

ANNEXE 4

Référentiel Pédologique Français

ELEMENTS POUR L'ETABLISSEMENT D'UN REFERENTIEL
POUR LES SOLS HYDROMORPHES

Jean-François VIZIER

septembre 1988

233

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 30960
Cote : B EX1

p27

1 - GENERALITES SUR L'HYDROMORPHIE.

Les sols hydromorphes présentent des caractères attribuables à un *excès d'eau*.

L'excès d'eau, dans les sols, peut avoir des causes et des origines variées.

L'excès d'eau peut être dû simplement aux précipitations pour des sols à drainages externe et interne limités (zones horizontales ou sub-horizontales, sols à texture lourde, à argiles gonflantes, à "plancher imperméable", ...). Mais aux précipitations s'ajoutent parfois des apports d'eau complémentaires, superficiels (ruissellement dans des cuvettes, des zones endoréiques, inondation de plaines alluviales ...) ou profonds (remontée de nappe). L'action de l'homme enfin, par des applanissements, des mises en terrasses, des endiguements limitant le drainage externe ou par des apports d'eau complémentaires par irrigation, est aussi susceptible de provoquer un excès d'eau dans les sols.

Des sols subissant un excès d'eau peuvent être observés *sous toutes les latitudes* et dans des *positions topographiques variées*, qu'ils soient ou pas situés dans des zones aménagées par l'homme.

L'excès d'eau est plus ou moins durable dans l'année. Il peut provoquer l'occupation de tout l'espace poral accessible par l'eau - ou *saturation* - d'une partie ou de la totalité des horizons du sol.

Sur le plan de la dynamique de l'eau, la saturation présente des formes différentes suivant la porosité des horizons : *eau liée* dans les horizons dépourvus de pores grossiers, mais aussi *eau libre* lorsqu'il y a une bonne macroporosité; dans ce dernier cas, la saturation se traduit par la présence d'une nappe.

La saturation limite les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Il peut en résulter un *déficit plus ou moins prolongé en oxygène*, qui modifie l'activité biologique du sol. Cette activité biologique particulière et les processus biochimiques, chimiques ou physico-chimiques qui l'accompagnent, ont des conséquences sur *l'organisation et la nature des constituants* du sol : *ségrégation du fer* liée au développement de processus d'oxydo-réduction, *accumulation, composition particulière de la fraction organique*, dues à l'existence de conditions anaérobies.

En l'absence d'oxygène dans le sol, l'activité biologique responsable de l'évolution des différentes fractions de la matière organique (minéralisation, biodégradation ...), apparaît ralentie par rapport à

celle des sols aérés. Il en résulte une accumulation de matière organique et une production de substances propres à ces milieux saturés d'eau. Cette modification de l'activité biologique correspond aussi au développement de micro-organismes anaérobies facultatifs puis stricts qui s'accompagnent de processus d'oxydo-réduction au cours desquels des constituants minéraux du sol (NO_3^- , Mn^{++++} , Fe^{+++} , SO_4^{--} , CO_2), jouent le rôle d'accepteur final d'électrons et sont réduits en présence de matière organique décomposable (respiration anaérobie). Ces réactions d'oxydo-réduction modifient la mobilité relative des constituants minéraux par rapport à celle qui existe dans les sols aérés et conduisent à des redistributions particulières de certains éléments et notamment du fer.

Dans des sols présentant des conditions d'anaérobiose très strictes, des composés organiques peuvent aussi jouer le rôle d'accepteur d'électrons dans les processus d'oxydo-réduction qui s'y développent (fermentation). Les substances organiques solubles présentes dans le sol sont alors rapidement décomposées par ces fermentations qui libèrent des produits gazeux (H_2 , CH_4).

La saturation du sol par l'eau contribue aussi à modifier l'organisation des constituants du sol, en accentuant, lorsque les teneurs et la nature des argiles le permettent, *les variations de l'espace poral* (consolidation succédant par exemple, à un gonflement). Par la fragilisation des agrégats, la déstabilisation de la structure, la saturation peut également modifier *les propriétés mécaniques* du sol (portance).

Sur le plan agronomique, l'hydromorphie est donc à l'origine de *contraintes* liées d'une part au déficit en oxygène (hypoxie, anoxie), pouvant gêner le développement végétatif des plantes cultivées et liées d'autre part aux modifications des propriétés mécaniques du sol, susceptibles d'affecter le déroulement des façons culturales.

2 - LES SOLS HYDROMORPHES. CHOIX DES CARACTERES RETENUS POUR DEFINIR CES SOLS.

Différents processus peuvent se développer dans les sols sous l'effet d'un excès d'eau. Ils provoquent des transformations de l'organisation et de la nature des constituants du sol, mais seuls sont retenus pour définir les sols hydromorphes, les caractères qui apparaissent les plus spécifiques de ce mode particulier d'évolution des sols. Il s'agit de caractères dus au *déficit en oxygène* existant dans ces sols du fait de l'excès d'eau et se traduisant :

- par une *ségrégation du fer*, redistribution particulière de cet élément liée au développement de processus d'oxydo-réduction,

- et par la présence, non obligatoire, d'*humus épais et foncé en surface*, résultant de l'évolution en anaérobiose plus ou moins prolongée de la fraction organique.

