



ArcheoSciences
Revue d'archéométrie

32 | 2008
Varia

Climat, Guerre des Gaules et dendrochronologie du chêne (*Quercus sp.*) du 1^{er} siècle av. J.-C.

Climat, Gallic War and dendrochronology of oak (Quercus sp.) of the first Century B.C.

Sébastien Durost, Benoît Rossignol, Georges-Noël Lambert et Vincent Bernard



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/archeosciences/932>
DOI : 10.4000/archeosciences.932
ISBN : 978-2-7535-1597-0
ISSN : 2104-3728

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2008
Pagination : 31-50
ISBN : 978-2-7535-0868-2
ISSN : 1960-1360

Référence électronique

Sébastien Durost, Benoît Rossignol, Georges-Noël Lambert et Vincent Bernard, « Climat, Guerre des Gaules et dendrochronologie du chêne (*Quercus sp.*) du 1^{er} siècle av. J.-C. », *ArcheoSciences* [En ligne], 32 | 2008, mis en ligne le 31 décembre 2010, consulté le 28 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/932> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeosciences.932>

Article L.111-1 du Code de la propriété intellectuelle.

Climat, Guerre des Gaules et dendrochronologie du chêne (*Quercus sp.*) du 1^{er} siècle av. J.-C.

*Climat, Gallic War and dendrochronology of oak (Quercus sp.)
of the first Century B.C.*

Sébastien DUROST*, Benoît ROSSIGNOL**, Georges-Noël LAMBERT***
et Vincent BERNARD****

Résumé : La comparaison entre données dendrochronologiques et historiques demande une préparation des unes et des autres qui aboutit à confronter plusieurs modèles. La dendrochronologie produit trois modèles chronologiques, un modèle de haute fréquence continu et annuel, un modèle lissé de moyenne fréquence et le modèle discontinu des années caractéristiques. Bien que déduits les uns des autres, ces modèles offrent des points de vue différents sur la signification environnementale et climatique du signal considéré. Ces trois modèles ont été combinés pour aboutir à un modèle spatial. Pour le 1^{er} siècle av. J.-C. en France du Nord, ce modèle spatial permet d'entrevoir pour 52 années des situations météorologiques particulières. Ces situations ont été rangées en dix classes. La classe C2 caractérise une forte sécheresse estivale. Elle a marqué l'année 54 av. J.-C. qui précède une reprise de troubles en Gaule. L'analyse détaillée de l'information historique disponible pour cette période permet d'asseoir l'hypothèse de la sécheresse de 54. De plus en utilisant des arguments du type « effet-retard », des propositions sont avancées quant aux causes des troubles des années 53-52 av. J.-C.

Abstract: *A comparison between tree-ring and historical data requires a preparation that leads to several models. Dendrochronology produces three chronological models, a first one, a model of high frequency continuous and annual, a second one, which is smoothed (middle frequency), and a third model, which is discontinuous and selects special years (event years). Although deduced ones from others, these models offer several points of view on the environment and climate significance of the dendrochronological signal. Information from these three models are combined to build a spatial annual model. This model, for the first Century before Christ, in Northern France, shows particular situations for fifty two years. These situations were classified into ten classes. Classe C2 characterizes a strong summer drought. It marked the year 54 before Christ, which precedes raising troubles in Gaul. The detailed analysis of the written historical information reinforce the hypothesis of the drought of 54 B.C. More, using arguments of type "delayed effects", proposals are put forward events and troubles that happend in the years 53 and 52 B.C.*

Mots clés : Chêne, Climatologie, Dendrochronologie, Guerre des Gaules, Nord de la France.

Key words: *Climatology, Dendrochronology, Gallic War, North of France, Oak.*

* Post-doctorant, Centre Européen d'Archéométrie – Université de Liège, 17, allée du 6 août, bât. B5a Sart-Tilman 4000 Liège, Belgique. (sebastien.durost@wanadoo.fr)

** Maître de conférence – Université Paris I Panthéon-Sorbonne, UMR 8585, Centre Glotz, 2 rue Vivienne 75002 Paris. (benelsa@wanadoo.fr)

*** Chargé de recherche – Université de Franche-Comté, UMR 6249, laboratoire de Chrono-Environnement, UFR des Sciences et Techniques, 16 route de Gray 25030 Besançon cedex. (joellamb@club-internet.fr)

**** Chargé de recherche – Université de Rennes 1, CNRS UMR 6566, CReHAA, Campus de Beaulieu, bât. 24/25 35042 Rennes Cedex. (vincent.bernard@univ-rennes1.fr)

1. INTRODUCTION

La dendrochronologie utilise l'impact de la météorologie sur la largeur du cerne pour dater les bois (Douglass, 1914 ; 1921). L'information recueillie sur l'arbre permet entre autres de retrouver les facteurs climatiques qui ont favorisé sa croissance à un moment donné. Pour tenter de retrouver, à partir des cernes, les faits météorologiques qui ont marqué la Guerre des Gaules, le dendrochronologue doit non seulement considérer la région touchée mais aussi une période suffisante avant et après les événements à expliquer. Ce recul lui permet de placer l'information dendrochronologique ponctuelle – la largeur du cerne –, dans un contexte évolutif, à la fois spatial et chronologique. L'information dendrochronologique du 1^{er} siècle av. J.-C. en Gaule du Nord est mobilisée ici. L'extraction complexe de l'information climatique du cerne nécessite de considérer en même temps plusieurs modèles et de procéder en deux étapes. Dans une première étape, trois modèles chronologiques sont d'abord construits. Une méthode progressive permet de passer du signal annuel, qui sert à la datation (haute fréquence), à un signal discontinu qui vise à mettre en valeur des années particulières (années caractéristiques). Un modèle intermédiaire (moyenne fréquence) permet d'évaluer l'importance relative d'une année particulière dans la période de dix ans qui l'encadre. Dans la deuxième étape, des ensembles ont été construits de deux façons différentes. Les bois de chaque site constituent une population élémentaire. Les bois de plusieurs sites, dont le « type » de croissance est le même, sont associés dans des assemblages plus larges. Les années caractéristiques (Huber et Giertz-Siebenlist, 1969) de ces derniers sont cartographiées, chaque carte étant susceptible de caractériser la dominante climatique d'une année. Particulière du point de vue dendrochronologique, l'année 54 av. J.-C. est discutée à la lumière des textes de l'époque, en particulier le *Bellum Gallicum* de Jules César. Le raisonnement de l'historien permet d'étendre aux années suivantes le discours appliqué à la stricte année 54 av. J.-C.

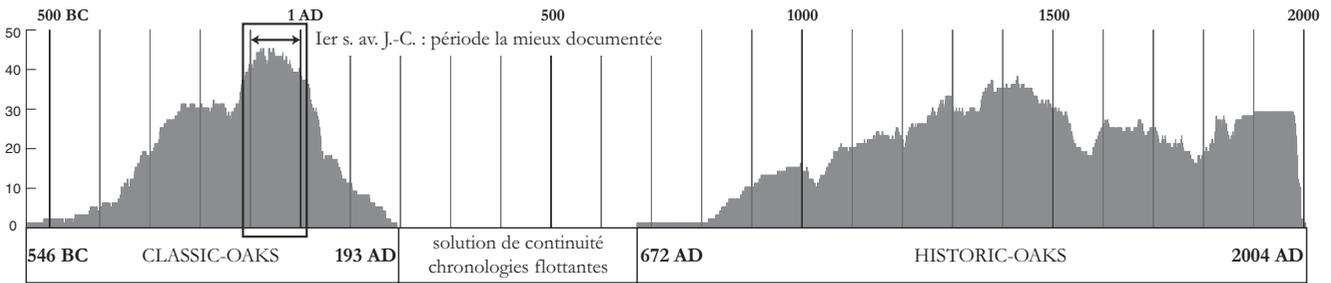
2. DOCUMENTATION DENDROCHRONOLOGIQUE

Le 1^{er} siècle av. J.-C., une documentation archéologique abondante

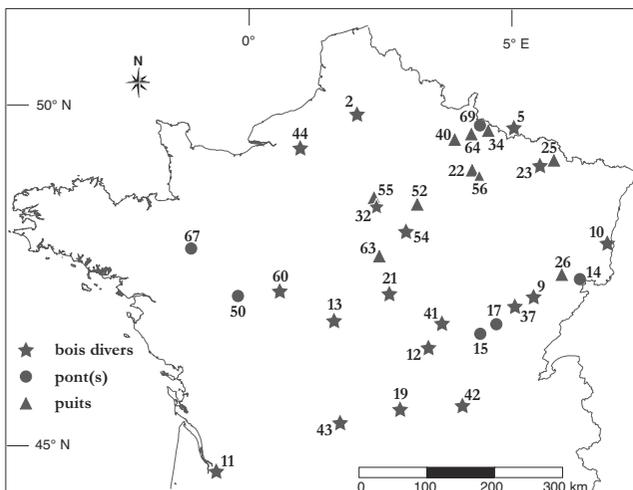
La dendrochronologie appliquée à l'archéologie reste tributaire des conditions de conservation des bois et de la progression des découvertes archéologiques. Les archéologues comprennent rapidement que la dendrochronologie est une réponse essentielle à la question du temps, leur per-

mettant d'introduire dans leur démarche des repères chronologiques dont la précision peut atteindre l'année, voire la saison, avec toutes les questions que cela pose (Joly *et al.*, 2007). Ainsi depuis plus de vingt ans, la normalisation de la recherche archéologique en France a permis de constituer un corpus dendrochronologique de plus de 2000 chênes datés du deuxième âge du Fer et de l'époque romaine. Ces données dendrochronologiques, issues des bases de données de sept laboratoires français et étrangers, publics et privés (cf. Remerciements), ont fait l'objet d'une vérification et d'une mise en commun dans un référentiel nommé *Classic-Oaks* (Durost, 2005). Ce travail a permis d'établir une révision des datations dendrochronologiques du Nord de la France à l'âge du Fer et au début de l'époque romaine (Durost et Lambert, 2007). De ce corpus couvrant la période 546 av. J.-C. à 193 apr. J.-C., 866 échantillons, répartis dans 34 chronologies de sites, documentent le 1^{er} siècle av. J.-C. Ces séries font de cette période la mieux échantillonnée en France par dendrochronologie pour les 2500 dernières années (Fig. 1). Ces chronologies se répartissent sur la moitié nord de la France dans un espace de plus de 300 000 kilomètres carrés compris du Nord au Sud entre Amiens (Somme) et Pérols-sur-Vézère (Corrèze) et d'Ouest en Est entre Tours (Indre-et-Loire) et Biesheim-Kunheim (Haut-Rhin). Aux marges de l'espace délimité, la documentation s'amoindrit : un ensemble de sites provient de Bretagne (Visseiche-la-Chaussée, Ille-et-Vilaine) et des Pays-de-la-Loire (Saint-Martin-de-la-Place, Maine-et-Loire) ; le Sud-Ouest est représenté par la chronologie de la fouille de la place Camille-Jullian à Bordeaux (Gironde). Chaque site intègre en moyenne 25 séries individuelles, mais on constate une forte disparité d'un site à l'autre liée principalement à la difficulté de conservation de l'artefact bois (Pillonel, 2007) et à la nature des structures archéologiques. Ces dernières peuvent se classer en trois catégories : puits, ponts, et bois divers. Si les deux premières indiquent clairement la nature des structures, la dernière regroupe des éléments plus disparates comme des pieux, poteaux, sablières, caniveaux liés à des contextes d'habitats, des éléments de palissades, d'aménagements de berges, de fontaines, de pêcheries, etc. Les ressources forestières locales devaient suffire pour la mise en oeuvre de ces structures. Que ce soit à l'échelle des séries individuelles ou de la chronologie locale de chaque site, la dendrochronologie dispose de données inégalement réparties dans le temps. Ainsi pour le 1^{er} siècle av. J.-C., le nombre de chronologies de sites disponibles pour chaque année varie de 27 à 31 (Fig. 3). L'augmentation rapide du nombre de séries individuelles entre 100 et 50 av. J.-C., la stabilisation puis la lente décroissance témoignent avant tout d'une distribution large de l'âge des bois abattus tout au long du siècle. En effet, à partir des

Densité des sources dendrochronologiques pour les 2500 dernières années
chronologies de sites disponibles par an

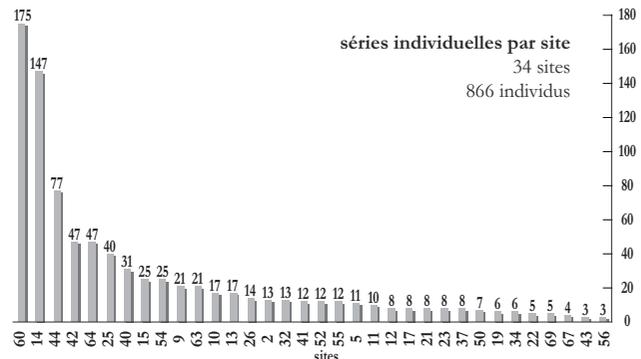


1er s. av. J.-C. : localisation des gisements dendrochronologiques
34 sites, 866 individus



(Moselle) ; 26 Frotey-les-Lure (Haute-Saône) ; 32 Lieusaint, Mare-aux-Trois-Pucelles (Seine-et-Marne) ; 34 Mairy (Ardennes) ; 37 Moisse, les Tuileries (Jura) ; 40 Novy-Chevrières, la Haye, la Meunière (Ardennes) ; 41 Oppidum-de-Bibracte, Fontaine Saint-Pierre et Fontaine de l'Écluse (Saône-et-Loire) ; 42 Pacaudière (La) (Loire) ; 43 Pérols-sur-Vézère, la Font-Carluz (Corrèze) ; 44 Rouen, place du Théâtre des Arts, place Foch, place de la Pucelle (Seine-Maritime) ; 50 Saint-Martin-de-la-Place (Maine-et-Loire) ; 52 Saulsotte (La) (Aube) ; 54 Sens, Espace-du-Tau (Yonne) ; 55 Servon, l'Arpent-Ferret (Seine-et-Marne) ; 56 Sivry-Ante, la Louvière (Marne) ; 60 Tours, 6 rue Émile Zola (Indre-et-Loire) ; 63 Varennes-Changy, le Sable-des-Acacias (Loiret) ; 64 Vendresse, les Longues-Fauchées (Ardennes) ; 67 Visseiche-la-Chausée, pont sur la Seiche (Île-et-Vilaine) ; 69 Vrigne-aux-Bois, les Aulnes (Ardennes).

