

Initiation et sensibilisation à la connaissance des sols

Matière organique du sol

Jean Marie VINATIER (CRARA)

Ont également participé à la réalisation de ce montage



Ministère
de l'Agriculture et de la Pêche
Centre National d'Etudes et de Ressources
en Technologie Avancée

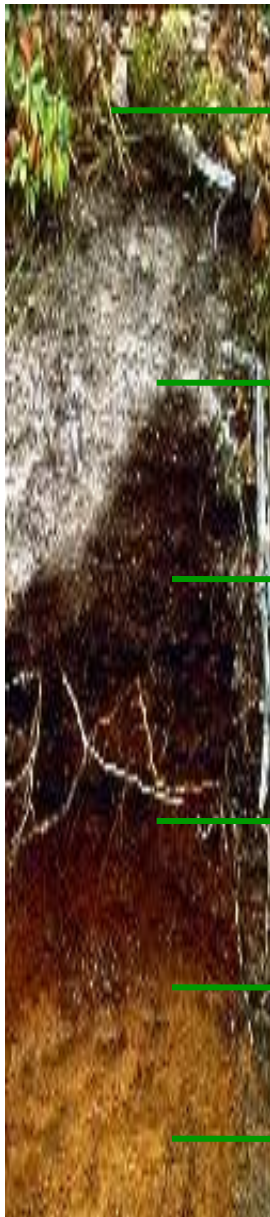


Chambre Régionale d'Agriculture Rhône Alpes

Organisation de la formation

- Module 1/ Les sols : observation et fonctionnement
- Module 2/ constituants minéraux du sol
- **Module 3/ Matière organique des sols**
- Module 4/ Initiation à la pédogénèse
- Module 5/ Cartographie des sols et des paysages, gestion des informations
- Module 6/ : Évaluation du potentiel épurateur des sols

Matière Organique du sol



**Les différents types
de matière organique**

Évolution de la matière
organique

Les différents modèles
d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

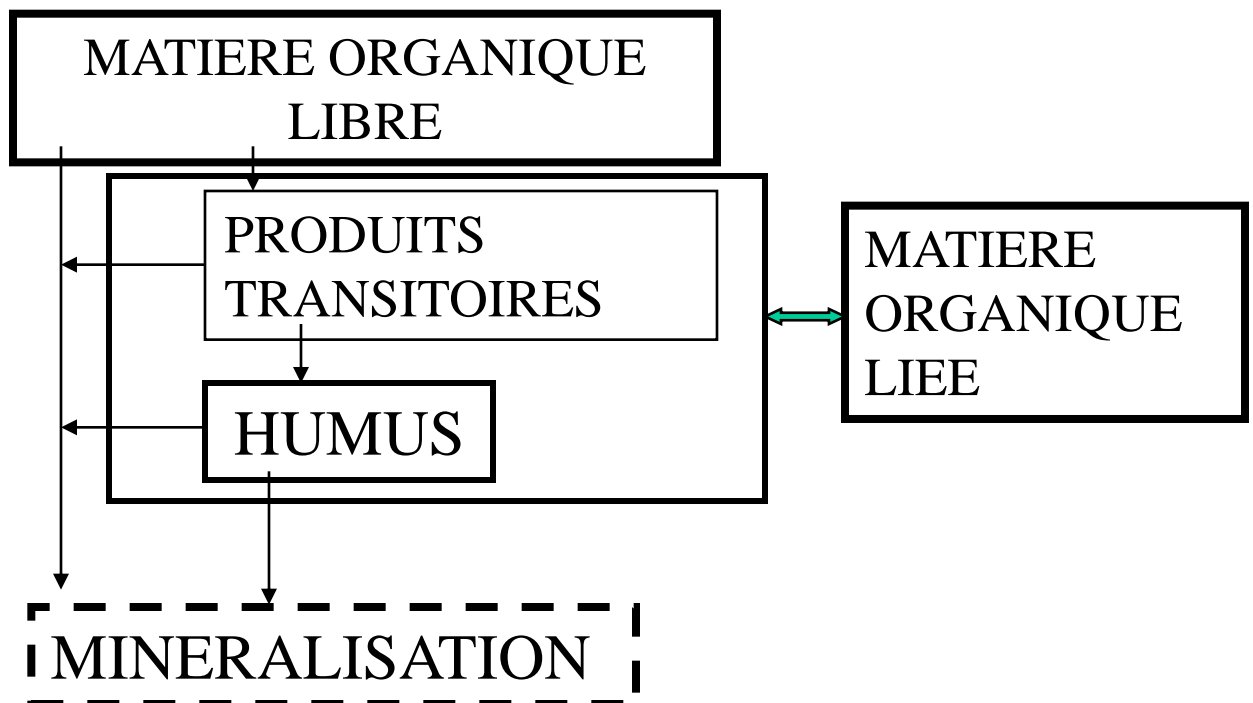
Approche Agronomique

COMPOSITION QUANTITATIVE DE LA MO DU SOL (25cm ; d=1,5 ; MO=2%)

ELEMENTS FIGURES ET SUBSTANCES CHIMIQUES DEFINIES	1,5t.	2%
BIOMASSE MICROBIENNE	1t.	1,2%
HUMUS	72,5t.	96,8%
TOTAL	75t.	100%

MO LIBRE ET LIEE

(Durr et al. 1979)



Matière organique du sol



MO
Libre

MO
Liée

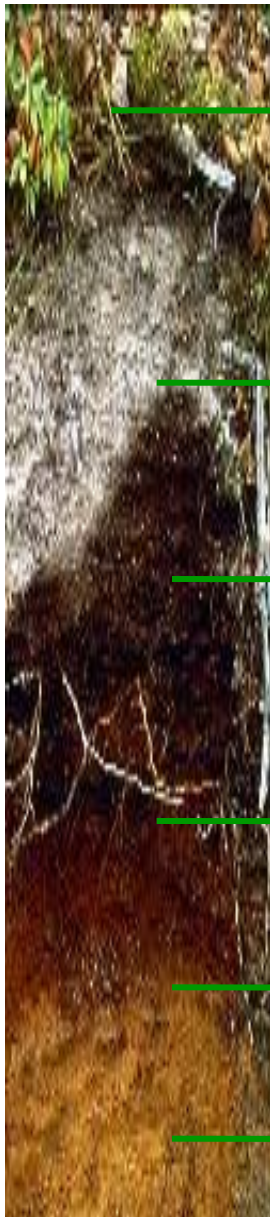
*Exemple d'horizon **A**.*

Hauteur de la coupe : 15 cm.