Les sols hydromorphes, dans leur acception la plus étroite, présentent exclusivement des horizons ayant ces caractères. Il s'en suit que certains sols subissant un excès d'eau ne sont pas considérés comme étant des sols hydromorphes s.s., soit parce qu'ils n'ont pas de caractères attribuables aux processus d'oxydo-réduction (pélosols, vertisols, histosols, fluvisols, ...), soit parce qu'ils ont des caractères dominants relatifs à d'autres pédogénèses (sols salsodiques marqués par la dynamique des sels, sols sulfatés acides marqués par la dynamique du soufre ...).

3 - HORIZONS PRESENTANT UNE SEGREGATION DU FER ATTRIBUABLE A L'EXISTENCE DE PROCESSUS D'OXYDO-REDUCTION.

Ce sont des horizons qui présentent des *organisations* résultant d'une *répartition particulière du fer*.

Le fer constitue un bon indicateur de l'hydromorphie, en raison de son rôle dans le développement des processus d'oxydo-réduction dans les sols et de la netteté des manifestations qui accompagnent sa réduction (et sa mobilisation) et son oxydation (et son immobilisation).

Lorsqu'un déficit en oxygène apparaît dans un sol saturé d'eau, les nitrates puis les composés manganiques sont les premiers constituants minéraux à jouer le rôle d'accepteur d'électrons et à être réduits. Mais, du fait de leurs teneurs généralement faibles dans les sols, leur rôle est limité dans le temps. Par contre, l'état d'oxydo-réduction du sol saturé d'eau, paraît plus durablement contrôlé par le système fer ferrique/fer ferreux, les composés ferriques représentant une réserve importante d'éléments susceptibles d'accepter des électrons dans les réactions d'oxydo-réduction qui accompagnent le développement de micro-organismes anaérobies facultatifs. Ce n'est que dans des cas d'anaérobiose plus stricte, que les sulfates puis le bioxyde de carbone sont successivement réduits et que se produisent d'éventuelles fermentations.

Le développement des processus d'oxydo-réduction se manifeste de façon très visible, en ce qui concerne le fer, par des variations de couleur - teintes grises du fer réduit, teintes jaune-rouge, brun-rouge du fer oxydé - et une redistribution particulière liée à la plus grande mobilité du fer sous forme réduite.

La *ségrégation du fer* observée dans les sols subissant un excès d'eau est liée au développement de *processus d'oxydo-réduction*.

La réduction du fer peut en effet conduire à des migrations séparées de fer et d'argile, en accroissant la solubilité du fer et ses possibilités

de complexation avec les substances organiques présentes dans le sol. La migration du fer peut s'effectuer selon des modalités différentes : en relation avec les mouvements de l'eau libre ou par diffusion en fonction des gradients chimiques (différences de Eh, de pH, de concentrations en substances réduites), ou hydriques (remontée capillaire sous l'effet d'une forte évaporation) existant dans les sols saturés ou en voie de dessèchement. A l'inverse, l'oxydation, due le plus souvent à la pénétration de l'oxygène dans le sol lors de son dessèchement, provoque une immobilisation du fer, en des sites qui dépendent de la rapidité de l'oxydation et, par conséquent, du dessèchement.

Le développement des processus d'oxydo-réduction, lié à l'activité de micro-organismes, dépend :

- de la durée du déficit en oxygène dans le sol, donc du régime hydrique (durée de saturation, continuité ou discontinuité de la saturation, importance du renouvellement de l'eau saturant la terre);
- de la disponibilité pour les micro-organismes, de substances organiques décomposables (qualité et quantité de matière organique du sol);
- du régime thermique, l'activité biologique étant généralement favorisée par des températures élevées.

Les processus d'oxydo-réduction, modifiant la mobilité du fer, interviennent sur les possibilités de migration donc de redistribution de cet élément dans les sols. Mais cette redistribution dépend aussi de processus biochimiques, chimiques, physico-chimiques (complexation, biodégradation des complexes organo-ferreux, précipitation, dissolution, adsorption, désorption...), dont l'importance est fonction d'autres paramètres se rapportant :

- à la nature et aux teneurs de certains constituants du sol (teneurs et formes de fer, d'argile, présence, abondance de certains cations ou anions, Ca^{++} , SO_4^{--}), au pH;
- à l'organisation des constituants du sol (macroporosité permettant des mouvements d'eau libre, hétérogénéité de la répartition des constituants, génératrice de gradients).

Deux grands types d'horizons peuvent être distingués, en fonction de leur couleur et de la répartition du fer qu'ils présentent (1). Cette répartition est homogène ou hétérogène et se manifeste, dans ce dernier cas, par une ségrégation du fer correspondant à des immobilisations ou accumulations, différentes par leur caractère fugace ou permanent et leur localisation.

(1) Ces deux types d'horizons peuvent être rapprochés des horizons à gley et à pseudogley, termes qui n'ont pas été retenus pour ce référentiel en raison des significations très variables qui leur sont souvent attribuées (voir annexe).

L'*horizon réductique* (symbolisé par la lettre G), est caractérisé par une *couleur dominante grise* (gris-bleuâtre, gris-verdâtre) et une *répartition du fer plutôt homogène*. On peut distinguer deux variantes suivant la continuité ou la discontinuité de la saturation :

- horizon réductique permanent, constamment saturé, de couleur grise;
— horizon réductique temporaire, pouvant présenter des périodes de non saturation, pendant lesquelles on observe une ségrégation du fer sous forme de taches de réoxydation de couleur rouille au contact des vides : dans des canalicules de racines, sur des parois de pores, des surfaces d'agrégats. Il s'agit d'une *redistribution centrifuge de fer* migrant, lors du dessèchement de l'horizon, de l'intérieur des agrégats vers leurs surfaces, les parois des pores, les canalicules des racines, où il s'y immobilise sous forme de fines pellicules d'hydroxydes. Cette *ségrégation est fugace*; les immobilisations de fer disparaissent dès que l'horizon, de nouveau saturé, redevient le siège de processus de réduction et de mobilisation du fer.

