

# **SOLS TOURBEUX DRAINES ISSUS DE BAS-MARAI**

**USAGE AGRICOLE ET PRESERVATION DE LA MATIERE ORGANIQUE  
EXPERIENCES EN SUISSE**



## Résumé

La perte de matière organique, plus drastique dans les sols tourbeux drainés que dans les autres types de sols, affecte principalement les fonctions de production agricole, de régulation climatique et hydrique et d'habitat pour les organismes vivants. La pérennité de la production agricole est menacée à moyen terme et l'émission de gaz à effet de serre, corollaire de la perte de matière organique, augmente. Cette détérioration du sol et du climat requiert des mesures quant à l'affectation future des sols des plaines tourbeuses.

Les plaines tourbeuses agricoles drainées de basse altitude couvrent environ 9900 ha et se situent principalement dans les cantons de Berne (Seeland, Gürbetal), Saint Gall (vallée du Rhin saint-galloise et vallée de la Linth), Vaud (plaine de l'Orbe) et Lucerne (plaine de Wauwil). Ce sont d'anciens bas-marais asséchés au 19<sup>e</sup> voire 20<sup>e</sup> siècle à des fins sanitaires, de protection contre les inondations et de production agricole. Ces plaines diffèrent les unes des autres en termes d'épaisseur de tourbe, de nature du sous-sol, de vitesse de perte de matière organique et de solutions techniques mises en œuvre ou envisagées pour préserver, voire reconstituer le stock de matière organique. Ces différents aménagements (apport de biomasse, travail du sol en profondeur, apports en surface de matériaux, reconstitution d'un sol complet, remise en eau) font appel à un ou plusieurs mécanismes de préservation de la matière organique (compenser les pertes, réduire les pertes, protéger la tourbe, stabiliser la matière organique, conserver temporairement ou durablement la tourbe). L'efficacité de ces aménagements pour préserver la matière organique diffère de faible à élevée. Cette synthèse met en lumière des connaissances lacunaires et un besoin de suivi à court et moyen termes quant à la quantification de la perte de matière organique et des émissions de gaz à effet de serre ainsi que l'efficacité des aménagements vis-à-vis de la préservation de la matière organique. Trois scénarios—“Maintien de la situation actuelle”, “Préservation partielle de la matière organique”, “Préservation totale de la matière organique”—sont des pistes de réflexion qui analysent les conséquences des aménagements dans les domaines de l'agriculture, du climat, des eaux et de la biodiversité.

## Mentions légales

**Mandant:** Office fédéral de l'environnement (OFEV), section Sol, CH-3003 Berne. L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

**Auteur:** Claire Guenat (ex-EPFL) avec l'appui technique de Véronique Maître (bureau pEaudSol)

**Graphisme, mise en page:** Claire Guenat en collaboration avec Christina Zavlanou

## Remerciements

Stéphane Burgos (BFH, BE), Andreas Chervet (LANAT-ASP, BE), Jean-Pierre Clément (ex-OFEV), François Füllemann (DGE, VD), Elena Havlicek (OFEV), Aline Loher (AFU, SG), Ivana Oberhänsli (ALN-ZH), Sonja Paul (Agroscope, ZH), Chloé Würst-Galley (Agroscope, ZH)

**Remarque:** La présente étude / le présent rapport a été réalisé(e) sur mandat de l'OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu.

# Table des matières

<b>1.PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS</b>	<b>4</b>
Problématique : perte de matière organique dans les sols tourbeux drainés	4
Objectifs du rapport	4
<b>2.LES SOLS TOURBEUX DRAINES</b>	<b>5</b>
Les sols tourbeux des hauts-marais et des bas-marais, un héritage du passé	5
La disparition des marais	6
Des plaines tourbeuses en Suisse, différentes et hétérogènes	6
Des plaines tourbeuses aux caractéristiques différentes	7
Des plaines tourbeuses hétérogènes	10
<b>3.LA MATIERE ORGANIQUE ET LES FONCTIONS DES SOLS TOURBEUX</b>	<b>11</b>
Spécificités de la matière organique des sols tourbeux	11
Spécificités des fonctions des sols tourbeux	12
Fonction de production	13
Fonction de régulation	13
Fonction d'habitat	14
Fonction d'archive	14
Fonction de source de matière première	15
Des fonctions antagonistes	15
<b>4.LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS TOURBEUX EN VOIE DE DISPARITION</b>	<b>16</b>
Le drainage à l'origine des pertes de matière organique dans les sols tourbeux	16
Quantification des pertes de matière organique dans les sols tourbeux	17
Méthodes de mesure et unités	17
Ampleur des pertes	17
Pertes de matière organique : des conséquences pour l'agriculture et le climat	18
<b>5.PRESERVATION DE LA MATIERE ORGANIQUE ET AMENAGEMENTS DES SOLS ISSUS DE BAS-MARAI</b> S DRAINES	<b>20</b>
Mécanismes de préservation de la matière organique dans les sols tourbeux	20
Aménagements de sols tourbeux drainés en Suisse	21
Apport de biomasse : biomasse racinaire	21
Apport de biomasse : résidus de culture	21
Travail du sol en profondeur : labour profond	22
Travail du sol en profondeur : bêchage rotatif profond	23
Apports en surface de matériaux : saupoudrage d'argile	23
Apports de matériaux minéraux sableux ou de matériaux terreux	23
Reconstitution d'un sol complet par apport de matériaux sans remise en surface de la tourbe	25
Reconstitution d'un sol complet par apport de matériaux avec remise en surface de la tourbe	26
Remise en eau temporaire ou permanente	27
Quels aménagements pour préserver la matière organique dans les sols tourbeux ?	28
Synthèse des aménagements	28
Des connaissances lacunaires	30
<b>6.QUEL AVENIR POUR LES PLAINES TOURBEUSES ?</b>	<b>31</b>
Trois scénarios pour l'avenir des plaines tourbeuses	31
Scénario 1 : Maintien de la situation actuelle « business as usual »	32
Scénario 2 : Préserver partiellement la matière organique ?	32
Scénario 3 : Préserver totalement la matière organique	32
Une approche multisectorielle et une gestion intégrée	33
Bibliographie	34
Liste des figures	35
Glossaire	36

# 1. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

## Problématique : perte de matière organique dans les sols tourbeux drainés

La perte de matière organique affecte, à des degrés divers, les fonctions écologiques des sols telles que définies par la stratégie nationale pour une gestion durable des sols et adoptée par le Conseil fédéral en 2020 [1]. Parmi ces fonctions, celles de production agricole, de régulation climatique et hydrique, d'habitat pour les organismes vivants, sont particulièrement touchées. La perte de matière organique est particulièrement grave pour les sols tourbeux agricoles drainés. En effet, elle menace, à moyen terme, la pérennité de la production agricole, en particulier celle des sols dédiés au maraîchage qui accueillent plusieurs cultures par année. La perte de matière organique a également pour corollaire l'émission de gaz à effet de serre (GES). On estime que les sols tourbeux utilisés en agriculture rejettent environ 14% des émissions annuelles de gaz à effet de serre du domaine agricole [2] [3]. De plus, en raison du changement climatique, ces émissions auront tendance à augmenter de manière plus forte pour les sols tourbeux, sensibles à l'augmentation des températures et à l'intensification des sécheresses.

Dans certaines régions, les drainages ont atteint aujourd'hui la fin de leur durée de vie et doivent être remplacés ou rénovés, ce qui va engendrer d'importants investissements financiers. La stratégie sol suisse recommande de saisir cette occasion pour reconstruire l'affectation future de ces sols sous les angles de la protection de la nature, du climat, des eaux et de la protection contre les dangers naturels (orientation stratégique A14). Par ailleurs, il est nécessaire de réduire au minimum la perte de matière organique résultant de l'exploitation agricole des sols organiques (objectif A5).

## Objectifs du rapport

Aujourd'hui, on ne connaît aucune mesure de régénération des sols tourbeux agricoles, qui soit efficace et durable, hormis la ré-inondation des terrains. La disparition inéluctable des sols tourbeux agricoles drainés à moyen et/ou long terme nécessite d'élaborer des directives sur leur affectation future. En Suisse, des solutions techniques ou aménagements (par exemple, l'apport de biomasse, le travail profond du sol, l'apport de matériaux en surface ou la remise en eau) sont mises en œuvre ou proposées pour les sols tourbeux.

Les **objectifs** du rapport sont :

- Description, origine et développement de la tourbe de bas-marais.
- Présentation des principales plaines tourbeuses drainées de Suisse.
- Description des caractéristiques de la matière organique des sols tourbeux drainés.
- Présentation et évaluation des aménagements pour préserver, voire reconstituer le stock de matière organique dans les sols tourbeux drainés.

Ce rapport traite uniquement des sols tourbeux agricoles drainés issus de la transformation des bas-marais. Il s'agit de sols dédiés aux grandes cultures, aux cultures maraîchères ou aux prairies permanentes. Les aménagements des sols tourbeux drainés des hauts-marais ne sont pas pris en compte.

## 2. LES SOLS TOURBEUX DRAINES

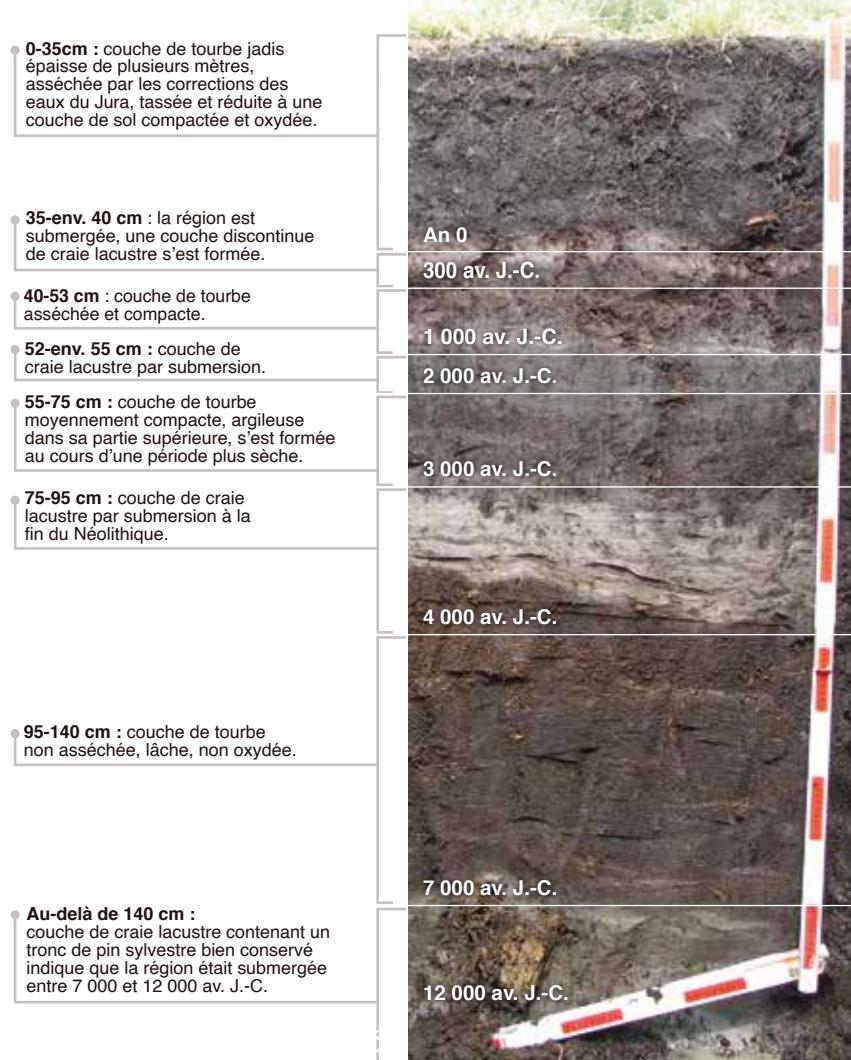
### Les sols tourbeux des hauts-marais et des bas-marais, un héritage du passé

Les marais sont des écosystèmes caractérisés par la présence d'une couche plus ou moins épaisse de matière organique morte, peu ou pas décomposée : la tourbe. On peut distinguer globalement deux grands types d'écosystèmes : les hauts-marais (ou tourbières) et les bas-marais (marais, marécages).

La formation des sols tourbeux résulte de l'accumulation très lente de matière organique sur une épaisseur importante (de quelques décimètres au minimum à plusieurs mètres), en présence quasi-permanente d'eau qui empêche sa décomposition. La majorité des sols tourbeux se trouve dans des fonds de vallée, en bordure de rivière ou de lac.

Les hauts-marais sont des écosystèmes alimentés, en surface, par des eaux provenant exclusivement, des précipitations atmosphériques. La tourbe est composée essentiellement de mousses (sphaignes). Cet environnement extrême est très pauvre en éléments nutritifs et en oxygène, avec un pH très acide.

Les bas-marais sont des biotopes marécageux caractérisés par une végétation spécifique (joncs, laîches, roseaux, etc.) et alimentés par de l'eau riche en minéraux (en calcium) contrairement aux hauts-marais. Le pH de la tourbe est généralement proche de la neutralité. La formation de la tourbe est très lente, de l'ordre 0,5 à 1mm d'épaisseur par année et très ancienne. Elle a débuté, dans la majorité des cas, il y a plusieurs milliers d'années (fig. 1).



La composition de différentes strates qui forment le sol reflète l'environnement au moment de la formation de la tourbe : le type de végétation (bois, mousses, roseaux), le niveau d'eau (craie lacustre dans les eaux peu profondes), la présence de cours d'eau (alluvions), l'érosion des versants (apports de matériaux minéraux) et les activités humaines (traces de l'époque préhistorique, de cultures de céréales, etc.).

Les sols tourbeux enregistrent également les variations du climat (composition des débris végétaux qui forment la tourbe, pollens piégés dans la tourbe). Les sols tourbeux remplissent ainsi la fonction d'archive [4].

Figure 1 : Age de la tourbe, un exemple dans le Seeland (adaptée de [4], photo originale © Chervet A., Müller M.).