Des ressources de matière organique fraîche



Matière Organique du sol



Les différents types de
matière organique

**Évolution de la matière
organique**

Les différents modèles
d'évolution

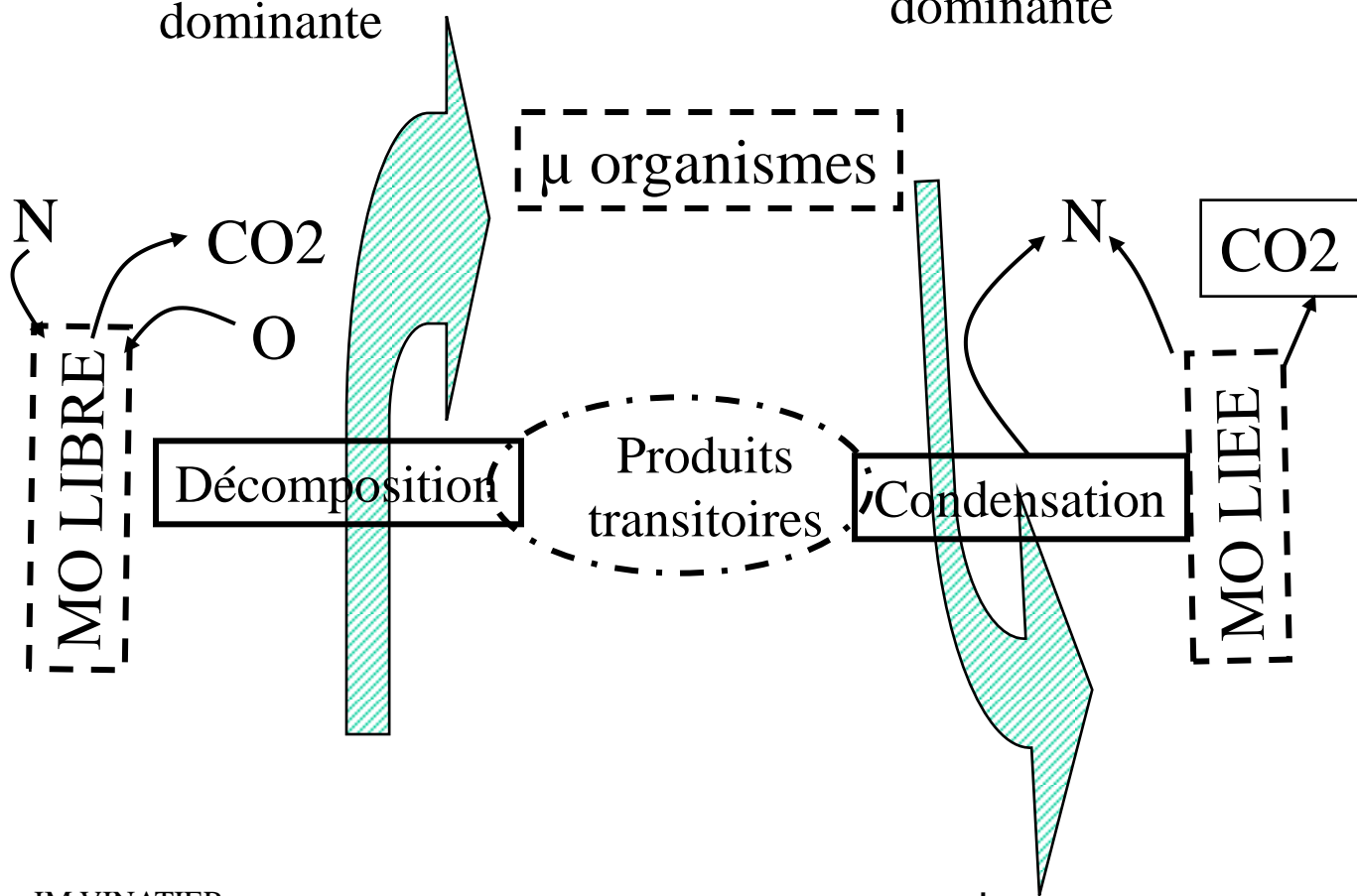
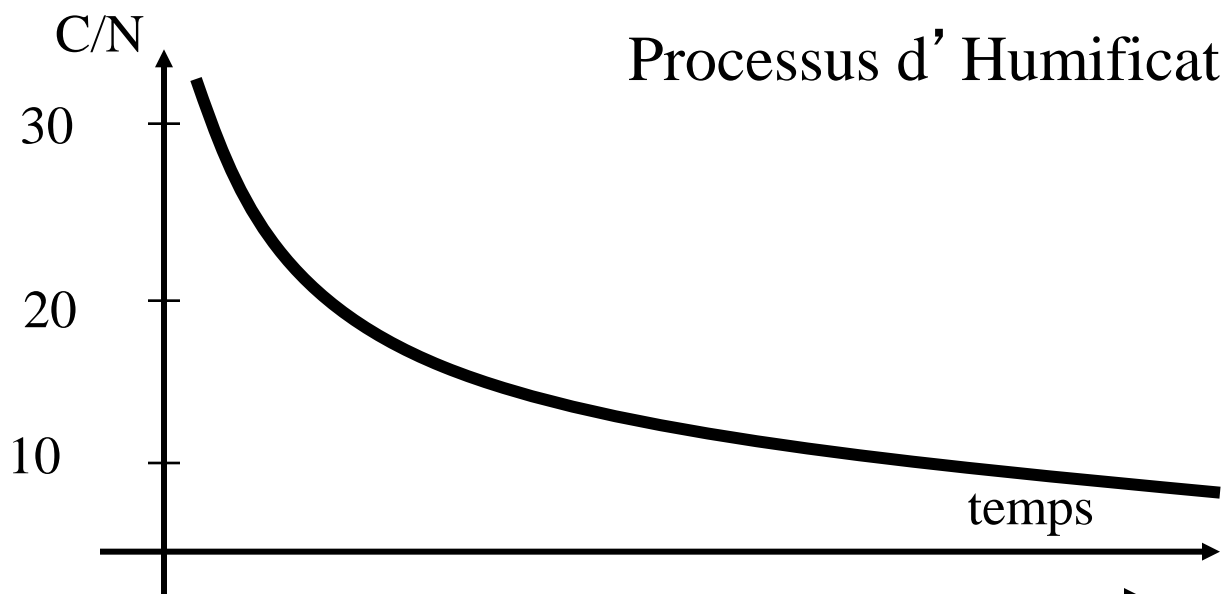
Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