Une ségrégation du fer de type *réductique* est donc à attribuer à la prédominance des processus de réduction (et de mobilisation) du fer.

Lorsque la porosité permet le renouvellement de l'eau saturant la terre, les migrations de fer réduit associées aux mouvements de l'eau libre, sont importantes. Elles conduisent à une exportation de fer hors de l'horizon et à un appauvrissement qui peut se traduire, en l'absence d'éléments colorant le sol (matière organique, ...), par un blanchiment. Inversement, quand la macroporosité est peu développée, les migrations de fer réduit s'effectuent surtout par diffusion sur de faibles distances en fonction des gradients existant; l'horizon conserve globalement sa teneur en fer.

Une ségrégation de type réductique peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogénèse tels que l'humification (AG), l'illuviation (BTG), par exemple.

L'*horizon rédoxique* (symbolisé par la lettre-g) est caractérisé par une *juxtaposition de plages, de trainées grises* (ou simplement plus claires que le fond de l'horizon) et de *taches, de nodules voire de concrétions de couleur rouille* (brun-rouge, jaune-rouge,...). La *répartition du fer est très hétérogène*. La couleur des faces des unités structurales, plus claire que celle de leur partie interne, résulte d'une *redistribution*

centripète de fer migrant, lors des périodes de saturation, vers l'intérieur des agrégats où il s'y immobilise quand le dessèchement intervient, souvent rapidement, dans ce type d'horizon. Cette *ségrégation est permanente*; les immobilisations se maintiennent lorsque le sol est de nouveau saturé, tendent peu à peu à former des accumulations localisées de fer, donnant des taches de couleur rouille, des nodules, des concrétions.

Une ségrégation du fer de type *rédoxique* est donc à attribuer au développement successif de processus de réduction et de mobilisation puis d'oxydation et d'immobilisation du fer, intervenant pendant les périodes de saturation puis de non saturation de l'horizon.

Le fer qui se redistribue dans ce type d'horizon peut provenir, dans des proportions plus ou moins importantes, d'horizons sus-jacents ou voisins, en liaison avec la circulation verticale ou latérale de la solution du sol. Il y a alors enrichissement en fer. Un fort enrichissement et une forte hétérogénéité de la redistribution du fer peuvent conduire à la formation d'un horizon non induré *ferrique* (Fe) ou induré *pétroferrique* (Fem).

Une ségrégation de type rédoxique peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'éluviation (Eg), l'illuviation (BTg) ou de processus d'altération tels qu'une décarbonatation plus ou moins poussée et/ou une redistribution d'éléments autres que le fer, comme le carbonate de calcium par exemple (SCig, SCag, Spg).

4 - HORIZONS PRESENTANT UNE COMPOSITION DE LA FRACTION ORGANIQUE ATTRIBUABLE A L'EXISTENCE DE CONDITIONS ANAEROBIES.

Ce sont des horizons qui présentent une plus ou moins grande accumulation de matière organique et des substances dont la nature est propre aux milieux saturés d'eau.

Lorsque la saturation par l'eau atteint la partie superficielle du sol, l'anaérobiose qui s'y développe ralentit la décomposition, la minéralisation de la matière organique fraîche. Elle favorise la production de composés solubles et leur maintien dans le sol, en limitant leur biodégradation. L'insolubilisation de ces composés organiques solubles, pour laquelle des constituants minéraux du sol jouent un rôle important, aboutit à la formation d'acides fulviques et humiques.

L'évolution, la composition de la fraction organique du sol, dépend du développement de processus biologiques et par conséquent :

- de la persistance de conditions anaérobies, donc du régime hydrique, de la durée de la saturation du sol par l'eau, mais aussi du caractère continu ou discontinu de cette saturation;

- du régime thermique, les températures élevées favorisant l'activité biologique du sol.

Des alternances de saturation et de dessèchement du sol, favorisent l'oxydation des matières organiques. Ces alternances tendent à déterminer une évolution et, par conséquent, une composition de la fraction organique proches de celles des milieux bien aérés. L'effet favorable de la température sur l'activité biologique, accroit en régions chaudes, l'importance du caractère continu ou discontinu de la saturation. Dans ces régions en effet, l'évolution rapide constatée en période de non saturation, atténue fortement les caractères particuliers acquis par la fraction organique, lors des périodes de saturation.

La nature des substances organiques du sol et leur stabilité résultent aussi de transformations biochimiques, physico-chimiques ou chimiques (processus de condensation, de polymérisation...), qui dépendent de la végétation qui est à l'origine de l'apport de matière organique fraîche au sol et du milieu minéral dans lequel évolue cette fraction organique (taux de saturation en bases, pH, fer lié aux argiles, carbonate de calcium, ...).

Deux grands types d'horizons peuvent être distingués, en fonction de leur couleur, de leur organisation (structure, mélange plus ou moins intime des fractions organiques et minérales), de leur teneur en carbone organique et parfois des formes que présente leur fraction humifiée.

