



Groupe d'étude des tourbières de Sénart

Direction conjointe : Société Batrachologique de France (SBF)
et Collectif associatif, Sénart Forêt du III^e Millénaire (SFMIII)

Coordination scientifique
Gérard HERBUVEAUX & Jean-François PONGE



décembre 2010

Méthodologie et vocabulaire utilisés par le Groupe d'étude des tourbières de Sénart dans les études conduites en 2010

Gérard HERBUVEAUX^a Jean-François PONGE^b
Bernadette DEGOVE^c Régine POUCKET^d Anne CLIMENT^e

Ce document présente les grandes lignes de la méthodologie développée par le Groupe d'étude des tourbières de Sénart. Ce texte synthétise et actualise des éléments dispersés auparavant dans divers documents.

Cette méthodologie a été utilisée dans la session d'étude stratigraphique tourbières que ce groupe d'étude a organisée du 18 au 22 octobre 2010 [11] ainsi que dans la session organisée par la Société Batrachologique de France du 28 au 30 septembre 2010 [10].

1 Notre démarche

Les synthèses en français concernant les tourbières sont peu nombreuses et relativement anciennes. Nous n'avons relevé que 3 ouvrages de référence [4, 16, 15]. Ils montrent que les études sur ou dans les tourbières couvrent des domaines de la connaissance extrêmement divers. Les études scientifiques plus récentes utilisent des moyens techniques coûteux, et concernent généralement des sites de grande surface, faciles à identifier et considérés comme *emblématiques*. On peut donc légitimement s'interroger sur la représentativité des sites ainsi étudiés.

Dès 2005, nous avons supposé que la majorité des tourbières franciliennes constituaient des milieux *non considérés comme emblématiques* [8]. Nous avons donc recherché une approche qui nous permette d'étudier une diversité suffisante de sites pour mieux en apprécier la variété et qui soit compatible avec les moyens limités, humains et financiers, du mouvement associatif. L'**analyse stratigraphique** de la tourbe ou des sédiments, réalisée entièrement sur le terrain, nous paraissait satisfaire ces conditions. Elle nous est surtout apparue pouvoir constituer un élément du **tronc commun réutilisable** dans la majorité des études concernant les tourbières. Nous avons découvert récemment que, dès 2001, l'Université Laval à Québec encourageait la réhabilitation de cette approche très ancienne des tourbières [16].

Depuis 2008, nous avons progressivement acquis le matériel nécessaire à ces études stratigraphiques, détaillé dans le § 3. Nous avons également élaboré une façon souple de décrire les différentes strates rencontrées, avec une base, décrite dans le § 4, qui peut être simplifiée ou complétée en fonction des enjeux spécifiques au site étudié, des préoccupations particulières des participants ou encore de la logique propre des observations.

Nous avons ajouté, à partir de 2009, la réalisation de datations pour connaître quelques dates clefs dans l'histoire des sites étudiés ou obtenir un ordre de grandeur de la vitesse de certaines évolutions. Elles constituent une dépense relativement importante pour les finances associatives, bien qu'en soi ces coûts restent modestes. C'est pourquoi elles ont été effectuées avec prudence et modération, la *pertinence* des critères retenus pour effectuer ces datations devant encore faire l'objet d'une *validation méthodologique*. A l'avenir, ces

^aSociété Batrachologique de France

^bMuséum National d'Histoire Naturelle

^cSociété Batrachologique de France

^dCollectif associatif, Sénart Forêt du III^e Millénaire

^eSociété Batrachologique de France

datations pourraient donc voir leur importance augmenter. Les aspects techniques pris en compte aujourd'hui sont détaillés dans le § 5.

En 2010, nous avons introduit la description systématique de l'environnement proche du site comportant, d'une part la notation du type d'humus¹ ainsi que le relevé des plantes présumées caractéristiques du sol², données que certains supposent corrélées avec la dynamique de la mare et, d'autre part, le relevé des anomalies d'origine anthropique telles que les modifications de la microtopographie, supposées faciliter la corrélation avec les données historiques ou archéologiques. L'expérience seule montrera si le recueil de ces données présente réellement un intérêt.

