



HAL
open science

Notes pour l'interprétation des données recueillies lors de l'étude stratigraphique des mares et tourbières

Jean-François Ponge, Gérard Herbuveaux

► **To cite this version:**

Jean-François Ponge, Gérard Herbuveaux. Notes pour l'interprétation des données recueillies lors de l'étude stratigraphique des mares et tourbières. 2013. hal-00802003v2

HAL Id: hal-00802003

<https://hal.science/hal-00802003v2>

Preprint submitted on 20 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Notes pour l'interprétation des données recueillies lors de l'étude stratigraphique des mares et tourbières

20 Mars 2013

Jean-François Ponge^{1*} & Gérard Herbuveaux²

¹*Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS UMR 7179, 4 avenue du Petit-Château, 91800 Brunoy, France*

²*Société Batrachologique de France – Groupe parisien, 22 avenue Édouard-Herriot, 94260 Fresnes, France*

Résumé: Le présent document rassemble des notes prises à l'occasion de lectures d'articles concernant directement les études effectuées dans les tourbières et mares franciliennes par la Société Batrachologique de France et le Muséum National d'Histoire Naturelle associé au CNRS. L'intérêt scientifique de ces notes déborde largement le caractère local des études réalisées. Les lecteurs y trouveront des pistes pour comprendre et évaluer les connaissances relatives à l'origine et à la vie des mares et tourbières ainsi qu'à l'intérêt et aux limites méthodologiques et conceptuelles de leur étude.

Mots-clés: mares ; tourbières ; pingos ; phénomènes péri-glaciaires ; datation radiocarbone ; banque de graines ; conservation des semences

De la forêt boréale en Alaska à l'identification par datation radiocarbone des anciens pingos en Île-de-France (note rédigée le 15 février 2013)

Un article ancien de Heilman (1968) concerne la dynamique d'une forêt située en Alaska, près de Fairbanks, c'est-à-dire un peu au Sud du cercle polaire. Le sol est un permafrost, gelé en permanence à partir d'une profondeur ne dépassant guère 50 cm. On y trouve une forêt boréale assez typique, régénérée par le feu suivant le cycle conforme à la description faite par Otto (1998). Au départ s'installe une forêt de bouleaux, puis peu à peu s'installent des épicéas, représentés par l'espèce locale *Picea mariana*. Puis, les bouleaux déclinent en ne laissant que des épicéas. Sous ces épicéas, s'installent ensuite des mousses, puis des sphaignes. Ensuite, les épicéas périssent également, ne laissant qu'une tourbière à sphaignes jusqu'au prochain incendie, et le cycle recommence.

Le climat de cette partie de l'Alaska est assez proche de celui qui régnait en Île-de-France pendant la dernière période glaciaire. Il est cependant assez humide pour permettre l'installation des

* JFP a fait les recherches bibliographiques. Il a également sélectionné et adapté les notes originales de GH, qui a approuvé les adaptations proposées ci-après.

arbres alors qu'une steppe à armoises couvrait notre région pendant le Pléniglaciaire. Cette étude nous apporte des informations précieuses pour interpréter les périodes anciennes mises en évidence lors de l'étude des mares et tourbières franciliennes grâce aux datations ^{14}C qui ont été réalisées sur différents horizons fossiles du sol de l'Alaska. L'étude des mares franciliennes montre qu'une forte proportion d'entre elles sont issues d'une extraction de matériaux. À la base, nous avons un niveau remanié constitué des parties stériles non exploitées, un peu au-dessus se trouve un niveau de colluvionnement dont la granulométrie est de plus en plus fine. Dans de tels cas, et chaque fois que cela était possible, nous avons effectué au moins deux datations ^{14}C « à la base », l'une dans l'horizon remanié, l'autre dans ou juste au-dessus de l'horizon de colluvionnement. L'hypothèse est que le carbone organique contenu dans le niveau remanié est un mélange de carbone contenu dans le sol lors de l'exploitation de la carrière et de débris végétaux contemporains de celle-ci. Au contraire, au-dessus du niveau de colluvionnement, la matière organique est contemporaine de l'exploitation ou bien plus jeune que celle-ci (rajeunissement possible par les racines). La durée de la phase de colluvionnement ne dépassant pas quelques dizaines d'années, on peut sans risque la négliger. Suivant ces hypothèses, les deux datations effectuées doivent encadrer de façon assez fine la date d'exploitation de la carrière, c'est-à-dire le début de la vie de la mare. Reste une inconnue majeure : quel est l'âge radiocarbone moyen possible du sol terrestre qui existait lors de l'exploitation de la carrière ? Pour l'instant, nous n'avons trouvé aucune étude apportant une réponse à cette question, hormis des cas exceptionnels. Nous avons pris pour hypothèse que cet âge radiocarbone moyen était inférieur à 200 ans pour les sols biologiquement les plus actifs et ne pouvait être supérieur à 2 000 ans pour les sols biologiquement les moins actifs.