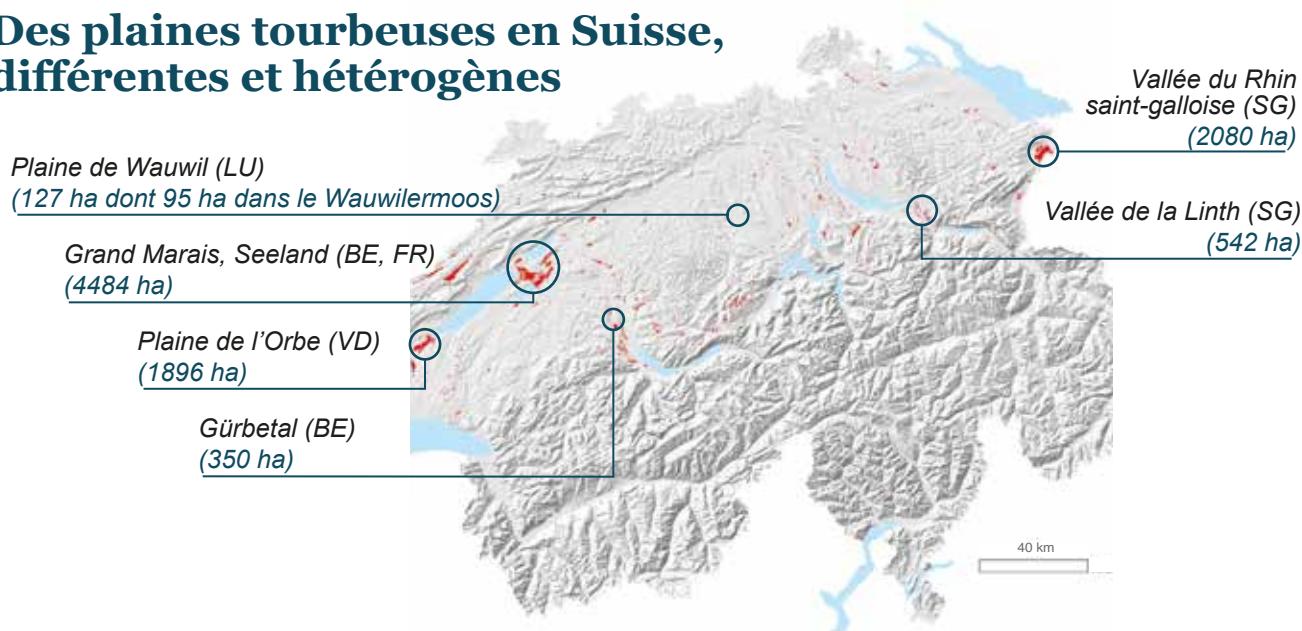
## La disparition des marais

En Suisse, la surface de l'ensemble des hauts-marais et bas-marais a diminué très fortement. A l'heure actuelle, entre 70 à 80% des sites tourbeux recensés en 1710 ne sont plus de véritables marais, avec une végétation et un fonctionnement typique pour leur station. La perte annuelle (comprise 0,39 et 0,42% de la surface) est proche des pertes de surfaces des marais en Europe pour la même période [5].

La diminution drastique des zones marécageuses résulte essentiellement de l'extraction de la tourbe comme combustible (généralisée dans les hauts-marais) et de la conversion en terres agricoles grâce au drainage (principalement dans les bas-marais). L'extraction de la tourbe comme combustible était largement répandue au 18<sup>e</sup> siècle et fréquente jusqu'au début du 19<sup>e</sup> siècle. Plus tard, l'utilisation de la tourbe a été supplantée par celle du charbon, excepté lors de périodes de pénurie pendant les deux guerres mondiales. Le drainage des bas-marais est une intervention humaine ancienne et pratiquée dans la majorité des grandes plaines tourbeuses. Le but initial du drainage par des fossés, qui a débuté dans certaines régions dès le Moyen Age, était une question sanitaire (lutte contre les maladies) et sécuritaire (protection contre les inondations et les crues). Les grandes améliorations foncières des 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles, l'endiguement et la rectification des cours d'eau associés au drainage ont converti une grande partie des bas-marais en terrains cultivés.

A l'heure actuelle, les bas-marais drainés sont, dans les plaines de basse altitude, presque tous voués à la production maraîchère ou aux grandes cultures. Quelques bas-marais, encore proches d'un état originel, sont protégés et figurent à l'inventaire des sites marécageux d'importance nationale [6].

## Des plaines tourbeuses en Suisse, différentes et hétérogènes



**Figure 2 : Localisation de l'ensemble des « sols organiques » de Suisse. Les « sols organiques » englobent les tourbières, les marais de transition, les bas-marais, qu'ils soient drainés ou non. La surface des plaines tourbeuses drainées est indicative (carte et surfaces adaptées de [7] par Wüst-Galley C.).**

En Suisse, les sols tourbeux drainés agricoles, issus des bas-marais, couvrent une petite surface. Toutefois, la superficie totale de ces sols n'est pas connue avec précision en raison du manque de données. La seule carte, avec une estimation pour l'ensemble de la Suisse, date de 2015 [7] et elle englobe tous les « sols organiques », c'est-à-dire les sols de tourbières, de marais de transition et de bas-marais, qu'ils soient drainés ou non. La surface totale est estimée à 28 000 ha, c'est-à-dire 0,7% du territoire national, dont 18 500 ha en cultures, prairies et pâturages.

Les plus vastes étendues de sols tourbeux drainés sont d'anciens bas-marais qui ont été asséchés. Elles se situent principalement dans les cantons de Berne (Seeland, Gürbetal), Saint Gall (vallée du Rhin saint-galloise et vallée de la Linth), Vaud (plaine de l'Orbe) et Lucerne (plaine de Wauwil), à basse altitude, et représentent environ 9900 ha, soit 35,6 % de la surface totale de l'ensemble des « sols organiques » (fig. 2).

Les autres sols tourbeux drainés occupent de petites surfaces dispersées sur le territoire. Situés dans les régions du Jura et des Alpes, ils sont généralement occupés par des prairies et des pâturages.

### ***Des plaines tourbeuses aux caractéristiques différentes***



*Figure 3 : Grand-Marais dans le Seeland (BE, FR)*

#### *Le Grand-Marais dans le Seeland (BE, FR)*

Le « Grand-Marais » (fig. 3) se situe dans la région de Trois-lacs (Neuchâtel, Biel, Morat) et représente la plus grande surface marécageuse de Suisse. Sa formation a débuté il y a environ 10000 ans av. J.C. et il s'étendait alors sur une centaine de km<sup>2</sup>. C'était une zone inondée, qui abritait une flore et une faune variées. Elle était peu productive et insalubre (source de malaria). L'Aar, qui divaguait librement dans le marais, a déposé des alluvions minérales au gré des modifications de son cours. Les fluctuations de l'Aar associées à celles du niveau du lac de Neuchâtel ont créé une mosaïque de sols tourbeux et de sols minéraux entre 8000 ans av. J.C. et jusqu'à environ 100 av. J.C. Certains sols présentent une couche de tourbe mesurant jusqu'à trois mètres d'épaisseur tandis que d'autres sont presque entièrement constitués d'argile, de sable ou de craie lacustre. Il existe une grande diversité de combinaisons entre ces deux extrêmes et il est fréquent qu'elles se succèdent à quelques mètres de distance. Le marais a été asséché aux 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles lors des deux corrections des eaux du Jura, avec l'abaissement du niveau des lacs, la modification et la stabilisation du cours des rivières et la mise en place d'un réseau de fossés et de drains. Ce marais a été ainsi transformé en terres cultivées. Cette région située à une altitude moyenne de 430 m, bénéficie d'un climat tempéré propice à l'agriculture. Actuellement, environ 20% de la production de légumes de Suisse proviennent d'une surface de 2500 ha dans le Seeland [7] [8] [9] [10] [11].

## La vallée du Rhin saint-galloise (SG)



**Figure 4 : Vallée du Rhin saint-galloise (SG)**

La plaine était recouverte par le glacier du Rhin il y a environ 15 000 ans. Suite à son retrait, des zones humides se sont formées et la tourbe s'est accumulée pendant environ 10 000 ans dans certains secteurs de la plaine. Son épaisseur atteint localement plusieurs mètres, parfois jusqu'à 10 mètres. La tourbe peut être recouverte d'alluvions ou d'apports de versants. Le régime hydrique des sols a été modifié par un ensemble de mesures telles que la correction des eaux du Rhin, le drainage par fossés puis par drains souterrains avec pompage depuis les années 1970. Située à une altitude d'environ 430 m, la culture principale est le maïs et il existe des prairies permanentes cultivées de manière intensive (fig. 4) [12] [13].

## La plaine de l'Orbe (VD)

Séparée du Grand-Marais par le lac de Neuchâtel, la plaine de l'Orbe a une origine similaire à ce dernier. C'était également un vaste marais, sujet aux inondations, qui ne produisait que de maigres fourrages, des litières et de la tourbe. L'occupation de la plaine et sa mise en valeur agricole ont été, et sont encore dominées par une lutte constante contre l'excès d'eau. La correction des cours d'eau, le creusage de canaux à ciel ouvert et la première correction des eaux du Jura ont diminué fortement les risques d'inondation. Jusqu'au début du 20<sup>e</sup> siècle, la plaine reste toutefois impropre à la culture. Le drainage gravitaire souterrain, généralisé entre 1930 et 1945, est à l'origine de sols à

valeur agronomique élevée mais il compromet la pérennité des sols tourbeux : la matière organique disparaît par minéralisation. Aujourd'hui, la craie lacustre, très peu fertile, affleure localement. Située entre 433 et 447 mètres d'altitude, la plaine de l'Orbe jouit de conditions climatiques très favorables à la production agricole. Elle est presque exclusivement dédiée aux grandes cultures et cultures maraîchères cultivées de manière intensive (fig. 5) [14] [15].



**Figure 5 : Plaine de l'Orbe (VD)**

## La vallée de la Linth (SG)

La plaine de la Linth est le lieu de changements naturels et anthropiques successifs qui ont modifié profondément et durablement le tracé des rivières et le fonctionnement des sols. Avant les modifications anthropiques, la plaine était une étendue vaste et ininterrompue de marécages avec des sols tourbeux entre le lac de Walenstadt et celui de Zurich. Les crues, les inondations, la malaria, menaçaient la population locale. Pour y remédier, un chantier national de correction des eaux de la Linth a été conçu dès 1807. Il comportait un changement du tracé de la rivière, sa canalisation notamment grâce aux canaux d'Escher et de la Linth. Les terres gagnées sur les marais ont permis le développement de la région au 19<sup>e</sup> siècle. Pendant la Seconde Guerre mondiale, des travaux d'assainissement ont eu lieu dans la partie supérieure de la plaine de la Linth; ils se sont poursuivis jusqu'en 1965 dans la partie inférieure de la plaine.

Dans les années 2000, dans le cadre du projet inter-cantonal (St Gall, Schwyz, Glaris, Zurich) de protection contre les crues de la Linth, de nouveaux aménagements des canaux d'Escher et de la Linth, des fossés et des canaux secondaires ont été réalisés. Une partie des matériaux générés par ces travaux sur la Linth a été valorisée dans le cadre du projet agricole « Benken Plus », mené en synergie avec celui de protection contre les crues. Ce projet, qui couvre une superficie totale d'environ 25 ha, concerne l'amélioration, à des fins agricoles, de sols tourbeux de basse altitude à environ 400 m [16] [17].

### *Gürbetal (BE)*

Les tourbes du Gürbetal sont épaisses, elles peuvent atteindre plusieurs mètres (3,35 m). En raison des inondations lors des crues de la Gürbe, les différents marais de la vallée contiennent parfois des quantités considérables de matériaux minéraux (limon, argile). Des ruisseaulements de pente peuvent également surmonter la tourbe. Dans le secteur de Mühlethurnen, Kirchenthurnen et Kaufdorf, un ancien marais de basse altitude (environ 600 m) a été drainé et mis en culture vers 1920 sur toute la largeur de la vallée. Il est dédié à l'agriculture, avec une prédominance de prairies, et de cultures de choux. Les systèmes de drainage ont perdu leur efficacité et la stagnation des eaux de surface est généralisée, ce qui rend l'usage agricole de plus en plus difficile [18] [19].

### *La plaine de Wauwil (LU)*

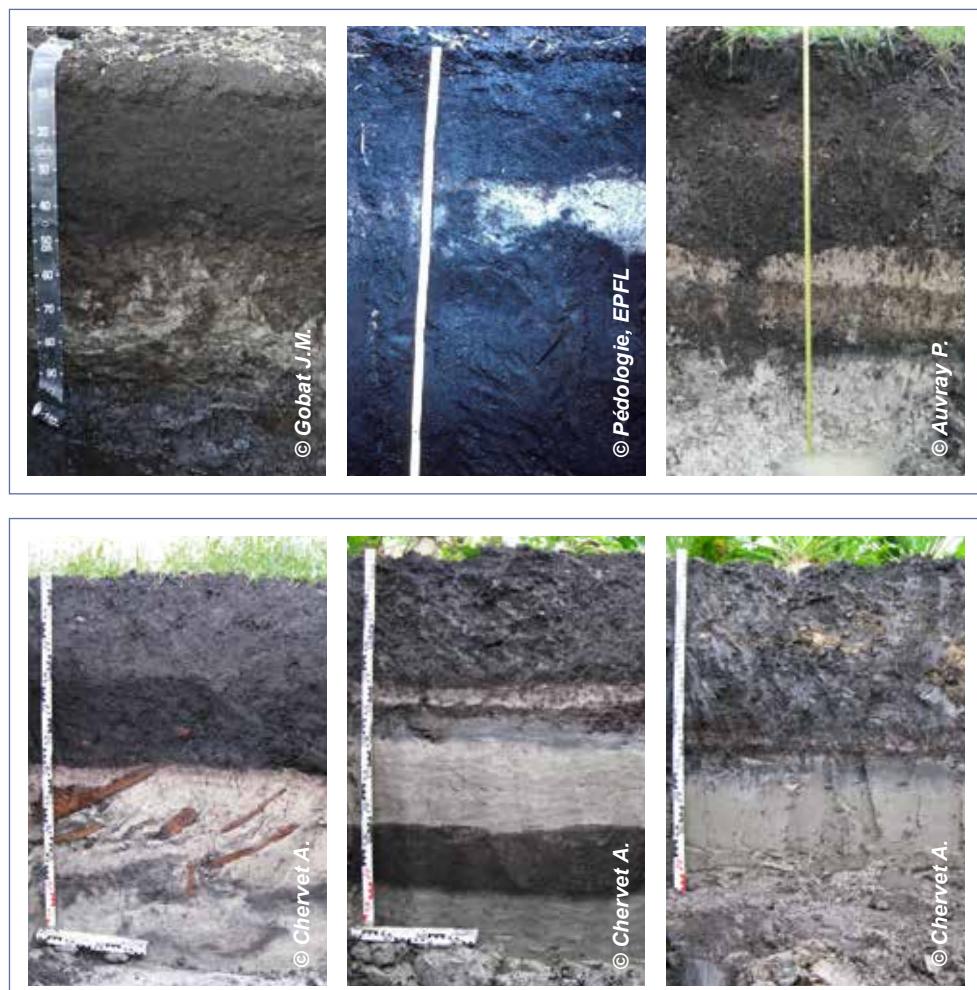


**Figure 6 : Plaine de Wauwil (LU)**

Le sous-sol se compose de trois types de matériaux : les moraines, la craie lacustre et les sédiments lacustres ou fluviatiles. Les sols organiques sur craie lacustre, les marais et semi-marais occupaient autrefois la plus grande surface de l'ancien lac glaciaire de Wauwil. Ils comptaient le plus grand paysage continu de marais de Suisse centrale. Celui-ci a été asséché au milieu du 19<sup>e</sup> siècle et les tourbières environnantes ont été peu à peu drainées. Les couches de tourbe, par endroit épaisses de 7 mètres, ont été exploitées pendant la Seconde Guerre mondiale. L'ancienne plaine marécageuse a été drainée à l'aide de fossés, de drains souterrains et le cours d'eau qui traversait la plaine, le Ron, a été rectifié. Ce type d'assainissement de la plaine située à environ 540 m d'altitude s'est déployé jusque dans les années 1970. L'épaisseur de tourbe a fortement diminué et se limite à quelques décimètres, voire centimètres. Les sols tourbeux sont devenus rares dans la plaine. Seule la région autour du Wauwilermoos, du Hagimoos et du Mauensee est encore exceptionnellement riche en zones humides. Par ailleurs, plus de 120 sites archéologiques ont été mis à jour jusqu'à présent dans la région du lac de Wauwil. La plupart des sites préhistoriques ont été détruits ou fortement endommagés par l'extraction de la tourbe et le drainage. Ce paysage ouvert est le plus important et le plus étendu du canton de Lucerne. Les petits lacs, les étangs, les zones humides et les bas-marais forment une mosaïque avec les surfaces agricoles intensivement exploitées. Grâce à la qualité de ce paysage, à la présence de sites écologiques (dont la réserve naturelle du Wauwilermoos) et archéologiques, 1700 hectares ont été inscrits à l'inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels. Le site de plaine de Wauwil compte parmi les plus importantes zones de découverte de l'âge de pierre en Europe centrale. Récemment, une planification agricole dans le cadre de processus de développement de l'espace rural (PDER) a été proposée. Il s'agit de concilier divers intérêts : production agricole, préservation de la nature et du paysage et loisirs de proximité (fig. 6) [6] [20] [21] [22] [23].

