

Les phénomènes d'hydromorphie en régions tropicales à saisons contrastées

Application à une meilleure caractérisation des concepts de gley et de pseudogley

Jean-François VIZIER*

SOMMAIRE

Des sols subissant un excès d'eau dans des conditions variées, ont été étudiés dans des régions tropicales à saisons contrastées. Des différenciations liées à la redistribution du fer ont permis de distinguer divers horizons. Ces différenciations ont été rattachées aux caractères morphologiques du gley et du pseudogley. Leur formation a pu être expliquée grâce à l'étude de la dynamique saisonnière de l'eau et du fer. La formation de ces différenciations est plus facilement reliée à la prédominance de processus conduisant à la mobilisation ou à l'immobilisation du fer, qu'à la nature et la durée de la saturation d'un horizon par l'eau.

INTRODUCTION

Dans les sols subissant un excès d'eau en régions tropicales à saisons contrastées, le développement des phénomènes d'hydromorphie est influencé par deux caractéristiques du climat : *l'alternance de saisons humide et sèche* et la *permanence de températures élevées*.

Les précipitations sont irrégulièrement réparties dans l'année. Pendant les cinq à sept mois de la saison humide, elles représentent plus de 90 % du total annuel des pluies. L'origine de l'excès d'eau dans les sols peut être liée directement à la *fréquence des précipitations* pendant la saison humide. Elle doit aussi parfois être attribuée à des *apports d'eau extérieurs au sol*, en surface (par inondation, ruissellement) ou en profondeur (par remontée d'une nappe). Le contraste accentué existant entre saisons humide et sèche, se traduit généralement dans ces sols, par *l'alternance de périodes de saturation et de dessèchement* de longueurs variables; les phénomènes d'hydromorphie présentent une dynamique saisonnière.

Les *températures élevées* (pas de moyennes mensuelles inférieures à 20 °C; favorisent le développement de certains phénomènes d'hydromorphie de nature physico-chimique ou biologique (la réduction du fer, par exemple). De faibles variations thermiques journalières, sont en outre enregistrées en saison humide, pendant les périodes de saturation du sol par l'eau.

L'étude de la dynamique de ces sols peut permettre de mieux appréhender l'importance relative des différents phénomènes intervenant dans la différenciation des profils et une meilleure caractérisation des termes de gley et de pseudogley qui leur sont appliqués.

1. APERÇU GÉNÉRAL SUR L'HYDROMORPHIE ET LES CONCEPTS DE GLEY ET DE PSEUDOGLEY

1.1. GÉNÉRALITÉS

L'excès d'eau dans un sol, peut affecter une partie ou la totalité du profil. Il provoque la *saturation*, lorsque tout l'espace poral accessible est occupé par l'eau. La saturation est à l'origine du développement de phénomènes :

- de nature *mécanique*, consolidation faisant suite au gonflement, modifiant la densité apparente, la macroporosité et influençant la circulation des fluides ;
- de nature *physico-chimique, biologique*, déterminant une évolution particulière des substances organiques et d'importantes redistributions de certains constituants des sols.

Une des conséquences de la saturation par l'eau, est la limitation des échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. La diffusion de l'oxygène par exemple, est dix mille fois plus lente dans un sol saturé que dans un sol bien drainé (HOWELER et BOULDIN, 1971). Il s'en suit que dans un sol saturé d'eau, l'oxydation des substances organiques n'est plus assurée par l'oxygène mais par la réduction de substances minérales : nitrates, composés manganiques, ferriques... Ces réductions sont surtout liées à l'activité de micro-organismes anaérobies (TAKAI *et al.*, 1963; DARAGAN, 1967; SIUTA, 1967...).

La *réduction du fer* favorise la *mobilisation* de cet élément dans le sol saturé. Elle conduit à sa *redistribution* dans les profils et sa ségrégation sous forme de taches de couleur, de nodules ou de concrétions, qui constituent une des manifestations les plus visibles de l'hydromorphie. Il est donc normal que de nombreuses études aient cherché à attribuer au *fer* un rôle d'*indicateur de l'hydromorphie*. Elles ont abouti à des classifications de sols hydromorphes, à des définitions du degré de saturation du sol par l'eau ou encore à des niveaux de tolérance en substances réduites pour les plantes cultivées (JEFFERY, 1961; DUCHAUFOUR, 1968...).

1.2. LES CONCEPTS DE GLEY ET DE PSEUDOGLEY

En 1905, VYSOTSKYI propose le terme de *gley* pour définir un matériau gris-verdâtre plus ou moins compact, qui apparaît lorsqu'il y a excès d'eau. Les traits caractéristiques du gley, sont dus à la réduction « d'oxydes ferriques » en « oxydes ferreux » et à la mobilisation du fer.

Entre 1909 et 1914, GRUPE, VOGEL *et al.* (1) étudient des sols subissant un excès d'eau temporaire en surface et les distinguent des sols podzoliques sous le nom de « Molkenböden ». Plus tard, KRAUSS *et al.* (1) opposeront les sols à gley résultant d'une hydromorphie de profondeur, aux sols dont la formation est liée à une hydromorphie de surface. Pour ces derniers, les dénominations de « gleiartige Böden » ou de « surface-gleyed-gley-like soils », resteront largement utilisées jusqu'à ce que KUBIENA propose en 1953, le terme de *pseudogley*. En 1963, le pseudogley sera défini par MUCKENHAUSEN, comme un type de sol des pays à climat tempéré et humide. Son profil présente des taches de couleurs vives et des rayures grises. Sa formation est due à une hydromorphie de surface ou à une nappe perchée temporaire. Dans la partie du profil saturée, le fer peut être réduit et mobilisé. Pendant les périodes sèches, la nappe disparaît ; le fer est alors précipité et réoxydé.

Les termes de gley et de pseudogley permettent donc « apparemment » de bien distinguer des sols caractérisés par une ségrégation du fer due à des processus d'oxydo-réduction, d'après :

- leur aspect morphologique (matériau gris-verdâtre ou rayures grises et taches de couleurs vives) ;

(1) Cités par ZAYDEL'MAN, 1965.