Ces différences résultent globalement de la diminution de l'activité biologique du sol liée à l'existence de conditions anaérobies (donc de la durée et de la continuité de la saturation du sol par l'eau), qu'il s'agisse de l'activité des micro-organismes intervenant dans la décomposition de la matière organique ou de celle de la microfaune, de la mésofaune ..., qui assure la fragmentation des substances organiques et leur mélange plus ou moins intime à la fraction minérale du sol.

Horizon de surface temporairement saturé d'eau (type hydromull, hydromoder, hydromor).

- couleur dominante gris foncé à gris noir, avec fréquente ségrégation de fer, parfois de type rédoxique (taches de réoxydation dans les agrégats, souvent assez pâles), mais le plus souvent de type réductique (taches dans les canalicules des racines, sur les parois des pores).

- structure fragmentaire fine devenant massive à débit polyédrique ou fragmentaire grossière cubique ou prismatique, quand la durée de

saturation croît; matière organique plus ou moins mélangée à la fraction minérale, suivant l'activité de la faune du sol, qui tend à décroître quand la durée de saturation augmente; horizon parfois surmonté d'une litière.

- taux de carbone organique inférieur à 8% ;
- fraction humifiée avec prédominance d'acides fulviques et d'acides humiques bruns peu polymérisés d'autant plus nette, que la période de saturation est plus longue et la dessiccation du sol qui lui succède moins intense.

Horizon de surface *longuement* saturé d'eau (type ammor - An).

- couleur gris-noir;
- structure massive, toucher onctueux lorsqu'il est saturé d'eau; matière organique assez bien mélangée à la fraction minérale, du fait de l'activité de la mésofaune lors des périodes de non saturation;
- teneur en carbone organique comprise entre 8 et 18% .

Un troisième ensemble d'horizons, observés dans des sols constamment saturés d'eau, présente à la fois une accumulation plus forte et une évolution plus faible de la matière organique. Il s'agit des horizons histiques, dont la teneur en carbone organique est supérieure à 18% et qui caractérisent les histosols.

5 - AUTRES CARACTERES COMPLETANT LA DEFINITION DES SOLS HYDROMORPHES.

La ségrégation du fer, l'accumulation et la composition particulière de la fraction organique, ont été reliées aux processus d'oxydo-réduction, à ceux qui interviennent dans l'évolution de la matière organique en conditions anaérobies et, plus généralement, à la saturation du sol par l'eau. Les horizons présentant ces caractères sont des *horizons de référence* pour les sols hydromorphes s.s. .

Concernant le fonctionnement des sols, les possibilités d'interprétation que suggère la présence de ces horizons de référence, appellent quelques remarques.

Il convient tout d'abord de rappeler que les *caractères* relatifs à la fraction organique ne sont *pas obligatoirement présents* dans les sols hydromorphes, la saturation par l'eau pouvant ne pas atteindre les horizons de surface. Par ailleurs, l'accumulation et la faible évolution de

la fraction organique ne sont pas spécifiques de l'anaérobiose et de la saturation du sol par l'eau, mais beaucoup plus d'une limitation de l'activité biologique pouvant s'observer dans d'autres conditions de pédogenèse (pédoclimat froid, par exemple).

Les caractères observés ne sont pas toujours des indicateurs d'une évolution actuelle des sols sous l'effet d'un excès d'eau. On est alors en présence de caractères reliques.

Cette remarque ne concerne pas les caractères relatifs à la fraction organique, en raison de la rapidité de son évolution et de sa transformation quand les conditions hydriques sont modifiées (par drainage, par exemple), mais beaucoup plus les caractères relatifs à la ségrégation du fer. Une ségrégation de type réductique, avec répartition homogène du fer, témoigne, en général, d'une évolution actuelle dominée par les processus de réduction et de mobilisation du fer. Par contre, une ségrégation de type rédoxique, avec répartition hétérogène du fer, peut se conserver au-delà du maintien des conditions hydriques dans lesquelles elle s'est formée.

Ces caractères enfin, ne permettent pas toujours d'évaluer l'hydromorphie en terme de durée de saturation du sol par l'eau. Des relations existant entre ces caractères et un certain "degré d'hydromorphie" exprimable en durée de saturation par l'eau, sont établies localement, assez souvent en régions tempérées, plus rarement en régions chaudes.

Les deux types de ségrégation du fer (réductique et rédoxique) apparaissent plus directement reliés à la prédominance des processus de réduction, de mobilisation, d'oxydation et d'immobilisation du fer, qu'aux variations d'un des nombreux paramètres intervenant sur le développement de ces processus et en particulier, la durée de saturation du sol par l'eau. De la même manière, l'intervention de nombreux paramètres sur l'évolution de la matière organique, peut se traduire, pour des sols subissant une saturation de même durée, par une composition de la fraction organique très différente, suivant le climat (froid, tempéré ou chaud), la végétation qui couvre le sol, le milieu minéral dans lequel évolue cette matière organique (pH, taux de saturation en bases, ...).

Des remarques précédentes, il ressort que la définition des sols hydromorphes, basée sur la présence d'horizons de référence, doit être précisée par d'autres données relatives au milieu. Ces qualificatifs complémentaires apportent une information plus précise sur :

- les causes, l'origine, la forme de l'excès d'eau, donc sur le caractère actuel ou ancien de l'évolution hydromorphe;
- les conséquences de l'excès d'eau, autres que les transformations de l'organisation et de la nature des constituants du sol, déjà retenues pour définir les horizons de référence.

