

Diagnostic *in situ* de la réduction du fer dans les sols par l'utilisation d'un test de terrain colorimétrique

L. Berthier⁽¹⁾, V. Chaplot⁽²⁾, G. Dutin⁽¹⁾, A. Jaffrezic⁽¹⁾, B. Lemerrier⁽¹⁾, A. Racapé⁽¹⁾ et C. Walter⁽¹⁾

- 1) AGROCAMPUS OUEST, UMR1069, Sol Agro et hydrosystèmes Spatialisation, INRA-Université européenne de Bretagne, F-35000 Rennes, France
- 2) IRD - BIOEMCO c/o Center for Water Resources Research, SAEES, Rabie Saunders Building, University of KwaZulu-Natal, Box X01, Scottsville, 3209, South Africa

*: Auteur correspondant: lionel.berthier@agrocampus-ouest.fr

RÉSUMÉ

L'hydromorphie des sols est l'expression d'un engorgement en eau plus ou moins prolongé et d'un déficit en oxygène agissant sur leurs propriétés et leurs fonctionnalités. Elle s'exprime en prenant la forme de traits morphologiques souvent persistants, résultant de la dynamique du fer et du manganèse. La profondeur d'apparition, le degré d'hydromorphie (présence/absence d'horizons rédoxiques et/ou horizons réductiques) et sa persistance en profondeur dans les sols sont les critères retenus dans le cadre réglementaire des délimitations de zones humides. Ainsi, les traits pédologiques liés à un engorgement prolongé en eau dans les sols, comme la présence de concrétions de fer et de manganèse, sont classiquement utilisés pour délimiter les zones humides.

La présence de traits d'hydromorphie anciens dans des sols actuellement bien drainés et une confusion avec des traits d'altération de la roche mère peuvent compromettre le diagnostic au cours des inventaires de terrain de zones humides. L'utilisation conjointe du diagnostic morphologique et du test au Fe(II) permet de caractériser le caractère rédoxique et/ou réductique d'un volume pédologique. L'utilisation du test à base de phénantroline mettant en évidence la présence de Fe(II) dans la solution du sol offre une information complémentaire à l'approche morphologique des traits réductiques. La réaction à ce test permet le développement d'une coloration rouge en présence de Fe(II). Outre des limites inhérentes au réactif et aux variations des conditions hydrologiques, ce test permet dans de nombreux cas de lever des indéterminations pédologiques. Le test est bon marché et facile à utiliser. Une aide à la détermination du caractère rédoxique et/ou réductique d'un volume pédologique, fondée sur l'utilisation conjointe du diagnostic morphologique et du test au Fe(II), est finalement proposée.

Mots clés

Zones humides, inventaire de terrain, hydromorphie, test, Fe(II), horizon réductique.

SUMMARY**DIAGNOSIS OF REDUCTION IN SOILS USING A FIELD COLORIMETRIC TEST**

Hydromorphy in soils is a sign of a temporary or constant waterlogging and a deficit of oxygen. It plays a role on their properties and their functions. Hydromorphy is revealed by persistent morphological features, resulting from the evolution of the state of iron and manganese in soil. Soil redoximorphic features such as iron and manganese concretions, which result from temporary or permanent waterlogging and oxygen deficit are broadly used for wetland delineation.

However within the framework of the wetlands delineation there are major limits associated with the use of soil redoximorphic features for predicting redox conditions. The visual diagnosis can indeed be misleading in the presence of rock weathering features of similar aspect and when fossil redoximorphic features are present in well-drained soils. Colorimetric tests based on the complexation between Fe(II) and color reagents such as phenantroline, offer interesting alternatives. They are cheap and easy to implement in the field. Despite some limits inherent to the reagent itself and to the annual climatic variations at a particular site, the colorimetric test was shown to improve the surveyor's interpretations. We finally proposed a key analysis tool for redoxic and reductic conditions based on the morphological features diagnosis and the field colorimetric test.

Key-words

Wetlands, wetlands delineation, redoximorphic features, reagent, Fe(II), reductic horizon.

RESUMEN**DIAGNOSTICO IN SITU DE LA REDUCCIÓN DEL HIERRO EN LOS SUELOS POR EL USO DE UN TEST COLORIMÉTRICO DE TERRENO**

La hidromorfía de los suelos es la expresión de un anegamiento en agua más o menos prolongado y de un déficit en oxígeno que actúa sobre sus propiedades y sus funcionalidades. Su expresión toma la forma de rasgos morfológicos a menudo persistentes, que resultan de la dinámica del hierro y del manganeso. La profundidad de aparición, el grado de hidromorfía (presencia / ausencia de horizontes redóxicos y/o de horizontes reducticos) y su persistencia en profundidad en los suelos son los criterios retenidos en el cuadro reglamentario de delimitaciones de zonas húmedas. Así, los rasgos pedológicos ligados a un anegamiento prolongado en agua en los suelos, como la presencia de concreciones de hierro y manganeso, están clásicamente usados para delimitar las zonas húmedas.