— la nature et la durée de l'hydromorphie, de surface ou de profondeur, la saturation alternant avec le dessèchement dans le premier cas.

Cette distinction aboutit à l'établissement de véritables concepts de gley et de pseudogley qui ont été fréquemment, mais aussi très diversement employés, suivant les milieux étudiés.

2. LES PHÉNOMÈNES D'HYDROMORPHIE DANS LES RÉGIONS TROPICALES A SAISONS CONTRASTÉES. UN EXEMPLE : LES SOLS INONDABLES DE LA PLAINE DU LOGONE CHARI DANS LA CUVETTE TCHADIENNE

2.1. LES PROBLÈMES POSÉS ET LA MÉTHODOLOGIE

Dans les régions tropicales à saisons contrastées et en Afrique en particulier, l'hydromorphie a fait l'objet de nombreuses études, dans des sites très variés : plaines et dépressions des grandes cuvettes africaines, vallées alluviales, petites vallées encaissées, glacis... (D. MARTIN, 1969; VIZIER, FROMAGET, 1970; KALOGA, 1971; BERTRAND, 1973; GAUVAUD *et al.*, 1976; VIZIER, 1974, 1978).

Si les termes de gley et de pseudogley ont été utilisés, l'établissement de relations existant entre l'aspect morphologique des sols et la nature et la durée de l'hydromorphie, s'est souvent avéré difficile. Plusieurs solutions ou propositions ont été envisagées : emploi des concepts de gley et de pseudogley dans des milieux différents de ceux dans lesquels ils ont été définis, recherches sémantiques visant à introduire une terminologie propre aux régions tropicales, étude de la dynamique actuelle de ces sols précisant les relations existant entre leur organisation et leur fonctionnement. Cette dernière solution a été retenue pour l'étude des sols inondables de la plaine du Logone-Chari, qui vont être pris en exemple.

Ces sols ont été étudiés plus particulièrement, sur une toposéquence située dans la partie septentrionale de la plaine du Logone-Chari (VIZIER, 1974). La séquence est implantée suivant l'axe de plus grande pente d'une petite dépression endoréique. Malgré la faible dénivelée (20 cm sur 70 m), les sols sont diversement marqués par l'hydromorphie ; ceux de la partie basse sont inondables par accumulation des eaux météoriques pendant la saison humide (cf. figure 1).

Les études réalisées sur ces *sols inondables*, ont porté sur :

— l'*organisation* et la nature de leurs constituants (observations morphologiques à différentes échelles, analyses donnant la nature, le sens des variations et la répartition des constituants) ;

— leur *fonctionnement*

= *in situ*, avec les suivis de l'*état hydrique* (variations de l'humidité, de la porosité, du niveau de la nappe, de l'extension de l'inondation), de l'*état d'oxydo-réduction* (variations de E_h et des teneurs en fer réduit) et d'autres paramètres relatifs à « l'environnement physico-chimique » (températures, pH) ;

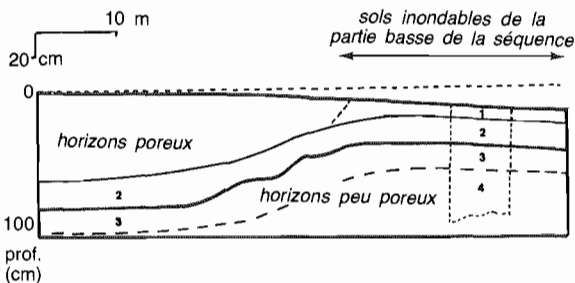
= données de terrain complétées par l'étude du *comportement du fer* sur des monolithes ou des colonnes de terre saturée, *en laboratoire*, précisant l'allure des phénomènes de réduction, mobilisation et de migration du fer ;

— les *relations* existant entre l'*organisation* et le *fonctionnement* de ces sols.

Il est à noter, que les *sols inondables* ne représentent qu'une partie de l'ensemble cohérent que forme cette séquence sur le plan de l'organisation et du système qu'elle constitue sur le plan du fonctionnement. Indiquons par exemple, que (cf. figure 1) :

— les différents horizons, caractérisés par des traits pédologiques se rapportant à la redistribution du fer, ont été observés à des profondeurs variables sur l'ensemble de la séquence où il a été possible d'en préciser l'organisation spatiale ;

— les mouvements latéraux d'eau, mis en évidence dans ces sols, lient les fluctuations de la nappe dans les parties médiane et haute de la séquence, à l'inondabilité des sols de la partie basse (VIZIER, 1974).



horizons poreux $d_{app.} < 1,5$

1 gley de surface

2 pseudogley poreux

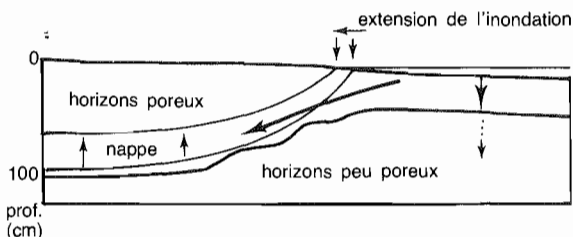
horizons peu poreux $d_{app.} > 1,7$

3 pseudogley peu poreux

4 gley de profondeur

Organisation spatiale des horizons
à l'échelle de la séquence

Spatial organization of horizons
in the sequence



Drainage latéral et fluctuations
de la nappe
à l'échelle de la séquence

Lateral flow and water table's variations
in the sequence

FIGURE 1. — Toposéquence de Golé (plaine du Logone-Chari)
Toposequence of Golé (plain of Logone-Chari)

2.2. ORGANISATION ET NATURE DES CONSTITUANTS DES SOLS INONDABLES SUR LA SÉQUENCE ÉTUDIÉE

Ces sols inondables, comme ceux de la séquence et plus généralement ceux de la plaine du Logone-Chari, se sont différenciés sur des alluvions fluvio-lacustres, déposées lors des différentes transgressions du lac Tchad. Le matériau est sablo-argileux à argilo-sableux. La fraction argileuse est constituée surtout de kaolinite, de montmorillonite et de traces d'illite. Les résultats de quelques analyses faites sur des échantillons prélevés dans ces sols inondables, sont rassemblés dans le tableau I.

