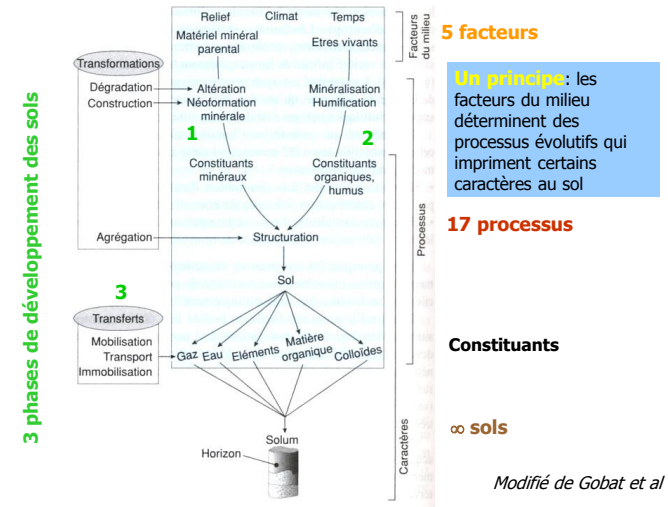


PEDOGENESE

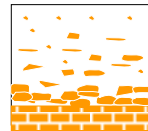


Un principe: les facteurs du milieu déterminent des processus évolutifs qui impriment certains caractères au sol

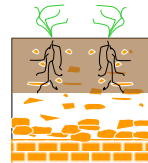
3 phases de développement des sols

1. Altération de la roche mère

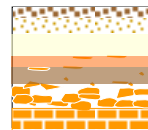
Minéraux I -> Minéraux II
= complexe d'altération



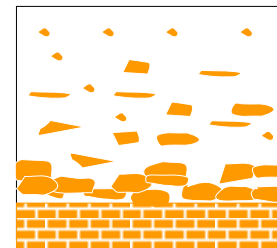
2. Enrichissement en matières organiques



3. Transferts de matières et formation des horizons bien différenciés



1. Altération de la roche mère



Désagrégation physique

Eau
Gel
Chaud-froid

Altération biogéochimique

Hydratation
Dissolution
Hydrolyse

Transformations
Néoformations

1. Altération de la roche mère

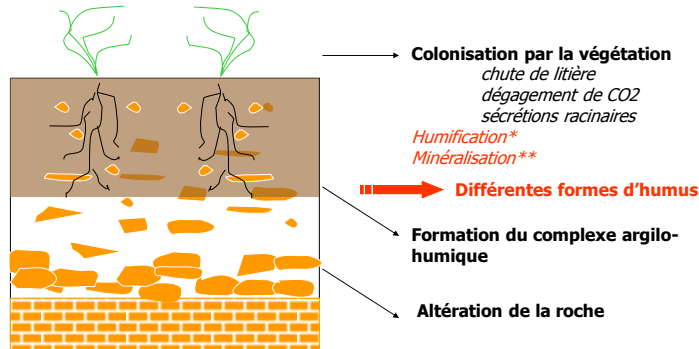
- Désagrégation physique : Composition de départ conservée (gel, eau, froid..)
- Altération biogéochimique
 - Hydratation**: concerne surtout les roches ferrugineuses (ex: $Fe_2O_3 \rightarrow FeOOH$)
 - Dissolution** (par H_2O et les substances qu'elle contient)
 - > **Dissolution en milieu alcalin**
 - > **Chélation**
 - > **Dissolution acide**
Ex: solubilisation de la calcite par H_2CO_3
 $CaCO_3$ (insoluble) + $H_2O + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ (soluble)
 - Oxydation**: libère Fe(II) sous forme Fe(III) des réseaux cristallins qui sont déstabilisés
 - Réduction**: solubilise Fe(II) à partir d'ox et hydrox Fe(III) présents par ex dans ciments ferrugineux
 - Hydrolyse**: dépend des conditions climatiques, provoque un réarrangement important des réseaux cristallins.
 - > **Hydrolyse acide** (acidolyse)
 - > Hydrolyse alcaline (alcalinolyse)

Où intervient l'altération biologique?