2 Amiens, Zac Cathédrale, Bibliothèque Universitaire (Somme) ; 5 Arlon (B) ; 9 Besançon, Saint-Jean, rue Ronchoux (Doubs) ; 10 Biesheim-Kunheim, Oedenbourg (Haut-Rhin) ; 11 Bordeaux, place Camille Jullian (Gironde) ; 12 Bourbon-Lancy, Le Breuil (Saône-et-Loire) ; 13 Brion, les Grandes-Chapelles (Indre) ; 14 Brognard, ponts de l'Allan (Doubs) ; 15 Chalon-sur-Saône, pont Saint-Laurent (Saône-et-Loire) ; 17 Charette, pont de la Guyotte (Saône-et-Loire) ; 19 Clermont-Ferrand, rue Rabanesse, Maison de la Région (Puy-de-Dôme) ; 21 Cosne-Cours-sur-Loire (Nièvre) ; 22 Dampierre-le-Château, Liévaux (Marne) ; 23 Ennery, Capelle (Moselle) ; 25 Flévy



© Durost S., Rossignol B., Lambert G.N., Bernard V., 2008-1

Figure 1 : Sites archéologiques du 1^{er} siècle av. J.-C. sélectionnés dans les bases de données associées Classic et Historic Oaks. La chronologie résultante est la mieux documentée (en haut). Le nombre moyen de bois par site est de 25 et les sites de moins de trois bois ont été écartés.

Figure 1: Archaeological settlements of the first Century B.C. selected from the database Classic and Historic Oaks.

phases d'abattages déterminées pour chaque site, le bilan de l'occupation à La Tène et au début de l'époque romaine indique une intensification progressive de la prédation de l'homme sur les ressources forestières à partir de 150 av.

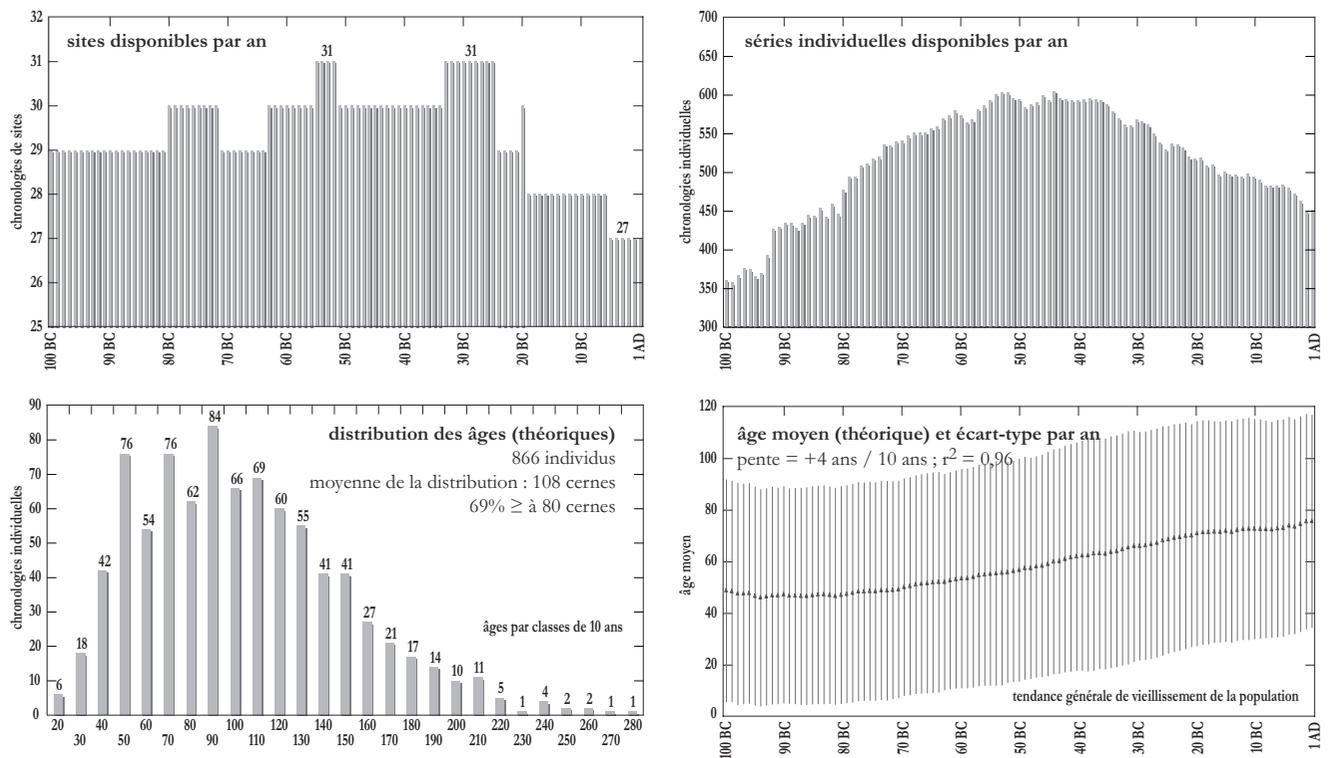
J.-C. qui atteint son optimum avec la période augustéenne (Durost et Lambert, 2007). Cette pression anthropique croissante permet d'obtenir au final, pour le 1^{er} siècle av. J.-

C., un échantillonnage des plus représentatif pour les 2 500 dernières années de la diversité des peuplements exploités.

Variabilité géoclimatique des zones exploitées et calibration du signal pour les calculs de corrélation

Classiquement le cerne élaboré par chaque arbre pour une année est considéré comme la résultante d'une combinaison linéaire de plusieurs signaux endogènes et exogènes (Lebourgeois, 1997). En conséquence les calculs de corrélation, destinés à quantifier les synchronismes entre chronologies issues d'arbres ou de lieux différents, posent des questions de normalisation du signal dendrochronologique. La comparaison de séries de cernes issues d'arbres différents ne peut s'exprimer correctement que si les largeurs des cernes se développent dans un même ordre de grandeur (Guibal *et al.*, 1991). Or dans ce domaine, la nature ne fait pas de grands efforts. Comme le montrent les différentes courbes de croissance (Fig. 2), le comportement des arbres est très variable au cours du temps. À mesure que ceux-ci vieillissent,

ils tendent normalement à produire un cerne de plus en plus petit (Fig. 2, A et B). Mais pour certains, la croissance peut être stable (Fig. 2, C et D) voire augmenter (Fig. 2, E et F) ici probablement en raison de la concurrence intraspécifique. De plus la dendrochronologie appliquée à l'archéologie étudie des bois souvent porteurs de stigmates dus à l'homme (Bernard, 1998). Les deux dernières courbes de croissance semblent témoigner de pratiques sylvicoles (Fig. 2, G et H). Marques qui doivent être distinguées d'autres, plus naturelles et plus ou moins locales, comme le battement de la nappe phréatique (Girardclos, 1999). Il devient alors malaisé d'évaluer et quantifier les changements de pression de l'environnement subis par l'arbre au cours de sa vie sans avoir recours au préalable à une calibration des données. Basée sur des régressions polynomiales (Cook *et al.*, 1990), la correction employée, nommée méthode du Corridor (Lambert *et al.*, 2005), consiste à tracer un couloir ou corridor courbe qui s'ajuste au mieux aux variations générales de la croissance au cours du temps (Fig. 4). L'idée directrice est d'éliminer, entre autres, l'effet dépressif de l'âge de l'arbre sur l'élaboration des cernes en réduisant les grands cernes du



© Durost S., Rossignol B., Lambert G.N., Bernard V., 2008-2

Figure 2 : Différents aspects de la croissance d'un arbre au cours de sa vie.

Les exemples montrent des rythmes de croissance très divers. Pour être comparées, les séries de largeurs de cerne doivent être corrigées. Plus la croissance est accidentée, plus elle nécessite une correction compliquée. Cette complexité sera exprimée par le degré des polynômes de correction utilisés (cf. Fig. 4).

Figure 2: Diversity of tree growth during the tree life.

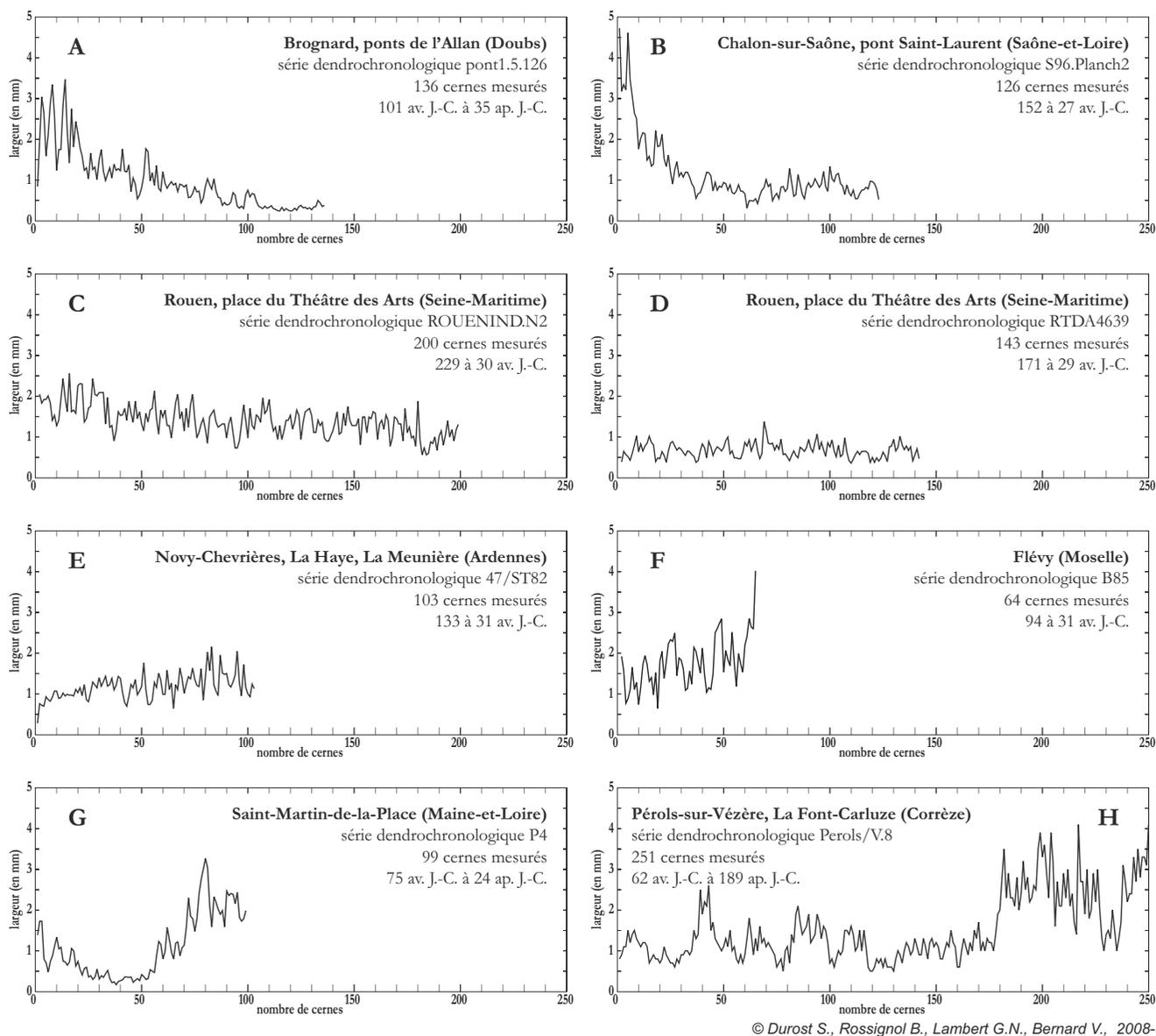
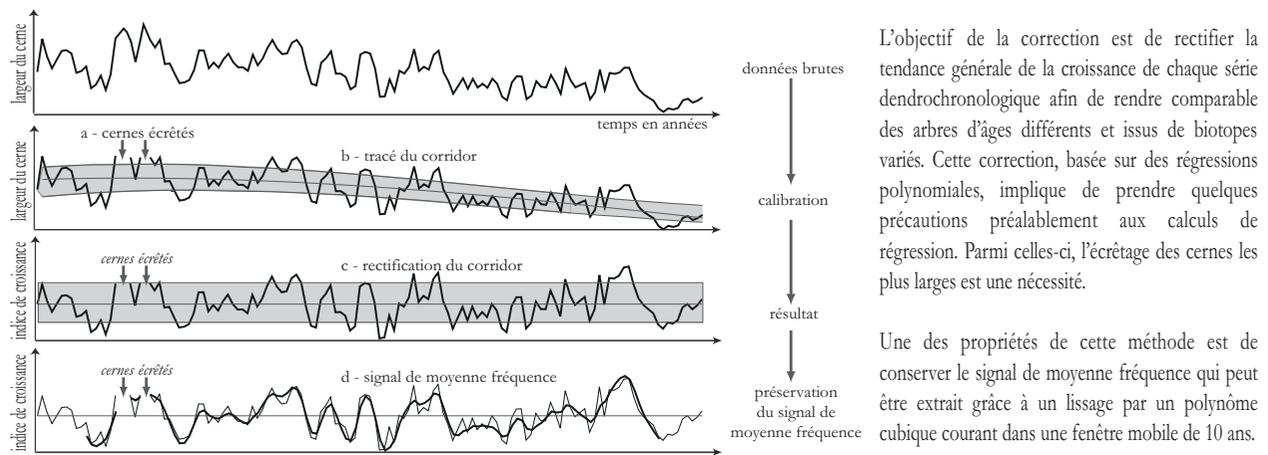


Figure 3 : Répartition par année de différents aspects de l'information disponible et répartition globale des classes d'âge minimal des arbres.