En *saison sèche*, les sols inondables de la séquence étudiée, présentent :

— sur les 30 premiers centimètres, un ensemble d'horizons *poreux* ($P = 42\%$), à structure polyédrique, secs ($h_v = 2$ à 10%);

— puis une transition distincte à un ensemble d'horizons *peu poreux* ($P = 31\%$), à structure prismatique, devenant frais en profondeur ($h_v = 12$ à 17%).

On peut encore distinguer :

— en surface (0-10 cm) et en profondeur (60 cm...), des horizons gris avec des taches de couleur jaune-rouge ou jaunâtre, associées aux vides : pores tubulaires, en surface; faces des éléments structuraux, en profondeur;

— tandis que de part et d'autre de la transition entre les ensembles poreux et peu poreux (10-60 cm), les horizons sont brun pâle, avec des traînées grises, des taches jaune-rouge localisées dans les agrégats, des éléments de forme nodulaire, voire des concrétions.

Ces différenciations morphologiques, très visibles, correspondent à une répartition particulière du fer dans ces horizons (cf. dans le tableau I, l'écart important des teneurs en fer des différents traits pédologiques : traînées grises, ...concrétions).

TABLEAU I. *Données analytiques concernant les sols inondables de la séquence étudiée**Analytical data concerning inundable soils*

Profondeur (cm)	0-10	10-30	30-60	60-100
argile < 2 μ	18-22	28-34	35-40	35-39
limon 2-50 μ	15-16	13-16	15-18	15-18
sables 50-2000 μ	59-67	51-56	43-46	43-47
matière orga. totale %	1,5-3	0,5-1	0,3-0,4	0,2-0,4
Fe ₂ O ₃ % à l'échelle de l'horizon	2,2-2,7	3,3-4,0	4,7-4,8	4,5-4,6
à l'échelle des traits pédologiques ^o	-	2,9-9,8	2,6-24,2	-
pH	5,6-5,9	5,5-5,6	5,9-6,4	6,1-6,4
S/T %	37-65	46-69	71-76	77-81
densité apparente	1,50	1,52	1,78	1,80

^o trainées grises, taches de couleur jaune-rouge, éléments de forme nodulaire, concrétions

En *saison humide*, lorsque les sols sont inondés et saturés :

- en surface et en profondeur, les horizons présentent une couleur grise homogène, les taches associées aux vides disparaissent;
- tandis qu'entre 10 et 60 cm, trainées grises, taches, nodules, concrétions, traduisant une forte hétérogénéité de la répartition du fer, se maintiennent.

Lors de la description de ces sols, les termes de gley et de pseudogley ont été utilisés pour définir les divers horizons observés (cf. fig. 1). L'horizon de surface humifère et l'horizon profond gris, qui présentent en saison sèche, des taches associées aux vides, disparaissant en saison humide, ont été appelés : *gley de surface* et *gley de profondeur*. Les horizons poreux ou peu poreux, présentant des trainées grises, taches, nodules ou concrétions, visibles en toutes saisons, ont été appelés : *pseudogley poreux* et *pseudogley peu poreux*.

2.3. FONCTIONNEMENT DES SOLS INONDABLES SUR LA SÉQUENCE ÉTUDIÉE

Le fonctionnement de ces sols est influencé par le fort contraste existant entre :

- une *saison sèche* de six mois (de novembre à avril) au cours de laquelle le total des précipitations n'est que de 30 millimètres;
- et une *saison humide*, avec des pluies se concentrant surtout sur une période de quatre mois de juin à septembre, période au cours de laquelle :
 - = les *précipitations*, 850 millimètres en moyenne, parfois *irrégulièrement réparties*, représentent environ 85 % des pluies de l'année;
 - = les moyennes mensuelles de *températures de l'air* sont *élevées* et varient de moins de 3 °C (25,8° - 28,5 °C) tandis que l'amplitude thermique journalière est inférieure à 8 °C;

= les *températures dans le sol saturé*, sont *élevées* et quasiment *constantes*, les variations journalières n'étant que de 3 °C à 20 cm de profondeur et de 1 °C seulement à 50 cm de profondeur (respectivement 26° - 29 °C et 28° — 29 °C).

Le fonctionnement de ces sols est caractérisé par une *dynamique saisonnière* dont on examinera successivement différentes composantes :

- la dynamique porale;
- la dynamique de l'eau;
- la dynamique du fer.

2.3.1. La dynamique porale

Du fait du développement des phénomènes de gonflement, de consolidation de retrait, la *porosité* du sol, est modifiée lors des phases d'humectation, de saturation et de dessèchement des profils. Dans les sols inondables étudiés, les variations de la porosité ont été calculées à partir de celles du volume massique apparent mesuré *in situ*. Ces variations sont présentées pour deux horizons de porosité différente (cf. fig. 2).

Dans l'horizon peu poreux pris en exemple (pseudogley peu poreux, 30 à 60 cm de profondeur, 35 à 40 % d'argile), l'humectation en début de saison des pluies, s'accompagne d'un *gonflement* (augmentation du volume massique apparent de 0,56 à 0,62 cm³/g) et de la disparition de toute structure apparente. Lorsque l'humidité volumique atteint la valeur de la porosité calculée, l'horizon est saturé. Dans le cas étudié, la saturation dure de deux à quatre mois suivant les années, période au cours de laquelle on observe une *consolidation* (lente mais importante diminution du volume massique apparent de 0,62 à 0,575 cm³/g) et une prise en masse de l'horizon. En fin de saison humide, une légère reprise du gonflement précède le lent dessèchement de l'horizon, un *retrait* et la réapparition d'une structure prismatique.