Les organismes interviennent directement ou indirectement sur l'altération des roches conjointement à des réactions purement chimiques ou physiques

- ❖ **par modification de leur milieu**
 - chélation (production de composés organiques)
 - acidolyse, alcalinolyse (production d'acides et changement de pH)
 - changement des conditions redox (variation du taux de O_2)
- ❖ **par production d'acides organiques par les microorganismes et les racines**
 - oxalique, tartrique, polyphénols (salicylique...)
 - créniques, fulviques
 - sidérophores et phytosidérophores

2. Enrichissement en matières organiques

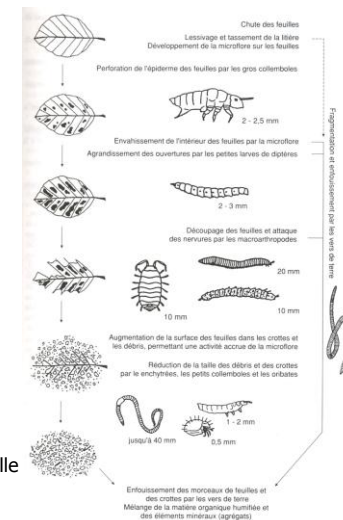


* **Humification**: processus biochimique de néosynthèse de substances organiques par augmentation de la taille de certaines molécules
 ** **Minéralisation**: processus physique, chimique et biologique menant à la transformation des constituants organiques en constituants minéraux

Mécanismes de l'intégration

Il s'agit de processus successifs et simultanés

- Mécanismes liés à la faune du sol



Séquence de transformation d'une feuille morte de hêtre par les organismes décomposeurs

3. Transferts de matières

Transferts dus à l'eau

- Lixiviation
 - Lessivage
 - Chéluviation
- } = éluviation → illuviation
- Remontées par évaporation
 - Remontées par ascension capillaire et/ou fluctuation d'une nappe
 - Remontées par le cycle biologique, translocation

Migrations descendantes

Migrations ascendantes

3. Transferts de matières

- Pédoturbation
 - Bioturbation (chablis, vers, animaux, homme)
 - Cryoturbation (sols polygonaux)



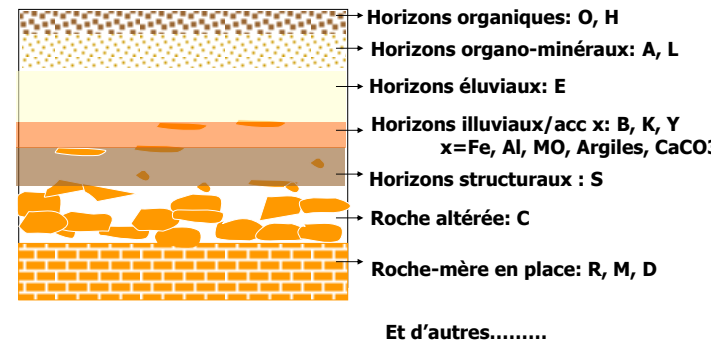
3. Transferts de matières

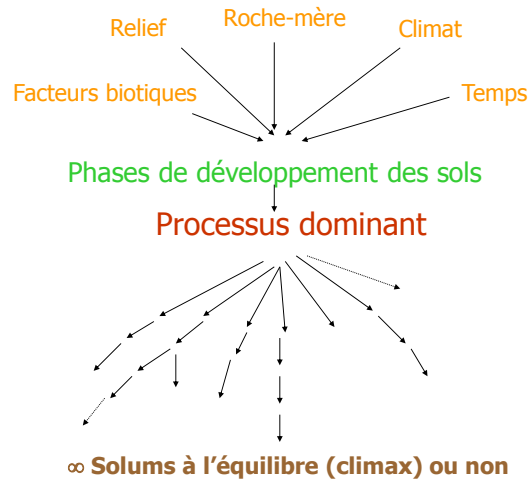
- Gravité, ruissellement (vertisols...)