## Des plaines tourbeuses hétérogènes

A la variabilité de chaque plaine tourbeuse, se surimpose une hétérogénéité au sein de chaque sol tourbeux. Les sols tourbeux ne sont pas composés d'un seul et unique type de tourbe mais d'une succession de plusieurs types de matériel organique qui reflète l'évolution de la végétation, des conditions hydriques et des activités humaines au cours du temps (fig. 7). Les plaines tourbeuses de Suisse diffèrent donc les unes des autres par la nature et l'épaisseur de la tourbe, mais aussi par la présence et la nature de matériaux minéraux intercalés sous ou sur la tourbe. Cette variabilité se manifeste également au sein de chaque plaine (fig. 7) et de chaque sol (fig. 1). La répartition spatiale des différents sols tourbeux est difficilement prévisible car elle dépend des conditions locales.



**Figure 7:** Diversité de sols entre et au sein d'une plaine tourbeuse :  
Plaine de l'Orbe (en haut); Seeland (en bas).

Cette variabilité doit être prise en compte lors de tout projet d'aménagement des sols tourbeux. En effet, il est indispensable de proposer un aménagement adapté aux situations spécifiques. L'état initial (avant aménagement) doit être connu avec précision. Ceci implique une cartographie fine (à une échelle optimale au 1/5000) avec une méthodologie adaptée aux sols tourbeux, car la méthode de cartographie standard actuelle [24] n'est pas suffisamment précise. Ce type de cartographie est en cours dans certains secteurs de la plaine du Rhin. Dans le canton de Berne, seuls des sondages pédologiques ont été effectués. Les descripteurs permettent d'identifier l'origine des limitations de l'usage agricole du sol. Ensuite, les mesures proposées visent principalement le maintien voire l'amélioration de la production agricole; elles peuvent inclure les intérêts liés à d'autres fonctions du sol [25] [26] [27].

### 3. LA MATIERE ORGANIQUE ET LES FONCTIONS DES SOLS TOURBEUX

#### Spécificités de la matière organique des sols tourbeux



La matière organique est le constituant majeur des sols tourbeux. Elle possède des caractéristiques et des propriétés différentes de celles d'un sol minéral cultivé (fig. 8), tant au niveau de la quantité (stock) que de la qualité (composition et stabilité).

Figure 8 : Comparaison d'un sol tourbeux cultivé (à gauche) et d'un sol minéral cultivé (à droite).

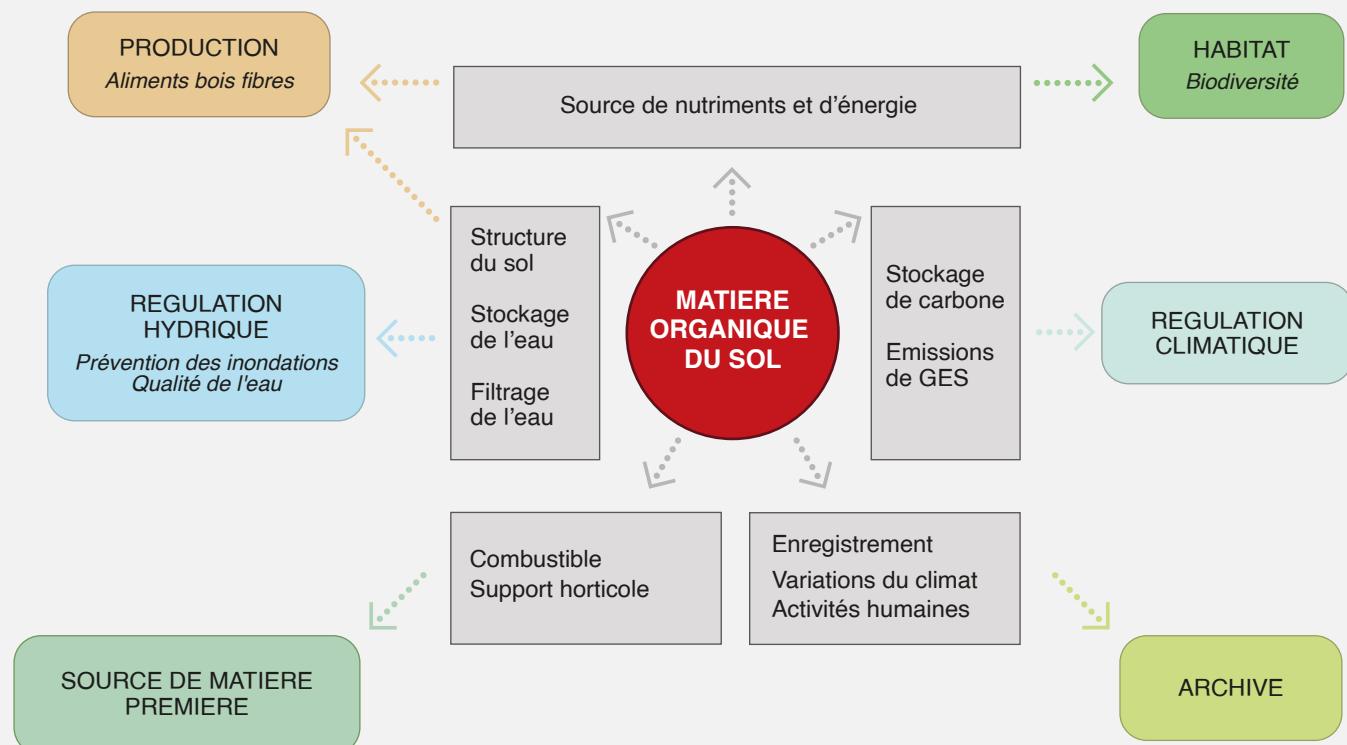
La matière organique des sols tourbeux a les spécificités suivantes :

- *Une couleur noire et homogène* dans les horizons proches de la surface (ou cultivés), ou rousse avec des débris végétaux identifiables dans les horizons plus profonds proches de la nappe.
- *Une composition* à base de tourbe, un matériau formé par l'accumulation et la transformation de débris végétaux typiques des milieux humides et sub-aquatiques (roseaux, laîches, mousses) en présence quasi permanente d'eau, c'est-à-dire des marais.
- *Un stock de carbone organique beaucoup plus élevé* que dans les sols minéraux. Ce stock résulte à la fois de la concentration et de l'épaisseur plus importantes de matière organique dans les sols tourbeux. La matière organique est le composant principal voire unique des sols tourbeux (au minimum 50% du poids du sol sec dans les sols tourbeux et 10% au maximum dans un sol minéral agricole).
- *La matière organique est répartie sur l'ensemble du sol tourbeux et sur une épaisseur importante* (au minimum 50 cm et jusqu'à plusieurs mètres), tandis qu'elle est concentrée dans la première couche du sol minéral cultivé (20 cm environ).
- *Un stock de matière organique non renouvelable* : en raison de l'arrêt de la formation de la tourbe et des pertes importantes et rapides suite au drainage, le stock de matière organique des sols tourbeux est une ressource non renouvelable.

- **Une matière organique très instable en présence d'air** : la tourbe se décompose rapidement lorsqu'elle est mise au contact d'oxygène suite au drainage. Cette transformation, appelée minéralisation, est plus rapide et plus intense que dans les sols minéraux. En l'absence de matière minérale, cette matière organique n'est pas stabilisée, à moyen voire long terme, sous forme d'humus, la forme principale de stabilisation de la matière organique dans les sols minéraux.
- **Une source importante d'éléments nutritifs** : la minéralisation rapide produit des éléments minéraux dont une partie est fixée temporairement, c'est une source d'éléments nutritifs pour les cultures.
- **Une connexion avec la nappe phréatique** : en général, les sols tourbeux drainés, conservent, malgré la présence de drains, une connexion avec la nappe. Cette connexion permet des échanges d'eau, d'éléments nutritifs voire de polluants.
- **Une source de plusieurs gaz à effet de serre (GES) selon le niveau de nappe** : le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le protoxyde d'azote ou « gaz hilarant » ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

## Spécificités des fonctions des sols tourbeux

En raison de ses spécificités et de sa quantité, la matière organique dans les sols tourbeux joue un rôle primordial dans les fonctions écologiques (production, régulation hydrique et climatique, habitat) et des fonctions socio-économiques (archive et source de matières premières) définies par la stratégie nationale sur les sols (fig. 9). Ces fonctions dépendent essentiellement de la présence de l'eau, de son niveau moyen et de sa permanence dans le sol.



**Figure 9 : Matière organique dans les sols tourbeux : propriétés et fonctions écologiques et socio-économiques.**

## Fonction de production

### Fonction de production agricole

La matière organique est la principale voire l'unique source de fertilité des sols tourbeux drainés. Elle leur confère une fertilité physique et chimique très élevée. La mise en valeur et la capacité de production nécessitent une alimentation hydrique adéquate. Dans des conditions climatiques favorables et en topographie plane, les sols organiques drainés ont une aptitude agronomique très élevée, avec un score de 65 à 75 points sur 100 (fig. 10) [24].

Les sols agricoles issus du drainage des bas-marais sont essentiellement dédiés à la culture maraîchère ou aux grandes cultures (maïs, betterave, choux, etc.) et sont souvent exploités de manière intensive. C'est le cas dans la plaine de l'Orbe (VD), du Seeland (BE, FR) qualifié de potager de la Suisse et du Gürbetal (SG) surnommé la « vallée du chou ». Cette source de production agricole élevée, avec une incidence économique à l'échelle régionale voire nationale, est associée à la notion de sécurité alimentaire en Suisse. Dans des conditions climatiques moins favorables et/ou dans des pentes, les sols organiques drainés sont utilisés en prairies permanentes pour la production de fourrage.



*Figure 10 : Production agricole*

### Fonction de production sylvicole

Les forêts humides et marécageuses des bas-marais ont quasiment disparu en raison des défrichements massifs depuis le Moyen Age pour gagner des pâturages et des terres cultivables. Ces forêts originelles, composées de saules, de bouleaux et d'aulnes, sont peu productives et leur exploitation peu rentable. Suite au drainage, ces forêts ne subsistent plus aujourd'hui que sous forme de vestiges dans les sites d'importance nationale protégés. Dans les plaines tourbeuses drainées, il n'existe que des rideaux d'arbres plantés (peupliers). Ils contribuent à l'assèchement de la plaine, font office de brise-vents et sont considérés comme des éléments structurants du paysage.

## Fonction de régulation

### Fonction de régulation hydrique



*Figure 11 : Régulation hydrique*

La matière organique des sols tourbeux joue un rôle de stockage d'eau et contribue à limiter les inondations, mais ce rôle est modifié par le drainage qui agit directement sur le niveau de la nappe (fig. 11).

La matière organique joue un rôle efficace de filtre vis-à-vis de certains polluants (métaux lourds par exemple). Par contre, la décomposition rapide de la tourbe peut être à l'origine de la production massive de nitrates et de phosphates, avec pour conséquence, une eutrophisation des eaux via le système de drainage et/ou la connexion du sol avec la nappe phréatique.

## Fonction de régulation climatique

La matière organique, composée de carbone (C) et d'azote (N) est, dans le cas des sols tourbeux, à l'origine d'émissions de trois gaz à effet de serre (GES), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dont l'impact climatique augmente dans le sens  $\text{CO}_2 < \text{CH}_4 < \text{N}_2\text{O}$ . La proportion de ces différents GES ainsi que leurs flux dépendent des conditions ambiantes du sol tourbeux, notamment de son degré de saturation en eau déterminé par le niveau de la nappe (fig. 12, fig. 13).