Parmi les qualificatifs complémentaires se rapportant à l'origine, la cause de l'excès d'eau, on peut noter :

- excès d'eau d'origine pluviale;
- apport d'eau complémentaire, en surface (par ruissellement, inondation, suivant le modelé, la position du sol dans le paysage), en profondeur (présence d'une nappe);
- drainage interne limité (texture lourde), présence d'un "plancher" imperméable "naturel" ou anthropique (semelle de labour, horizon compacté);
- présence d'un système de drainage (limitant et peut être supprimant l'excès d'eau).

Concernant la forme sous laquelle se manifeste la saturation par l'eau, on peut distinguer :

- présence d'une submersion (faisant éventuellement suite à des apports d'eau par ruissellement, inondation, ...);
- nappe perchée, circulante ou stagnante;
- saturation par imbibition (eau capillaire).

Parmi les qualificatifs se rapportant aux conséquences de l'excès d'eau autres que les transformations ayant permis de définir les horizons de référence, on peut signaler :

- redistribution visible d'éléments autres que le fer (CaCO_3 , Mn^{2+} , par exemple);
- signes visibles, macroscopiquement ou microscopiquement, de transport de matière, attribuables à des processus de dégradation des minéraux argileux,
 - = par complexolyse, due à la présence, en milieu acide, de substances organiques très agressives (pseudopodzolisation);
 - = par ferrololyse, due au changement de l'état d'oxydation du fer.
- ...

CONCLUSIONS

Les éléments précédents doivent permettre d'établir un référentiel pour les sols hydromorphes. Ces sols peuvent être "classés" en fonction de la nature des horizons de référence observés et de la profondeur à laquelle ils se trouvent.

JUSTIFICATION DE L'ADOPTION D'UNE NOUVELLE TERMINOLOGIE
POUR DEFINIR LES HORIZONS A SEGREGATION DE FER DES SOLS HYDROMORPHES

Les termes de gley et de pseudogley n'ont pas été retenus pour définir les horizons à ségrégation de fer des sols hydromorphes, dans ce référentiel pédologique. Les quelques remarques suivantes constituent des arguments en faveur de l'abandon de ces termes, d'où la nécessité d'introduire une nouvelle terminologie.

1 - ORIGINE DES TERMES DE GLEY ET DE PSEUDOGLEY (Zaydel'man, 1965).

Le terme de gley a été proposé en 1905 par Vysotskiy, pour désigner un matériau plus ou moins compact gris avec des nuances verdâtres, qui apparaît sous l'effet d'un excès d'eau. Cet auteur note qu'un trait caractéristique du gley est la réduction de composés ferriques en composés ferreux. Cette réduction est influencée par l'activité de micro-organismes anaérobies; les composés ferreux sont oxydés et précipités dans les "niveaux" aérés du sol, sous forme de taches de couleur ocre. L'aluminium est aussi libéré pendant le processus de gleyification, mais l'importance de sa mobilisation est moindre que celle du fer.

D'autres auteurs observent plus tard (Vogel, Grupe - 1909, 1914), des sols forestiers saturés par des eaux de surface. Ces sols présentent alternativement des périodes d'excès d'eau et de fort dessèchement. L'explication du blanchiment de leurs horizons superficiels par une réduction du fer, par l'eau contenant des substances organiques, permet de les distinguer des sols podzoliques. En 1922, Linstov apporte des précisions complémentaires sur ces sols, en notant que par rapport au matériau originel, ils ne présentent pas de variations de teneur en aluminium, potassium, sodium, mais qu'ils sont appauvris en fer, calcium et magnésium.

En 1939, Krauss établit un groupe de sols à gley, dont la formation est influencée par une nappe souterraine, tandis que des sols formés sous l'effet d'un excès d'eau en surface, sont regroupés en sols "semblables au gley" (gleiartige Böden, gley-like soils). Ce n'est qu'en 1953, que Kubiena proposera le terme de pseudogley pour désigner ces derniers sols.

2 - UTILISATION DES TERMES DE GLEY ET PSEUDOGLEY EN FRANCE.

Les termes de gley et de pseudogley ont été largement utilisés en France et à l'étranger, avec des significations assez différentes, comme le montrent les quelques exemples présentés ci-après, exclusivement relevés dans la littérature française.

Le terme de gley par exemple, peut ainsi désigner un horizon, un faciès, un sol, un aspect du sol, un processus ou un phénomène.

Il peut s'agir d'un horizon dont la "formation est liée à la présence d'un niveau d'eau à faible profondeur, déterminant par ses variations saisonnières, une zone alternativement réductrice et oxydante" (Demolon, 1966). Citant Bétrémieux (1951), il est précisé dans ce même ouvrage, que "la migration du fer à l'état de complexes organiques se produit naturellement dans la formation du gley des sols argileux, lorsqu'il existe à faible profondeur, un niveau saturé d'eau dont les fluctuations entraînent temporairement des conditions d'anaérobiose".

Dans la classification des sols (CPCS, 1967), le gley désigne aussi un horizon, mais l'accent est mis sur la durée de l'engorgement (engorgement prolongé) et la prépondérance de la réduction sur l'oxydation; ce qui se traduit par des teintes dominantes grises, verdâtres ou bleutées de chroma égal ou inférieur à 2, qui caractérisent l'horizon.