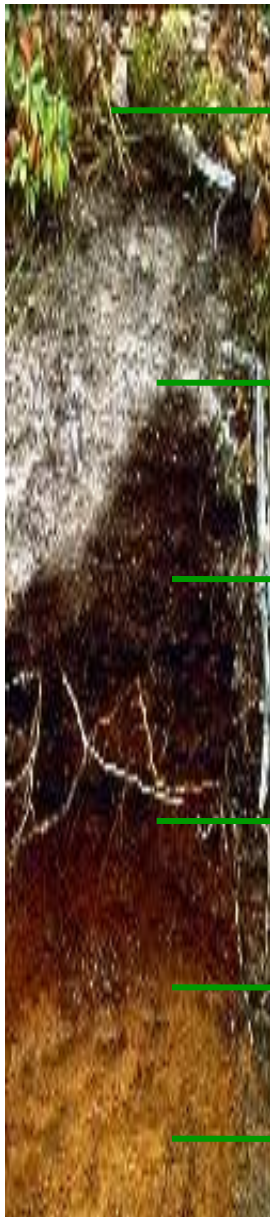
Approche Agronomique

EVOLUTION DU C/N DU SOL

Processus d'Humification



Matière Organique du sol



Les différents types de
matière organique

Évolution de la matière
organique

**Les différents modèles
d'évolution**

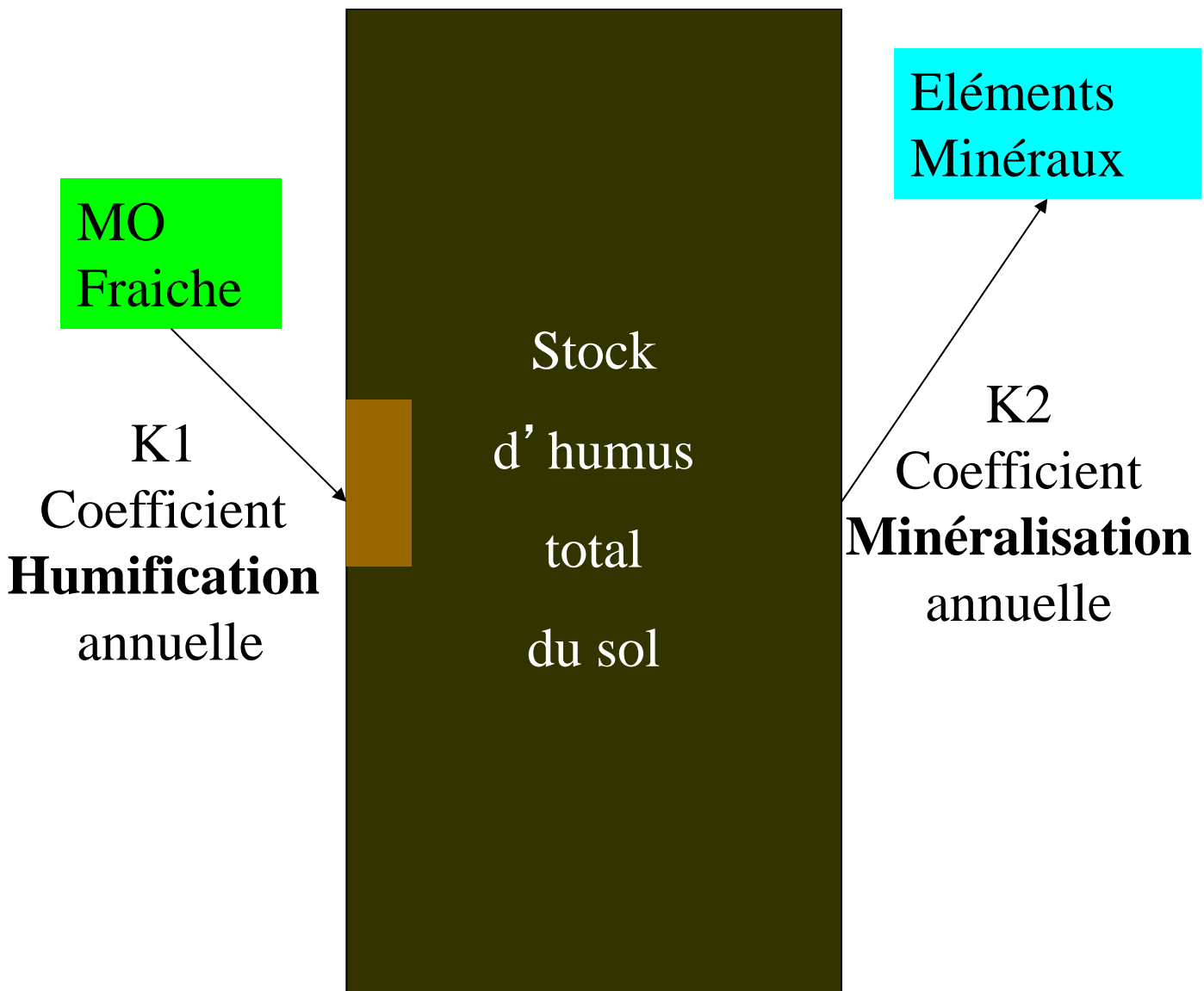
Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