Figure 3: Annual distribution of several aspects of the information and minimal ages of the trees.

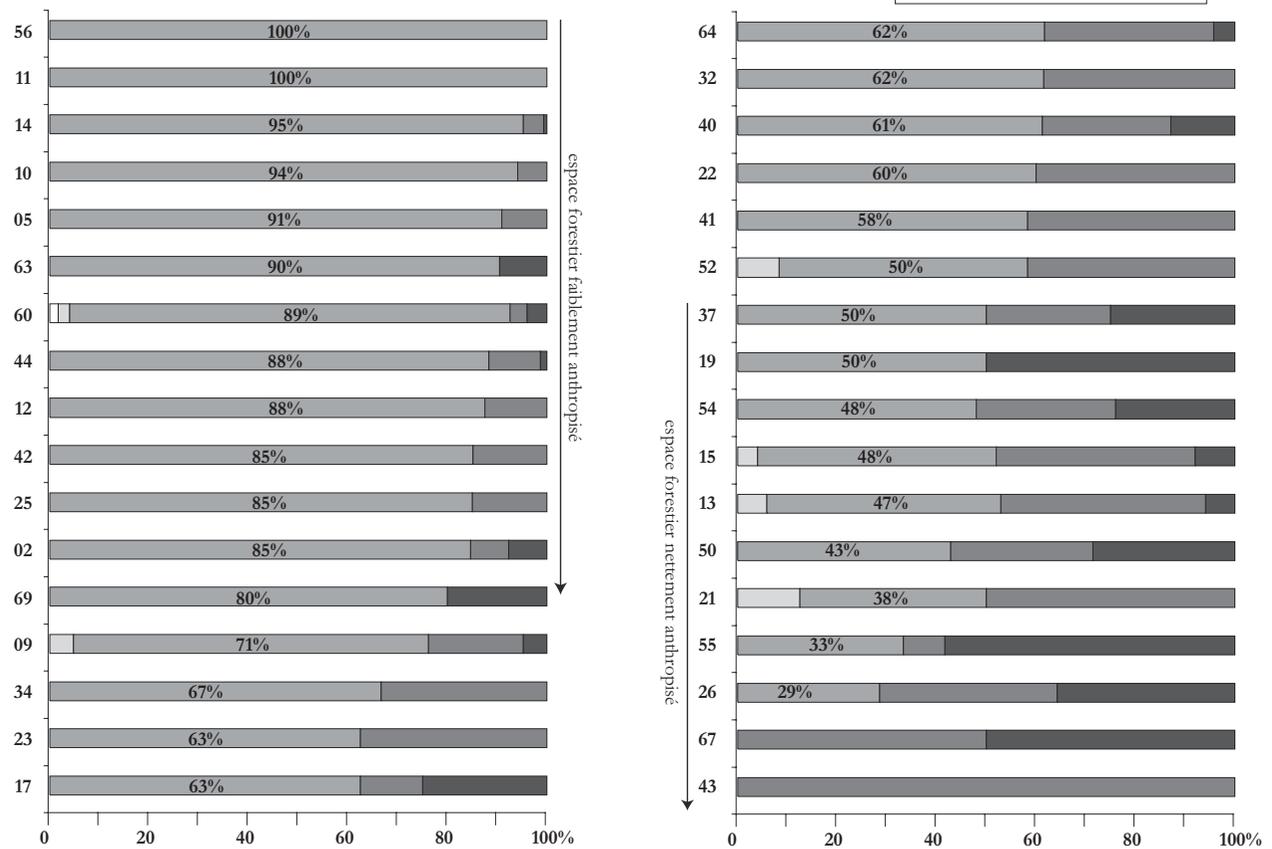
début de la croissance et, inversement, en dilatant les cerne étroits terminaux. La courbure du corridor est modulée en changeant le degré des polynômes de régression afin de s'adapter à la diversité des peuplements forestiers représentés et à l'activité de l'homme dans l'environnement immédiat des arbres. Le résultat aboutit à un indice de croissance qui conserve le potentiel informatif de la série de cerne. Une des propriétés principales de cette méthode de correction des largeurs de cerne est de maintenir une partie du signal de moyenne fréquence que l'on extrait par un lissage polyno-

mial : les reprises et les chutes de croissance – mouvements s'effectuant sur plusieurs années – de la série d'origine ne sont pratiquement pas perturbées. Le résultat obtenu permet d'engager des calculs efficaces de corrélations (Durost, 2005 ; Lambert, 2006). Ces derniers sont le coefficient de corrélation (r) et la valeur t de Student qui permettent de calculer une probabilité théorique de la sécurité du résultat.



Méthode du corridor

pourcentages par site des degrés de polynôme de calibration par site



© Durost S., Rossignol B., Lambert G.N., Bernard V., 2008-4

Figure 4 : Correction des largeurs de cernes par la méthode du Corridor, calcul d'un signal de moyenne fréquence corrigé et expression du taux de complexité de la correction site par site.

La correction se fait en plusieurs étapes : a – écrêtage des plus grands cernes, b – calcul d'un « corridor » souple à partir de trois polynômes, c – rectification du corridor et de son contenu puis lissage polynomial de la série obtenue. La complexité de la correction s'exprime par le degré du polynôme. Plus ce degré est élevé, plus la croissance est perturbée, plus on suspecte, parmi d'autres facteurs erratiques, la présence de l'homme.

Figure 4: Dendrochronological data calibration by the corridor method. Middle frequency signal computation. Complexity ratio of the calibration for each archaeological settlement.

3. DYNAMIQUE DE CROISSANCE DU CHÊNE AU 1^{ER} SIÈCLE AV. J.-C. ET VARIATIONS CLIMATIQUES DE COURTE DURÉE

Éléments pour une typologie de la croissance

L'analyse de l'intégralité des corrélations obtenues entre les 34 moyennes de site permet de dégager pour chaque site un panel spécifique d'affinités dendrochronologiques. Le seuil déterminant ces relations privilégiées est fixé à une valeur de sécurité de la corrélation supérieure ou égale à 0,9999. Cette méthode conduit, pour chaque site, à connaître quelles chronologies du corpus lui ressemblent le plus. La diversité de l'aspect et de l'étendue des faisceaux de corrélation suggère une dynamique des facteurs régionaux qui influencent la croissance du chêne (Fig. 5). On remarque que la croissance moyenne de certaines populations d'arbres supposés avoir vécu à plusieurs centaines de kilomètres de distance présente des similitudes importantes, en même temps que des différences marginales évoquent un zonage du signal. Ainsi les 34 moyennes de sites et les 866 individus qui les composent sont ventilés en quatre ensembles (Fig. 6). La construction de ces groupes a été déterminée, par agglomérations successives des chronologies de site, avec la contrainte pour chacune d'elles qu'elle obtienne, au minimum, avec l'ensemble des constituants du groupe 70 % de corrélations avec une sécurité supérieure ou égale à 0,9999. Par cette méthode itérative, basée uniquement sur la qualité des synchronismes entre chronologies, une typologie de la croissance du chêne au 1^{er} siècle av. J.-C. est ici proposée sous la forme de quatre types se distribuant d'Est en Ouest. Cette répartition découpe le territoire en bandes d'environ 200 kilomètres de large. Du Nord au Sud, ces types intègrent des sites distants de plus de 500 kilomètres indiquant pour cette portion du territoire – les trois-quarts Nord de la France – que la latitude, à cette échelle, n'est *a fortiori* pas une contrainte déterminante dans la structure du signal de moyenne fréquence de la croissance. Les marges de chacune des zones construites sont obtenues par les éléments les plus périphériques qui les composent, mais il faut garder à l'esprit qu'elles n'en constituent pas les limites réelles. Cette division du territoire par la dynamique de la croissance du chêne pose d'emblée la question de l'information contenue dans les largeurs de cerne. En effet, la superficie couverte par chacune de ces zones comprend une variété de situations géologiques et pédologiques, un relief changeant et une futaie dans toute sa diversité. Comme d'autres auteurs l'ont déjà exposé à l'échelle de l'Europe tempérée (Pilcher *et al.*, 1996), l'homogénéité de la croissance du chêne sur de si grands espaces ne peut s'expliquer que par les variations générales du cli-

mat. Dès lors pour chacun des quatre types, la dynamique de la croissance obtenue par la moyenne de toutes les populations constituant le groupe synthétise au mieux la réponse du chêne aux stimuli climatiques de la zone délimitée. Sur les cent ans de chronologies analysées, cette typologie montre des profils de croissance différents avec toutefois huit moments synchrones où la croissance de l'ensemble des chênes est ralentie. Cependant cette régression de la croissance marque plus ou moins chaque type (Fig. 6). Nous émettons alors l'hypothèse que des événements météorologiques de forte ampleur et persistants pendant la saison de végétation ont ainsi contraint la croissance de près d'un millier d'arbres, échantillon qui représente en réalité une population de plusieurs centaines de milliers. Ces événements s'inscrivent dans la variabilité interannuelle du climat – ou plutôt de la météorologie – comme autant de marqueurs temporels et géographiques de situations atmosphériques théoriquement identifiables (Neuwirth *et al.*, 2007).

Éléments pour une géographie annuelle du climat

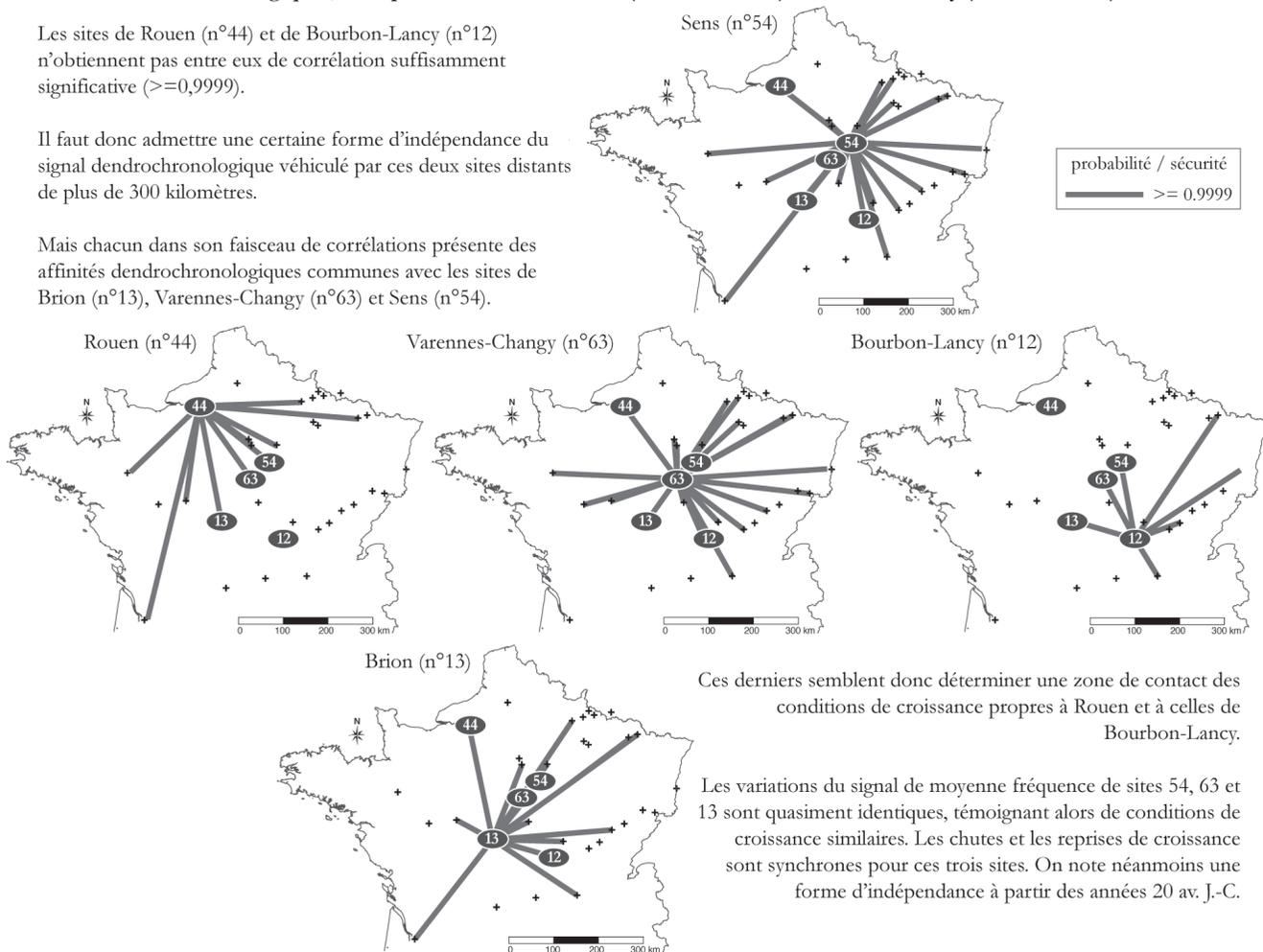
Afin de caractériser ces situations, tant dans l'espace que dans le temps, nous avons eu recours à une notion ancienne et largement utilisée en dendrochronologie : l'année caractéristique (Kelly *et al.*, 1989 ; Romagnoli et Codipietro, 1996). La notion d'année caractéristique (event year), dérivée de celle d'année remarquable (pointer year), est, en fait, à l'origine une notion germanique (Huber et Giertz-Siebenlist, 1969). Une année remarquable est une année marquée par un cerne exceptionnellement grand ou petit dans une série. L'idée est de retrouver ces années particulières d'arbre en arbre. Cependant après avoir trouvé un certain nombre de synchronismes, il apparaît que ces années remarquables, au détail, ne se reproduisent pas systématiquement sur tous les échantillons. L'idée est alors venue de distinguer celles qui apparaissaient dans 100 % des cas, des autres vues sur une partie seulement des arbres. Les auteurs germaniques ont ensuite généralisé cette notion de répétition d'un phénomène sur un lot important d'échantillons, en chiffrant simplement, l'itération de la chute ou de la reprise de croissance, d'une année sur l'autre, sans tenir compte de l'ampleur du mouvement (pointer intervall). Ici, pour chaque site, la décision a été prise de caractériser les années qui marqueraient, soit positivement (cerne plus large que le précédent), soit négativement (cerne moins large que le précédent), au moins 70 % des arbres (Fig. 7). Ainsi, l'année caractéristique est ici une notion liée au groupe, au peuplement : plus le nombre d'échantillons observés est important, plus la signification de l'année caractéristique devient symptomatique d'un évé-