Pour la planification et l'organisation des sessions d'étude, nous avons été amenés à prendre en compte les *baisse de vigilance* résultant de la fatigue ou de conditions météorologiques hostiles (pluie, froid). Nous avons ainsi retenu le principe de la semaine de 4 jours (lundi-mardi et jeudi-vendredi) pour les sessions longues et 3 jours consécutifs au maximum pour les sessions plus courtes. Par de multiples «détails», nous cherchons constamment à améliorer l'ergonomie et la convivialité de nos sessions d'étude.

D'une façon générale, nous avons souhaité développer un environnement favorable à la transmission des savoir-faire et des connaissances. Nous voulons croire qu'aujourd'hui toute personne curieuse, en bonne forme physique et non allergique à la démarche scientifique, peut s'intégrer utilement à nos études après une journée sur le terrain. Le partage entre tous les participants des diverses tâches logistiques, l'utilisation aussi limitée que possible du «jargon»³ scientifique, nous paraissent les éléments clefs de cette intégration.

Les destinataires de notre démarche

Notre souhait est, non pas de nous transformer en commando d'expertise sur les tourbières, ce qui ne correspond ni à nos compétences ni à nos moyens humains et financiers, mais d'essaimer à travers le tissu associatif francilien et en quelque sorte de «faire école» avec des méthodes simples mais éprouvées sur une diversité sans cesse croissante de milieux tourbeux de toute origine et de tout âge. Le public étudiant, souvent déçu par des cursus universitaires très (trop) théoriques, est également le bienvenu, ainsi que toute personne désireuse de travailler en équipe et de partager joies et déceptions sans espérer «consommer» de la science.

2 Les perspectives et hypothèses du Groupe d'étude des tourbières de Sénart

À la fin de l'année 2007, les deux associations animatrices du *Groupe d'étude des tourbières de Sénart*, la Société Batrachologique de France (SBF) et le Collectif associatif, Sénart Forêt du III^e Millénaire (SFMIII), ont retenu pour ces milieux les objectifs généraux qui suivent, peu dépendants de l'évolution des connaissances scientifiques :

- La préservation in situ des archives constituées par ces tourbières, quand bien même ces milieux ne présenteraient aucun intérêt actuellement connu en ce qui concerne la biodiversité ;
- La gestion de leur biodiversité en privilégiant, quand c'est possible, une gestion en archipels, et en prenant en compte leur capacité de conserver vivants des semences, spores et œufs de durée pendant une longue période, ne dépassant sans doute pas 200 ans ;
- La qualité des paysages et l'accueil prudent et raisonné du public ;
- L'établissement d'un échantillonnage représentatif de «tourbières» et autres sites disponibles pour les scientifiques, associations, propriétaires et gestionnaires qui souhaiteraient y mener des études de leur choix, sous réserve d'utiliser les méthodes les moins invasives possibles compte tenu de la fragilité de ces milieux.

¹L'observation du type d'humus en milieu forestier permet de définir un indice appelé Humus Index qui peut être relié aux principaux critères de fertilité du sol [18], de croissance des peuplements forestiers [19] ainsi qu'à la flore herbacée [12, 13].

²Pour les noms scientifiques des plantes supérieures, nous avons utilisé les noms et regroupements d'espèces retenus par Gérard ARNAL et Jean GUITTET [1].

³Dans une ballade en jargon (ou jobelin), François Villon écrivait il y a plus de 500 ans (traduction proposée par P. GUIRAUD) :

A Parouart, la grand mathe gaudie [*En parade sur le gibet, voici la grande fête de la Confrérie*]

Ou accolez sont duppez et noircis [*Où les duppés sont pris au cou et suffoqués*]

Les divers «jargons» développés aujourd'hui par certains spécialistes n'auront sans doute que rarement une telle pérennité !

Le souci de perturber le moins possible les sites étudiés nous a conduit d'abord à évacuer la totalité du produit des prélèvements, en particulier s'ils étaient infructueux, et ensuite à limiter les investigations lorsqu'un haut niveau de l'eau rendait le milieu particulièrement vulnérable.

