



**HAL**  
open science

## Les mécanismes de formation des mares et des tourbières dans des forêts du Sud de l’Ile-de-France: rapport d’étape

Gérard Herbuveaux, Jean-François Ponge, Bernadette Degove, Régine Poucet

### ► To cite this version:

Gérard Herbuveaux, Jean-François Ponge, Bernadette Degove, Régine Poucet. Les mécanismes de formation des mares et des tourbières dans des forêts du Sud de l’Ile-de-France: rapport d’étape. 2013. hal-01097179

**HAL Id: hal-01097179**

**<https://hal.science/hal-01097179v1>**

Preprint submitted on 13 Jan 2015

**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

# Les mécanismes de formation des mares et des tourbières dans des forêts du Sud de l'Île-de-France

## *Rapport d'étape*

Gérard HERBUVEAUX<sup>a</sup>    Jean-François PONGE<sup>b</sup>    Bernadette DEGOVE<sup>c</sup>  
Régine POUCKET<sup>d</sup>

### Résumé

*Les mécanismes de formation des mares et tourbières intra-forestières sont encore assez mal connus, alors que la conservation de ces milieux fait l'objet de nombreuses actions de génie écologique, parfois justifiées, parfois non car reposant sur des connaissances incomplètes ou ignorant le contexte local. Dans le présent document sont analysés les mécanismes de formation des nappes perchées, principal acteur de l'alimentation en eau des mares et tourbières dans le Sud de l'Île-de-France, et les mécanismes de dépôt et de lessivage des particules colloïdales dans les mares et tourbières. Un classement des mares basé sur ces mécanismes est proposé.*

Le Groupe d'Étude des Tourbières, animé conjointement par la Société Batrachologique de France-Groupe Parisien (SBF), et le Collectif associatif, Sénart Forêt du III<sup>e</sup> Millénaire (SFMIII), a réalisé dans un cadre associatif un certain nombre d'investigations dans les mares et tourbières de différentes forêts domaniales, toutes situées au sud de l'agglomération parisienne : forêts de Sénart (Essonne), Notre-Dame (Val-de-Marne et Seine-et-Marne), Verrières (Essonne et Hauts-de-Seine), la Grange (Essonne et Val-de-Marne), Barbeau (Seine-et-Marne). Ces investigations ont eu lieu chaque été ou début d'automne, de 2008 à 2012 et ont permis de réaliser des études stratigraphiques et écologiques (flore, forme d'humus, analyse de paysage), un certain nombre d'entre elles accompagnées de datations radiocarbone, sur 44 mares et tourbières, dont 17 mares temporaires non tourbeuses. En outre, au cours de cette même période, des investigations ont été réalisées sur les nappes phréatiques, en particulier dans la zone du Cormier située en forêt de Sénart, zone riche en mares permanentes et tourbières à sphaignes. Des rapports sur ces campagnes d'étude ont déjà été mis en ligne (<http://www.natureparif.fr/connaître/publications/partenaires-natureparif/societe-batrachologique-de-france-sbf-et-collectif-associatif-senart-foret-du-iiiemillenaire-sfmiii>) et d'autres sont en cours de rédaction.

Tout d'abord, il convient de situer ces milieux dans le contexte climatique et géologique régional. Toutes les mares étudiées sont des mares intra-forestières de petite taille (deux à trois ares en général), dont beaucoup sont temporaires, soit au cours de l'année, soit au long d'années successives. Elles dépendent presque toujours, pour leur alimentation en eau, de l'existence d'une nappe,