La presencia de rasgos antiguos de hidromorfía en suelos actualmente bien drenados y una confusión con rasgos de intemperización de la roca madre pueden comprometer el diagnostico durante los inventarios de terreno de zonas húmedas. El uso conjunto del diagnostico morfológico y de un test al Fe(II) permite caracterizar el carácter redóxico y/o reductico de un volumen pedológico. El uso del test a base de fenantrolina que pone en evidencia la presencia de Fe(II) en la solución del suelo ofrece una información complementaria al estudio morfológico de los rasgos reducticos. La reacción a este test permite el desarrollo de una coloración roja en presencia de Fe(II). Además de límites inherentes la reactivo y a las variaciones de condiciones hidrológicas, este test permite en numerosos casos levantar indeterminaciones pedológicas. El test está barato y uso fácil. Una ayuda a la determinación del carácter redóxico et/o reductico de un volumen pedológico, fundada sobre el uso conjunto del diagnostico morfológico y del test al Fe(II), está finalmente propuesto.

Palabras clave

Zonas húmedas, inventario de terreno, hidromorfía, test, Fe(II), horizonte reductico.

La sauvegarde et la gestion durable des zones humides s'inscrivent dans le cadre des politiques européennes de préservation des ressources naturelles et de la biodiversité (directive-cadre 2000/60/CE sur l'eau, réseau «Natura 2000» issu des directives 92/43/CEE «Habitats» et 79/409 /CEE «Oiseaux», notamment).

L'article L. 211-1 du code de l'environnement instaure et définit l'objectif d'une gestion équilibrée de la ressource en eau. Il vise en particulier la préservation des zones humides, qui sont définies en droit français de la manière suivante: « On entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ». L'inventaire de zones humides est une première étape de travail avant de mettre en place des mesures de gestion durable. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision pour la planification, l'aménagement, la gestion de la ressource en eau et la gestion de la biodiversité.

Lors de l'engorgement en eau des sols, les échanges gazeux entre l'atmosphère et la porosité du sol sont limités. Il en résulte le plus souvent un déficit prononcé en oxygène, qui entraîne un processus séquentiel de réduction des nitrates, du manganèse et du fer (Mitsch et Gosselink, 1993; Durand *et al.*, 2011). L'hydromorphie résulte ainsi de l'alternance des phases de solubilisation et de précipitation du fer dans un milieu réducteur puis réoxydé accompagnées de changements de couleur. Dans un sol saturé en eau, le fer passe de son état oxydé Fe(III) à son état réduit Fe(II).

L'hydromorphie des sols est donc une manifestation morphologique de l'engorgement en eau dans un horizon pédologique ou un solum sous forme de taches, de ségrégations (nodules), de colorations ou décolorations (Baize, 2004) résultant de processus d'oxydoréduction du fer et du manganèse.

Le référentiel pédologique 2008 (Baize et Girard, 2009) distingue deux grands types d'horizons hydromorphes:

1. Des horizons réductiques dans lesquels un engorgement permanent ou quasi-permanent engendre l'anoxie. L'ensemble de l'horizon peut prendre une couleur grisâtre à verdâtre (Nx/ à 5PBx/ ; 2.5Yx ou 5Yx de chroma ≤ 2) recouvrant au moins 95% de la matrice (Baize et Girard, 2009), (horizons Gr et -Gr). Il n'est pas rare d'observer une matrice grisâtre à verdâtre mais présentant des taches rouille. Il s'agit d'un horizon réductique temporairement réoxydé (horizons Go et -Go): la réoxydation du fer a lieu préférentiellement au niveau des conduits racinaires et des vides, où l'oxygène pénètre dans le sol réduit. Lorsque la déferrication est complète, l'horizon réductique est parfois blanchi, on parle alors d'horizon réductique albique (horizons Ga et -Ga)
2. Des horizons rédoxiques dans lesquels un engorgement temporaire plus ou moins prolongé engendre des cycles d'oxydoréduction. La succession de phases de réduction et d'oxy-

dation provoque l'apparition de taches grisâtres de réduction (départ de fer par solubilisation) et de taches rouille d'oxydation (dépôt de fer par précipitation). L'alternance de ces phases peut aussi entraîner la formation de nodules ou de concrétions ferromanganiques plus ou moins indurés.

Par ailleurs l'accumulation de matières organiques peu ou pas décomposées du fait de la saturation en eau du milieu conduit à la formation d'horizons histiques (horizons H), caractéristiques des tourbières.

- L'hydromorphie des sols peut être due à des causes aussi bien externes qu'internes au sol: parmi les causes externes au sol, l'hydromorphie peut être d'origine topographique, on parle de sols hydromorphes topomorphes (Bourrié *et al.* 1994; 1999), notamment dans des zones à pente nulle ou faible ainsi que dans les zones où les flux d'eau convergent vers des dépressions locales ou têtes de talweg. Elle peut être également due à la présence d'une nappe permanente, alluviale ou non.
- Les causes internes font généralement référence à un défaut de perméabilité des sols. Cette imperméabilité est soit induite par la lithologie (socle non fracturé imperméable), on parle alors de sols hydromorphes lithomorphes (Bourrié *et al.* 1994; 1999), soit par des processus pédogénétiques (discontinuité texturale et/ou structurale), ou encore par des pratiques culturales inadaptées aux conditions d'humidité du sol (travail du sol, pâturage).