Bilan humique

Modèle mono compartimental



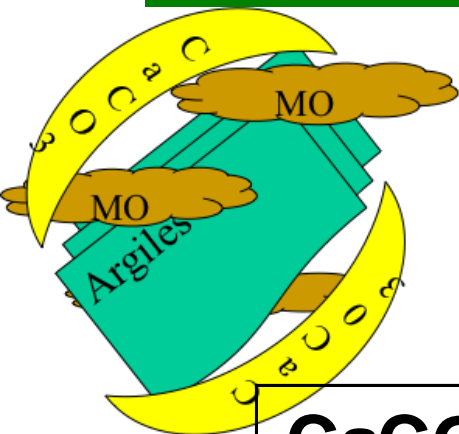
Quantité d ' humus (MO Liée) produits par
différents sous produits (d ' après Rémy et al.
1975)

SOUS PRODUIT	% de MS	Quantité épandue standard	K1	Humus produit (kg)
Paille	85	6t	0.14	715
Fumiers	25 à 28	30t	0.30 à 0.4	2250 à 3360
Lisiers	10 à 13	30t (20m3)	0.2	600 à 780
Fientes	25	10t	0.2	500
Boues de STEP	5	10t	0.09	45
Ss produits de distilerie	66	20t	0.02	264
Compost urbains	60	10t	0.40	2400
Tourbes	50	20t	0.18	1800
Humus industriel	70	4t	0.6	1680

COEFFICIENT DE MINERALISATION DE L ' HUMUS (K2)

(en fonction des teneurs en argile et en
calcaire du sol)

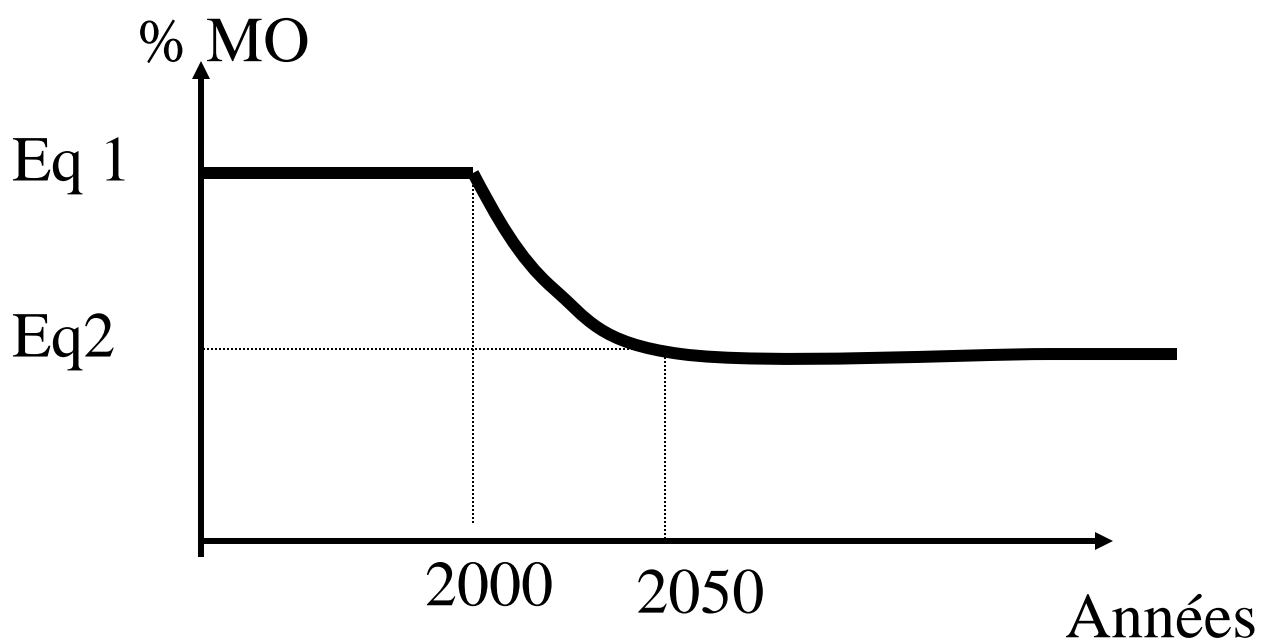
d ' après REMY et al. 1974



CaCO ₃ (0/00)	Argile (0/00)		
	50	150	300
0	2.4	1.7	1.2
50	1.9	1.4	1.0
150	1.4	1.0	0.7
400	0.8	0.6	0.4

K2 exprimé en %

EVOLUTION DU STATUT ORGANIQUE DU SOL



Exemple de calcul

Soit un sol de 15% d'argile, 5% de CaCO_3 , 2% de MO (humus) et 3500 t. de terre à l'ha.

$K_2 = 1.4\% \Rightarrow$ stock initial de MO du sol : $3500 * 2\% = 70$ t d'humus

Apports annuels :

Cas n° 1 : on enlève les paille et on épand 30 t de fumier à 25% de MS ($K_1 = 0.3$)

$$30 * 0.25 * 0.3 \Rightarrow 2.25 \text{ t d'humus}$$

Cas n° 2 : on enfouit les 6t/ha pailles à 85% de MS ($K_1 = 0.14$)

$$6 * 0.85 * 0.14 \Rightarrow 0.71 \text{ t d'humus}$$

Exports annuels :