Dans l'horizon poreux pris en exemple (pseudogley poreux, 10 à 30 cm, 28 à 34 % d'argile), le *gonflement* est moins important que dans le pseudogley peu poreux (0,66 à 0,68 cm³/g). La phase de saturation, à ce niveau du profil plus proche de la surface, est entrecoupée par des petites périodes de non-saturation. La *consolidation* est limitée. A la fin de la saison humide, un léger *retrait* est observé lors du dessèchement du sol.

La transition distincte entre horizons poreux et horizons peu poreux, correspond à la profondeur atteinte par les dessèchements partiels dus à l'irrégularité des pluies en saison humide. Ces dessèchements interrompent la saturation et limitent la consolidation, phénomène lent ne se produisant que lorsque l'horizon est saturé (VIZIER, 1974, 1982).

Cette dynamique porale joue sur les *possibilités de circulation de l'eau* dans les sols. Les modifications sont faibles dans l'horizon poreux. Elles sont importantes dans l'horizon peu poreux. Dans ce type d'horizon en effet, le gonflement et la disparition de toute structure apparente observés lors de la phase d'humectation, suppriment les fentes constituant des cheminements préférentiels pour l'eau en profondeur. La consolidation et la prise en masse de l'horizon, pendant la phase de saturation, limitent considérablement les possibilités de circulation de l'eau saturant la terre. Les horizons peu poreux forment alors un niveau quasiment imperméable.

2.3.2. La dynamique de l'eau

L'humectation puis la saturation des sols dépendent de l'*intensité et de la fréquence des précipitations* en saison humide et des possibilités de circulation de l'eau dans les profils, donc de la *dynamique porale*.

En début de saison humide, l'humectation concerne toute l'épaisseur du sol, les fentes de retrait et la structure prismatique, facilitant la pénétration de l'eau.

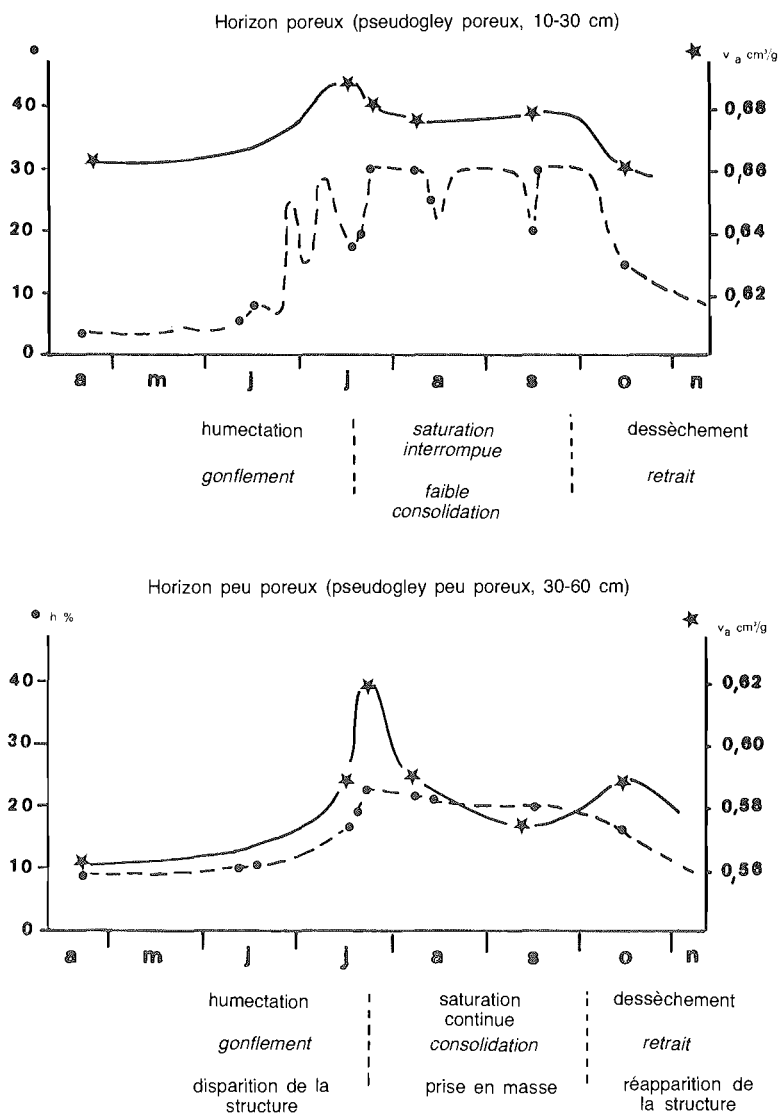


FIGURE 2 : Variations du volume spécifique apparent et cycles de saturation-dessèchement dans les horizons poreux et peu poreux

FIGURE 2 : Expression of porosity and water dynamics in porous or non porous horizons

Dans les horizons peu poreux, dès 30 centimètres de profondeur, la saturation est rapidement atteinte; elle est continue et dure entre deux et cinq mois suivant les années. La prise en masse de ces horizons limite le drainage vertical, facilite l'établissement de la saturation dans les horizons superficiels poreux, puis l'accumulation des eaux en surface et l'inondation de la partie basse de la séquence. Durant de 15 à 80 jours suivant les années, la saturation des horizons poreux superficiels, pourra être interrompue par de petits dessèchements partiels, lors de périodes peu pluvieuses de la saison humide.

Le suivi de l'état *hydrique* des sols de la séquence et l'étude des variations de leur stock d'eau (VIZIER, 1974), ont montré qu'en saison humide, dans les sols inondés, l'écoulement vertical est très faible (1 à 2 mm/j). Cette limitation de l'écoulement est due à la prise en masse des horizons profonds. Ces horizons profonds, *peu poreux*, peuvent être assimilés à des *milieux fermés*, dans lesquels l'eau saturant la terre circule très lentement et se renouvelle peu.

