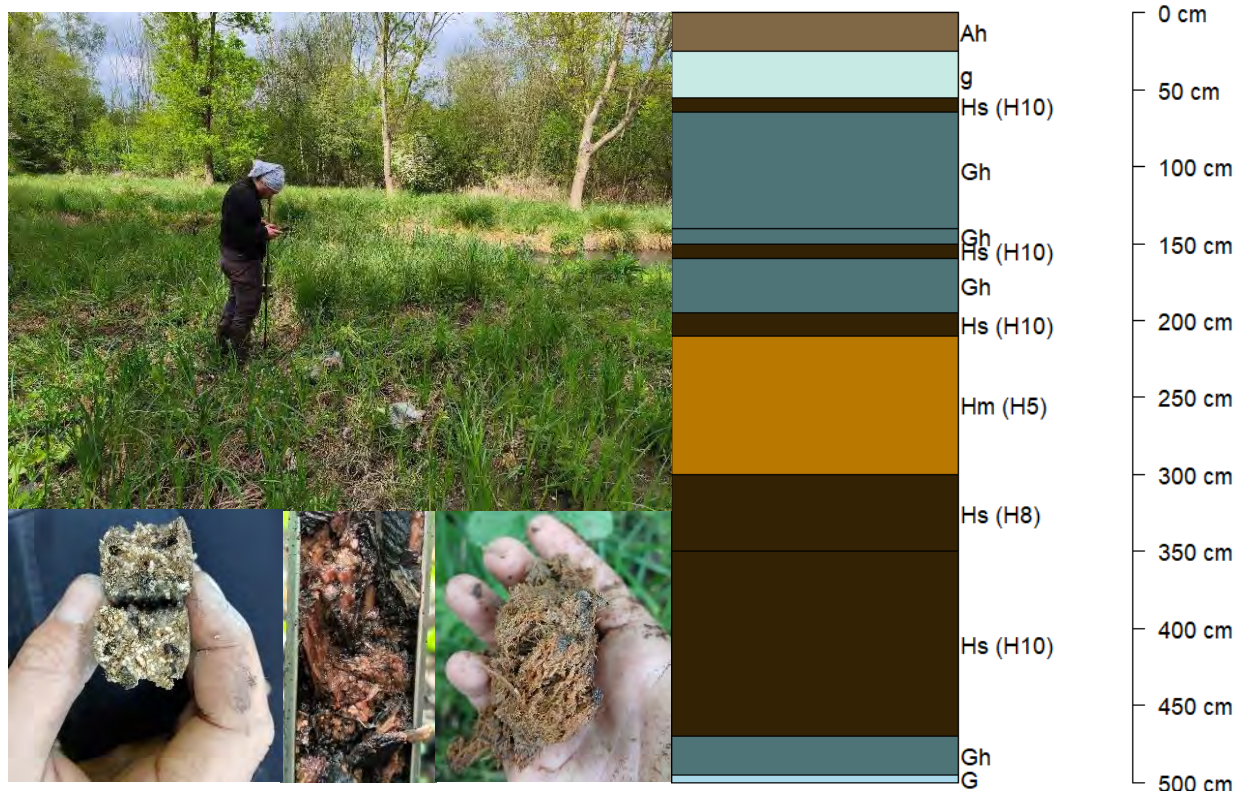


Note technique : Calcul des volumes de tourbes et masses de carbone en région Hauts-de-France



Animé par :



Conservatoire
d'espaces naturels
Hauts-de-France

Réalisation : Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France

Rédaction : RAYMOND Lucas, JACEK Guillaume

Réalisé avec le soutien financier de :



Etablissement public du Ministère chargé
du développement durable



eau
seine
NORMANDIE
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

FRANCE
NATION
VERTE
Agir • Mobiliser • Accélérer

Citation recommandée : RAYMOND L. & JACEK G., 2026 – PRAT. Calcul des volumes de tourbes et masses de carbone en région Hauts-de-France. Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France, Boves. Note technique. 13 p.