Ce sont les traits pédologiques liés à la ségrégation du fer qui permettent d'évaluer le degré d'engorgement en eau du sol lors de l'observation visuelle sur le terrain.

L'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1er octobre 2009 et la circulaire du 18 janvier 2010 relatifs à l'application des articles L214-7-1 et R211-108 du code de l'environnement précisent les critères de définition et de délimitation des zones humides, basés sur le sol et/ou la végétation, l'un des deux étant suffisant. En l'absence de végétation naturelle observable au moment de l'inventaire, le critère sol suffit.

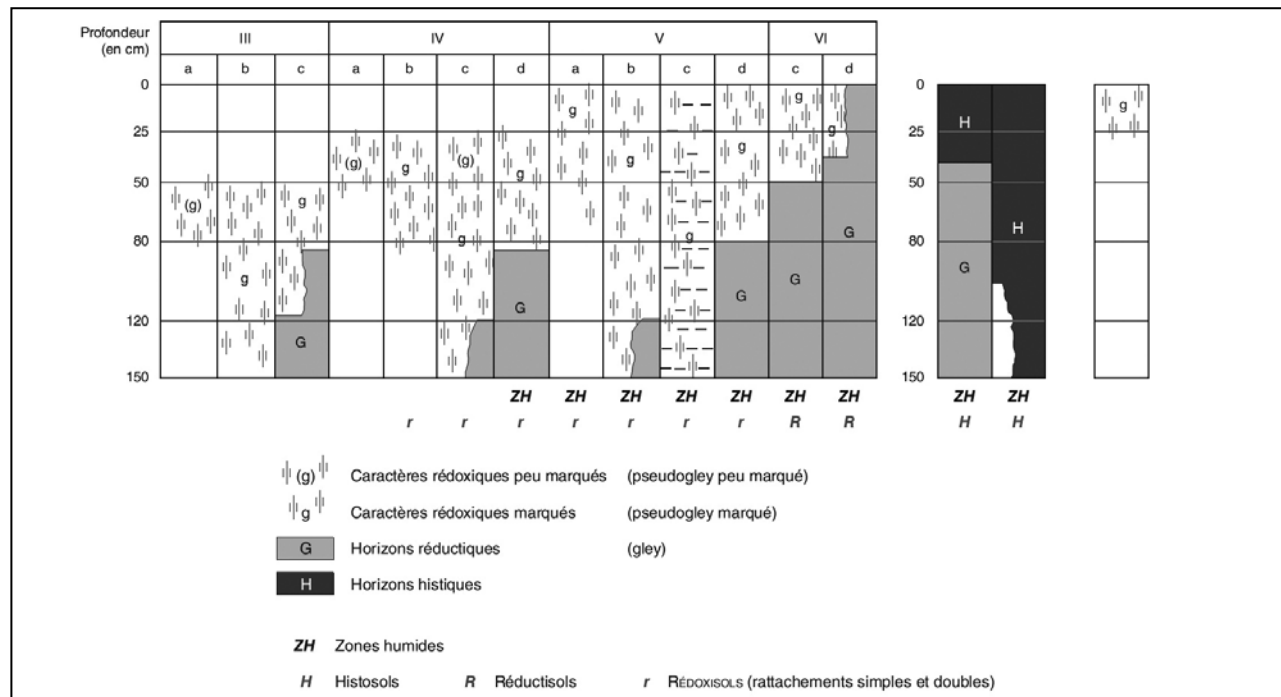
D'après l'arrêté du 1^{er} octobre 2009, les sols de zones humides (*figure 1*) correspondent à:

- tous les HISTOSOLS car ils connaissent un engorgement permanent en eau qui provoque l'accumulation de matières organiques peu ou pas décomposées [...];
- tous les REDUCTISOLS car ils connaissent un engorgement permanent en eau à faible profondeur se marquant par des traits réductiques débutant à moins de 50 cm dans le sol [...];
- aux autres sols caractérisés par:
 - des traits rédoxiques débutant à moins de 25 cm de profondeur et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur.
 - ou
 - des traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm de profondeur, se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur, et de traits réductiques apparaissant entre 80 et 120 cm de profondeur.

La simple observation visuelle peut se révéler insuffisante afin d'identifier notamment les horizons réductiques (horizon Gr

Figure 1 - Adaptation du tableau du GEPPA (d'après les classes d'hydromorphie du GEPPA, 1981) pour le recensement des sols de zones humides.

Figure 1 - Adaptation of the GEPPA table (from the GEPPA hydromorphic classes, 1981) for the framework of the wetlands delineation.



ou -Gr) dans le cadre des inventaires de zones humides. Des difficultés de diagnostic peuvent conduire à des confusions, ainsi il est parfois difficile de vérifier la présence de conditions réductrices dans des sols dont la couleur de l'altération du matériau parental est similaire aux couleurs caractéristiques de la réduction (figure 2).