Lorsqu'à la suite de pluies abondantes, la zone inondée s'étend vers la partie médiane de la séquence, un écoulement latéral important apparaît. Pouvant atteindre des valeurs de l'ordre de 13 mm/j, cet écoulement contribue, du fait de la configuration de la limite entre horizons poreux et peu poreux à l'échelle de la séquence, à l'établissement d'une nappe dans les parties médiane et haute de cette séquence (cf. fig. 1). Les horizons superficiels *poreux* des sols inondables, conservent donc de façon épisodique, des possibilités de circulation d'eau assez importantes, sinon verticales, du moins latérales. Ces horizons *poreux*, peuvent être assimilés à des *milieux ouverts*, dans lesquels l'eau saturant la terre peut circuler et se renouveler.

En fin de saison humide, puis en saison sèche, un dessèchement assez poussé se produit très rapidement en surface. Ce dessèchement, encore rapide au sommet des horizons peu poreux, est beaucoup plus lent en profondeur.

2.3.3. La dynamique du fer

Dans ces sols inondables, la dynamique du fer est liée au développement des phénomènes de *réduction et de mobilisation* de cet élément, permettant sa *redistribution* dans les profils.

Le suivi de l'état *d'oxydo-réduction* de la terre réalisé *in situ*, indique qu'à des états hydriques variés correspondent des valeurs de E_h et des teneurs en fer réduit différentes.

La *réduction du fer* est influencée par la dynamique de l'eau et plus particulièrement par :

- la durée de la saturation ;
- sa continuité ou sa discontinuité : une interruption de saturation, entraîne une rapide réoxydation des produits réduits lorsqu'elle intervient après une brève période de saturation ; la réoxydation est plus lente, dans le cas contraire ;
- les mouvements de l'eau saturant la terre : le renouvellement limite la réduction, lorsque l'horizon est peu pourvu en substances organiques.

La *réduction du fer* est favorisée par :

- la permanence et la constance des températures élevées dans les sols saturés ;
- certains caractères intrinsèques du sol, tels que la richesse en matière organique et l'activité biologique qui lui est liée, un pH acide.

La *mobilisation et la redistribution du fer réduit* dans les milieux saturés, ont été étudiées sur des modèles expérimentaux, en laboratoire. Elles mettent en jeu deux types de *migration*.

Une *migration liée aux mouvements d'eau*, peut intervenir dans les horizons poreux (milieux ouverts). A l'échelle des cycles saisonniers étudiés, ce type de migration n'est notable que dans les milieux présentant un développement suffisant des phénomènes de réduction. Par ailleurs, la *mobilité du fer* et sa migration en liaison avec les mouvements d'eau, n'est pas simplement fonction des quantités de fer réduit. Le fer ferreux en effet, est concerné par deux processus antagonistes : une mobilisation croissant avec le développement des phénomènes de réduction d'une part, et une immobilisation progressive d'autre part, qui peut être due à l'adsorption de fer ferreux ou à la formation de composés peu mobiles (VIZIER, 1982).

Un autre type de *migration* du fer réduit a été mis en évidence sur des colonnes de terre saturée. Il est *lié à l'existence de gradients* de potentiels d'oxydo-réduction ou de concentrations en substances réduites. Le fer migre vers les zones à potentiels d'oxydo-réduction plus élevés où les concentrations en fer réduit sont plus faibles.

2.4. RELATIONS EXISTANT ENTRE L'ORGANISATION ET LE FONCTIONNEMENT DES SOLS INONDABLES SUR LA SÉQUENCE ÉTUDIÉE

Il s'agit plus précisément d'essayer d'établir les relations existant entre la *dynamique du fer* qui représente une des composantes du fonctionnement de ces sols et les *différenciations morphologiques liées à la répartition particulière du fer*, qui constituent l'expression la plus visible de l'hydromorphie.

Les sols inondables de la séquence étudiée permettent, sur les quatre horizons qui ont été distingués dans leur profil (cf. fig. 1), de présenter quatre exemples de relations existant entre la dynamique actuelle du fer et les différenciations morphologiques.

Premier exemple (milieu humifère ouvert). En saison humide, dans l'horizon de surface humifère à *gley*, le développement des phénomènes de réduction est important. Il n'apparaît limité ni par les possibilités de renouvellement de l'eau saturant la terre, ni par les petits dessèchements partiels affectant brièvement la partie superficielle du sol lors de périodes peu pluvieuses. Le fer réduit peut migrer en liaison avec les mouvements d'eau. Les mouvements verticaux sont faibles, mais ceux qui se produisent latéralement, peuvent être épisodiquement importants (cf. fig. 1). Ce type de migration provoque un appauvrissement en fer de l'horizon. Le fer réduit peut aussi migrer en fonction de gradients de potentiels d'oxydo-réduction existant dans l'horizon saturé, en particulier vers la surface du sol qui présente un état moins réduit. L'importance des phénomènes de réduction et de mobilisation, se traduit morphologiquement par un aspect gris foncé homogène. En saison sèche, au début de la phase de dessèchement, l'air commence à pénétrer dans le sol par les pores les plus gros. Il y a alors, création de forts gradients de potentiels d'oxydo-réduction, entre les parois des pores au contact de l'atmosphère et le reste de l'horizon encore saturé d'eau. Le fer réduit tend à migrer vers les pores, s'immobilise et se réoxyde, formant des taches de couleur jaune-rouge au contact des vides. Les possibilités de redistribution du fer dues à cette migration, sont cependant vite limitées par la rapidité du dessèchement. Lors du cycle suivant de saturation, le fer oxydé au contact des vides, est à nouveau réduit et mobilisé. Les taches de couleur observées en saison sèche, disparaissent.