Date de réalisation : mai 2026

Contextualisation

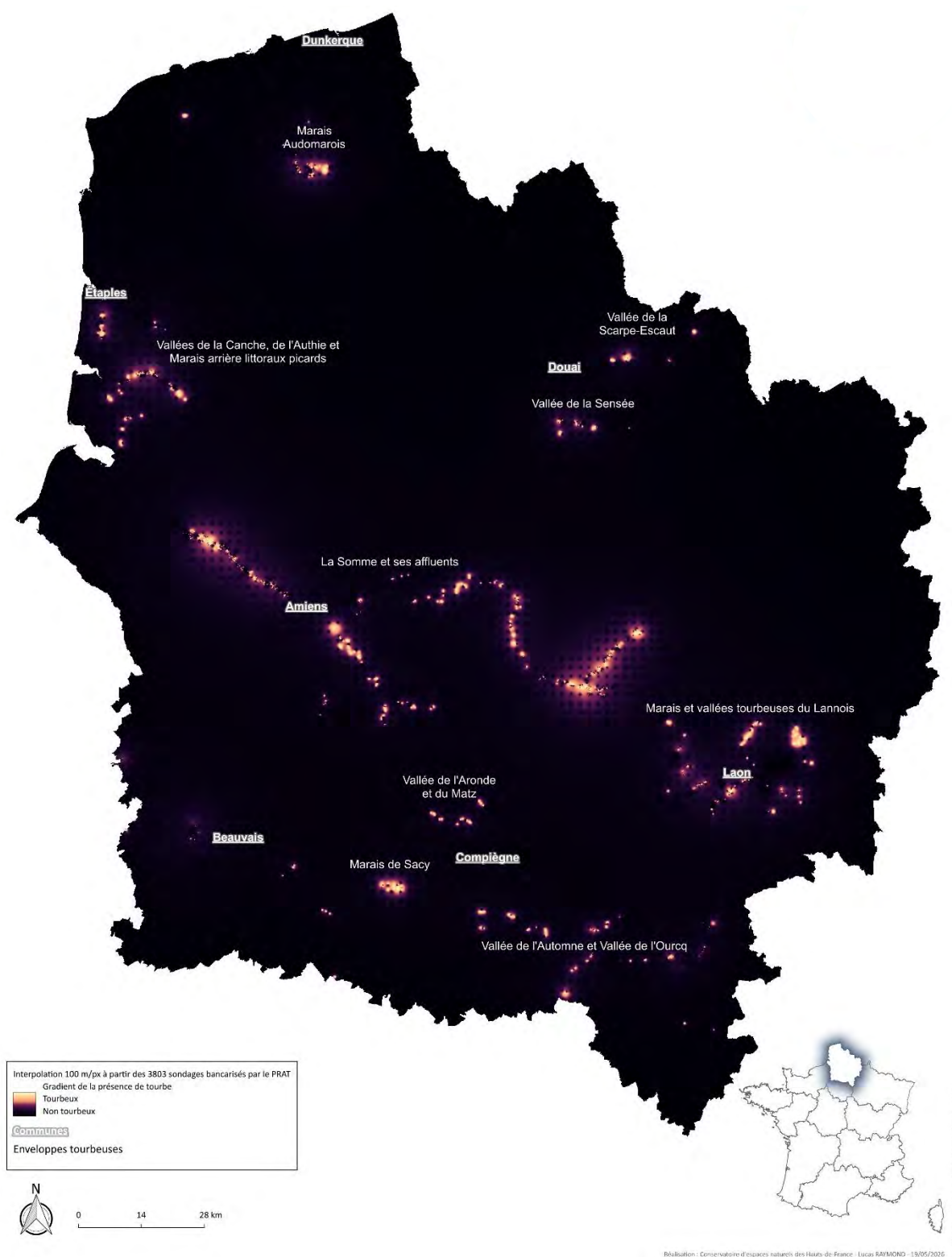
Fin des années 2000, un état des lieux national des connaissances régionales sur les tourbières a été réalisé par les Conservatoires d'espaces naturels et le Pôle relais tourbières. Cette étude a mis en évidence un niveau de connaissances insuffisant pour localiser précisément ces milieux et en évaluer les enjeux de conservation. Dans ce contexte, plusieurs projets visant à améliorer leurs localisations et suivis se sont développés à l'échelle régionale.

Dans les Hauts-de-France, une prélocalisation des tourbières a été réalisée en 2011 par l'ancien CEN Nord-Pas-de-Calais. Pour ce qui est de la Picardie, l'ancien CEN a mené entre 2013 et 2017 un travail de localisation en s'appuyant sur des sondages pédologiques. L'étude de ces milieux, à forts enjeux régionaux voire nationaux, s'est ensuite intensifiée avec la mise en œuvre du programme Life Anthropofens, dédié à la restauration active de 13 sites tourbeux Natura 2000 en Belgique et en France.

En parallèle de ces travaux de restauration, la dynamique de localisation des milieux tourbeux est renforcée depuis 2022 par le Plan Régional d'Action en faveur des Tourbières (PRAT). Coordonné par le CEN, en partenariat avec plusieurs structures de la région (cf Chapitre 4, rapport PRAT 2025), ce programme vise à améliorer la connaissance des zones tourbeuses à l'échelle régionale. Il a notamment pour objectif de définir une méthode de prospection homogène permettant de localiser précisément les enveloppes tourbeuses, d'estimer les volumes de tourbe, les concentrations en carbone organique et, *in fine*, les masses de carbone susceptibles d'être réémis dans un contexte de changement climatique.