Des méthodes en laboratoire telles que la mesure de la concentration en Fe(II) (Maître, 1991; Jaffrezic, 1997; Soulier, 1995) ou la mesure des potentiels d'oxydo-réduction en laboratoire ou sur le terrain (Feder et al., 1998; Tassinari, 1998) permettent de détecter l'anoxie du sol. Un suivi du régime hydrique par tensiométrie et piézométrie permet de diagnostiquer un niveau d'engorgement en eau des sols (Elless et al., 1996; Tassinari, 1998).

Mais ces différentes approches présentent des limites lorsqu'il s'agit de mener des inventaires et suivis cartographiques du niveau d'engorgement en eau des sols. Des approches par l'utilisation de tests de terrain au Fe(II) ont été développées afin d'identifier de façon opérationnelle les zones où le fer est à l'état réduit.

OBJECTIF

L'objectif de cet article est de présenter un test au Fe(II) de terrain basé sur un réactif afin de mieux identifier les horizons réductiques (Horizons Gr ou -Gr, Go ou -Go et Ga ou -Ga) et

de proposer une méthodologie de détermination du caractère rédoxique ou réductique sur un échantillon proche de la saturation associant diagnostic morphologique et réaction à un test au Fe(II). Les conditions de validité de ce test ainsi que les limites d'interprétation inhérentes à sa composition et son utilisation seront discutées. Ces limites concernent notamment les horizons organiques de surface non tourbeux, les horizons dont la granulométrie est dominée par la fraction sableuse, et les sols affectés par les conditions d'oxygénation de la nappe.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Principe du test de terrain à base d'1,10-phénantroline de présence de Fe(II)

L'objectif de l'utilisation d'un test au Fe(II) de terrain est de mettre en évidence la présence ou non de conditions réductrices dans le sol au moment de l'observation. Ce test est basé sur une réaction colorimétrique: une coloration rouge vif apparaît en présence de Fe(II) et le réactif reste incolore en absence de Fe(II) dans les 10 minutes qui suivent le contact avec le sol. Il peut donc permettre de déterminer si la couleur du sol est liée ou non à la réduction effective du fer.

Figure 2 - 1-BRUNISOL EUTRIQUE issu de schiste de type ardoisier à horizon d'altération (C) bleuté; **2**-Horizon sans structuration pédologique (C) de couleur grise-bleuté et bariolé de plages orangées issu de l'altération de schiste du briovérien.

Figure 2 - 1-Cambisol eutric from schist with a bluish weathered horizon (C); **2**-Bluish grey horizon without pedological structure (C) with orange areas from a brioverian schist alteration.



Le test au Fe(II), décrit dans cette note technique, repose sur l'utilisation d'1,10-phénantroline (Vydra et Kopanica, 1963; Chaplot, 1998) et a été étudié sur des sols développés sur schiste et granite du Massif armoricain dont le pH_{eau} des volumes pédologiques est compris entre 4,6 et 6,5. La réaction de complexation entre l'1,10-phénantroline et le Fe(II) est très rapide (constante de vitesse = 10¹⁹ mole par minute), très stable (log K = 21,5), décelable même pour des horizons organiques ou tourbeux (Bidois, 1999; Chaplot, 1998). Elle est par ailleurs décelable grâce à une couleur caractéristique (rouge violacé) rarement identifiée parmi les couleurs des horizons pédologiques.

Un autre test à base d' α - α '-dipyridyl, d'une solution d'acide acétique et d'acétate d'ammonium (Childs, 1981) est utilisé sous forme de « spray test » ou pour l'immersion complète d'échantillons pédologiques, il permet de développer des couleurs similaires en présence de Fe(II).

Le test à base d' α - α '-dipyridyl présente l'inconvénient de produire éventuellement une réaction sur les solums carbona-

tés entre l'acide acétique et le carbonate de calcium, se surimposant à la réaction au Fe(II), rendant l'observation confuse. L'1,10-phénantroline est un composé toxique dont la dose létale pour les rats et souris est de 100 mg/kg. Cette dose létale reste toutefois inférieure à la dose létale de l' α - α '-dipyridyl (200 mg/kg) utilisé dans le test de Childs (Childs, 1981).

Préparation du réactif du test au Fe(II) à base d'1,10-phénantroline

Dissoudre 2 g de 1,10-phénanthroline monohydrate (C₁₂H₈N₂, H₂O) dans 100 ml d'éthanol (concentration de 99,8% ; densité de 0,79). Le réactif est à conditionner dans des flacons et à conserver en cas de non-utilisation à une température de 4 °C. Il est fortement conseillé d'éviter les contacts avec la peau, d'inhaler ou d'ingérer ces composés, ces risques sont d'autant plus élevés lors de l'utilisation du test par aspersion.

Mise en œuvre sur le terrain

Le test au Fe(II) à base d'1,10-phénantroline est à réaliser sur une paroi de fosse pédologique bien préparée, une fois les échantillons de terre prélevés, afin d'éviter leur contamination par le réactif. L'aspersion peut également se faire sur des agrégats prélevés dans une fosse ou à la tarière. Après l'application, la réaction est quasi-immédiate, et une coloration rouge, plus ou moins vive, apparaît en présence de Fe(II) (figure 3).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Vitesse de réaction et réactions artéfact

La réaction permet de déceler la présence d'un horizon réduit. Il s'agit de ne pas attendre plus de 10 minutes car la réaction qui peut apparaître de manière progressive est souvent le résultat de la complexation avec d'autres éléments.

