

---

# Reconnaître les sols de zones humides

## Difficultés d'application des textes réglementaires

D. Baize<sup>(1)</sup> et Ch. Ducommun<sup>(2)</sup>

- 1) INRA, UR0272, Science du Sol, 45075 Orléans Cedex 2, France
- 2) AGROCAMPUS-OUEST, département milieu physique, paysage et territoire, 49045 ANGERS Cedex 1

Auteurs correspondants : denis.baize@orleans.inra.fr et christophe.ducommun@agrocampus-ouest.fr

### RÉSUMÉ

En France, la législation actuelle relative aux "zones humides" découle de la loi sur l'eau. Elle est composée d'un décret et de deux arrêtés, le deuxième (octobre 2009) venant modifier le contenu du premier (juin 2008). Ces textes ont été complétés par une circulaire. Cet article s'adresse à tous ceux qui ont à appliquer ces textes sur le terrain et qui doivent décider objectivement si des sols sont des "sols de zones humides" ou non, sur la base d'observations faites le plus souvent grâce à des sondages à la tarière. Son principal objectif est d'attirer l'attention sur les difficultés qu'il y a à appliquer concrètement les directives contenues dans les deux arrêtés et, finalement, à définir les "sols de zones humides". En outre, les limites de ces deux arrêtés et de la circulaire vont être évoquées et des améliorations vont être suggérées.

### Mots clés

Sols, zones humides, engorgements, horizons rédoxiques, horizons réductiques.

**SUMMARY****RECOGNITION OF WETLAND SOILS. DIFFICULTIES IN THE ENFORCEMENT OF FRENCH REGULATIONS**

*In France, the current legislation devoted to "wetlands" results from the "Water Law". It consists of one decree and two "arrêtés", the latter (dating from October 2009) modifying the content of the former (dating from June 2008). These texts have been complemented by an official circular.*

*This article is aimed at all those who have to apply these texts in the field and have to decide objectively if soils are "soils of wetlands" or not, on the basis of observations made by means of auger borings. Its main objective is to draw attention on the difficulties in applying the directives contained in the two "arrêtés" and, finally, to define precisely "soils of wetlands". The flaws of these two "arrêtés" and the circular are mentioned and some improvements are suggested.*

**Key-words**

*Soils, wetlands, waterlogging, redoxic horizons, reductic horizons.*

**RESUMEN****RECONOCER SUELOS DE ZONAS HÚMEDAS – DIFICULTADES DE APLICACIÓN DE LOS TEXTOS REGLAMENTARIOS**

*En Francia, la legislación actual relativa a las "zonas húmedas" resulta de la ley sobre el agua. Se compone de un decreto y de dos órdenes, el segundo (octubre 2009) modificó el contenido del primero (junio 2008). Estos textos se completaron por una circular.*

*Este artículo va dirigido a todos aquellos que deben aplicar estos textos en el terreno y que deben decidir objetivamente si suelos están o no "suelos de zonas húmedas" con base a observaciones realizadas a menudo gracias a sondeos con taladro. Su primero objetivo es llamar la atención sobre las dificultades que hay para aplicar concretamente las directivas contenidas en los dos órdenes y finalmente, definir los "suelos de zonas húmedas". Además, los límites de estos dos órdenes y de la circular se evocan y mejoramientos se sugiere.*

**Palabras clave**

*Suelos, zonas húmedas, anegamientos, horizontes redóxicos, horizontes redúcticos*

Qu'est ce qu'une « zone humide » ? Il semble bien que tous les pays qui ont cherché une réponse à cette question se soient heurtés à de grandes difficultés pour en donner une définition légale fondée sur des critères objectifs. Une telle notion n'a donc rien d'évident. En outre, avec les contraintes réglementaires qui pèsent sur les territoires définis comme « zones humides », on se trouve au cœur de conflits d'usages : une volonté de protection assez stricte s'opposant à une exploitation agricole complètement libre.

En France, la législation actuelle sur ce sujet découle de la loi sur l'eau du 30 décembre 2006. Le concept de zones humides a été précisé par le décret n°2007-135 du 30 janvier 2007 qui fixe les critères de définition et de délimitation des zones humides figurant à l'article L. 211-1 du code de l'environnement. Ce décret prévoyait la publication d'un arrêté pour préciser ses modalités d'application. C'est pourquoi fut élaboré l'arrêté du 24 juin 2008 pour la rédaction duquel le premier auteur de cet article a été consulté en tant que pédologue expert.

Quinze mois plus tard, l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2009 vint apporter quelques modifications importantes à celui de juin 2008, à la demande explicite d'un certain nombre d'institutions agricoles. Seuls les articles 1 à 3 ainsi que l'annexe I de l'arrêté du 24 juin 2008 furent alors modifiés.

Ces textes furent enfin complétés par la circulaire DGPAAT/C2010-3008 du 18 janvier 2010 dont l'objet était la « délimitation des zones humides en application des articles L214-7-1 et R.211-108 du code de l'environnement ».

Le classement ou non en « zones humides » (ZH) a des conséquences très concrètes en application de la rubrique 3.3.1.0 de l'article R 214-1 du code de l'environnement qui prévoit, pour les zones humides, la disposition suivante :

« Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblai de zone humide ou de marais, la zone asséchée ou mise en eau étant :

- supérieure ou égale à 1 hectare : procédure d'autorisation (document d'incidence avec enquête publique);
- supérieure à 0,1 hectare mais inférieure à 1 hectare : procédure de déclaration (document d'incidence). »

Dans le cas où la zone n'est pas humide, les seuils sont plus élevés et donc bien moins contraignants. Ainsi, pour le drainage, le seuil d'autorisation passe de 1 hectare pour une ZH à 100 hectares si elle ne l'est pas et, pour la déclaration, le seuil passe de 0,1 si elle est humide à 20 hectares si elle ne l'est pas.

Définir précisément une parcelle comme étant en ZH permet donc de protéger le caractère humide du site. Ainsi la législation nationale reconnaît de façon très pratique l'intérêt environnemental des zones humides (pour l'épuration des eaux, la régulation des débits des cours d'eau, la protection de la biodiversité).

Cet article s'adresse à tous ceux qui doivent appliquer ces textes sur le terrain et qui doivent décider objectivement

si des sols sont des « sols de zones humides » ou non sur base d'observations faites le plus souvent grâce à des sondages à la tarière.

Son principal objectif est d'attirer l'attention des lecteurs sur les difficultés qu'il y a à appliquer concrètement les directives contenues dans les deux arrêtés et, finalement, à définir les « sols de zones humides ». Nous allons nous efforcer de montrer les limites de ces deux arrêtés et de la circulaire qui les accompagne et allons suggérer des améliorations.

Dans la suite de cet article, les citations des textes réglementaires seront toujours écrites *en caractères italiques*.

## LE DÉCRET INITIAL ET LA PRÉPARATION DE L'ARRÊTÉ DE JUIN 2008

Le décret 2007-135 du 30 janvier 2007 énonce dans son article 1 :

« I - Les critères à retenir pour la définition des zones humides mentionnées au 1° du I de l'article L. 211-1 susvisé du code de l'environnement sont relatifs à la morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau d'origine naturelle et à la présence éventuelle de plantes hygrophiles.

.....En l'absence de végétation hygrophile, la morphologie des sols suffit à définir une zone humide...

III - Un arrêté des ministres chargés de l'environnement et de l'agriculture précise les modalités d'application du présent article et établit notamment les listes des types de sols et des plantes mentionnés au I. »

La législation française propose donc des critères pédologiques apparemment objectifs, utilisables partout, même là où il n'y a plus de végétation spontanée qui pourrait s'avérer indicatrice. Mais la formule « présence prolongée d'eau » est vague et sa réalité est délicate à apprécier sur le terrain.

La formulation de l'arrêté de juin 2008 est partie de deux phrases du décret 2007-135, auxquelles les rédacteurs étaient obligés de se conformer :

1°) « la morphologie des sols suffit à définir une zone humide »,  
2°) il fallait « établir [une] liste des types de sols »....

Étant donné le caractère subjectif et la difficulté de « donner un nom à un sol » (cf. ci-après), il était absolument nécessaire de préciser une règle générale dont l'utilisation soit moins difficile. C'est ce qui a été fait dans le texte de l'arrêté de 2008 dans lequel sont prévus une « règle générale » et des « cas particuliers ».

## L'ARRÊTÉ DU 1<sup>ER</sup> OCTOBRE 2009

### La « règle générale »

Voici la règle générale qui sous-tend la liste des « types de sols », telle qu'elle est présentée dans cet arrêté :

« *annexe I* - Sols des zones humides

1.1. Liste des types de sols des zones humides

1.1.1. Règle générale

... La classe d'hydromorphie est définie d'après les classes d'hydromorphie du Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée (GEPPA, 1981; modifié).