Financé par les agences de l'eau Seine-Normandie et Artois-Picardie ainsi que par la DREAL Hauts-de-France, le PRAT a cartographié entre 2022 et 2025 les secteurs en région susceptibles de contenir de la tourbe en surface, à partir de sondages pédologiques réalisés jusqu'à 120 cm de profondeur. Ces relevés ponctuels ont permis de délimiter des enveloppes cohérentes de zones tourbeuses à l'échelle régionale (**carte 1**). Le rapport d'inventaire du PRAT 2025 présent en détail l'ensemble des prospections réalisées.

Carte 1 : Enveloppes tourbeuses de surfaces (entre 0 et 120 cm) de la région Hauts-de-France enregistrées par le PRAT



Toutefois, la seule connaissance des surfaces ne suffit pas à caractériser les massifs tourbeux ni à évaluer précisément les enjeux associés. Compte tenu de leur rôle de stockage du carbone, il est nécessaire d'estimer les volumes de tourbes afin de quantifier la masse de carbone potentiellement mobilisable en cas de dégradation de ces milieux.

Méthodes de calcul des volumes de tourbes

Acquisition des données de terrains

Comme pour la détermination des surfaces, le calcul des volumes repose sur la réalisation de sondages. Ceux-ci sont effectués au sein des enveloppes tourbeuses préalablement identifiées lors des prospections initiales.

La principale différence réside dans la profondeur investiguée. En effet, si les sondages réalisés jusqu'à 120 cm ont permis d'identifier le toit (limite supérieur) de l'horizon tourbeux, ils n'ont généralement pas permis d'atteindre son mur (limite inférieur). Or, la connaissance de ces deux limites est indispensable pour déterminer l'épaisseur totale de la tourbe.

Dans le domaine de l'étude des sols, une strate se caractérise par des conditions homogènes propres à une certaine épaisseur de sol. On peut y relever des aspects minéralogiques, granulométriques, organiques ou encore hydrologiques et bien d'autres. Il s'agit, dans l'ensemble, de couches homogènes qui se distinguent par des interfaces relativement nettes avec les couches sus-jacente et sous-jacente.

*Principalement en géologie, mais aussi en pédologie, le terme de **toit** est utilisé pour désigner la limite supérieure de l'horizon, c'est-à-dire, dans notre cas, la limite d'apparition de l'horizon tourbeux. Le terme de **mur** désigne quant à lui la limite inférieure de l'horizon, soit la limite de disparition de la couche tourbeuse.*

Dans le cadre du protocole d'estimation des volumes nous réalisons des transects avec des sondages espacés à intervalles les plus réguliers possibles. Les transects sont placés de manière ciblée dans les zones permettant un accès facilité que ce soit du fait de la maîtrise foncière ou d'usage sur la zone ou de l'accessibilité globale des parcelles. La fréquence de ce transect sera réadaptée après cette première année d'application du protocole de sondage.

Pour les tourbières de vallées comme l'Avre, la Somme ou l'Authie ces transects sont placés de manière perpendiculaire au cours d'eau afin de donner une image en coupe du dépôt de la tourbe. Dans le cadre d'enveloppe non issus d'un cours d'eau (exemple : micro-tourbières de l'Aisne, Marais de Sacy) le transect est placé perpendiculairement au côté estimé le plus long de l'enveloppe.

La fréquence entre les sondages est à minima de 50m mais est susceptible de varier en fonction de la largeur estimée de l'enveloppe et le temps d'inventaire qui peut y être consacré.

Deux types de sondages sont actuellement mis en œuvre :

- Les sondages à la gouge, permettant une caractérisation visuelle fine des horizons pédologiques.
- Les sondages au pénétromètre dynamique, consistant en un relevé de la résistance à la pénétration tous les 10 cm.

Les sondages à la gouge sont réalisés dans trois cas de figures :

- Si la profondeur totale de tourbe est estimée inférieure à 2m comme sur les marais arrière littoraux Picard. Dans ce cadre-là un sondage à la tarière gouge est suffisant pour évaluer la profondeur de la tourbe globale
- Pour caractériser finement certains point clés d'un transect (exemple début, fin et centre du transect)
- Pour calibrer le pénétromètre et affiner la description d'une enveloppe présentant des épaisseurs de tourbe supérieure à deux mètres.

Les sondages au pénétromètre dynamique :

Les sondages au pénétromètre ont pour objectif de multiplier le nombre de sondage sur un transect sans nécessiter de description fine de chacune des couches. Il nécessite cependant, en cette première année, encore un calibrage. Ce calibrage a pour objectif d'identifier la pertinence de cette démarche et d'identifier à quelle résistance correspond la tourbe. Le pénétromètre dynamique est un outil initialement utilisé en géotechnique pour caractériser la compaction et la stabilité des sols. Dans le cadre du PRAT, son usage est détourné afin d'identifier les horizons tourbeux, supposés plus meubles que les horizons minéraux tels que les argiles ou les limons.