La démarche du *Groupe d'étude des tourbières de Sénart* s'inscrit dans le cadre de l'étude de la dynamique générale des mares. On suppose que, au moins pour les mares franciliennes d'origine anthropique, il existe deux séries évolutives⁴ constituées par :

- Les mares associées à une nappe **temporaire** où il n'y a ni accumulation de tourbe, ni archives paléoenvironnementales, ni diaspores (spores, semences ou œufs de durée) capables de survivre pendant une longue période.
- Les mares associées à une nappe **permanente** conduisant éventuellement à l'apparition de tourbières vraies.

La nappe associée à la mare peut être une nappe phréatique et/ou de surface. Cette nappe peut être réduite à une simple poche d'eau s'étendant peu au delà de la mare elle-même. Elle peut préexister au creusement initial de la mare, mais elle peut aussi résulter de l'évolution induite par la mare elle-même. Cette nappe peut alors être perchée, c'est-à-dire partiellement séparée tant du substrat minéral que de la ou des nappes temporaires ou permanentes existant éventuellement dans son voisinage.

Du fait de précipitations insuffisantes, à Sénart et dans tout ou partie de l'Île-de-France, cette **nappe perchée** ne peut pas être alimentée uniquement par les précipitations atmosphériques (ombrotrophie) au contraire de la **nappe perchée associée aux tourbières bombées** [5, 16, 15].

Nous nous sommes inspirés d'un article ancien de D. WALKER [21] où, sous le nom d'*hydrosere* (transposé en hydrosère par l'Université Laval à Québec [16]), il suggère une série évolutive non déterministe unique pour les tourbières et les milieux lacustres, les perturbations jouant un rôle central dans l'évolution de ces milieux. Notre hypothèse reformule et précise l'affirmation, ou plutôt la conjecture, d'Olivier MANNEVILLE et Francis MULLER qui écrivaient en 2005 [14] : «*dans les climats appropriés, toute zone d'eau stagnante a vocation à voir s'installer une tourbière . . . si on lui en laisse le temps !*» (*sauf en milieu extrême très salé, très froid ou à inondation temporaire*).

Il est supposé que l'évolution d'une mare est en étroite relation avec les usages du sol, les pratiques anthropiques et plus généralement avec l'histoire de son proche environnement.

3 Le matériel utilisé

Le *Groupe d'étude des tourbières de Sénart* dispose du matériel de prélèvement suivant :

- Un carottier manuel russe (dit aussi sonde russe), acquis en 2008, en acier inoxydable d'un diamètre intérieur de 5 cm. Il permet d'étudier les strates meubles, tourbeuses ou non tourbeuses. Il est bloqué par les bois et les cailloux et ne permet généralement pas d'accéder à la base du remplissage d'une mare. C'est l'outil habituel d'étude des tourbières.
- Une tarière à gouge, acquise en 2009, en acier d'un diamètre intérieur de 3 cm. Elle permet d'étudier des horizons relativement durs et peut souvent traverser des bois et des cailloux. Elle permet souvent d'accéder à la base du remplissage, ce qui nous a paru essentiel pour espérer comprendre l'évolution d'une mare. Les horizons trop secs sont cependant souvent difficiles à atteindre et son usage demande une force physique certaine. La «pollution» doit être enlevée, avec précaution, au couteau.
- Une tarière pédologique. Elle permet d'étudier certains horizons, trop durs ou trop caillouteux, inaccessibles par la tarière à gouge. Du fait de son mode de fonctionnement, les horizons sont fortement mélangés ce qui ne permet d'obtenir qu'une information très réduite. Elle n'a pas été utilisée en 2010.
- Des rallonges en acier, d'une longueur totale de 4 mètres, utilisables indifféremment avec chacun de ces 3 outils.
- Des accessoires nécessaires à la mise en œuvre de l'ensemble.

Pour l'analyse des prélèvements, nous disposons :

⁴Dans les études 2008 et 2009, ces deux séries évolutives étaient désignées respectivement par «série évolutive sèche» et par «série évolutive humide» [2, 9, 3]. Cette hypothèse, proposée par Gérard HERBUVEAUX en 2008, a été revue et précisée en 2010.

