. Ainsi, tout se passe comme si c'était la présence humaine durant le IIIe millénaire av. n. è. qui pilotait la sédimentation par le canal du puits débouchant sur le plateau. De tels cycles sédimentaires avaient déjà pu être observés dans des grottes bergeries du Diois, telle la Baume Courtinasse à Treschenu-Creyers, Drôme (Brochier *et al.*, 1999). Compte tenu du volume des blocs mobilisés à Donzère et de la durée nécessaire à leur dépôt, cet accès devait présenter un intérêt

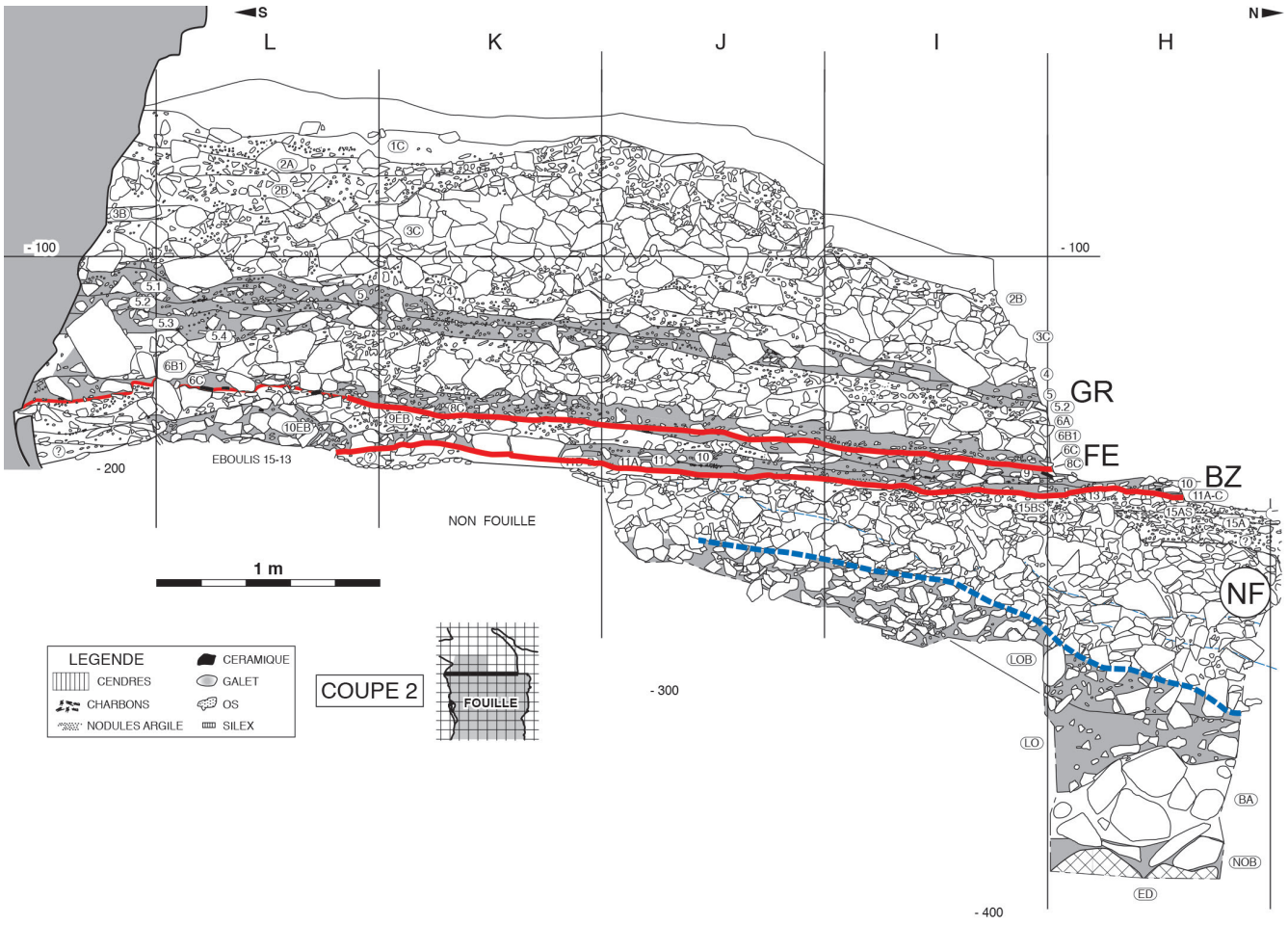


Figure 4 - Donzère (Drôme). Coupe stratigraphique entre les parois nord et sud de la grotte de la Chauve-Souris. Les niveaux de l'âge du Bronze sont délimités en rouge. Le tracé bleu indique la base des couches du Néolithique final.

suffisamment fort pour justifier de fréquentes rotations grotte-plateau. À titre d'hypothèse de travail, un impératif lié à l'économie pastorale peut être avancé pour de tels mouvements, entre séjours abrités et activités en surface. L'abandon de ce site pourrait alors répondre à une modification des bases économiques et/ou des réseaux concernés. On observe aussi que d'autres niveaux de blocs sont liés en stratigraphie à d'autres occupations, de l'âge du Fer (couche 6C, fig. 4, FE) et antiques (couches 5, fig. 4, GR), mais sans la répétitivité des couples sédiments fins-blocaille successifs. Cette mobilisation des blocs sans charge sédimentaire fine n'est évidemment pas sans rappeler les éboulis en *open work* et les « cônes de dévallement » produits par les passages répétés des troupeaux en grottes. Une nouvelle fois, le cas de la Baume Courtinasse à Treschenu-Creyers mérite d'être mentionné pour ce modèle de cycles sédimentaires qu'elle illustre aussi au Néolithique (Brochier *et al.*, 1999, p. 91-93). Une autre réponse anthropique pourrait d'être d'ordre cultuel avec, par exemple, la précipitation de masses de cailloux à l'occasion de dépôts d'autre nature et d'événements cérémoniels opérés depuis la surface du plateau calcaire. Mais cette possibilité paraît concerner plus directement l'Antiquité tardive avec la présence notable de pièces circulaires en plomb dans les niveaux concernés.

À la suite de cette large introduction, et de manière à illustrer le thème « Mesurer le temps de l'âge du Bronze », cet article vise plus précisément à décrire comment une série de datations objectives ^{14}C peut être mobilisée comme indice de la modification du statut des occupations d'une grotte dans un contexte local large, tel qu'il a été présenté *supra*. Cette recherche s'appuie sur les résultats bruts calibrés sur la courbe InCal13 (fig. 5A) et sur la forme du tracé fourni pour la grotte de la Chauve-Souris par un diagramme de corrélation rang-temps, inspiré des modèles rang-âge établis par les palynologues (fig. 5B). Le graphe construit permet en premier lieu de contrôler la validité des résultats bruts (fig. 5A), d'en rejeter ou d'en réattribuer dans un second temps (fig. 5B). Le principal enseignement est de révéler deux tracés chronométriques distincts et successifs, pour le Néolithique final et pour l'âge du Bronze, de part et d'autre d'un point de bascule vers 2300-2250 av. n. è. (fig. 5B). Ces tracés s'éloignent de trois autres formes, théoriques, d'une succession régulière (fig. 5B, en jaune) et d'une concentration des résultats soit sur le Néolithique final, soit sur l'âge du Bronze (*ibid.*, en gris, NF et BZ). On observe alors que c'est sur le tracé concentrant les dates néolithiques – et surtout les fréquentations concernées – que se calque la succession donzéroise.

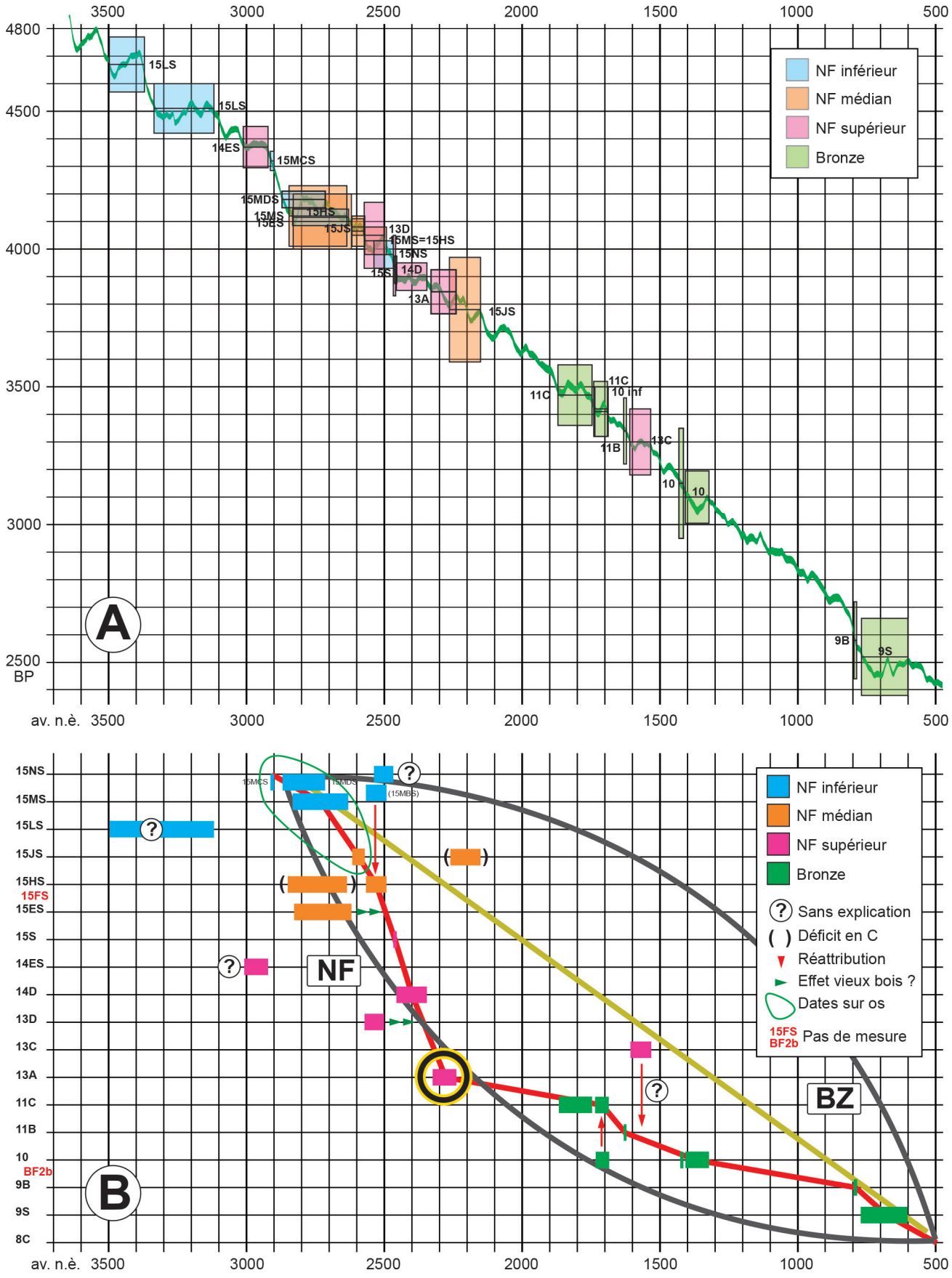


Figure 5 - Donzère (Drôme). Succession des datations par radiocarbone de la grotte de la Chauve-Souris (calibration sur la courbe InCal13). A. Sur la diagonale rang-temps IntCal 2013. B. Filtrées, et de part et d'autre du point de bascule, cerclé, vers 2300-2250 av. n. è. Tracés théoriques, en jaune, d'une succession régulière ; en gris, d'une concentration soit sur le Néolithique final (NF), soit sur l'âge du Bronze (BZ).

4. Résultats et perspectives

Un changement manifeste est donc visible entre les suites d'occupations du Néolithique final et celles de l'âge du Bronze. Les premières se déroulent à un rythme relativement plus soutenu que les secondes et selon des cycles sédimentation-fréquentation spécifiques. Aucun cas ne déroge à cette règle, avec sans doute de moindres formes de mobilité, ou plutôt d'autres modèles au Bronze ancien.

D'autres observations hors sites peuvent-elles être mises en parallèle chronologique avec cette séquence 3000-750 av. n. è.? Correspondant éventuellement à une modification des choix de production au sein de l'économie agro-pastorale? Cette hypothèse a été défendue à plusieurs reprises (Vital, 2008a; 2008b). La différence entre le nombre des silos enterrés entre le Campaniforme, très réduit, et le Bronze ancien, a notamment été documentée, en faveur de ce dernier.

À partir du Bronze ancien débute en plein air une phase plus continue de pédogenèse cumulique liée à un long épisode de calme hydro-sédimentaire. Elle intervient à la fin du Néolithique par un changement climatique majeur rapide, de dégradation, l'événement 4.2 ka (entre 4500-4450 BP et 3900-3850 BP), soit entre 2500 et 1900 av. n. è. environ. À cette échelle globale, on remarquera que cette fourchette chronométrique correspond parfaitement à celle des occupations néolithiques de la grotte de la Chauve-Souris. Cet événement présente une tripartition dans le temps et se manifeste par deux phases d'activité hydrosédimentaire – la seconde étant plus énergique dans la plupart des bassins versants, vers 2500-2300 av. n. è. – et une phase de pédogenèse intercalée (Berger, 2015, p. 654). Cette seconde phase d'activité coïncide avec le point de bascule Néolithique final-âge du Bronze enregistré dans la grotte donzéroise. À cette époque, avec la stabilisation des sols, on observe en plein air, en moyenne vallée du Rhône, une plus grande visibilité des occupations avec les premières agglomérations, conjointement à des fermes isolées. C'est aussi le temps d'implantation des premières grandes nécropoles du Bronze ancien, qui induisent une certaine pérennité en un même lieu (Lisfranc, Vital *et al.*, 2017).

À la question : une séquence chronoculturelle et fonctionnelle en grotte peut-elle trouver des points de convergence chronométriques avec des événement observés en plein air?, on peut répondre positivement. L'ensemble des modifications observées aussi bien dans leurs aspects « naturels » qu'anthropiques semblent trop systématiques pour devoir simplement être l'œuvre du hasard. Tout en gardant en tête qu'il ne s'agit peut-être ici que d'un cas particulier. Sinon, sa reproductibilité, déjà attestée dans le Diois (Brochier *et al.*, 1999), demandera encore d'autres exemples permettant de valider le modèle et de progresser dans la mise en évidence de fonctionnements systémiques dans le continuum Nature-Homme.



Joël Vital

ASM - Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR5140, Université Montpellier 3, CNRS, MCC, 34000 Montpellier
Centre d'archéologie préhistorique du Rhône aux Alpes, Concept Girodet - bâtiment A - 46, allée du Concept, F-26500 Bourg-lès-Valence

Bibliographie

Berger J.-F., 2015, *Approche socio-environnementale du Néolithique à l'Anthropocène : quelques études intégrées de la vallée du Rhône aux milieux nord-méditerranéens*, Mémoire HDR, Géographie physique. Université Lumière Lyon 2, 2 vol., 793 p.

Brochier J.-L., Beeching A., Sidi Maamar H. et Vital J., 1999, « Les grottes bergeries des Préalpes et le pastoralisme alpin, durant la fin de la Préhistoire », dans Beeching A. (dir.), *Circulations et identités culturelles alpines à la fin de la Préhistoire. Matériaux pour une étude*, Programme CIRCALP 1997-1998, Travaux du Centre d'archéologie préhistorique de Valence, 2, Valence, p. 77-114.

Lisfranc R. et Vital J. (dir.), Vermeulen C., Ballut C., Cabanis M., Cattin F., Chiaradia M., Convertini F., Forest V., Goude G., Herrscher E., Labaune M., Mille B., Prosecova L. et Saintot S., 2017, *La nécropole Bronze ancien de Gerzat, Chantemerle (Puy-de-Dôme). Architectures, pratiques funéraires, composantes anthropologiques, dynamiques spatiales, chronoculturelles et sociales*, Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes et en Auvergne, 45, Lyon, ALPRARA/MOM, 389 p.

Thirault É., Tacussel P. et Vital J., 2016, « Nécropoles, habitats et parcellaires du Campaniforme au Bronze ancien en Auvergne : le cas de Petit Beaulieu à Clermont-Ferrand », dans Cauliez J., Sénépart I., Jallot L., De Labriffe P.-A., Gilabert C., Gutherz A., Hasler A. et Ard V., *De la tombe au territoire. Actualité de la recherche, Actes des 11e Rencontres méridionales de préhistoire récente, Montpellier (2014),* Toulouse, éditions Archives d'Écologie préhistorique, p. 125-151.

Vital J., 1984, *Sites et industries de l'âge du Bronze dans le Défilé de Donzère (Drôme)*, thèse de doctorat de 3e cycle, université Bordeaux 1, Géologie du Quaternaire et Préhistoire, 1957, 2 vol.

Vital J., 1990, *Protohistoire du Défilé de Donzère. L'âge du Bronze dans la Baume des Anges*, Documents d'Archéologie française, 28, Paris, MSH, 147 p.