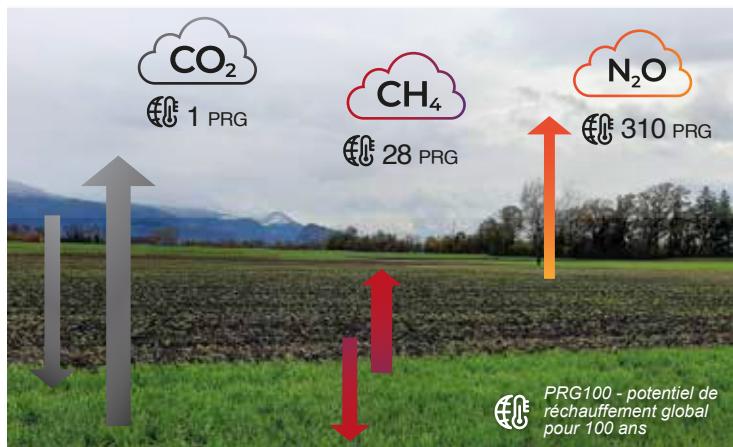


Figure 12 : Régulation climatique

*A l'état naturel, les sols tourbeux piégent du  $\text{CO}_2$  et émettent un peu de  $\text{CH}_4$ . En cas de drainage intense, les émissions de  $\text{CO}_2$  sont maximales et accompagnées d'une émission modérée de  $\text{N}_2\text{O}$ . La remise en eau équilibre les flux de  $\text{CO}_2$ . Les émissions de  $\text{CH}_4$  sont proches de celles de l'état naturel dans le cas d'une remontée de nappe et maximales en cas d'inondation.*

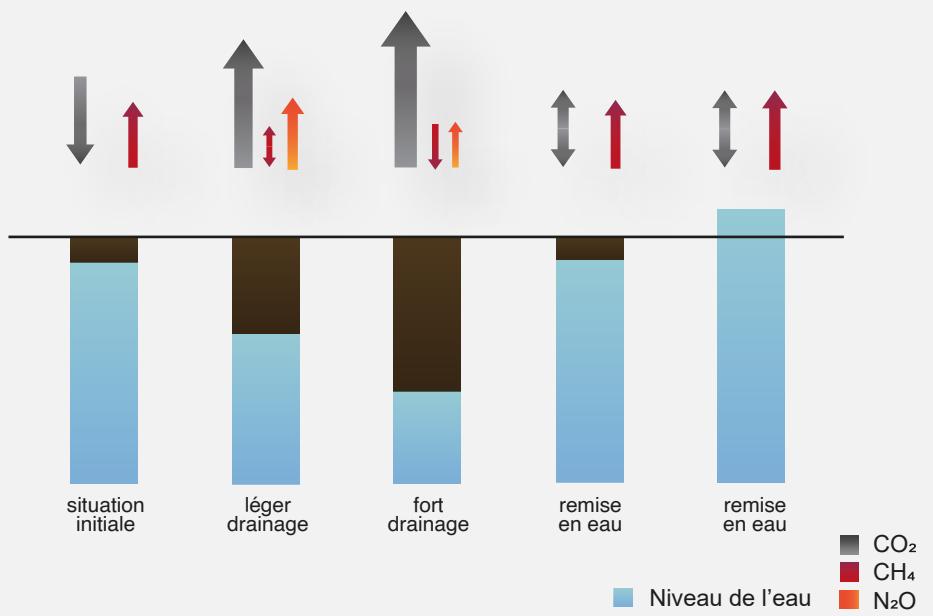


Figure 13 : Influence du niveau de l'eau sur les émissions de gaz à effet de serre dans les sols tourbeux (adaptée de [3]).

## Fonction d'habitat

Les hauts-marais et les bas-marais proches de l'état naturel sont des milieux favorables à une vie foisonnante et très diversifiée dans un espace restreint. Ce sont des hauts-lieux de biodiversité. En Suisse, environ un quart des espèces de plantes menacées de disparition sont présentes dans les hauts-marais et les bas-marais d'importance nationale ; ce qui correspond à une surface de 0,5% du territoire national. Les espèces très spécialisées de la faune et de la flore sont sensibles aux changements du milieu, en particulier à l'assèchement et à l'apport d'éléments nutritifs. Toutes ces espèces ont disparu dans les plaines tourbeuses drainées suite au drainage et à la fertilisation.

## Fonction d'archive

La fonction d'archive de l'histoire naturelle (évolution de la végétation, de la faune et du climat) et des activités humaines s'exprime principalement dans les sols tourbeux non drainés. L'absence ou la faible décomposition des matériaux organiques permet la conservation des vestiges naturels (par ex. pollens, débris végétaux) et des vestiges humains (par ex. habits, nourriture, outils en bois). L'accumulation progressive de la tourbe et des vestiges en fait un « livre d'histoire » des environnements passés, de l'évolution du climat et des successions des civilisations.

## Fonction de source de matière première

La tourbe a été exploitée tout d'abord comme combustible, puis comme substrat horticole. A partir du 18<sup>e</sup> siècle, en raison de la pénurie de bois de chauffage, un combustible devenu rare et cher, la tourbe est utilisée comme combustible pour faire face aux besoins croissants de la population et de l'industrie. La tourbe acquiert ainsi une valeur économique importante et constitue une alternative au déboisement des forêts. Cette exploitation est plus massive dans les hauts-marais que dans les bas-marais. Elle atteint son apogée pendant la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, puis elle diminue en raison de l'importation d'autres combustibles comme le charbon, le gaz. L'emploi de la tourbe a un regain d'intérêt pendant les deux guerres mondiales. L'exploitation de la tourbe comme combustible, dans l'ensemble des marais a conduit à une perte de surface de marais assortie d'une perte de carbone. Cette perte est estimée entre 2,5 et 5,7 millions de tonnes depuis 1710.

L'exploitation de la tourbe comme substrat horticole a été pratiquée entre les années 1940 et 1990. Elle concerne principalement les hauts-marais.

Depuis l'initiative de Rothenturm en 1987, l'extraction de la tourbe comme combustible ou comme terreau horticole est interdite « dans les marais et sites marécageux d'une beauté particulière et d'importance nationale » [28].

## Des fonctions antagonistes

En conclusion, et de manière simplifiée, les conditions hydrauliques pour assurer les différentes fonctions écologiques des sols (production, habitat, régulation hydrique et climatique) de manière optimale sont antagonistes (fig. 14). Un niveau moyen d'eau bas est presque exclusivement favorable à la production agricole de grandes cultures et maraîchères. Il est globalement défavorable aux fonctions d'habitat, de régulation hydrique et climatique.

Fonction	Niveau d'eau bas	Niveau d'eau élevé
Production de grandes cultures et maraîchères	Optimal	Inapproprié
Habitat	Faible biodiversité	Présence d'espèces spécialisées
Régulation hydrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amortissement des crues</li> <li>• Piégeage des polluants</li> <li>• Risque de détérioration de la qualité des eaux par production de nitrates et de phosphates</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amortissement des crues</li> <li>• Pas de piégeage de polluants</li> <li>• Pas de risque de détérioration de la qualité des eaux par production de nitrates et de phosphates</li> </ul>
Régulation climatique	Emission CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O	Emission de CH <sub>4</sub>

Figure 14 : Influence du niveau de l'eau et fonctions antagonistes dans les sols tourbeux.

## 4. LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS TOURBEUX EN VOIE DE DISPARITION

### Le drainage à l'origine des pertes de matière organique dans les sols tourbeux



Figure 15 : Tourbe de bas-marais non drainée (à gauche); Tourbe de bas-marais drainée (à droite).

L'abaissement du niveau de la nappe par le drainage modifie de manière irréversible et rapide la dynamique de la matière organique (fig. 15). Ce passage brutal de conditions dépourvues d'oxygène (en raison de la présence d'eau) à des conditions aérobies provoque :

- › l'arrêt immédiat de la formation de tourbe.
- › la diminution du piégeage du CO<sub>2</sub> atmosphérique et du stockage de biomasse.
- › la subsidence (baisse du niveau de la surface du sol) : la subsidence est le résultat de l'effet cumulé du tassement et du rétrécissement de la tourbe; deux processus qui sont suivis par la minéralisation de la matière organique et d'un processus mineur, l'exportation de la matière organique dans l'eau. La contribution de la minéralisation dans la subsidence à long terme est souvent prédominante mais elle varie d'un cas à l'autre (35 à 100%).
- › une évolution de la composition de la tourbe : moins de fibres, couleur plus sombre, elle devient un peu plus stable et se réhumecte difficilement.
- › un changement des processus de décomposition de la matière organique et des émissions de GES : passage de la fermentation anaérobiose avec production de méthane à la minéralisation aérobiose, et production accrue de dioxyde de carbone.

Les pertes de matière organique peuvent avoir d'autres origines et se surimposer au drainage : le travail mécanique répété ainsi que l'érosion éolienne. Le travail du sol augmente l'aération et donc la minéralisation de la matière organique. Les risques d'érosion éolienne sont élevés lorsque le sol est desséché (sécheresse estivale) et n'est pas protégé par un couvert végétal ou des brise-vents.

# Quantification des pertes de matière organique dans les sols tourbeux

## Méthodes de mesure et unités :

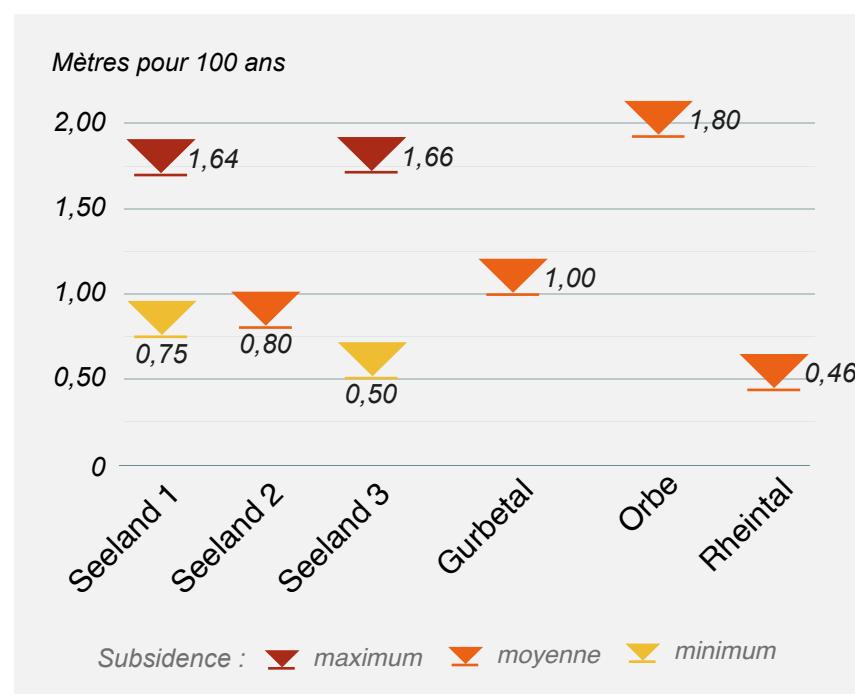
Les pertes sont estimées par :

- La reconstitution historique des surfaces, de l'usage des marais et des changements d'épaisseur de la tourbe. Elle donne une indication peu précise quant à la diminution du stock de carbone dans les marais.
- La subsidence, un indicateur fiable pour quantifier, de manière simple mais approximative de la perte en matière organique. Elle s'exprime en épaisseur par unité de temps (par exemple en mètres /100 ans).
- La diminution du stock de matière organique. Elle s'exprime en perte de matière organique/ha/an ou en perte de C/ha/an.
- Le monitoring des émissions gazeuses actuelles ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) pour estimer les pertes actuelles. Les résultats sont exprimés en émissions annuelles pour chacun des GES ou en équivalent  $\text{CO}_2$ /an. Le bilan prend en compte le stockage et les émissions de chaque gaz ou de l'ensemble des gaz.
- La signature isotopique. Elle permet d'identifier la matière organique à l'origine des pertes (tourbe ou végétation récente par exemple).

En raison de la variabilité entre et au sein de chaque plaine tourbeuse, on ne peut pas extrapoler les données obtenues sur un site à d'autres sites [29]. A l'heure actuelle, il n'est pas possible de prédire, avec fiabilité, la perte de matière organique des sols tourbeux en Suisse.

## Ampleur des pertes :

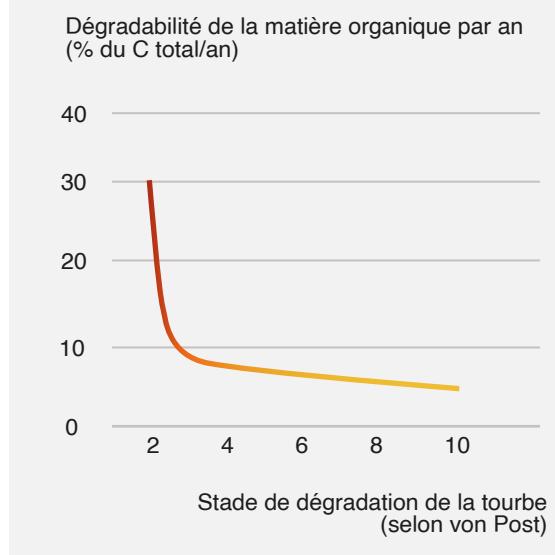
Les données quantitatives relatives à la perte de matière organique dans les sols tourbeux drainés issus de bas-marais agricoles en Suisse sont très limitées. La subsidence est un processus rapide et irréversible. Elle est comprise entre 0,46 m et 1,80 m par siècle. Son ampleur varie selon les plaines tourbeuses et au sein d'une plaine. Ces variations s'expliquent par des différences d'ordre climatique (pluviométrie et température) mais surtout par des différences pédologiques (caractéristiques de la tourbe, présence de matériaux minéraux), de fonctionnement hydrique (hauteur de la nappe et capacité d'infiltration), de gestion agricole (fig. 16).



**Figure 16 :** Subsidence de la tourbe dans les plaines tourbeuses. Données issues de [29] [30] [10] [19] [15] [31].

La vitesse à laquelle la tourbe se transforme, puis se minéralise dépend aussi de son degré de décomposition; ce degré de décomposition peut être estimé par l'indice de von Post. Dans des conditions identiques, une tourbe peu décomposée (indice de von Post élevé) va se minéraliser plus vite qu'une tourbe très décomposée à l'indice de von Post bas (fig. 17).

**Figure 17 : Dégradabilité de la matière organique dans les sols organiques en fonction de l'indice de von Post (modifiée de [3]).**



Dans les bas-marais drainés, les pertes de carbone varient selon les plaines tourbeuses. Elles sont, en prairies, de l'ordre de 4,6 t/ha/an à 5 t/ha/an dans le Seeland et de 0,62 t/ha/an pour le Rheintal [10] [32]. La perte en carbone varie selon le niveau d'eau, les conditions hydrométéorologiques, la végétation et la gestion agricole. La fertilisation intensive augmente la perte de carbone et les émissions de CO<sub>2</sub> [33].

Ces pertes sont nettement plus élevées que les pertes dans les sols minéraux, même ceux utilisés intensivement en agriculture (0,34 t C/ha/an). Ces pertes de carbone sont 2 à 15 fois plus élevées que celles des sols minéraux [3].

## Pertes de matière organique : des conséquences pour l'agriculture et le climat

La perte de matière organique a un impact sur l'ensemble des fonctions du sol. Dans le cas des sols tourbeux drainés issus de bas-marais, les enjeux concernent essentiellement la capacité de production agricole et les émissions de GES qui sont directement tributaires du niveau d'eau dans la tourbe.

### Diminution de la capacité de production agricole



**Figure 18 : Apparition de substrats défavorables à proximité de la surface : craie sub-affleurante (à gauche); couche peu perméable (à droite).**

Selon l'épaisseur originelle de la tourbe, la perte de matière organique peut faire affleurer des matériaux minéraux sous-jacents. De manière générale, la fertilité du sol va diminuer mais pour des raisons différentes selon les caractéristiques de ces couches minérales (craie, sable, alluvions, limon, argile). Les limitations de la capacité de production agricole peuvent être hydriques (accumulation d'eau en surface) et/ou chimiques (déficit voire carence en éléments nutritifs, toxicité). Lorsque l'épaisseur de la tourbe est inférieure à 20 cm, les grandes cultures ne sont plus possibles et d'autres utilisations agricoles doivent être envisagées (prairies ou cultures alternatives). La perte de matière organique et la subsidence qui en découle peuvent varier dans une parcelle et créer une hétérogénéité qui rend plus difficile l'exploitation agricole.