- d’une table à tapisser, d’une longueur de 2 mètres, d’un modèle professionnel robuste, permettant de travailler sans fatigue excessive,
- d’une loupe binoculaire, d’un modèle rustique de terrain fonctionnant exclusivement à la lumière naturelle,
- d’une règle graduée qui, tout comme la table, a été vernie pour en permettre un nettoyage aisé,
- de divers petits matériels nécessaires ou simplement utiles.

Le nettoyage régulier du matériel, et du personnel, nécessite une quantité parfois importante d’eau, jusqu’à 40 litres par site et 60 litres par jour, répartis en bidons de 5 litres.

Le transport du matériel est effectué en véhicule(s) au plus près du site d’étude. Il est ensuite porté par les participants. La charge par personne ayant été limitée à environ 10 Kg, le transfert en une seule fois de la totalité du matériel, et de 40 litres d’eau, nécessite 7 à 8 personnes.

Ce matériel est la propriété du Collectif associatif, Sénart Forêt du III^e Millénaire. Il peut être mis gracieusement à la disposition de ceux qui souhaitent étudier des tourbières franciliennes et utilisent des méthodes compatibles avec la fragilité de ces milieux.

4 Le vocabulaire utilisé

Nous avons choisi d’utiliser un vocabulaire aussi largement intercompréhensible que possible. En 2010, pour faciliter la prise des notes de terrain et leur remise en forme, nous avons fait un effort particulier pour harmoniser le vocabulaire utilisé. On en trouvera l’essentiel ci-après.

4.1 Le contenu des relevés stratigraphiques

Nous avons cherché à être le plus descriptif possible et à limiter les interprétations toujours discutables.

La couleur. Cette année, comme les années précédentes, il n’y a eu que rarement un consensus entre les participants concernant la désignation des couleurs. Cependant, il y a toujours eu consensus sur les variations de couleur qui sont certainement plus pertinentes que la nuance de couleur elle-même. Nous avons donc essayé de rendre compte de façon aussi fidèle que possible de ces variations de couleur.

Dans quelques cas, on a observé des changements de couleur de tout ou partie d’un prélèvement peu après son extraction, résultant de son oxydation spontanée à l’air libre. Ce fait a été noté, mais nous ignorons le sens à donner à une absence de changement de couleur.

La granulométrie. Nous avons défini la granulométrie des horizons minéraux ou organo-minéraux en nous inspirant fortement des critères de terrain proposés par le guide PROSOL [17] pour définir les éléments fins. Nous avons retenu les distinctions suivantes :

- Les argiles **granulométriques** : fraction inférieure à 2 μm . Elles peuvent ou non contenir des argiles **minéralogiques** dont la majorité se rétracte lors de la dessiccation.
- Les limons : fraction comprise entre 2 et 50 μm . Nous n’avons pas distingué les limons fins et les limons grossiers.
- Les sables fins : fraction comprise entre 50 et 200 μm .
- Les sables grossiers : fraction comprise entre 200 et 2 000 μm .
- Les graviers : fraction comprise entre 2 et 20 mm.
- Les cailloux : fraction comprise entre 2 et 10 cm.
- Les pierres : taille supérieure à 10 cm.

Le degré de décomposition de la tourbe. Nous nous sommes limités à 3 degrés de décomposition : fibrique, mésique et humique. Nous avons préféré le terme *humique*, utilisé par l’Université Laval à Québec [16], plus parlant que le terme *saprique*, d’usage majoritaire en Europe occidentale francophone [15], que nous avons utilisé précédemment. Ceci correspond à :

- fibrique : contient une grande quantité de fibres (peu décomposées) pouvant facilement être identifiées.
- humique : matière organique à un stade avancé de décomposition.
- mésique : intermédiaire entre fibrique et humique.

Les taches d'oxydo-réduction. Les taches d'oxydo-réduction liées au fer, comparables à ce qui peut être observé dans un pseudogley, et de couleur rouille, ont été notées *taches d'oxydo-réduction* sans autres précisions. Cette notation a également été utilisée quand ces taches étaient marron, du fait d'une liaison entre les composés ferriques et de la matière organique résiduelle, lorsque le contexte laissait peu de doutes quant à la nature de ces structures.