Cas n° 1 : $(70 + 2.25) * 0.014 \Rightarrow 1.01$ t d'humus

Cas n° 2 : $(70 + 0.71) * 0.014 \Rightarrow 0.99$ t d'humus

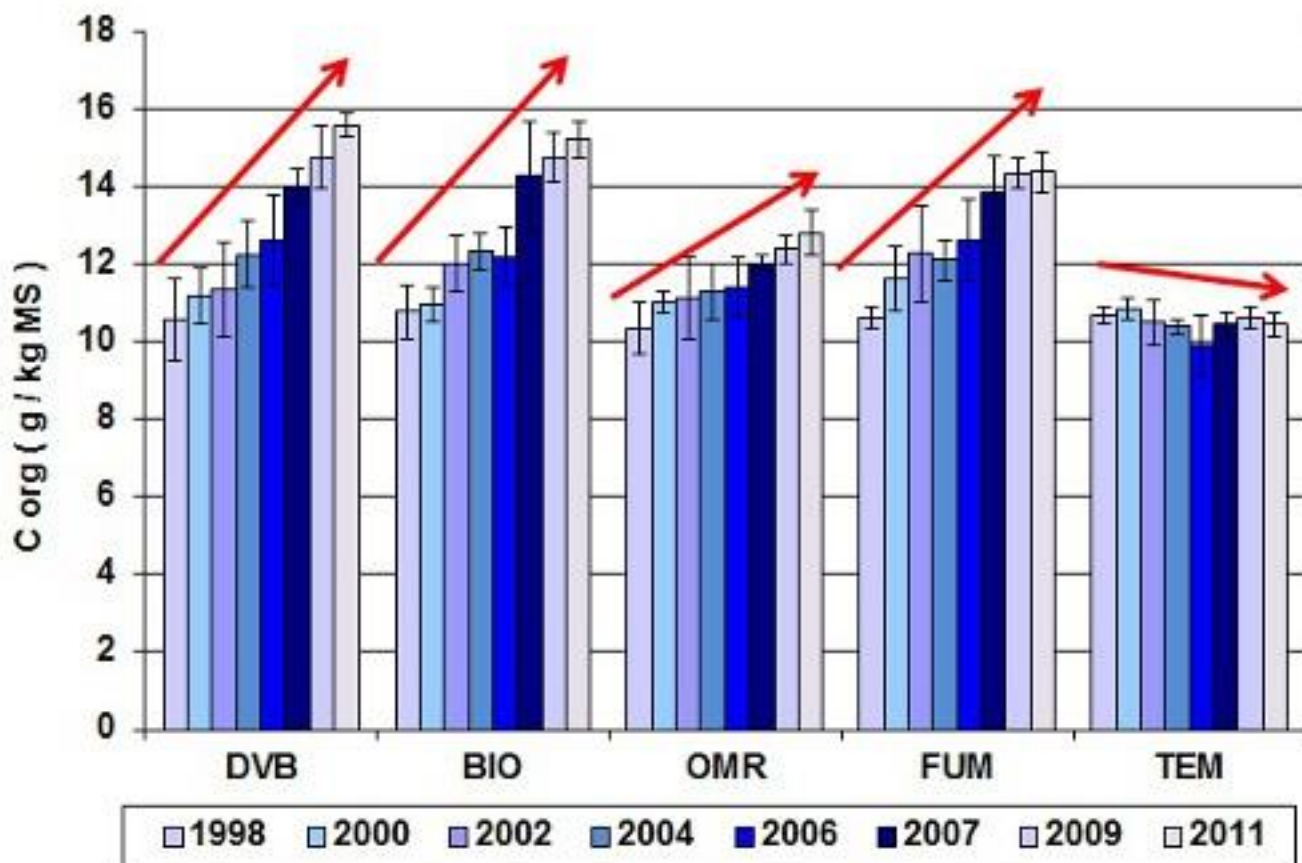
Bilan annuel :

Cas n° 1 : $2.25 - 1.01 = 1.24$ t. d'humus
 \Rightarrow enrichissement

Cas n° 2 : $0.71 - 0.99 = - 0.27$ t. d'humus
 \Rightarrow appauvrissement

Résultat de l'essai QualiAgro – INRA

<http://www6.inra.fr/qualiagro>



Evolution des teneurs en C organique dans les sols des parcelles + N depuis le début de l'essai



- DVB: compost de boues urbaines
- BIO: composts de bio déchets
- OMR: composts d'ordures ménagères
- FUM: fumier de bovins
- TEM: témoin

Exemple de calcul

Soit un sol de 15% d'argile, 5% de CaCO_3 , 2% de MO (humus) et 3500 t. de terre à l'ha.

$K_2 = 1.4\% \Rightarrow$ stock initial de MO du sol : 3500
 $\times 2\% = 70$ t d'humus

Quel équilibre?

$$dMO/dt = K_1m - K_2MO$$

- avec « MO » = teneur en MO du sol (ppl au taux d'humus)
- « t » = durée
- « m » = masse d'apports organiques frais annuelle (en MS)

$$MO = (K_1 \cdot m / K_2) + [MO_0 - (K_1 \cdot m / K_2)] e^{-K_2 t}$$

Si $t = \infty \Rightarrow e^{-K_2 t} = 0 \Rightarrow MO_{\text{équilibre}} = K_1 m / K_2$

Soit un équilibre à terme **en cas d'apport constant**.

Cas n° 1 : $MO_{\text{eq}} = 0.3 / 0.014 \times 30 \times 0.25 = 160\text{t}$ soit 4.5 % des 3500t de terre.

Cas n° 2 : $MO_{\text{eq}} = 0.14 / 0.014 \times 6 \times 0.85 = 51\text{t}$ soit 1.45 % des 3500t de terre.

Exemple de calcul

Soit un sol de 15% d'argile, 5% de CaCO_3 , 2% de MO (humus) et 3500 t. de terre à l'ha.

$K_2 = 1.4\% \Rightarrow$ stock initial de MO du sol : 3500
 $\times 2\% = 70$ t d'humus

Quelle « demi vie » pour l'humus du sol?