A terme, l'objectif est de pouvoir utiliser prioritairement le pénétromètre pour déterminer l'épaisseur des horizons tourbeux en utilisant une plage de valeur établissant un lien entre force de pénétration et type d'horizon.

Usage du pénétromètre

Le pénétromètre dynamique Kodiak est un outil pédologique permettant de mesurer la résistance d'un sol à la pénétration. Il est composé d'un axe de guidage principal de 50 cm sur lequel est fixé un « mouton », c'est-à-dire un poids fixe de 5 kg. À ce poids peuvent être ajoutés deux poids complémentaires de 3 kg et 2 kg, permettant d'atteindre une masse totale de 10 kg. La modification de cette masse permet d'adapter la force de pénétration appliquée par le pénétromètre au type de sol étudié (NB : la hauteur de chute reste fixe ; seule la masse est modifiable).



Figure 1 Pénétromètre en cours d'usage sur la Vallée du Matz 05/2026

(c) G. JACEK; L. RAYMOND (sur la photo)

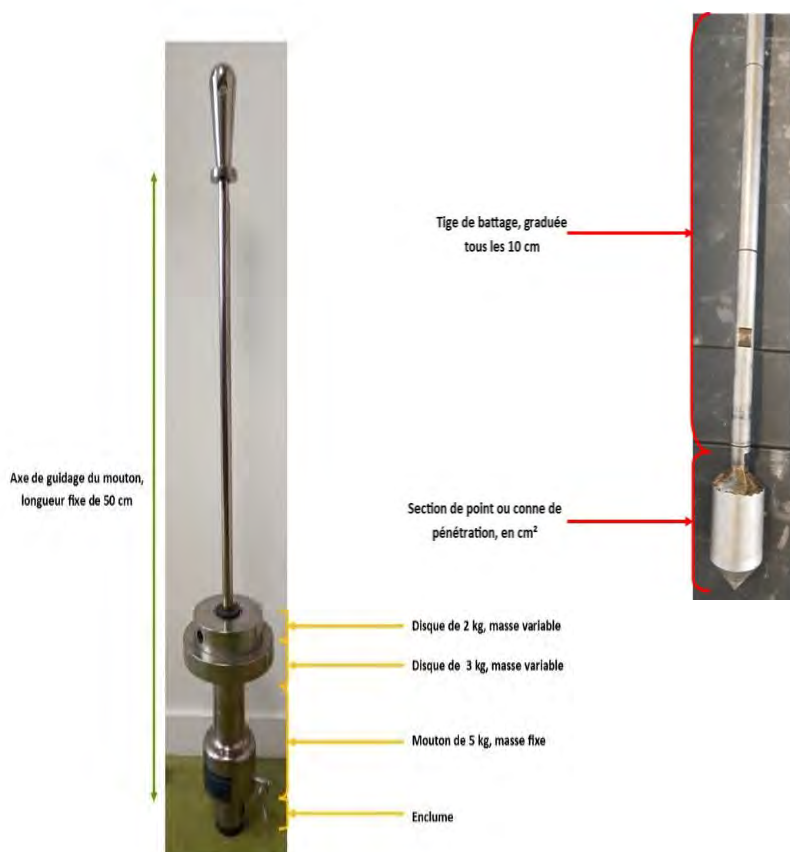


Figure 2 Composition du pénétromètre Kodiak (c) L. RAYMOND

À l'extrémité du pénétromètre peuvent être ajoutées des tiges de battage graduées tous les 10 cm. Au bout de ces tiges se trouve une pointe, ou cône de battage. En théorie, ce cône peut être modifié afin de faire varier la friction de pénétration. Cependant, dans le cadre du PRAT, nous avons soudé de manière permanente une tête de 10 cm² (Figure 2).

La mesure de la pénétration est réalisée en comptabilisant le nombre de coups nécessaires pour enfoncer 10 cm de tige de battage, selon le poids de battage et le cône de battage connu.

Ces données sont enregistrées *in situ* ou *ex situ* dans un fichier Excel (**Figure 3**). L'analyse de ce fichier permet d'obtenir des graphiques de pénétration en fonction de la profondeur.

Dans le cadre du travail de calibration, nous réalisons en parallèle du sondage au pénétromètre un sondage profond à la tarière gouge afin d'obtenir une description fine des horizons tourbeux et, si possible, de rattacher une classe de force de pénétration à un grand type d'horizon (ex. : horizon tourbeux ; figure 4).