La disparition de la tourbe va rendre le système de drainage inopérant. Les drains ne sont plus efficaces car ils ne se trouvent plus à une profondeur adéquate. Comme le sol s'est abaissé, les drainages sont de plus en plus proches de la surface, les sols ne sont plus suffisamment drainés et le risque d'inondation peut augmenter. Dans certains cas, la vétusté du système de drainage imposerait un nouvel assainissement. Mais le coût de telles rénovations est considérable. L'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) l'estime en moyenne à 25 000 CHF/ha. Dans le Seeland, un système de drainage avec régulation du niveau d'eau par pompage serait amorti entre 30 à 50 ans [34].



*Figure 19 : Regard de drainage hors du sol*

© Gienat C.

### *Emission de gaz à effet de serre, corollaire de la perte de matière organique*

Le drainage est la cause principale de la minéralisation de la tourbe et donc des émissions de GES. On estime que les sols tourbeux utilisés en agriculture rejettent 0,7 million de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an (eqCO<sub>2</sub>/an), soit 1,5% des émissions totales de gaz à effet de serre de la Suisse [2], ce qui correspond environ 14% des émissions de gaz à effet de serre du domaine agricole [3].

Cependant, la quantification précise des émissions de GES émis par les sols tourbeux (hauts-marais et bas-marais) est peu documentée, surtout pour celles du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O. Jusqu'à présent, la majorité des recherches se focalise sur les hauts-marais. Or, les scientifiques ont attiré l'attention sur l'importance des sols organiques drainés cultivés dans l'émission de GES. Actuellement, il existe peu d'essais de quantification des gaz émis par les sols organiques cultivés, en particulier pour le N<sub>2</sub>O [35] [36]. Les premières recherches concernent les sols tourbeux drainés issus de bas-marais sous prairie extensive dans le Seeland. Les émissions annuelles totales de l'ensemble des GES sont de l'ordre de 20 tonnes équivalents CO<sub>2</sub> par hectare et par an (t eqCO<sub>2</sub>/ha/an) dans le cas d'une prairie extensive sur un sol tourbeux drainé. Les flux principaux sont ceux de CO<sub>2</sub> tandis que les émissions de N<sub>2</sub>O sont faibles (3 t eqCO<sub>2</sub>/ha/an) [33] et celles de CH<sub>4</sub> très faibles (0,2 t eqCO<sub>2</sub>/ha/an).

## 5. PRESERVATION DE LA MATIERE ORGANIQUE ET AMENAGEMENTS DES SOLS ISSUS DE BAS-MARAIS DRAINES

En Suisse, les plus anciens aménagements des plaines tourbeuses agricoles qui ont été décrits datent des années 1970. L'objectif premier de ces aménagements était le maintien de la production agricole avec la nécessité i) de disposer d'une épaisseur adéquate de sol pour le développement racinaire, ii) d'améliorer la portance pour faciliter la traficabilité du terrain et iii) d'assurer un fonctionnement hydrique optimal pour la croissance des cultures. Les objectifs liés à la préservation de la matière organique et l'atténuation du changement climatique sont des préoccupations plus récentes.

La présentation préalable des mécanismes de préservation de la matière organique dans les sols tourbeux, permet de mieux comprendre le fonctionnement des aménagements et d'évaluer leur efficacité pour préserver la matière organique.

### Mécanismes de préservation

Six mécanismes principaux de préservation de la matière organique dans les sols tourbeux ont été identifiés (fig. 20). Les différents aménagements peuvent mettre en application un ou plusieurs de ces mécanismes.



#### Compenser les pertes de tourbe

Les pertes sont compensées par des apports massifs de biomasse, soit en surface du sol (résidus de culture), soit dans le sol (dégradation des racines).



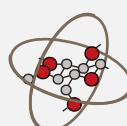
#### Réduire les pertes de tourbe

En diluant la tourbe avec des matériaux minéraux, une moins grande quantité de tourbe est travaillée et exposée à l'air. Il ne s'agit pas d'un véritable mécanisme de préservation mais il permet de réduire la quantité de tourbe exposée à la dégradation.



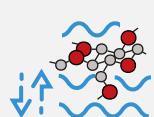
#### Protéger la tourbe

Un apport de matériau minéral change les conditions physico-chimiques au voisinage de la tourbe (humidité, température, aération) modifie l'activité biologique et donc la vitesse de dégradation de la tourbe. Selon la composition des matériaux apportés, leur épaisseur et les conditions locales, la décomposition de la tourbe peut être ralentie ou non.



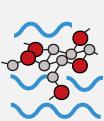
#### Stabiliser la tourbe

Un apport d'argile stabilise la tourbe en formant des liaisons «argile-matière organique» qui ralentissent la décomposition de la matière organique.



#### Créer des conditions temporaires de conservation de la tourbe

Une remontée temporaire de la nappe permet de maintenir, de manière provisoire, la tourbe dans des conditions proches de celles dans lesquelles elle s'est formée : une absence d'oxygène due à la présence d'eau. Cette remise en eau bloque temporairement la minéralisation de la matière organique.



#### Créer des conditions permanentes de conservation de la tourbe

Une remontée permanente de la nappe recrée des conditions proches de celles dans lesquelles la tourbe s'est formée : une absence d'oxygène due à la présence d'eau. Cette remise en eau stoppe définitivement la minéralisation de la matière organique.



Figure 20 : Six mécanismes de préservation de la matière organique dans les sols tourbeux.

## Aménagements de sols tourbeux drainés en Suisse

Les différents aménagements décrits ont été, sauf une exception, réalisés en Suisse. Ils sont regroupés de la manière suivante :

- **apport de biomasse** : biomasse racinaire ou résidus de culture
- **travail du sol en profondeur** : labour profond et bêchage rotatif profond
- **apports en surface de matériaux** : saupoudrage d'argile
- **apport en surface de matériaux minéraux sableux ou terreux**
- **reconstitution d'un sol complet** par apport de matériaux avec ou sans remise en surface de la tourbe
- **remise en eau** : inondation temporaire ou inondation permanente

### Apport de biomasse : biomasse racinaire



Figure 21 : Roseau de chine (*Miscanthus*)

**Technique** : l'apport massif de matière organique dans le sol résulte de la décomposition des racines de plantes à fort développement comme le roseau de Chine (fig. 21).

**Mécanismes de préservation de la matière organique** : compenser les pertes de tourbe par des apports de matière organique issus de la dégradation de la biomasse racinaire.

**Objectif initial de l'aménagement** : production de biomasse pour la bioénergie.

**Efficacité** : dans le Seeland, la culture de *Miscanthus giganteus* pendant 10 ans sur un sol tourbeux, n'a pas permis d'augmenter significativement le stock global de matière organique du sol comparé à celui d'un sol analogue cultivé en prairie permanente. Il est donc peu probable que l'accumulation de la matière fraîche issue du *Miscanthus* compense la perte induite par la minéralisation de la tourbe. L'efficacité de cet aménagement pour préserver la tourbe est donc faible [38].

### Apport de biomasse : résidus de culture

**Technique et objectifs** : une étude en laboratoire a été menée pour tester l'apport de résidus de paille sur l'évolution de la matière organique. Les échantillons provenaient de tourbes du Seeland sous forêt, prairie permanente ou culture de maïs.

**Mécanismes de préservation de la matière organique** : compenser les pertes par des apports de matière organique en surface.

**Efficacité** : le test en laboratoire montre que l'addition de paille (2%) peut, selon les cas, soit augmenter, diminuer ou n'avoir aucun effet sur la décomposition de l'ensemble de la matière organique du sol (tourbe et paille). En revanche, dans le cas spécifique de tourbe drainée et très modifiée par la culture pendant des décennies (maïs), sa minéralisation serait ralentie par l'ajout de paille. De manière générale, l'efficacité de cet aménagement est faible [37].

## Travail du sol en profondeur : labour profond

**Technique** : le labour profond est basé sur une remontée, en surface, d'un matériau minéral existant sous la tourbe, à une profondeur allant jusqu'à 2 mètres. L'horizon de surface (composé de tourbe et de matériau minéral remonté par une machine spéciale) est ensuite homogénéisé par un labour superficiel sur une vingtaine de cm (fig. 22).

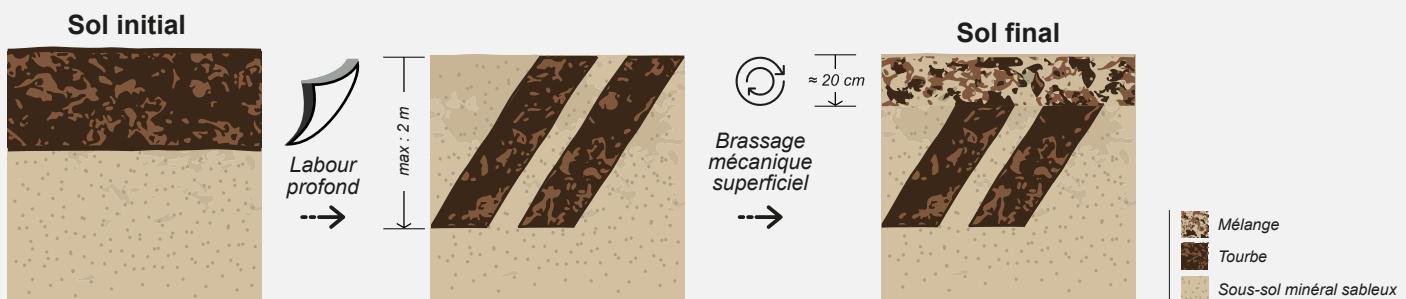


Figure 22 : Schéma simplifié du labour profond (adapté de [39]).

**Mécanismes de préservation de la matière organique** : réduire les pertes et protéger physiquement la tourbe. La tourbe est « diluée » avec des matériaux minéraux. La teneur en matière organique optimale, selon les critères agronomiques utilisés devrait être comprise entre 2 et 10%. Le labour profond réduit le contact entre la tourbe et l'oxygène, ce qui ralentit les processus de décomposition.

**Objectif initial de l'aménagement** : le labour profond du sol a pour objectif de maintenir la production agricole. Il s'agit de créer un substrat favorable au développement des cultures existantes (grandes cultures, cultures maraîchères).

**Exemple** : cet aménagement a été réalisé dans le Seeland dans les années 80 avec des machines spéciales. Le matériau minéral remonté par le labour profond était du sable (fig. 23).



Figure 23 : Labour profond. A gauche (avant) - profil de référence sans aménagement réalisé (état en 2014), le sol est constitué de tourbe (teneur en matière organique 42%) de 25 cm sur un sous-sol minéral. A droite (après) – profil avec labour profond effectué en 1982 (état en 2014). L'effet du labour profond est visible jusqu'à 90 cm (une partie de la tourbe a été redressée et enfouie); après 30 ans de culture, les couches minérales et tourbeuses sont mélangées dans l'horizon de surface (teneur en matière organique 8 fois moins élevée que dans l'horizon de surface du profil de référence) [39].

**Efficacité** : une évaluation de l'impact du labour profond sur la capacité de production a été effectuée 30 ans après l'aménagement sur des critères d'aptitude agricole (NEK) de la FAL24, adaptée aux sols organiques. La matière organique n'est qu'un des critères parmi d'autres (profondeur du sol, régime hydrique, etc.). Selon ces critères d'évaluation, le taux de matière organique dans la partie supérieure du sol a atteint l'objectif visé [39]. L'efficacité de la préservation réelle de la tourbe est difficile à quantifier. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, le labour profond ne modifierait pas les émissions de CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire la minéralisation de la matière organique. L'efficacité du labour profond pour préserver la matière organique est considérée comme faible [36].

## Travail du sol en profondeur : bêchage rotatif profond

**Technique** : tout comme le labour profond, le bêchage rotatif profond est basé sur une remontée en surface de matériau minéral existant sous la tourbe (fig. 24). A la différence du labour profond, le substrat minéral sous-jacent est à une profondeur plus faible, de l'ordre de 40 cm en moyenne.



Figure 24 : Schéma simplifié du bêchage rotatif profond (adapté de [39]).

**Objectifs** : les objectifs visés par le bêchage rotatif et le labour profond sont similaires. En revanche, l'efficacité de la préservation de la matière organique est encore plus faible dans le cas du bêchage rotatif. En effet, le brassage augmente la minéralisation de la matière organique par la fragmentation et l'aération de la tourbe.

## Apports en surface de matériaux : saupoudrage d'argile

Le saupoudrage d'argile pure sur la tourbe a pour objectif de préserver la tourbe de la minéralisation et de réduire les émissions de GES. Le principe est la stabilisation physico-chimique de la matière organique. Le saupoudrage d'argile n'est pas pratiqué en Suisse mais mérite d'être signalé en raison de son efficacité. Aux Pays-Bas, des essais en laboratoire montrent que l'ajout d'argile en faible quantité (équivalent à une épaisseur de 1 cm sur le terrain) diminue la décomposition et les émissions de CO<sub>2</sub> issues de la minéralisation de la tourbe. Cependant, l'efficacité d'un tel ajout varie considérablement selon le type d'argile, le type de tourbe et les conditions locales (climat, niveau de nappe). Sauf exception, l'apport d'argile conduit à une réduction (maximum 50%) des émissions de CO<sub>2</sub> [40].

## Apports de matériaux minéraux sableux ou de matériaux terreux

Ce type d'aménagement est le plus fréquent en Suisse et il est mis en œuvre actuellement dans la plupart des plaines tourbeuses (plaine de l'Orbe, Seeland et vallée du Rhin saint-galloise).

**Technique** : en général, l'apport de matériau est d'une épaisseur de 20 à 30 cm. Le choix de la variante (apport de matériaux minéraux sableux ou de matériaux terreux) dépend de l'épaisseur de la tourbe, de la topographie, de la composition du sous-sol, du niveau de la nappe et de la disponibilité des matériaux terreux issus de décapage. Lors de sa mise en place, les matériaux apportés peuvent être mélangés à la tourbe (fig. 25).