La durée de demi-vie de la MO du sol, sans aucun apport peut également être calculée :

$$MO = MO_0/2 \text{ et } m=0$$

$$MO_0/2 = MO_0 e^{-K_2 t}$$

Avec $K_2 = 0.014$ il vient

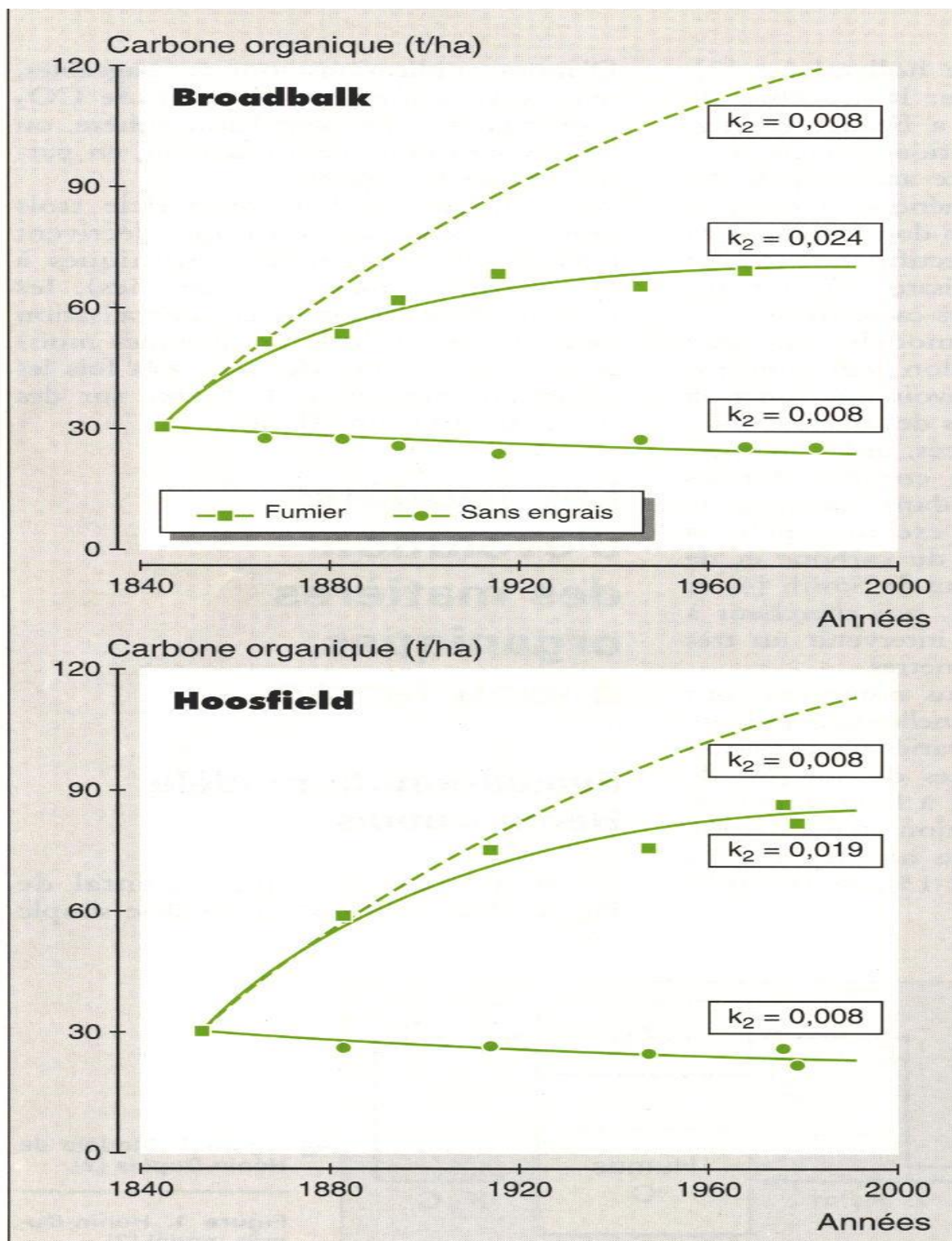
$$0.5 = e^{-0.014 t} \Leftrightarrow \ln 0.5 = -0.014 t = -0.69$$