Vital J., 2007a, « Les fouilles 1981-1987 dans la grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme) : visées initiales, problématiques actuelles, premières caractérisations chronoculturelles, implications pour le Sud-Est de la France et le domaine circum-alpin », dans Fouéré P., Chevillot C., Courtaud P., Ferullo O. et Leroyer C., *Paysages et peuplements. Aspects culturels et chronologiques en France méridionale. Actualité de la recherche, actes des 6e rencontres méridionales de préhistoire récente (Périgueux, 2004)*, Supplément *Préhistoire du Sud-Ouest*, 11, Chancelade, ADRAHP/Thegra, p. 257-292.

Vital J., 2007b, « Différenciation sexuelle et lecture symbolique des architectures au Bronze ancien : un modèle rhodanien. Contribution à la question de l'origine du Bronze ancien dans le Sud-Est de la France », *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 37, 4, p. 489-506.

Vital J., 2008a, « Architectures, société, espaces durant l'âge du Bronze. Quelques exemples dans le bassin rhodanien », dans Guilaine J. (dir.), *Villes, villages, campagnes de l'âge du Bronze, Séminaires du Collège de France (Toulouse, 2005)*, Paris, Errance, p. 179-201.

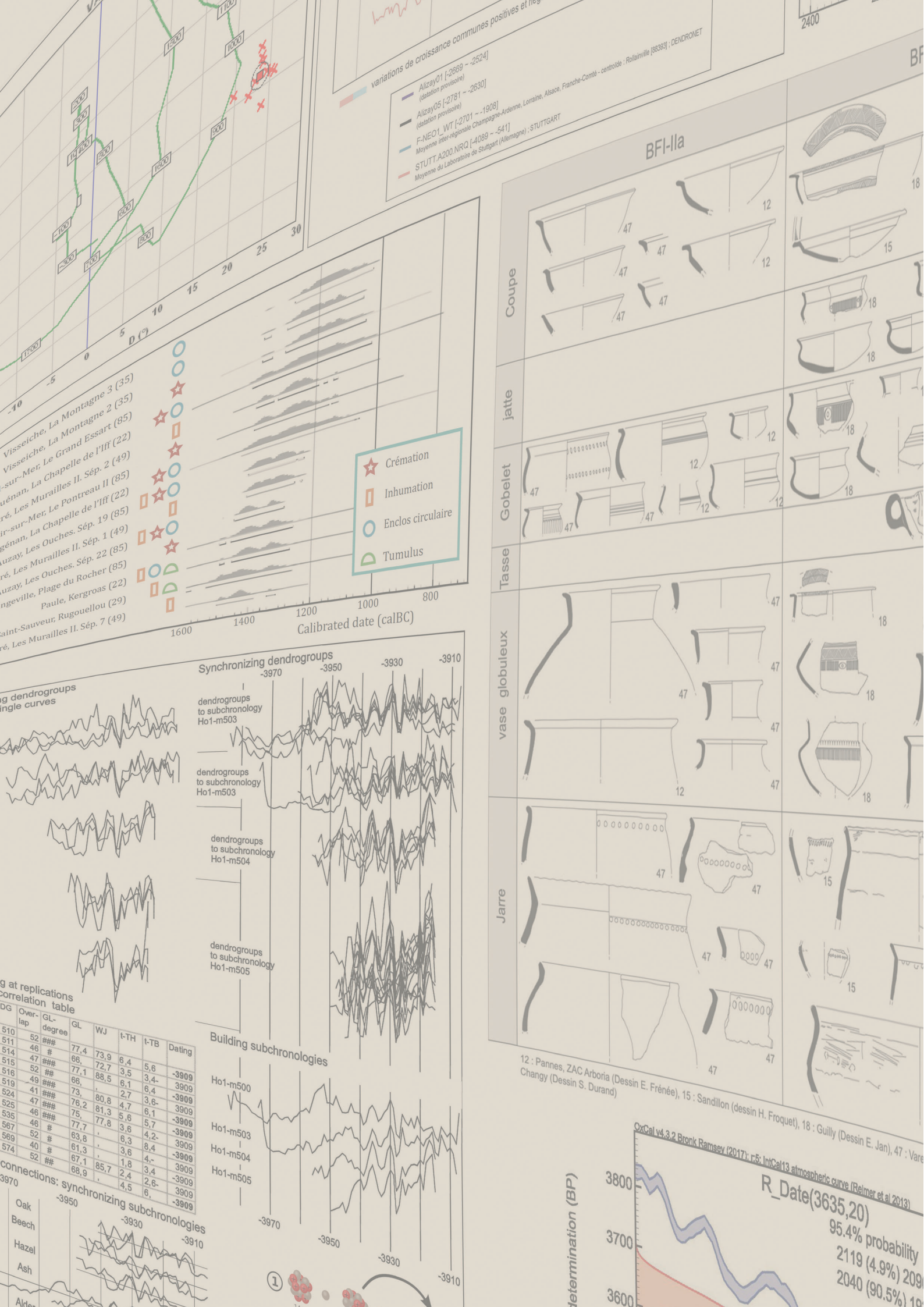
Vital J., 2008b, « La séquence Néolithique final-Bronze ancien dans l'axe rhodanien : enseignements chronométriques et perspectives culturelles », dans Salanova L., Vital J. et Tchérémissinoff Y. (dir.), *Les ensembles problématiques de la transition Néolithique-Bronze en France. Actes de la séance de la Société préhistorique française, Maison de l'Orient et de la Méditerranée (Lyon, 2007)*, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 105, 3, p. 539-554.

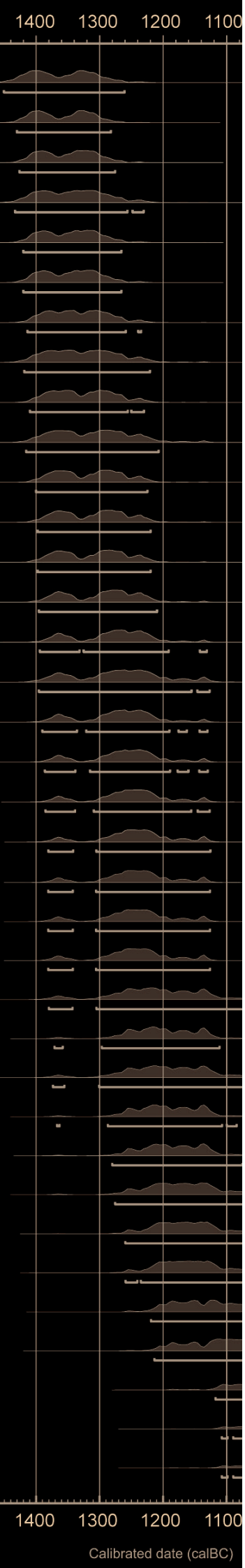
Vital J., 2014, « La chronologie céramique du Bronze ancien et moyen du Massif central aux Alpes », dans Sénépart I., Leandri F., Cauliez J., Perrin T. et Thirault É. (dir.), *Chronologie de la Préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012. Actualité de la recherche. Actes des 10e rencontres méridionales de Préhistoire récente (Porticcio, 2012)*, Toulouse, Archives d'Écologie préhistorique, p. 221-238.

Vital J., 2016, « L'ensemble 9 de la grotte de la Chauve-Souris à Donzère (Drôme) : une séquence céramique de transition des IXe-VIIIe s. av. n. è. en moyenne vallée du Rhône », dans De Chazelles C.-A. et Schwaller M., *Vie quotidienne, tombes et symboles des sociétés protohistoriques de Méditerranée nord-occidentale*, t. 2, Mélanges offerts à Bernard Dedet, Monographies d'Archéologie méditerranéenne, hors-série, 7/2, Lattes, ADAL, p. 831-847.

Vital J., avec la collaboration de Bouby L., Jallet F. et Rey P.-J., 2007, « Un autre regard sur le gisement du boulevard périphérique nord de Lyon (Rhône) au Néolithique et à l'âge du Bronze (secteurs 94.1 et 94.8) », *Gallia Préhistoire*, 49, p. 1-126.

Vital J., Convertini F. et Lemercier O., 2012, *Composantes culturelles et premières productions céramiques du Bronze ancien dans le Sud-Est de la France. Résultats du Projet Collectif de Recherches 1999-2009*, BAR International Series, 2446, Oxford, Archaeopress, 426 p. + CDRom annexe, 334 p.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



L'usage des datations par le radiocarbone dans une optique de chronologie relative ? Les premières tendances du site d'habitat de Kehrsatz, Breitenacher (CH)

Yann Mamin et Laure Prétôt

Résumé

De 2015 à 2018, un habitat de l'âge du Bronze moyen-récent a été mis au jour à Kehrsatz, Breitenacher (Berne, CH) sur environ 21 500 m² et est actuellement en cours d'étude. Plusieurs dizaines de plans de bâtiments ont pu être reconstitués à partir des trous de poteau et de nombreuses structures liées à l'occupation du site ont été documentées, ouvrant la voie à une analyse chrono-spatiale.

Parmi les échantillons de charbon de bois analysés par radiocarbone, une grande majorité d'entre eux se rapportent à l'âge du Bronze moyen-récent. Plusieurs concentrations de datations, qui s'échelonnent de la deuxième partie du Bronze ancien (Bz A2b) au début du Bronze final (Ha A2), ont permis d'esquisser des tendances dans la chronologie relative, donc dans le développement spatial du site. Elles ont aussi révélé de possibles discriminations entre structures architecturales et aménagements liés à la vie quotidienne.

Il s'agit donc de mettre en évidence ces tendances et de proposer des premières interprétations qui pourront, lors de l'étude du site, être confrontées aux autres données disponibles, avant tout à un abondant mobilier céramique. L'usage de datations par radiocarbone, dans une optique de chronologie relative, pourrait ainsi se révéler un outil précieux dans l'étude chrono-spatiale de ce type de site.

Mots-clés

Habitat, Âge du Bronze moyen-récent, analyse chrono-spatiale, datation radiocarbone, Berne (CH)

Abstract

Between 2015 and 2018, approximately 21 500 m² of a Middle Bronze Age settlement were excavated at Kehrsatz, Breitenacher (Bern, CH). The results are currently undergoing post-excavation analysis. Several dozen building plans reconstructed from postholes, together with other structures relating to the use of the site allow a chrono-spatial analysis.

A large majority of the analysed radiocarbon samples date to the Middle and Late Bronze Age. Between the second part of the Early Bronze Age (Bz A2b) and the beginning of the Final Bronze (Ha A2), several clusters of dates suggest trends in relative chronology, and as a result the spatial development of the site. They may too allow distinguishing between architectural structures and installation related to everyday life.

In a next step, these trends will be elaborated on leading to preliminary interpretations, which can be compared with other data, above all with the large pottery assemblage. The use of radiocarbon dating for a view on relative chronology could prove to be a valuable tool in the spatial and chronological analysis of these types of sites.

Keywords

Settlement, Middle and Late Bronze Age, temporal and spatial analysis, radiocarbon dating, Bern (CH)

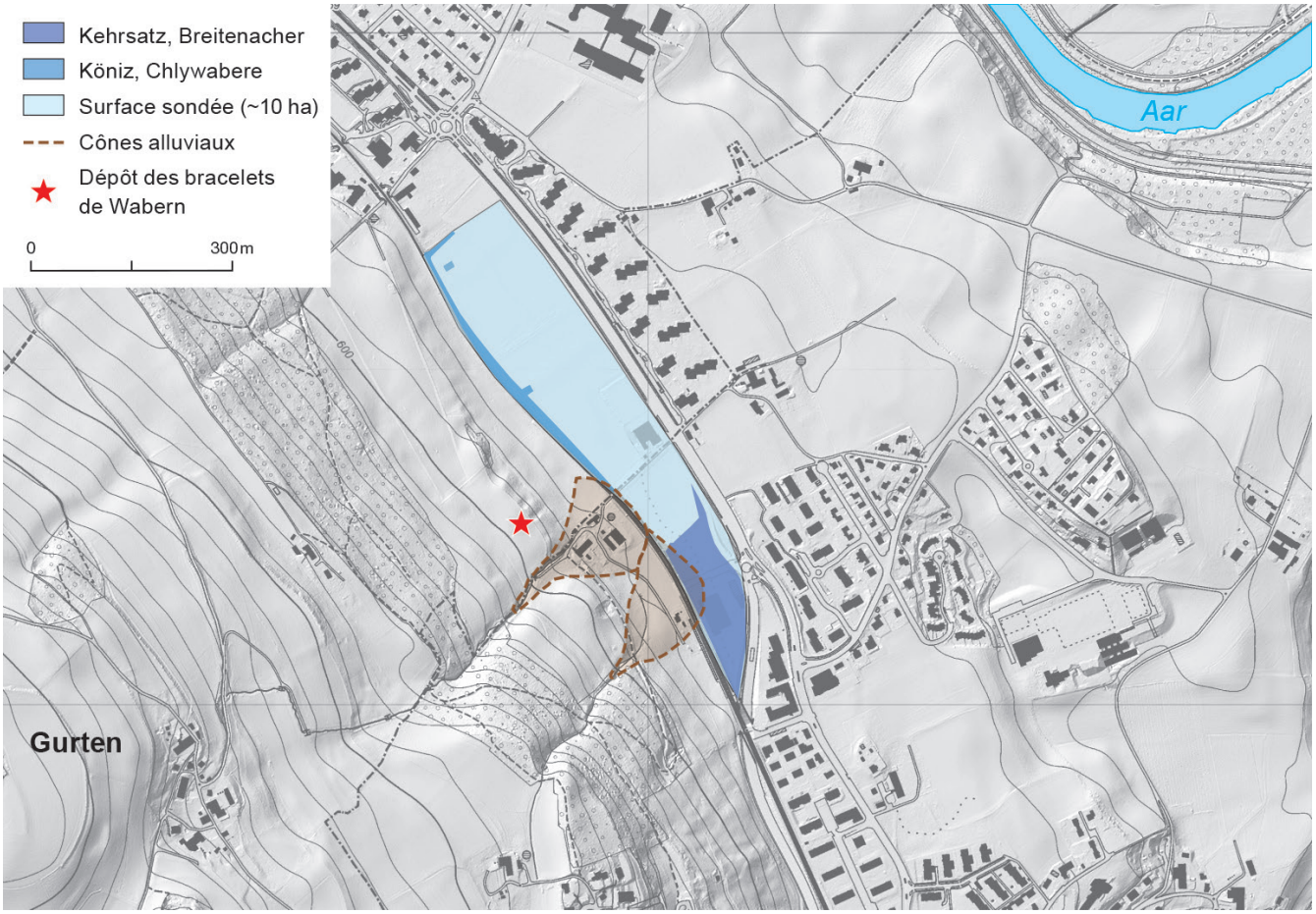


Figure 1 – Situation des deux interventions ; Kehrsatz Breitenacher (zone principale au sud) et, Köniz, Chlywabere (zone nord), en bordure sud de la trame urbaine de Berne et au pied du Gurten. DAO E. Schranz.

Le Service archéologique du canton de Berne (SAB), en Suisse, a mené entre 2015 et 2018 deux chantiers contigus à Kehrsatz, Breitenacher (15 000 m²) [Mamin et Gubler, 2017] et Köniz, Chlywabere (5 600 m²) [Prétôt, 2019], soit plus de 21 500 m² de surface explorée au total. Les emprises s'étendent sur environ 800 m de longueur et 60 m de largeur maximum, mais les vestiges de l'âge du Bronze, considérés comme appartenant à un seul site archéologique, pourraient s'étendre sur une surface bien plus importante (fig. 1). L'absence de stratigraphie verticale nous a incité à orienter l'étude vers une analyse chrono-spatiale du site afin de déterminer à quel modèle d'établissement nous avons à faire : village, habitat(s) groupé(s), isolé(s) et de comprendre son développement sur une période de plus de neuf siècles. Le recours important aux données radiocarbones a permis de révéler certaines tendances pour lesquelles nous proposons ici quelques hypothèses et qu'il s'agira de vérifier lors de l'élaboration de la monographie du site, qui n'en est qu'à ses débuts.

1. Situation et contexte de découverte

Cet établissement se situe dans la vallée de l'Aar (Plateau suisse), à quelques kilomètres au sud de la ville de Berne et au débouché d'une des principales voies menant aux cols alpins, puis en Valais et en Italie (fig. 2). Il s'est développé au pied de la colline du Gurten, sur une terrasse morainique recouverte d'une sédimentation fine issue de l'érosion des pentes molassiques de la colline et/ou par des dépôts fluvioglaciaires. Un paléosol s'est ensuite formé sur des colluvions holocènes et a constitué le niveau d'insertion des structures protohistoriques (fig. 3). Le plateau sommital de cette colline culmine 300 m plus haut que le site et bénéficie d'un point de vue remarquable, autant en direction du Plateau à l'ouest, que de la vallée de l'Aar vers le sud-est. Aucun site protohistorique n'y est connu, mais il fait peu de doutes qu'il s'agisse plus d'un hiatus dans la documentation que d'une absence effective de site, surtout si l'on considère la position stratégique de l'éminence.