Affinités dendrochronologiques, exemple de deux sites : Rouen (Seine-Maritime) et Bourbon-Lancy (Saône-et-Loire)

Les sites de Rouen (n°44) et de Bourbon-Lancy (n°12) n'obtiennent pas entre eux de corrélation suffisamment significative ($>=0,9999$).

Il faut donc admettre une certaine forme d'indépendance du signal dendrochronologique véhiculé par ces deux sites distants de plus de 300 kilomètres.

Mais chacun dans son faisceau de corrélations présente des affinités dendrochronologiques communes avec les sites de Brion (n°13), Varennes-Changy (n°63) et Sens (n°54).



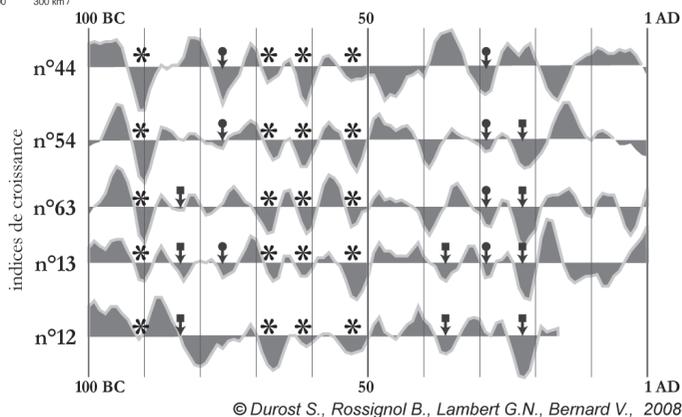
Ces derniers semblent donc déterminer une zone de contact des conditions de croissance propres à Rouen et à celles de Bourbon-Lancy.

Les variations du signal de moyenne fréquence de sites 54, 63 et 13 sont quasiment identiques, témoignant alors de conditions de croissance similaires. Les chutes et les reprises de croissance sont synchrones pour ces trois sites. On note néanmoins une forme d'indépendance à partir des années 20 av. J.-C.

Par contre, les sites de Rouen (n°44) et de Bourbon-Lancy (n°12) présentent des profils très contrastés. Mais chacun de ces deux sites montrent à des moments précis des similitudes dans leur profil de croissance avec les gisements 54, 63 et 13.

Ces diverses relations dendrochronologiques posent naturellement des questions quant à la nature de l'information enregistrée dans les largeurs de cernes.

signal visible à Rouen (n°44)
 signal visible à Bourbon-Lancy (n°12)
 signal commun au 5 sites



© Durost S., Rossignol B., Lambert G.N., Bernard V., 2008-5

Figure 5 : Affinités dendrochronologiques exprimées par les corrélations. L'évolution spatiale des facteurs qui influencent la croissance du chêne est perceptible par le glissement, ici d'Ouest en Est, du jeu des corrélations entre les sites. Les sites 54, 63, et 13 montrent comment évolue le signal observé à Rouen (n° 44) pour se transformer dans le signal de Bourbon-Lancy (n° 12).

Figure 5: Dendrochronological similarities expressed by correlations.

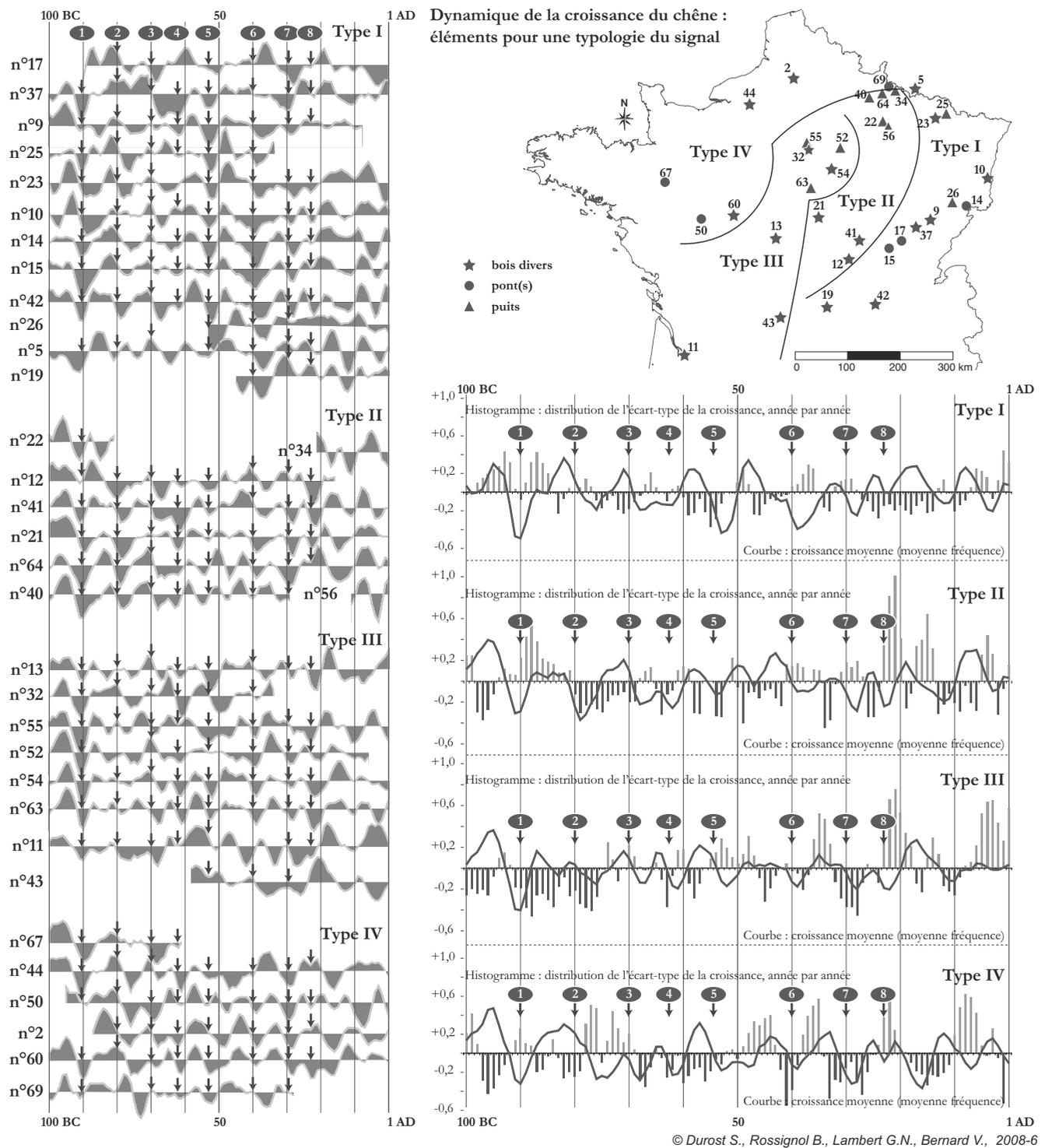


Figure 6 : Dynamique de la croissance du chêne, éléments pour une typologie du signal.

L'évolution spatiale du signal de moyenne fréquence du 1^{er} siècle av. J.-C. est répartie, dans une première approche, en quatre grands ensembles ou types de chronologie, classés d'Est en Ouest et numérotés de I à IV. Huit moments marqués par une chute générale de la croissance sont à noter.

Figure 6: Oak growth dynamic: elements for a signal typology.

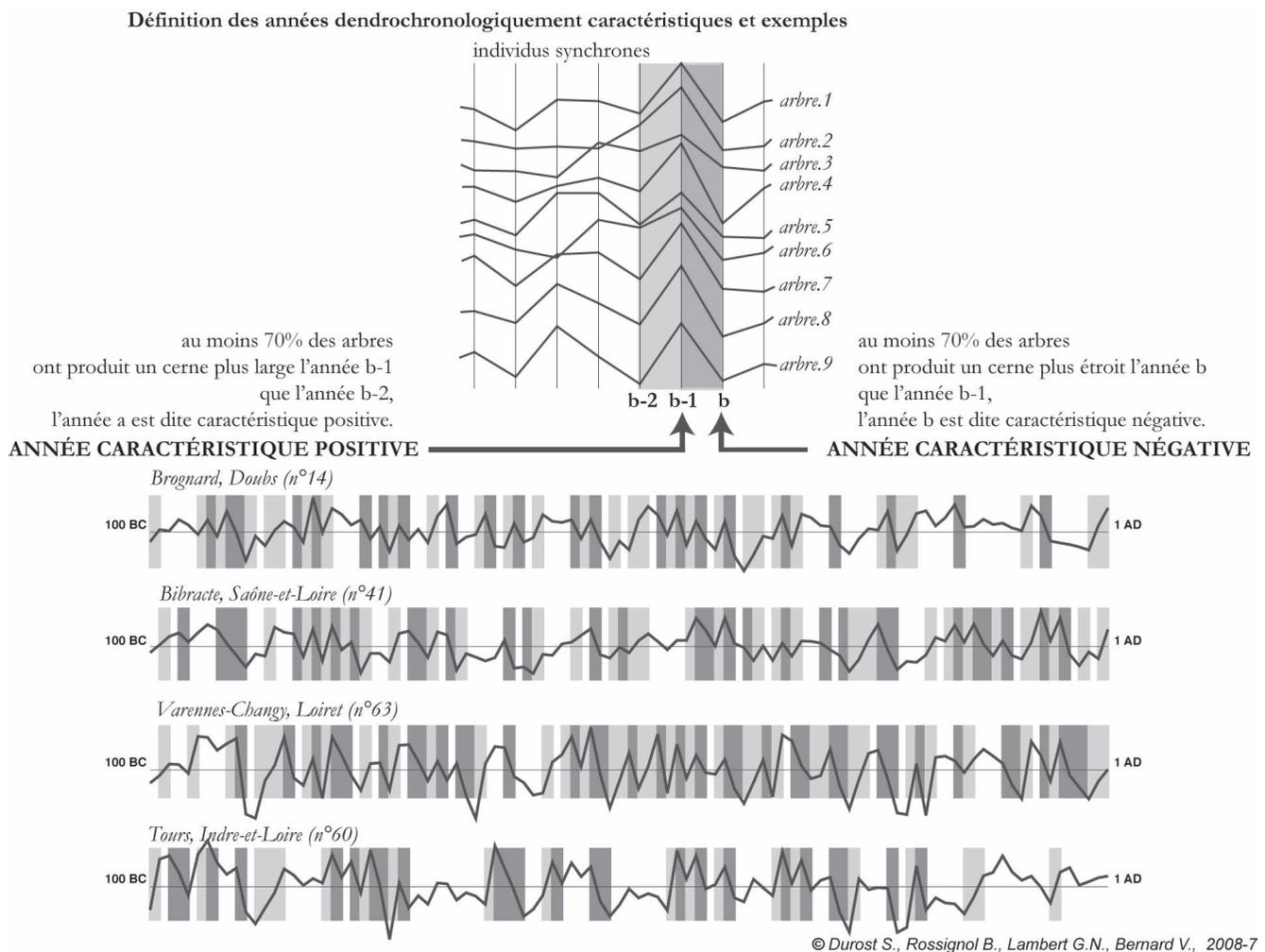


Figure 7 : Définition des années caractéristiques et exemples.