Les matériaux carbonisés. Nous avons trouvé des matériaux organiques ayant subi l'action plus ou moins importante du feu.

La carbonisation complète aboutit à des charbons de bois. Nous avons désigné la taille de ces charbons de bois par le préfixe :

- micro : éléments non distinguables ni à l'œil nu, ni à la loupe binoculaire. Leur présence est simplement *présumée* par la coloration noirâtre de la pâte de l'échantillon.
- méso : éléments distinguables à l'œil nu ou à la loupe binoculaire, d'une taille comprise entre 100 et 1 000 μm .
- macro : éléments d'une taille supérieure à 1 mm.

Les fragments de charbons de bois de taille suffisante sont identifiés par leur couleur, noire intense, leur caractère brillant, leur résistance à l'écrasement.

On a souvent trouvé de la matière organique où l'action du feu a été plus réduite. Ceci a été noté soit par l'expression *incomplètement carbonisé* si l'action du feu a été intense, soit par le terme *torréfié* si l'action du feu a été plus réduite. Si on a cherché à éviter une confusion possible avec de la matière organique humifiée, une telle confusion ne peut totalement être exclue.

Les racines. Nous avons généralement essayé de distinguer les racines vivantes et les racines mortes, de même que les racines de ligneux et de plantes herbacées. Pour ces dernières, nous avons souvent pu distinguer les racines attribuables à des plantes graminoides, telles que les typhas, carex ou rubaniers ; dans d'autres cas, en particulier si les racines sont fines, il ne nous a pas été possible de distinguer, par exemple, la glycérie de la menthe aquatique et nous avons alors simplement noté *racines de plantes herbacées*.

Les graines. Par abréviation, nous avons employé systématiquement le terme *graine*, il convient évidemment de comprendre *graine ou fruit* (du type akène, où la graine ne peut pas être séparée du fruit). La notation *graine vivante* a été employée lorsqu'elle résistait à l'écrasement, il convient évidemment de comprendre *graine présumée vivante*. La notation *graine morte* a été employée lorsqu'il n'y avait pas de résistance à l'écrasement, ce qui atteste que la graine était effectivement morte.

4.2 Les diverses altérations

Les sites étudiés sont supposés, jusqu'à preuve du contraire, être d'origine anthropique, et relativement jeunes (moins de 5 000 ans) comparés aux tourbières d'origine supposée naturelle. Il est également supposé que ces mares sont, très majoritairement, issues d'extraction de matériaux qui a parfois été suivie par un ou plusieurs **réaménagements** ultérieurs.

Pour prendre en compte le caractère fortement anthropique de ces milieux, nous avons ainsi tenté d'identifier :

Le sol en place. Il n'a subi aucune modification du fait de l'homme ou de la grande faune. La présence de vestiges de racines y est possible. Par contre, celle de vestiges de parties aériennes de plantes ou de charbons de bois y est impossible.

Les niveaux remaniés. Nous avons retenu cette dénomination pour désigner les horizons, minéraux ou organo-minéraux, qui ont été mélangés volontairement par l'homme, à une échelle importante et pendant une durée très courte, soit lors de la création de la mare, soit lors d'un réaménagement ultérieur. La granulométrie et ses variations, la différence avec la nature géologique *plausible* du sol en place, la présence de matière organique ne provenant pas de racines ainsi que la présence de charbons de bois font partie des critères que nous avons retenus pour distinguer ces horizons remaniés du sol en place. De tels niveaux remaniés ont souvent été trouvés, ou du moins suspectés, immédiatement au-dessus du sol en place ; ils ont également parfois été trouvés au sein des niveaux de remplissage. Les labours effectués par le grand gibier, en particulier par les sangliers, peuvent parfois atteindre une profondeur importante (40 voire 50 cm). Les sites présentant de telles altérations profondes en surface, ont été exclus des études.