3. Transferts de matières

➡ horizons bien différenciés





Processus pédogénétiques dominants

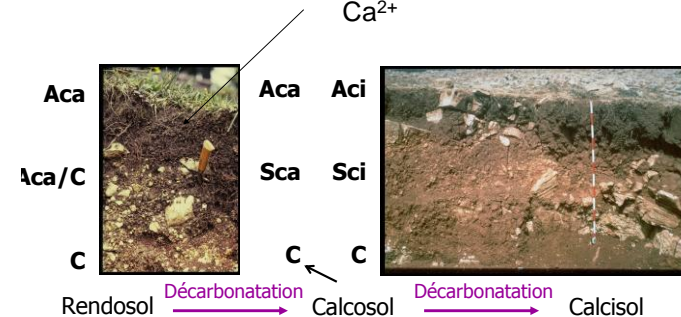
- Processus liés à l'humification (climats froids et tempérés)
- Processus conditionnés par de forts contrastes saisonniers (climats continentaux)
- Processus à base d'altération géochimique prolongée (climats méditerranéens, tropicaux et équatoriaux)
- Processus liés aux conditions physico-chimiques de la station (tous climats)
 - Intervention de l'eau
 - Intervention de Na+

Processus liés à l'humification (climats froids et tempérés)

- Décarbonatation
- Décalcification
- Brunification
- Lessivage
- Podzolisation
- Andosolisation

Décarbonatation

Description = dissolution des carbonates par l'eau enrichie en CO₂: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$



Rendisol (Languedoc)



Décarbonatation

Caractères pédologiques:

- pas d'effervescence HCl; libération de MO bloquée par ciments calcaires
- Humus de type mull carbonaté puis eutrophe



Hrz	%C	C/N	%A	%CaCO ₃	S	%V	%Fe libre
AL1	1.4	10	25	26	57	100	1.56
AL2	1.5	11	35	29	57	100	1.59
C	1.3		34	30	54	100	1.84

pH stable (>7.5)

Rendisol (Gevrey-Chambertin)

Décarbonatation

Rendisol - Calcisol

Décarbonatation

Hrz	%oC	C/N	%A	%CaCO ₃	pH
Aci	12	17	-	0	6.5
Aca	7	-	-	7.5	7.5
(B)/C	3	-	26	31.4	8.0

>6.5

Rendisol

Décarbonatation

Calcisol - Brunisol

Décalcification

Description = lixiviation de Ca⁺⁺

Caractères pédologiques:

- Baisse du %V, du pH et de la stabilité du CA-H
- Humus de type mull

Hrz	Prof	A	CaCO ₃	C _{org}	Fe _{crist}	pH _{eau}	Ca _{ech}	S	S/T
	cm	%	%	%	%o		meq/100g		%
A	0-8	43	0	8.5	19	6.6	57	60	100
Sci	10-20	48	6	3.5	12	7.4	46	48	100
S _{ca} /C _{cl}	20-30	19	71	2.5	9	7.9	20	21	100
C	30-70	4	90	nd	0	>8.0	13	13	100

>6.5

Marais II (Guénat, 1987)

Calcisol

Décalcification

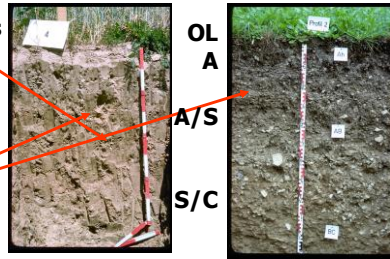
Brunisol

Brunification

Description: augmentation du rôle du fer dans la pédogénèse

Caractères pédologiques

- Formation de l'horizon S
- Coloration brune du sol (7.5YR à 2.5Y)
- Diminution du stock de MO
- Activation du cycle biogéochimique
- Mull