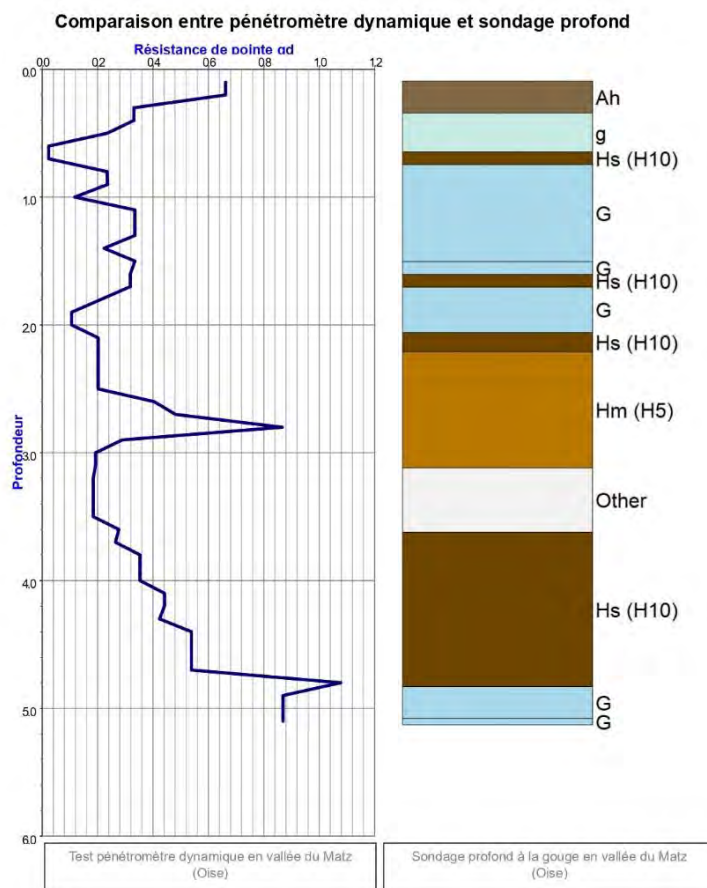


Figure 3 Exemple de rendu infographique de lien entre la force de pénétration et le type d'horizon pédologique observé lors d'un carottage

Méthodes de calcul des volumes

Dans le cadre du PRAT, deux méthodes de calcul des volumes de tourbe sont envisagées.