Les sols de zones humides correspondent :

- à tous les histosols car ils connaissent un engorgement permanent en eau qui provoque l'accumulation de matières organiques peu ou pas décomposées...

- à tous les réductisols car ils connaissent un engorgement permanent en eau à faible profondeur se marquant par des traits réductiques débutant à moins de 50 centimètres de profondeur dans le sol...

aux autres sols caractérisés par :

- des traits rédoxiques débutant à moins de 25 centimètres de profondeur dans le sol et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur...

- ou des traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm de profondeur dans le sol, se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur et des traits réductiques apparaissant entre 80 et 120 cm de profondeur... ».

L'application de cette règle générale conduit à une liste des types de sols présentée dans l'arrêté mais dont la reconnaissance n'est pas indispensable à la détermination des zones humides.

### La liste des types de sols

Il nous paraît inutile de reproduire ici cette liste qui figure sous la forme d'un tableau dans l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2009. Soulignons cependant que les dénominations scientifiques de l'arrêté font référence explicite au seul système national officiel de désignation des sols : le Référentiel pédologique (cf. encadré). Nous avons déjà dit qu'il n'était pas facile, pour un non spécialiste, de donner un nom à un sol. Heureusement, il existe désormais des typologies régionales et des RRP (Référentiels Régionaux Pédologiques) dans lesquels on peut trouver des descriptions de « sols de référence » (Vinatier et al., 2013).

Il est également intéressant de s'attarder sur la catégorie des Brunisols-Rédoxisols, absente de la liste de l'arrêté, mais que l'on retrouve parfois dans certaines légendes de cartes. Un tel rattachement double est difficilement acceptable d'un point de vue conceptuel car la notion de Rédoxisols (solums dont le fonctionnement est sous la dépendance d'engorgements sur toute leur épaisseur) est contradictoire avec le concept de

brunisols, désignant des sols bien structurés et bien aérés, présentant de ce fait une activité biologique intense. Si un tel cas se présente, c'est Rédoxisol qui doit être retenu, et il faut surtout chercher à connaître la profondeur d'apparition des traits rédoxiques.

### Les classes d'hydromorphie du GEPPA

L'arrêté d'octobre 2009 se réfère explicitement à des « classes d'hydromorphie du GEPPA, 1981, modifié ». Ces classes ne sont pas explicitées dans l'arrêté lui-même, mais sont schématisées sous la forme d'une figure en couleurs présentée à l'annexe 4 de la circulaire du 18 janvier 2010. Cette figure, à but essentiellement pédagogique, a été élaborée

#### Le Référentiel pédologique (AFES, 2008)

C'est le seul système français de désignation des sols élaboré collectivement et reconnu par les ministères et les différents programmes nationaux d'inventaire. Trois éditions successives ont été publiées : en 1992, en 1995 et en 2008. C'est un système souple, pratiquement sans hiérarchie, basé sur 3 "piliers" (non indépendants) : la morphologie des sols - leurs fonctionnements - leur pédogenèse.

Le Référentiel Pédologique admet (voire encourage, lorsque c'est justifié) des rattachements doubles. Ainsi un solum fortement marqué par le lessivage vertical de particules argileuses, par la "dégradation morphologique" et par des engorgements proches de la surface sera désigné à la fois comme un Luvisol Dégradé et comme un Rédoxisol. D'où le nom de Luvisol Dégradé-Rédoxisol.

De même, un sol situé en position basse de vallée, développé dans des alluvions fluviales et affecté dans sa totalité par des engorgements temporaires sera nommé Fluviosol Typique-Rédoxisol.

Ce système est utilisable à toutes les échelles d'espace (de la parcelle au continent) pour désigner : un solum ou une unité typologique de sol (constituant une unité cartographique entière ou une fraction d'unité cartographique sur une carte). Toutes les définitions des horizons et des types de sols y sont décrites en détail.

Ne pas confondre le Référentiel Pédologique qui est une typologie utilisable à toutes les échelles et les Référentiels Régionaux Pédologiques. Ces derniers sont en fait des bases de données géographiques régionales, relatives aux sols, gérées sous SIG!

\* Références = catégories du Référentiel Pédologique 2008 - nombre = 110

\*\* Chapitres dits aussi "grands ensembles de Références" ou GER = plusieurs Références présentées ensemble pour des raisons didactiques - nombre = 34

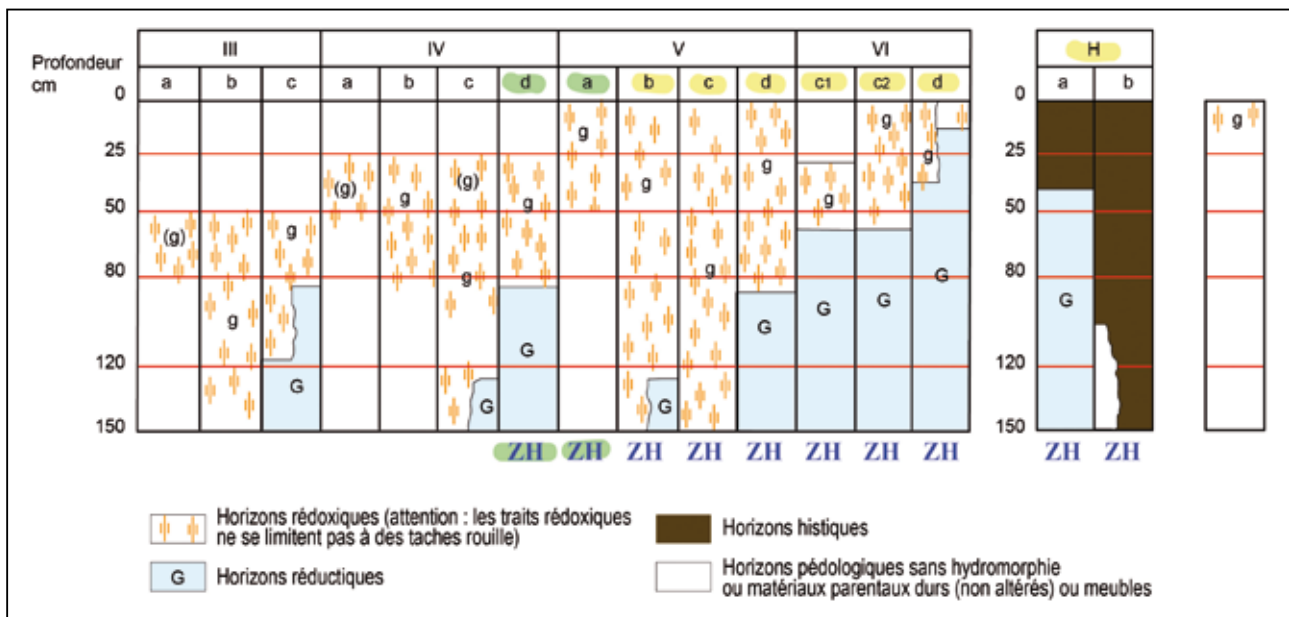
**Figure 1** - Classes d'hydromorphie et sols de zones humides.

Proposition d'une nouvelle version 2014 modifiée et complétée. Adaptée d'après les « classes de drainage naturel interne » du Groupe d'Études des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA, 1981). (g) = caractère rédoxique peu marqué - g = caractère rédoxique marqué

Correspondances avec les types du Référentiel Pédologique 2008 :

- Hb divers histosols
- Ha Réductisols Typiques épihistiques
- Vld Réductisols Typiques
- Vlc1 - Vlc2 Rédoxisols réductiques
- IVd - Vd Rédoxisols à horizon réductique de profondeur
- IVb - IVc - Va - Vb - Vc Rédoxisols (rattachements simples ou doubles).

**Figure 1** - Hydromorphy classes and wetland soils. Proposal for a new version 2014 modified and completed. Figure adapted from « internal natural drainage classes » of the GEPPA (1981). (g) redoxic features weakly expressed; g = redoxic features strongly expressed. Correspondances with the soil types of the Référentiel pédologique 2008.



par Denis Baize à partir d'un schéma en noir et blanc datant de 1981, extrait d'un document dont l'objectif principal était l'estimation des **besoins en drainage** des sols agricoles, sans aucune allusion à la notion de « zone humide ».

Pour être complet, ont été rajoutés à la droite de cette figure :  
 - le cas qui correspond à des engorgements limités à l'horizon de surface, dus à des tassements (par exemple, sous prairies, conséquence du piétinement par des bovins);  
 - le cas des tourbes (ou histosols).

Dès l'été 2010, il est apparu que cette figure présentée dans la circulaire de janvier 2010 était imparfaite et qu'elle devait être quelque peu modifiée et clarifiée. La *figure 1* propose une nouvelle version complétée et précisée.

En effet, il serait bon que la classe VIc soit divisée en c1 et c2 car le cas correspondant à VIc1 avait été oublié. Pour

VIc2, la limite entre les horizons rédoxiques et les horizons réductiques a été légèrement abaissée pour éviter toute ambiguïté (horizons réductiques débutant au-delà de 50 cm de profondeur).