Le terme de gley est également utilisé pour désigner tous les éléments du "faciès particulier qu'un profil peut prendre sous l'effet des oscillations d'une nappe et des alternances brutales des conditions du milieu qui en dérivent" (Gaucher, 1968). A ces alternances des conditions du milieu, sont associées des variations de couleurs des "composés du fer qui témoignent de la présence d'un gley", "les teintes jaune et rouille caractérisant les dépôts formés dans les phases d'oxydation et les colorations grises, bleutées ou noirâtres, ceux résultant des phases de réduction". Cet auteur insiste sur le fait que les pédologues retiennent surtout le caractère "réduit" - au minimum d'oxydation - mais "que ce n'est qu'un aspect du gley, celui de l'engorgement" et que "l'autre ne peut être éliminé".

Le terme de gley désigne aussi des sols, se formant par exemple, dans des dépressions ou des plaines alluviales caractérisées par une nappe alimentée souterrainement (Duchaufour, 1977).

Le gley peut enfin permettre de décrire un aspect du sol et un phénomène (Hénin et al., 1969). Il s'agit alors de "zones où la terre prend une couleur bleu-gris" et il est indiqué par ailleurs, que "l'existence de gley dans un sol pendant une durée de l'ordre de 15 jours à un mois au moment de la croissance active" des plantes, "provoque des baisses de rendement ... sur le maïs et sur le blé".

A travers ces quelques exemples, on peut constater qu'un même terme désigne des objets ou des concepts différents. On lui associe surtout des durées de saturation très variables (engorgement temporaire ou prolongé) dont résulte une prédominance des phénomènes de réduction ou une alternance de conditions réductrices et oxydantes. Ces différences se traduisent aussi sur le plan morphologique, par des teintes grises dominantes ou par des teintes grises et des teintes de couleur rouille, jaune.

L'utilisation du terme de pseudogley est moins fréquente. Dans la classification CPCS (1967), il s'agit d'un horizon à engorgement périodique où se produit une alternance de réduction et d'oxydation avec redistribution du fer. Cet horizon est caractérisé par des taches ou des bandes grisâtres et ocre ou rouille. La définition ainsi donnée dans cette classification est proche de celle adoptée pour le gley par certains auteurs. En outre, comme la morphologie du "pseudogley" varie selon le type d'horizon affecté par les phénomènes d'oxydo-réduction (Ag, Eg, BTg, ...), certains auteurs (Plaisance, 1958) ont introduits des termes de remplacement pour désigner certains faciès (par exemple, marmorisation, ...).

Le pseudogley désigne aussi très souvent un sol à nappe temporaire perchée d'origine pluviale et, de ce fait, distinct du gley qui est considéré comme étant un sol dont la formation est due à l'action d'une nappe phréatique permanente (Duchaufour, 1977). Cette distinction entre les deux types de sol, est proche de celle effectuée par Krauss (1939) et les classificateurs d'Allemagne et d'Europe Centrale; elle correspond parfois, dans ces régions, à des processus d'oxydo-réduction différents par leur intensité, mais elle ne permet pas de décrire toutes les situations rencontrées. Les conditions sont modérément réductrices dans le pseudogley, mais il existe des sols où, par suite d'une saturation par des eaux de surface, ces conditions deviennent très réductrices. L'observation de cette variante importante, dans les sols à hydromorphie de surface, est à l'origine de l'emploi d'un terme nouveau : le stagnogley.

Très souvent l'information fournie par le simple emploi des termes de gley et de pseudogley apparaît insuffisante; ceci incite de nombreux auteurs à introduire de nouveaux termes formés à partir du mot "gley". C'est le cas du stagnogley, mais aussi de l'amphigley qui désigne un sol affecté par deux nappes, l'une perchée, l'autre profonde. Indépendamment de la localisation de l'hydromorphie dans le sol (en surface, en profondeur), de son "intensité", la nature des constituants de ces sols, la conservation ou l'élimination des produits formés lors de l'évolution du sol sous l'effet de l'excès d'eau, mises en évidence par des analyses, des mesures réalisées in situ, ..., sont aussi parfois précisées par l'introduction d'autres termes formés par l'adjonction de divers préfixes au mot "gley" (néogley, orthogley, paragley, ékligley, ...).

3 - CONCLUSIONS

Les ambiguïtés créées par les diverses acceptions attribuées au cours du temps aux mots gley et pseudogley, par leur fréquente assimilation à des concepts permettant de désigner aussi bien des horizons que des sols, voire des processus et des formes d'excès d'eau, incitent à préconiser leur abandon à l'occasion de l'élaboration du Référentiel pédologique français. Il est proposé de les remplacer par les termes de réductique et de rédoxique, déjà utilisés dans la littérature (Blume, 1985).

Ces nouveaux termes sont simplement définis en fonction de ce qui constitue une des caractéristiques principales des sols hydromorphes s. s., la ségrégation du fer : homogénéité ou hétérogénéité de la répartition du fer, ségrégation se manifestant par des immobilisations ou des accumulations de fer très différentes par leur caractère permanent ou fugace et leur localisation par rapport à l'organisation générale de la phase solide du sol.

Les informations complémentaires acquises sur le sol, concernant la localisation, l'origine de l'excès d'eau, la présence de certains constituants, sont fournies par des "qualificatifs complémentaires", décrivant clairement, et non plus par l'emploi de préfixes, les situations observées.