Dans l'étude américaine citée, les horizons fossiles organiques et organo-minéraux présents sous les sphaignes ont été datés. Les âges moyens vont de 320 à 1830 ans avec une marge d'erreur d'une centaine d'années. La décomposition de la matière organique étant particulièrement lente en présence de permafrost, on peut donc considérer que 2000 ans constituent bien un maximum pour l'âge radiocarbone moyen des terres de surface enfouies lors de l'exploitation d'une carrière, il y a 1 000... ou 6 000 ans.

Une datation radiocarbone est la mesure physique du rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, qui est ensuite convertie pour donner une date brute. Depuis 1968, la technique a beaucoup évolué et la précision actuelle est bien meilleure. On croyait alors naïvement, et beaucoup le croient encore aujourd'hui, qu'il s'agissait de la date réelle. En réalité, de multiples phénomènes, naturels ou d'origine humaine, font qu'il n'en est rien, en particulier pour les périodes récentes. C'est pourquoi, aujourd'hui, ces données brutes sont corrigées pour tenir compte de cette différence. Dans le jargon de la métrologie, les datations sont ainsi « calibrées » (depuis 2010 seulement pour les périodes anciennes). L'estimation de la vitesse d'accumulation de la tourbe qui figure également dans cet article est donc si fortement surévaluée qu'elle est non pertinente. Par contre, pour les sols fossiles, la différence ne dépasse pas quelques centaines d'années, ce qui ne modifie pas substantiellement les données précédentes. Les datations brutes sont généralement notées BP (Before Present, c'est-à-dire avant 1950), et les datations calibrées (corrigées) sont notées BC (avant Jésus-Christ) ou AD (après Jésus-Christ). On trouve aussi, assez rarement, la notation calBP (calibrées avant 1950).

Le plus souvent, dans nos résultats, la différence entre les deux datations, effectuées dans l'horizon remanié et dans celui situé juste au-dessus du niveau de colluvionnement, est inférieure à 200 ou 300 ans. Mais assez fréquemment elle est très importante 2 000, 3 000 ans, voire beaucoup plus. Cela signifie que l'on est en présence d'une « pollution » par du carbone organique beaucoup plus ancien. L'interprétation que nous avons proposée est alors la formation d'un pingo, c'est-à-dire d'une lentille de glace qui s'est formée à faible profondeur alors que le sol profond était gelé en permanence,

ce qui était le cas en Île-de-France pendant la dernière période glaciaire. Cette lentille grossit et s'élargit lentement et les terres meubles qui la surmontent sont progressivement évacuées vers la périphérie. Dans ce chaos, une partie des horizons organiques et organo-minéraux, contenant une proportion importante de matière organique, sont enfouis et fossilisés. Dans une proportion élevée, cette matière organique est humifiée, donc difficilement décomposable, ce qui explique que l'on puisse en retrouver une quantité significative longtemps après la disparition du pingo. Malgré des datations ^{14}C moins précises que ce qui se pratique aujourd'hui l'étude citée apporte un élément de preuve supplémentaire pour cette interprétation.

En forêt de Sénart, le permafrost a disparu il y a environ 16 000 ans pendant le Tardiglaciaire, à la fin du Dryas ancien, entraînant évidemment la disparition des pingos. La remontée des températures ayant été très lente pendant le Tardiglaciaire, une variation de quelques milliers d'années est tout à fait plausible en Ile-de-France.

Les tourbières acides à sphaignes de l'Alaska décrites dans l'article de Heilman (1968) ont évidemment peu à voir avec nos tourbières franciliennes. Elles partagent cependant avec elles une durée de vie qui se compte seulement en siècles et non en millénaires comme la quasi-totalité des tourbières mieux connues. Avant les premières datations ^{14}C , nous avions l'espoir, qui paraissait alors fou, de trouver au moins une mare antérieure à la conquête romaine. En réalité, les datations ne nous ont fourni que trois mares postérieures à cette conquête, d'où cette nécessité d'essayer de comprendre des périodes beaucoup plus anciennes que ce que nous imaginions.