$$\text{soit } t = 0.69/0.014 = 49 \text{ ans}$$

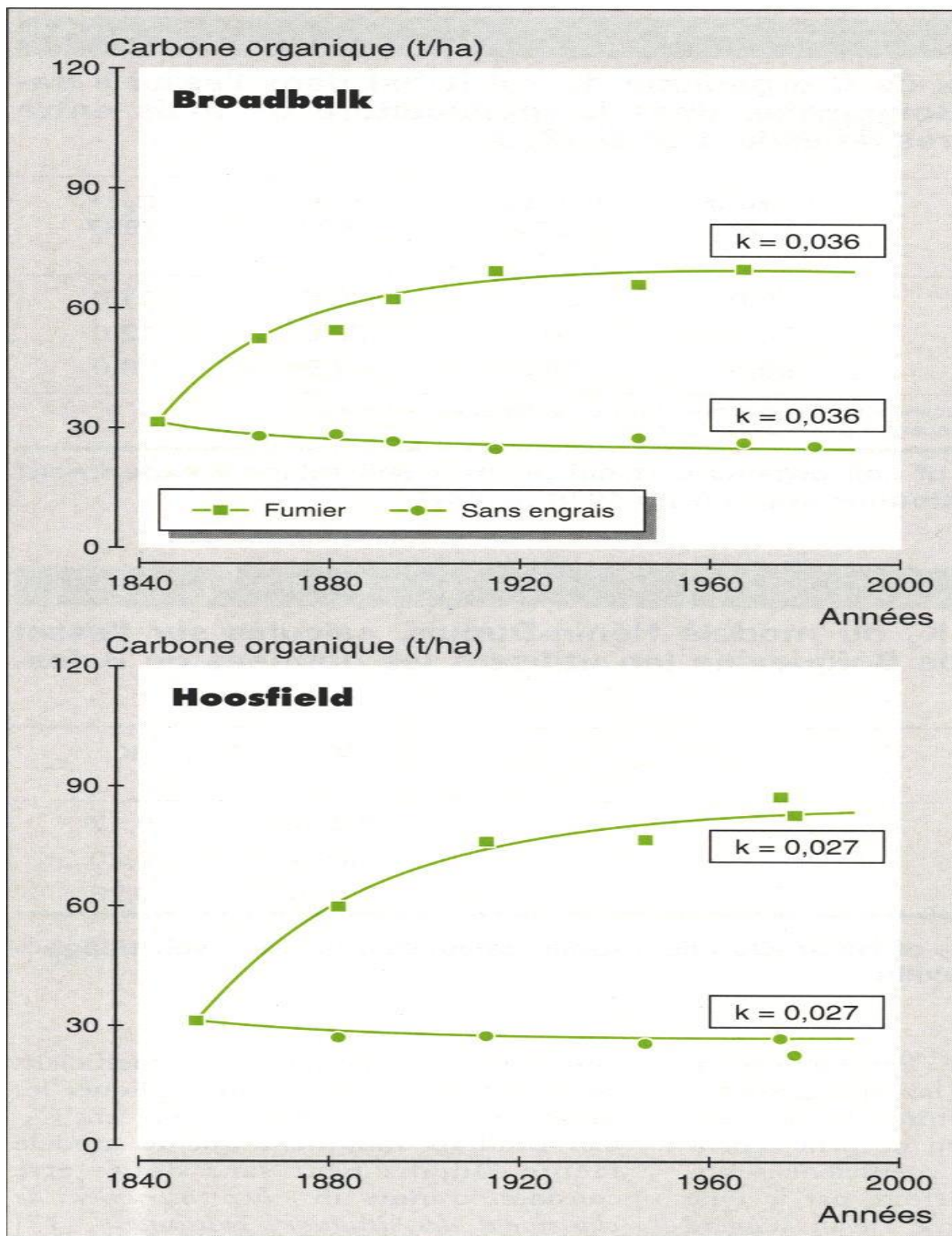
**Mais c'est en
réalité plus
compliqué
que ça !!!!**