Toutefois, la symbolisation de ces horizons (G, g), difficilement modifiable et largement admise sur le plan national ou international, a été conservée.

HORIZONS HYDROMORPHES A SEGREGATION DE FER *

1 - DEFINITION PEDOGENETIQUE ET CARACTERISTIQUES MAJEURES DES HORIZONS HYDROMORPHES A SEGREGATION DE FER.

Les horizons hydromorphes à ségrégation de fer sont caractérisés par une répartition particulière du fer, liée au développement de processus d'oxydo-réduction, dû à une plus ou moins longue saturation par l'eau.

Ces processus d'oxydo-réduction, modifiant la mobilité relative des constituants du sol par rapport à celle des sols aérés, s'accompagnent de processus de mobilisation du fer qui sont à l'origine de la redistribution particulière de cet élément dans les horizons de sols saturés d'eau.

Suivant la porosité de l'horizon, sa position dans le sol, dans le paysage, cette redistribution peut s'accompagner d'un appauvrissement ou d'un enrichissement de l'horizon en cet élément.

La répartition du fer observée, n'est pas toujours actuelle; la ségrégation peut en effet se conserver au-delà du maintien des conditions hydriques dans lesquelles elle s'est développée; il s'agit alors de caractères reliques.

2 - PRINCIPAUX CARACTERES

Il s'agit de caractères concernant le fer et sa répartition particulière.

CARACTERES OBSERVABLES A L'OEIL NU

Ils se rapportent à la couleur et à la présence d'éléments riches en oxyhydroxydes de fer de forme nodulaire, en concrétions ou carapace.

- Couleur de l'horizon (référence Munsell) :

= soit relativement uniforme, avec des teintes dominantes grises (N .; 5Y .), gris verdâtre (5BG .; 5G .; 5GY .) ou gris bleuâtre (5B .), mais toujours proches du "neutre" (chroma inférieur ou égal à 2).

= soit ségrégation de couleur, sur un fond de teinte variable (en général de 7,5YR . à 5Y .), juxtaposition de traînées grises de chroma inférieur ou égal à 2 et de taches de teinte jaune rouge (2,5YR . à 10YR .) plus ou moins vives (chroma généralement supérieur à 4 souvent égal à 6 ou 8).

- Localisation des taches par rapport à l'organisation générale de l'horizon, la porosité, les agrégats, les canalicules de racines.

- Permanence ou fugacité de cette ségrégation de couleur.

- Présence de nodules, de concrétions formant parfois carapace, de couleur analogue à celle des taches.

* Hors processus d'éluviation, illuviation, podzolisation, ..

CARACTERES OBSERVABLES MICROSCOPIQUEMENT

On observe, en particulier, une séparation de l'argile et des oxyhydroxydes de fer, dans différents types d'assemblage :

- type 1, horizons superficiels, assemblage de type intertextique, avec plasma organique noyant le squelette, liaison matière organique-fer, sous forme d'accumulations discontinues en bandes plus ou moins horizontales (iwatoka), ou accumulation discontinue de fer dans les canalicules des racines. Les oxyhydroxydes de fer apparaissent peu biréfringents en lumière polarisée (peu ou mal cristallisés).
- type 2, assemblage intertextique avec vides plus ou moins abondants (horizons plus ou moins poreux), avec juxtaposition de plasma gris-jaune déferrifié et de plasma de couleur jaune-rouge fortement enrichi en hydroxydes de fer plus ou moins bien cristallisés (biréfringence en lumière polarisée).
- type 3, assemblage aggloméroplasmique (horizons peu poreux, argileux), à plasma dense, jaune gris avec des globules d'hydroxydes brun foncé. Le fer, tout en étant "mêlé" à l'argile reste "individualisé" sous forme de globules.
- type 4, assemblage de type porphyrosquelique, plasma dense d'hydroxydes de fer, au niveau des nodules et des concrétions.

CARACTERES ANALYTIQUES ET PARAMETRES MESURABLES "IN SITU"

- Dosage du fer "total"
 - = Sur des prélèvements de petits volumes correspondant à des bandes ou traînées grises, des taches de couleur jaune rouge, des nodules, des concrétions, il est possible de mettre en évidence des variations très sensibles de teneur en fer au sein d'un même horizon;
 - = Globalement, mise en évidence d'un appauvrissement ou d'un enrichissement en fer par rapport aux horizons ou sols voisins.
- Diffractométrie RX
 - Mise en évidence de composés du fer plus ou moins bien cristallisés.
- Mesures "in situ" de Eh, pH et prélèvements pour le dosage du fer réduit, mettant en évidence de fortes variations de ces paramètres en fonction de l'état hydrique de l'horizon (non saturé ou saturé, durée de saturation).
- ...

3 - PRINCIPAUX TYPES D'HORIZONS HYDROMORPHES A SEGREGATION DE FER.

On distingue deux grands types d'horizons, en fonction de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité de la répartition du fer. Dans chacun de ces types, on observe plusieurs sous-types correspondant à différents "degrés" d'homogénéité ou d'hétérogénéité et à un appauvrissement ou un enrichissement en fer de l'horizon.

3.1 - Horizons à répartition homogène du fer : Type réductique.

La répartition homogène du fer est liée à la prédominance des processus de réduction et de mobilisation de cet élément, qui se développent lors des périodes de saturation de l'horizon par l'eau.