Brunisol

Brunisols

Hrz	%C	C/N	%A	%CaCO ₃	pH
A	7.2	14	47	0	5.9
S	0.92	17	55	0	5.5
C	-	-	20	65	8.2

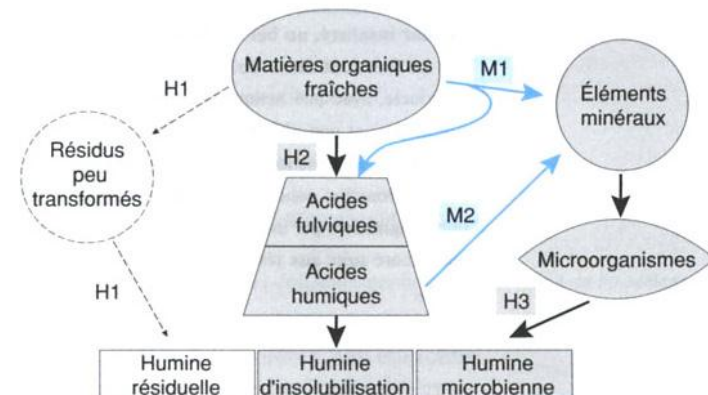
Hrz	Prof	A	CaCO ₃	C _{org}	Fe _{crist}	pH _{eau}	Ca _{ech}	S	S/T
	cm	%	%	%	%o		meq/100g		%
A	0-3	43	0	8.5	30	6.1	30	32	98
S	10-25	48	0	3.5	34	5.6	18	19	70
S/C	25-35	19	14	2.5	26	7.3	35	55	Nd
C	35-45	4	95	nd	3	8.0	17	72	nd

Trélex IV (Guénat, 1987)

Mull



Mull saturé ou mésosaturé



Lessivage

Description: entraînement mécanique des argiles fines

Caractères pédologiques:

- Formation des horizons E et BT
- Acidification
- Diminution de l'activité biologique



Luvisol (Sibérie, Russie)

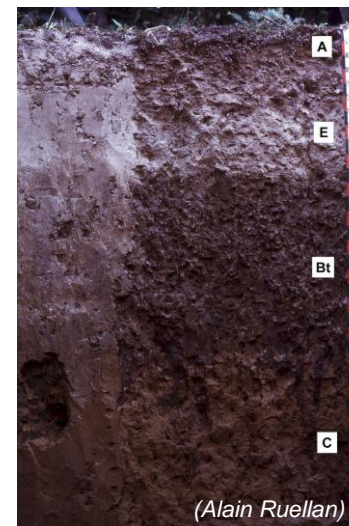
A = organo-minéral, sombre ; à structure arrondie, devenant lamellaire au niveau de la transition avec l'horizon lessivé sous-jacent, résultat des alternances gel/dégel.

E = lessivé : appauvri en argile, couleur claire, structure est massive, limite inférieure de cet horizon nette, tranchée.

BT = accumulation d'argile, brun sombre, structure est anguleuse

C = loess altéré, structure massive

WRB : Luvisol
Climat : Continental froid



Lessivage

Hrz	Prof	A	CaCO ₃	C _{org}	Fe _{crist}	pH _{eau}	Ca _{ech}	S	S/T
	cm	%	%	%	%O		meq/100g		%
A	0-15	17	0	7	11	5.1	9	11	57
E	15-30	13	0	2	10	5.0	2	3	29
E/BT	30-45	20	0	1	18	5.2	4	5	57
BT	45-62	40	0	1	40	6.3	17	18	100
B_d/C	62-75	32	16	nd	28	>8.0	19	20	nd
C_{ca}	>75	7	50	nd	5	>8.0	4	5	nd

Luvisol (Bonmont BIII)

Horizon	pH eau	Granulométrie (g/kg)					Corg (g/kg)	σEC (cmol/kg)
		A	LF	LG	SF	SG		
L (0-40 cm)	7.01	85	71	63	329	452	30.4	12.08
E (40-60 cm)	7.44	39	31	41	337	552	1.58	3.82
Bt (65-75 cm)	7.54	180	37	46	325	412	2.84	13.46
Ck (85-95 cm)	8.68	120	81	54	347	398	0.36	5.85
C2k (95-105 cm)	8.67	98	78	45	409	370	3.13	5.44

Horizon	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)
L (0-40 cm)	981.7	4.71	435.5	259
E (40-60 cm)	179.1	0.25	7.4	44.9
Bt (65-75 cm)	420	0.31	10.7	21.7
Ck (85-95 cm)	147.3	0.49	5.2	11.6
C2k (95-105 cm)	177.4	0.51	5.3	10.4

Luvisol (Pierrelaye, Citeau)

Moder



Podzolisation

Description:

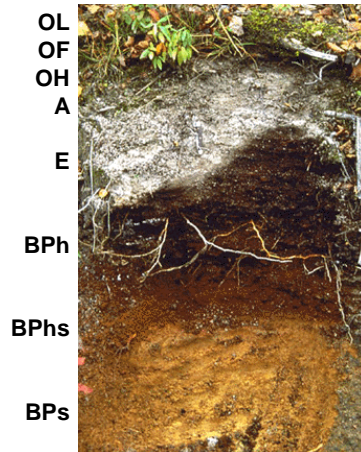
- Destruction des argiles
- Migration de chélates organo-métalliques
- Insolubilisation de matière organique et de composés ferro-aluminiques en profondeur

Horizon	Profondeur (cm)	Densité app.	pH-eau	pH-KCl	N Kjeld. p. 1000	El. échange. K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Eléments totaux (eau régale) Mn ppm	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mat. org. %
O	-4-0	0,03	4,3	3,9	8,91	395	3 848	862	223	1 097	66,5	8,6	70,5
L	0-15	0,8	4,2	3,7	1,93	28,5	174	37,3	12,9	954	4,3	1,6	9,3
A	15-24	0,7	3,9	3,7	4,17	36,5	97,2	26,1	9,3	1 195	3,0	2,0	16,7
BPh	24-44	0,8	4,1	4,0	4,28	26,0	75,1	17,7	9,5	823	2,6	2,3	14,8
BPs	44-66	1,6	4,4	4,5	0,24	5,6	60,2	8,8	13,3	462	2,3	1,0	1,1
C	66-105	1,5	4,7	5,2	0,07	4,4	48,0	7,2	10,6	375	2,3	0,7	0,3

Podzsol des Landes

Caractères pédologiques:

- Formation d'un horizon E cendré et des horizons BPh et BPs
- Horizons à limites généralement nettes et couleurs vives et tranchées
- Mor



Alocrisol avec mor sous forêt (Morvan, France)

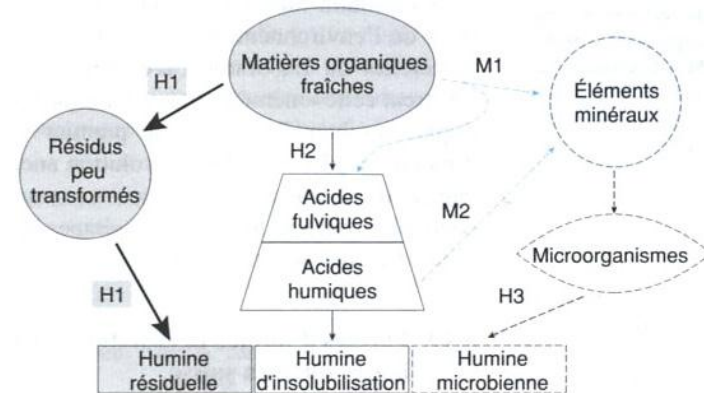


(Alain Ruellet)

Mor sous forêt (Morvan, France)



Mor insaturé



Andosolisation

• Description:

- insolubilisation rapide des précurseurs humiques par l'alumine active

• Caractères pédologiques:

- Microagrégats très foncés et stables
- Sur roches volcaniques
- Rétention en eau
- + ou – riches en Allophanes et imogolite
- pH + ou - acide