Formation des pingos et calibration des datations radiocarbone (note rédigée le 21 février 2013)

Nous revenons sur les pingos à la lumière d'études de l'Université de Louvain, en Belgique, dont la synthèse a été publiée en 1969 (Mullenders & Gullentops, 1969). Certes, cette étude apporte peu de chose d'essentiel pour l'interprétation de nos propres études, mais elle permet de mieux comprendre certains phénomènes... pour le simple plaisir, presque gratuitement. Il s'agit d'études palynologiques conduites sur de présumés anciens pingos de Belgique. Même si les auteurs le regrettent, il n'a pas été fait de datation ^{14}C , sans doute du fait de leur coût alors très élevé. Du fait du manque de précision des datations faites à cette époque, ils ont bien tort de le regretter.

Pour situer ce passé lointain, voici les périodes concernées, de la plus récente à la plus ancienne, avec leur âge non calibré BP, d'après Manneville (2006) :

- Boréal 8 000-9 000 BP, limite d'étude
- Préboréal 9 000-10 000 BP,
- Dryas récent 10 000-11 000 BP, dernière période du Tardiglaciaire, période froide
- Allerød, courte période de réchauffement temporaire
- Dryas moyen, limite d'étude, période froide
- Bølling, fin en 12 700 BP, courte période de réchauffement temporaire
- Dryas ancien 12 700-15 000 BP (ailleurs dans le même ouvrage 13 000-15 000 BP), période froide
- Pléniglaciaire 15 000BP-70 000 BP (date de fin selon d'autres sources), le maximum glaciaire étant autour de 18 000 BP

À l'époque de cette étude, on connaissait en Belgique plusieurs centaines de pingos, tous situés dans les Ardennes entre 500 et 650 mètres d'altitude. Leur diamètre va de 40 à 800 mètres (la taille du

plus grand pingo actuel), avec une profondeur maximale de 8 mètres. Une partie d'entre eux sont entourés d'un « rempart » qui en fait des dépressions fermées. Onze de ces pingos ont fait l'objet d'analyses palynologiques, complétées souvent par des analyses des éléments minéraux. La datation a été réalisée par l'étude des pollens, complétée par l'identification (dans les remparts et non dans les cavités des pingos) des cendres volcaniques d'une éruption célèbre d'un volcan de l'Eifel (situé pas très loin en Allemagne).

Les dépôts de pollens ont commencé à la fin du Dryas récent, période plus froide. Les auteurs estiment que les pingos (fossiles) éventuellement existants ont été arasés au Dryas récent par « congélifluction » et ne sont donc plus identifiables par la lecture du terrain. Si l'on suit le raisonnement des auteurs, quand les conditions climatiques sont favorables à la formation de nouveaux pingos, elles provoquent également l'arasement des pingos formés pendant les périodes froides précédentes. C'est pourquoi il n'existait alors aucun pingo connu en basse Belgique. Mullenders et Gullentops ont pourtant trouvé une très vaste cavité, dont ils avaient du mal à s'expliquer la formation sans la présence d'un pingo, et ils l'ont étudiée. Si la capacité de lire un paysage ne fait pas partie des critères admis en matière scientifique, elle permet souvent de conduire des études plus pertinentes, et nettement moins coûteuses. Ces auteurs ont montré que cette dépression s'est formée pendant le Dryas moyen, non seulement parce que la présence de pollens débute à cette époque que, mais également parce que cette cavité, si elle avait préexisté, aurait été très fortement comblée par des dépôts éoliens, de sable en basse Belgique, ou de « limons des plateaux » en Île-de-France (qui peuvent parfois être en réalité des sables fins). À propos de ces dépôts éoliens, les auteurs se gardent bien d'en donner une époque précise, les liant simplement à la glaciation du Würm, c'est-à-dire antérieurement au Dryas récent. Les phénomènes périglaciaires intervenus ensuite pendant le Dryas récent ont fortement arasé le pingo, qui est devenu ainsi pratiquement impossible à identifier. La plus grande dimension de cette dépression est de 1 600 mètres, c'est-à-dire le double du plus grand pingo connu. C'est pourquoi les auteurs supposent qu'il s'agit non pas d'un pingo unique, mais de plusieurs pingos coalescents, dont la présence résulte de conditions exceptionnellement favorables à la formation de ces dépressions.

En Île-de-France, aucun pingo ne peut être identifié par sa forme typique, comportant en particulier un rempart, même si un article assez fantaisiste, qui s'appuie en effet essentiellement sur l'expertise... d'un artisan maçon (!), soutient le contraire (Cailleux, 1960). Le mécanisme proposé par les auteurs permet d'expliquer cette absence de rempart par un mécanisme naturel ne faisant pas intervenir l'activité humaine. Cependant, même arasé, l'ancien rempart comporte en surface une partie des matériaux anciennement enfouis, ce qui facilitait grandement le choix du lieu pour installer une carrière.