Cette zone est connue archéologiquement depuis le début du XXe s. et la découverte en 1916 du dépôt de Wabern, soit 137 bracelets en alliage cuivreux datés du Bronze récent (Bz D1) [Paszthory, 1985 ; David-Elbiali, 2000, p. 446]. Depuis les années 1970, et plus particulièrement dès 2010, plusieurs interventions (sondages, fouilles petites et extensives) ont été menées sur les deux surfaces. Elles ont révélé des vestiges s'étalant du Mésolithique à l'époque moderne, dont une villa romaine et surtout l'habitat du Bronze moyen récent.

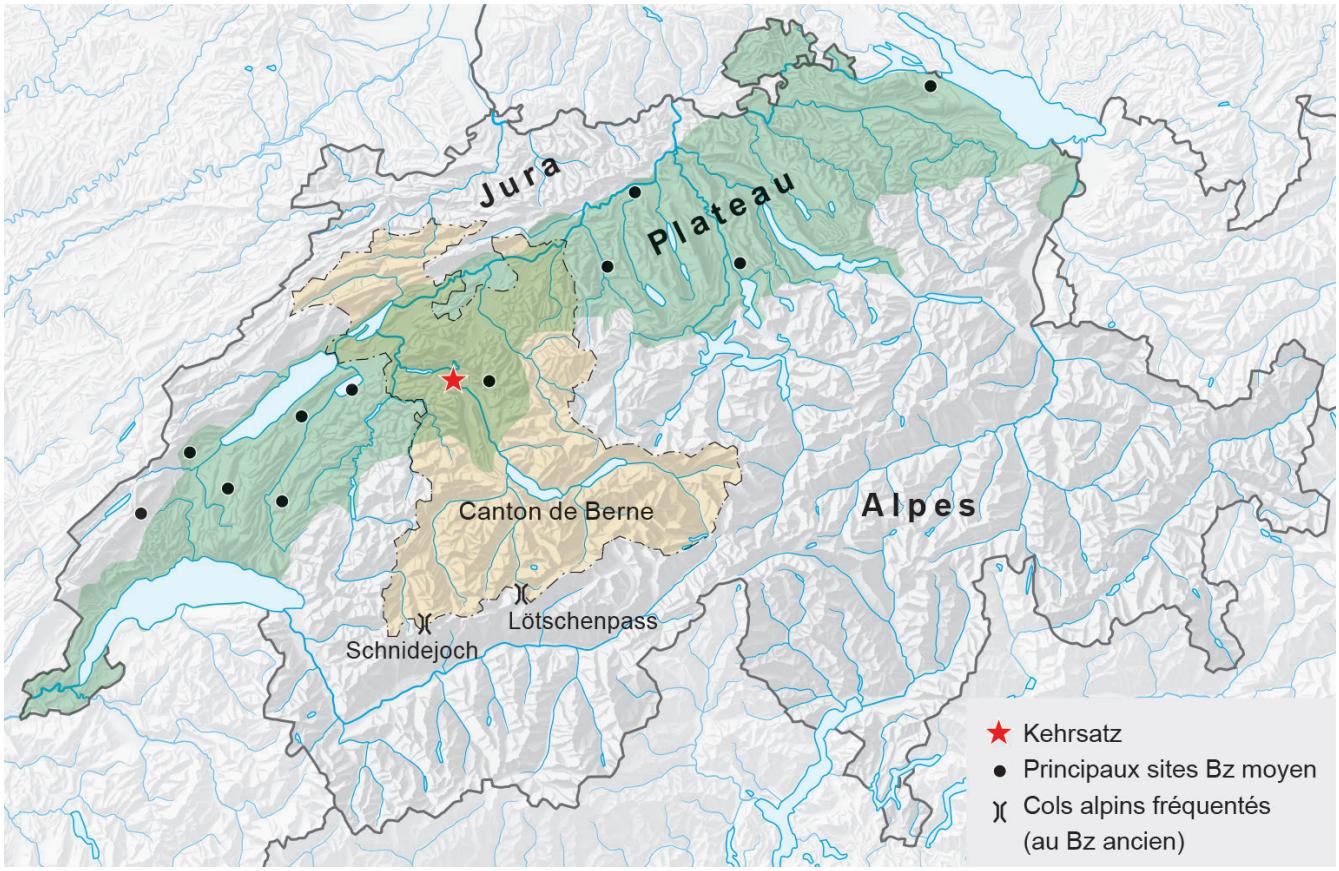


Figure 2 - Localisation du site sur le Plateau suisse avec les principaux sites du Bronze moyen. DAO E. Schranz.

Les deux interventions qui nous occupent ici, rendues nécessaires par des projets de constructions de grande surface, ont notamment révélé plusieurs occupations de la deuxième partie du Bronze ancien (Bz A2) à la fin du Bronze final (Ha B3). L'intégralité des données devrait être publiée dans le cadre d'une étude pluridisciplinaire focalisée sur les vestiges de l'âge du Bronze.

2. Vestiges de l'âge du Bronze

Plus de 900 structures ont été documentées, mais précisons que l'écrasante majorité de ces anomalies, des structures en creux pour la plupart, a été identifiée par les pierres constituant leur remplissage (ou leur calage pour les trous de poteau), la distinction sédimentaire étant très difficile, voire impossible au décapage machine. De manière générale, l'horizon archéologique ainsi que les vestiges présentent une très forte bioturbation, rendant leurs limites extrêmement diffuses, parfois non perceptibles. Il s'agit avant tout de trous de poteau (environ 600) à partir desquels 35 à 45 plans de bâtiments ont pu être restitués (données provisoires; fig. 4). Les constructions sont rectangulaires et de modules assez réguliers, alternant entre plans allongés (15 × 6 m max) et carrés, soit des fonctions respectives d'habitation et de stockage. Cependant, cette identification se fait avant tout d'après les



Figure 3 - Coupe représentative de la stratigraphie du site, avec restitution partielle des différents niveaux : humus (1), scellements (2), horizon Bz (3), colluvions/paléosol (4), séd. d'inondations (5), trou de poteau (6). Photo M. Maire, DAO Y. Mamin.

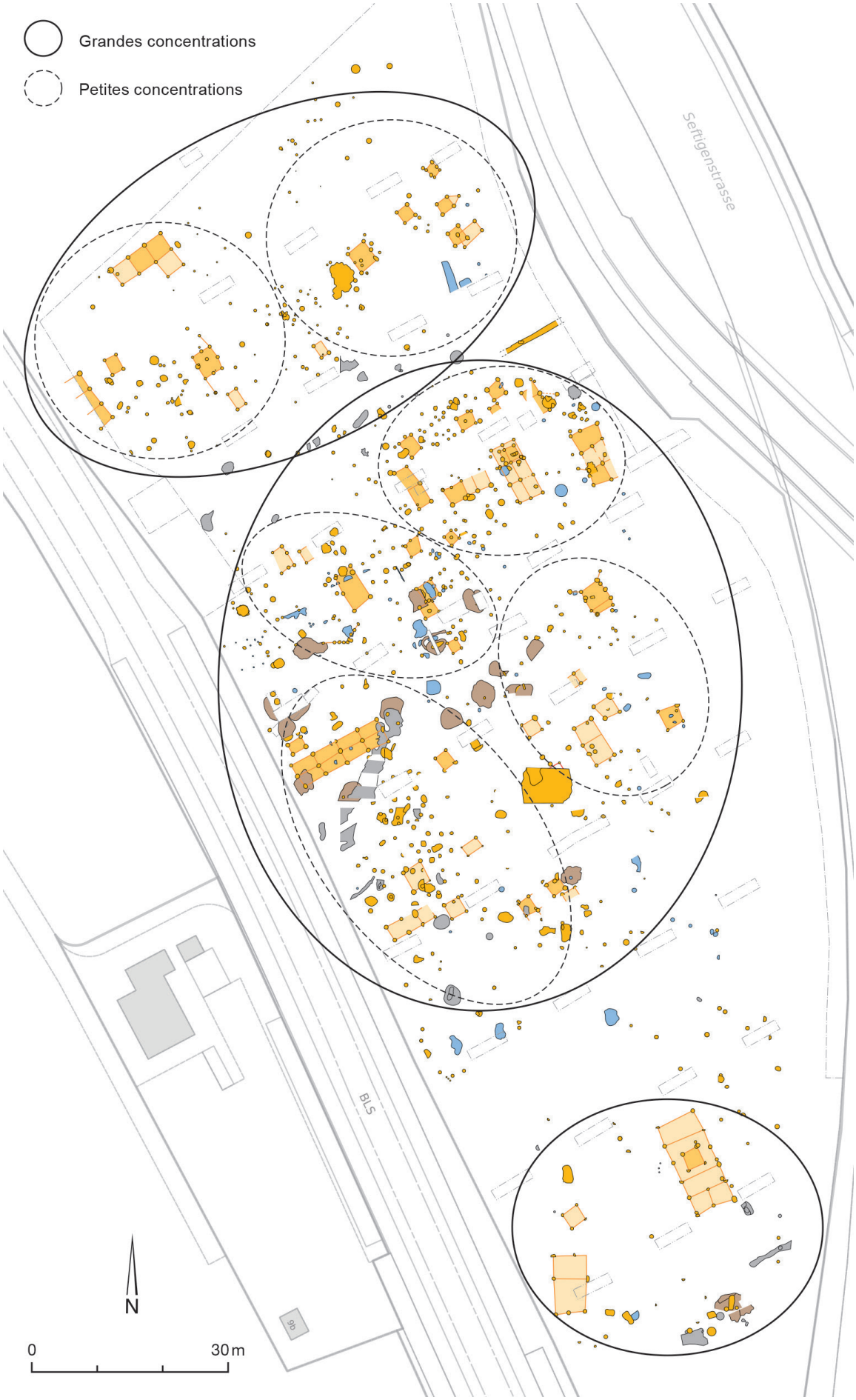


Figure 4 - Plan du site de Kehrsatz, Breitenacher, avec les deux types de concentrations de structures mises en évidence, sans considération chronologique (3 grandes et 7 plus réduites). DAO E. Schranz.

parallèles connus et en l'état, aucune donnée de fouille (aménagements particuliers, mobilier spécialisé) ne permettant ici de confirmer cette distinction usuelle. Les plans sont dans tous les cas alignés sur une trame nord-ouest/sud-est vraisemblablement définie d'après la faible pente sud-ouest/nord-est issue de la colline du Gurten. Le reste des vestiges consiste en des structures en creux de nature et de fonctions variées (foyers, stockage, extraction, etc.), mais dont plusieurs ont révélé un remplissage quasi exclusif de pierres thermofractées. Deux zones pourraient avoir eu des fonctions artisanales pour l'une et cultuelles pour l'autre (Mamin, 2019). Toutes les structures sont implantées dans un horizon protohistorique constitué au sommet du paléosol mentionné plus haut. Elles s'en distinguent par une présence variable de pierres, dont un bon nombre rubéfiées et/ou thermofractées, ainsi que par de la céramique. Aucun niveau de circulation n'a pu être défini, les bioturbations et l'activité agricole en ayant certainement oblitéré toute trace.

La stratigraphie du site ne permet de définir pour l'âge du Bronze qu'une occupation par zone, car les chevauchements de structures sont quasiment inexistants, ce qui implique *a priori* une/des phase(s) d'occupation(s) relativement brève(s). Les premières données céramiques, avant inventaire systématique, issues de l'observation des caractères typochronologiques déterminants, sont assez homogènes et livrent une fourchette chronologique Bz B-Bz D2, ce qui correspond aux occurrences les plus nombreuses des analyses par radiocarbone issues de l'âge du Bronze (voir *infra*). Ces dernières livrent pourtant un éventail plus large allant de la seconde partie du Bronze ancien (Bz A2) à la fin du Bronze final (Ha B3), fourchette basée sur la chronologie de référence de M. David-Elbiali (2000), complétée par M. David-Elbiali et W. David (2017).

Si la fouille extensive de la zone a été limitée jusqu'à présent aux 21 500 m² mentionnés plus haut, des sondages diagnostiques réalisés sur la partie nord de la terrasse suggèrent une extension du site pouvant atteindre 10 ha (fig. 1). Une première analyse spatiale de l'occupation, sans considération chronologique et fondée sur la coexistence dans une même zone de plusieurs bâtiments réunissant les modules habitat et stockage, permet d'identifier, sur la surface principale (Kehrsatz), trois grands ensembles de constructions, voire sept concentrations plus restreintes (fig. 4). La concentration centrale, la plus vaste et la plus dense, recoupe plus ou moins l'emprise d'un delta de dépôts d'alluvions plus anciens, charriés par un ruisseau provenant du Gurten (fig. 1). Ce delta fossile, grâce à sa légère surélévation, devait offrir de meilleures conditions d'établissement (moins d'humidité) ainsi qu'un approvisionnement en eau privilégié avec ledit ruisseau, certainement aménagé pour éviter les débordements. Dans la surface nord (Köniz), trois groupes de structures peuvent être définis, mais difficilement interprétables en raison de l'exiguïté de la surface (17 m de largeur maximum), mais aussi de l'érosion des niveaux, due aux aménagements ferroviaires voire à l'activité agricole millénaire et qui ont pu faire disparaître une partie des vestiges; la compréhension de la géologie de cette zone aura donc toute son importance pour l'interprétation des données spatiales : si un fort arasement devait être confirmé, ces dernières seront plus difficiles à élaborer.

3. Quelle(s) occupation(s) pour quelle chronologie?

Bien que toute la surface connaisse une ou plusieurs occupations à l'âge du Bronze, la densité variable des structures, localement très faible, ne peut s'expliquer uniquement par des phénomènes – localisés – d'érosion/terrassements. Il est en effet connu que l'organisation des sites terrestres se distingue nettement des sites en milieux humides, notamment par une organisation beaucoup plus dispersée. La compréhension du développement de ce site est donc un des enjeux principaux de l'étude.

Avons-nous à faire à un habitat unique (village?) ayant perduré pendant plus de six, voire neuf siècles? S'agit-il d'un village, d'un hameau ou d'une série d'habitats isolés ou simplement de groupes de maisons progressivement déplacés au cours des siècles et au gré de l'épuisement des sols et de la détérioration des bâtiments?

La mauvaise conservation des vestiges, qui ne permet pas une lecture stratigraphique du site, l'absence de restes ligneux aptes à fournir des données dendrochronologiques – si abondantes en milieu lacustre – ainsi qu'un mobilier métallique qui n'a pas livré de fossile directeur, n'ont pas fourni de données suffisantes pour établir le développement chrono-spatial du site. En revanche, le recours soutenu aux datations radiocarbones, pendant la fouille déjà, a permis d'obtenir des données chronologiques brutes plus pertinentes et qui, par leur nombre, ont pu esquisser des tendances qu'il s'agit d'interpréter.

Le présent exercice vise donc à analyser la répartition chrono-spatiale des données radiocarbones et à en dégager certaines observations, voire tendances. À partir de ces dernières, nous verrons si quelques hypothèses et interprétations peuvent être formulées et si elles peuvent servir de base à la compréhension du développement du site. Il s'agit dans un premier temps de caractériser la couverture de l'occupation à l'âge du Bronze, puis de proposer une analyse chrono-fonctionnelle des vestiges. Cette démarche, basée sur des données bayésiennes, a été réalisée en étant conscients des limites de l'exercice et de la prudence nécessaire à l'interprétation des résultats (nous y reviendrons).