La classe VIc1 correspond à des sols de zone humide car elle répond aux exigences de l'arrêté d'octobre 2009 : 1.1.1. : « autres sols caractérisés par... des traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm de profondeur dans le sol, se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur ». C'est bien le cas puisqu'un horizon réductique fait suite immédiatement à un horizon rédoxique. À l'évidence, les sols de cette classe sont plus « engorgés », plus « humides » que ceux de la classe IVd.

Sur la *figure 1*, les classes Vb et Vc peuvent paraître identiques. Dans le schéma initial du GEPPA (1981), il y avait pour la classe Vc des tirets noirs horizontaux dont la signification

n'était pas fournie mais ce schéma était accompagné de commentaires additionnels relatifs aux **causes** et aux **formes** des « excès d'eau ». Ces commentaires nous semblent utiles à rappeler ici. Pour la classe Vb, il s'agit de « mouillères temporaires (eau d'origine externe au sol) donnant naissance à des horizons rédoxiques sur toute l'épaisseur du sol ». Pour la classe Vc, il s'agit d'une cause inhérente au sol lui-même, une « absence de macroporosité » ayant pour effet une « absence de signes d'hydromorphie ou de pseudogley d'ensemble (endohydromorphie des sols argileux) ».

En outre, un certain nombre de modifications purement graphiques ont été faites afin d'éviter certaines ambiguïtés.

Enfin, l'arrêté de 2009 précise à son article 1<sup>er</sup> : « Pour les sols dont la morphologie correspond aux classes IVd et Va définis d'après les classes d'hydromorphie du Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée (GEPPA, 1981; modifié), le préfet de région peut exclure l'une ou l'autre de ces classes et les types de sol associés pour certaines communes, après avis du conseil scientifique régional du patrimoine naturel » (ces deux classes sont surlignées en vert sur la figure 1, tandis que les classes correspondant toujours aux sols de zones humides sont surlignées en jaune).

## Les « cas particuliers »

Le texte de l'arrêté d'octobre 2009 n'a pas été modifié par rapport à celui de juin 2008. Il stipule :

### *Cas particuliers*

« Dans certains contextes particuliers (fluvisols développés dans des matériaux très pauvres en fer, le plus souvent calcaires ou sableux et en présence d'une nappe circulante ou oscillante très oxygénée; Podzols humiques et humoduriques), l'excès d'eau prolongée ne se traduit pas par les traits d'hydromorphie habituels facilement reconnaissables. Une expertise des conditions hydrogéomorphologiques (en particulier profondeur maximale du toit de la nappe et durée d'engorgement en eau) doit être réalisée pour apprécier la saturation prolongée par l'eau dans les 50 premiers centimètres du sol<sup>1</sup>. »

## Questions non tranchées

Au cours des discussions préparatoires à la rédaction du premier arrêté, deux questions avaient été évoquées :  
- n'y a-t-il pas des ZH ailleurs que dans le fond des vallées? En haute montagne, c'est bien reconnu! Il y a de petites zones très

humides, voire des tourbières. Mais en moyenne montagne sous des climats pluvieux (comme en Limousin) et en plaines, sur interfluvés et en positions de plateaux? Cette possibilité n'a pas été rejetée lors des discussions dans la mesure où ces sols de plaines ou de plateaux répondent aux critères généraux, mais il n'en est pas question dans les textes des deux arrêtés<sup>2</sup>; - ne faut-il pas prendre en compte aussi bien les « ZH potentielles » que les « ZH effectives »? En France, en effet, de grands territoires dont les sols pouvaient être considérés comme des « sols de zones humides » ont été drainés et sont aujourd'hui des zones de production agricole. Peuvent être cités comme exemples la Brie « laitière », le Faux Perche, le Marais poitevin « desséché » etc. Il est difficile de les considérer comme des ZH « fonctionnelles », « actuelles », mais elles restent des ZH « potentielles » étant donné la réalité pédogéologique (si l'homme cessait d'entretenir les dispositifs de drainage ou d'assainissement).

Cette distinction n'a pas été retenue, mais le problème demeure. Ces zones jouent toujours un rôle majeur dans le cycle de l'eau (quantité et qualité) et, comme ce sera précisé plus loin, les sols drainés gardent, dans la majorité des cas, leur morphologie « hydromorphe ».

Comment considérer ces sols franchement hydromorphes, présentant toujours les traits rédoxiques typiques mais assainis depuis des décennies et dont le régime hydrique a été totalement modifié? Faut-il les considérer aujourd'hui comme des « sols de zones humides » ou pas? La réponse à cette question est pourtant d'importance majeure mais l'arrêté reste muet à ce sujet. L'absence de réponse claire à cette question a deux types de conséquences. A l'échelon local cela a évidemment une importance primordiale : ce sol de plateau, correspondant typiquement à un Luvisol-Rédoxisol cultivé et drainé doit-il ou non être considéré comme « sol de zones humides »?

Par ailleurs, lorsque des géomaticiens génèrent des statistiques sur les superficies de « sols de zones humides » à l'échelle départementale ou régionale, ils ne peuvent pas distinguer et comptabiliser à part les sols drainés et ceux qui ne le sont pas.

<sup>1</sup> Il semble bien que cette profondeur de 50 cm ait été conservée du premier arrêté, par erreur. Logiquement, il faudrait lire "25 premiers centimètres".

<sup>2</sup> Beaucoup de personnes semblent considérer que les ZH sont seulement localisées dans les fonds de vallées et de vallons.

**Figure 2** - Partie supérieure d'un Luvisol Dégradé du Gâtinais (Yonne).

**Figure 2** - Upper part of a « Luvisol Dégradé » located in the Gâtinais area (Yonne).



## CE QUE NOUS ENSEIGNE LA PÉDOLOGIE

### Ne pas confondre « engorgement par l'eau » et « hydromorphie »

L'engorgement par l'eau est synonyme de saturation par l'eau. L'air d'un horizon est chassé par l'eau laquelle finit par occuper la totalité de la porosité. Lorsqu'il est engorgé, un horizon est à son humidité maximale, laquelle dépasse largement sa capacité au champ. Il en résulte que :

- la macroporosité de l'horizon est occupée par de l'eau qui s'y trouve « libre ». Si les conditions s'y prêtent (bonne porosité, absence d'horizon imperméable sous-jacent, terrain en pente), cette eau est capable de circuler rapidement dans le sol et de s'évacuer verticalement ou latéralement, en 2 ou 3 jours (De Leenheer, 1967). Mais elle peut aussi stagner;
- la saturation par l'eau n'est pas synonyme de milieu réducteur. Il existe des nappes riches en oxygène dissous

**Figure 3** - Sol profond, typique de la plate-forme sinémurienne (« Terre Plaine », dans l'Yonne). Noter la surabondance des films ferromanganiques noirs. Aujourd'hui ce sol est assaini par drainage.

**Figure 3** - Deep soil, typical of the Sinemurian platform (« Terre Plaine » - Yonne). To be noted : the overabundance of the ferro-manganic black coatings. Today this soil is drained.



(figure 9). Les pluies apportent également de l'oxygène dissous, si bien que la réduction ne se manifeste que quelques jours après la fin d'un épisode pluvieux (Bourrié, communication personnelle).

- lorsque l'eau engorge un horizon et y stagne sans être renouvelée, les micro-organismes aérobies du sol épuisent l'oxygène piégé ou dissous, en quelques heures à quelques jours (Jaffrezic, 1997). Ils sont remplacés par des micro-organismes anaérobies dont la respiration repose sur la réduction de certains composés : celle du fer et du manganèse conduit à l'hydromorphie tandis que celle des nitrates ou des sulfates est épuratrice. L'hydromorphie d'un horizon est donc un processus qui débute quelques jours après son engorgement et s'accroît au rythme de l'alternance des phases d'humectation et de dessiccation saisonnières (Vizier, 1984). La rapidité de son expression, annuelle ou pluriannuelle (de petits volumes réducteurs au