Les niveaux de remplissage. Ces niveaux – qui peuvent être organiques, organo-minéraux ou minéraux – se sont formés par suite de l'érosion ou du colluvionnement, de la décomposition incomplète de la matière organique, de la migration des argiles, des dépôts atmosphériques et éoliens, ou encore de l'activité des grands animaux ou de l'homme. La matière organique présente dans ces niveaux peut avoir été produite dans la mare elle-même ou avoir une origine plus lointaine, comme les feuilles mortes apportées par le vent ou par l'eau.

Les niveaux perturbés. On a parfois trouvé, dans les niveaux de remplissage, des indices de perturbations limitées. Un indicateur assez fréquent de telles perturbations est une structuration verticale ou présentant une obliquité élevée. Ces perturbations sont présumées provenir de l'activité des grands animaux ou de l'homme. A ce jour, nous n'avons pu identifier que des perturbations relativement limitées et localisées.

5 Les datations

Les datations ont d'abord pour objectif d'obtenir une estimation **fiable** de la date du creusement (ou du recusement) de la mare tout en minimisant les coûts. Nous avons privilégié les datations à la base du remplissage en vérifiant raisonnablement la **cohérence** des valeurs obtenues. En 2010, une ou plusieurs **datations à la base** ont été effectuées chaque fois que ces objectifs paraissaient pouvoir être atteints.

D'autres objectifs ont parfois été ajoutés en fonction des attentes particulières des participants.

Pour les datations, nous avons retenu l'utilisation du carbone 14 avec la technique AMS («Accelerator Mass Spectrometry», en français un spectromètre de masse, sans préciser que cet équipement intègre un accélérateur de particules). Un grand nombre de laboratoires, malheureusement tous situés à l'étranger, proposent ce type d'analyses en service commercial de routine. Nous avons retenu de nous adresser au *Poznań Radiocarbon Laboratory* (Pologne), dirigé par Tomasz GOSLAR. Le délai pour l'obtention des résultats, annoncé et respecté, est d'environ 3 mois.

On trouvera, dans [16], p. 35 et suivantes, une excellente présentation générale *en français*, de Serge PAYETTE & André BOUCHARD, détaillant les principes de la datation par radiocarbone

Les mesures brutes, non calibrées, correspondent à la proportion de carbone 14 dans le carbone organique total (COT) en supposant que la teneur en radiocarbone de l'atmosphère est constante. Elles sont habituellement données **BP** («before present», défini conventionnellement par rapport à l'année 1950), la marge d'erreur étant donnée à 1σ , c'est-à-dire avec une probabilité de 68,2 % (On emploie parfois le terme *date* pour ces mesures brutes.).

En réalité, la teneur en radiocarbone de l'atmosphère varie pour des causes naturelles ou anthropiques. Les données brutes sont donc *calibrées* (c'est le terme consacré en métrologie pour dire simplement corrigées) pour tenir compte de cette teneur, qui a été reconstituée par dendrochronologie depuis 11 000 ans. Ces données calibrées sont exprimées :

- soit **AD** («Anno Domini»), c'est-à-dire de notre ère,
- soit **BC** («before Christ»), c'est-à-dire avant notre ère,

un procédé un peu compliqué pour tenir compte du fait qu'il n'existe aucune année zéro. On trouve également parfois *date calibrée BP*.

Pour la période moderne, c'est-à-dire postérieure à 1650, la précision des données calibrées est très médiocre, avec un intervalle de confiance très large⁵. Pour une large part, ce phénomène résulte de l'utilisation croissante des combustibles fossiles, qui ne comportent pas de carbone 14, ce qui tend donc à diminuer la proportion de carbone 14 dans le carbone atmosphérique.

Tomasz GOSLAR nous a précisé qu'une datation AMS nécessitait une quantité de 1 mg de carbone organique total pour avoir la précision nominale des mesures brutes. Dans le cas d'une quantité inférieure, la précision des mesures est plus faible et la quantité de carbone présente dans l'échantillon est alors indiquée. En routine, dans son laboratoire, les échantillons de charbons de bois (ou de fragments de plantes) sont d'abord nettoyés

⁵La calibration des données postérieures à 1650 nous paraît encore relever du domaine expérimental. Elle fait appel à une modélisation de l'âge en fonction de la profondeur [6, 7]. Elle a été utilisée avec succès pour étudier la prévalence moderne de divers polluants dans l'atmosphère, permettant ainsi d'évaluer les politiques publiques[20]. On est loin cependant des méthodes simples et éprouvées que nous avons privilégiées.

sous loupe binoculaire. Ensuite un traitement à l'acide chlorhydrique est effectué pour enlever les argiles, suivi d'un traitement à la soude pour éliminer les acides humiques. Les échantillons sont ensuite rincés à l'eau claire et les dernières impuretés sont enlevées.