---

<sup>a</sup>Société Batrachologique de France

<sup>b</sup>Muséum National d'Histoire Naturelle

<sup>c</sup>Société Batrachologique de France

<sup>d</sup>Collectif associatif, Sénart Forêt du III<sup>e</sup> Millénaire

perchée ou non, la pluviométrie locale (600 à 650 mm reçus annuellement, augmentant vers le sud) ne permettant pas une autonomie par rapport aux nappes. Toutes les tourbières recensées sont donc considérées comme « minérotrophes » et non « ombrotrophes ». Le substrat géologique, en général limoneux (dépôts éoliens dit « limons des plateaux », ou plus rarement caillouteux comme dans certains secteurs de la forêt de Sénart concernés par des dépôts fluvio-glaciaires [5]), repose sur le calcaire de Brie meuliérisé ou non (à l'est ou au sud de la région concernée : Sénart, Notre-Dame, Barbeau) ou le calcaire de Beauce meuliérisé ou non (à l'ouest : Verrières), voire sur des dépôts épais de sables de Fontainebleau (butte stampienne : la Grange). On a donc affaire à des dépôts hétérogènes, avec des discontinuités géologiques importantes à des profondeurs variables, outre celles réalisées secondairement sous l'influence des déboisements et perturbations diverses liées aux occupations humaines. La présence souterraine de calcaire est souvent avérée, en contradiction avec les indications de la carte géologique. Le présent document n'est donc valable que dans ce contexte et ne doit être extrapolé ni en dehors de l'Ile-de-France ni même à d'autres secteurs franciliens nettement mieux arrosés.

Les sites d'étude ont été choisis de façon à représenter l'éventail le plus large des cas de figure possibles (sur la base d'analyses paysagères puisque le résultat des sondages ne peut être connu à l'avance), en évitant les deux plus grandes tourbières à sphaignes de la forêt de Sénart (Tourbière du Cormier et Tourbière à Jean-François), déjà étudiées par l'Office National des Forêts. L'échantillonnage est largement biaisé en faveur des milieux tourbeux et ne représente donc pas la situation banale des mares intra-forestières, les mares temporaires non tourbeuses étant largement sous-représentées.

En très peu d'années, nous avons dû réviser complètement nos échelles de temps. Si en 2009, lors de l'élaboration du plan de gestion des mares de Sénart, nous n'osions pas encore remettre en cause l'hypothèse, formulée en 1997, d'une durée de vie moyenne des mares de l'ordre de 200 ans [8], déjà à la fin de 2010, nous écrivions que « les sites étudiés sont supposés, jusqu'à preuve du contraire, être d'origine anthropique et relativement jeunes (moins de 5 000 ans) » [10]. Depuis lors, les datations  $^{14}\text{C}$  ont permis d'identifier 4 « vieilles mares », dont 2 d'origine naturelle, la plus ancienne ayant environ 16 000 ans. Les « jeunes mares » étudiées et datées par  $^{14}\text{C}$ , les plus nombreuses, sont toutes d'origine anthropique et la majorité ont entre 2 000 et 5 000 ans, les trois autres ayant entre 1 000 et 2 000 ans. Les quatre mares les plus récentes ont été creusées ou recréusées entre août 1915 et 1996. L'âge des mares étudiées varie ainsi de 13 à 16 000 ans !

Nous voulons dans ce texte faire une première synthèse de nos études, de nos débats et controverses, à la lumière de deux publications récemment découvertes et compilées. Ces deux documents concernent à la fois le « remplissage » des mares, c'est-à-dire les matériaux solides présents dans la cavité originelle, et leur alimentation en eau par des nappes perchées. Ce document est un rapport d'étape. Il comporte deux parties. La première partie est consacrée aux nappes perchées tandis que la seconde est dédiée aux mécanismes de formation des mares et des tourbières proprement dit.

## Les nappes perchées

**Le premier article** [14] est une synthèse australienne concernant l'impact sur les sols de l'irrigation, donc a priori bien loin de nos préoccupations.

Les deux auteurs de cet article analysent soigneusement les facteurs provoquant ou favorisant la dispersion dans le sol des colloïdes, c'est-à-dire des particules de taille inférieure à 10 microns. Cette taille est nettement plus élevée que celle qui définit la limite de taille des argiles *granulométriques*, moins de 2 microns, utilisée habituellement puisque l'on parle le plus souvent de migration ou de lessivage des argiles. Il nous semble que ce changement de limite permet de mieux mettre en perspective les mécanismes en cause.

Jean-Michel GOBAT et ses coauteurs [7] définissent les colloïdes comme des particules (micelles) de très petite taille, capables de floculation ou de dispersion dans un liquide. Cependant, ils

ne paraissent pas utiliser ce concept. Le référentiel pédologique de l'AFES, tel qu'ils le résument, ne fait référence qu'à l'appauvrissement ou l'accumulation d'argiles. Ce changement de cadre conceptuel nous semble une rupture majeure, même si elle n'est pas du tout mise en avant par les auteurs australiens.

Les colloïdes dispersés peuvent ensuite se redéposer en obstruant les pores du sol (voir plus loin).