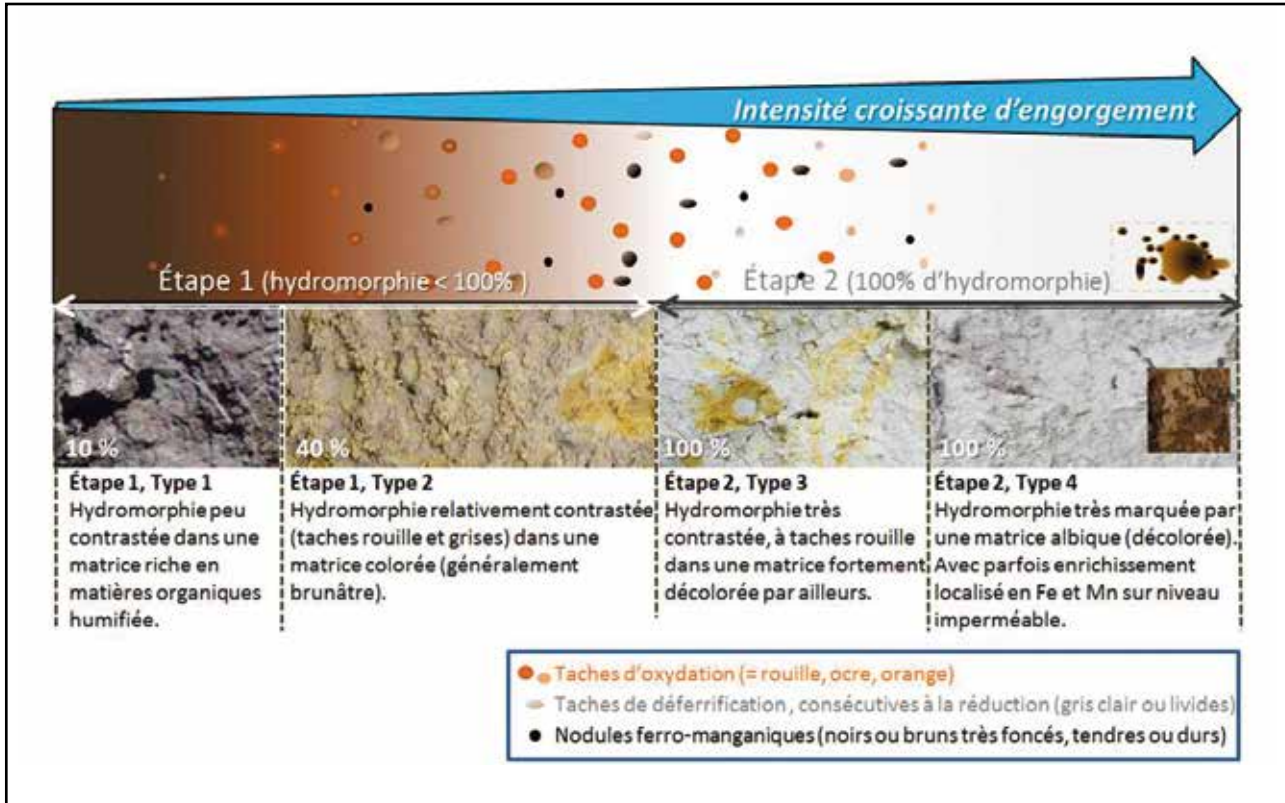
**Figure 4** - Quatre types de morphologies « hydromorphes » des horizons à engorgements temporaires (d'après Ducommun, 2008, modifié).  
 Étape 1 : ségrégation en taches du fer = cycles de réduction (solubilisation) / oxydation (précipitation).

Étape 2 : appauvrissement progressif de l'horizon en Fe et Mn (matrice décolorée et disparition des taches rouille).

**Figure 4** - Four types of « hydromorphic » morphologies of temporary waterlogged soil horizons (according to Ducommun, 2008, modified).

Step 1 : segregation of the iron in the form of spots = cycles of reduction (solubilization) / oxidation (precipitation).

Step 2 : progressive impoverishment in Fe and Mn of the horizon (discoloured matrix and disappearance of rusty spots).



sein d'un horizon labouré sont observables après quelques semaines), est tributaire des propriétés du sol (pH, matières organiques, etc.) et liée aux conditions météorologiques (température, périodes d'engorgement) (Vizier, 1970, 1971; Sparks 2003).

L'engorgement hivernal ou printanier d'un horizon peut être constaté directement sur le terrain (par un sondage à la tarière ou par l'observation de piézomètres après une période pluvieuse).

Dans la littérature, il est souvent question d' « engorgements temporaires » que l'on oppose à des « engorgements permanents », mais ces notions sont mal définies. Temporaire peut vouloir dire fréquent mais de courte durée (par exemple, au rythme des précipitations en hiver et au printemps) mais tout aussi bien trois fois par an avec une durée d'un mois. L'engorgement « permanent » correspondrait plutôt à de longues durées de saturation par l'eau, par exemple, à huit mois sans discontinuer.

L'hydromorphie, observée dans un horizon ou un solum dans son ensemble, est la manifestation morphologique d'un engorgement suffisamment prolongé sous la forme de taches, de ségrégations, de colorations ou de décolorations. Ce phénomène résulte de la dynamique du fer et du manganèse (tous deux éléments colorés) en milieu alternativement réducteur puis réoxydé.

Comme l'indique bien l'étymologie de ce mot, l'hydromorphie se manifeste par des traits morphologiques liés à l'eau : ces traits sont donc visibles.

**Mais là réside une difficulté majeure : il peut y avoir engorgement (actuel) sans hydromorphie... et hydromorphie (bien visible) sans engorgement (actuel).**

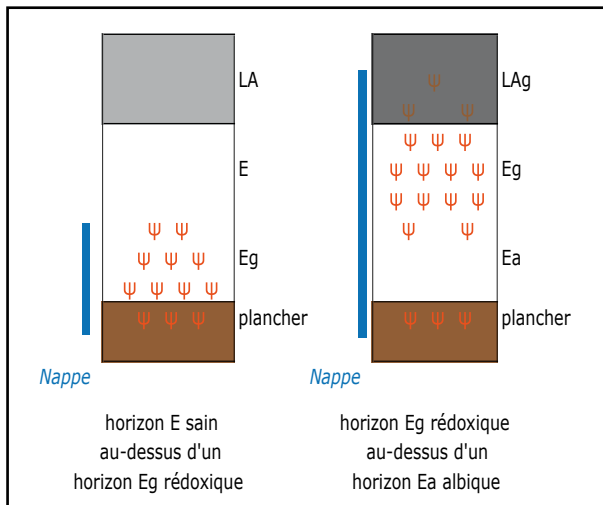
Il peut donc y avoir disjonction complète entre morphologie et fonctionnement. D'où les « cas particuliers » qu'il a fallu signaler dans les arrêtés.

Le mot « hydromorphie » (et son adjectif « hydromorphe ») est largement passé dans le vocabulaire des pédologues et



**Figure 5** - Intensification des traits rédoxiques. Deux exemples. Dans l'exemple de droite, les engorgements affectent l'horizon de surface LAg. En conséquence, la minéralisation des matières organiques y est ralentie, et ces dernières s'accumulent, donnant une teinte foncée à l'horizon.

**Figure 5** - Strengthening of the redoxic features. Two examples. In the example on the right, the waterlogging affects the LAg surface horizon. As a consequence, the mineralization of organic matter is slowed down and the latter accumulates, giving a dark colour to it.



surtout des non-pédologues, mais il est utilisé le plus souvent de manière impropre puisqu'il est employé comme synonyme d'engorgement (cf. Morlon, Les mots de l'Agronomie, rubrique « hydromorphie »)<sup>3</sup>.

## Nommer un sol n'est pas du tout comme nommer une espèce végétale!

En pédologie, il n'existe pas d'individus, ni de reproduction, ni d'espèce (Ruellan 1985; Baize, 1986). Les sols (que les pédologues préfèrent appeler « couvertures pédologiques ») forment un continuum spatial et typologique qu'il faut découper de façon arbitraire (mais rationnelle) dans l'espace typologique (conceptuel) en différents types de sols (Unités Typologiques de Sols) et dans l'espace géographique (Unités Cartographiques de Sols).

<sup>3</sup> On notera que Durand et al., (2005) dans un chapitre de plus de 20 pages consacré aux « zones humides et leurs sols » ne citent ces deux mots qu'à deux reprises : « solums hydromorphes » et « hydromorphie de la couverture pédologique ». Dans la réédition du même ouvrage en 2011 (Durand et al., 2011), ces deux termes ont disparu ! On peut en déduire que ces auteurs, grands spécialistes des sols et des ZH du massif armoricain, sont pour le moins méfiants par rapport à leur usage.

Reconnaître un pied de *Molinia caerulea* est moins subjectif que de rattacher une observation faite dans une fosse pédologique à un "horizon rédoxique" ou à un "Planosol Typique" (a fortiori si l'observation est faite avec une tarière). Cette opération de rattachement nécessite en effet une interprétation à partir de tout un corpus de connaissances préalables et implique d'utiliser un référentiel précis et bien maîtrisé<sup>4</sup>.

## TRAITS ET HORIZONS HYDROMORPHES - RECONNAISSANCE ET DIFFICULTÉS INTRINSÈQUES

Vont être évoqués maintenant de manière détaillée les traits rédoxiques (définition, reconnaissance), les horizons rédoxiques, les horizons réductiques et, très succinctement, les horizons histiques.