= Horizon réductique permanent Gr

Constantement, ou presque, saturé d'eau, cet horizon présente une couleur uniforme de teinte grise de chroma inférieur ou égal à 2;

= Horizon réductique temporaire Go

Lors des périodes de non saturation, cet horizon présente une ségrégation de couleur avec des taches de teinte jaune-rouge, au contact des vides : dans les canalicules de racines, sur les surfaces des pores ou de certains agrégats. Ces taches correspondent à des immobilisations de fer (réoxydé), qui disparaissent lors de la période de saturation suivante.

Au microscope, les lames minces réalisées dans les horizons réductiques révèlent des assemblages de types 1 et 3. Bien que réparti de façon assez homogène, le fer est nettement "dissocié" de l'argile.

Ces horizons sont parfois appauvris en fer. Les caractères qu'ils présentent, sont presque toujours le témoignage d'une évolution actuelle du sol sous l'effet d'un excès d'eau.

3.2 - Horizons à répartition hétérogène du fer : Type rédoxique.

La répartition hétérogène du fer est liée à l'alternance de processus de réduction et de mobilisation, puis d'oxydation et d'immobilisation du fer, intervenant lors des périodes de saturation puis de non saturation de l'horizon.

= Horizon rédoxique g

La juxtaposition de plages de teintes grises ou plus claires que le fond de l'horizon (appauvries en fer) et de taches de teinte jaune-rouge (enrichies en fer), localisées à l'intérieur des agrégats, met en évidence l'hétérogénéité de la répartition du fer. Cette ségrégation de couleur est permanente, visible quel que soit l'état hydrique de l'horizon (saturé ou non saturé d'eau). On peut observer des accumulations de fer sous forme de nodules ou de concrétions

Au microscope, les lames minces réalisées dans les horizons rédoxiques, révèlent des assemblages de types 2 et 4.

Ces horizons peuvent être enrichis en fer, par rapport aux horizons voisins. Lorsque cet enrichissement est fort, on observe les variantes suivantes : horizon non induré, ferrique ou horizon induré, pétroferrique. Les horizons rédoxiques (et les variantes ferrique et pétroferrique) peuvent témoigner d'une évolution actuelle sous l'effet des alternances de saturation et de non saturation; mais ils peuvent aussi présenter une répartition hétérogène du fer, qui s'est conservée au-delà du maintien des conditions hydriques dans lesquelles elle s'est développée. Il s'agit alors de caractères reliques.

TABLEAU PRESENTANT LES HORIZONS HYDROMORPHES A SEGREGATION DE FER (JF. VIZIER, 1988)

	REPARTITION HOMOGENE DU FER TYPE REDUCTIQUE		REPARTITION HETEROGENE DU FER TYPE REDOXIQUE	
Répartition du fer et Teneurs par rapport aux horizons voisins	répartition homogène parfois appauvri en fer	hétérogénéité temporaire parfois appauvri en fer	hétérogénéité permanente parfois enrichi en fer	forte hétérogénéité permanente fortement enrichi en fer
Caractères observables à l'oeil nu	couleur uniforme teinte grisé chroma inférieur ou égal à 2	ségrégation de couleur fugace, immobilisation d'hydroxydes au contact des vides	ségrégation de couleur permanente, accumulation d'hydroxydes dans les agrégats parfois nodules	ségrégation de couleur permanente, accumulation d'hydroxydes, souvent nodules ou concrétions
Caractères observables au microscope	assemblages de types 3 et (1)	assemblages de types 1 et 3	assemblages de types 2 et (4)	assemblages de types 4 et 2
Type d'horizon et symbolisation	horizon réductique permanent Gr	horizon réductique temporaire Go	horizon rédoxique -g	horizon non induré ferrique : Fe horizon induré pétroferrique : Fem

Bibliographie sommaire

- J. Berthelin, *Pédologie*, 1982, XXXII, 3, p. 313-328.
- Ph. Duchaufour, *Pédologie, Pédogenèse et classification*, Masson, Paris, 1977, 477 p.
- J.C. Favrot, *Séminaire Sol et Eau, Colloques et Séminaires ORSTOM*, 1985, p. 551-577.
- J.C. Munch et J.C.G. Ottow, *Science du Sol*, 1983, 3/4, p. 205-215.
- W.H.Jr Patrick, *Proceedings of symposium on paddy soils*, 1981, p. 107-117.
- F.N. Ponnampetuma, *Advances in agronomy*, 1972, 24, p. 29-96.
- J.F. Vizier, *Travaux et Documents ORSTOM*, 1983, 294 p.

OUVRAGES ET ARTICLES CITES

- Zaydel'man, *Soviet Soil Science*, 1965, p. 1408-1419.
- Demolon, *Dynamique du sol*, Dunod, Paris, 1966, 520 p.
- CPCS, *Classification des sols*, 1967, 87 p. multig.
- Gaucher, *Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques*, Dunod, Paris, 1968, 578 p.
- Duchaufour, *Pédologie. Pédogenèse et classification*, Masson, Paris, 1977, 477p.
- Hénin, Gras, Monnier, *Le profil cultural*, Masson, Paris, 1969, 332 p.
- Plaisance, Cailleux, *Dictionnaire des sols*, La Maison rustique, Paris, 1958.
- Blume, *Iron in soils and clay minerals*, Kluwer Academic Publishers, 1985, p. 749-777.