Les phénomènes identifiés comme provoquant la dispersion des colloïdes sont :

- les pluies (ou arrosages) sur sol labouré (vu la description faite, par delà les terres agricoles, ceci s'applique sans doute à tous les sols non protégés par des horizons organiques),
- le tassement du sol,
- une charge en eau élevée,
- une proportion notable de sodium dans les cations de la solution du sol.

Certaines conditions s'opposent à la dispersion des colloïdes :

- une teneur élevée en cations dans la solution du sol, quelle qu'en soit la nature, et pas seulement ceux qui sont habituellement cités dont principalement le calcium et secondairement le potassium, même si le calcium a en outre un effet propre important,
- une teneur élevée en matière organique.

D'autres conditions au contraire favorisent cette dispersion :

- un labour surtout s'il est récent (ceci paraît plus généralement concerner toute perturbation récente des horizons organo-minéraux ou minéraux),
- l'abondance, dans les argiles *granulométriques* (nous pensons que cela traduit de façon plus précise le terme anglais *clay* employé par les auteurs), d'illite ou de kaolinite, argiles *minéralogiques* non gonflantes.

Dans les sols « naturels » riches, la matière organique se décompose vite, l'horizon A contient peu de matière organique et la litière disparaît parfois dès le mois d'avril pour un EUMULL. Par contre, ces sols présentent une concentration élevée en cations, ce qui les protège des pluies d'été dans notre région.

De ces éléments, on retiendra que les facteurs anthropiques peuvent amplifier très fortement cette dispersion des colloïdes. Quelques exemples :

- Les cultures d'hiver avec un travail de la terre avant la fin des pluies d'été, surtout si les terres ne bénéficiaient pas d'un apport régulier de matière organique, ce qui était autrefois le cas de toutes les terres non situées à proximité des habitations. On notera que les cultures de céréales exportent une quantité particulièrement importante de calcium, ce qui a un effet différé important si cette exportation n'est pas compensée par le chaulage.
- Le soutrage, c'est-à-dire l'enlèvement de la litière utilisée ensuite comme engrais organique, qui à la fois met à nu les horizons organo-minéraux et réduit la quantité d'humus.
- Les récoltes excessives ou perturbantes de bois.
- Le tassement des sols résultant aujourd'hui de la mécanisation, mais ayant pu résulter dans le passé de la concentration du bétail.

C'est très vraisemblablement la disparition de certaines de ces activités, à la suite sans doute des troubles appelés *bagaude(s)* [3] qui ont accompagné ou suivi le déclin de l'Empire romain, qui explique la réduction d'au moins un facteur 10 des apports argileux constatée à Sénart dans la Tourbière à Béal, une très jeune mare qui n'a guère plus de 1 500 ans [12].

Les auteurs expliquent que ces colloïdes dispersés vont ensuite obstruer les pores existant dans le sol plus profond.

Ils notent que les pores qui retiennent l'eau utilisable par les plantes, la réserve utile en eau, ont des tailles comprises entre 0,1 et 30 microns avec une majorité d'une taille de 10 microns situés

généralement à l'intérieur d'agrégats. Ils rappellent également que la perméabilité résulte de la taille, de la forme et de la continuité des pores. La limite basse de 30 microns constitue ainsi la limite où l'eau peut s'écouler de façon gravitaire. Les pores de taille de l'ordre de 10 microns, de par leur position à l'intérieur d'agrégats, ne peuvent contribuer de façon significative à la perméabilité des sols. Il en résulte que pour réduire significativement la perméabilité d'un horizon, il suffit de colmater une proportion suffisante de pores d'une taille supérieure à 10 microns et surtout d'une taille au moins égale à 30 microns pour rompre la continuité des écoulements.

On a parfois tendance aujourd'hui à considérer qu'une imperméabilisation est nécessaire pour retenir l'eau. Bien avant les scientifiques, tous les anciens savaient déjà que ce n'était pas le cas, puisqu'ils utilisaient une vache à eau pour conserver au frais de l'eau dans un tissu très perméable. La réduction de perméabilité dont nous parlons est comparable aux barrages filtrants présents parfois sur nos routes. Ces barrages sont perméables, puisqu'ils laissent passer une quantité importante de véhicules. Pourtant, ils provoquent d'importants stockages de véhicules, équivalents, à une autre échelle, au stockage de l'eau dans les nappes perchées.