En effet, des éléments métalliques tels que le cobalt (Co), le nickel (Ni), le cuivre (Cu) ou le zinc (Zn) et l'Aluminium (Al) peuvent se complexer, produire des composés stables avec la phénantroline et bloquer ainsi l'évolution de la réaction (Childs, 1981). Cependant, l'ajout de phénantroline en excès, suivant les préconisations de Vydra et Kopanica (1963), dans ce test, est un moyen de s'affranchir de cette limite.

Des risques de mauvais diagnostic sont également probables lorsque la complexation devient instable à des pH inférieurs à 1,5 et supérieurs à 9 ou bien encore lorsque la présence simultanée de matière organique soluble et de lumière conduit à la réduction du fer (photo-réduction) en condition oxydante (Vydra et Kopanica, 1963). Une lecture immédiate de la réaction au test permet de réduire les risques de confusion liés à la photo-réduction.

Figure 3 - 1-Réaction sur un volume pédologique réductique permanent (Gr), 2-Réaction sur un volume pédologique réductique temporaire (Go), 3-Réaction dans un volume pédologique tourbeux saprique (Hs).

Figure 3 - 1-Réaction over a reductic pedological horizon (Gr), 2-Réaction over a temporary reductic pedological horizon (Go), 3-Réaction over a histic horizon (Hs).



Intensité de réaction

Il est possible d'attribuer une intensité à la coloration après une lecture directe de la charte MUNSELL. Par exemple, cinq intensités de réaction au test à base de phénantroline ont été définies (Chaplot, 1998) basé sur les travaux de Vydra et Kopicova (1963):

- Intensité 4: coloration rouge pourpre (10R4/8) sur l'ensemble de la matrice de l'horizon;
- Intensité 3: coloration rouge (10R6/8) sur l'ensemble de la matrice de l'horizon;
- Intensité 2: coloration rouge (10R6/8) hétérogène par taches dans la matrice de l'horizon;
- Intensité 1: coloration rouge très pâle (10R6/3) sur l'ensemble de la matrice de l'horizon;
- Intensité 0: absence de réaction.

Childs (1981) distingue 3 classes de concentration en Fe(II) selon l'intensité de la couleur de la réaction au test à base d' α - α' -dipyridyl.

Toutefois, il est difficile de relier l'intensité de la réaction à un niveau de concentration en Fe(II) ou au fonctionnement hydrologique du sol. Une nécessaire calibration des classes de réaction est à réaliser en fonction des horizons testés et du contexte hydro-pédologique considéré. Dans l'interprétation des résultats de terrain lors de la réalisation d'inventaires spatiaux de zones humides, il est préférable de ne tenir compte que des réactions positives ou négatives au test.

Cas particuliers

Il est possible dans le cas d'horizons organo-minéraux de surface (horizon LA) temporairement engorgés qu'une réaction se produise après application du test au Fe(II). Les zones réduites détectées par le test au Fe(II) résultent très souvent d'une dégradation de la structure de l'horizon, due soit à un tassement excessif (outils, piétinement d'animaux) ou à l'apport récent de matière organique très biodégradable (lisier, boue de STEP...)

qui conduit à une consommation rapide de l'oxygène disponible, soit à la formation d'une croûte de battance ralentissant l'infiltration de l'eau (figure 4).

Bien que montrant une réaction positive au test, ces horizons ne peuvent cependant être diagnostiqués comme étant réductiques. En conséquence, des précautions sont à prendre pour interpréter les résultats du test. Généralement cette réduction ne se poursuit pas en profondeur.

Les horizons appauvris en fer ou ne contenant pas initialement de fer posent également problème. Les horizons sableux soumis à des engorgements prolongés sont relativement pauvres en fer. Ils expriment rarement des caractères morphologiques de réduction. Le test au Fe(II) y est inopérant. Un suivi par piézomètres ou sondes de mesure de la concentration en oxygène est généralement indiqué mais difficilement conciliable avec des inventaires cartographiques des zones humides.

Variabilité temporelle de la réaction

La réaction au test au Fe(II) peut être également variable suivant les conditions climatiques et tout particulièrement le niveau de pluviométrie et ses conséquences sur les variations spatio-temporelles de l'engorgement du sol en eau. Ainsi, un horizon à taches d'oxydo-réduction ne présentera vraisemblablement pas de réaction positive au test en été, puisque sec. L'état d'humidité du sol et le niveau d'oxygénation de la nappe au moment de l'application du réactif sur le sol sont donc à considérer. Sur un suivi de longue durée, une variation inter et intra-annuelle de la réaction et son intensité au test au Fe(II) (figure 5) ont pu être mises en évidence (Chaplot, 1998; Chaplot et al., 2000), néanmoins une zone constamment réduite réagit au test au Fe(II) tout au long de l'année même en période de faible pluviométrie et d'évaporation forte.

Il est par conséquent nécessaire de coupler les observations morphologiques et l'utilisation du test sur des horizons proches de la saturation.