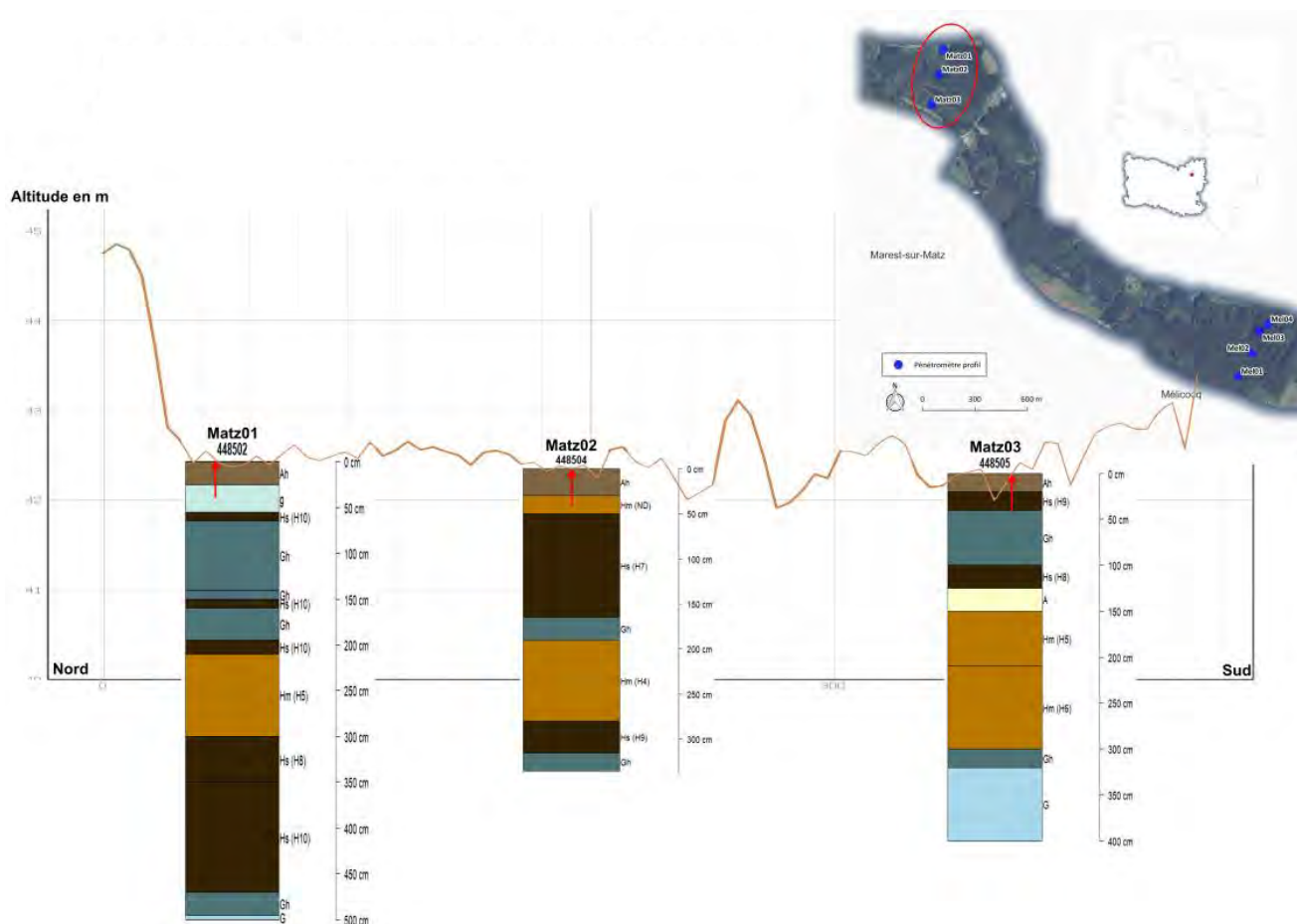


Figure 4 Localisation et présentation d'un transect pédologique fait dans l'amont de la vallée du Matz pour le calcul des volumes de tourbes

• Méthode 1 : estimation par épaisseur moyenne

Dans les vallées ou marais présentant une relative homogénéité des dépôts tourbeux, le volume pourra être estimé à partir :

- De l'épaisseur moyenne de l'horizon histique, correspondant à la hauteur h (en mètres).
- De la surface de l'enveloppe tourbeuse (en m²), issue du travail du PRAT 2025.

Calcul de la moyenne :

$$\frac{\text{Sondage 1 } (e1 + e2) + \text{Sondage X } (e1 + e2 + e3 \dots)}{\text{Nombre de sondages total}}$$

Où :

- e : épaisseur d'un horizon tourbeux

Remarque : le calcul de la moyenne indique donc que n'importe quel horizon histique, même de 5 cm d'épaisseur est ici comptabilisé.

Le volume est ensuite obtenu par le calcul suivant :

$$V = S \times h$$

Où :

- V : volume de la tourbe (en m^3)
- S : surface de l'enveloppe tourbeuse (en m^2)
- h : épaisseur moyenne de la tourbe (en m)

Les moyennes du toit et du mur de l'horizon tourbeux ont été placées ici arbitrairement pour l'exemple. L'objectif est avant tout de bien comprendre que cette moyenne sera efficace (peu couteuse en temps et en ressources) dans le cas de relevés homogènes mais à contrario, peu représentative si le sol de l'enveloppe étudiée est trop variable. En effet, la moyenne ne prendra pas en compte les variations possibles entre les sondages. C'est pourquoi une autre méthode de calcul est aussi à l'essai. Il s'agit d'une technique d'interpolation qui est développée ci-après.