Deuxième exemple (milieu peu humifère ouvert). En saison humide, dans le *pseudogley poreux*, horizon peu humifère, le développement des phénomènes de réduction est limité par les possibilités de renouvellement de l'eau saturant la terre. Ces phénomènes n'apparaissent pas générateurs de migration notable du fer en liaison avec les mouvements d'eau, à l'échelle des cycles de saturation étudiés. Mais cet horizon reçoit des solutions enrichies en fer ferreux venant de l'horizon superficiel humifère. Ces solutions empruntent des cheminements préférentiels dans les parties les plus poreuses de l'horizon et créent des gradients de concentration. Le fer réduit tend à migrer, en fonction de ces gradients, vers les zones moins poreuses et en particulier à l'intérieur des agrégats. En saison sèche, la rapidité du dessèchement qui intervient à ce niveau du profil, fixe la répartition du fer acquise en saison humide. Lors du cycle suivant de saturation, le milieu n'a pas la capacité de réduire et mobiliser tout le fer apporté, immobilisé à l'intérieur des agrégats. Un processus analogue à celui de la période de saturation précédente se produit. Le fer réduit apporté continue de migrer à l'intérieur des agrégats, où les immobilisations, cycle après cycle, deviennent accumulations; d'où l'accentuation du caractère hétérogène de la répartition du fer et le maintien de son expression morphologique (taches...), quel que soit l'état hydrique du milieu.

Troisième et quatrième exemples (milieux peu humifères, fermés). En saison humide, dans les horizons peu humifères à *pseudogley peu poreux* et *gley de profondeur*, le développement des phénomènes de réduction est notable. En effet, malgré la faiblesse des teneurs en matière organique, le développement de ces phénomènes est favorisé par la longueur, la continuité de la saturation et le faible renouvellement de l'eau saturant la terre.

Le sommet de ces horizons peu poreux, formant un niveau quasiment imperméable, fait obstacle à la progression verticale des solutions enrichies en fer réduit venant de la surface. Si une partie de ces solutions peut être entraînée épisodiquement par les mouvements latéraux d'eau (cf. fig. 1), l'autre pénètre lentement dans les zones les plus poreuses de la frange supérieure de ces horizons. Comme pour le pseudogley poreux, cet apport de fer crée des gradients de concentration, induisant une migration du fer ferreux vers les zones les moins poreuses. En saison sèche, la relative rapidité du dessèchement fixe la répartition du fer acquise en saison humide. Pour des raisons analogues à celles présentées dans l'exemple précédent, on note dans le *pseudogley peu poreux*, une accentuation du caractère hétérogène de la répartition du fer et le maintien de son expression morphologique, quel que soit l'état hydrique du sol.

Plus profondément, l'absence d'enrichissement en fer et un dessèchement plus lent, vont complètement modifier la dynamique du fer et l'aspect morphologique. Seul le fer réduit dans le milieu est susceptible de se redistribuer et la répartition acquise en saison humide n'est pas brusquement fixée par le dessèchement. Le lent dessèchement du sol s'accompagne de l'apparition de fentes, délimitant des agrégats prismatiques grossiers. Il y a création d'important gradients de potentiels d'oxydo-réduction entre les faces des prismes en contact avec l'atmosphère et l'intérieur des agrégats encore saturé d'eau. Le fer réduit migre en fonction de ces gradients, s'immobilise et se réoxyde, formant des taches de couleur jaunâtre sur les faces des prismes. Au début de la saison humide suivante, l'eau qui pénètre profondément dans le sol par les fentes de retrait, entraîne des substances organiques. Lorsque l'horizon est saturé, le fer immobilisé sur les faces des prismes, au contact de la matière organique, est réduit. Cette réduction localisée crée des gradients de concentration de fer ferreux, induisant une migration à l'intérieur des agrégats qui disparaissent peu à peu avec la prise en masse des horizons. Les taches de couleur observées en saison sèche disparaissent. La redistribution du fer s'effectuant dans des sens opposés en saison humide et en début de saison sèche, maintient une certaine homogénéité de la répartition du fer dans ces horizons profonds, peu poreux, à *gley*.

Dans les sols inondables de la séquence étudiée, la dynamique du fer permet d'expliquer les aspects morphologiques dus à la répartition du fer, observés en saisons humide ou sèche.

Ces relations établies entre certaines composantes du fonctionnement et de l'organisation de ces profils, peuvent conduire à une réflexion plus générale sur les termes de gley et de pseudogley qui ont été appliqués aux horizons de ces sols.

3. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES CONCEPTS DE GLEY ET DE PSEUDOGLEY APPLIQUÉS AUX SOLS DES RÉGIONS TROPICALES A SAISONS CONTRASTÉES

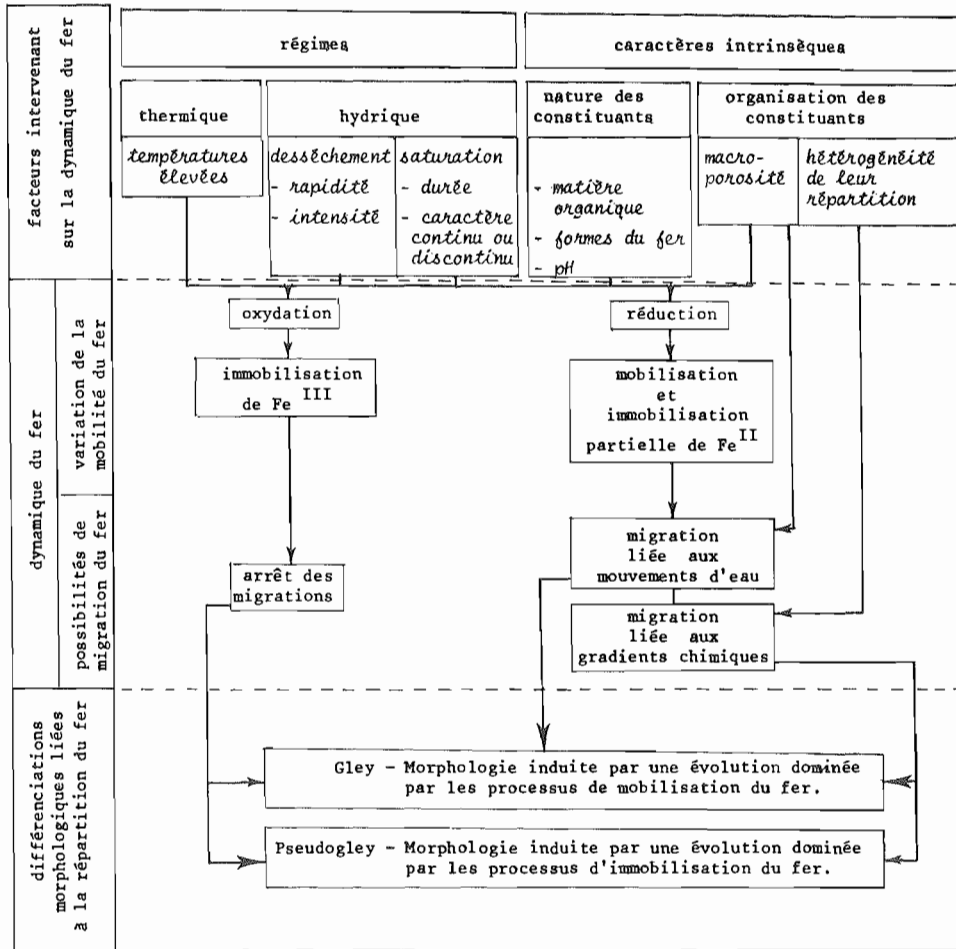
En régions tropicales à saisons contrastées, dans les sols acides subissant un excès d'eau, les différenciations morphologiques liées à une répartition particulière du fer, constituent l'expression la plus visible de l'hydromorphie. L'étude de l'organisation et du fonctionnement des sols inondables pris en exemple, a montré que cette répartition du fer dans les sols peut être reliée à la dynamique de cet élément et plus particulièrement aux *variations de sa mobilité* et à ses *possibilités de migration*.