Figure 4 - 1-Réaction positive sur l'horizon de surface tassé d'un REDOXISOL; **2**-Réaction positive sur l'horizon de surface d'un NEOLUVISOL rédoxique affecté par une croûte de battance.

Figure 4 - 1-Positive reaction over the compacted surface layer of a stagnosol; **2**-Positive reaction over the surface layer of a stagnic cambisol affected by a slaking crust.

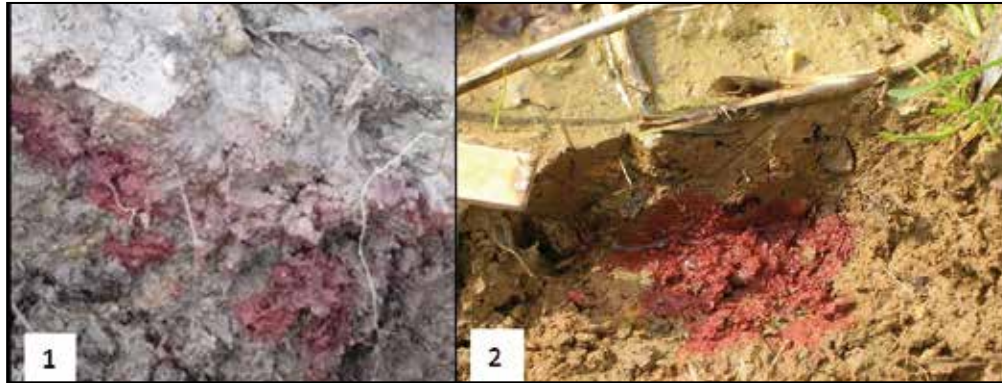


Figure 5 - Evolution temporelle des volumes pédologiques réagissant au test au Fe(II) le long d'une toposéquence (substrat granitique). Années 1996-1997. P1 est la somme de P-ETP entre deux campagnes et P2 la somme des pluies pour les trois jours précédant le relevé (Chaplot, 1998).

Figure 5 - Time evolution of pedological horizons reacting to colorimetric test along a toposequence (granitic substrate). Years 1996-1997. P1 is the sum of the effective rainfall between two field campaigns and P2 the sum of the rainfall during the three days before the observation (Chaplot, 1998).