L'impression qui domine est que la prise en compte d'une diversité de tailles plus grande que celle des seules argiles permet de mieux comprendre comment un horizon plus ou moins imperméable peut se former en profondeur. On a en effet du mal à imaginer quel mécanisme peut provoquer le dépôt de particules d'une taille inférieure à 2 microns dans des pores d'une taille de 30 microns, sachant que la floculation, qui implique une modification de la composition chimique de l'eau, paraît généralement exclue. On peut supposer également que si la dispersion des colloïdes n'atteint pas une intensité suffisante, seules les particules les plus fines, en gros les argiles, sont dispersées et qu'elles ne colmatent pas les petites cavités précitées et sont entraînées en profondeur (voir article suivant).

Les auteurs notent également que les pores du sol sont (re)créés par les racines, les hyphes des champignons, la faune du sol, auxquels s'ajoutent les contractions/gonflements dans les sols argileux et l'alternance gel/dégel sous des climats suffisamment froids. Pour les auteurs, l'abondance des racines est le facteur principal (le raisonnement n'est pas détaillé, mais ils estiment sans doute que le rôle des champignons et de la faune dans la création de pores est subordonné pour l'essentiel, dans les horizons minéraux, au fonctionnement des racines). En tout cas, l'abondance de racines est le seul facteur directement influencé par l'homme et qu'il peut, éventuellement, contrôler volontairement.

Nous avons relevé pour notre part un ensemble convergent d'éléments indiquant que l'augmentation des racines profondes, par vieillissement des peuplements forestiers ou par l'augmentation de l'importance des essences à enracinement profond, pouvait réduire l'importance des nappes perchées, voire les faire entièrement disparaître. A Sénart, à peine plus d'un siècle après l'abandon des cultures et l'installation de la forêt, un sol hydromorphe, attesté par les vestiges de billons, est devenu un sol filtrant. Tous les mécanismes que nous avons imaginés pour expliquer cette évolution font intervenir, directement ou indirectement, l'augmentation du volume prospecté par les racines.

Le caractère probant de la synthèse australienne à laquelle nous nous référons [14], est qu'elle s'appuie sur des baisses de rendement agricole constatées avec un délai de 10 à 40 ans en Australie d'abord mais aussi en Egypte, aux Etats-Unis ou ailleurs. Sa validation complète résulterait de l'effondrement, dans un délai de 10 à 30 ans, des rendements agricoles sur une partie notable des terres irriguées en Australie, dont l'essentiel des vignobles, au cas où les pratiques actuelles ne seraient pas modifiées de façon radicale. On notera d'ailleurs que cette synthèse a été publiée par le « Programme National pour l'Irrigation Soutenable ». Vu la brièveté des durées en cause, dans les études complètes, l'état initial peut généralement être connu de façon fiable, ce qui n'est pas le cas dans les études conduites sur des sols dits naturels comme celles citées dans l'article suivant.

Les auteurs notent également qu'environ la moitié des études sur l'impact de l'irrigation montrent une migration importante d'argiles et autres particules fines en profondeur, alors que l'autre moitié des études ne détectent pas un tel phénomène. Ils n'ont relevé aucun élément expliquant une telle différence. A notre sens, cette différence peut résulter pour partie de l'absence de relevés de para-

mètres pour lesquels aucune méthode n'est disponible en routine. Par ailleurs, l'imperméabilisation liée au colmatage des pores n'apparaît évidemment que quand une proportion suffisante de pores sont obstrués pour rompre leur continuité. La densité, la taille et la continuité des pores étant des paramètres extrêmement difficiles à cerner, l'impact de l'irrigation peut n'apparaître que plus tard, sans pour autant que les mécanismes en cause soient modifiés. Evidemment, des phénomènes totalement inconnus peuvent également intervenir.

**Le second article** est une note publiée en 1989 dans les CR de l'Académie des Sciences [4], en français donc. La démarche de l'auteur est de s'opposer au consensus supposé des pédologues concernant l'origine des nappes perchées. Il était alors admis que toutes les nappes perchées s'étaient formées par lessivage vertical des argiles et leur redéposition, à un niveau inférieur, pour y former un niveau imperméable. Il prouve clairement, par une étude de terrain conduite dans le Jura français, que ce n'est pas si simple et ce, de deux façons : d'abord en trouvant des nappes perchées qui résultent du seul substrat géologique et ensuite, et c'est ce qui nous intéresse, en montrant que les argiles entraînées par l'eau ne se redéposent pas toujours à un niveau inférieur. Plus précisément, en présence d'une nappe perchée, les argiles sont fortement dispersées, comme indiqué dans l'article précédent, mais en absence d'écoulement en profondeur, ces argiles se déplacent latéralement et se redéposent dans le même niveau. Il suggère que les déplacements de fer observés dans les pseudogleys (taches rouilles de fer oxydé et parfois présence de zones fortement décolorées) sont associés aux déplacements d'argiles dans le même horizon. L'existence de déplacements horizontaux d'argiles dans les pseudogleys est cohérente avec l'extrême variabilité de la perméabilité que nous y avons observée.