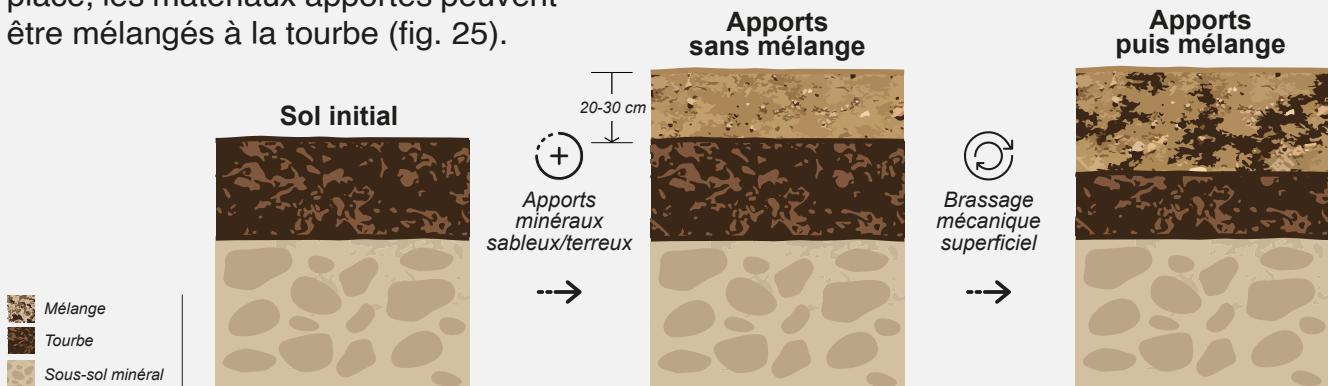


Figure 25 : Schéma simplifié de l'apport de matériaux (adapté de [39]).

**Mécanismes de préservation de la matière organique** : ils diffèrent selon la qualité des matériaux apportés : stabiliser la tourbe, protéger physiquement la tourbe, réduire les pertes de tourbe. Ils peuvent se combiner selon les cas.

*Dans le cas d'apports de sable* : sans mélange du sable avec la tourbe, la préservation de la matière organique est uniquement une protection physique; en cas de mélange du sable avec la tourbe, il s'agit d'une simple dilution.

*Dans le cas d'apport de matériaux terreux* : la présence d'argile contribue, de plus, à la stabilisation de la matière organique.

**Objectif initial de l'aménagement** : l'objectif principal est de maintenir une production agricole. Dans ce type d'aménagement, la préservation de la tourbe n'est pas l'objectif principal, mais un moyen pour maintenir ou recréer un substrat adéquat pour la production agricole. Les limitations de la capacité de production dues à la profondeur utile, à l'excès d'eau, à la portance sont en général prioritaires.

Par ailleurs, ces aménagements peuvent être une opportunité d'utilisation de matériaux terreux ou de sable.

### Exemple :



**Figure 26 : Apport de sable sans mélange avec la tourbe.** A gauche (avant) - profil de référence sans aménagement réalisé (état en 2014), le sol correspond à un sol tourbeux profond, l'horizon de surface est riche en matière organique (teneur en matière organique 26%) .

A droite (après) – profil avec apport de matériaux sableux sans mélange effectué en 1971 (état en 2014). Après 40 ans de culture, l'horizon de surface a une teneur en matière organique de 4,7% et se caractérise par une forte teneur en sable (83%) [39].

**Efficacité de l'apport de sable** : dans l'état actuel des connaissances, l'apport de sable ne modifierait pas les émissions de CO<sub>2</sub> des sols organiques, c'est-à-dire la minéralisation de la matière organique. L'efficacité de l'apport de sable pour préserver la matière organique serait donc faible [36].

**Efficacité de l'apport de matériaux terreux** : elle est peu documentée. La seule évaluation se base sur un exemple dans le Rheintal sous prairie intensive avec un apport d'un matériau (40 cm d'épaisseur, composé de sable 31,8%, de silt 52,3% et d'argile 15,9%). Cet apport ne réduit pas significativement, après plus de 10 ans, la perte totale de carbone du sol (de l'ordre de 0,5 t/ha/an). Avec ou sans apport de matériaux, les pertes de carbone proviennent à la fois de la minéralisation de la tourbe et de celle de la matière organique plus récente (prairie). Cependant, avec cet aménagement, la décomposition de la tourbe la plus ancienne diminue. Il semble possible, qu'à plus long terme, l'on tende vers une réduction de la perte de la tourbe; cette hypothèse reste à vérifier [31].

## Reconstitution d'un sol complet par apport de matériaux sans remise en surface de la tourbe

**Technique** : cet aménagement vise à reconstituer un sol complet, épais, de plus de 60 cm, avec des matériaux externes, terreux de préférence apportés sur un sol tourbeux. Le sol tourbeux est enfoui et ne participe quasiment plus au développement des plantes cultivées (fig. 27).

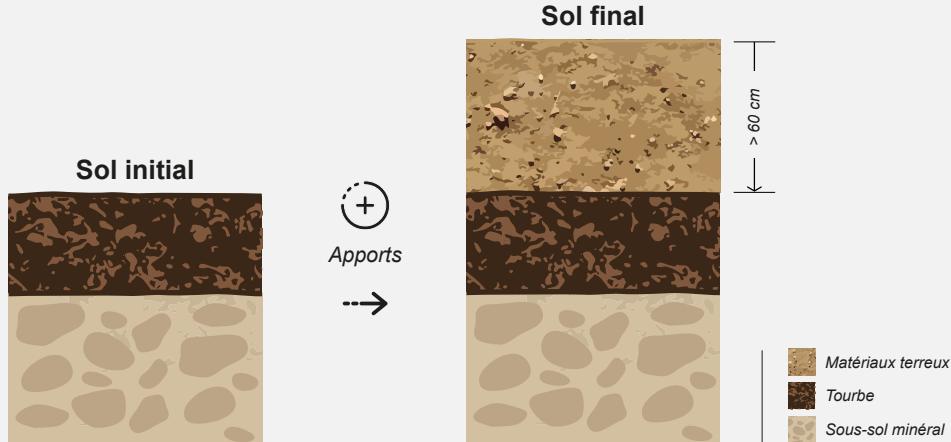


Figure 27 : Schéma simplifié de la reconstitution d'un sol complet par apport de matériaux.

### Mécanismes de préservation de la matière organique :

les processus de préservation de la matière organique sont fonction du niveau de la nappe dans la tourbe enfouie : protection physique si la tourbe est au-dessus de la nappe d'eau, conservation provisoire si la tourbe est de façon temporaire dans la nappe, et conservation définitive si la tourbe est en permanence dans la nappe.

### Objectif initial de l'aménagement :

l'objectif principal est de maintenir une production agricole et de faciliter les conditions d'exploitation. Dans ce type d'aménagement, la préservation de la tourbe est un objectif secondaire. Il s'agit surtout d'améliorer le régime hydrique et la portance du sol. Par ailleurs, ces aménagements peuvent être une opportunité de valorisation de matériaux issus de décapage et d'excavation.

### Exemple :

ce type d'aménagement a été mis en œuvre lors de projets de protection contre les crues de la Linth en synergie avec le projet de valorisation agricole Benken Plus. Ces projets permettaient de valoriser les matériaux terreux (taux d'argile > 30%) générés par les travaux sur la Linth. Un suivi de l'impact de ces apports est effectué pour vérifier leur efficacité sur la capacité de production des sols. Ce suivi montre que des limitations d'ordre hydrique persistent après cinq ans du fait des caractéristiques des matériaux.

### Efficacité de la reconstitution d'un sol complet sans remise en surface de la tourbe :

l'efficacité de la préservation de la tourbe enfouie n'est pas documentée. Elle serait faible si la tourbe est au-dessus de la nappe d'eau, moyenne si la tourbe est de façon temporaire dans la nappe, et préservée efficacement et durablement si la tourbe est en permanence dans la nappe.

## Reconstitution d'un sol complet par apport de matériaux avec remise en surface de la tourbe

**Technique** : dans ce type d'aménagement, la tourbe a été décapée partiellement ou totalement, puis des matériaux d'excavation et terreux ont été apportés et finalement la tourbe a été redéposée sur ces matériaux minéraux. Si la tourbe était initialement épaisse, il peut rester de la tourbe résiduelle en dessous du sol reconstitué (fig. 28).



Figure 28 : Schéma simplifié de la reconstitution d'un sol complet avec remise en surface de la tourbe.

**Mécanismes de préservation de la matière organique** : la tourbe de surface ne bénéficie d'aucun mécanisme de préservation. En cas de décapage partiel de la tourbe, les mécanismes de préservation de la tourbe résiduelle enfouie sont fonction du niveau de la nappe.

**Objectifs** : l'objectif principal est de maintenir une production agricole et de faciliter les conditions d'exploitation. De plus, ces aménagements sont une opportunité de valorisation de matériaux issus de décapage et d'excavation.

**Exemple :**



Figure 29 : Reconstitution d'un sol complet avec remise en surface de la tourbe (pendant les travaux). La tourbe a été décapée (au premier plan) et elle est réutilisée comme horizon de surface du sol reconstitué. On distingue un andain de tourbe (à l'arrière-plan).

**Efficacité de la reconstitution d'un sol complet avec remise en surface de la tourbe** : cet aménagement accélère la minéralisation de la tourbe de surface en raison des manipulations successives (décapage, stockage à l'air, remise en place) puis du contact permanent entre la tourbe et l'air. L'évolution de la tourbe profonde résiduelle dépend du niveau de la nappe.

## Remise en eau temporaire ou permanente

**Technique** : il existe plusieurs variantes de remise en eau selon la durée de l'inondation (temporaire ou permanente) et selon le niveau d'eau (remontée de la nappe modérée ou proche de la surface, submersion) (fig. 30).

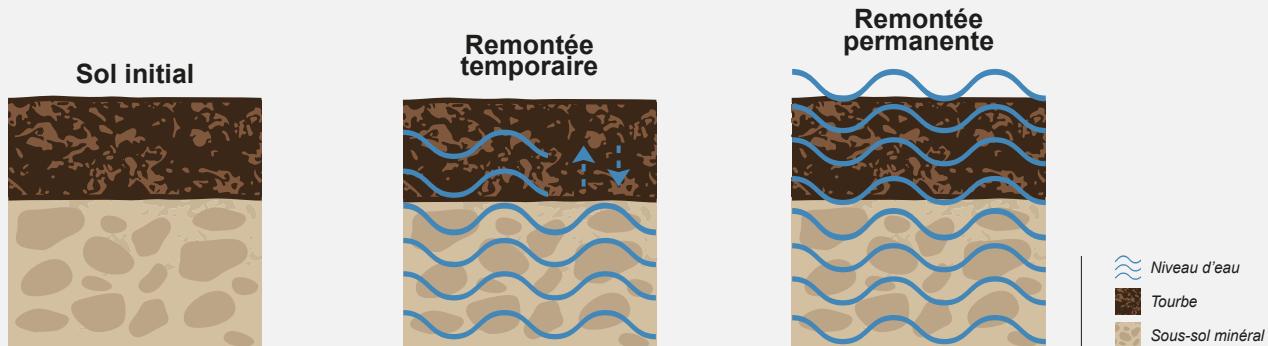


Figure 30: Schéma simplifié de la remise en eau temporaire et permanente.

**Mécanismes de préservation de la matière organique** : créer des conditions temporaires ou permanentes de conservation de la tourbe.

**Objectifs initiaux de l'aménagement** : les objectifs changent selon les variantes:

- concilier agriculture « traditionnelle » et biodiversité : remontée temporaire de la nappe
- production agricole « alternative » et biodiversité : remontée temporaire de la nappe
- régulation climatique et biodiversité : remontée permanente de la nappe

### Remontée temporaire de la nappe et agriculture traditionnelle

La remontée contrôlée et saisonnière du niveau de la nappe est pratiquée occasionnellement en Suisse grâce aux systèmes de drainage dotés d'un système de contrôle de la nappe. Cette pratique permet de concilier production agricole « traditionnelle » et préservation de la tourbe par alternance des usages agricoles du sol.

Cette pratique n'est pas documentée en Suisse. Des tests menés en Angleterre montrent que la remontée de nappe en hiver (de -50 cm à -30 cm) ne réduit pas la production de laitue. Pendant la saison de végétation, elle n'a pas d'effet majeur sur la production agricole. Par contre, une remontée de la nappe pendant toute l'année diminue la production de laitue de 37%. En tenant compte des émissions de GES, la remise en eau hivernale est considérée comme un bon compromis pour concilier maintien de la production maraîchère et diminution des émissions de GES [43].

### Inondation temporaire pour concilier agriculture « traditionnelle » et biodiversité



Figure 31 : Inondation automnale pour une escale de limicoles (plaine de l'Orbe).

Le but de cet aménagement est de concilier production agricole et préservation de la biodiversité. Il s'agit de créer une escale temporaire pour les limicoles (fig. 31). L'inondation, par le biais d'un système de drainage et de pompage a lieu en automne et/ou au printemps pour une durée de 3 mois [41]. Cet aménagement est un succès d'un point de vue ornithologique mais son impact sur la préservation de la tourbe n'est pas documenté.

## Inondation temporaire pour concilier production agricole « alternative » et biodiversité

Plusieurs projets pilote de riziculture ont été développés dans les plaines tourbeuses drainées (Seeland (fig. 32), plaine de l'Orbe). Cette culture de niche nécessite une remise en eau temporaire de 4 à 5 mois. Cet aménagement augmente localement la biodiversité (batraciens, libellules, etc.) [42]. Son efficacité pour préserver la matière organique est certainement élevée mais elle n'a pas été quantifiée dans les projets pilotes [36]. Les émissions de GES ne sont pas encore mesurées.



*Figure 32 : Essai pilote de riziculture dans le Seeland.*

## Remontée permanente de la nappe

Dans le cadre d'un plan de mesures pour lutter contre les émissions de GES, le canton de Zürich propose, d'ici 2025, le ré-ennoiement de certaines zones humides. Cette mesure concerne des tourbières, des prairies extensives mais également une partie des zones drainées agricoles. Il s'agirait, dans ce dernier cas, de non réfection des systèmes de drainage et d'une conversion en prairies extensives.

L'impact de la remontée permanente sur la matière organique et les émissions de GES n'est documenté que dans quelques publications récentes. D'après des simulations, il serait possible de réduire les émissions de GES, de l'ordre de 1% des émissions anthropiques mondiales, en remontant la nappe dans tous les sols organiques drainés agricoles (issus de bas-marais et de hauts-marais). Cette remontée de nappe nécessite de diminuer de moitié l'épaisseur de la tourbe influencée par le drainage. Le scénario optimal au niveau climatique est un niveau moyen de nappe à 10 cm pour les zones actuellement cultivées et les prairies. Le développement de cultures tolérantes à l'eau, économiquement viables et adaptées à la culture sur des sols organiques est une priorité élevée dans les efforts internationaux de lutte contre le changement climatique [44].

En Suisse, l'ensemble des marais drainés libèrent actuellement près de 700 000 tonnes d'équivalents CO<sub>2</sub> de gaz à effet de serre par an sur une surface d'environ 20 000 hectares. Si l'on procédait à la remise en eau d'environ un dixième à un tiers des sols concernés et que l'on y privilégiait une exploitation très extensive, la matière organique serait préservée et les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère diminueraient de 70 000 à 230 000 tonnes. Avec un prix moyen de 72 euros la tonne, le CO<sub>2</sub> compensé représenterait une contre-valeur comprise entre 6 et 18 millions CHF par an [45].