4. Corpus, méthodologie et limites

189 échantillons de charbon de bois ont été analysés, dont 138 (73 %) ont pu être datés (51 n'ont pu être exploités, par

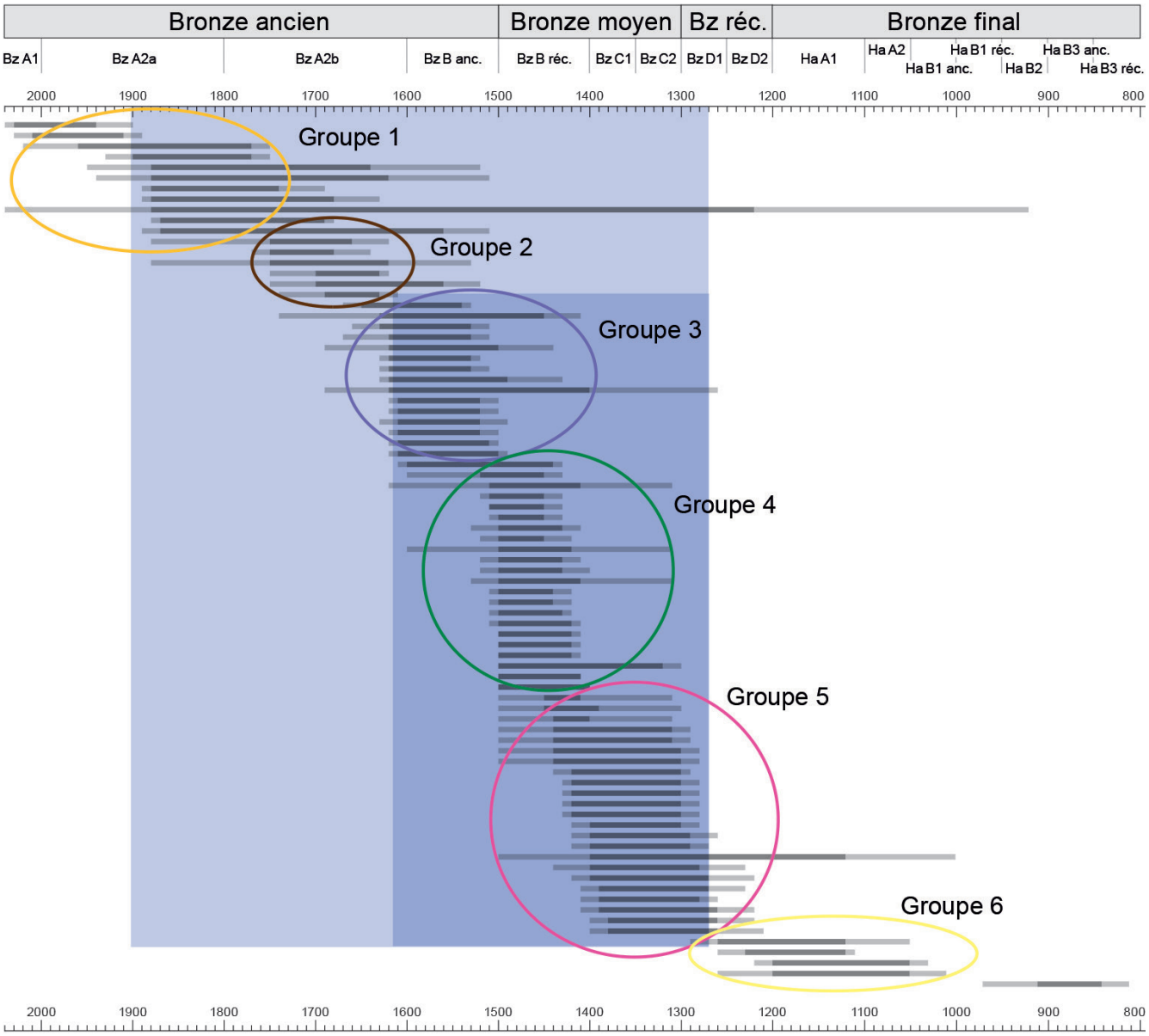


Figure 5 - Tableau diachronique des 82 échantillons datés de l'âge du Bronze et classés d'après leur calibration à 1 sigma (68,2 %). DAO Y. Mamin, E. Schranz.

manque de matériel organique). Leur sélection visait à couvrir l'intégralité de la surface fouillée. De même, un équilibre a été trouvé entre la nécessité de dater les bâtiments restitués et des aménagements comme des structures en creux plus complexes et comprenant parfois un mobilier céramique abondant. Parmi les 138 prélèvements ayant livré une datation :

– 82 (59 %) ont été datés du Bz A2 à la fin du Ha B3. Parmi ceux-ci, 40 échantillons (49 %) sont issus de trous de poteaux, 34 (41 %) de structures en creux non architecturales et 8 (10 %) de l'horizon archéologique de l'âge du Bronze ;

– 56 (41 %) appartiennent à des structures et/ou occupations d'autres périodes, du Mésolithique au Moyen Âge en passant par le Néolithique et l'époque romaine, indice de « l'attrait » de cette zone à presque toutes les époques.

Plusieurs limites liées au contexte archéologique sont à relever : distinctions stratigraphiques peu claires, bioturbations importantes et dimension millimétrique des échantillons de charbon de bois. Précisons également qu'aucune analyse anthracologique n'a pu être faite sur nos échantillons en raison de leur taille et il ne nous a donc pas été possible de déterminer s'ils proviennent d'une branche ou d'un tronc, de l'aubier ou du duramen. Aucune datation par radiocarbone n'a été réalisée sur des macrorestes, les prélèvements botaniques n'ayant pas été tamisés à cette heure. Cette étape sera pourtant fondamentale lors de l'élaboration de la publication finale du site, car une analyse sur macrorestes fournit une datation bien plus fidèle du moment de fonctionnement de la structure, puisque l'intervalle chronologique entre la récolte du végétal (soit l'arrêt de l'assimilation du C14) et sa combustion, est plus faible. Et comme mentionné plus haut, l'absence de distinction sédimentaire des trous de poteau ne nous a pas permis de distinguer le sédiment de calage du comblement après retrait ou décomposition du poteau. Ces données sont donc autant de facteurs d'incertitude et de variabilité dont il faut tenir compte dans l'inter-

prétation des tendances issues des datations. C'est aussi pour cette raison qu'il est nécessaire de multiplier le nombre d'analyses C14 afin de proposer des tendances exploitables.

5. Données brutes

Les 82 datations radiocarbones de l'âge du Bronze ont été intégrées dans un tableau diachronique sans considération spatiale (fig. 5). Afin d'obtenir des données plus exploitables et plus lisibles, elles ont été classées et accentuées selon leur calibration à 1 sigma (68,2 % de probabilité). Six concentrations plus homogènes ont pu être mises en évidence. Parmi celles-ci, les groups 3, 4 et 5 représentent à eux seuls près des trois quarts des échantillons (73 %). Leurs datations respectives présentent des intervalles assez homogènes et relativement réduits (surtout le groupe 4), voire presque identiques pour plusieurs échantillons ; ces trois groupes se distinguent en outre bien les uns des autres et pourraient suggérer une ou plusieurs fréquentation(s) plus forte(s) entre la fin du Bronze ancien (Bz B ancien) et le début du Bronze récent (Bz D1). À partir de ces premières observations se posent les questions suivantes : est-ce que les datations des groupes 3, 4 et 5 se répartissent de manière homogène sur toute la surface fouillée, soit sur plus de 800 m de longueur, ou existe-t-il au contraire des zones marquées par l'absence de datations, donc d'occupation ? Et si oui, pourrait-on en tirer un premier modèle d'occupation du site ?

6. Approche chrono-spatiale

D'une manière générale, des datations appartenant aux six groupes définis se retrouvent – en quantité variable – sur les deux surfaces fouillées (fig. 6). Cela signifie probablement une occupation régulière – voire continue à certaines périodes – de cette terrasse durant la fourchette chronologique définie par les prélèvements, soit plus de neuf siècles. Cette occupation est par ailleurs nettement accentuée au Bronze moyen-récent (groupes 3 et 5). Elle devrait être confirmée, à plus large échelle, par les sondages diagnostiques pratiqués sur l'intégralité de la surface nord (fig. 1) et dont plusieurs ont livré des vestiges et/ou du mobilier de l'âge du Bronze.

Pour la fin du Bronze ancien, les données radiocarbones des groupes 1 et 2 indiquent une occupation dans la zone principale (fig. 6.2) et une autre à l'extrémité nord de la surface septentrionale (fig. 6.1), soit un intervalle d'environ 500 m n'ayant fourni aucune donnée radiocarbone issue de ces groupes. Ce hiatus peut s'expliquer de deux manières : soit l'érosion et la configuration de la surface nord ont induit un manque de vestiges et/ou en ont fait disparaître, soit il s'agit, à cette période, d'une occupation plus réduite et disséminée, de deux habitats relativement contemporains, mais distincts. Le nombre et le faible décalage des datations de ces groupes avec celles du groupe 3 nous permettent donc de supposer la régularité (voire continuité ?) de l'occupation entre Bronze ancien et Bronze moyen. Ces données sont importantes au niveau régional, voire pour le Plateau suisse, car elles établissent la cohabitation au cours du temps d'un site terrestre avec certains établissements en milieu humide de la fin du Bronze ancien (entre les XVIIe et XVIe s. av. J.-C.), mais aussi une régularité/continuité d'occupation d'un site entre les deux périodes, phénomène *a priori* peu étonnant, mais encore peu attesté dans nos régions. La réflexion sur la transition entre Bronze ancien et Bronze moyen se base en effet avant tout sur « l'effondrement du tissu d'habitats du Bronze ancien » (David-Elbiali *et al.*, 2017, p. 581). Ce site pourrait ainsi constituer, si la continuité d'un même groupe d'individus devait être attestée entre ces deux périodes, un référentiel chrono-culturel intéressant. Cette hypothèse avait déjà été proposée pour le site de Prez-vers-Siviriez, mais dans une moindre mesure, le corpus de datations étant plus réduit (Baudais et Piuz, 2003, p. 264). D'autres sites fouillés sur le tracé de l'autoroute A1 (canton de Fribourg) ont aussi révélé des résonnances du Bronze ancien sans qu'un lien de continuité puisse être établi (Boisaubert *et al.*, 2008, p. 143 et 293).

Dans la surface nord, les structures des groupes 3 à 5 se concentrent sur deux zones distantes de 250 m entre elles et de 480 m avec les structures de la zone principale. Cette observation, bien que fragile en raison de la conservation variable des niveaux dans cette zone (voir *supra*), suggère une occupation rythmée, sur toute la longueur du site, avec des habitats de taille variable, mais qui, s'ils étaient contemporains, devaient assurément entretenir des liens réciproques. L'exploration exhaustive de la zone nord compléterait certainement le modèle et pourrait bien réduire ces espacements si l'on considère la densité de vestiges de même époque sur la surface principale. Cela pourrait impliquer alors la présence de parcellisation(s) du territoire, comme cela a par exemple été proposé dans l'Ouest de la France, sur le littoral normand notamment (Carozza et Marcigny, 2007, p. 51), mais aussi une certaine organisation à l'échelle locale et dépassant le modèle d'habitats isolés et uniques, souvent présentés pour cette période, comme à Bevaix, Le Bataillard (Leducq *et al.*, 2008).

Si l'on se concentre maintenant sur la surface principale, où le nombre et la répartition des vestiges sont les plus propices à une analyse plus poussée, on constate que les datations disponibles pour les groupes 1, 3 et 4 proviennent essentiellement de trous de poteau, alors que celles du groupe 5 proviennent majoritairement de structures liées à l'occupation du site (fosses, empierrements ou foyers ; fig. 6-7). Ces deux catégories s'excluent même spatialement

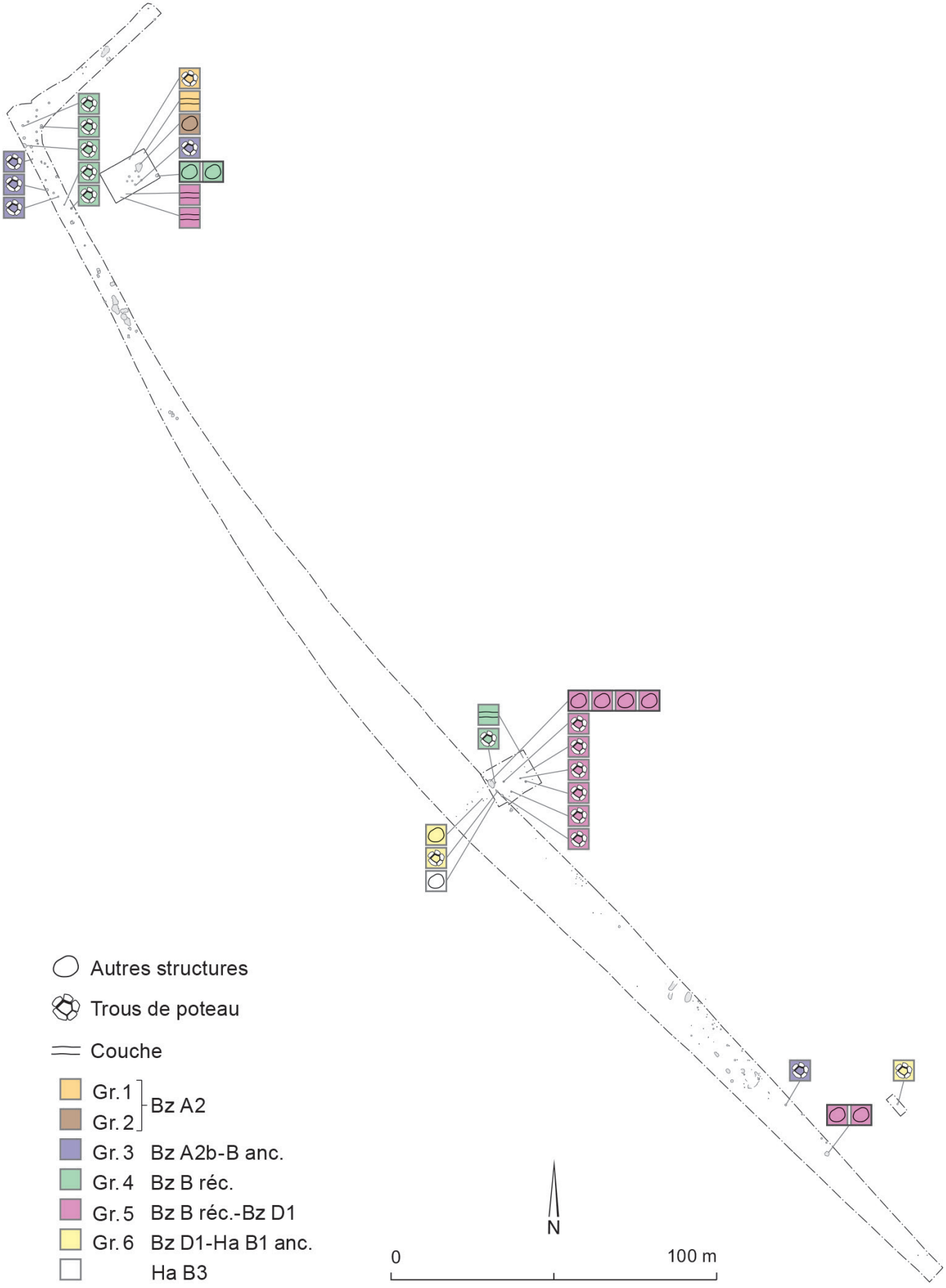
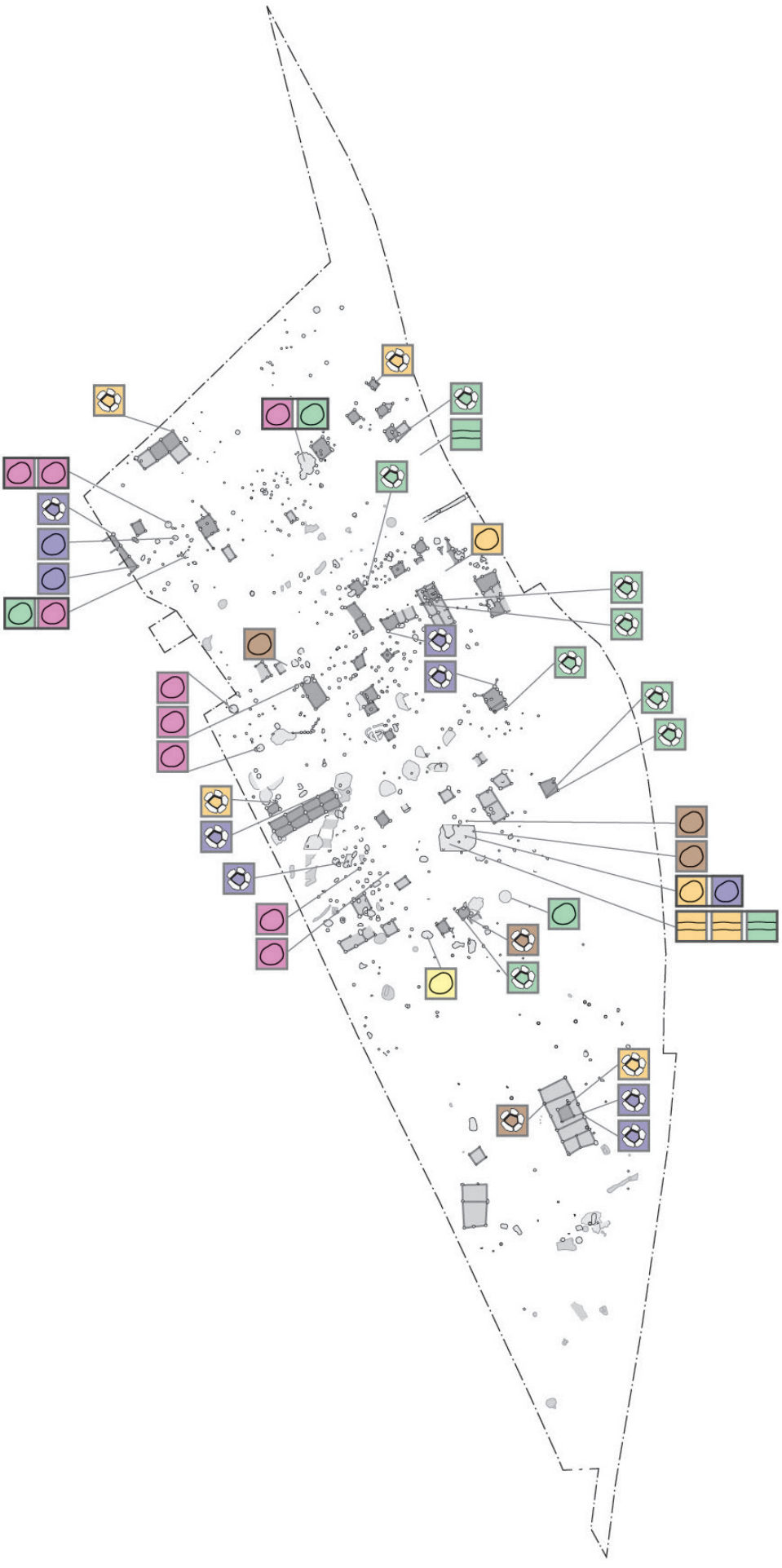


Figure 6 - Plan des deux surfaces fouillées, avec localisation des datations radiocarbones, caractérisées d'après leur appartenance respective aux groupes de datation (couleur) et d'après leur désignation archéologique (symbole). DAO L. Prétôt, E. Schranz.