And

Snd

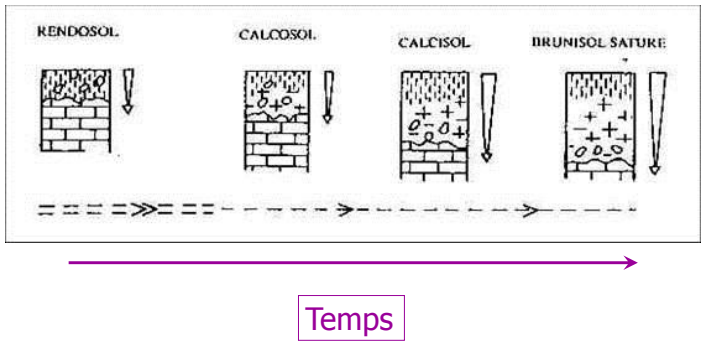
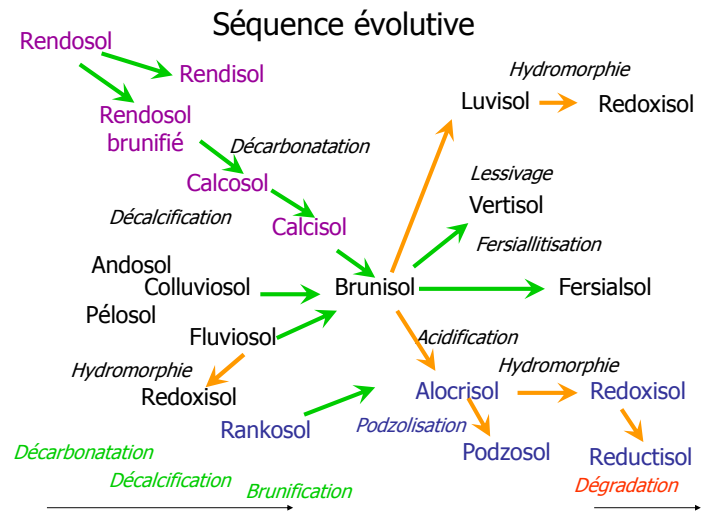
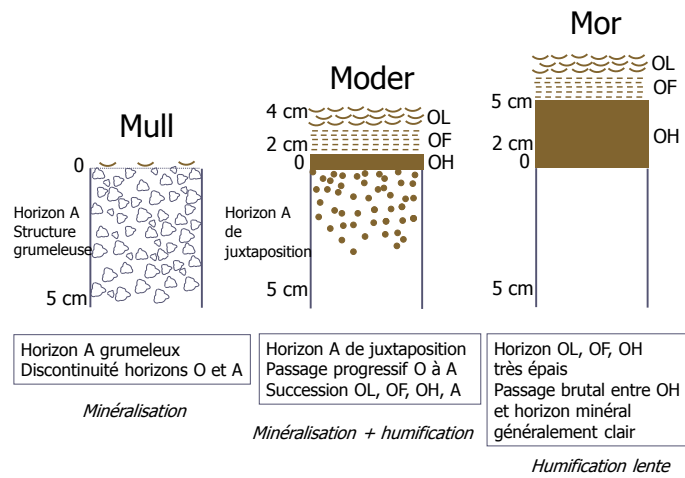
C, M ou R



Les formes d'humus forestiers des régions tempérées

	mull <i>décarbonatation décalcification brunification</i>	Moder <i>lessivage</i>	mor <i>podzolisation</i>
activité biologique générale	forte	moyenne	faible
complexe argilo-humique	développé et stable	peu développé et instable	très peu développé ou absent
Hor. A (aéré)	A biomacrostructuré ou d'insolubilisation	A de juxtaposition massif ou particulière	A de juxtaposition très peu épais ou absent
Rapport C/N	8-15	15-25	>25

Sol cultivé : C/N ≈ 10



Contraintes et mise en valeur calcisols et brunisols

Résumé des caractéristiques principales

- Très variables mais ... présence de minéraux altérables dans les fractions limon et sable
- texture moyenne et bonne stabilité structurale
- neutres à légèrement acides
- Porosité élevée, bonne réserve en eau utile, bon drainage, faune du sol active

Utilisation

- liée aux conditions climatiques, bons sols agricoles qui peuvent être utilisés « intensivement »
- fertilités chimique et physique satisfaisantes à très satisfaisantes

Géographie

- 1.5 milliard ha (un des sols les plus représentés), très communs dans la zone tempérée et boréale
- Rares dans la zone intertropicale

Contraintes et mise en valeur Luvisols

Résumé des caractéristiques principales

- Bien drainé, rétention de l'eau élevée dans l'horizon argique
- En surface, appauvrissement en argile et par conséquent sensibilité à la battance lorsque texture limoneuse, limono-sableuse ou limon-argileux
- CEC modérée à élevée (quand argile de type smectite)

Utilisation

- souvent très favorable à la mise en culture si bien drainés
- l'horizon éluvial (E) peut avoir une structure défavorable (engorgement, tassement)