3.1. REVUE DES PRINCIPAUX FACTEURS INTERVENANT SUR LA DYNAMIQUE DU FER DES LES MILIEUX SATURÉS

Les principaux facteurs intervenant sur la dynamique du fer dans les sols subissant un excès d'eau, sont rassemblés dans le tableau II.

TABLEAU II : Schéma général des relations existant entre les différenciations morphologiques, la dynamique du fer et les facteurs intervenant sur cette dynamique, dans les sols inondables des régions tropicales.

TABLEAU II : General scheme about relations between morphological features, iron dynamic and factors affecting this dynamic in waterlogged soils of tropical regions.



La *mobilité du fer* résulte du développement de phénomènes d'oxydo-réduction de nature physico-chimique ou biologique. Les facteurs suivants interviennent simultanément et déterminent « l'environnement physico-chimique » et l'activité des micro-organismes. Ils se rapportent :

- au régime hydrique des sols, durée de la saturation, continuité ou discontinuité, renouvellement plus ou moins important de l'eau saturant la terre, dessèchement plus ou moins rapide ;
- au régime thermique, caractérisé par des températures élevées et stables ;
- à la nature des constituants, matière organique, formes du fer amorphes ou cristallisées..., facteurs auxquels il convient d'ajouter le pH.

Il est à noter que les constituants du sol, par leur nature, interviennent aussi sur la *mobilité du fer* par le jeu de processus autres que ceux d'oxydo-réduction précédemment mentionnés :

- en favorisant par exemple, le maintien du fer réduit sous des formes mobiles (réactions de complexation avec des substances organiques);
- ou en facilitant au contraire, l'immobilisation du fer par rétention par la phase solide (phénomènes d'adsorption physique ou chimique).

Les *possibilités de migration du fer*, dépendent de sa mobilité, donc de l'ensemble des facteurs précédents, auxquels il faut ajouter ceux se rapportant à l'organisation des constituants :

- la macroporosité, permettant ou pas le renouvellement de l'eau saturant la terre et la migration du fer en liaison avec les mouvements d'eau;
- l'hétérogénéité de la répartition des constituants, génératrice de gradients de potentiels d'oxydo-réduction ou de concentrations en substances réduites dans les milieux saturés, qualifiés plus brièvement de gradients chimiques.

3.2. L'INTÉRÊT DES CONCEPTS DE GLEY ET DE PSEUDOGLEY ET LEUR LIMITE

La *redistribution du fer* dans les sols subissant un excès d'eau, conduit à *deux types de morphologie* qui se distinguent par la localisation, la permanence ou la fugacité de traits pédologiques correspondant à des accumulations ou à de simples immobilisations temporaires de fer. Ces deux types de morphologie sont induits par des *fonctionnements différents*.

Dans les horizons à *gley*, les taches de couleurs sont associées aux vides. Observables en saison sèche, elles disparaissent en saison humide. Les phénomènes de réduction sont importants ou pour le moins notables et générateurs de processus nets de migration du fer, à l'échelle des cycles saisonniers. Ils conduisent à un appauvrissement en fer, lorsque le milieu est ouvert, et à des redistributions qui tendent à conserver un *caractère homogène à la répartition du fer* dans l'horizon. Les immobilisations observées en saison sèche sont fugaces, le milieu ayant, quand il est saturé, la capacité de réduire et mobiliser le fer immobilisé lors d'une période précédente de dessèchement. L'évolution est dominée par des *processus de mobilisation*.

Dans les horizons à *pseudogley*, les taches de couleur à l'intérieur des agrégats, les éléments figurés (nodules, concrétions), sont permanents. Les phénomènes de réduction sont limités, parfois notables. A l'échelle des cycles saisonniers, les phénomènes de migration du fer qui en résultent sont peu nets ou masqués par la redistribution du fer apporté au milieu par la solution du sol. Il y a donc généralement enrichissement en fer et la migration liée à l'existence de gradients chimiques conduit, en période de saturation, à une redistribution qui est fixée par la rapidité du dessèchement. Lors de la période suivante de saturation, le milieu n'a pas la capacité de réduire et mobiliser tout le fer immobilisé. Le fer immobilisé, cycle après cycle, forme des accumulations, accentuant le *caractère hétérogène de la répartition du fer* dans le milieu. L'évolution est dominée par des *processus d'immobilisation*.