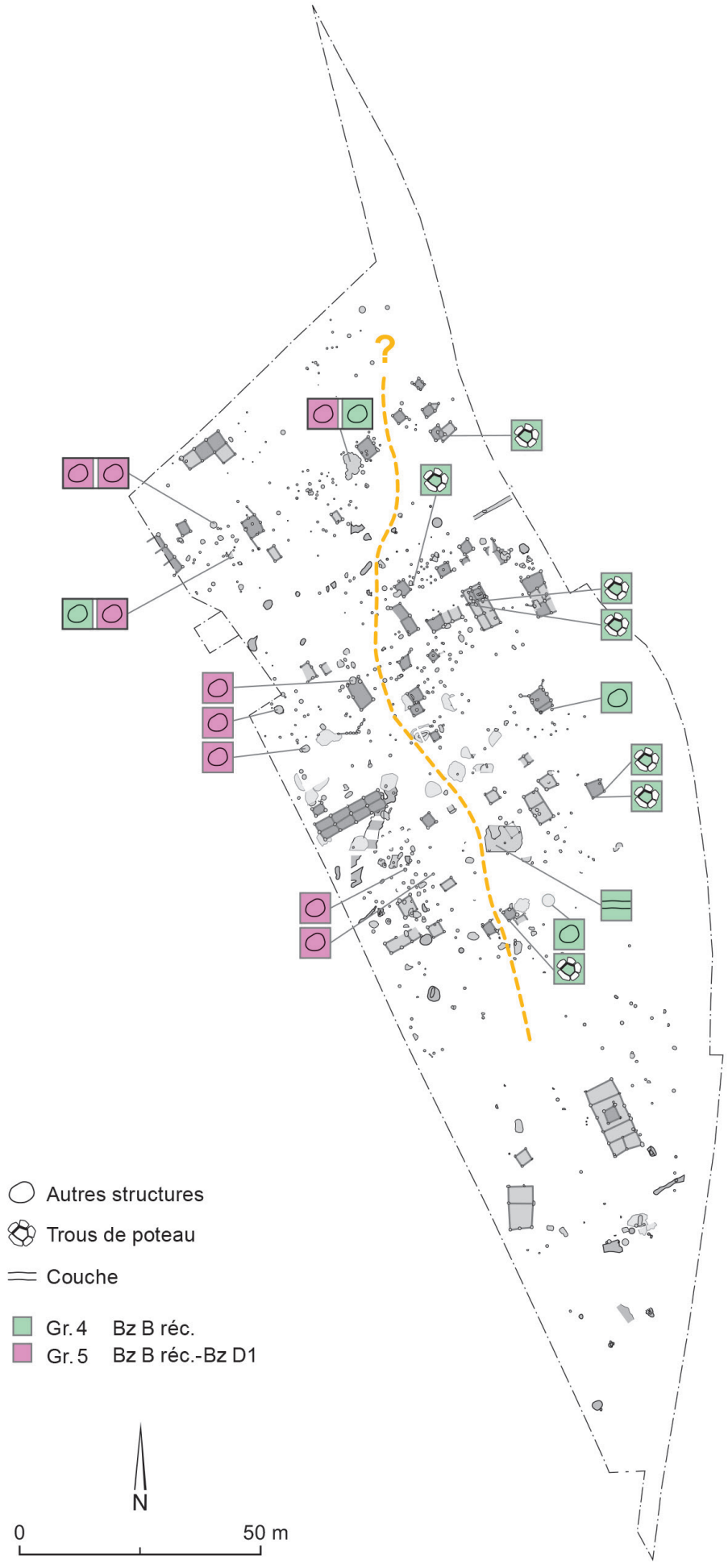


Figure 7 - Répartition spatiale des datations des groupes 4 et 5 sur la surface principale (Kehrsatz). DAO L. Prétôt, E. Schranz.

si on considère leur appartenance respective aux groupes 4 et 5 (fig.7) : toutes les datations du groupe 4 sont issues de trous de poteau et sont situées dans la partie est de la surface alors que celles des autres structures se rapportent au groupe 5 et se limitent à la zone ouest. Plusieurs hypothèses émergent de ce constat :

- il existe, au Bronze moyen, une première occupation comprenant des bâtiments sur poteaux (groupe 4 voire 3) dont il manquerait les structures d'occupation (fosses, foyers et autres), oblitérées ou situées ailleurs, par exemple plus à l'est. Cette première phase serait suivie par une seconde période d'occupation (groupe 5), représentée là uniquement par d'autres types de structures (fosses, foyers et empierrements), sans édifices. Les structures architecturales seraient ici absentes où situées en dehors de la surface fouillée (à l'ouest?) ;
- les vestiges des groupes 4 (voire 3) et 5 fonctionnent ensemble et les trous de poteau « manquants » au groupe 5 sont en réalité ceux du groupe 4. Comment alors expliquer ce décalage chronologique – remarquablement constant et homogène entre ces deux catégories de vestiges? Par exemple, par la « pollution » du sédiment de calage des trous de poteau (groupe 4, voire 3) par du matériel plus ancien et contenant des charbons de bois de phases d'occupations antérieures. Cela traduirait donc le fait que les trous de poteau reflètent une fourchette chronologique plus ancienne que les structures d'occupation. Si l'on considère en revanche que les charbons prélevés sont issus du bois des poteaux mêmes, l'écart chronologique se justifierait par le recours à du bois coupé avant celui utilisé dans les structures de la phase d'occupation et à des modules bien plus importants (par exemple des troncs; le charbon proviendrait ainsi du duramen, partie n'assimilant plus de ^{14}C) ; les datations seraient donc plus anciennes pour ces poteaux que pour du bois utilisé par exemple dans un foyer qui, d'un point de vue pragmatique, serait avant tout constitué de branches et de brindilles.

À ce titre, et au vu de la remarquable homogénéité des calibrations des groupes 3 et 4, parfois même au sein d'un même bâtiment, on peut également se poser la question du recours au feu de la partie du poteau fichée en terre comme traitement préventif contre le pourrissement et les attaques d'insectes, surtout dans un terrain peu drainant et encore régulièrement gorgé d'eau jusque dans la seconde moitié du XXe s. (communication orale de l'agriculteur exploitant la parcelle).

Quoi qu'il en soit, si la deuxième hypothèse se vérifiait, nous pourrions alors suggérer, pour les deux tiers nord de la surface principale, une zone d'habitat à l'est et une zone davantage liée à des activités artisanales-domestiques à l'ouest, tout en gardant à l'esprit que l'extension totale de l'occupation n'est pas connue.

À défaut de démonstrations absolues, ces premières tendances nous permettent donc de postuler une occupation régulière (voire continue) sur cette terrasse dès le Bz A2, occupation qui se fait plus forte à partir du Bz B ancien et jusqu'au Bz D2. En outre, si l'on considère que le charbon de bois date non pas la structure dont il est issu mais le moment où le bois cesse d'accumuler cet isotope, il nous serait possible de rajeunir ce seuil supérieur. Quant à l'occupation du Bronze moyen, elle correspond, dans la zone principale, à un regroupement particulier de l'habitat sur le cône alluvial anciennement constitué par le ruisseau descendant du Gurten.

7. Synthèse

Les 82 datations radiocarbones relatives à l'âge du Bronze ont permis de proposer des premières tendances dans l'évolution chrono-spatiale du site de Kehrsatz, Breitenacher et de Köniz, Chlywabere. C'est donc le signe que ce matériau, si les prélèvements sont assez nombreux – et les moyens financiers suffisants! – peut avoir une grande utilité en tant que facteur de chronologie absolue mais aussi relative, au même titre que les données issues des différents types de mobilier.

On observe dans cette zone une occupation régulière (voire continue par périodes?) sur plus de neuf siècles, plus ou moins dense et variablement répartie spatialement. Elle peut être postulée sur plus de 21 500 m^2 au moins, voire plus si l'on tient compte des données des sondages. Les premiers examens du mobilier céramique, centré sur la fourchette Bz B-Bz D, n'ont pour l'heure pas permis de confirmer cet intervalle. L'occupation simultanée de plusieurs zones de cette terrasse – à la toute fin du Bronze ancien et au Bronze moyen surtout – poserait également la question de la présence d'un parcellaire. À l'inverse, on ne peut exclure la mise en commun, voire l'exploitation commune d'une partie des espaces intermédiaires entre les zones d'habitat. En l'état, une seule structure – un empierrement oblong non daté, mais correspondant de fait à une interruption spatiale de l'occupation – pourrait être interprétée comme structure limitante.

Une densification de l'occupation, sensible à partir du Bz B ancien, perdure jusqu'au Bz D, ce qui est confirmé par les premières impressions issues du corpus céramique. S'il est pour l'heure difficile – même certainement impossible! – de reconstituer finement le développement et/ou l'évolution du site sur le modèle des établissements palaffitiques, l'analyse des groupes de datations 3 à 5 propose une tendance de répartition spatiale duale (habitat-activités connexes) particulièrement intéressante et qu'il s'agira de vérifier lors de l'élaboration exhaustive des données. En l'état, nous observons que l'homogénéité statistique de certains groupes de calibrations permet d'affiner certaines tendances. Par exemple, s'il est confirmé que les trous de poteau des groupes 3 et 4 sont datés par radiocarbone de 50 à 100 ans avant les structures

non-architecturales du groupe 5, mais que le mobilier céramique ne permet pas de les distinguer chronologiquement, cela pourrait confirmer l'antériorité des charbons présents dans les trous de poteau par rapport aux autres structures.
Pour autant, il est malheureusement trop tôt pour proposer un modèle fin et uniforme de l'occupation de cette terrasse et ce d'autant plus que la différence du nombre de datations entre les groupes définis ouvre la réflexion d'une évolution possible du modèle d'habitat au cours de la période. D'établissements plus ou moins isolés au Bz A2, on se dirigerait vers un établissement groupé (hameau, voire petit village ?) sur la surface principale au Bronze moyen, ce modèle d'habitat n'excluant pas, à son tour, des habitats réduits et périphériques.

8. Conclusion et perspectives

L'exercice proposé ici ne tient finalement pas tant à l'usage de données ^{14}C dans une optique de chronologie absolue qu'à leur exploitation en tant que facteur de chronologie relative (dynamique d'évolution d'un site terrestre) sur un habitat qui pourrait s'étaler sur une dizaine d'hectares. S'il faut garder la plus grande prudence par rapport aux incertitudes inhérentes aux analyses ^{14}C calibrées à 1 sigma (68,2 % de probabilité), il faut aussi noter qu'un tel résultat est pour l'heure difficile à atteindre avec les données chronotypologiques et chronoculturelles fournies par la céramique. Rappelons que les référentiels dendrochronologiques permettant d'ancrer les analyses chronotypologiques de la céramique manquent dans nos régions pour cette période, malgré un répertoire morphotypologique varié.
Les analyses radiocarbones peuvent se révéler extrêmement précieuses pour l'insertion historique d'un site, notamment au Bronze moyen où la courbe de calibration est assez, voire très bonne. Ce serait aussi le cas sur des sites où le contexte précis du prélèvement du charbon de bois, essentiel notamment pour les trous de poteau (possibilité de distinguer entre sédiment encaissant, comblement après retrait/dégradation du poteau, voire poteau lui-même) peut être établi et la conservation des charbons suffisamment importante pour permettre une analyse anthracologique. Cependant, cela ne fera pas sens dans notre cas à moins d'intégrer et de corréler les données radiocarbones à d'autres types de données (stratigraphiques, céramologiques, mobilier métallique), ainsi qu'à l'usage ciblé, mais soutenu, prévu pour la publication, à de nouvelles analyses radiocarbones, notamment sur macrorestes. Le recours à des outils de modélisation chronologiques tels que ChronoModel (voir contribution de Ph. Lanos et Ph. Dufresnes au présent ouvrage), devraient également contribuer à l'élaboration de modèles statistiquement exploitables et permettre, *in fine* de tenir un discours historique sur les habitats protohistoriques. Enfin, les projets de constructions envisagés sur la partie non fouillée – mais déjà sondée – de la surface nord devraient eux aussi contribuer à confronter les premières tendances par une fouille orientée sur ces problématiques.
Notons que la contemporanéité partielle de ce site avec les sites lacustres de la fin du Bronze ancien, si elle est confirmée, pose la question de la coexistence de deux types d'établissements, terrestres et lacustres, contemporains mais qui diffèrent par leur organisation, voire par la durée d'occupation. De même, la régularité (voire continuité ?) supposée de l'occupation de cette terrasse du Bronze ancien au Bronze récent, est intéressante par rapport aux occupations généralement plus limitées dans le temps des bords des lacs et zones humides. La question sera donc de savoir si cette opposition est fonctionnelle, culturelle ou les deux, tout en étant conscients que l'état de conservation des vestiges ne permettra jamais d'atteindre la précision des modèles obtenus pour les sites lacustres (David-Elbiali *et al.*, 2017, p. 581).
Quoi qu'il en soit, ce cas d'étude souligne une nouvelle fois la difficulté d'interpréter des sites terrestres et leur développement chrono-spatial. C'est d'autant plus vrai que les structures sociales à l'âge du Bronze restent mal connues dans nos régions et qu'elles ont certainement influencé les différents types d'habitats qui existaient alors.



Yann Mamin

Collaborateur scientifique
Service archéologique du canton de Berne (Suisse)
yann.mamin@be.ch

Laure Prétôt

Collaboratrice scientifique
Service archéologique du canton de Berne (Suisse)
laure.prétôt@be.ch

Bibliographie

Baudais D. et Piuz V., 2003, *Prez-vers-Siviriez, « La Montaneire ». Un habitat de l'âge du Bronze dans la Glâne*, Fribourg, Service archéologique de l'État de Fribourg, Archéologie fribourgeoise, 18.

Boisaubert J.-L., Bugnon D., Mauvilly M. (dir.), 2008, *Archéologie A1, destins croisés, 25 années de fouilles en terres fribourgeoises, premier bilan (1975-2000)*, Fribourg, Service archéologique de l'État de Fribourg, Archéologie fribourgeoise, 22.

Carozza L. et Marcigny C. (dir.), 2007, « Les travaux et les jours : la lente transformation des sociétés paysannes de l'âge du Bronze », dans Demoule J.-P. (dir.), *L'archéologie préventive dans le monde. Apports de l'archéologie préventive à la connaissance du passé*, Paris, La Découverte, p. 42-56.

David-Elbiali M., 2000, *La Suisse occidentale au IIe millénaire av. J.-C. Chronologie, culture, intégration européenne*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande, 80.

David-Elbiali M., David W., de Marinis R.-C. et Rapi M., 2017, « Le Bronze moyen et récent en Italie du Nord, Allemagne du Sud et Suisse et corrélation des systèmes chronoculturels », dans Lachenal T *et al.*, *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale (XVIIe-XIIIe s. av. J.-C.). Actes du colloque APRAB « Bronze 2014 » (Strasbourg, 17-20 juin 2014)*, Strasbourg, Monographies d'Archéologie du Grand Est, 1, p. 565-600.