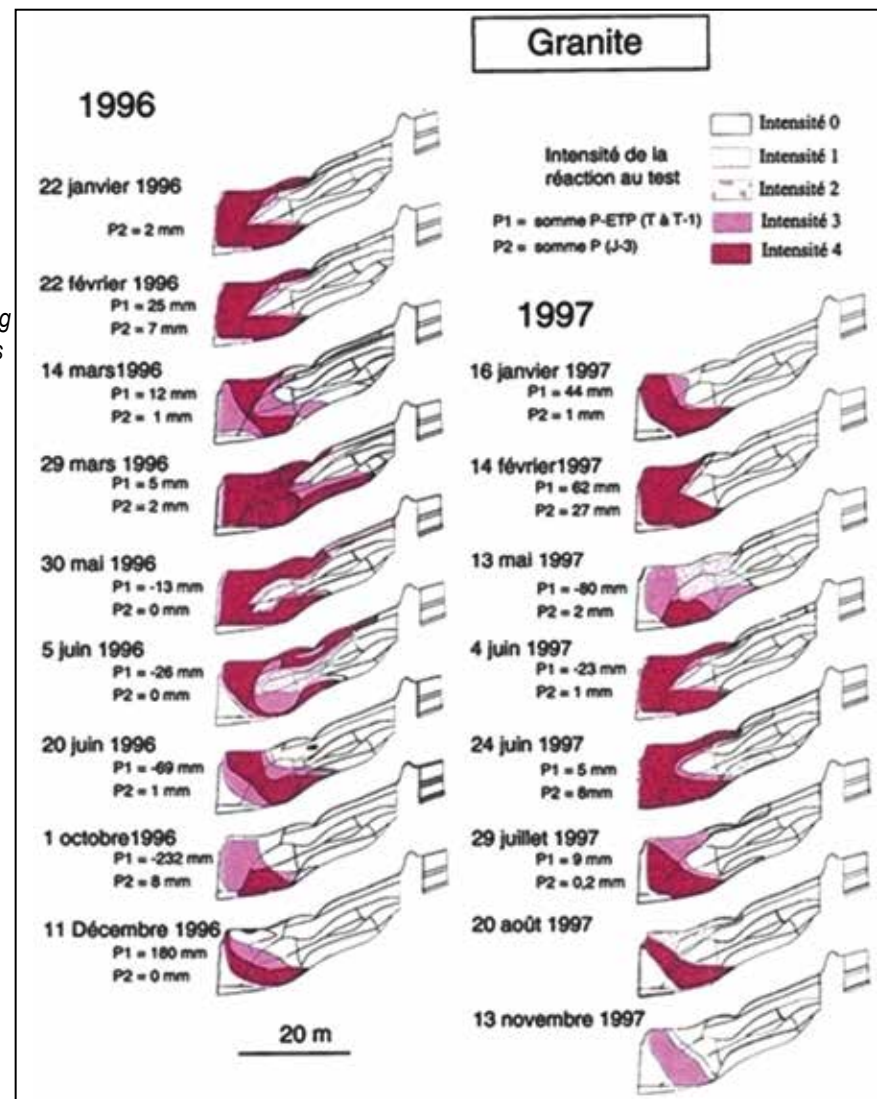
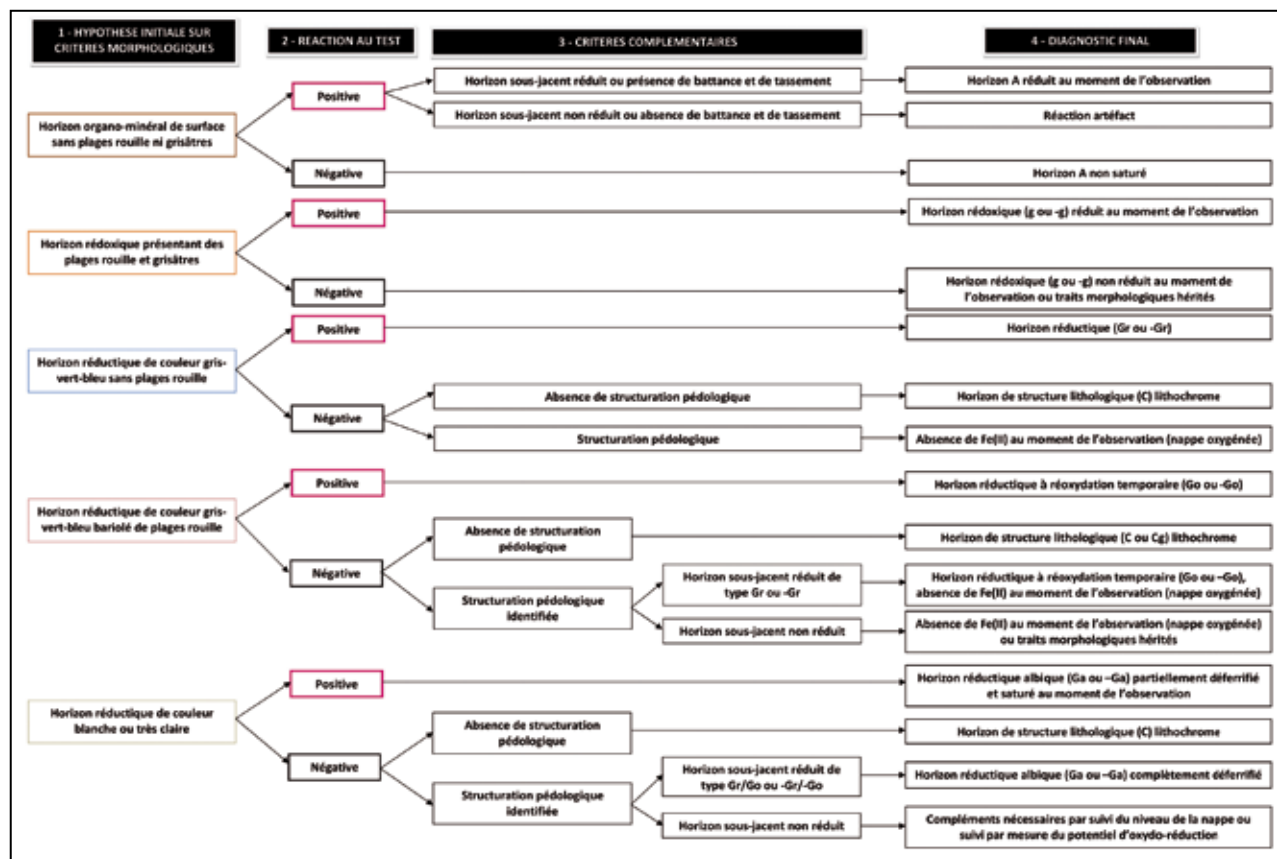


Figure 6 - Détermination du caractère rédoxique ou réducteur sur un échantillon proche de la saturation associant diagnostic morphologique et réaction au test fer.

Figure 6 - Identification of redoxic or reductic conditions of a soil sample combining a morphological diagnosis and a colorimetric test.



Comment élaborer le diagnostic

Nous proposons avec la *figure 6* une aide à l'identification des volumes pédologiques rédoxiques et/ou réducteurs proches de la saturation. En le combinant avec un diagnostic morphologique, le résultat de l'application du test au Fe(II) et d'éventuelles observations morphologiques complémentaires, le test au Fe(II) apporte un éclairage sur le niveau de réduction, le caractère actuel ou passé de l'hydromorphie et le fonctionnement hydrique actuel du sol.

Cette clé de détermination permet notamment de renforcer les diagnostics concernant le caractère réducteur ou non d'horizons sans structuration pédologique lithochrome (horizons dont la couleur est due aux constituants du matériau parental, et non à l'évolution pédogénétique).

L'interprétation doit en outre tenir compte des résultats du test au Fe(II) des différents horizons du sondage ou du profil. En effet, un diagnostic morphologique initial décrivant des horizons Go, -Go, Ga et -Ga structurés pédologiquement associé à un test au Fe(II) négatif nécessite de prendre en compte le

caractère réducteur des horizons sous-jacents (à structuration pédologique ou non) afin d'élaborer le diagnostic final.