Cette étude s'appuie largement sur des études granulométriques. L'auteur souligne cependant le doute existant quant à l'interprétation de telles analyses. En effet, nous ne connaissons pas l'état initial des sols et donc la mise en évidence d'un lessivage ou d'une accumulation ne peut être qu'indirecte, donc relativement fragile même avec un habillage mathématique qui est ici, comme souvent, faussement rassurant.

Emporté par sa fougue, l'auteur affirme que toutes les nappes perchées sont d'origine géologique et qu'il n'existe pas de nappes perchées issues de mécanismes pédologiques. Cette thèse est évidemment excessive dans sa généralité : l'étude par cristallographie aux rayons X, conduite à Sénart près de la Mare du Capitaine [2, 1] montre clairement que les argiles à la base du pseudogley résultent d'un déplacement vertical, alors que ce déplacement serait horizontal si cet horizon résultait de la seule géologie. Ajoutons l'étude d'une mare en forêt de la Grange où le substrat géologique est constitué de sables de Fontainebleau, donc particulièrement perméable. Autour de cette mare, on trouve cependant une nappe perchée particulièrement puissante.

Cet article est très postérieur à l'étude conduite à Sénart près de la Mare du Capitaine, qui a donné lieu à deux articles parus en 1967 et 1971 et qui paraît encore aujourd'hui l'étude la plus complète disponible au sujet de la formation des nappes perchées. Cette étude suggère une forte hétérogénéité des nappes perchées, même à faible distance, avec une structure en « peau de léopard » ce que nous avons pu confirmer en 2011 [13]. Elle suggère également que ces nappes, et les pseudogleys qui en résultent, sont produites par une forte réduction de la perméabilité dans l'horizon d'accumulation, réduction qui n'empêche pas qu'un écoulement lent de l'eau le traverse.

Nous n'avons trouvé par ailleurs que de très rares articles scientifiques sur cette question, les plus intéressants étant deux articles canadiens dont l'intérêt essentiel est de définir précisément les nappes perchées. La question par contre est très fréquemment abordée dans des publications techniques concernant la sylviculture, de telles nappes étant en effet fréquentes en forêt.

Nos observations vont dans le sens de la coexistence de deux mécanismes. D'abord, dans la majorité des mares étudiées, nous avons trouvé un remplissage d'argiles qui sont apportées latéralement depuis la ou les nappes perchées (origine mise en évidence en 2010 [11, 12]). Mais, dans d'autres cas, ce remplissage d'argile est absent. On a même trouvé des mares avec des sols lessivés. La perte d'argiles par lessivage est alors supérieure aux apports latéraux.

Si on retient, comme les auteurs australiens, que la dispersion peut toucher la totalité des colloïdes, et pas seulement les argiles, il paraît logique qu'il faille une proportion suffisante de particules de plus grande taille pour colmater suffisamment de pores du sol et initier la formation d'un horizon imperméable d'accumulation. Le cadre d'étude de ces auteurs, constitué par des milieux hautement anthropisés, explique sans doute pourquoi ils constatent que la dispersion ne concerne pas que les seules argiles, mais la totalité des colloïdes. Si ce phénomène n'a pas été détecté lors d'autres études, c'est sans doute parce que la proportion de particules de plus grande taille reste faible, ce qui est le plus souvent le cas en l'absence de perturbations anthropiques importantes. La "migration des argiles" conduirait donc beaucoup plus fréquemment à la formation de nappes perchées quand les actions humaines, favorisant d'une manière générale la dispersion, ont été importantes.

## Les mares et les tourbières

L'histoire d'une mare commence toujours par la création ou l'apparition d'une cavité dans le sol.

Pour identifier les limites de cette cavité initiale, nous avons besoin de déterminer son origine (pour détails complémentaires, voir [16]). Quand cela est possible, cela permet d'être sûr de disposer d'une histoire complète comprenant les phases initiales, qui sont les plus essentielles. Quand cela n'est pas possible, ces données manquent évidemment.