### Les traits rédoxiques et les horizons rédoxiques (codés g et - g)

Ils résultent d'engorgements temporaires, lesquels occasionnent des alternances rapides oxydation/réduction/oxydation. En période d'engorgement où l'horizon du sol est anoxique, le fer réduit (qui est soluble) migre sur quelques millimètres ou quelques centimètres puis, lorsque le milieu se réoxyde, reprécipite sous forme de petits volumes rouille et de nodules bruns ou noirs ou de films de mêmes couleurs. En même temps, les zones appauvries en fer se décolorent et deviennent plus claires (Vizier, 1992).

La figure 2 montre un bel exemple de traits rédoxiques. Il s'agit de la partie supérieure d'un Luvisol Dégradé dont les horizons situés immédiatement sous l'horizon labouré montrent à la fois des taches et des nodules noirs et des panachages contrastés entre des traînées blanches et ocre-rouille.

Les traits rédoxiques demeurent visibles même en périodes sèches<sup>5</sup> ou quand le sol a été drainé, voire quand il n'y a plus aucun engorgement à aucune période (ce sont alors des traits fossiles). Ils sont donc reconnaissables en permanence comme étant des traits rédoxiques!

Des confusions sont possibles :

- ne pas confondre les taches rouille et brunes rédoxiques liées à des engorgements avec des taches d'oxydes de fer résultant

<sup>4</sup> C'est pourquoi l'Association Française pour l'Étude du Sol (AFES) délivre à des personnes physiques une « certification des compétences en pédologie » sur dossier et après passage devant une commission ad hoc.

<sup>5</sup> Attention toutefois, car une expertise réalisée en saison sèche sera plus délicate à interpréter. Le contraste des couleurs étant plus faible, le risque de sous-évaluer l'hydromorphie du sol est fort.

de l'altération de minéraux riches en fer (par exemple, altération de la glauconie ou des micas noirs). Ces dernières ne sont pas liées à des engorgements;

- ne pas confondre les nodules ferro-manganiques, noirs, peu durs, formés sur place en liaison avec des processus pédogénétiques d'oxydoréduction (appelés aussi concrétions) et des graviers ferrugineux résiduels, très durs, souvent émoussés qui proviennent du démantèlement de vieilles cuirasses ferrallitiques;

- les films noirs, associés à des revêtements argileux sur faces d'agrégats, ne sont pas toujours révélateurs d'engorgements actuels. Un bon exemple est fourni par les sols de l'Auxois en Bourgogne (Baize et Chrétien, 1994; Laveuf, 2009 - *figure 3 Laveuf*). D'une part ces sols ont été drainés depuis les années 70 et, d'autre part, ils ont certainement acquis leurs caractères morphologiques rédoxiques au cours du Quaternaire ancien, dans un contexte climatique beaucoup plus humide et froid que l'actuel.

Seul un pédologue averti connaissant bien la géologie et les sols de sa région saura interpréter correctement ces traits et éviter de regrettables confusions.

La formule que l'on retrouve dans les deux arrêtés « *Traits rédoxiques... se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur* » n'est pas expliquée. Cela signifie que les taches rédoxiques ocre ou rouille sont de plus en plus nombreuses et/ou de plus en plus nettes à mesure que l'on descend dans le sol. En profondeur, elles peuvent également laisser la place à des horizons réductiques.

Mais, moins de rouille et plus de gris à mesure que l'on descend dans le solum peut aussi être un signe d'intensification de l'hydromorphie car le départ de la totalité du fer est le résultat de nombreux cycles d'oxydo-réduction (*figures 4; 5 et 8*).

Quand les traits rédoxiques sont suffisamment nombreux, contrastés, etc. et qu'ils correspondent à un fonctionnement hydrique actuel, l'horizon ou les horizons dans lesquels on les observe peut être considéré comme un ou des **horizons rédoxiques**.

Selon le Référentiel pédologique, ces horizons rédoxiques sont codés g (seul) ou -g associé à un autre code d'horizon<sup>6</sup> (par exemple Eg = horizon éluvial rédoxique ou Sg = horizon structural rédoxique). Autrefois, les traits rédoxiques et les horizons rédoxiques étaient nommés « pseudogley » (terme très ambigu, malheureusement toujours employé), mais les codes n'ont pas changé.

Sur le terrain, on se heurte à des difficultés relatives à l'abondance, à la grosseur et au contraste des traits

rédoxiques, notamment des petites taches rouille. Autrement dit, trois petites taches rouille peu contrastées, trouvées après une longue recherche dans un horizon, constituent-elles des traits rédoxiques suffisants pour définir un horizon rédoxique?

Pour le Référentiel pédologique, la surface cumulée des traits d'oxydation, des traits de déferrification et des traits de réduction doit couvrir plus de 5 % de la surface de l'horizon vu en coupe (il existe des chartes pour aider à estimer ces proportions (chartes Munsell; Baize et Jabiol, 2011, p. 102; FAO, 2006, p. 30). La détermination de l'abondance des traits rédoxiques, dans certains cas, risque d'être entachée de beaucoup de subjectivité. C'est pourquoi il est toujours utile de connaître le régime hydrique de chaque site étudié!

#### Que se passe-t-il quand il n'y a pas de fer dans l'horizon?

C'est le cas des matériaux géologiques sableux quartzueux ou constitués quasi-exclusivement de calcaire (roches sédimentaires, alluvions) ou, également, dans le cas d'horizons dont le fer a fini par être totalement évacué par lixiviation à l'état oxydé après de très nombreux cycles d'oxydo-réduction. Des engorgements temporaires aujourd'hui bien réels ne laissent pas de taches rouille rédoxiques visibles en période sèche.

Dans d'autres cas, il s'agit d'une nappe circulante ou oscillante très oxygénée (nappes alluviales). Cf. les « cas particuliers » de l'arrêté. On n'observe pas de bariolage blanc/rouille, ni de nodules noirs ferro-manganiques! Une observation du sol en période sèche ne permet pas de reconnaître l'existence d'engorgements! Ceux-ci ne sont décelables que par une bonne connaissance du régime hydrique, en venant observer fréquemment le sol au printemps ou à la fin de l'hiver. Dans ce genre de situation, il conviendra de rapprocher les observations faites sur le sol de la présence d'eau libre à proximité du site étudié : plans d'eau, cours d'eau, fossés.

De même ne pas hésiter à prolonger son sondage en profondeur, car l'observation d'un horizon argileux jouant le rôle de plancher peut aider au diagnostic, surtout s'il est bariolé par l'hydromorphie. Si une flore spontanée existe, elle sera peut-être caractéristique.

Une difficulté majeure est rencontrée par l'opérateur de terrain explorant les zones cultivées. Elle consiste à identifier les traits rédoxiques débutant avant 25 cm de profondeur, dans un sol à la fois régulièrement engorgé et régulièrement labouré. Dans ces horizons de surface labourés, les traits rédoxiques peuvent effectivement s'avérer difficilement identifiables, voire invisibles. D'une part, le travail du sol fractionne, pulvérise et mélange le sol en une teinte homogène généralement sur plus de 25 cm de profondeur. D'autre part, la présence de matières organiques de couleur foncée, diminue le contraste des taches et masque les traits de déferrification (*figure 7*). Les traits

<sup>6</sup> Après interprétation, les pédologues symbolisent les grands types d'horizons par un code constitué d'une, deux ou trois lettres.

rédoxiques ne pouvant pas être observés, le solum ne peut pas être classé comme sol de zone humide. Pourtant l'apparition brutale d'un horizon sous-jacent typiquement hydromorphe pourrait conduire, à recourir à l'observation de conditions hydro-géomorphologiques complémentaires permettant d'affiner le diagnostic.

**Pour conclure en ce qui concerne les traits rédoxiques, rappelons qu'ils ne se limitent pas aux taches ocre ou rouille. A ces taches peuvent s'ajouter des taches et volumes livides car déferrifiés et des films et nodules noirs ferromanganiques en proportions variables<sup>7</sup>.**

## Les horizons réductiques (codés Gr ou Go)

Les volumes de sol qui subissent des stagnations d'eau permanentes ou quasi permanentes manquent d'oxygène, ils constituent donc un milieu anoxique et réducteur. Dans des horizons non situés en surface et peu riches en matières organiques, le fer à l'état ferreux Fe(II) donne une coloration uniforme verdâtre/bleuâtre (figure 6).

Selon le Référentiel pédologique 2008, il s'agit d'un horizon réductique si plus de 90 % de la surface de l'horizon vu en coupe présente cette coloration uniforme gris verdâtre/bleuâtre, qu'il ne faut toutefois pas confondre avec la couleur normale de certains matériaux géologiques (marnes vertes, marnes grises, sédiments glauconieux (vert épinard), argiles bleutées du Marais poitevin appelées localement "bri").

Autrefois les horizons réductiques étaient nommés « gleys » et codés G. Le codage des horizons réductiques est désormais Gr. Parfois, dans la partie supérieure de l'horizon réductique, suite à un abaissement temporaire de la nappe, quelques petits volumes sont ré-oxydés à proximité de la macroporosité (codage Go).