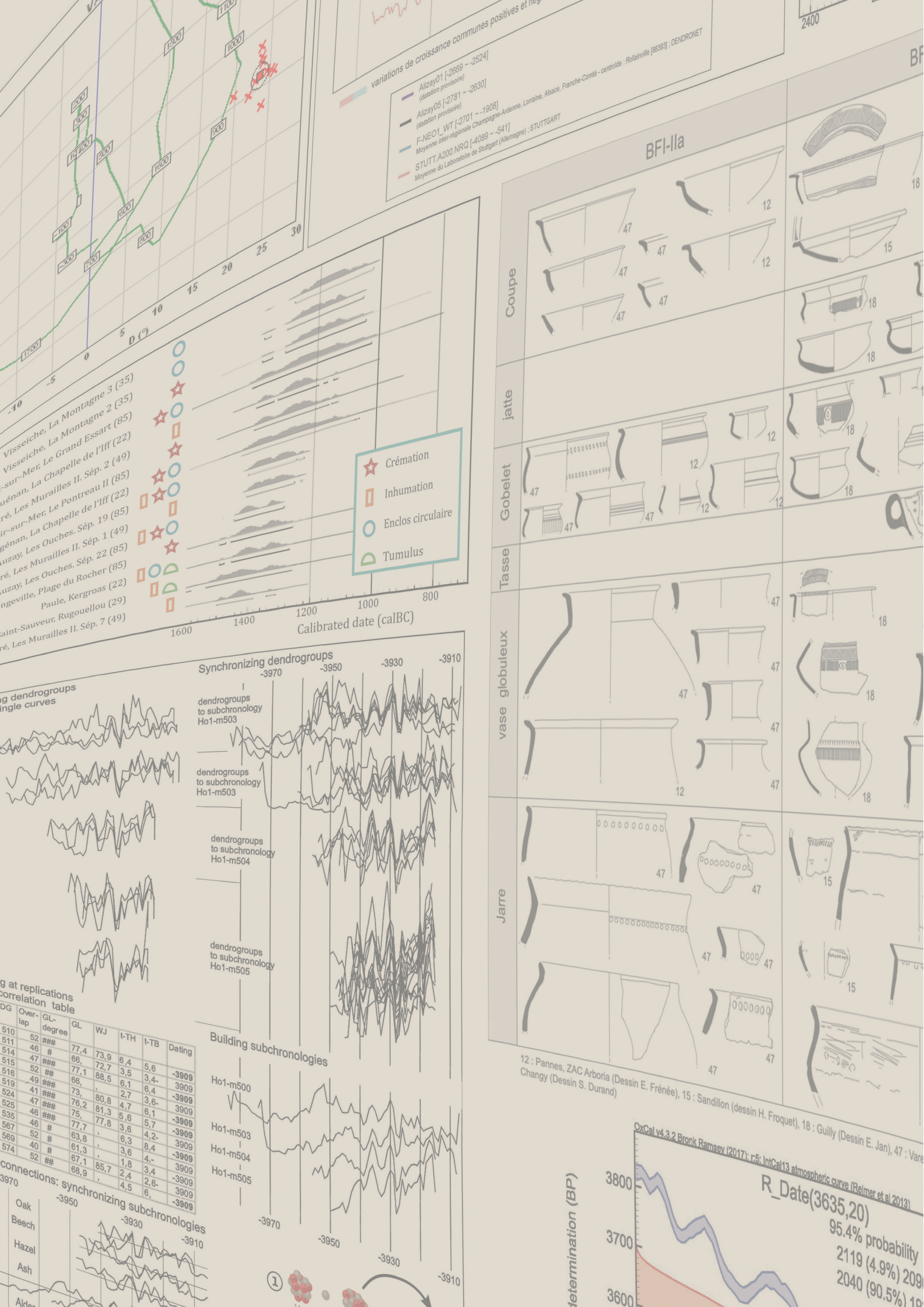
Leducq A., Rordorf Duvaux M. et Tréhoux A., 2008, *Plateau de Bevaix 3. Bevaix/Le Bataillard : occupations terrestres en bordure de marais*, Neuchâtel, Archéologie neuchâteloise, 41.

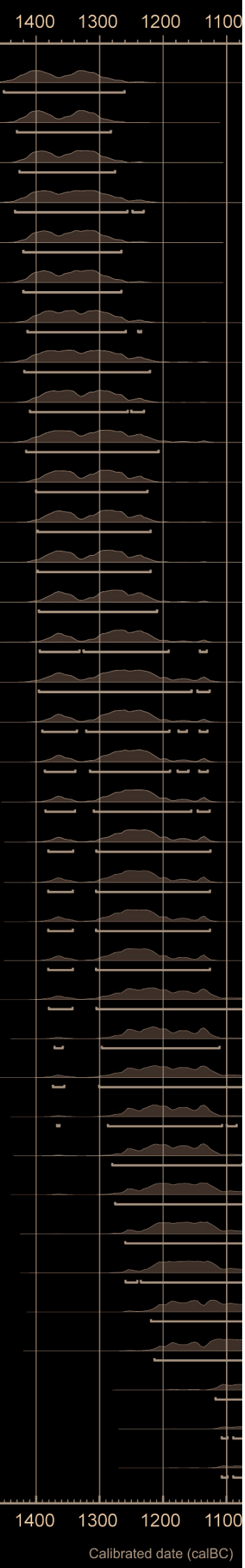
Mamin Y. et Gubler R., 2017, « Kehrsatz, Breitenacher. Eine mittelbronzezeitliche Siedlung am Fuss des Gurtens », *Archéologie bernoise*, p. 70-75.

Mamin Y, 2019, « Kehrsatz, Breitenacher. Ein einzigartiges Keramikdepot in vier kleinen Gruben », *Archéologie bernoise*, p. 81-85.

Paszthory K., 1985, *Der bronzezeitliche Arm-und Beinschmuk in der Schweiz*, Münich, Prähistorische Bronzefunde, 3.

Prétôt L., 2019, « Köniz, Chlywabere. Neue Einblicke in die bronzezeitliche Siedlung und den römischen Gutshof », *Archéologie bernoise*, p. 86-87.


variations de croissance communes positives et négatives
Alizay01 [-2669 ~ -2524]
(datation provisoire)
Alizay05 [-2781 ~ -2630]
(datation provisoire)
F-NEO1_WT [-2701 ~ -1908]
Moyenne inter-régionale Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté - centroïde : Rollainville [88393] ; DENDRONET
STUTT.A200.NRQ [-4089 ~ -541]
Moyenne du Laboratoire de Stuttgart (Allemagne) ; STUTTGART
2400
BFI-IIa
Coupe
jatte
Gobelet
Tasse
vase globuleux
Jarre
12 : Pannes, ZAC Arboria (Dessin E. Frénée), 15 : Sandillon (dessin H. Froquet), 18 : Guilly (Dessin E. Jan), 47 : Vare
Changy (Dessin S. Durand)
Visseiche, La Montagne 3 (35)
Visseiche, La Montagne 2 (35)
-sur-Mer, Le Grand Essart (85)
uénan, La Chapelle de l'Iff (22)
ré, Les Murailles II. Sép. 2 (49)
ir-sur-Mer, Le Pontreau II (85)
géna, La Chapelle de l'Iff (22)
uzay, Les Ouches. Sép. 19 (85)
ré, Les Murailles II. Sép. 1 (49)
uzay, Les Ouches. Sép. 22 (85)
ngeville, Plage du Rocher (85)
Paule, Kergroas (22)
aint-Sauveur, Rugouellou (29)
ré, Les Murailles II. Sép. 7 (49)
Crémation
Inhumation
Enclos circulaire
Tumulus
Calibrated date (calBC)
Synchronizing dendrogroups
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m503
dendrogroups to subchronology Ho1-m504
dendrogroups to subchronology Ho1-m505
Building subchronologies
Ho1-m500
Ho1-m503
Ho1-m504
Ho1-m505
connections: synchronizing subchronologies
Oak
Beech
Hazel
Ash
OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)
R_Date(3635,20)
95.4% probability
2119 (4.9%) 209
2040 (90.5%) 19
determination (BP)



Dater des puits en bois
L'exemple du parc d'activités du Pays d'Erstein (Bas-Rhin, Alsace, France)

Christophe Croutsch, Estelle Rault et Willy Tegel

Résumé

La finesse d'approche qu'autorisent les datations dendrochronologiques permet d'aborder, à Erstein « Grasweg/PAPE », la question de la temporalité des occupations de l'âge du Bronze. Sur ce site, cinq puits avec cuvelages en bois conservés ont fait l'objet de datations dendrochronologiques et d'une étude de leurs modalités de construction. Le puits 218 est plus spécifiquement adapté à cette approche temporelle. Il a été possible d'en évaluer un temps d'exploitation minimal, d'observer différentes réhabilitations et d'apprécier la durée de la dernière phase d'utilisation. Les études menées sur d'autres puits d'Erstein viennent appuyer ces observations ; leur durée d'exploitation peut être comprise entre quelques décennies et plusieurs centaines d'années scandées de phases de réparations et d'entretiens ainsi que de phases d'abandons pouvant atteindre plusieurs siècles.

Ces structures pérennes, probablement utilisées sur plusieurs générations et pouvant être contemporaines, semblent être de véritables marqueurs dans le paysage et faire partie intégrante de l'entité domestique type de ce terroir du Centre-Alsace. Trois grands cycles de constructions et d'abandons des puits ont été mis en évidence. Le premier a lieu à la fin du Bronze ancien (de 1743 ±10 ans à environ 1535 av. J.-C.). Après un hiatus de plus de deux siècles, des puits sont de nouveau exploités à l'étape initiale du Bronze final (de 1237 à 1186 ±10 ans av. J.-C.). Une interruption d'une centaine d'années est encore enregistrée avant la mise en place du dernier cycle observé pendant le RSFO (de 1059 à 1002 av. J.-C.). Les puits sont tous définitivement abandonnés au cours de la première moitié du xe s. av. J.-C. Si l'étude de ces puits et de leur cuvelage ne permet pas de couvrir l'intégralité des occupations mises en évidence sur le site (absence du Bz C), les différentes temporalités évoquées autorisent à y suivre les rythmes d'occupation et de déplacement des habitats avec une résolution chronologique élevée.

Mots-clés

puits, dendrochronologie, occupation du sol, Alsace

Abstract

Dendrochronology carried out during the excavation of Erstein « Grasweg/PAPE » has clarified the chronology of this Bronze Age settlement. The wood of five preserved well linings was analysed and the methods used in their construction was studied. One of the wells, n°218, provided the most coherent samples, from which it was possible to estimate the minimum period of use, to observe the renovations of the structure and to assess the duration of the its last use phase. Studies on the other Erstein wells supported these observations: their period of use was determined from a few decades to several hundred years, which included periods of repair and phases of abandonment that could last up to several centuries. These long-lived features, probably used over several generations, were permanent geographical markers, being part of the typical settlement package of this type of territory in central Alsace. We have been able to identify three major cycles of construction and abandonment. The first dates to the end of the Early Bronze Age (1743 ±10 - 1535 BC). After a hiatus of more than two centuries, the second cycle dates to the first phase of the Late Bronze Age (1237 - 1186 ±10 BC), then following on from an interruption of about 50 years, the last cycle dates to the middle phase of the LBA (1059 -1002 BC). The wells finally fell into permanent disuse during the first half of the 10th century BC. The use phases of the wells do not cover the entire period of the site's occupation, as some phases such as the Middle Bronze Age C are absent. Nevertheless, this study highlights the settlement dynamics and occupation period with an unusually precise chronological resolution for a land based site.

Keywords

Bronze Age, Alsace, Well, land use, dendrochronology, dendrology, cartwheel

Les sites protohistoriques du parc d'activités du Pays d'Erstein sont situés à l'ouest de la commune, sur une terrasse alluviale – dite d'Erstein – couverte de 2 à 5 m de lœss. Il s'agit d'une large bande de terre orientée nord-sud d'une vingtaine de kilomètres de longueur qui domine de 2 à 3 m la plaine ello-rhénane à l'est et de 1 à 2 m le Ried de l'Andlau, une zone humide, drainée, à l'ouest.

Depuis 2006, l'aménagement de cette vaste zone de 55 ha a fait l'objet de plusieurs opérations d'archéologie préventive (Croutsch *et al.*, 2011 ; 2016). La dernière, réalisée en 2013-2014, est matérialisée par deux zones décapées d'une superficie totale de 8 ha (fig. 1). Les 311 faits archéologiques mis au jour caractérisent la vocation domestique du site (vase-silos, fosses diverses, fosses polylobées). La découverte de cinq puits aux cuvelages en bois conservés au contact de la nappe phréatique a assuré la notoriété du site (Croutsch *et al.*, 2019).

À Erstein, l'état de conservation des bois gorgés d'eau est remarquable, et ils sont également présents en grande quantité. Les bois choisis sont le plus souvent des chênes, dont des arbres âgés. Sur l'ensemble des cuvelages, plus de 20 % des bois ont ainsi pu être datés par dendrochronologie parfois à l'année près (75 individus sur un total de 338 pièces pour lesquelles il a été possible d'identifier l'essence des bois). Les résultats de la dendrochronologie permettent, dans certains cas, un calage fin des structures dans le temps, plus rarement, on le verra, de fixer l'attribution chronologique d'une phase

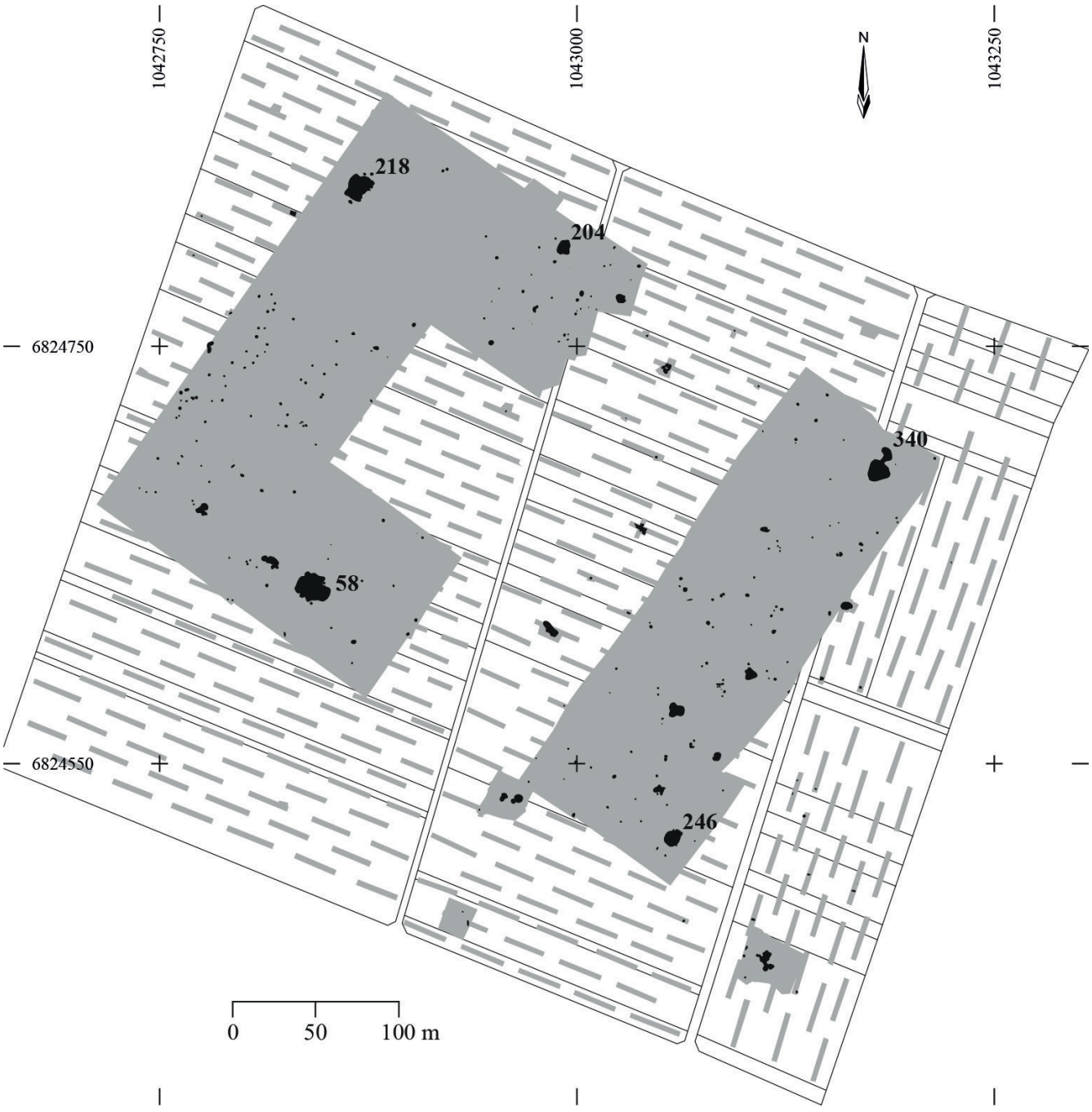


Figure 1 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Plan du site et situations des puits : fouilles 2013-2014. Plan et DAO C. Croutsch.

culturelle, mais aussi de répondre à un ensemble de questions. Quelle est la durée d'exploitation des puits ? Fonctionnent-ils en même temps ou se succèdent-ils dans le temps ? Ou encore comment permettent-ils de préciser les cycles d'occupation ?

1. Les cuvelages en chêne du puits 218

L'exemple du puits 218 et ses cuvelages en chêne illustrent parfaitement ces questionnements. Installé au fond d'une vaste fosse de 9 m de diamètre environ à l'ouverture, le cuvelage en bois du puits 218 est encore en place. Il est constitué d'un cuvelage monoxyle, conservé sur 1,70 m de haut et d'un diamètre interne de 0,75 m, encadré par un premier cadre de planches en chêne, de 1 m de côté environ, assemblé à mi-bois (fig. 2). Ce cadre repose sur un soubassement fait de planches posées à plat qui permettent d'en contrôler l'horizontalité. Le tout est fondé sur un socle de forme carrée, construit avec de larges et épaisses planches de chêne.



Figure 2 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Puits 218. Vue des éléments supérieurs des cuvelages du puits en cours de fouille. Cliché N. Steiner.

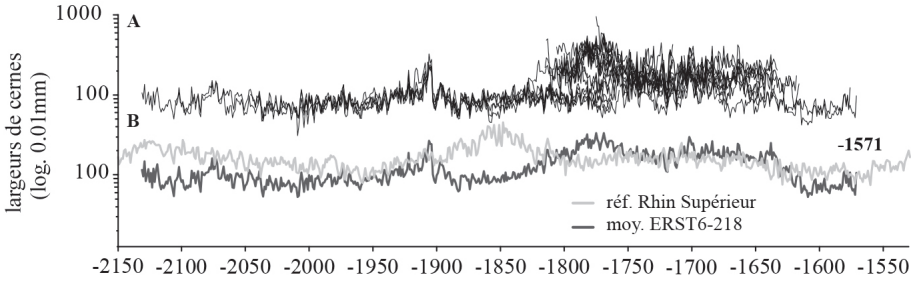


Figure 3 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Puits 218. Synchronisation des mesures. A) Présentation des 34 séries datées en position synchrone. B) La courbe moyenne (ERST6-218) en position synchrone avec la courbe de référence Alsace. DAO W. Tegel.