C'est d'abord pour cette raison que nous avons consacré autant d'énergie, voire de courbatures, à identifier l'origine des sites étudiés.

On peut répartir les mares que nous avons étudiées, âgées de plus d'un siècle et pour lesquelles nous disposons de données suffisamment complètes, dans les groupes suivants :

**Les mares à remplissage « argileux ».** Dans ces mares, quand nous avons pu atteindre la base du remplissage, la stratigraphie montre généralement un niveau de colluvionnement à la base au dessus d'un niveau remanié. Parfois cette limite n'est pas facilement identifiable du fait de l'absence d'éléments plus gros que des sables fins.

Selon les méthodes définies dans le guide PROSOL [15], nous avons noté soigneusement ce remplissage « argileux », ne comportant pas de sables, comme « argile », « argile limoneuse » ou encore « limon argileux ». L'hypothèse implicite de ce relevé soigneux était que la présence de limons attestait une augmentation du colluvionnement, donc un niveau plus élevé de perturbations, anthropiques ou animales, en périphérie immédiate de la mare. Ces variations nous paraissent aujourd'hui traduire beaucoup plus les variations dans la granulométrie des colloïdes arrivant dans la mare. Elles ne semblent donc pas, le plus souvent, pouvoir être reliées **directement** à des actions anthropiques et ne seraient donc pas ou peu pertinentes. On devrait donc plutôt parler de **remplissage colloïdal** que de remplissage argileux.

Ce remplissage peut former un gley, milieu réducteur propre à assurer la conservation des archives organiques, mais le cas contraire a également été observé dans une mare étudiée en 2012 dans la forêt Notre-Dame.

Dans ce groupe de mares, on trouve évidemment des tourbières ou des mares permanentes, mais également des mares temporaires. Ce remplissage assure une imperméabilisation complète du fond de la mare, sans doute dès qu'il atteint une dizaine de centimètres. Il peut remonter plus ou moins haut sur les parois de la mare. Dans ce cas, cette couche imperméable peut empêcher l'alimentation en eau de la mare par les nappes perchées tant que le niveau de l'eau ne dépasse pas la hauteur imperméabilisée. De telles mares auront donc souvent des mises en eau très tardives. L'existence de cette barrière explique que certaines mares temporaires aient une mise en eau très irrégulière quand cette barrière n'est submergée que lors des années les plus pluvieuses. A contrario, tant que le niveau de l'eau est supérieur à cette barrière, il suivra assez rapidement les fluctuations du niveau de la nappe. Lorsque le niveau de l'eau de la nappe

baissera sous cette barrière jusqu'à sa disparition, le niveau de l'eau dans la mare baissera de façon lente puisque cette baisse résultera de la seule évapo-transpiration.

Toutes les tourbières étudiées comportent un tel niveau imperméable, avec ou sans horizon organo-minéral de transition. C'est-à-dire que l'apparition d'une tourbière vraie peut être aussi bien un phénomène rapide qu'un phénomène très progressif. Certaines transitions rapides paraissent associées à des perturbations massives telles que des incendies importants. Dans ces mares, on peut observer, à tout niveau, des phases très marquées de colluvionnement sur 5 à 15 cm. Cette reprise du colluvionnement doit alors clairement être associée à une perturbation majeure comme parfois un feu important. Ce colluvionnement intense dure peu, sans doute moins de 10 ans. La persistance prolongée d'un colluvionnement significatif est théoriquement possible en cas de perturbations persistantes des berges de la mare. Nous n'avons cependant trouvé trace que d'un colluvionnement faible, avec un simple bruit de fond se traduisant par la présence éparse d'éléments grossiers, puisque, même en l'absence de perturbations significatives, le reprofilage des berges se poursuit.

**Les mares lessivées.** Une mare de ce type a été étudiée avec soin, en 2011, près de la Mare du Capitaine à Sénart. Sous un horizon OH épais de plus de 15 cm, nous avons trouvé un horizon cendré lessivé avec les taches d'oxydo-réduction caractéristiques d'un pseudogley. Hormis un horizon OH un peu plus épais, les horizons de surface ne se distinguaient en rien de ceux qui existaient autour de la mare. Cette mare est située dans la parcelle où a été mis en évidence le mécanisme de formation des nappes perchées qui y sont présentes. Non seulement les argiles (ou plutôt les colloïdes) apportées par ces nappes ne se déposent pas dans le fond de la mare, mais il semble bien que le lessivage s'y poursuive. Cette mare ne présente donc aucune imperméabilisation, ni même le moindre commencement de colmatage. Le niveau de l'eau doit donc y suivre le niveau de l'eau dans les nappes temporaires perchées avoisinantes, avec lesquelles il est plus ou moins en équilibre. Il n'est donc pas étonnant que cette mare soit temporaire avec une mise en eau relativement régulière tout comme les nappes perchées de cette parcelle.