En forêt de Sénart, la datation à la base de la Mare au Faon correspond à l'extrême fin du Dryas ancien. À cette époque, la Belgique avait un climat beaucoup plus continental qu'aujourd'hui puisque la Mer du Nord n'existait pas encore. Le climat y était donc nettement plus froid qu'à Sénart. Il paraît donc assez logique qu'un pingo se soit formé durant la période froide précédente, reproduisant ainsi la différence entre la Haute et la Basse Belgique. Même si, lors de l'étude de la Mare au Faon, nous n'avons pu atteindre la base du remplissage, il paraît impossible que la formation de ce pingo soit significativement antérieure à cette période. Il est même possible qu'elle soit légèrement postérieure (voir plus loin nos remarques à propos de « l'effet réservoir »).

Lors de l'étude de la Mare de Montauzin en forêt de Verrières, nous n'avons pu atteindre la base du remplissage. La datation « à la base » correspond à la fin de l'Allerød. La différence d'altitude entre Sénart et Verrières est d'environ 100 mètres, soit une différence d'environ 0,6 °C pour la température moyenne, et Verrières est situé un peu plus au Nord. Il ne paraît donc pas illogique que le pingo se soit

formé dans la période froide suivante et que la cavité soit apparue lors du réchauffement ultérieur, c'est-à-dire au début de l'Allerød. Ceci ne vieillirait cette cavité que de moins de 1 000 ans par rapport à la datation ^{14}C . Il a peut-être ensuite fallu attendre quelques milliers d'années pour que cette cavité se colmate puis s'imperméabilise et se transforme finalement en mare permanente.

Nous avons lu le rapport sur les tables de calibration datant de 2009 (Reimer et al., 2009). D'abord, on y trouve, dans une incidente, les limites calibrées du Dryas récent : 12 550-12 900 calBP, contre 10 000-11 000 BP en données brutes. Non seulement la différence dépasse 2 000 ans, mais également la durée de cette période est réduite de plus de moitié. Pour la période récente, jusqu'à 12 590 calBP, les tables ont été obtenues par dendrochronologie. Elles sont identiques aux tables précédentes datant de 2004 (Reimer et al., 2004). Quatre erreurs connues n'ont pas été corrigées. Elles devraient l'être dans la prochaine version. Une de ces erreurs est un décalage de 19 ans dans le calage d'une séquence. Les données antérieures sont extrapolées à partir de données marines, en particulier la datation du carbone constitutif du calcaire des coraux ou des foraminifères, où le carbone provient de l'eau de mer et non de l'atmosphère, et la proportion de ^{14}C y diffère significativement du fait de ce qu'il est convenu d'appeler « l'effet réservoir » : d'abord les variations de la concentration en ^{14}C suivent avec retard celles de l'atmosphère, mais aussi on y trouve une proportion significative de « dead carbon fraction » (DCF), constituée principalement de « dissolved inorganic carbon » (DIC). Cet effet réservoir pouvant fortement varier dans le temps du fait en particulier de la modification des courants marins, seules ont été retenues les données stables dans le temps. Cet effet réservoir entraîne alors un vieillissement un peu supérieur à 400 ans, soit une baisse de la proportion de ^{14}C de l'ordre de 4 %. Ce même effet est sans doute également présent dans des dépôts lacustres présentant des strates annuelles permettant d'établir une datation absolue (« varves »), mais aucune donnée à ce sujet ne figure dans ce rapport. L'effet réservoir peut apparaître dès que les plantes prélèvent tout ou partie du gaz carbonique dans l'eau et non dans l'atmosphère. Il entraîne alors un vieillissement de la date radiocarbone.

Les tables de 2009 vont jusqu'à 50 000 ans calBP, contre 26 000 ans calBP pour les tables de 2004. Entre 12 590 calBP et 26 000 calBP, la différence avec les tables de 2004 peut atteindre 552 ans. Cet article annonce la sortie de nouvelles tables en 2011, non parues à ce jour. Elles devraient comporter au moins la correction des erreurs connues et l'extension jusqu'à environ 14 000 ans calBP des tables obtenues par dendrochronologie. L'article souligne la nécessité de toujours fournir les données brutes afin de pouvoir à tout moment les retraiter en utilisant les dernières tables disponibles. On peut s'étonner que cet article utilise des dates calBP, ce qui est d'usage rare, alors que le logiciel traitant les tables fournit lui des dates calBC ou calAD. Enfin, ces tables couvrent la période avant 1950 (BP). La période après 1950 est couverte par une autre table « Post-bomb atmospheric NH1 curve » (Hua & Barbetti, 2004).