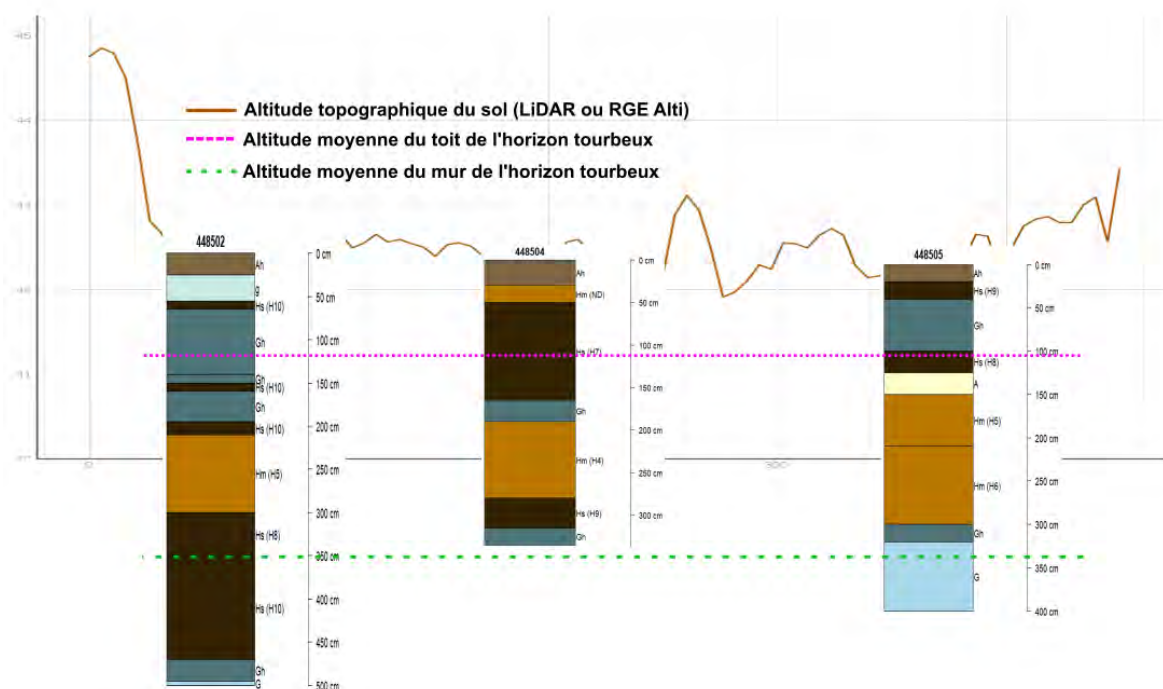


Figure 5 Exemple de calcul de volume de tourbe par la moyenne des épaisseurs cumulées pour chaque sondage

• Méthode 2 : modélisation surfacique

La seconde méthode consiste à produire un modèle numérique d'élévation (MNE) du toit de l'horizon tourbeux ainsi que de son mur.

En géomatique, des outils sont disponibles pour calculer le volume entre deux modèles numériques de terrain/élévation. Par exemple, le calcul de terre extraite d'une tranchée ou encore le volume de végétaux retirés après étrépage. Ces outils nécessitent seulement des données topographiques. Nous pouvons ensuite calculer à partir d'un MNT le volume d'un tas d'extraction ou bien, si nous avons à disposition le niveau topographique avant et après travaux, nous pouvons calculer la différence, le delta (Δ), entre les deux modèles.

Cette méthode peut donc être utilisée dans notre cas si nous obtenons les niveaux topographiques du toit et du mur de l'épaisseur tourbeuse. Une des techniques que nous pensons utiliser est l'interpolation ou kriging (**Figure 6**).

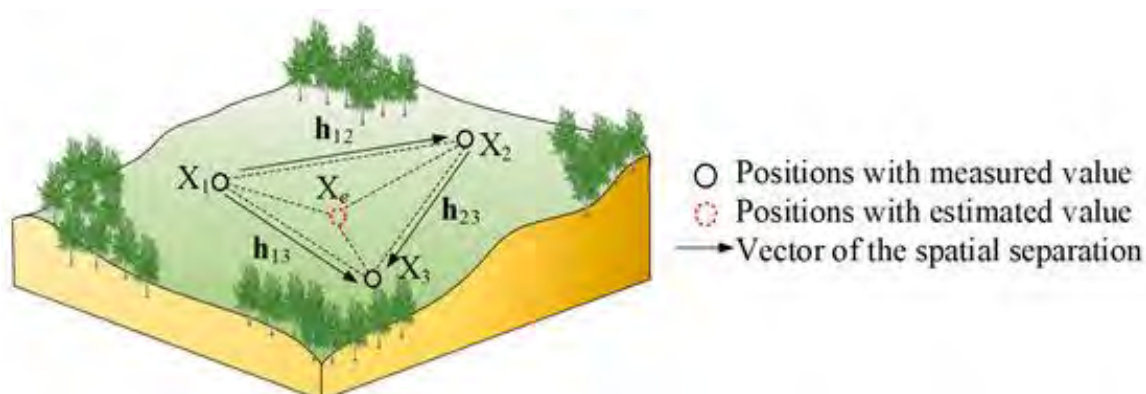


Figure 6 : schématisation du kriging, issu de Jang et al. 2024

Cette méthode d'interpolation nécessite plus de temps de préparation et de ressource. Néanmoins, les surfaces inférieures et supérieures des enveloppes tourbeuses devraient suivre plus fidèlement la réalité. Ils permettraient aussi d'apprécier plus facilement la verticalité des horizons tourbeux.

Un choix demeure néanmoins, quelle profondeur d'apparition et de disparition de tourbe retenir pour chacun des sondages ?

Prenons l'exemple du sondage 448502 (Figure 7). En effet, plusieurs horizons tourbeux sont présents. Les deux premiers, en partant du sommet, ne font que 10 cm d'épaisseur chacun, intercalés entre des horizons gleyifiés de plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseurs. Ainsi, à dire d'expert, nous avons préféré faire commencer l'enveloppe tourbeuse à 200 cm, profondeur à laquelle apparaît une couche de tourbe de 2,6 m d'épaisseur environ.