CONCLUSIONS

Dans le cadre des inventaires de terrain de délimitation des zones humides, l'utilisation conjointe des observations des traits morphologiques caractéristiques des horizons pédologiques hydromorphes et d'un test de présence du Fe(II) de terrain (à base d'1,10-phénantroline) permet de lever un certain nombre d'incertitudes quant au diagnostic de réduction dans les sols. Une telle approche autorise non seulement l'identification des volumes de la couverture pédologique où les conditions d'oxydo-réduction sont favorables ou non à la mise en solution du Fe(II) mais aussi leur dynamique spatio-temporelle. Utilisée en préalable à l'exercice cartographique le long par exemple d'une toposéquence pédologique de la région étudiée et pour des conditions d'engorgement poussées, cette méthode devrait permettre au pédologue-cartographe de différencier les traits

hydromorphes en relation avec une dynamique d'oxydoréduction actuelle de ceux hérités d'un fonctionnement passé (aujourd'hui dynamique non fonctionnel) ou correspondant à des traits d'altération.

Ce test a été mis en œuvre dans le contexte du Massif armoricain, nous n'avons pas de référence concernant son comportement en milieu calcaire. Il présente néanmoins l'avantage pratique de ne pas contenir d'acide qui pourrait réagir avec les carbonates. Une évaluation de ce test sur des sols calcaires et calciques est à mener.

Nous proposons de mettre en ligne *via* le site Internet Sols de Bretagne (www.sols-de-bretagne) les contributions photographiques (avec des informations concernant la localisation approximative, matériau, la profondeur et des commentaires) relatives aux applications de ce test au Fe(II).

BIBLIOGRAPHIE

- Bachelier G., 1969 - Coloration du fer ferreux dans les profils pédologiques. Cahier ORSTOM, série Pédologie, VII, pp. 283-287.
- Baize D., 2004 - Petit lexique de pédologie. Editions INRA, Paris, 271 p.
- Baize D., et Girard M.-C., 2009 - Référentiel pédologique 2008. Editions QUAE, Versailles, 405 p.
- Bidois J., 1999 - Aménagement de zones humides ripariennes pour la reconquête de la qualité de l'eau - Expérimentation et modélisation. Thèse de l'Université Rennes 1, 243 p.
- Bourrié G., Maître V., et Curmi P., 1994 - Mise en évidence de deux dynamiques saisonnières du fer dans les sols hydromorphes en climat tempéré. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris. II 318, pp. 87-92.
- Bourrié G., Trolard F., Génin J.-M.R., Jaffrezic A., Maître V., et Abdelmoula M., 1999 - Iron control by equilibria between hydroxy-Green Rusts and solutions in hydromorphic soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, pp. 3417-3427.
- Chaplot V., 1998 - Organisation spatiale des sols hydromorphes de fonds de vallée. Modélisation prédictive de leur distribution. Thèse de l'ENSA de Rennes, 280 p.
- Chaplot V., Walter C., Curmi P., et Grimaldi C., 2000 - Caractères d'hydromorphie et variabilité temporelle de la présence de Fe(II) dans les couvertures pédologiques du Massif armoricain. I. Exemple de deux toposéquences sur granite et sur schiste. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series IIA, Earth and Planetary Science*, 330(2), pp. 125-132.
- Childs C. W., 1981 - Fields test for ferrous iron and ferric organic complexes (on exchange sites or in water-soluble forms) in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 19, pp. 175-180.
- Durand P., Charnay M.-P., Jaffrezic A., et Clément B., 2011 - Les zones humides et leurs sols. Chap. 16, *in: Girard et al. éd., Sols et environnement, Dunod, Paris, pp. 378-401.*
- Elless M.-P., Rabenhorst M.-C., et James B.-R., 1996 - Redoximorphic features in soils of the triassic culperer basin. *Soil science*, 161, pp. 58-69.
- Feder F., Bourrié G., et Trolard F., 1998 - In situ continuous monitoring of soil solution chemistry. *Mineralogical magazine*, 62A, 440.
- 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 l'ENSA de Rennes, 296 p.
- Maître V., 1991 - Géochimie des eaux libres extraites de sols hydromorphes sur granite dans le Massif armoricain. Mobilité du fer et dynamique saisonnière. Thèse de l'Univ. de Paris VI, 183 p.
- Mitsch W.J., et Gosselink J.G., 1993 - «wetlands». Second Edition. Van Nostrand Reinhold company, New York, 722 p.
- Soulier A., 1995 - Les formes solides du fer en milieu hydromorphe. Approches géochimiques, morphologiques et minéralogiques. Thèse de l'ENSA de Rennes, 260 p.
- Tassinari C., 1998 - Contribution à l'étude de sols méditerranéens (Languedoc France): caractérisation de leurs nappes et des indicateurs morphologiques associés, thèse, 145 p.
- Vydra F., et Kopanica M., 1963 - 1,10-phenantroline as an analytical reagent: recent advances. *Chemist-Analyst*, 52, pp. 88-94.