**Les mares intermédiaires.** Dans ces mares, le bilan des dépôts de colloïdes (apports) et du lessivage (pertes) est proche de l'équilibre. Elles sont temporaires, « tenant l'eau » de façon variable. Dans une des deux mares de ce type que nous avons étudiées, la bioturbation par les vers de terre est très élevée. De ce fait, les apports de sédiments n'engendrent qu'un colmatage assez faible et la mare tient peu l'eau. Dans l'autre, l'action des vers de terre est pratiquement inexistante ; le colluvionnement entraîne un colmatage plus important et la mare temporaire tient mieux l'eau. Les deux mares étudiées sont très récentes avec un âge de l'ordre de 200 ans. Elles ont été creusées (ou recreusées) pour créer une mare permanente, c'est pourquoi, nous n'avons pas détecté de niveau remanié sous le remplissage. Dans les deux cas, cet objectif n'a évidemment pas été atteint.

Les mares ayant fait l'objet de datations radiocarbone sont toutes des mares à remplissage colloïdal. On notera que dans les deux autres groupes de mares on a une migration importante de colloïdes dans le remplissage, laquelle s'accompagne de façon presque certaine d'une migration importante de matière humique. De ce fait, des datations radiocarbone n'auraient pu donner que des indications bien aléatoires sauf si des éléments organiques figurés, charbons de bois par exemple, d'une taille suffisante avaient été trouvés. Ceci est évidemment très rare dans de tels milieux à l'évidence non tourbeux.

Parmi les mares que nous avons étudiées, quatre ne rentrent dans aucun de ces groupes.

Tout d'abord la Mare aux Baigneuses, étudiée à Sénart en 2008 [6]. Cette mare est située sur un cours d'eau temporaire, le Madereau, et reçoit une quantité considérable de feuilles mortes et de sédiments. Comme souvent les queues d'étang, elle joue principalement le rôle d'un bassin de décantation et relève donc fondamentalement d'une tout autre dynamique.

Ensuite, une mare ayant visiblement fait l'objet d'un surcreusement avec abandon des déblais dans la mare elle-même, étudiée à Sénart en 2009 [9], une mare, étudiée en 2011 à Notre-Dame, qui a été entièrement réaménagée, en vue d'y abreuver le bétail élevé en forêt ou d'y produire une

quantité limitée de poissons, avec réduction de la profondeur de la mare et empierrement du fond et enfin une mare étudiée à Verrières où un remblai partiel par des gravois a pu être confirmé. Dans toutes ces mares, nous avons identifié un ou plusieurs niveaux remaniés au sein même du remplissage de la mare et pas seulement en dessous de celui-ci.

Les deux phénomènes qui déterminent l'évolution initiale d'une mare sont d'abord le colmatage par les colluvions, ou parfois par les sédiments. Ensuite éventuellement l'imperméabilisation par les argiles. On sait qu'une forme en V couché est très favorable au colmatage, et qu'au contraire, un fond plat (ou en escalier) y est très défavorable. On a vu qu'il existe une tendance au dépôt des colloïdes qui favorise l'imperméabilisation et une tendance à leur dispersion qui la défavorise. Hormis le cas où une forte concentration en calcium provoque une floculation rapide dans la mare, un bilan favorable à l'imperméabilisation nécessite que les pores de ses parois soient de petite taille, soit naturellement, soit le plus souvent par suite du colmatage initial par de la matière organique fine, des colluvions ou des sédiments.

Les mécanismes décrits dans ce document et l'apparition très irrégulière de certaines nappes perchées, présentes seulement lors des années pluvieuses, n'expliquent pas en totalité l'apparente anarchie régnant dans la mise en eau des mares de la forêt de Sénart. En effet, le 16 mars 2013, nous avons mis en évidence que le niveau de l'eau relativement bas observé dans quelques rares mares ne pouvait s'expliquer par les phénomènes précités !!