Ainsi, à la différence de la méthode des moyennes, nous ne prenons pas en compte des micros-horizons tourbeux. La force de la méthode d'interpolation réside avant tout dans sa capacité à suivre plus fidèlement le toit et le mur de l'enveloppe tourbeuse, une méthode efficace dans les vallées à la stratigraphie plus complexe.

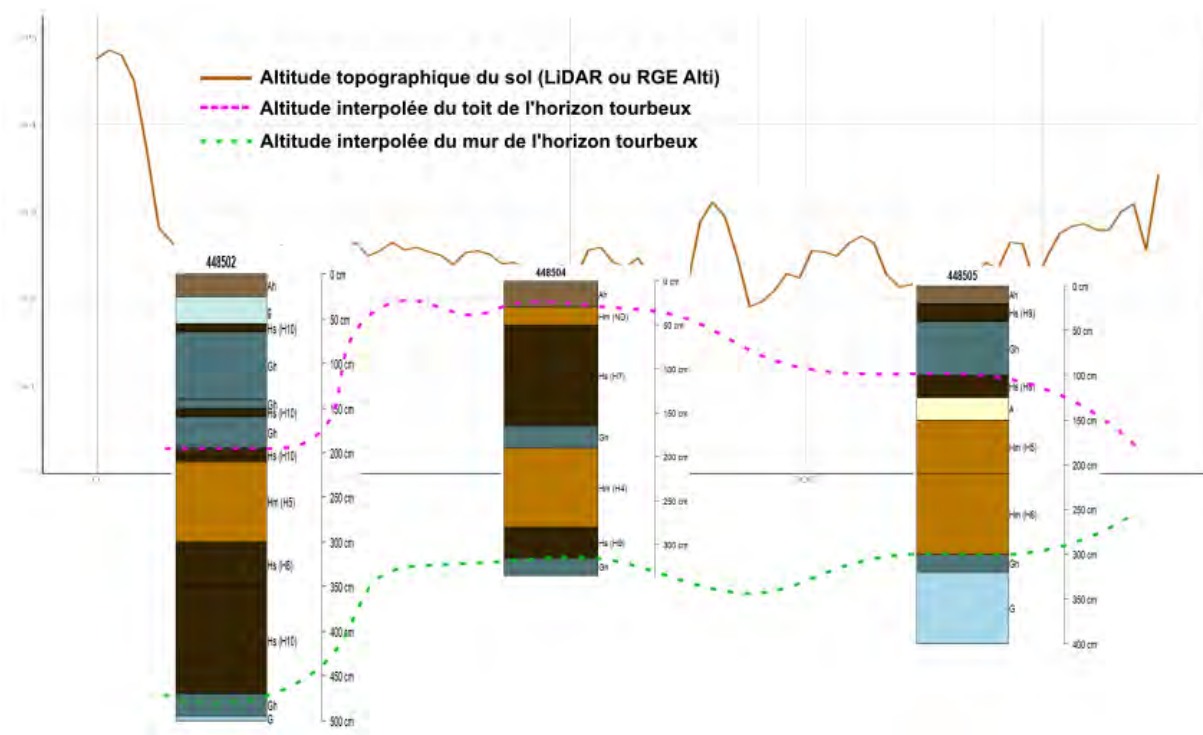


Figure 7 Exemple du calcul du volume de tourbe à partir de techniques d'interpolations

La reconstruction de la surface topographique du toit et du mur de l'enveloppe tourbeuse nécessite plus de points pour l'interpolation. Nous devons donc encore tester la quantité et la répartition des sondages afin de parvenir à appliquer cette méthode.

Ces deux approches sont inspirées du travail réalisé par Chloé GARCIA avec Emmanuel KRAMARCZYK, Perre ANTOINE, Jean-Louis GRIMAUD et Boris BRASSEUR: *Mapping a large European fossil alluvial peatland and modelling peat and C volume: First results from the Somme basin (northern France)*.

Calcul masse de carbone stockée

Une fois les volumes de tourbe estimés, l'objectif est de calculer la masse de carbone contenue dans les enveloppes tourbeuses.

Pour cela, le PRAT a la possibilité de commander l'analyse de 150 échantillons de tourbe. Ces analyses ont pour objectif de déterminer la concentration en carbone des différents horizons tourbeux étudiés.

A partir :

- Du volume estimé des enveloppes tourbeuses (en m³)
- De la densité apparente de la tourbe (en kg.m⁻³)
- Et de la concentration en carbone mesurée sur les échantillons (en %)
- ⇒ Calcul du Stock de carbone (en kg)

$$S_{\text{carbone}} = V_{\text{tourbe}} \times D_a \times T_c$$

Il sera possible d'estimer la masse totale de carbone stockée au sein des enveloppes tourbeuses, exprimée en tonnes de carbone.