## Quels aménagements pour préserver la matière organique dans les sols tourbeux ?

### Synthèse des aménagements

Le tableau suivant (fig. 33) récapitule l'objectif, les mécanismes de préservation de la matière organique et leur efficacité pour préserver la matière organique dans les sols tourbeux.

Aménagement	Objectif initial de l'aménagement	Mécanismes de préservation	Efficacité de la préservation
Apport de biomasse racinaire	Production de bioénergie	 Compensation des pertes	Faible
Apport de biomasse (résidus de culture)	Maintien de la production agricole	 Compensation des pertes	Faible
Travail du sol en profondeur (bêchage, labour)	Maintien de la production agricole	 Réduction des pertes  Protection	Faible
Saupoudrage d'argile	Préserver la tourbe Limiter les émissions GES	 Stabilisation	Variable : de nulle à élevée Voie expérimentale à explorer
Apport de sable	Maintien de la production agricole	 Protection  Réduction des pertes	Variable : de nulle à faible
Apport de matériau terreux	Maintien de la production agricole	 Protection  Réduction des pertes  Stabilisation	Variable : de nulle à faible selon la qualité du matériau L'effet du simple « couvercle » protège peu la tourbe
Reconstitution d'un sol complet sans remise de la tourbe en surface 1. Tourbe hors de la nappe 2. Tourbe temporairement dans la nappe 3. Tourbe en permanence dans la nappe	Maintien de la production agricole	 1. Protection  2. Conservation temporaire  3. Conservation définitive	Faible Moyenne Elevée
Reconstitution d'un sol complet avec remise de la tourbe en surface	Amélioration des conditions d'exploitation agricole et de la capacité de production Valorisation de matériaux issus de décapage et d'excavation	Aucune protection de la tourbe en surface	Augmente la minéralisation A éviter
Remise en eau temporaire - Remontée de nappe - Riziculture - Inondation temporaire	Maintien de la production agricole Concilier production agricole et biodiversité	 Conservation temporaire	Moyenne
Remise en eau permanente	Réduction des GES et augmentation de la biodiversité	 Conservation définitive	Elevée

**Figure 33 : Tableau récapitulatif sur l'efficacité des aménagements.**

Dans certains aménagements, les mesures classiques de préservation de la matière organique dans les sols minéraux peuvent également être appliquées.

Par exemple, il est conseillé de :

- ✓ limiter le travail mécanique et répété du sol qui tend à l'aérer et donc à favoriser la minéralisation de la tourbe
- ✓ limiter les pertes par érosion éolienne en évitant de laisser le sol nu et en implantant des brise-vents
- ✓ apporter des matières organiques sous forme de fumure

En ce qui concerne plus spécifiquement les apports de matériaux issus de décapage, il est indispensable de veiller à leur qualité. En outre, les travaux doivent être réalisés en prenant toutes les mesures nécessaires pour éviter la compaction des tourbes et des matériaux apportés. Cela nécessite une planification et un suivi par des spécialistes qualifiés.

## **Des connaissances lacunaires**

Le bilan sur la préservation de la matière organique dans les sols tourbeux drainés issus de bas-marais s'appuie sur des acquis scientifiques et des expériences déjà réalisées. On constate que les données à disposition sont extrêmement rares, en particulier en ce qui concerne les sols tourbeux en Suisse. Les principales lacunes concernent :

- **Les réserves en carbone dans les sols tourbeux drainés** sont encore largement méconnues. De telles données, issues de la cartographie à haute résolution, sont indispensables à double titre : pour évaluer la perennité de la tourbe et de l'agriculture, ainsi que pour identifier les sites présentant de vastes réserves de carbone, sur lesquels une modification de la gestion du sol réduirait de manière substantielle les émissions de GES [45].
- **La quantification précise de la subsidence** se limite à quelques sites. En Suisse, on ne dispose pas d'un suivi avec une méthodologie identique appliquée à plusieurs sites afin de comprendre, prévoir voire modéliser la variabilité de la subsidence. En Europe, quelques pays ont mis en place de tels suivis. Aux Pays-Bas, le suivi de sites pilotes depuis les années 1970, permet de tester, par exemple, l'impact du niveau d'eau sur la subsidence de la tourbe [46].
- **Les conséquences des aménagements sur la préservation de la matière organique** ne sont pas documentées de manière suffisante alors que ces aménagements ont, surtout lors d'apports externes, un effet durable et irréversible sur le fonctionnement des sols. Dans le cas du travail profond du sol, d'apports de matériaux externes ou de reconstitution d'un sol complet, les études sont focalisées sur le maintien de la capacité de production agricole. La perte de tourbe, n'est qu'un facteur secondaire dans ces évaluations agronomiques. Les recherches relatives à l'incidence des aménagements sur la matière organique de la tourbe sont récentes et rares. La mise en place de sites pilotes avec un suivi rigoureux est nécessaire pour comprendre, quantifier et prévoir l'évolution de la matière organique. Ceci est indispensable non seulement pour comprendre les impacts des différents aménagements sur la production agricole, mais également sur d'autres fonctions du sol comme la régulation climatique.
- **Les conséquences des aménagements sur les émissions de GES**, dans les sols tourbeux drainés agricoles issus de bas-marais en Suisse, ne sont traitées que dans quelques rares publications récentes.

Une étude, menée sur un seul site, documente l'impact d'un aménagement (apport de matériau) sur le bilan carbone et les émissions de GES [31]. En Europe, les Pays-Bas, la Norvège et l'Allemagne par exemple disposent depuis plusieurs années de programmes de recherche nationaux pour réduire les émissions de GES dans l'ensemble des sols tourbeux, y compris les sols tourbeux cultivés. Les émissions de GES sont quantifiées sur des sites expérimentaux puis modélisées en fonction de différents facteurs-clés spécifiques à chaque pays (usage du sol, niveau d'eau, intensité de la fertilisation, conditions climatiques). Les résultats issus de tels programmes sont des éléments indispensables à la prise de décision quant à la gestion des sols organiques.

Un bilan précis de la séquestration du carbone selon les différents aménagements pourrait également être une base de réflexion sur la monétarisation de la séquestration du carbone dans les sols [47]. Cette problématique de monétarisation de la fonction de régulation climatique par les sols concerne l'ensemble des pays en Europe. En effet, la communauté scientifique s'accorde sur le fait que le potentiel de réduction des GES par les sols organiques n'est pas pleinement exploité et pourrait être mieux réalisé dans la mise en œuvre des politiques climatiques nationales [48].

En Suisse, ces lacunes résultent principalement de l'absence d'un suivi scientifique à l'aide de sites pilotes. Mettre en place de tels suivis scientifiques ne signifie pas une attente de plusieurs années pour obtenir les premiers résultats ! Il est possible de remplacer le suivi temporel par une étude de sites représentatifs : la comparaison de sites analogues, les uns non aménagés, les autres aménagés, permettra d'obtenir des données préliminaires pertinentes, qui pourraient être consolidées par un suivi temporel.

## 6. QUEL AVENIR POUR LES PLAINES TOURBEUSES ?

La conjonction des problématiques d'ordre agronomique, climatique, économique, rend la situation actuelle propice au questionnement sur l'avenir et la gestion des plaines tourbeuses en Suisse. Une solution qui satisfasse à la fois les besoins en production alimentaire, la préservation de la tourbe et la réduction des émissions de GES devra être évaluée tant au niveau technique qu'économique.

### Trois scénarios pour l'avenir des plaines tourbeuses

Les trois scénarios analysent les conséquences des aménagements dans les domaines de l'agriculture, du climat, des eaux et de la biodiversité. Ces scénarios très contrastés sont des pistes de réflexion en vue de la gestion intégrée des plaines tourbeuses en Suisse. Leur mise en œuvre devra être plus nuancée, adaptée au contexte local et aux objectifs visés en termes d'agriculture et de climat.

- **Scénario 1 : Maintien de la situation actuelle « business as usual »**
- **Scénario 2 : Préservation partielle de la matière organique**
- **Scénario 3 : Préservation totale de la matière organique**

## ○ Scénario 1 : Maintien de la situation actuelle « business as usual »

Les expériences acquises en Suisse montrent que l'inaction va engendrer des pertes de matière organique et de sols qui auront une incidence et des coûts financiers et environnementaux importants. La perte de matière organique pénalise la plupart des domaines :

- › **L'agriculture** : disparition des sols et dégradation des conditions d'exploitation, augmentation des coûts d'entretien, augmentation des intrants pour maintenir la capacité de production.
- › **Le climat** : augmentation des émissions de gaz à effet de serre.
- › **Les eaux** : risques d'inondation et de dommages pour les infrastructures, risques de pollution (nitrates, phytosanitaires, métaux lourds) dépendant des intrants mais aussi de la qualité des sols et de la proximité des nappes.
- › **La biodiversité** : pertes irrémédiables des milieux marécageux et des organismes associés.

## ● Scénario 2 : Préservation partielle de la matière organique

Les évaluations des différents aménagements déjà réalisés confirment que la remise en eau temporaire (par remontée de la nappe) est une option qui limite les pertes de sol et préserve partiellement la tourbe ; elle permet de maintenir certaines formes de production agricole. Les conséquences seraient les suivantes :

- › **L'agriculture** : la nécessité d'une adaptation de l'agriculture (par exemple variation contrôlée du niveau de nappe, choix des cultures y compris la riziculture).
- › **Le climat** : une diminution plus ou moins importante des GES, selon les variantes d'aménagement (durée et saisonnalité de la remontée de la nappe).
- › **La biodiversité** : une légère augmentation de la biodiversité.
- › **L'économie** : des coûts financiers de mise en place moyennement élevés dûs à l'adaptation des systèmes de drainage.

## ● Scénario 3 : Préservation totale de la matière organique

**Option 1** : la reconstitution d'un sol complet sans remise de la tourbe en surface, semble une option prometteuse pour préserver efficacement et durablement la matière organique. Elle devrait être testée tant d'un point de vue de la production agricole, de l'évolution de la tourbe que de la régulation climatique.

**Option 2** : la remise en eau permanente est l'option la plus radicale et la plus efficace pour préserver durablement la tourbe, cependant elle a des conséquences notables:

- › **L'agriculture** : une diminution drastique de l'exploitation agricole telle qu'elle est pratiquée actuellement et une reconversion vers des systèmes d'exploitation très extensifs (prairies). D'autres reconversions ont été développées en Europe, comme la production de roseaux ou de massettes dont la fibre est utilisée pour faire des panneaux d'isolation, la fabrication de pellets de chauffage à partir de fibres végétales. Ces alternatives pourraient être testées en Suisse.
- › **Le climat** : une diminution globale des GES.
- › **Les eaux** : une meilleure régulation hydrique (amortissement des crues).
- › **La biodiversité** : un maintien ou une reconstitution des milieux marécageux naturels et une augmentation de la biodiversité.
- › **L'économie** : un faible coût pour la mise en œuvre. Le bilan financier devra tenir compte du manque à gagner pour l'agriculture et des gains en termes de risque d'inondation et de climat. Ces derniers restent à chiffrer de manière objective sur la base de la quantification de la réduction des GES.

## Une approche multisectorielle et une gestion intégrée

La perte de matière organique dans les sols tourbeux drainés est une problématique multisectorielle qui touche à la fois les milieux agricoles en raison de la diminution de la capacité de production des sols et les milieux environnementaux en raison des conséquences sur le changement climatique et la diminution de la biodiversité.

En l'absence d'une gestion des plaines tourbeuses (scénario « business as usual »), la disparition de la matière organique cause aussi des inquiétudes sur la pérennité de l'agriculture telle qu'elle est pratiquée à l'heure actuelle. La perte de la capacité de production, à court et moyen termes, nécessite de trouver des solutions techniques et des aménagements appropriés.

Dans la décision du recours à un aménagement et de son choix, les **éléments-clés** à prendre en compte sont les suivants :

- **une connaissance et une évaluation de la situation initiale d'un point de vue hydro-pédologique** (épaisseur de la tourbe, fonctionnement hydrique, nature du sous-sol, etc.). Ceci nécessite une cartographie fine.
- **le diagnostic de la production agricole, des risques et des chances de succès** est un prérequis indispensable pour évaluer la nécessité d'un aménagement.
- **le choix d'un aménagement** adapté à l'objectif et à la situation.
- **l'estimation du coût et de la rentabilité de l'aménagement** (coût de rénovation et/ou de modernisation des systèmes de drainage, coût de la mise en œuvre des aménagements (par ex. un coût moindre pour le travail profond du sol et plus élevé en cas d'apports de matériaux terreux).
- **l'évaluation des conséquences** d'un type d'aménagement sur les autres fonctions du sol (régulation hydrique, biodiversité et régulation climatique) voire sur d'autres domaines de l'environnement (aspect paysager, valeur archéologique par exemple).
- **une pesée des intérêts** entre les différentes fonctions des sols selon la quantité et les propriétés des sols tourbeux.

Dans le cadre d'une gestion intégrée, le choix entre les différents scénarios envisageables doit être analysé et apprécié tant d'un point de vue scientifique, technique que financier. Le recours à des aménagements, qui dans certains cas modifient le sol de façon durable et irréversible, doit être évalué en prenant en compte les conséquences de ces aménagements sur les différentes fonctions du sol. Une gestion intégrée, comme dans le cas de la plaine de Wauwil est une source d'inspiration. Une telle planification agricole – appelée programme de développement de l'espace rural (PDER) a permis de faire émerger une vision partagée du futur de la plaine. Le projet a abouti à la formulation de plusieurs axes de projet combinant les enjeux de drainage, de réseaux écologiques et de loisirs.