Une année caractéristique est une année qui a marqué le cerne d'une majorité d'arbres dans un secteur donné. Ces années se divisent en deux catégories, année caractéristique favorable à la croissance dite positive et année caractéristique défavorable (négative).

Figure 7: Definition of the pointer intervals and samples.

nement fort qui a affecté les arbres. Ces années particulières dans la vie d'un peuplement ont été déterminées pour chacune des 34 populations comme le montrent les exemples de la figure 7. Or certaines de ces années caractéristiques sont visibles sur tout ou partie du corpus témoignant alors d'événements dont la signification dépasse largement le cadre du secteur ou de la région et sont, par conséquent, le produit de facteurs climatiques cohérents affectant de larges espaces. Sur l'ensemble de la France tempérée, au 1^{er} siècle av. J.-C, chacun des quatre types de croissance identifiés précédemment est maintenant décrit par l'ensemble des années caractéristiques (positives et négatives) des populations qui le constituent (Fig. 8 et 9). Pour chaque type, la liste des années caractéristiques est filtrée en deux étapes. La première ne conserve que les années marquées dans au moins

50 % des sites, puis la deuxième élimine du résultat obtenu celles qui n'apparaissent pas simultanément dans deux types immédiatement voisins. Le filtrage livre 52 années particulières, positives (reprises de croissance) et négatives (chutes de croissance) confondues. Parmi les 31 années favorables, 10 sont communes à l'ensemble de la zone étudiée (Fig. 8). Remarquons que le type IV qui décrit le secteur le plus à l'Ouest ne porte pratiquement plus de signal positif dans le dernier quart du siècle. Nous avons déjà évoqué la possibilité d'un effet anthropique de large ampleur qui altérerait, dans le cerne, l'impact climatique. Cette hypothèse reste à discuter (Durost et Lambert, à paraître). Parmi les 20 années défavorables à la croissance, sept sont communes à l'ensemble de la zone étudiée (Fig. 9). On note que le graphe donné par ces années-là n'est pas distribué comme le précédent.

croissance favorisée

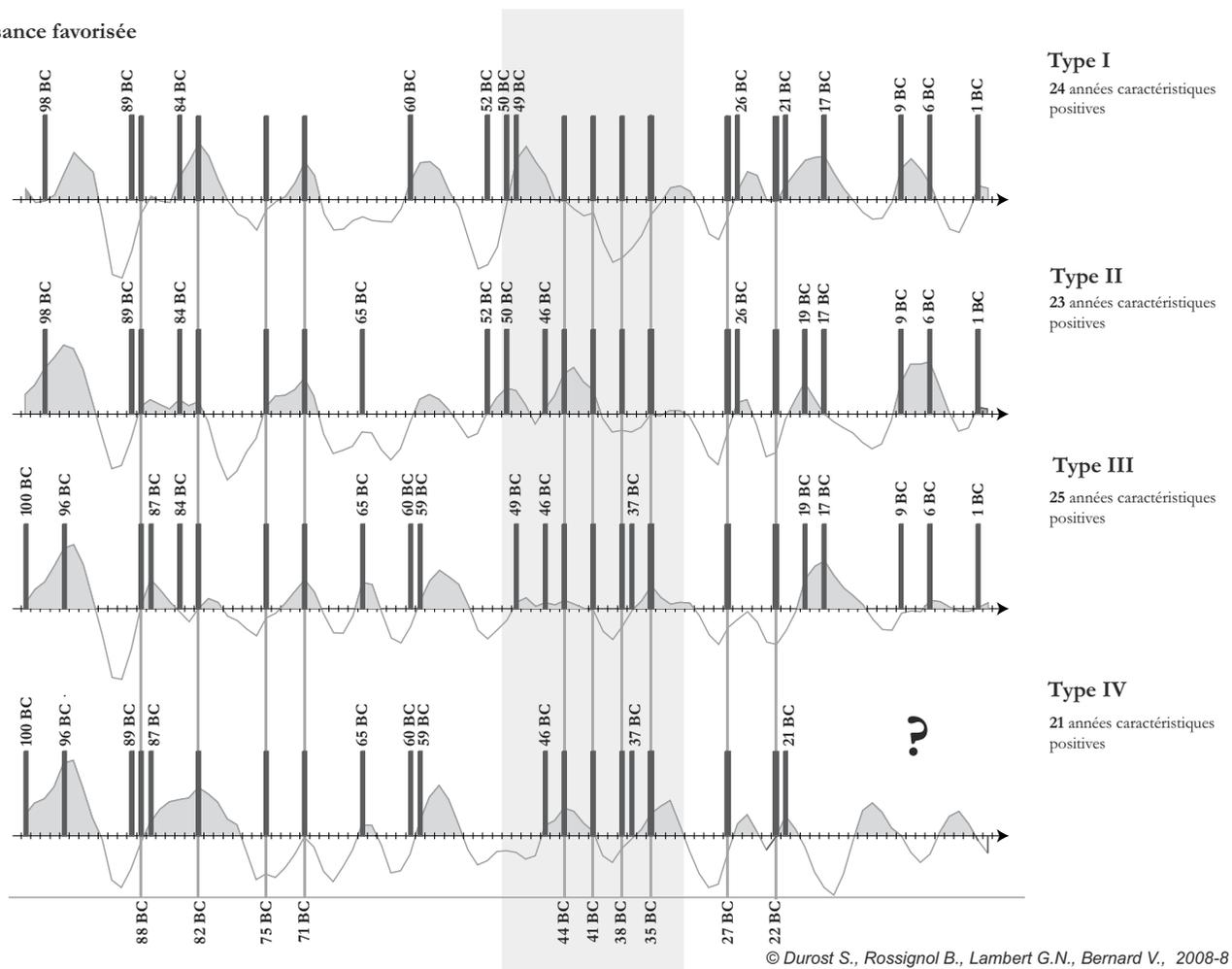


Figure 8 : Types de croissance et années caractéristiques positives constitutives de ces types.

Sur l'ensemble de la France tempérée, au 1^{er} siècle av. J.-C., quatre types de croissance ont été identifiés. Chaque type est caractérisé par une succession propre d'années caractéristiques. Celles qui sont communes à tous les types participent du signal global, tandis que les autres précisent des nuances régionales.

Figure 8: Tree growth types and positive pointer intervals of these types.

Cela suggère une alternance de moments équilibrés dans lesquelles les reprises sont susceptibles de compenser les chutes de croissance et des moments de déséquilibres dans lesquels l'une ou l'autre réponse de la largeur du cerne l'emporte, moments qui sont soit particulièrement favorables soit particulièrement défavorables. Un « moment d'équilibre » n'est pas forcément un indicateur de calme météorologique. Bien au contraire, un tel moment peut être marqué par une alternance de situations météorologiques contrastées qui se succèdent pendant quelques années et stimulent le cerne de façon contradictoire. Ainsi la période 50-30 av. J.-C. est marquée par une « signature » de la croissance en dents-de-scie, particulièrement bien marquée dans le type III. Le même genre de comportement de la croissance

a été observé dans la première moitié du XVI^e siècle (Huber et Giertz-Siebenlist, 1969). Cette période comprise entre 1530 et 1540, nommée « signature des vendangeurs », est interprétée comme une pause dans le processus de refroidissement du Petit Âge Glaciaire (Le Roy Ladurie, 1983; 2004). Le filtrage utilisé pour retenir les 52 années visibles au moins dans deux zones voisines, conduirait logiquement à distinguer six combinaisons géo-typologiques, mais cinq sont réellement observées. Classées d'Ouest en Est, ces combinaisons sont : A = types IV et III; B = types IV, III et II; C = types IV, III, II et I; D = types III, II et I; E = types II et I. Chaque combinaison, selon que la croissance observée pour l'année concernée est favorisée (A1, B1, C1, D1 et E1) ou défavorisée (A2, B2, C2, D2 et E2), décrit deux situa-

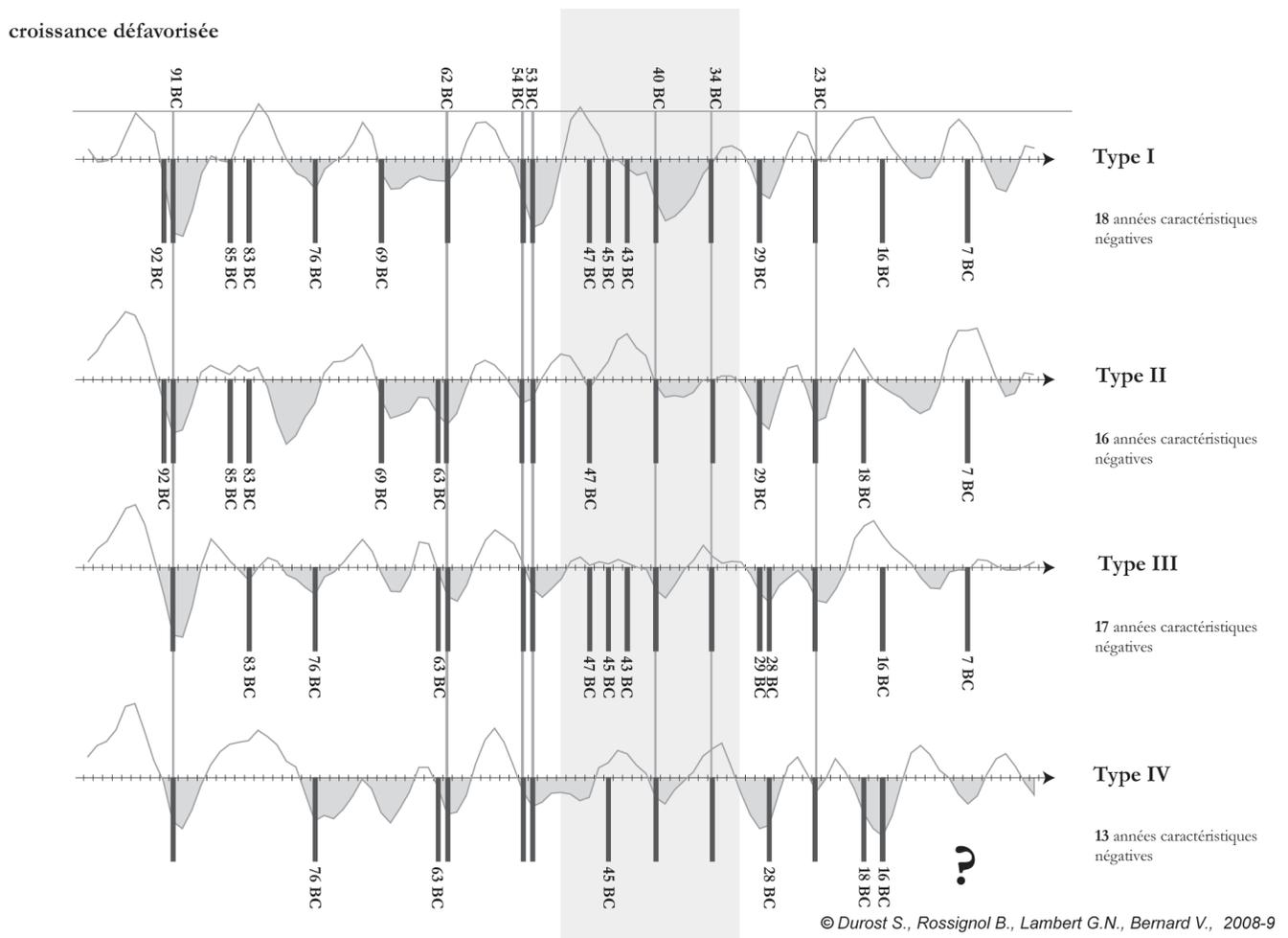
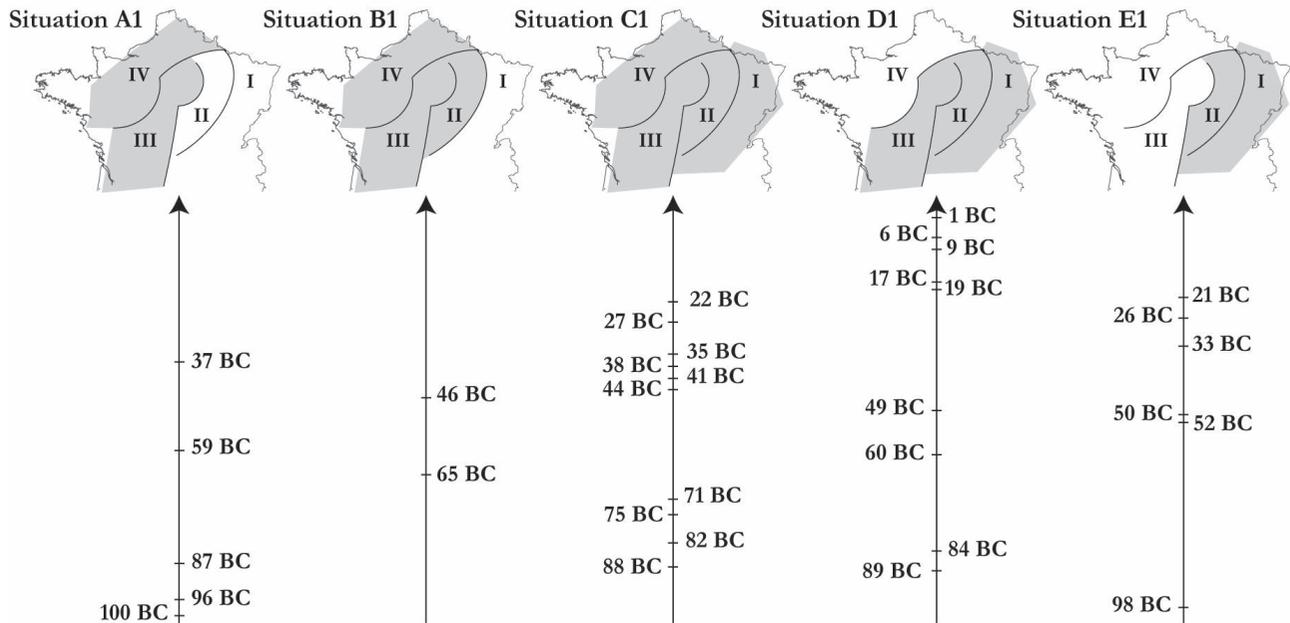


Figure 9 : Types de croissance et années caractéristiques négatives constitutives de ces types. Comparé à la figure précédente, notons que la répartition des années négatives et positives n'est pas identique.
 Figure 9: Tree growth types and negative pointer intervals of these types.