Pour cette structure, 34 séquences individuelles ont pu être comparées et synchronisées. Une séquence moyenne unique, longue de 561 ans, est calée sur les référentiels régionaux entre 2131 et 1571 av. J.-C. (fig. 3). Les dates d'abattages obtenues s'échelonnent sur une durée de près de deux siècles : la date la plus ancienne se situe aux alentours 1743 ± 10 ans av. J.-C. (datation sur aubier), la plus récente vers 1562 ± 10 ans av. J.-C. Deux autres phases d'abattage sont documentées, l'une en 1716 av. J.-C. (datation sur dernier cerne), l'autre en 1616 av. J.-C.

À partir des relevés de terrain et de la localisation des différentes pièces de bois dendrodatées, l'évolution de la construction peut être restituée d'une manière détaillée. Les différentes parties du cuvelage sont en effet assemblées avec des bois d'âges différents, dont certains conservent les traces de leur emploi initial. L'identification de tels éléments utilisés en réemploi permet de restituer plusieurs états antérieurs. Au moins quatre phases sont observées (fig. 4). Une cinquième peut être envisagée, mais la datation des bois, tous dépourvus d'aubier, est plus approximative (après 1737 av. J.-C.). La partie inférieure du cuvelage comprend une dizaine de bois abattus entre 1743 ± 10 ans av. J.-C. (datation sur aubier) et 1716 av. J.-C. (datation sur dernier cerne). Les dates les plus anciennes pourraient correspondre à la construction d'origine. Les dates suivantes participent aux réfections et aux réhabilitations successives du cuvelage (fig. 5). À chaque phase, la récupération de planches est observée : des bois datés de 1716 servent à stabiliser le cuvelage carré ; un bois abattu en 1616 est utilisé pour contrôler la verticalité du tronc évidé, daté lui de 1562 ± 10 ans.

Le puits 218 est ensuite rapidement désaffecté. Le point d'eau est alors scellé par la dépouille d'un enfant, et définitivement condamné, très probablement aux alentours de 1535 av. J.-C. Ce *terminus ante quem* nous est donné par la datation ^{14}C du squelette, avec une date à 3365 ± 35 BP (soit 1746 et 1535 cal BC en probabilité maximale, peut-être entre 1538 et 1535 cal BC).

Sept vases complets proviennent du comblement inférieur du cuvelage monoxyle (fig. 6). Leur nombre est très limité,

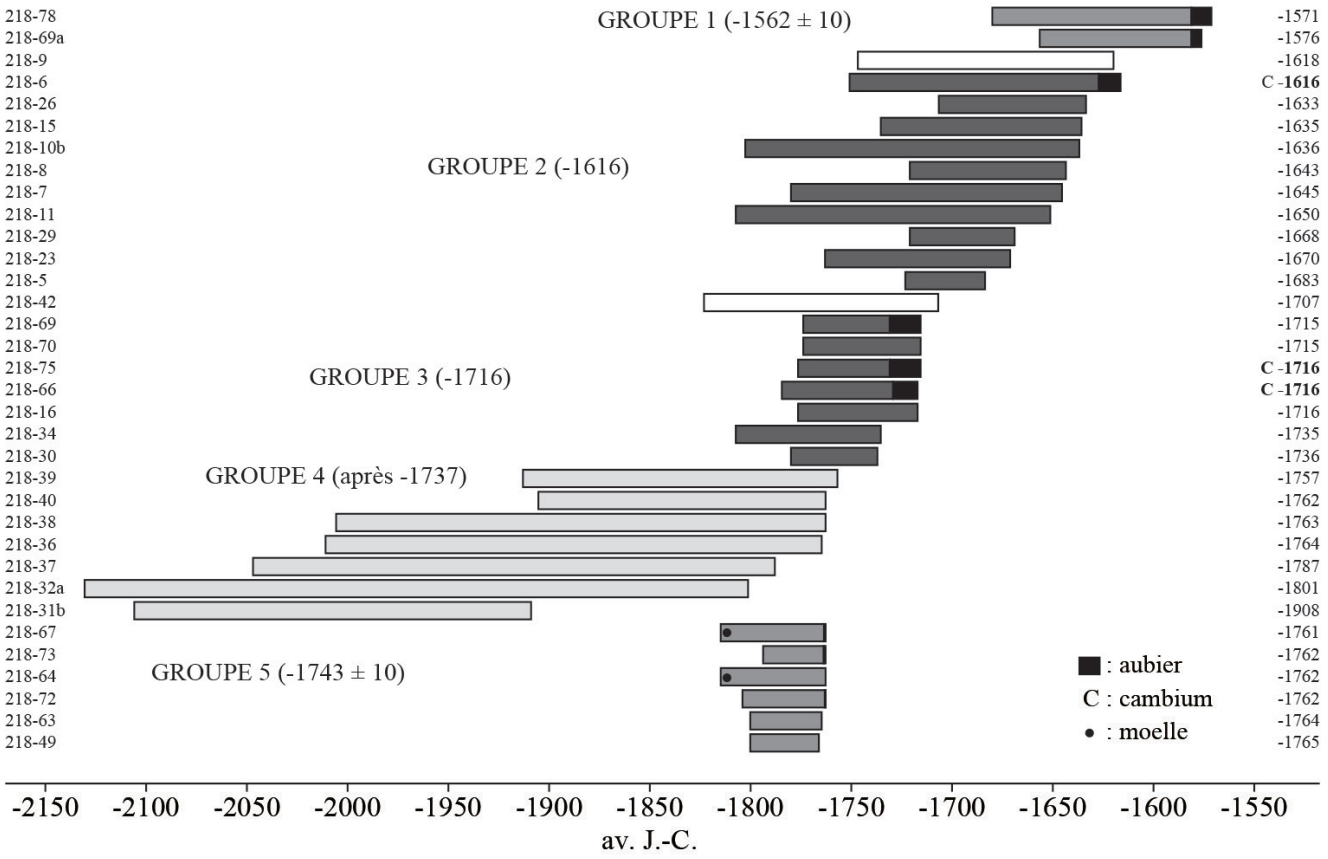


Figure 4 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Puits 218. Bloc-diagramme des chênes datés. DAO W. Tegel.

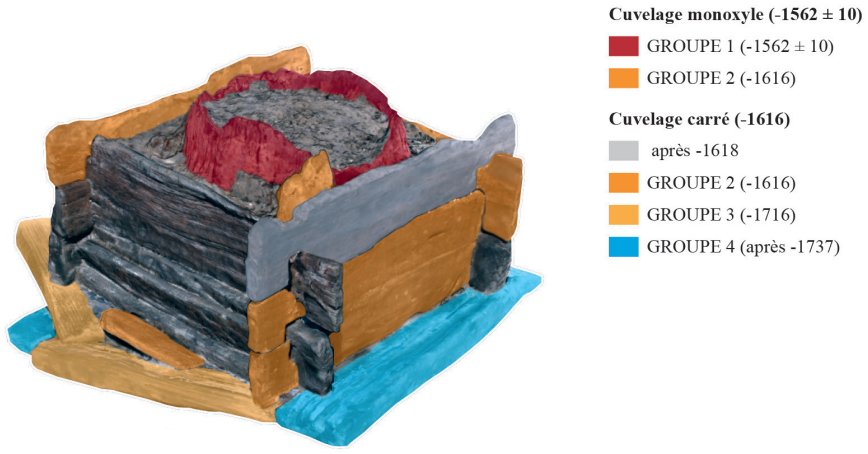


Figure 5 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Puits 218. Représentation tridimensionnelle des cuvelages et proposition de phasage. DAO F. Basoge, C. Croutsch et W. Tegel.

mais ce mobilier appartient à un niveau sédimentaire bien identifié et daté, correspondant à la dernière phase d'utilisation du puits. Par leurs formes et leurs registres décoratifs, ils partagent des éléments communs avec les assemblages céramiques attribués à la transition du Bz A2 récent et du Bronze moyen du Sud-Ouest de l'Allemagne et du plateau suisse, comme Arbon-Bleiche ou Bodman-Sachen datés entre 1650 et 1550 av. J.-C. environ (Hochuli, 1994 ; Köninger, 2006). D'après les données typo-chronologiques régionales, l'ensemble d'Erstein pourrait être un peu plus tardif que ces séries. En effet, il présente certains caractères évolués que l'on retrouve dans les quelques corpus régionaux attribuables au Bz B, comme Obernai « PAIE » (Rault et Véber, 2017).

On a ici affaire à un petit ensemble de céramiques formé durant l'utilisation du puits dans un laps de temps relativement court, sans doute entre 1562 et 1535 av. J.-C., ce qui fait de cette série un jalon fondamental pour caler le début Bz B en Alsace.

2. Durées d'exploitations

Cet exemple montre que les puits en bois peuvent être exploités pendant des durées relativement longues (ici au moins 160 années), et qu'ils sont régulièrement entretenus. Il montre aussi que ces constructions peuvent être largement remaniées, parfois après une longue période d'abandon (ici probablement un siècle entre 1716 et 1616 av. J.-C.). En revanche, il est plus souvent difficile de fixer avec autant de précision la date d'abandon des puits, et il faut alors se tourner vers des approches typo-chronologiques plus classiques.

Sur le puits 246, les dates d'abattage s'échelonnent sur plusieurs siècles (fig. 7). Ces résultats sont également appuyés sur une série de datations par le radiocarbone. L'analyse chronostratigraphique du cuvelage en bois du puits 246 permet de mettre en évidence trois phases de construction. Le premier cadre est daté de 1615 ± 10 ans (datation sur aubier). Une reconstruction importante a lieu en 1237 av. J.-C., après un hiatus de plus de trois siècles. Un nouveau hiatus dépassant 150 années, durant lequel aucune activité de construction n'est attestée, succède à cette phase. Enfin, des réaménagements tardifs sont observés au cours de la première moitié du XIe siècle (1078-1059 av. J.-C.). Bien que les états antérieurs soient conservés en partie, les remaniements de cette période touchent très largement la structure qui est restaurée et renforcée, comme en attestent les mesures ^{14}C réalisées sur les planches utilisées dans la réfection. Le puits 246 est sans doute définitivement abandonné avant 950 av. J.-C., l'ensemble du mobilier céramique découvert dans son comblement se rapportant au ha B1, soit au maximum un siècle après les dernières réfections enregistrées par la dendrochronologie.

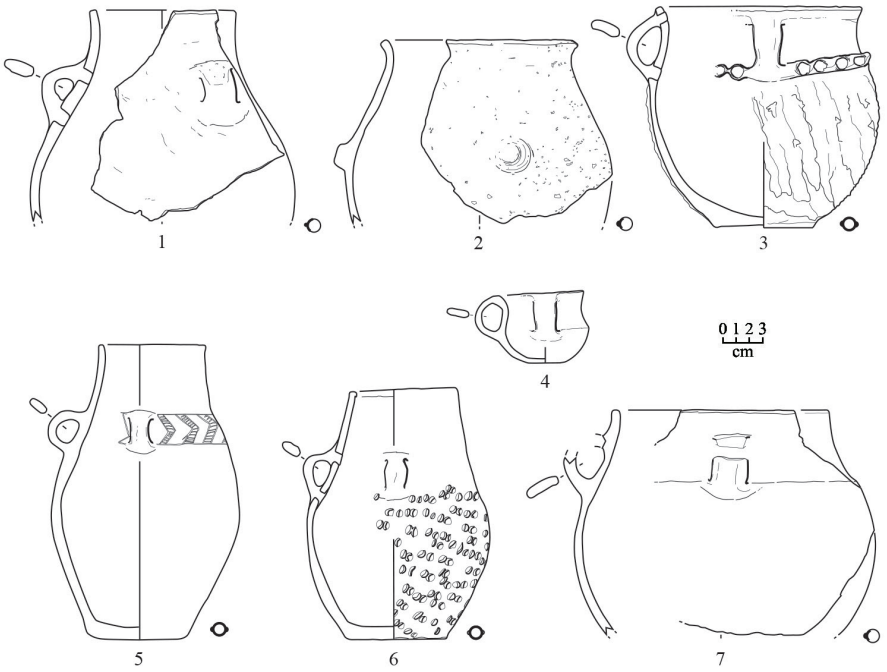


Figure 6 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Puits 218. Mobilier céramique provenant du comblement du cuvelage monoxyle. Dessins et DAO E. Rault.

La situation est comparable sur le puits 204. Son cuvelage monoxyle en aulne daté par ^{14}C pourrait déjà être vieux de plus de deux siècles (3105 ± 35 BP, soit 1442-1273 cal BC à 95,4 %), lorsqu'il est coiffé d'un nouveau cuvelage monoxyle tiré d'un chêne abattu en 1002 av. J.-C. Le mobilier céramique provenant du comblement du puits (Ha A2/B1) suggère que ce point d'eau est ensuite abandonné au plus tard une cinquantaine d'années après cette dernière réfection.

Des dates aussi précises et sûres ne sont pas toujours disponibles, et la date de fondation reste parfois inconnue. Sur le puits 340, les dates d'abattage des chênes s'échelonnent entre 1073 et 1024 av. J.-C. (après 1060, après 1058, après 1051 av. J.-C.). Mais ces pièces datées par dendrochronologie

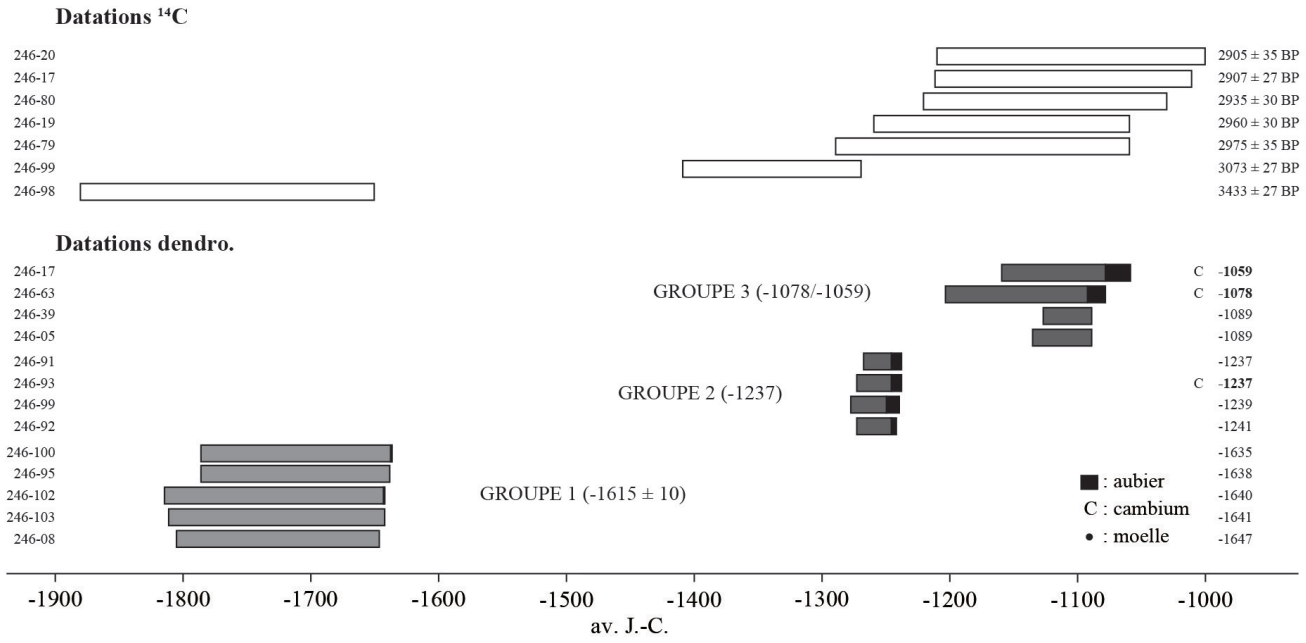


Figure 7 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Puits 246. Bloc-diagramme des chênes datés et des datations ^{14}C calibrées (les blocs correspondent aux fourchettes de probabilité maximales). DAO W. Tegel et C. Croutsch.

ne font pas partie du cuvelage quadrangulaire en *blockbau*, principalement fait de rondins de noisetiers ; il s'agit de planches utilisées pour renforcer la structure, et de bois provenant des niveaux d'abandon du puits. L'hypothèse de réemploi de bois plus anciens ne peut donc pas ici être écartée, et le puits 340 pourrait donc ne pas être antérieur à 1024 av. J.-C. La durée d'exploitation des puits peut ainsi être de l'ordre de quelques décennies à plusieurs centaines d'années, car certaines structures sont régulièrement réhabilitées. Dans de nombreux cas, il s'agit de structures pérennes, sans doute utilisées sur plusieurs générations. Ces phases d'exploitation peuvent être entrecoupées par des phases d'abandon dont la durée peut, elle aussi, parfois, atteindre plusieurs siècles. Il est probable que les puits désaffectés, toujours visibles dans le paysage, aient été réhabilités en fonction des besoins du moment.