# Bibliographie

- [1] Conseil-Fédéral-Suisse, «Stratégie Sol Suisse . Pour une gestion durable des sols», 2020.
- [2] «Nouvelle stratégie sur les sols: la Confédération dit stop à la perte des sols», 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/bafu-sol>.
- [3] F. Hagedorn et al., «Sol et environnement. Matière organique du sol, émissions de gaz à effet de serre et atteinte physique des sols suisses.», Berne, p. 96, 2018.
- [4] OFEV, «Un trésor sous nos pieds», Environnement, vol. 4, 2017.
- [5] C. Wüst-Galley, A. Grünig, et J. Leifeld, «Land use-driven historical soil carbon losses in Swiss peatlands», Landsc. Ecol., vol. 35, no 1, p. 173-187, 2020.
- [6] OFEV, « Inventaire des bas-marais », 2008. [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/bafu-bas-marais>
- [7] C. Wüst-Galley, A. Grünig, et J. Leifeld, Locating Organic Soils for the Swiss Greenhouse Gas Inventory Authors, no 26. 2015.
- [8] A.-M. Dubler, «Grand-Marais», Dictionnaire historique de la Suisse (DHS), 2010. [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/hls-dhs-01>
- [9] N. Gattlen, «Une chance à saisir pour la région des Trois-Lacs», Pro Natura Magazine, vol. 2, no Dossier 13, 2019.
- [10] M. Egli et al., «Formation and decay of peat bogs in the vegetable belt of Switzerland», Swiss J. Geosci., vol. 114, no 1, 2021.
- [11] M. Ferré et al., «Sustainable management of cultivated peatlands in Switzerland», Land use policy, vol. 87, no December 2018, 2019.
- [12] O. Hollenstein, L. Traduction Meuwly, «Rheintal», Dictionnaire historique de la Suisse (DHS). [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/hls-dhs-02>
- [13] S. Burgos, «Bodenkartierung St. Galler Rheintal». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bfh.ch/de/forschung/forschungsprojekte/2018-504-963-622/>.
- [14] P. Boivin, C. Guenat, et C. Müller, «Les sols de la plaine de l'Orbe. Typologie, cartographie et problématiques associées- Pédologie -Gesorbe», 2003.
- [15] J.-M. Gobat et C. Guenat, Sols et paysages. types de sols, fonctions et usages en Europe moyenne. Lausanne, 2019.
- [16] P. Ziegler, «Linth», Dictionnaire historique de la Suisse (DHS). [En ligne]. Disponible sur: <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/008770/2008-01-24>.
- [17] «Landwirtschaftliches Vorprojekt Benken Plus». [En ligne]. Disponible sur: [www.linthwerk.ch/index.php/benkenplus](http://www.linthwerk.ch/index.php/benkenplus).
- [18] A.-M. Dubler, «Gürbe», Dictionnaire historique de la Suisse (DHS), 2007. [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/hls-dhs-03>
- [19] Caspers, «Untersuchungen zur landwirtschaftlichen Nutzung eines Niedermoors im Gürbetal/Schweiz», 2013.
- [20] OFEV, «Paysages d'importance nationale», Inventaire des paysages, sites et monuments naturels (IPF). [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/bafu-paysages>
- [21] H. Sägesser et M. Achermann, «Aktuelle Praxis der Bodenverbesserung von Moosböden. Wauwiler Moos LU.», in Journées Proagricultura Seeland. 1er Mars 2019.
- [22] S. Herot, «Die Böden der Wauwiler Ebene», Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern, vol. 36, 1999.
- [23] Verein Freunde Wauwiler Ebene, « Landwirtschaftliche Planung Plus Wauwiler Ebene », 2019.
- [24] J. Brunner et al., Cartographie et estimation des sols agricoles, Les cahier. 1997.
- [25] S. Oeschlin, M. Nussbaum, D. Tatti, L. Kellermann, F. Bueler, et S. Burgos, « Bodenkartierung St. Galler Rheintal », 2020.
- [26] S. Burgos, « Cartographie des sols organiques », in Formation 11-12 septembre 2018. Ins, 2018.
- [27] S. Pro Agricultura, « Ergebnisse BOVE ». [En ligne]. Disponible sur: <https://proagricultura.ch/projekte/laufende-projekte/ergebnisse-bove/>.
- [28] Conseil Fédéral, Initiative populaire fédérale « pour la protection des marais - Initiative de Rothenturm». p. Art. 24sexies, 5e al.
- [29] J. Leifeld, M. Müller, et J. Fuhrer, « Peatland subsidence and carbon loss from drained temperate fens», Soil Use Manag., vol. 27, no 2, p. 170-176, 2011.
- [30] J. Pressler, «Die Böden des Betriebes Bellechasse unter Berücksichtigung der Moorsackung», ETHZ, 1993.
- [31] Y. Wang et al., «Soil carbon loss from drained agricultural peatland after coverage with mineral soil», Sci. Total Environ., vol. 800, p. 149498, 2021.
- [32] S. M. Paul et al., «Greenhouse gas balance of a drained organic agricultural soil with mineral soil coverage», in Eurosoil, 2021.
- [33] S. Paul, C. Ammann, C. Alewell, et J. Leifeld, «Carbon budget response of an agriculturally used fen to different soil moisture conditions», Agric. For. Meteorol., vol. 300, no August 2020, p. 108319, 2021.
- [34] M. Ferré, «Sustainable management of cultivated organic soils in Switzerland- An economic and policy analysis», ETH Zürich, 2017.
- [35] J. Leifeld, «Distribution of nitrous oxide emissions from managed organic soils under different land uses estimated by the peat C/N ratio to improve national GHG inventories», Sci. Total Environ., vol. 631-632, p. 23-26, 2018.
- [36] J. Leifeld, D. Vogel, et D. Bretscher, «Treibhausgasemissionen entwässerter Böden», Agroscope Sci., no 74, 2019.
- [37] C. Bader et al., «Response of peat decomposition to corn straw addition in managed organic soils», Geoderma, vol. 309, no September 2017, p. 75-83, 2018.
- [38] J. Leifeld, C. Alewell, et S. M. Paul, «Accumulation of C4-carbon from Miscanthus in organic-matter-rich soils », GCB Bioenergy, vol. 13, no 8, p. 1319-1328, 2021.
- [39] VOL, « Bodenbericht 2017», 2017.
- [40] M. van Agtmaal, «Clay enrichment in cultivated peatlands may reduce CO2 emissions.», in Eurosoil, 2021.
- [41] Vogelwarte, «Nouveau restauroute pour les limicoles (25.10.2017)», 2017. [En ligne]. Disponible sur: <https://bit.ly/vogelwarte01>
- [42] A. Gramlich, Y. Fabian, et K. Jacot, « Ökologischer Nassreis-Anbau auf vernässenden Ackerflächen in der Schweiz », Agridea, no 3804, 2021.
- [43] Y. Wen et al., «Raising the groundwater table in the non-growing season can reduce greenhouse gas emissions and maintain crop productivity in cultivated fen peats», J. Clean. Prod., vol. 262, p. 121179, 2020.
- [44] C. D. Evans et al., « verridging water table control on managed peatland greenhouse gas emissions», Nature, vol. 593, no 7860, p. 548-552, 2021.
- [45] A. Keller, J. Franzen, P. Kn, et A. P. Martin, Plateforme d'information des sols suisse (pis-ch), Berne, 2018.
- [46] van den Akker J.J.H., R. F. Hendriks, I. E. Hoving, et H. Massop, « Evaluation of 50 years subsidence monitoring of a peat meadow parcel to compare several methods to determine Co2-emissions. », in Eurosoil Geneva, 2021.
- [47] Conseil national, Postulat Bourgeois. Séquestration du carbone par le sol. 2019.
- [48] K. Regina, J. Sheehy, et M. Myllys, «Mitigating greenhouse gas fluxes from cultivated organic soils with raised water table», Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang., vol. 20, no 8, p. 1529-1544, 2015.

# Liste des figures

- Figure 1 : Age de la tourbe, un exemple dans le Seeland.
- Figure 2 : Localisation de l'ensemble des « sols organiques » de Suisse.
- Figure 3 : Grand-Marais dans le Seeland (BE, FR)
- Figure 4 : Vallée du Rhin saint-galloise (SG)
- Figure 5 : Plaine de l'Orbe (VD)
- Figure 6 : Plaine de Wauwil (LU)
- Figure 7: Diversité de sols entre et au sein d'une plaine tourbeuse : Plaine de l'Orbe (en haut); Seeland (en bas).
- Figure 8 : Comparaison d'un sol tourbeux cultivé (à gauche) et d'un sol minéral cultivé (à droite).
- Figure 9 : Matière organique dans les sols tourbeux : propriétés et fonctions écologiques et socio-économiques.
- Figure 10 : Production agricole
- Figure 11 : Régulation hydrique
- Figure 12 : Régulation climatique
- Figure 13 : Influence du niveau de l'eau sur les émissions de gaz à effet de serre dans les sols tourbeux.
- Figure 14 : Influence du niveau de l'eau et fonctions antagonistes dans les sols tourbeux.
- Figure 15 : Tourbe de bas-marais non drainée (à gauche); Tourbe de bas-marais drainée (à droite).
- Figure 16 : Subsidence de la tourbe (en mètre pour 100 ans) dans les plaines tourbeuses.
- Figure 17 : Dégradabilité de la matière organique de sols organiques en fonction de l'indice de Von Post.
- Figure 18 : Apparition de substrats défavorables à proximité de la surface : craie sub-affleurante (à gauche); couche peu perméable (à droite).
- Figure 19 : Regard de drainage hors du sol
- Figure 20 : Six mécanismes de préservation de la matière organique dans les sols tourbeux.
- Figure 21 : Roseau de chine (*Miscanthus*)
- Figure 22 : Schéma simplifié du labour profond.
- Figure 23 : Labour profond (avant, après)
- Figure 24 : Schéma simplifié du bêchage rotatif profond.
- Figure 25 : Schéma simplifié de l'apport de matériaux.
- Figure 26 : Apport de sable sans mélange avec la tourbe.
- Figure 27 : Schéma simplifié de la reconstitution d'un sol complet par apport de matériaux.
- Figure 28 : Schéma simplifié de la reconstitution d'un sol complet avec remise en surface de la tourbe.
- Figure 29 : Reconstitution d'un sol complet avec remise en surface de la tourbe.
- Figure 30 : Schéma simplifié de la remise en eau temporaire.
- Figure 31 : Inondation automnale pour une escale de limicoles (plaine de l'Orbe).
- Figure 32 : Essai pilote de riziculture dans le Seeland.
- Figure 33 : Tableau récapitulatif sur l'efficacité des aménagements.

# Glossaire

**Aménagement** : le terme se réfère, dans ce document, à une mesure ou un ensemble de mesures prises volontairement pour maintenir ou développer deux fonctions des sols organiques drainés (production agricole, régulation climatique). Il englobe le drainage, l'apport de biomasse, le travail profond du sol, l'apport de matériaux minéraux et la remise en eau temporaire ou permanente.

**Bas-marais** (ou tourbière basse) : au sens propre, biotope marécageux caractérisé par un excès d'eau dû à des inondations temporaires ou à un niveau d'eau phréatique élevé et par une végétation spécifique. Le bas-marais est donc en contact avec de l'eau riche en minéraux, contrairement au haut-marais.

**Cultures « alternatives »** : différentes alternatives aux grandes cultures et maraîchères pratiquées. Il s'agit soit d'autres cultures (par exemple, herbages et différents types d'exploitation, riziculture), soit d'autres systèmes d'exploitation (par exemple paludiculture, agroforesterie).

**Haut-marais (acide) ou tourbière** : biotope marécageux caractérisé par une alimentation, en surface, en eau provenant exclusivement des précipitations atmosphériques et caractérisé par une couche généralement épaisse de tourbe. Dominé par les sphagnes et isolé du sous-sol minéral, cet environnement extrême est très pauvre en éléments nutritifs et en oxygène ainsi que très acide.

**Fonctions des sols** : ensemble de fonctions du sol définies selon la stratégie nationale sur les sols : trois fonctions écologiques (production, régulation, habitat) et trois fonctions socio-écologiques (support, source de matières premières archivage).

**Grandes cultures et cultures maraîchères** : correspondent aux « terres ouvertes » du système suisse. Il s'agit de toutes les cultures cultivées selon un système de rotation. Ce sont des cultures annuelles.

**Humus** : fraction stable de la matière organique du sol (temps de résidence de l'ordre de centaines voire milliers d'années). Les autres fractions (matière organique vivante et facilement décomposables) ont un temps de résidence de quelques années à quelques dizaines d'années. L'humus résulte de l'évolution de la matière organique en conditions aérobies (présence d'oxygène).

**Matière organique du sol** : ensemble de constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, plus ou transformés présents dans le sol. La partie de cette matière organique qui est stable forme l'humus. La matière organique est composée principalement de carbone (en moyenne plus de 55%) mais également d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre, de phosphore et de calcium, magnésium, sodium, chlorure. La teneur en matière organique est mesurée ou estimée en multipliant la teneur en carbone organique par un facteur (1,7 à 2).

**Matériaux minéraux** : désignent les matériaux composés essentiellement de matière minérale, en opposition à la matière organique. Ce terme englobe les matériaux issus de roche (sable), les matériaux issus de sol (terreux) et les matériaux d'excavation issus du sous-sol.

**Matériaux terreux** : matériaux issus du décapage de sol et englobent les matériaux de la couche supérieure du sol (A), et ceux de la couche sous-jacente du sol (B).

**Matériaux d'excavation (ou déblais ou remblais)** : matériaux issus de l'excavation du sous-sol et utilisés pour les aménagements des sols mais surtout dans le domaine des constructions.

**Minéralisation** : transformation de la matière organique du sol ou de la tourbe. Processus qui nécessite de l'oxygène, la minéralisation est une production de matière minérale à partir de matière organique. La minéralisation intense s'accompagne de la libération d'éléments dans la solution du sol, ou dans la nappe ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ), et de dégagements gazeux ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_y$ ) qui rejoignent l'atmosphère. Seule une petite fraction des éléments solubles persiste dans le sol et modifie la composition chimique de la tourbe.

**Miscanthus** (roseau de Chine) : plante pérenne cultivée comme bioénergie. Le Miscanthus produit une biomasse importante grâce à sa faible demande en fertilisant, sa croissance rapide et son rendement élevé.

**Paludiculture** : production de biomasse dans des conditions de saturation en eau. Dans le cas des bas-marais, la paludiculture comprend la culture de diverses espèces de plantes telles que le roseau (*Phragmites australis*), la laîche (*Carex spec.*) et la quenouille (*Typha spec.*) qui peuvent être utilisées pour la production d'énergie et la construction, l'aulne (*Alnus glutinosa*) pour la production de bois de grande valeur ou de taillis à courte rotation avec du saule (*Salix spec.*) ainsi que des plantes médicinales.

**Sols organiques drainés** : les sols organiques drainés (« terres noires ») sont des sols formés dans d'anciens marais ou tourbières qui ont été drainés par l'homme.

**Sols tourbeux** : sols composés essentiellement de tourbe avec une épaisseur minimale de tourbe, de l'ordre de 50 cm.

**Subsidence** : affaissement qui se traduit par l'abaissement du niveau du sol. Dans le cas des sols organiques drainés, la subsidence est le résultat de l'effet cumulé du tassement, du rétrécissement, de la minéralisation de la tourbe et de la perte d'éléments exportés dans la nappe.

**Tourbe** : matériau composé d'eau (88 à 97%), de matière sèche (2 à 10%) sous forme organique essentiellement et de gaz (1 à 7%). La tourbe se forme par accumulation et décomposition incomplète, en présence d'eau et en l'absence d'oxygène, de débris végétaux plus ou moins décomposés.

**Sols tourbeux drainés issus de bas-marais**  
Usage agricole et préservation de la matière organique  
*Rapport 2022*