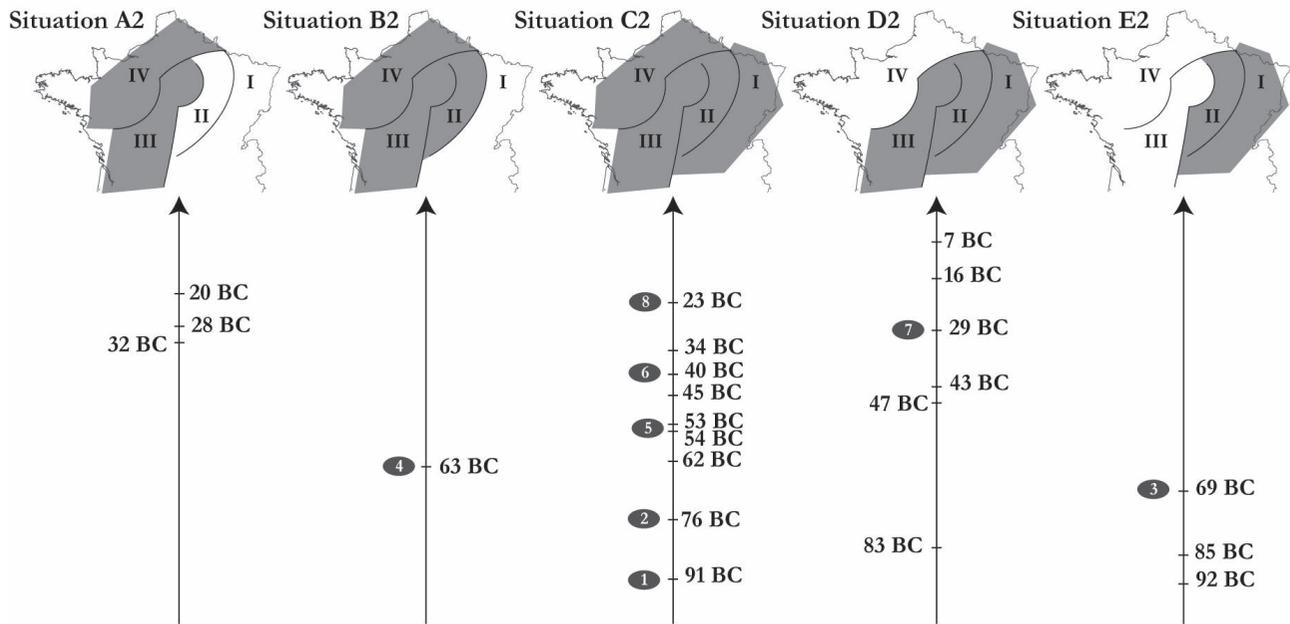
tions opposées (Fig. 10). La cartographie de ces situations permet de mettre en évidence le contraste des réponses du cerne dans l'espace. Il en résulte dix situations schématiques qui résument les différences d'état entre l'ouest et l'est. Les 52 années se distribuent inégalement dans les dix situations. Une majorité d'entre-elles se regroupent naturellement dans les situations C1 et C2 (toute la zone étudiée), car elles sont à la source du signal original qui a été construit au départ de l'analyse. Elles représentent des événements météorologiques marquants. En particulier la situation C2 évoque un déficit hydrique qui est mis en évidence par l'étroitesse exceptionnelle du cerne. Cette relation entre cerne étroit et défaut de précipitations durant la saison de végétation du chêne, en France, pour l'époque actuelle, est décrite par plusieurs auteurs à l'échelle locale (Lebourgeois *et al.*, 2004) ou régionale (Lambert *et al.*, 2005). Nous postulons que la plu-

viométrie déterminante sur la zone considérée vient du sud-ouest. Il reste alors à expliquer comment un déficit hydrique peut être visible à l'ouest et non à l'est. Ceci conduit à schématiser des positionnements théoriques de masses d'air, anticyclones et dépressions, qui détournent les masses nuageuses de telle sorte qu'il ne pleuve pas à l'ouest alors qu'il pleut à l'est. On ajoute aux paramètres de ce modèle que les cerne les plus étroits (situation C2) sont également significatifs de fortes chaleurs estivales. On aboutit alors à un jeu de combinaisons possibles de situations anticycloniques susceptibles d'expliquer, en tout ou partie, chacune des dix situations modélisées (Fig. 11). Il conviendra d'établir la nature de l'adéquation de ces situations dendrochronologiques du 1^{er} siècle av. J.-C. à celles qui sont observées dans les périodes récentes pour lesquelles nous disposons de données météorologiques instrumentales. Toutefois la figure obtenue,

Cartographie des années caractéristiques positives (croissance favorisée)



Cartographie des années caractéristiques négatives (croissance défavorisée)



© Durost S., Rossignol B., Lambert G.N., Bernard V., 2008-10

Figure 10 : Cartographie des années caractéristiques.

L'extension et le positionnement d'un impact généralisé sur le cerne permettent d'organiser les années caractéristiques en plusieurs catégories selon qu'elles touchent au moins deux régions limitrophes. Les situations annuelles donnant un cerne étroit indiquent plutôt un déficit hydrique dont on peut observer l'inégalité de la répartition d'est en ouest.

Figure 10: Pointer intervals' maps.

Hypothèses météorologiques pour chaque Situation : direction de recherche

Positions relatives dominantes des grandes masses atmosphériques pendant la période de végétation (printemps et été)

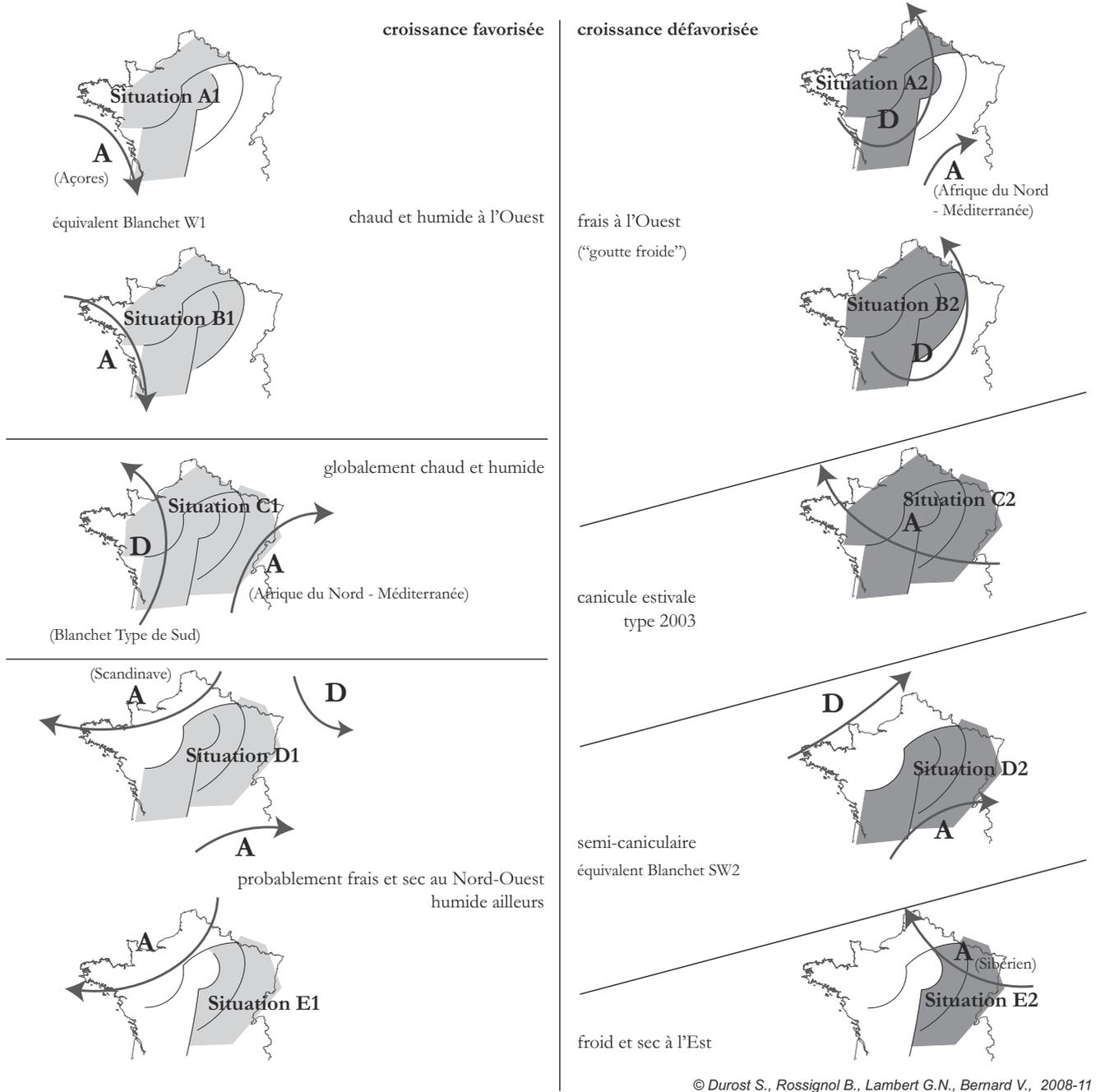


Figure 11 : Éléments pour une explication météorologique des cartes de « situations » (d'après Blanchet, 1993).

En se basant d'une part sur l'hypothèse que le déficit hydrique est le principal facteur limitant de la largeur du cerne et d'autre part sur le fait que les précipitations dominantes viennent du sud-ouest, il est possible par un jeu logique de déductions, de schématiser le fonctionnement des principales masses d'air au-dessus du territoire, anticyclones (A) et dépressions (D).

Figure 11: Elements for a meteorological explanation of the maps above (according Blanchet, 1993).

évidemment prospective, permet déjà de supposer que les situations D1, E1 (étés frais et humides) et C2, D2 (chauds et secs) identifient des années dont les conditions météo-

rologiques globales induisent des déséquilibres écologiques défavorables à la productivité des zones agricoles. Vu sous cet angle, le jeu des interactions entre les deux milieux, anthro-

pogénique et non anthropogénique, dans une temporalité courte – une ou deux années –, commence à se dessiner. Il doit être alors possible d’appréhender l’un des risques naturels qui touchaient les sociétés de la Gaule de la fin de la protohistoire et du début de l’époque romaine.

4. SOURCES HISTORIQUES ET DISCUSSION

Méthode et sources

La confrontation des hypothèses dendroclimatiques avec les sources historiques procède par étapes. Tout d’abord, il convient de rassembler des témoignages de stress climatiques et d’en évaluer la convergence avec les données dendrochronologiques. Dans un deuxième temps, étant donné que ces témoignages directs sont peu nombreux, l’historien cherche à compléter cette liste d’années particulières en remontant des conséquences aux causes dans une démarche semblable à celle du dendrochronologue. Partant d’indicateurs sociologiques, il estimera un certain nombre d’autres situations météorologiques annuelles. La vulnérabilité des sociétés anciennes aux variations climatiques est grande. Les conséquences d’une mauvaise météorologie sont multiples : problèmes frumentaires, disettes, tensions sociales, épidémies. Cette vulnérabilité agraire explique toutefois la forte réactivité de ces sociétés à des dégradations naturelles brusques. Il conviendra de tenir compte aussi de tous les facteurs non climatiques qui jouent dans ces processus dont la complexité est bien mise en valeur pour d’autres périodes (Le Roy Ladurie, 2004 ; 2006). De ce fait, la convergence des phénomènes sociaux antiques et des proxys climatiques ne permet pas de postuler un déterminisme simpliste entre les conditions naturelles et les événements d’ordre économiques, sociaux ou politiques. Pour la période et la zone considérées, les sources sont archéologiques et écrites. L’étude de l’alluvionnement d’un site, par exemple, peut fournir des indications riches sur le climat et son évolution. Mais contrairement aux données dendrochronologiques, l’exploitation de ces artefacts paléoécologiques (pollens, macrorestes végétaux, restes d’insectes, sédiments, etc.) issus de fouilles archéologiques requiert l’établissement parallèle d’une échelle chronologique, dont le pas de temps est généralement bien plus large, variable, et toujours imparfaitement délimité. Ainsi, une situation climatique peut gâcher les récoltes d’une année sans pour autant laisser de trace pérenne dans la stratification d’un site. Sauf exception, ce sera plus sur le moyen ou le long terme que la comparaison pourra jouer. Les sources écrites sont nettement plus susceptibles de nous renseigner sur une temporalité courte. Elles