3. Les rythmes d'occupation et d'abandon

Le bloc diagramme dendrochronologique des chênes permet de visualiser trois grands cycles de construction en rapport avec les rythmes des occupations et des abandons du site au cours de l'âge du Bronze (fig. 8). Dès la fin du Bronze ancien, plusieurs structures d'approvisionnement en eau sont présentes sur l'emprise de fouille. Dans un premier temps, cette fonction est assurée par une seule structure (puits 218). Un siècle plus tard, deux points d'eau sont attestés. Les deux aménagements sont probablement construits à quelques années d'écart : l'ancien cuvelage du puits 218 est réhabilité en 1616 av. J.-C. ; le cuvelage du puits 246 est, quant lui, assemblé avec des bois abattus aux alentours de 1615 av. J.-C. Ce premier cycle s'achève avant le dernier quart du XVIe s., sans doute aux alentours de 1535 av. J.-C. Il faut ensuite attendre plus de deux siècles pour enregistrer localement une activité de construction comparable.

Un nouveau cycle débute avec la réhabilitation du puits 246 au cours de la deuxième moitié du XIIIe s. (1237 av. J.-C.). Le puits 204 et son cuvelage en aulne pourraient lui être antérieurs de quelques décennies, mais la plage de temps, ici de l'ordre d'un siècle et demi, est trop importante pour préciser la chronologie des événements. De plus, aucun élément archéologique ne permet de lever cette incertitude. Enfin, le puits 58 est mis en place à l'extrême fin du siècle (1208 av. J.-C.) et ensuite maintenu en l'état pendant au moins une trentaine d'années (avec une dernière date à 1186 ± 10 ans). Un nouveau hiatus d'une cinquantaine d'années succède à cette phase. Au cours du dernier cycle, trois puits sont exploités sur l'emprise de fouille (n°s 204, 246 et 340). Le puits 246 est réhabilité au plus tard avant le milieu du XIe siècle (peut-être en 1059 av. J.-C.). Comme à l'étape précédente, les travaux de reprise entamés sur le puits 246 lancent un nouveau cycle que l'on peut suivre sur plusieurs décennies. En raison des incertitudes liées à l'emploi probable de bois de récupération, la date à laquelle est assemblé le cuvelage en bois du puits 340 ne peut pas être fixée. Elle pourrait être postérieure à 1024 av. J.-C. Ce cycle de construction s'achève avec la réhabilitation du puits 204 à l'extrême fin du XIe s. (1002 av. J.-C.). Tous les puits sont abandonnés au cours de la première moitié du Xe s.

4. Conclusion

Par leur nombre et leur précision, les données dendrochronologies obtenues sur les puits en bois d'Erstein restent exceptionnelles. Elles permettent de dater directement les cuvelages

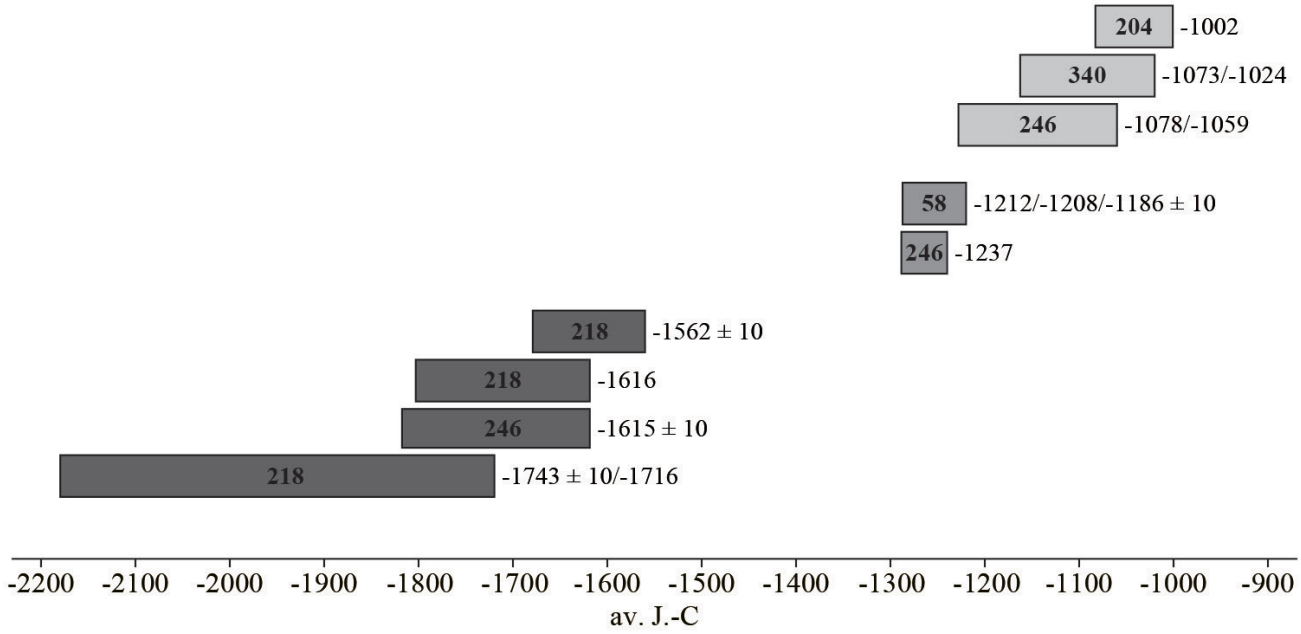


Figure 8 - Erstein Grasweg/PAPE (Bas-Rhin). Bloc-diagramme de la chronologie des chênes. DAO W. Tegel.

en bois, même s'il n'est pas toujours évident – on l'a vu – d'écarter l'hypothèse de réemplois. Des phases de réfection ou de consolidation sont régulièrement mises en évidence. Ces travaux n'ont pas laissé d'autres traces matérielles. À Erstein, le mobilier découvert dans les remplissages correspond toujours à la dernière phase d'utilisation du puits et à son abandon. Les phases d'utilisation anciennes ne sont documentées par le mobilier archéologique sur aucun des puits. Plusieurs puits apparaissent ainsi également contemporains, alors qu'aucun argument archéologique ne permettait de le présager.

Même si elles ne documentent pas l'ensemble des phases d'occupations du site – pas une datation dendrochronologique n'est, par exemple, disponible pour le Bz C –, ces données calendaires permettent également de suivre le rythme des occupations et des déplacements des habitats avec une résolution chronologique élevée (Croutsch *et al.*, 2019). On observe une forte stabilité des modes d'occupation du sol au cours de l'âge du Bronze, avec un système qui semble bien en place dès le Bronze ancien et qui se maintient jusqu'au Bronze final. Quel rôle ces points d'eau jouent-ils dans la stabilité de l'habitat ? Doit-on les considérer comme des marqueurs du paysage ? La longévité exceptionnelle de certains puits questionnent également le modèle classique d'un habitat rural protohistorique fréquemment déplacé pour s'adapter au rythme des mises en culture (Blouet *et al.*, 1992).

Les puits en bois de l'âge du Bronze d'Erstein ne sont pas un cas isolé, puisqu'une situation similaire a, par exemple, été documentée sur le site d'Aschheim, près de Munich, où les analyses dendrochronologiques ont permis de mettre en évidence quatre phases de construction datées entre 2049 et 1689 av. J.-C. (Herzig et Pütz, 2008). En Alsace même, la fixation de points d'eau en un même lieu sur plusieurs générations est régulièrement observée, par exemple à Marckolsheim (Goepfert, 2018).



Christophe Croutsch

Archéologie Alsace / UMR 7044
11 rue J.-F. Champollion F-67600 Sélestat
christophe.croutsch@archeologie.alsace

Estelle Rault

Archéologie Alsace / UMR 7044
11 rue J.-F. Champollion F-67600 Sélestat
estelle.rault@archéologie.alsace

Willy Tegel

Chair of Forest Growth and Dendroecology, Albert-Ludwigs-University Freiburg, Germany, Tennenbacher Str. 4
D-79106 Freiburg
Tegel@dendro.net

Bibliographie

Blouet V., Buzzi P., Dreidemy C., Faye C., Faye O., Gebus L., Klag T., Kœnig M.-P., Maggi C., Mangin G., Mervellet P. et Vanmoerkerke J., 1992, « Données récentes sur l'habitat de l'âge du Bronze en Lorraine », dans Mordant C. et Richard A. (éd.), *L'habitat et l'occupation du sol à l'âge du Bronze en Europe. Actes du colloque de Lons-le-Saunier 1990*, Paris, éditions du CTHS, Documents préhistoriques, 4, p. 177-193.

Croutsch C. (dir.), 2016, *Erstein (Bas-Rhin) : « Grasweg », Parc d'Activités du Pays d'Erstein (PAPE), tranche 2 : Évolution d'un terroir entre la fin du IIIe et le début du Ier millénaire a. n. è.*, Rapport de fouille préventive, Sélestat/Strasbourg, Pôle d'Archéologie interdépartemental rhénan.

Croutsch C., Tegel W., Nicolas T., Pascutto É., Leprovost C., Billot M., Gratuze B., Logel T. et Putelat O., 2011, « Les sites protohistoriques d'Erstein "Grasweg-PAE" (Alsace, Bas-Rhin) : l'occupation Rhin-Suisse-France-Orientale », *Revue archéologique de l'Est*, 60, p. 83-146.

Croutsch C., Tegel W. et Rault E., 2019, « Les puits de l'âge du Bronze du Parc d'Activités du Pays d'Erstein (Bas-Rhin, Alsace) : des analyses dendroarchéologiques à l'étude de l'occupation du sol », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 4, 116, p. 743-774.

Goepfert S., 2018, « Marckolsheim "Schlettstadterfeld", fouille 2015. Une occupation protohistorique organisée dans le Ried alsacien », *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*, 16, p. 39-50.

Herzig F. et Pütz A., 2008, « Drei vorgeschichtliche Brunnen aus Ausheim », *Das Archäologische Jahr in Bayern*, p. 33-35.

Hochuli S., 1994, *Arbon-Bleiche. Die neolithischen und bronzezeitlichen Seeufersiedlungen : Ausgrabungen 1885-1991*, Frauenfeld, Archäologie im Thurgau, 2.

Köninger J., 2006, *Die frühbronzezeitlichen Ufersiedlungen von Bodman-Schachen. 1 : Befunde und Funde aus den Tauchsondagen 1982-1984 und 1986*, Siedlungsarchaölogie im Alpenvorland VII, Stuttgart, Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg, 85.

Rault E. et Véber C., 2017, « Fin du Bronze ancien ou début du Bronze moyen : bilan typochronologique de la céramique en Alsace vers 1650-1500 av. J.-C. », *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*, 15, p. 88-98.

Notes



Notes



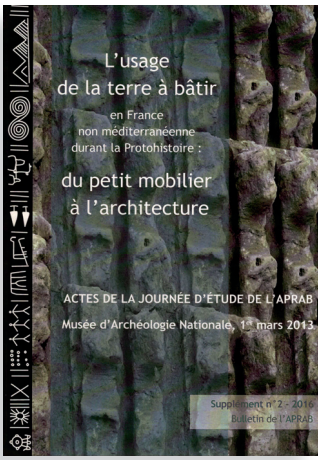
Notes



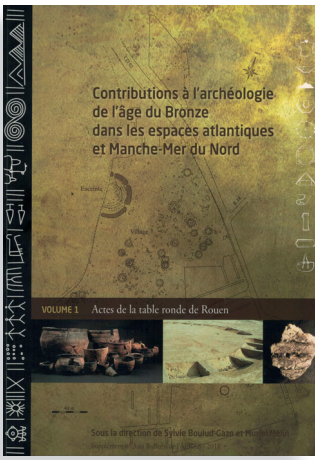
Dans la même collection



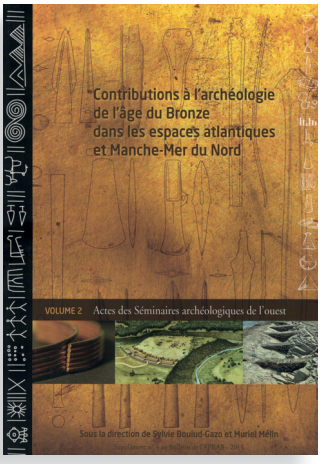
Nordez M., Rousseau L. et Cervel M. (dir.), 2015, *Recherches sur l'âge du Bronze. Nouvelles approches et perspectives, Actes de la journée d'étude de l'APRAB (Musée d'Archéologie Nationale, 28 février 2014)*, Supplément n° 1 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 186 p.



Issenmann R. et Nicolas T. (dir.), 2016, *L'usage de la terre à bâtir en France non méditerranéenne durant la Protohistoire : du petit mobilier à l'architecture, Actes de la journée d'étude de l'APRAB (Musée d'Archéologie Nationale, 1er mars 2013)*, Supplément n° 2 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 117 p.



Boulud-Gazo S. et Mélin M. (dir.), 2018, *Contributions à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche Mer du Nord*, Volume 1 : *Actes de la table ronde de Rouen (2005)*, Supplément n° 3 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 360 p.

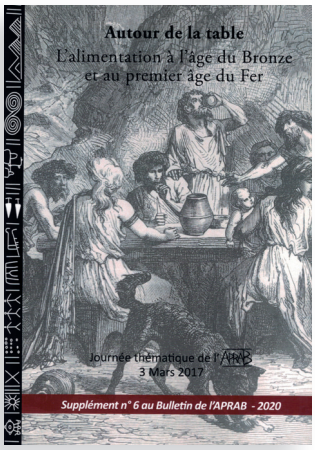


Boulud-Gazo S. et Mélin M. (dir.), 2018, *Contributions à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche Mer du Nord*, Volume 2 : Actes des séminaires archéologiques de l'ouest (2008, 2009 et 2010), Supplément n° 4 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 238 p.

Lorin Y. et Peake R. (dir.), 2019, *Archéologie du textile en Europe à l'âge du Bronze et au premier âge du Fer, Actes de la journée d'étude de l'APRAB (Musée d'Archéologie Nationale, 6 mars 2015)*, Supplément n° 5 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 248 p.



Auxiette G., Mougne C., Peake R. et Toulemonde F. (dir.), 2020, *Autour de la table : l'alimentation à l'âge du Bronze et au premier âge du Fer*, *Actes de la journée thématique de l'APRAB (Saint-Germain-en-Laye, 3 mars 2017)*, Supplément n° 6 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 208 p.



Marcigny C. et Mordant C. (dir.), 2021, *Bronze 2019, 20 ans de recherches*, Actes du colloque international anniversaire de l'APRAB (Bayeux 19-22 juin 2019), Supplément n° 7 au Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze, 688 p.



APRAB

Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze UMR 6298
ARTEHIS – Université de Bourgogne – Faculté des Sciences
6 boulevard Gabriel – 21000 DIJON
http://aprab.org

sepac numérique

Impression & brochage - France
Numéro d'impression : N23112220197 - Achevé d'imprimer : mars 2022
Dépôt légal : février 2022

IMPRIM'VERT®

PEFC 10-31-3532 / Certifié PEFC / Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées. / pefc-france.org



Cette question de la mesure du temps reste une préoccupation majeure des archéologues et des spécialistes de l'âge du Bronze bien sûr. Si, globalement, cette période occupe en France une plage de quinze siècles environ calée entre 2300 et 800 avant notre ère, il convient toujours de préciser les limites des étapes majeures de l'évolution des sociétés de l'âge du Bronze, mais également de mieux apprécier la place réelle dans le temps des sites étudiés. La question, par exemple, du début de l'âge du Bronze reste toujours une problématique d'actualité qui occupe nos débats, ainsi que parfois ceux de nos collègues néolithiciens. Si on accepte, comme c'est de plus en plus le cas, que le Campaniforme fait partie de l'âge du Bronze (beaucoup d'éléments qui s'épanouiront par la suite puisent leurs fondements dans ce groupe culturel), alors le début de l'âge du Bronze se situerait autour de 2500 avant notre ère. Malheureusement, ce groupe campaniforme n'est pas présent partout sur le territoire national (et même en Europe) au même moment ! Il y aurait donc plusieurs débuts de l'âge du Bronze ; comment trancher ? On touche là au cœur des questionnements de cette journée thématique : comment mesurer le temps ? Avec quels outils ? Quelles précisions ?

APRAB

Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze
UMR 6298 ARTEHIS - Université de Bourgogne - Faculté des Sciences
6 boulevard Gabriel - 21000 DIJON - http://aprab.org

MINISTÈRE DE LA CULTURE
Liberté
Égalité
Fraternité

MUSÉE D'ARCHÉOLOGIE NATIONALE
DOMAINE NATIONAL
Saint-Germain-en-Laye

20 ans ! Inrap
Institut national de recherches archéologiques préventives

LABEX ARCHIMEDE

INVESTIR L'AVENIR

ASM Archéologie des Sociétés Méditerranéennes

TRACES

9 782957 224104

ISSN : 2257-1248
ISBN : 978-2-9572241-0-4
Prix public TTC : 25 €