Les données récapitulées dans le tableau II, suggèrent que les *différenciations morphologiques* sont plus faciles à relier à la *dynamique du fer*, qu'aux *facteurs* intervenant sur cette dynamique. Le *gley* ou le *pseudogley* sont des *indicateurs* de la *prédominance des processus de mobilisation ou d'immobilisation du fer* dans les milieux saturés. Par contre, en raison du très grand nombre de facteurs intervenant simultanément lors de leur formation, ces morphologies ne peuvent pas être des indicateurs précis de l'intensité d'un de ces facteurs, et en particulier, de la durée et de la nature de la saturation. On peut en effet, observer des convergences dans l'évolution; un type de morphologie peut résulter de diverses combinaisons entre différentes composantes du régime hydrique et les caractères intrinsèques du sol.

CONCLUSION

Dans les régions tropicales à saisons contrastées, les sols acides subissant un excès d'eau présentent des *différenciations morphologiques* dont les plus nettes, dues à une *répartition particulière du fer*, peuvent être rattachées aux concepts de *gley* et de *pseudogley*.

Dans ces sols, la *dynamique du fer* présente un *caractère saisonnier*, apparaissant liée au régime hydrique (dynamique de l'eau) et aux variations de la porosité (dynamique porale). Le régime thermique par contre, ne constitue pas, dans ces régions, un facteur de variations saisonnières, en raison de la permanence des températures élevées.

La formation des *différenciations morphologiques* observées, peut être expliquée par la *dynamique du fer*.

Les deux types de morphologie distingués : le *gley* et le *pseudogley*, semblent bien caractérisés par la prédominance de processus conduisant à la *mobilisation* ou au contraire à l'*immobilisation du fer*. Par contre, du fait du grand nombre de facteurs intervenant dans la dynamique du fer, les relations sont plus difficiles à établir entre les différenciations morphologiques et l'un de ces facteurs. C'est ainsi que le *gley* et le *pseudogley* n'apparaissent pas toujours comme étant des indicateurs précis de la nature et la durée de la saturation du sol par l'eau.

SUMMARY

HYDROMORPHIC PHENOMENA
IN TROPICAL REGIONS WITH CONTRASTED SEASONS

Application for a better characterization
of concepts of gley and pseudogley

In tropical regions with contrasted seasons, morphological features, water regime and iron dynamic have been studied in soils which are seasonally under excess of water. Inundable soils in the plain of Logone-Chari, are presented for example (see fig. 1 and table 1). Characteristic features of gley and pseudogley have been observed in different horizons. Seasonal dynamic in the soils is noted : variations of the porosity (see fig. 2), water regime, iron dynamic. Iron dynamic is influenced by many factors : duration of the excess of water, continuity or discontinuity of the saturation, water movement in waterlogged soils, quality and quantity of organic matter, pH... Formation of these morphological features, can be explained by the development of different processes occurring in iron dynamic (reduction and mobilization, oxidation and immobilization of iron, see table 2). So, relations can be established between morphological features and processes. The gley formation is particularly influenced by mobilization phenomena and the pseudogley formation by immobilization ones. On the other hand, relations don't appear very easy to establish between morphological features and conditions in which soils are under excess of water.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTRAND R., 1973. — Etude morpho-pédologique de quelques plaines du delta vif du Moyen Niger (Mali); rapport IRAT.
- DARAGAN Y., 1967. — Microbiology of gley process; Soviet Soil Sci., 2 : 228-235.
- DUCHAUFOUR Ph., 1968. — L'évolution des sols tempérés sous la dépendance de l'eau; in l'évolution des sols-essai sur la dynamique des profils; Masson et Cie, ch. VI : 69-75.
- GAVAUD M., MULLER J.P., FROMAGET M., 1976. — Les étapes de l'évolution des sols dans les alluvions de la Bénoué (Nord Cameroun); in Cah. ORSTOM, sér. pédol. vol. XIV, 4 : 321-335.
- JEFFERY J.W.O., 1961. — Défining the state of reduction of a paddy soil; J. Soil Sci., vol. 12, 1 : 172-179.
- HOWELER R.H., BOULDIN D.R., 1971. — The diffusion and consumption of oxygen in submerged soils; Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 35, 2 : 202-208.
- KALOGA B., 1971. — L'hydromorphie dans les régions tropicales à climat soudanien en Afrique Occidentale; Mitt. Dtsch Bodenkd. Gesell., 97-99.
- KUBIENA W.L., 1953. — The soils of Europe; Th. Murby et sons, London, 318p.
- MARTIN D., 1969. — Les sols hydromorphes à pseudogley lithomorphes du Nord-Cameroun; Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. VII, 2 : 237-281 et 3 : 311-343.
- MUCKENHAUSEN E., 1963. — Pseudogley; Sci. du Sol, 1 : 21-29.
- SIUTA J., 1967. — Gleying as an indicator of water and air regime of the soil; Soviet Soil Sci., 3 : 356-363.
- TAKAI Y., KOYAMA T., KAMURAI T., 1963. — Microbial metabolism in reduction process of paddy soils; Part. 2 et 3; Soil Sci. and Plant Nutr., vol. 9 : 176-180 et 207-211.
- VIZIER J.F., 1974. — Contribution à l'étude des phénomènes d'hydromorphie. Recherches de relations morphogénétiques existant dans un type de séquence de sols hydromorphes peu humifères au Tchad; Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XII, 2 : 171-206 et 3 : 211-266.
- VIZIER J.F., 1978. — Conséquences des aménagements hydroagricoles sur l'évolution des sols de certains bas-fonds à Madagascar; Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XIV, 2 : 111-129.
- VIZIER J.F., 1982. — Etude des phénomènes d'hydromorphie dans les sols des régions tropicales à saisons contrastées. Dynamique du fer et différenciation des profils. Thèse Sci., Dijon; Trav. et Doc. Orstom, n° 165, 294 p. (1983).
- VIZIER J.F., FROMAGET M., 1970. — Notice explicative de la carte pédologique de reconnaissance à 1/200000 de la République du Tchad. Feuilles de Fianga et Lai; ORSTOM, Paris, 38 p., 2 cartes h.t.
- VYSOTSKYI, 1905. — Gley; Pochv. n° 4.
- ZAYDEL'MAN F.R., 1965. — Mineral hydromorphic soils of the forest zone; Soviet Soil, 12 : 1408-1419.