La coloration bleuâtre/verdâtre s'atténue à l'air (par ré-oxydation) en quelques heures (échantillon sorti de son contexte). Cette coloration est donc significative d'un fonctionnement actuel et s'estompe quand la cause (la nappe phréatique) disparaît ou s'abaisse. Ainsi, dans les secteurs drainés où les niveaux d'eau ont été rabaissés par surcreusement des cours d'eau et fossés, les horizons réductiques ne peuvent plus être observés (exemple du Marais poitevin en région Poitou-Charentes ou d'autres marais en Pays de la Loire).

Dans certains horizons, il n'y a pas (ou plus) de fer. C'est le cas de matériaux sableux uniquement quartzeux ou de

sols constitués quasi-exclusivement de calcaire. Cela advient également quand tout le fer a fini par être totalement évacué d'un horizon. On n'observe pas alors de coloration bleuâtre/verdâtre. Un tel cas a été appelé « gley blanc » (codé Ga). Ce n'est donc pas facile à reconnaître. Cela n'est décelable que par une bonne connaissance du régime hydrique et par la présence éventuelle d'autres horizons réductiques ou de formes d'humus « hydromorphes » (par ex. anmoors). Enfin, la présence d'une flore spontanée spécifique peut également être révélatrice.

La formule « *traits réductiques* » utilisée dans l'arrêté est susceptible d'induire en erreur les utilisateurs. En effet, il pourrait s'agir de petits volumes verdâtres ou bien des taches décolorées que l'on peut observer en période d'engorgement temporaire, mais qui disparaîtront dès que l'engorgement cessera. Il aurait été préférable de parler d'« horizon réductique », c'est-à-dire d'un horizon totalement ou presque totalement en milieu réducteur et anoxique. C'est d'ailleurs bien ce terme d'« horizon réductique » qui est écrit dans la liste des types de sols (dans la colonne « *condition pédologique nécessaire* » de l'arrêté de 2009) et ce sont bien des horizons réductiques qui sont codés G dans le schéma de la figure 1.

En outre, on observe parfois des traits réductiques isolés qui ne forment pas pour autant un horizon réductique! Par exemple, de petits volumes bleuâtres peuvent être visibles au sein d'un horizon labouré trop compacté, au contact de débris végétaux qui se décomposent mal.

Sur le terrain, il est souvent délicat de reconnaître des horizons réductiques ou, plus généralement, des volumes réductiques, surtout quand les sols sont argileux et de couleurs foncées, brunes ou grises. Certains colorants spécifiques du fer ferreux sont utilisés pour mettre en évidence du fer à l'état réduit dans les sols. Un réactif est très utilisé par les pédologues armoricains et semble leur donner toute satisfaction pour révéler les phénomènes de réduction dans les horizons réductiques, ou rédoxiques en période d'anoxie (petits volumes localement réduits). Il s'agit du 1,10-phenanthroline qui produit une coloration rouge très facile à distinguer. La réaction est rapide et durable et la lecture se fait dans la minute qui suit l'application sur un échantillon fraîchement prélevé (cf. Berthier *et al.*, 2014). Ce test peut donc être employé pour diagnostiquer un horizon réductique mais il faut rester attentif au fait qu'un horizon rédoxique peut également réagir en période d'engorgement.

## Les horizons histiques

Il ne semble pas utile de détailler ici les horizons histiques (horizons de tourbe - codés H) car ils ne devraient pas poser de problème de reconnaissance. Ce sont des horizons de couleur sombre voire noire, **très légers**, formés en milieu saturé par

<sup>7</sup> Dans le cadre de sa thèse, Montagne (2007) a été amené à quantifier avec précision les différents volumes diversement colorés juxtaposés au sein d'un horizon particulièrement hétérogène (codé Eg&BTg) d'un Luvisol Dégradé du Gâtinais de l'Yonne (figure 2). Et il a pu comparer quantitativement l'impact du drainage agricole sur la morphologie de cet horizon et les proportions de ces différents volumes.

**Figure 6** - Réductisol argileux, de fond de talweg. Superposition d'horizons rédoxiques Ag/Jg gris et rouille, sur un horizon réductique Go gris-bleuté à taches rouille, témoignant du caractère permanent, stagnant et oscillant de la nappe.

**Figure 6** - Clayey Réductisol, located in the bottom of a thalweg. Superimposition of redoxic grey and rusty Ag/Jg horizons over a bluish-grey Go reductic horizon, showing the permanent, varying, oscillating nature of the watertable.



© Chambre d'Agriculture de Loire Atlantique, programme RMQS

**Figure 7** - Rédoxisol limono-argileux, cultivé, de versant schisteux, sur pente faible du Massif armoricain. Dans ce cas, la difficulté réside à identifier d'éventuels traits rédoxiques dans un horizon de surface foncé. Les traits rédoxiques sous-jacents sont sans ambiguïté.

**Figure 7** - Cultivated, silty-clayey Rédoxisol, located on a gentle slope in the Massif armoricain. In this case, the difficulty lies in identifying possible redoxic features in a dark-coloured surface layer. In the underlying soil horizon the redoxic features are doubtless present.



© C. Ducommun

l'eau durant des périodes prolongées (plus de six mois dans l'année) et constitués essentiellement de débris de végétaux hygrophiles ou subaquatiques non décomposés (AFES, 2008)<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Certains opérateurs non pédologues ont tendance à considérer comme "horizons histiques" des horizons de teintes très noires, observés dans certaines plaines maritimes. C'est le caractère "holorganique" (c'est-à-dire purement organique) et la légèreté du matériau qui doivent primer pour identifier de véritables horizons histiques.

## AUTRES CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

### Comment procéder sur le terrain?

« L'observation des traits d'hydromorphie peut être réalisée toute l'année mais la fin de l'hiver et le début du printemps sont les périodes idéales pour constater sur le terrain la réalité des excès d'eau » (arrêté d'octobre 2009 - annexe I).

Il ne s'agit pas de cartographier véritablement, mais de localiser les limites entre ce qui est considéré comme « sols de zones humides » et « pas sols de zones humides ».

Faut-il faire des fosses ou des sondages à la tarière

**Figure 8** - Planosol Typique sédimorphe sableux de plateau. Noter l'intensification de l'hydromorphie en profondeur, plus livide que le niveau intermédiaire encore riche en oxydes de fer.

**Figure 8** - Sedimorph sandy Planosol Typique, located on a plateau. To be noted the strengthening of hydromorphy at depth, more bleached than the intermediate layer still containing iron oxides.



suffisent-ils? Une fosse pédologique est toujours préférable pour bien observer (généralité et abondance des taches, des nodules, autres caractères du sol...). Mais le creusement d'une fosse est coûteux en temps et en argent et il est pratiquement impossible d'en creuser en périodes d'engorgements. C'est pourquoi l'utilisation d'une bêche peut s'avérer intéressante pour l'observation des premiers 25 à 35 cm du sol, quitte à compléter l'observation en profondeur avec une tarière.

Selon l'arrêté ministériel, les sondages à la tarière doivent être menés jusqu'à au moins 1,2 m de profondeur, ce qui est suffisant pour observer ce qui doit l'être. Cela permet notamment d'observer un horizon imperméable sous-jacent qui confirmera le diagnostic réalisé en surface. Mais l'observation des caractères pertinents est délicate, particulièrement la détermination précise des profondeurs d'apparition des traits rédoxiques (incertitude de plus ou moins 5 cm).

**Figure 9** - Rédoxisol surrédoxique sableux de fond de talweg, à nappe permanente mais circulante. L'hydromorphie se manifeste seulement par des traits rédoxiques.

**Figure 9** - Surredoxic sandy Rédoxisol, located in a thalweg, with a permanent but circulating watertable. Hydromorphy is only expressed as redoxic features.



Les engorgements sont constatés *in situ* : dans ce cas, il reste de l'eau dans le trou de tarière<sup>9</sup>. Il est également possible d'utiliser des piézomètres, même très simples, à relever fréquemment (tuyau perforé de diamètre légèrement inférieur à celui de la tarière).

**Il ne faut pas raisonner directement sur les « noms de sols » de la liste** car il est bien difficile de "nommer" les sols, surtout quand on n'est pas pédologue chevronné, et particulièrement quand on opère uniquement à la tarière! Reconnaître sur le terrain les traits rédoxiques et les horizons réductiques (et leur profondeur d'apparition/disparition) est beaucoup moins difficile et moins subjectif. C'est pourquoi on observera les fosses ou les sondages à la tarière en cherchant à déterminer s'il existe :

- des horizons histiques H débutant à < 50 cm de profondeur et épais d'au moins 50 cm ou,

<sup>9</sup> Dans le cas de sols argileux peu perméables, un certain délai est nécessaire pour que l'eau remplisse le trou et se mette à l'équilibre avec la nappe.