L'objectif d'une datation est d'obtenir l'âge d'un dépôt. L'hypothèse implicite est que la matière organique s'est déposée en surface peu de temps après la mort de l'organisme qui l'a élaborée et qu'elle n'a ensuite subi aucun déplacement. Cependant, une partie de la matière organique ne vérifie pas ces conditions. Il s'agit d'abord des racines, qui peuvent représenter une part importante de la matière organique présente en profondeur. Il s'agit ensuite de la matière organique qui a migré, en général depuis des couches plus récentes. Dans les deux cas, il y a apport de matière organique plus jeune. On peut aussi trouver de la matière organique plus âgée, provenant par exemple de l'humus du sol terrestre présent à l'époque de la formation du dépôt.

Le traitement standard des échantillons effectué par le *Poznań Radiocarbon Laboratory* prend en compte ces diverses altérations. La matière organique ayant migré est éliminée, soit parce qu'elle a été adsorbée par l'argile, soit parce qu'elle est présente sous la forme d'acides humiques «libres». Ce traitement permet d'obtenir un âge «radiocarbone» correspondant à la date de formation des dépôts.

Il n'est cependant possible d'effectuer une datation correcte que s'il existe suffisamment de fragments facilement identifiables pour atteindre la masse requise de 1 mg. Il n'est pas mis en œuvre lorsque cette condition n'est pas remplie, c'est-à-dire quand la matière organique est présente sous la forme d'humus ou de trop petits fragments. Dans ce cas l'âge «radiocarbone» est l'âge moyen de matières organiques formées à des périodes différentes et comporte généralement des *rajeunissements* et parfois même des *vieillisements*. Les datations ne sont alors qu'une *indication* dont la *cohérence* doit être vérifiée. C'est pourquoi, nous avons souvent retenu d'effectuer plusieurs datations proches de la base pour obtenir une *estimation* de la date de création de la mare.

Lors des prélèvements, les échantillons ont été placés immédiatement dans des sacs plastiques étanches pour les protéger d'une contamination par du carbone atmosphérique moderne.

Références

- [1] ARNAL (G.) & GUITTET (J.), 2004. Atlas de la flore sauvage du département de l'Essonne. Biotope, Mèze. 608 pp.
- [2] CLIMENT (A.) & DURAND (G.), 2009. Campagne tourbières en forêt de Sénart du 25 au 29 août 2008. 15 pp.
[http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc_download/102-campagne-tourbieres-en-foret-de-senart-du-25-au-29-aout-2008]
- [3] CLIMENT (A.), HERBUVEAUX (G), PONGE (JF), 2010. Etudes stratigraphiques *tourbières* 2009 dans le Bois de Verrières (Essonne). Société Batrachologique de France, Fresnes, 7 pp.
[http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc_download/98-etudes-stratigraphiques-tourbieres-2009-dans-le-bois-de-verrieres-essonne]
- [4] DUPIEUX (N.), 1998. La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques. Espaces Naturels de France, programme *Life "Tourbières de France"*, 244 p.
- [5] GOBAT (J-M.), ARAGNO (M.), MATTHEY (W.), 2010. Le sol vivant : Bases de pédologie–Biologie des sols, Troisième édition. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 817 pp.
- [6] GOODSITE (M. E), ROM (W.), HEINEMEIER (J.), LANGE (T.), OOI (S.), APPLEBY (P. G.), SHOTYK (W.), VAN DER KNAAPP (W. O.), LOHSE (C.), HANSEN (T. S.), 2001. High-resolution AMS ¹⁴C dating of post-bomb peat archives of atmospheric pollutants. *Radiocarbon*, Vol 43, Nr 2B, p 495-515.
- [7] GOSLAR (T.), VAN DER KNAPP (W. O.), HICKS (S.), ANDRIČ (M.), CZERNYK (J.), GOSLAR (E.), RÄSÄNEN (S.), HYÖTYLÄ (H), 2005. Radiocarbon dating of modern peat profiles : pre- and post-bomb ¹⁴C variations in the construction of age-depth models. *Radiocarbon*. Vol 47, Nr1, p 115-134.
- [8] HERBUVEAUX (G.), 2005. Vers un plan de gestion des tourbières à Sénart. Sénart Forêt du III^e Millénaire, Fresnes. 18 pp.