### Remerciements

Les investigations de terrain utilisées dans ce document n'auraient pas été possibles sans la participation de militants associatifs bénévoles n'ayant pas toujours de formation scientifique. De plus, sans leur curiosité de néophytes et leur pugnacité, certains phénomènes cités n'auraient sans doute jamais été relevés de façon aussi systématique.

Qu'ils en soient tous remerciés, même et surtout ceux qui n'ont pas participé directement à l'élaboration du présent document.

Ce document est édité conjointement par la Société Batrachologique de France – Groupe Parisien (SBF), 22 avenue Edouard Herriot 94 260 Fresnes, et par le Collectif associatif, Sénart Forêt du III<sup>e</sup> Millénaire (SFMIII), 29 avenue des Prés Pierre 91 210 Draveil. Ces deux associations et les auteurs autorisent la diffusion intégrale et conforme, sans décompilation, du présent document.

## Références

- [1] BACHELIER (G.) & COMBEAU (A.), 1971. Observations sur un sol podzolique à pseudogley de la Forêt de Sénart (Station R.C.P. 40) In : Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens. Dynamique saisonnière de deux sols en climat tempéré. Editions du CNRS, Paris, pp 187-238.
- [2] BAUZON (D.), ROUILLER (J.), BACHELIER (G.), 1967. Caractéristiques pédologiques et microbiologiques des sols de la station R.C.P. 40 de la Forêt de Sénart et du Parc de Brunoy. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol, 1967, 4, 533-551.
- [3] BRAUDEL (F.), 1986. L'identité de la France, les hommes et les choses. Arthaud-Flammarion. 218 pp.
- [4] BRUCKERT (S.), 1989. Lessivage vertical versus lessivage latéral : incompatibilité de ces deux grands phénomènes pédogénétiques. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de la Terre, Sciences de l'Univers, 308, p. 335-340.

- [5] CAILLEUX (A.) & MICHEL (J.P.), 1967. Sur la sédimentologie des alluvions plio-quadernaires d'Yerres et de Sénart au S.E. de Paris. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 9, 415-424.
- [6] 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]  
 [http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc\_download/98-etudes-stratigraphiques-tourbieres-2009-dans-le-bois-de-verrieres-essonne]
- [7] 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.
- [8] HERBUVEAUX (G.), TANANT (M.), PONGE (J.F.), MORÈRE (J.J.), DEGOVE (B.), 2009. Intégration des mares dans la gestion du massif forestier de Sénart (Essonne). Société Batrachologique de France, Fresnes. 28 pp.  
 [http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc\_download/85-integration-des-mares-dans-la-gestion-du-massif-forestier-de-senart-essonne]
- [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<sup>e</sup> 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.), POU CET (R.), CLIMENT (A.), 2010. Méthodologie et vocabulaire utilisés par le *Groupe d'étude des tourbières de Sénart* dans les études conduites en 2010. *Sénart Forêt du III<sup>e</sup> Millénaire*. Draveil, 8 pp.  
 [http://www.natureparif.fr/fr/documentation/doc\_download/129-methodologie-et-vocabulaire-utilises-par-le-groupe-detudes-des-tourbieres-de-senart]
- [11] 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).
- [12] HERBUVEAUX (G.), PONGE (J.F.), DEGOVE (B.), CLIMENT (A.), POU CET (R.), en préparation. Etudes stratigraphiques *tourbières* 2010 dans les forêts de Sénart (Essonne) et la Grange (Essonne et Val-de-Marne).
- [13] HERBUVEAUX (G.), PONGE (J.F.), DEGOVE (B.), en préparation. Contribution à l'étude de l'hydrologie périphérique de mares et tourbières d'origine anthropique dans les forêts de Sénart (Essonne) et de la Grange (Essonne et Val-de-Marne).
- [14] MURRAY (R.S.) and GRANT (C.D.), 2007. The impact of irrigation on soil structure. The National Program for Sustainable Irrigation (Land & Water Australia), Canberra. 31 pp.  
 [http://lwa.gov.au/files/products/national-program-sustainable-irrigation/pn20619/pn20619.pdf]
- [15] PISCHEDDA (D.) (collectif coord. par), 2009. Guide pratique pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PRO SOL ». Office National des Forêts. 110 pp.
- [16] PONGE (J.F.), HERBUVEAUX (G.), 2013. Notes pour l'interprétation des données recueillies lors de l'étude stratigraphique des mares et tourbières. 7 pp.  
 [http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00802003]