- un horizon réductique G débutant à moins de 50 cm de profondeur ou,
- des traits rédoxiques g ou -g débutant à moins de 25 cm et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur ou,
- des traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm auxquels succèdent des horizons réductiques apparaissant entre 80 et 120 cm.

Mais demeureront toujours les mêmes difficultés. Par exemple, trois taches ocre éparpillées constituent-elles un horizon rédoxique? Le seuil de 5 % de « traits hydromorphes » et l'utilisation de chartes *ad hoc* seront une aide précieuse.

La profondeur d'apparition des traits rédoxiques en un point précis sur le terrain est-elle 24 cm ou 26 cm? La réponse à cette question est d'importance majeure quant au classement du solum en sols de zones humides ou non puisque le seuil réglementaire est à 25 cm. De manière subjective, l'opérateur n'aura-t-il pas tendance à jouer sur cette marge infime?

Pour limiter au maximum les erreurs et augmenter la précision de l'observation, il est conseillé, en pratique, de reconstituer le sondage en remplaçant les carottes extraites à la tarière dans une gouttière en matière plastique graduée. Cette reconstitution a pour but de mettre en évidence les horizons successifs et à en apprécier correctement les profondeurs d'apparition. Pour ce faire, la tarière elle-même doit être soigneusement graduée, les carottes seront nettoyées de manière à éliminer les artefacts liés au forage (lissages, éboulements) et on reconstituera ainsi les horizons en respectant scrupuleusement leurs épaisseurs. De bonnes photos, à condition qu'elles soient prises de près avec un éclairage correct, permettront de matérialiser la démarche et pourront constituer des preuves intéressantes du caractère « humide » ou non du site.

Finalement, une restitution convenable d'un sondage de sol doit comporter :

#### **Données relatives à l'ensemble du sondage**

- la date et la localisation précise du sondage;
- la position topographique dans le paysage et l'occupation du sol;
- la végétation spontanée (adventices);
- les antécédents météorologiques;
- la profondeur d'apparition des premiers traits rédoxiques (taches rouille, nodules noirs);
- la profondeur maximale des traits rédoxiques;
- la profondeur d'apparition d'un éventuel horizon réductique;

#### **Données relatives à chaque horizon**

- l'état d'humidité (engorgé/humide/frais/sec);
- la couleur des taches et la couleur de la matrice, associées au type de taches (rédoxiques/ réductiques);
- le pourcentage de taches;

#### **Conclusions**

- la classe de drainage naturel GEPPA (schéma modifié - *figure 1*) correspondante.
- sol de zone humide ou non? Ou impossible de trancher sur la seule morphologie (cas particulier).

#### **Autres systèmes de classification et langages**

Ici ou là, sont encore pratiqués des systèmes et langages autres que celui du Référentiel pédologique :

- des systèmes régionaux comme celui employé en Franche-Comté ou bien la "cartographie 4 critères", adaptée aux sols du Massif armoricain, utilisent des sigles pour caractériser synthétiquement les sols sur une carte;
- l'ancien système français (Classification des sols CPCS 1967) dont le Référentiel pédologique provient après une longue évolution;
- différentes versions de la classification personnelle de P. Duchaufour.

La plupart de ces langages ont été utilisés pour toutes les études pédologiques antérieures aux années 1990. C'est pourquoi le nouvel arrêté d'octobre 2009 (comme celui de juin 2008) présente un "tableau de correspondances" entre dénominations du référentiel pédologique et catégories de la classification CPCS de 1967. Mais ces correspondances ne sont jamais biunivoques.

#### **Utilisation de documents préexistants - Cartes et notices**

L'arrêté énonce au 1.2.1, comment et sous quelles conditions utiliser des documents cartographiques disponibles. Puis il précise :

*« Un espace peut être considéré comme humide si ses sols figurent dans cette liste. Sauf pour les histosols, réductisols et rédoxisols<sup>10</sup>, qui résultent toujours d'un engorgement prolongé en eau, il est nécessaire de vérifier non seulement la dénomination du type de sol, mais surtout les modalités d'apparition des traces d'hydromorphie indiquées dans la règle générale énoncée au 1. »*

Souvent, l'information la plus intéressante (*i.e.* la profondeur d'apparition des traits hydromorphes et des horizons g ou G, la description des régimes hydriques des sols cartographiés) ne figure pas dans la légende de la carte mais dans la description des unités cartographiques ou typologiques exposée dans la

<sup>10</sup> Là encore, la référence aux « rédoxisols » a été conservée du premier arrêté par erreur. Soumise à la règle générale, cette référence aurait dû être supprimée. En effet, certains Rédoxisols peuvent présenter des traits rédoxiques débutant entre 25 et 50 cm.

notice. Il faut donc aller la chercher par une lecture attentive de cette notice!

Les cartes utilisables, car suffisamment précises, réalisées à partir d'un semis d'observations suffisamment dense et constituées d'unités cartographiques simples (un seul type de sol), sont celles aux échelles du 1/25000 ou plus grandes (1/10 000; 1/5 000). Faute de mieux, une carte au 1/50000 est encore acceptable (lorsque la densité d'observations pour la réaliser est élevée), mais pas les échelles plus petites (1/100000 ou 1/250000) dont la précision est notoirement insuffisante.

Par ailleurs, il ne faut pas confondre l'échelle des levés (*i.e.* son degré de précision lié à la densité du recueil de l'information pédologique sur le terrain) et l'échelle de restitution graphique de la carte papier. Par exemple, la carte des sols de l'Aisne est publiée sur un fond de carte à 1/25000 mais le degré de détail du recueil de l'information pédologique correspond à du 1/5 000 (un sondage par hectare en moyenne).

D'un point de vue pratique, avant d'aller sur le terrain, il est conseillé de faire l'étude du site à travers la cartographie IGN à 1/25000, notamment pour repérer les cours d'eau et de vérifier le contexte grâce aux photo-satellites disponibles sur le site internet du « Géoportail » <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>. Sur ce même site, il est aussi possible d'examiner les cartes d'État-Major de 1900 où sont figurées les zones de marais et prairies humides de l'époque. Certes, la situation a évolué depuis lors, mais d'après nos observations, un site répertorié humide sur la carte d'État-Major correspond souvent à une zone humide encore aujourd'hui (notion de zone humide probable). Enfin, il peut être utile de s'intéresser aux toponymes du cadastre, y compris le cadastre napoléonien. Ce dernier est souvent disponible en version numérique.

Dans des régions où les données pédologiques sont abondantes, des travaux de cartographie numérique peuvent permettre de prédire l'extension de « zones humides potentielles » à une échelle régionale grâce à des indices topographiques ou topo-climatiques (Lemercier *et al.*, 2013). Mais les auteurs précisent bien que « cette approche est insuffisante pour prédire l'hydromorphie des sols qui dépend de facteurs autres que la topographie et le climat, tels que le substrat rocheux ou la tectonique récente qui impactent le relief et la qualité des altérites ou le sol... Les indices topographiques rendent compte uniquement des zones humides liées au modelé du terrain et non au matériau géologique ou au sol, comme peuvent l'être certaines zones humides de versant ou de plateau ».

L'exploitation de bases de données cartographiques peut déboucher également sur un premier zonage des secteurs où peuvent se situer des sols de ZH (Moulin et Eimberck, 2011; Laroche *et al.*, 2014). Dans de tels cas, le zonage sera tributaire de la quantité (densité) et de la qualité des données pédologiques disponibles.

Enfin, des "cartographies des zones humides" ont parfois été réalisées antérieurement au niveau régional, départemental ou communal mais sans prise en compte de la nature des sols. Ces pré-localisations donnent une idée générale du caractère plus ou moins « humide » des sols, mais leur échelle (1/25000 ou plus petite) est insuffisante pour rendre ces cartographies opposables aux tiers dans le cadre des autorisations au titre du code de l'environnement qui requiert une précision au 1/5000 (échelle cadastrale).

**Quels que soient les documents préexistants consultés la personne responsable de la délimitation devra impérativement opérer des sondages sur le terrain.**

#### Protocole de terrain

Une autre difficulté réside dans la recherche et circonscription de ZH sur le terrain et leur représentation graphiques sur un fond de carte. Leur délimitation, bien que restreinte à leur caractère hydromorphe, est un travail de cartographie des sols qui nécessite de tracer les limites d'unités spatiales, sur la base d'observations ponctuelles. Pour y parvenir, il est nécessaire de recourir à une approche raisonnée (*i.e.* non systématique).