sont cependant marquées par un biais important car elles ne reflètent pas tant les conditions naturelles que la perception, la mémoire, les représentations, et les comportements des sociétés passées face à ces conditions. Même si les sources écrites ne mentionnent que très ponctuellement l’existence de difficultés agraires dues à des causes météorologiques, les anciens avaient bien conscience de tels problèmes. Une littérature existait qui se préoccupait des signes du temps, de la récurrence des saisons, à partir de considérations plus ou moins empiriques, scientifiques, calendaires, ou encore astrologiques (Bruschön, 2007). Cette sensibilité aux événements météorologiques, fondée sur la capacité de comparer une année à l’autre et le sentiment de pouvoir évaluer les récoltes à l’échelle pluriannuelle (Pline, Histoire Naturelle, XVIII, IV, 16), n’appartenait pas nécessairement au domaine du mémorable. Au contraire, seuls des événements particuliers pouvaient justifier qu’ils soient notés dans un ouvrage où l’interprétation pouvait vite s’écarter de la constatation agricole ou météorologique pour se placer dans le domaine moral et politique, diminuant d’autant la crédibilité de certains témoignages (Pline, Histoire Naturelle, XVIII, IV, 19-21). Mentionnons aussi la délicate question des lieux communs de la rhétorique. La littérature antique s’est le plus souvent fortement pensée et légitimée comme mimésis des grands prédécesseurs. L’imitation des morceaux de bravoure des auteurs anciens était à la base de la formation antique. Telle description peut donc plus correspondre à une inspiration littéraire qu’à une observation factuelle. Toutefois, le bon auteur devait mettre la mimésis des oeuvres au service de la mimésis du vrai, et reprendre un lieu commun précisément parce qu’il correspond bien à la situation qui était alors vécue (Pernot, 2005). Pour chaque observation météorologique, il faut se demander dans quel type de texte elle s’insère, quelle justification elle peut trouver, à quelle observation elle peut correspondre. Malgré son hétérogénéité, la documentation écrite a pour avantage d’être très bien étudiée (Duval, 1971). Si Diodore de Sicile et Strabon nous ont laissé des descriptions de la Gaule à l’époque considérée, ils dépendent fortement des écrits de Poseidonios d’Apamée qui la visita au début du siècle. En recopiant très largement ce dernier auteur, Diodore de Sicile dresse le portrait du climat gaulois tel qu’un Grec ou un Romain peut le percevoir et le restituer à ses compatriotes plusieurs décennies avant l’arrivée de César. La Gaule est le domaine du froid. Ce sont l’hiver et son abondance de neige, les fleuves gelés et leurs traversées à pied sec qui impressionnent le voyageur méditerranéen (Diodore de Sicile, V, 25-27). Les échos du témoignage de Poseidonios sont importants en ceci qu’ils nous livrent les lieux communs que l’on peut attendre de la part d’un auteur ancien écrivant à propos du climat gaulois.

Le cœur de notre documentation est le récit de la Guerre des Gaules par César. Il nous ouvre une fenêtre très précise sur le milieu du premier siècle avant notre ère. N'échappant pas à son époque, César a certainement dû lui aussi puiser dans Poseidonios (Brunaux, 2006), mais l'examen de son témoignage soulève la question, fort discutée, de la déformation des faits à laquelle il peut se livrer pour servir ses fins politiques (Krebs, 2006). Rappelons que tout phénomène météorologique peut d'abord être vu par les Romains comme signe de la volonté des dieux, message à interpréter et qui ne manquait pas d'être instrumentalisé, parfois *a posteriori*, à des fins politiques. Le récit de la catastrophique expédition de Crassus, contemporaine des actions de César en Gaule en est un bon exemple. Orages et nuées annoncent le destin funeste des troupes (Plutarque, Crassus, XIX, 4-5). Mais si l'on croit certains de ses détracteurs, César, ayant suffisamment confiance en sa fortune, pouvait mépriser ces signes (Lucain, La Pharsale, V, 542-677). Pour aucun autre moment de la période considérée, nous ne possédons de sources aussi riches et précises que le texte de César. Une fois la Guerre des Gaules refermée, seules des notations allusives sont disponibles dans la correspondance de Cicéron, les résumés de Tite-Live, les vies de Suétone. Le *Bellum Gallicum* offre plusieurs observations de types météorologiques bien datées et bien localisées, ainsi qu'un ensemble riche et vaste d'informations sur la vie politique et sociale des civitates gauloises entre 59 et 51 av. J.-C. L'occasion rare d'une rencontre entre un marqueur climatique indépendant et le témoignage d'une source antique est offerte. Nous proposons de revenir ailleurs sur les détails des événements, il s'agira ici seulement d'indiquer les principales rencontres des deux types de documents, et les perspectives qui s'en trouvent ouvertes.

Discussion

Les notations météorologiques du *Bellum Gallicum* sont en général de signification très ponctuelle, par exemple de fortes pluies chez les Ménapes et les Morins durant l'automne 56 (César, Guerre des Gaules, III, 29). Mais une observation de César nous semble avoir une valeur bien plus forte. Plus générale que les autres, elle décrit en effet un contexte climatique à l'échelle d'une saison et d'un vaste espace, au moins toute la Gaule centrale et la Gaule Belgique. Elle est donc directement susceptible d'être confrontée aux données dendroclimatologiques en notre possession. Au moment de décrire le schéma d'hivernage de ses troupes pour l'hiver 54-53 av. J.-C., César indique que cette année-là la récolte de blé fut maigre en Gaule en raison de la sécheresse, le contraignant alors à disperser ses troupes (César, Guerre des

Gaules, V, 24 : « comme cette année en Gaule le blé était venu avec moins d'abondance à cause de la sécheresse (quod eo anno frumentum in Gallia propter siccitates angustius provenerat) »). Pourtant peu coutumier de notations sur le temps qu'il fait, nous disposons en plus du témoignage de Cicéron à propos de chaleurs exceptionnelles et d'une extrême sécheresse en Italie pour la même année 54 (Cicéron, Correspondance, t. III, édition et traduction L.A. Constans, C.U.F., Paris, 1940, Ad Q. fr. III, 1 = CXLV, pp. 82-88 : « J'ai réparé les fatigues des grandes chaleurs (nous n'avons pas souvenir d'en avoir vu de pires) dans ma villa d'Arpinum en jouissant des agréments de la rivière (*Ego ex magnis caloribus [non enim meminimus maiores] in Arpinati summa cum amoenitate fluminis me refeci*) » ; « j'y ai vu Mescidius et Philoxène, et l'eau qu'ils amenaient d'un point assez proche de la villa : elle coulait vraiment bien, surtout étant donné l'extrême sécheresse (*maxima siccitate*). » Peut-on faire confiance ici à César ? Il pouvait certes avoir d'autres raisons de disperser ses troupes (Reddé, 2003). Mais il ne pouvait guère arguer pour cela d'une situation fictive. À Rome, les moyens ne manquaient pas de contrôler la base factuelle de ses affirmations. En Italie, lorsque Cicéron mentionne la sécheresse de 54 c'est précisément dans une lettre à son frère qui sert en Gaule sous les ordres de César. Notons encore que la nécessité de ravitailler une armée aussi importante que celle qui se trouvait sous ses ordres était un défi logistique sans doute presque quotidien qui reposait en grande partie sur ses alliés gaulois. La qualité et l'abondance des moissons étaient pour César des informations stratégiques essentielles, et cela à l'échelle d'une grande partie de la Gaule. Précisément pour l'année 54 av. J.-C., la dendrochronologie suggère une forte sécheresse. La convergence du texte antique et du marqueur dendroclimatique autorise l'historien à les faire jouer l'un avec l'autre. Bien que les cultures, notamment les céréales, ne répondent pas systématiquement à la météorologie de la même façon que le chêne, il y a des rencontres entre les deux réponses. La situation dendrotypologique C2, à laquelle appartient l'année 54 av. J.-C., en est l'illustration. Dans ce cas, la démarche dendrochronologique et la démarche historique se confirment mutuellement. Il est donc raisonnable d'accepter l'idée que les difficultés de ravitaillement ont joué un grand rôle dans les opérations de l'année 54-53 av. J.-C. En offrant un élément de contexte jusqu'alors inédit aux campagnes de César en 54 et 53, les cartes tracées ici appellent à une relecture du texte césarien et à reconsidérer les interprétations existantes des événements de la fin de la guerre des Gaules, sinon pour les récuser, au moins pour les nuancer ou les enrichir d'éléments nouveaux. Par ailleurs, l'année 53 ne fut pas bonne non plus (Fig. 10). Quoique légèrement moins marqué, le stress climatique est

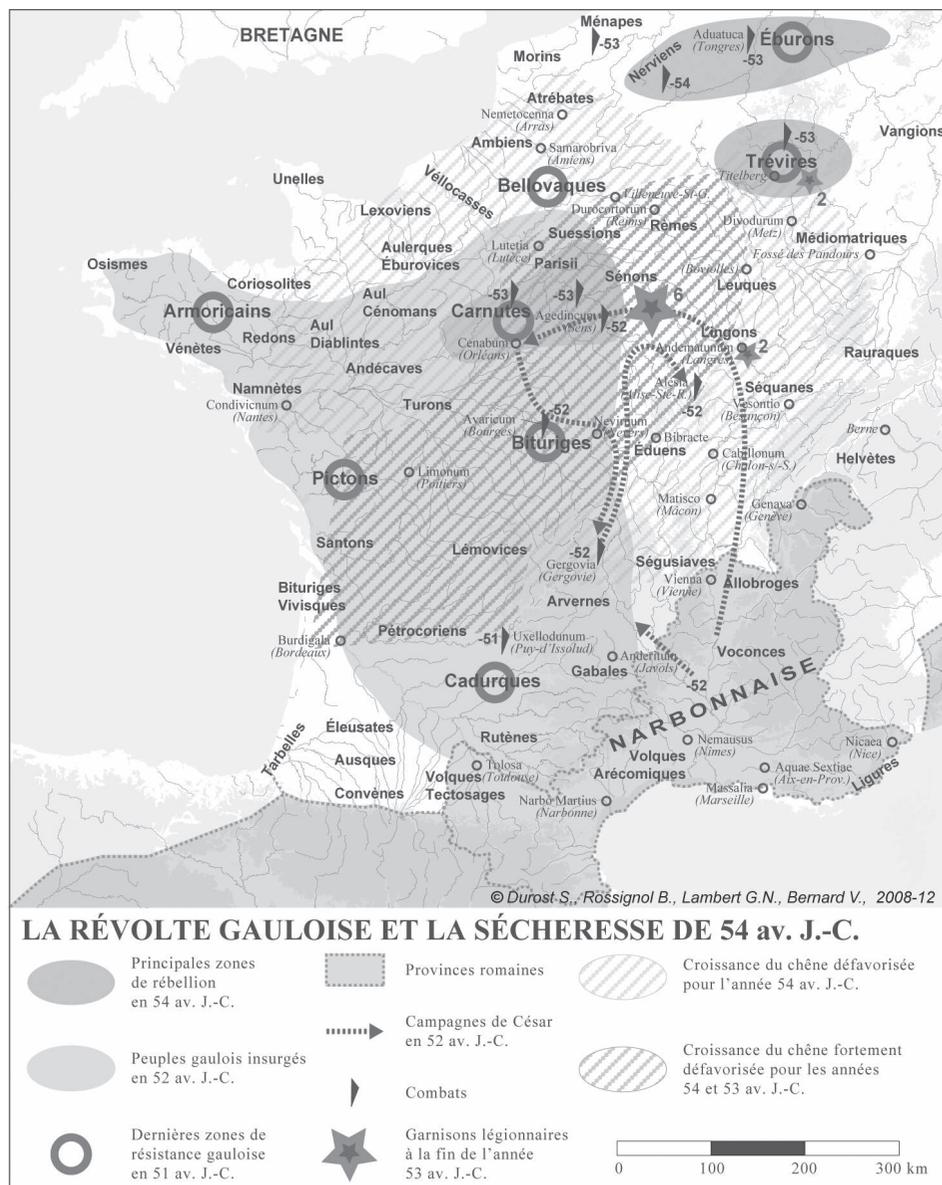


Figure 12 : Situations dendrotypologiques et militaires en 54 et 53 av. J.-C.

L'année 54 av. J.-C. est marquée par une très forte sécheresse dont l'impact maximum est visible sur les plaines de Bourgogne, de Champagne, et d'Île-de-France. L'année 53 av. J.-C., légèrement moins marquée, présente la même répartition spatiale du stress.