Géographie

- 650 millions d'hectares (essentiellement dans les régions tempérées)

Processus	Description	Caractères pédologiques
<i>II - Processus conditionnés par de forts contrastes</i>		<i>saisonniers (climats continentaux)</i>
Mélanisation	Incorporation de MO par bioturbation, minéralisation rapide et forte stabilisation de MO, néoformation modérée d'argiles gonflantes	Hrz Ach épais, noir, formation hrz K en profondeur
Calcification	Formation de croûtes calcitiques par ↓ Ca	formation hrz K en profondeur, meuble ou induré
Vertisolisation	Néoformation d'argiles gonflantes Incorporation de MO par mvts vertiques	Fentes de retrait en période de dessiccation, formation hrz SV et V

Chernozem sur loess (Ukraine)

A: horizon de surface sombre riche en matière organique, conséquence de l'activité biologique - animale et végétale - de la steppe en climat continental froid..

C: L'horizon clair sous-jacent est le loess légèrement calcaire au sein duquel l'activité biologique animale apporte de la terre noire de surface (taches noires).

Sol moyennement différencié.

WRB : Chernozem
Climat : Continental froid



(Alain Ruellan)

Processus à base d'altération biogéochimique prolongée (climats méditerranéens, tropicaux et équatoriaux)

- Fersiallisation
- Ferrugination
- Ferralitisatation

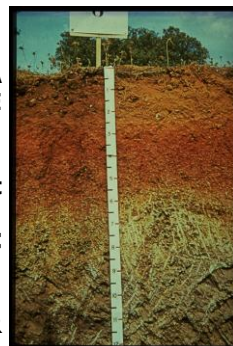
Fersiallisation

Description:

- Forte néoformation d'argiles
- Cristallisation importante et rapide des oxydes de Fe libérés par altération (rubéfaction)

Caractères pédologiques:

- Dominance argiles 2/1 (transfo ou néo/montmorillonites)
- Formation horizon FS coloré en rouge
- Hr_z BT possible par lessivage en période humide
- couleur: 5YR
- carbonaté ou non
- Mull



« Terra rossa »
fersialsol

Contraintes et mise en valeur Fersialsols

Résumé des caractéristiques principales

- Dur quand sec, très friable à ferme quand humide, porosité élevée (50 à 60%), stabilité structurale élevée, enracinement aisé
- Rétention de l'eau moyenne, perméabilité modérée à élevée,
- Faible teneur en éléments grossiers
- Teneur en CO variable, acide à neutre

Utilisation

- bonne fertilité de ces sols (attention à K, P et éléments traces)

Géographie

- 200 million ha (essentiellement en Afrique de l'est, sud brésilien et Amérique centrale, Sud-est asiatique)

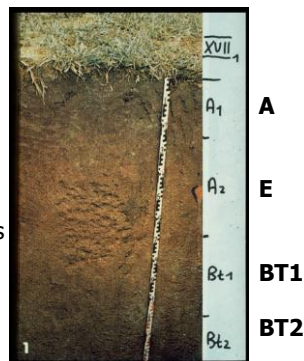
Ferrugination

Description:

- Altération forte des mnx I
- Fortes pertes en bases
- Désilicification ± forte

Caractères pédologiques:

- Dominance argiles 1/1 néoformées (kaol>2/1, CEC=16 à 25)
- ↓ de %V: 10 à 70%
- lessivage ± important



Ferralsols-Sol ferrugineux tropical

Ferralitisation

Description:

- Altération complète mnx I sauf Qz
- Elimination de silice
- Néoformation complète des argiles de type 1/1

Caractères pédologiques:

- Pas d'argiles 2/1, sol très épais
- allitisation (cristallisation de Al en gibbsite)
- agrégats Kaol-hématite très stables
- pas de lessivage



Sol ferralitique



- Mull

Ferralsol-sol ferralitique

Contraintes et mise en valeur Sols ferrugineux et ferralitiques

Résumé des caractéristiques principales et utilisation

- La végétation naturelle est généralement la savane et la forêt ouverte. Beaucoup sont encore sous végétation naturelle
- Pâturage extensif mais aussi mise en culture (nécessité de maintenir la fertilité)
- Sols fragiles tant du point de vue de la fertilité chimique (P) que de la fertilité physique
- Sols fragiles et très pauvres (importance de la fertilisation) si cultivés quand ferralitiques très désaturés

Géographie

- Sols ferrugineux: 1.45 milliard ha et sols ferralitiques: 2.4 milliard ha, zones de l'intertropical qui vont de la forêt amazonienne aux zones de rizières d'Indonésie.