Conservation des semences dans les tourbières (note rédigée le 19 février 2013)

Nous revenons sur un article de McGraw (1987) concernant la conservation de la banque de semences dans une zone riche en tourbières à sphaignes des Appalaches en Virginie. Tout d'abord, l'auteur souligne l'importance de cette question en termes de conservation et regrette le très faible nombre d'études qui lui sont consacrés. Pourtant, il cite près d'une dizaine d'articles, publiés dans les 10 années qui précèdent sa propre publication.

Les graines vivantes ont été identifiées par germination en conditions contrôlées. L'auteur souligne qu'une proportion significative de graines ne germent pas puisque la dormance n'a pas été

levée. Apparemment, il disposait des compétences pour lever cette dormance, mais des « difficultés techniques », non décrites (mais la contrainte était peut-être financière), l'ont empêché de le faire. Seulement 4 espèces ont germé dans une proportion significative. Parmi les autres espèces ayant germé, on trouve un petit nombre de *Drosera rotundifolia*, dont la dormance est difficilement levée dans de telles conditions, selon les essais faits en France par le Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNB).

Des graines vivantes de ces 4 espèces ont été trouvées jusqu'à 45 cm de profondeur, profondeur maximale d'étude. En extrapolant à partir d'une courbe âge/profondeur assez rudimentaire, l'âge estimé de ces graines vivantes est de 127 ans. À la lumière d'une critique de la fonction mathématique utilisée par McGraw, nous pensons que cette valeur est sous-estimée. Si l'auteur souligne les fortes différences qui apparaissent avec les études antérieures pour ce qui concerne l'abondance de la banque de semences et les espèces concernées, il ne fait aucune référence aux résultats de ces études concernant la durée de survie des semences. On peut donc supposer que cette donnée n'avait pas été recherchée. Pour l'instant, cette donnée est donc l'unique à avoir été publiée.

En identifiant les graines vivantes par leur résistance à l'écrasement, critère qui peut surestimer la quantité des semences vivantes, nous avons trouvé des graines vivantes datant de 350 ans dans la Mare aux Rainettes en forêt de Sénart (Herbiveaux et al., in prep.). Grâce au financement de l'Office National des Forêts, nous attendons les résultats de la datation de graines trouvées dans la Mare de l'Abyme, en Forêt de Barbeau, dont l'âge pourrait être légèrement supérieur.

L'étude de McGraw (1987) suggère très fortement que la conservation de la banque de graines dépend à la fois du milieu et des espèces concernées. Comme Frédéric Hendoux, directeur du Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien (CBNBP) nous l'avait déjà signalé, pour obtenir un échantillonnage pertinent de la banque de semences, il convient de prélever plusieurs carottes d'un diamètre d'environ 10 cm, voire plus.

En termes de restauration d'espèces végétales aujourd'hui disparues, il est dommage que les savoir-faire concernant la levée de la dormance aient été perdus. Mais il a fallu attendre le 19ème siècle pour que les chirurgiens modernes réinventent la ligature des vaisseaux lors d'une amputation, technique pourtant courante pendant la Haute Antiquité dans l'Est de la Méditerranée pour traiter les soldats blessés.

Références

- Cailleux, A., 1960. Sur les mares et lacs naturels des plaines aujourd'hui tempérées. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* **11**, 28-29.
- Heilman, P.E., 1968. Relationship of availability of phosphorus and cations to forest succession and bog formation in interior Alaska. *Ecology* **49**, 331-336.
- Hua, Q., Barbetti, M., 2004. Review of tropospheric bomb C-14 data for carbon cycle modeling and age calibration purposes. *Radiocarbon* **46**, 1273-1298.
- McGraw, J.B., 1987. Seed-bank properties of an Appalachian sphagnum bog and a model of the depth distribution of viable seeds. *Canadian Journal of Botany* **65**, 2028-2035.

Manneville, O., 2006. *Le monde des tourbières et des marais*. Delachaux & Niestlé, Lausanne.

Mullenders, W. & Gullentops, F., 1969. The age of the pingos of Belgium. In: *The periglacial environment: past and present*. International Association for Quaternary Research, Montréal, pp. 321-335.

Otto, H.J., 1998. *Écologie forestière*. Institut pour le Développement Forestier, Paris.

Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., et al., 2004. Intcal04 radiocarbon age calibration curves, 0-26 kyr cal BP. *Radiocarbon* **46**, 1029-1058.

Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., et al., 2009. Intcal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* **51**, 1111-1150.