Figure 12: Dendrochronological and military maps for the years 54 and 53 B.C.

réparti sensiblement de la même façon que l'année précédente. Une conclusion semble s'imposer. Plusieurs des grandes cités de la Gaule centrale ont dû vivre une deuxième année de disette aggravée par les prélèvements des troupes romaines. La comparaison des situations dendroclimatologiques de 54 et de 53 avec les mouvements de César, les zones de tensions politiques et les lieux de garnison de ses soldats sont alors riches en enseignements. (Fig. 12). Nous constatons, en particulier, que les peuples les plus importants qui se trouvent au cœur des difficultés militaires et politiques de César entre 54 et 51 ont leur territoire dans les zones où le stress climatique est bien attesté en 54 et 53 av. J.-C., en particulier les Carnutes, les Sénons, les Trévires et les Éduens. La présence d'un important personnage chargé de la logistique

frumentaire des armées césariennes parmi les victimes du massacre d'Orléans au début 52 (César, Guerre des Gaules, VII, 3 : « *honestum equitem romanum, qui rei frumentariae iussu Caesaris praeerat.* » prend un sens nouveau, ainsi que l'indication de pillages de convois ou de stocks de blé chez les Éduens (César, Guerre des Gaules, VII, 42 et 55). La concentration de six légions chez les Sénons (César, Guerre des Gaules, VI, 44) en pleine zone de stress climatique se répercuta sans doute par des demandes accrues en ravitaillement aux peuples de l'axe rhodanien et de l'axe ligérien. Ravitaillements qui ont eu probablement à circuler par la cité des Éduens ou par la cité des Carnutes et le port d'Orléans (*Cenabum*). Des facteurs d'ordre très concrètement alimentaire ont donc pu jouer un rôle dans les événements

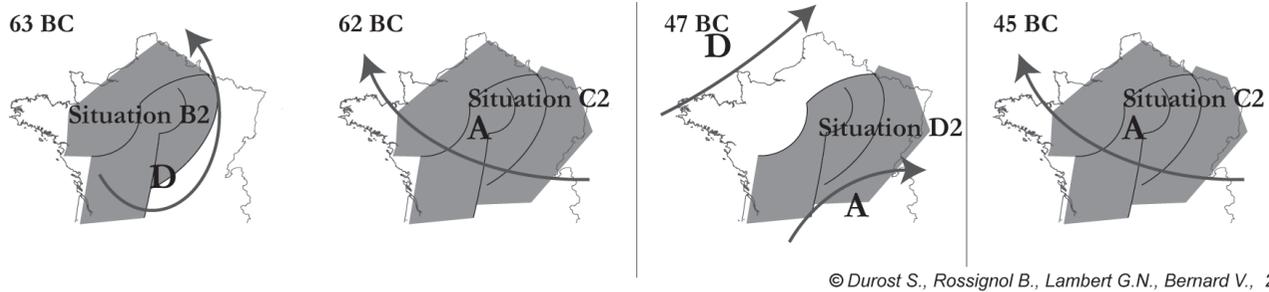


Figure 13 : Cartes détaillées des années caractéristiques susceptibles d'être mises en relation avec les informations historiques et archéologiques.

Figure 13: Detailed maps of dendrochronological event years usefull in comparisons with historical and archaeological data.

de 52 av. J.-C., en particulier le massacre d'Orléans et la défection des Éduens. La pression de l'armée romaine sur les civitates gauloises fut d'autant plus forte dans ces années que les conditions naturelles avaient été défavorables. Il faudra désormais en tenir compte pour écrire l'histoire de cette période. Les conséquences de ces mauvaises années se font sentir longtemps, car, en nombre d'endroits, les dévastations occasionnées par les mouvements militaires de l'année 52 ne purent sans doute pas permettre une récupération cette année-là, même si le temps y fut plus clément.

5. CONCLUSION

Bien qu'après 51 av. J.-C., aucune autre source textuelle n'offre des données météorologiques en abondance, il est envisageable, à partir de données sociologiques, de soulever, avec le concours de la dendrochronologie, la question d'autres périodes de difficultés. Les occurrences de la situation C2 du modèle spatial dendrochronologique sont des années auxquelles nous devons accorder de l'attention (Fig. 13). L'analyse historique doit prendre en compte le fait que les conséquences d'une météorologie désastreuse peuvent s'étendre sur plusieurs années et provoquer des troubles, éventuellement différés. Ainsi l'année 47 av. J.-C. a probablement connu une sécheresse estivale qui précède une importante, mais très mal connue, révolte en Gaule, celle des Bellovaques (Tite Live, *Periochae*, CXIV : « *Brutus legatus Caesaris in Gallia Bellovacos rebellantes proelio vicit.* »). Les possibles conséquences agricoles du stress climatique dont témoigne l'année 45 eurent-elles un rôle important dans les tensions des années 44 et 43 av. J.-C., essentiellement connues par la correspondance de Cicéron, et dont au demeurant l'extension exacte nous échappe (Cicéron, *Ad fam.*, X, 8 et 10; Reddé *et al.*, 2006)? Quelques-uns des troubles qui agitèrent la Gaule dans les années qui suivirent

le départ de César ont donc pu avoir des causes en partie frumentaires liées aux conséquences d'événements climatiques. De même, il est possible de songer à des liens entre ce que nous montrent les cartes des années 63-62 av. J.-C. et les conflits entre cités gauloises qui débouchèrent sur la défaite des Éduens et l'ambassade de Diviciac à Rome en 61 av. J.-C. Ces observations, qui croisent données dendrochronologiques et sources littéraires antiques, pourraient être discutées dans un cadre plus large qui intègre les causes des perturbations météorologiques supposées. Une étude intéressante suggère le rôle du volcanisme dans la perturbation climatique de 54-52 av. J.-C. (Zielinski, 1995). L'intégration d'autres proxys dans le tableau des données est évidemment intéressante, mais demande un travail de préparation (Rossignol et Durost, à paraître). Mais déjà, l'apport de la dendrochronologie à l'histoire nous semble significatif quant à ce moment clé de la conquête de la Gaule.

Remerciements

Université de Franche-Comté, UMR 6249, laboratoire de Chrono-Environnement, Besançon, France; Université de Rennes I, UMR 6566, Civilisations Atlantiques et Archéosciences, Rennes, France; Université Aix-Marseille, UMR 6116, Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie, Aix-en-Provence, France; Centre européen d'archéologie du Mont-Beuvray, Glux-en-Glenne, France; Musée d'Archéologie de Neuchâtel, Suisse; Dendronet, Bohlingen, Allemagne; CEDRE, Besançon.

Bibliographie

- BERNARD (V.), 1998.** *L'Homme, le Bois et la Forêt en France du Nord du Méolithique au Haut Moyen-Age*, BAR International series, Hedges, Oxford.
- BLANCHET (G.), 1993.** Le climat de Lyon et sa région, *Bull. Mens. Sté Linnéenne de Lyon*, p. 247-264.
- BRUNAUX (J.-L.), 2006.** *Les Druides, des philosophes chez les barbares*, Paris, Seuil.
- BRUSCHÖN (C. W.), 2007.** *Theophrastus of Eresus, On weather signs*, ed. by D. Sider and C. W. Bruschön, Brill, Leiden-Boston.
- COOK (E.), BRIFFA (K.-R.), SHIYATO (S.), MAZEPA (V.) et JONES (P.-D.), 1990.** Data analys, in Cook (E.) et Kairiukstis (L. A.) (dir.), *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental Sciences*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 97-162.
- DOUGLASS (A. E.), 1914.** A method of estimating rainfall by the growth of trees, in Huntington E. (dir.). *The Climatic Factor*. Carnegie Inst. Wash. Publ., (192), p. 101-122.
- DOUGLASS (A. E.), 1921.** Dating our prehistoric ruins, *Natur. Hist.*, 21(1), p. 27-30.
- DUROST (S.), 2005.** *Dendrochronologie et dendroclimatologie du 2^e âge du Fer et de l'époque romaine dans le Nord et l'Est de la France. Datations, système de références et modélisations*, Thèse de doctorat, Univ. de Franche-Comté, France.
- DUROST (S.) et LAMBERT (G.-N.), 2007.** Révision dendrochronologique du Nord de la France à l'âge du Fer et au début de l'époque romaine, in Barral (P.), Daubigney (A.), Dunning (C.), Kaenel (G.), 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*, Actes du XXIX^e colloque international de l'AFEAF, Bienne, 5-8 mai 2005, volume 1. Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté, Annales Littéraires 826, série « Environnement, sociétés et archéologie », (11), p. 19-36.
- DUROST (S.) et LAMBERT (G.-N.), à paraître.** La forêt en Touraine avant et après la conquête romaine : un espace domestiqué? Bois du temple, rue Émile Zola à Tours (F-37, Indre-et-Loire), in Actes du XXXI^e colloque de l'AFEAF, Chauvigny, 17-20 mai 2007.
- DUVAL (P.-M.), 1971.** *La Gaule jusqu'au milieu du V^e siècle. Les sources de l'histoire de France des origines à la fin du XV^e siècle*. I, d'A. Molinier, 2 vol., Picard, Paris.
- GIRARDCLOS (O.), 1999.** *Dendrochronologie du chêne (Quercus robur, Quercus petraea), influences des facteurs stationnels et climatiques sur la croissance radiale, cas des sols hydromorphes et des climats atlantiques. Applications paléo-écologiques aux bois subfossiles du marais de Brière (Loire-Atlantique)*, Thèse de doctorat, Univ. de Franche-Comté, France.
- GUIBAL (F.), LAMBERT (G.-N.) et LAVIER (C.), 1991.** Application de trois tests de synchronisation à trois types de données, *Dendrochronologia* (1991-9), p. 193-206.
- HUBER (B.) et GIERTZ-SIEBENLIST (V.), 1969.** Unsere tausendjährige Eichen-Jahring-chronologie durchschnittlich 57 (10-150) fach belegt. Aus den Sitzungsberichten der Oesterr. Akademie der Wissenschaften, Mathem. naturw. K1.Abt, 1/78, Hft 1-4, p. 37-42.
- JOLY (M.), DUROST (S.), BARRAL (P.), NOUVEL (P.), LAMBERT (G.-N.) et RICHARD (H.), 2007.** La datation des ensembles céramiques antiques : confrontations méthodologiques. Le cas de la Fontaine Saint-Pierre à Bibracte, in *La datation des ensembles céramiques : confrontations méthodologiques*. SFECAG, Actes du congrès de Langres, 17-20 mai 2007, p. 25-36.
- KELLY (P. M.), MUNRO (M. A. R.), HUGUES (M. K.) et GOODESS (C. M.), 1989.** Climate and signature years in west European oaks, *Nature* (340), p. 57-59.
- KREBS (C. B.), 2006.** "Imaginary Geography" in Caesar Bellum Gallicum. *American Journal of Philology*, 127 (1), p. 111-136.
- LAMBERT (G.-N.), DUROST (S.) et CUAZ (J.), 2005.** 2500 years from dendrochronology back to historic french human biotopes. Concerned trees : low altitude oaks. in Heinrich (I.) et Monbaron (M.) (dir.). Annual conference on Tree Ring, Climate, Archaeology and Environment (TRACE), Fribourg, 21-23 Apr. 2005. Association for Tree Ring Research (ATR), Actes. Vol. 4, 244-264.
- LAMBERT (G.-N.), 2006.** Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps ; le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks. HDR, Archéologie et Préhistoire, Univ. de Franche-Comté, France.
- LEBOURGEOIS (F.), 1997.** *RENECOFOR – Étude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau*, Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, France.
- LEBOURGEOIS (F.), COUSSEAU (G.) et DUCOS (Y.), 2004.** Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill, stand in the Forest of Bercé (« Futaie des Clos », Sarthe, France), *Ann. For. Sci.*, 61, p. 361-372.
- LE ROY LADURIE (E.), 1983.** *Histoire du Climat depuis l'An Mil*, Paris, Flammarion, coll. « Champs ».
- LE ROY LADURIE (E.), 2004.** *Histoire humaine et comparée du climat*, I, Paris, Fayard.
- LE ROY LADURIE (E.), 2006.** *Histoire humaine et comparée du climat*, II, Paris, Fayard.
- NEUWIRTH (F.), SCHWEINGRUBER (B.) et WINIGER (M.), 2007.** Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971, *Dendrochronologia* 24, 2-3, p. 79.
- PERNOT (L.), 2005.** Histoire et rhétorique dans le traité de Lucien : sur la manière d'écrire l'histoire, *Cahiers des Études Anciennes*, XLII, 2005 (2006), p. 43-44.
- PILCHER (J. R.), BAILLIE (M. G. L.), BROWN (D. M.) et MC CORMAC (F. G.), 1996.** Hydrological data from the long irish subfossil oaks records, in Dean (J. S.), Meko (D. M.) et

- Swetnam (T. W.) (dir.), *Tree-Rings, Environment and Humanity*. Proceedings of the International Conference on Tree Rings, May 1994, Tucson, Arizona, *Radiocarbon*, p. 259-264.
- PILLONEL (D.), 2007.** *Hauterive-Champréveyres, 14. Technologie et usage du bois au Bronze final*, Neuchâtel, Office et musée cantonal d'archéologie, *Archéologie neuchâteloise*, (37).
- REDDÉ (M.), 2003.** *Alésia, l'archéologie face à l'imaginaire*. Errance, Paris.
- REDDÉ (M.), BRULET (R.), FELMANN (R.) et VON SCHURBEIN (S.), 2006.** Les fortifications militaires, *L'architecture de la Gaule romaine I, d'Af 100 MSH – Ausonius*, Bordeaux, p. 24-27.
- ROMAGNOLI (M.) et CODIPIETRO (G.), 1996.** Pointer years and growth in Turkey oak (*Quercus cerris L.*) in Latium (Central Italy). A dendroclimatic approach, *Ann. Sci. For.*, 53, p. 671-684.
- ROSSIGNOL (B.) et DUROST (S.), sous presse.** Volcanisme global et variations climatiques de courte durée dans l'histoire romaine (I^{er} siècle av. J.-C.-IV^e siècle apr. J.-C.) : remarques autour d'une archive glaciaire (GISP2), *Jahrbuch des Roemisch-Germanischen Zentralmuseums*.
- ZIELINKSI (G.), 1995.** Stratospheric loading and optical depth estimates of explosive volcanism over the last 2100 years derived from the Greenland Ice Sheet Project 2 ice core, *Journal of Geophysical Research (Atmosphere)*, 100 (D 10), p. 20937-20955.