Processus	Description	Caractères pédologiques
<i>IV - Processus liés aux conditions physico-chimiques de la station (tous climats)</i>		
<i>A- Intervention de l'eau réductrice</i>		
Hydromorphie	Réduction et ségrégation locale de Fe par saturation permanente ou temporaire	Formation hrz An, g (Hydr temporaire, en surface) et G (permanente, en profondeur). Taches ox Fe dans zones temporairement aérées (Go), teintes gris-verdâtres dans zones réduites (Gr)
<i>B- Intervention de l'ion Na+</i>		
Salinisation	Nappe salée mi Na+/mi alcalino-terreux, ↑ part Na sur complexe argilo-humique	Remontée capillaire de sel, ↓ en surf efflorescences blanches, pH<8.7, structure grumeleuse aérée, Na/T<15% (hrz Sa)
Sodisation	↑ Forte de Na dans CEC	Na/T>15% et->30% (hrz Na), structure poudreuse
Alcalinisation	Qd eau douce, lessivage et hydrolyse des argiles sodiques qui libèrent Na	Formation hrz BT natrique, pH>9, Na/T≥50%
Sulfatoréduction	Intervention de S dont l'état varie avec Eh	Structure massive, couleur gris-verdâtre + taches noires (FeS ₂ , hrz TH) ou taches jaunes et rouille (FeSO ₄ , horizon U).

Auteur(s) : Alain Ruellan
Date : 20 septembre 1986
Lieu : Brésil, Pantanal

Climat : tropical subhumide

Sol à profil calcaire différencié

Horizon 1 : organo-minéral = A. La couleur, plus sombre en allant du bas vers le haut, est liée à la présence de matière organique.

Horizon 2 : altération à structure pédologique = S. La couleur plus rouge est liée à la présence d'argile et de fer oxydé (hématite). Cet horizon n'est pas calcaire.

Horizon 3 : accumulation de calcaire = Bca puis Cca. Les tâches blanches sont des nodules de calcaire : ces nodules sont plus fins au sommet de l'horizon (3a = Bca). Cet horizon 3 est un encroûtement nodulaire. La partie inférieure de l'horizon se développe dans la roche-mère altérée (il s'agit d'alluvions) : il s'agit alors d'un Cca (3b).

Il s'agit d'un sol moyennement différencié.

Dénomination WRB : Cambisol

Hauteur de la coupe : 120 cm.



Auteur(s) : Alain Ruellan
Date : 16 janvier 1994
Lieu : Burkina Faso, Zabré

Climat : tropical subhumide

Sol lessivé à cuirasse et horizon vertique

- Horizon A et E, organo-minéral, sableux, se développant par destruction et lessivage de la carapace ferrugineuse sous-jacente ; l'horizon contient des nodules ferrugineux hérités de la carapace sous-jacente.

- Horizon Bfe : carapace ferrugineuse, en cours de destruction par le haut et par le bas.

- Horizon E : horizon lessivé en argile et en fer, se développant à la base de la carapace ferrugineuse.

- Horizon Bt : horizon enrichi en argilles gonflantes, à structure vertique très développée (en plaquettes obliques) (voir photos 0321 et 0322). Cet horizon, peu perméable, provoque au-dessus de lui l'hydromorphie qui va faciliter le lessivage du fer et de l'argile à la base de la carapace.

La carapace ferrugineuse est donc en cours de destruction à son sommet et à sa base.

La roche-mère est gneissique.

C'est un sol très différencié lessivé.

Il est à l'aval du sol de la photo 0317 : ici, la carapace est plus mince (plus détruite) et la structure vertique est plus développée que dans le sol de la photo 0317.

Dénomination WRB : Plinthosol

Hauteur de la coupe : 140 cm