- [http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc_download/95-vers-un-plan-de-gestion-des-tourbieres-a-senart-2005]
- [9] HERBUVEAUX (G.), PONGE (J.F.), CLIMENT (A.), LAURENTIN (C.), 2010. Etudes stratigraphiques *tourbières* 2009 dans les forêts de Sénart (Essonne) et de la Grange (Essonne et Val-de-Marne). Sénart Forêt du III^e Millénaire, Yerres, 23 pp.
[http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc_download/97-etudes-stratigraphiques-tourbieres-2009-dans-les-forets-de-senart-essonne-et-de-lagrange-essonne]
- [10] HERBUVEAUX (G.), PONGE (J.F.), DEGOVE (B.), LAURENTIN (C.), LIM (F.-R.), en préparation. Etudes stratigraphiques *tourbières* 2010 dans le Bois Notre-Dame (Val-de-Marne et Seine-et-Marne) et le Bois de Verrières (Essonne et Hauts-de-Seine).
- [11] HERBUVEAUX (G.), PONGE (J.F.), DEGOVE (B.), CLIMENT (A.), POUCKET (R.), en préparation. Etudes stratigraphiques *tourbières* 2010 dans les forêts de Sénart (Essonne) et la Grange (Essonne et Val-de-Marne).
- [12] LALANNE (A.), BARDAT (J.), LALANNE-AMARA (F.), GAUDROT (T.), PONGE (J.F.), 2008. Opposite responses of vascular plant and moss communities to changes in humus form, as expressed in humus index. *Journal of Vegetation Science*, 19, 645-652.
- [13] LALANNE (A.), BARDAT (J.), LALANNE-AMARA (F.), PONGE (J.F.), 2010. Local and regional trends in the ground vegetation of beech forests. *Flora*, 205, 484-498.
- [14] MANNEVILLE (O.), MULLER (F.), 2005. Plus variées qu'on l'imagine. *Espaces Naturels*, 11, 8-9.
- [15] MANNEVILLE (O.) (coord. par), 2006. *Le monde des tourbières et des marais* (Seconde édition). Delachaux et Niestlé, Paris. 320 pp.
- [16] PAYETTE (S.) & ROCHEFORT (L.) (Sous la direct. de), 2001. *Ecologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 621 pp.
- [17] PISCHEDDA (D.) (collectif coord. par), 2009. Guide pratique : pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». Office National des Forêts, 110 pp.
- [18] PONGE (J.F.), CHEVALIER (R.), LOUSSOT (P.), 2002. Humus index : an integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1996-2001.
- [19] PONGE (J.F.), CHEVALIER (R.), 2006. Humus index as an indicator of forest stand and soil properties. *Forest Ecology and Management*, 233, 165-175.
- [20] RAUSCH (N.), NIEMINEN (T.), UKONMAANANAHO (L.), LE ROUX (G.), KRACHLER (M.), CHEBURKIN (A. K), BONANI (G.) & SHOTYK (W), 2005. Comparaison of atmospheric deposition of copper, nickel, cobalt, zinc, and cadmium recorded by finnish peat cores with monitoring data and emission records. *Environment Science and Technology*, 39, 5989-5998.
- [21] WALKER (D.), 1970. Direction and rate in some British post-glacial hydroses. In *Studies in the vegetational history of the British Isles*. D. Walker & R.G. West, Cambridge University Press, Cambridge, pp 117-139.