L'arrêté mentionne au paragraphe « 1.2.2. *Protocole de terrain* », que l'examen des sols repose essentiellement sur le positionnement de sondages « *de part et d'autre de la frontière supposée de la zone humide, suivant des transects perpendiculaires...* », en adaptant « *le nombre la répartition et la localisation des sondages* » à la taille et à la complexité du milieu. Ainsi, aucune densité d'observation n'est préconisée :

- Lorsque la topographie ou la végétation sont bien marquées ou que des points d'eau sont visibles, le repérage dans l'espace est aisé, ce qui facilite le positionnement des sondages et la délimitation de la zone humide sur le terrain (et sur une carte).
- Par contre, lorsque l'on est confronté à des secteurs plats et cultivés (plateaux notamment), le manque de repères, rend la démarche plus délicate. Dans ce cas, il devient nécessaire d'augmenter la densité d'observations et de progresser de proche en proche jusqu'à parvenir à délimiter la zone humide, si elle existe, ou constater qu'il n'y en a pas. Lorsque cela est possible, la délimitation doit s'appuyer sur le microrelief observable sur le terrain mais mal représenté sur les cartes.

Une bonne restitution graphique devrait comporter une carte de localisation précise des sondages sur la zone d'étude ainsi que la localisation par transects perpendiculaires de part et d'autre de la limite de la zone humide. Finalement, le tracé de cette zone humide devra s'insérer entre des sondages situés à l'intérieur et à l'extérieur, en s'appuyant autant que possible, sur le tracé des courbes de niveau.

Enfin attention, il arrive que sur un secteur qui semble homogène, des sondages soient contradictoires. Dans ce cas, il est également nécessaire de les multiplier pour pouvoir mieux trancher.

## CONCLUSIONS

Les deux arrêtés (de 2008 et de 2009) constituent un progrès pour la définition de zones humides car ils font appel à des critères pédologiques pérennes observables par tous<sup>11</sup>, particulièrement lorsqu'on ne peut pas relever un cortège d'espèces végétales indicatrices.

Mais la « liste des types de sols » ne peut pas être considérée ni utilisée de la même façon que la « liste des espèces végétales indicatrices des zones humides » présentée sur soixante-quatre pages à la fin du premier arrêté.

Un certain nombre d'ambiguïtés encore présentes dans l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2009 devront être levées et quelques erreurs réparées.

Malgré les efforts des rédacteurs des deux arrêtés et de la circulaire, il demeure une large marge de subjectivité dans l'observation morphologique et l'interprétation de ces observations, ouvrant la porte à des contestations devant les tribunaux. En effet, les ZH sont bien des entités légales, mais les agents de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) ainsi que ceux de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) qui peuvent intervenir pour verbaliser ne sont pas toujours formés pour cela.

Pour faire face à cette situation, il convient d'une part de respecter scrupuleusement le protocole décrit par les deux arrêtés ministériels de juin 2008 et d'octobre 2009 tant pour la flore que pour les sols. D'autre part, pour les personnes qui auront à travailler sur cette thématique des « sols de zones humides », une formation approfondie à certains aspects de la pédologie s'avère nécessaire, avec notamment l'observation de cas concrets sur le terrain encadrée par des pédologues aguerris. Depuis quelques années de telles formations sont proposées régulièrement en Bretagne et Pays de la Loire.

## REMERCIEMENTS

à Monsieur Albert NOIREAU, Ingénieur des ponts des eaux et des forêts, DREAL Poitou-Charentes, pour ses conseils et ses propositions lors de la rédaction de cet article. A Joël Moulin et Bertrand Laroche pour leur relecture attentive et leurs suggestions.

<sup>11</sup> Observables par tous ne signifie malheureusement pas facilement interprétables par n'importe qui. Une bonne formation et de l'expérience sont nécessaires.

## BIBLIOGRAPHIE

- AFES (Association française pour l'étude du sol), 2008 - Référentiel Pédologique 2008, Baize, D., Girard, M.-C. (coord.), Éditions Quae, Versailles. 432 p.
- Baize D., 1986 - Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. *Science du Sol*, 24 (3), pp. 227-243. CP-Carto-Taxo-1986.pdf
- Baize D. et Chrétien J., 1994 - Les couvertures pédologiques de la plate-forme sinémurienne en Bourgogne. Particularités morphologiques et pédo-géochimiques. *Étude et Gestion des Sols*, 1, 2, pp. 7-27.
- Baize D. et Jabiol B., 2011 - Guide pour la description des sols. Nouvelle édition. Quae éditions. 448 p.
- Berthier L., Chaplot V., Dutin G., Jaffrezic A., Lemerrier B., Racapé A. et Walter C., 2014 - Diagnostic *in situ* de la réduction du fer dans les sols par l'utilisation d'un test de terrain colorimétrique. *Étude et Gestion des Sols*. Vol. 21, 1, pp. 51-59.
- CPCS (Commission de pédologie et de cartographie des sols), 1967 - Classification des sols, Doc. Multicopié, Grignon puis Orléans, 96 p.
- De Leenheer L., 1967 - Considérations critiques sur la valeur des résultats de la détermination de la porosité totale et de la distribution des pores du sol. *In* : *Pédologie*, t. XVII, 2, pp. 123-146
- Ducommun C., 2008 - Caractérisation des zones humides sur la base de critères pédologiques. Formation continue, Agrocampus-ouest, Angers.
- Durand P., Charnay M.P., Jaffrezic A. et Clément B., 2005 - Les zones humides et leurs sols. *In* : *Sols et Environnement*, M.C. Girard *et al.* éd. Dunod, Paris, pp. 364-385.
- Durand P., Charnay M.P., Jaffrezic A. et Clément B., 2011 - Les zones humides et leurs sols. *In* : *Sols et Environnement*, M.C. Girard *et al.* éd. Dunod, Paris, pp. 378-401.
- FAO, 2006 - Guidelines for soil description. 4<sup>th</sup> edition. Rome. 97 p.
- GEPPA (Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée), 1981 - Synthèse des travaux de la commission de cartographie 1970-1981, Doc. Multicopié, 20 p.
- Jaffrezic A., 1997 - Géochimie des éléments métalliques des nitrates et du carbone organique dissous dans les eaux et les sols hydromorphes, Thèse de doctorat de l'ENSA de Rennes. p. 8.
- Laroche B., Thiry E., Schnebelen N., Chenu J.-Ph., Moulin J. et Bardy M. - 2014, Les bases de données sur les sols au service des politiques publiques : exemple des zones humides. *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 21, 1, pp. 37-49.
- Laveuf C., 2009 - Les terres rares et le zinc comme traceurs des processus pédogénétiques : application à une séquence de sols issue de calcaires minéralisés. Thèse, Univ. Orléans, 250 p.
- Lemerrier B., Lacoste M., Loum M., Le Bris A.L. et Walter C., 2013 - Apport de la cartographie numérique des sols pour prédire l'hydromorphie et l'extension des zones humides potentielles à l'échelle régionale. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 20, 1, pp. 47-66.
- Montagne D., Cousin I., Le Forestier L., Daroussin J., Cornu S., 2007 - Quantification of soil volumes in the Eg & Bt-horizon of an Albeluvisol using image analysis. *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 87, pp. 51-59.
- Morlon P. (coord.) - Les Mots de l'Agronomie, entrée « Hydromorphie », <http://ticri.inpl-nancy.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Hydromorphie>
- Moulin J. et Eimberck M., 2011 - La cartographie des sols de l'Indre pour des applications thématiques diversifiées. *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 18, 2, pp. 75-89.
- Ruellan A., 1985 - Les apports de la connaissance des sols intertropicaux au développement de la pédologie : la contribution des pédologues français. *Catena*, vol. 12, n°1, pp. 87-98.
- Sparks D., 2003 - Redox Chemistry of Soils. *In* : *Environmental soil chemistry*, Academic Press, 352 p.



- Vinatier J.-M., Chafchafi A., Bargeot L., Toutain B., Laroche B., Arrouays D. et Squidivant H., 2013 - Websol : une plateforme Internet de diffusion des données pédologiques. *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 20, 3, pp. 7-18.
- Vizier J.F., 1970 - Étude des phénomènes d'hydromorphie et de leur déterminisme dans quelques types de sols du Tchad. Variations du potentiel d'oxydoréduction et des teneurs en fer ferreux dans des horizons hydromorphes caractéristiques soumis en laboratoire à une submersion prolongée. *Cah. O.R.S.T.O.M., série Pédologie*, vol. VIII, n° 1, pp. 33-47
- Vizier J.-F., 1971 - Étude de l'état d'oxydoréduction du sol et de ses conséquences sur la dynamique du fer dans les sols hydromorphes, *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, Vol IX, n° 4, 25 p.
- Vizier J.F., 1984 - Les phénomènes d'hydromorphie en régions tropicales à saisons contrastées. Application à une meilleure caractérisation des concepts de gley et de pseudogley. *Science du Sol* n° 3, pp. 225-238.
- Vizier J.F., 1992 - Éléments pour l'établissement d'un référentiel pour les solums hydromorphes. In : *Référentiel pédologique. Principaux sols d'Europe*. AFES, INRA Éditions, Annexe 2.