**Le modèle pluri
compartimental
de la matière
organique des
sols**

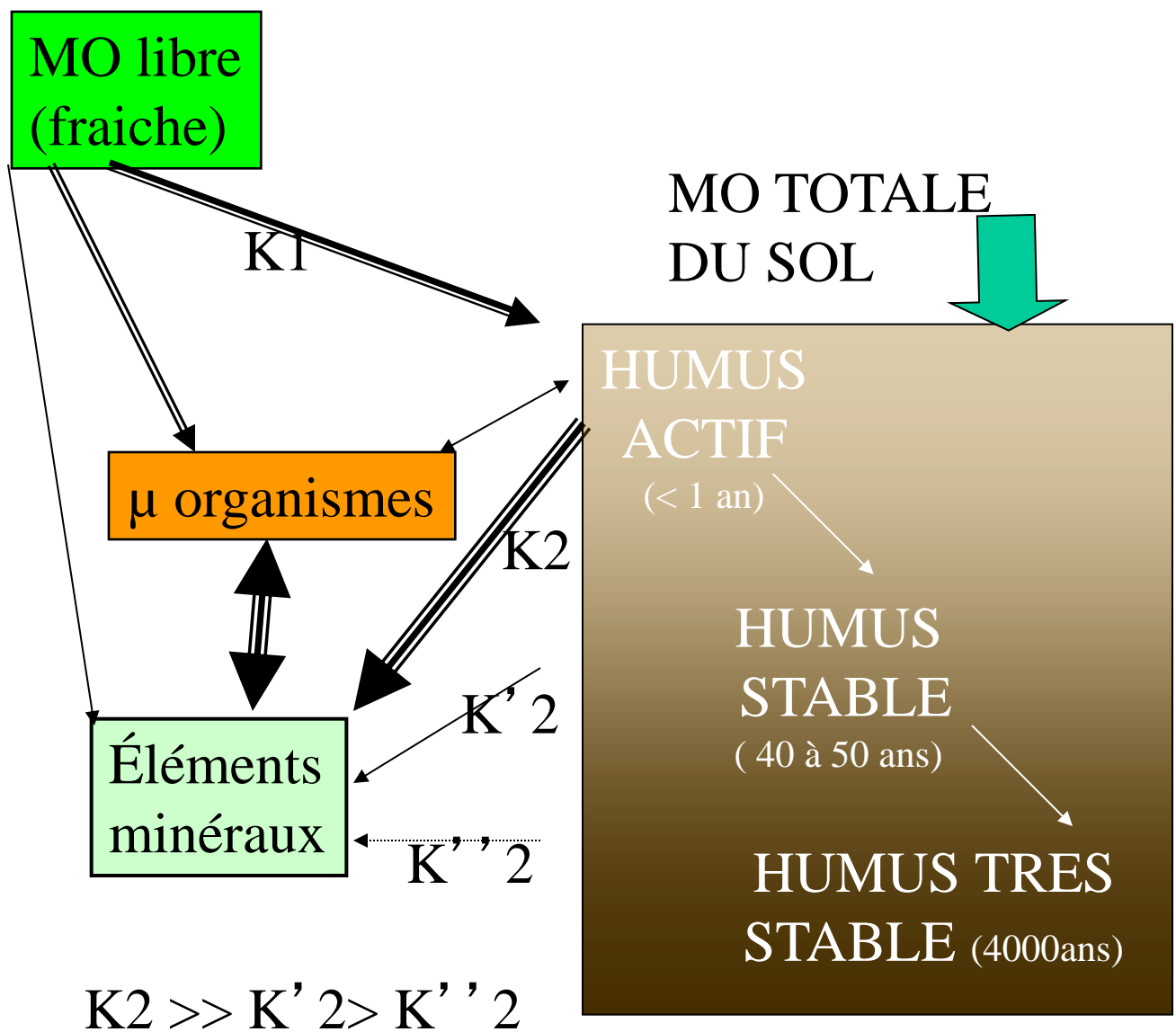
Hoosfield et Broadbalk n° 1



Hoosfield et Broadbalk n° 2



LE MODELE PLURI COMPARTIMENTAL

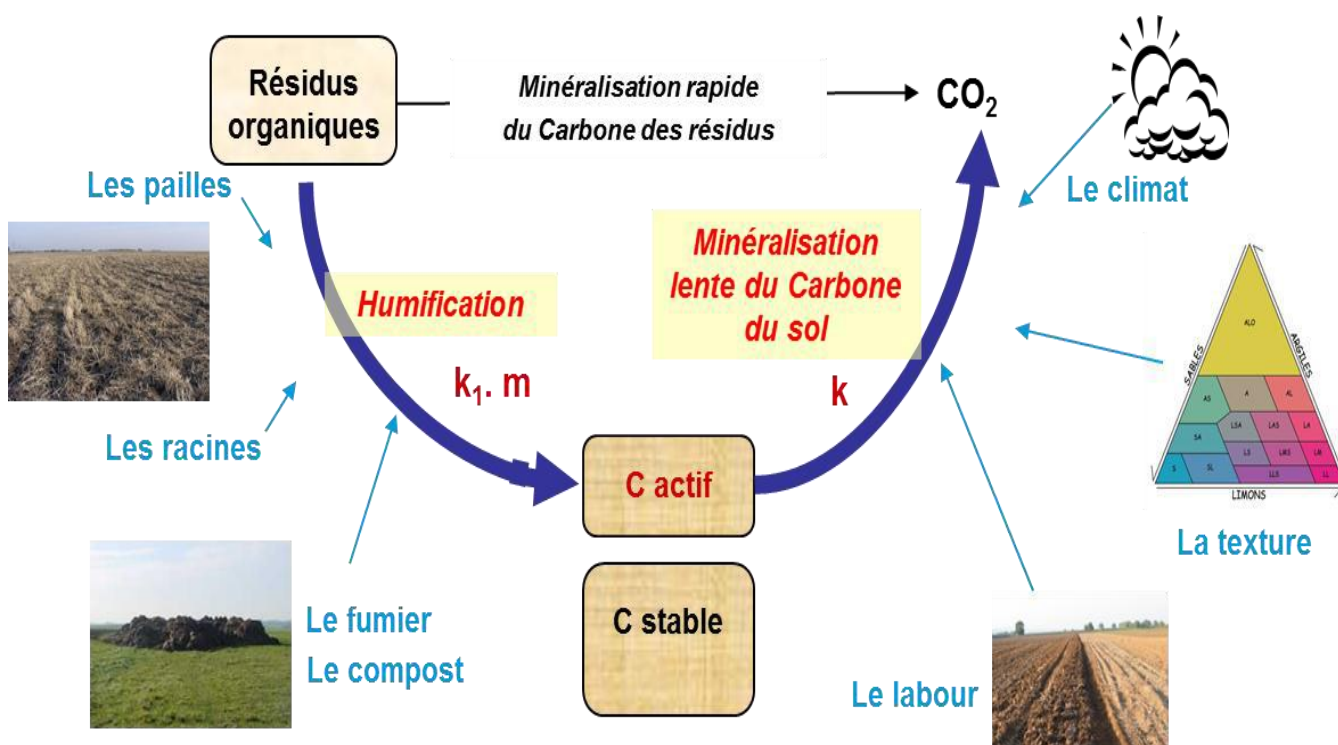


LE MODELE PLURI COMPARTIMENTAL

L'outil de simulation : SIMEOS-AMG

(Agro Transfert ST – INRA LAON - 2011)

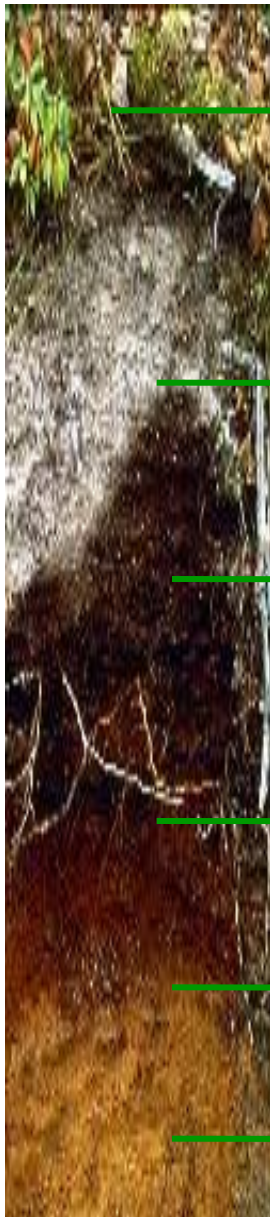
D'après Carbone des sols en Poitou Charentes – CRAPC – RMT S&T (2012)



*AMG, du nom de ces auteurs : Abdriulo, Mary, Guérif – INRA de LAON

Système de culture	Caractéristiques permanentes du sol (sur la couche 0-30 cm)	Caractéristique variable du sol	Climat (moyennes annuelles)
Cultures (rotation) Cultures intermédiaires Rendements Restitution des résidus Apports organiques Type et profondeur de travail du sol Irrigation	Argile vraie Calcaire total Densité apparente Éléments grossiers	Teneur de carbone (SIMEOS-AMG calcule ensuite le stock à partir de l'ensemble des caractéristiques du sol)	ETP Pluviométrie Température

Matière Organique du sol



Les différents types de
matière organique

Évolution de la matière
organique

Les différents modèles
d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

DETERMINATIONS DU TAUX DE MATIERE ORGANIQUE EN ANALYSE AGRONOMIQUE DE ROUTINE

✉ DOSAGE DU CARBONE TOTAL

⊠ Oxydation énergétique par un mélange sulfochromique

⊠ Dosage du carbone total par la méthode de « ANNE »

⊠ $MO = [C] * 1.724$

nb: $1.5 < K < 2$

↑ DOSAGE DE L ' AZOTE TOTAL

⊠ Lors de l ' attaque sulfochromique, l ' N de l ' humus est minéralisé en NH_3

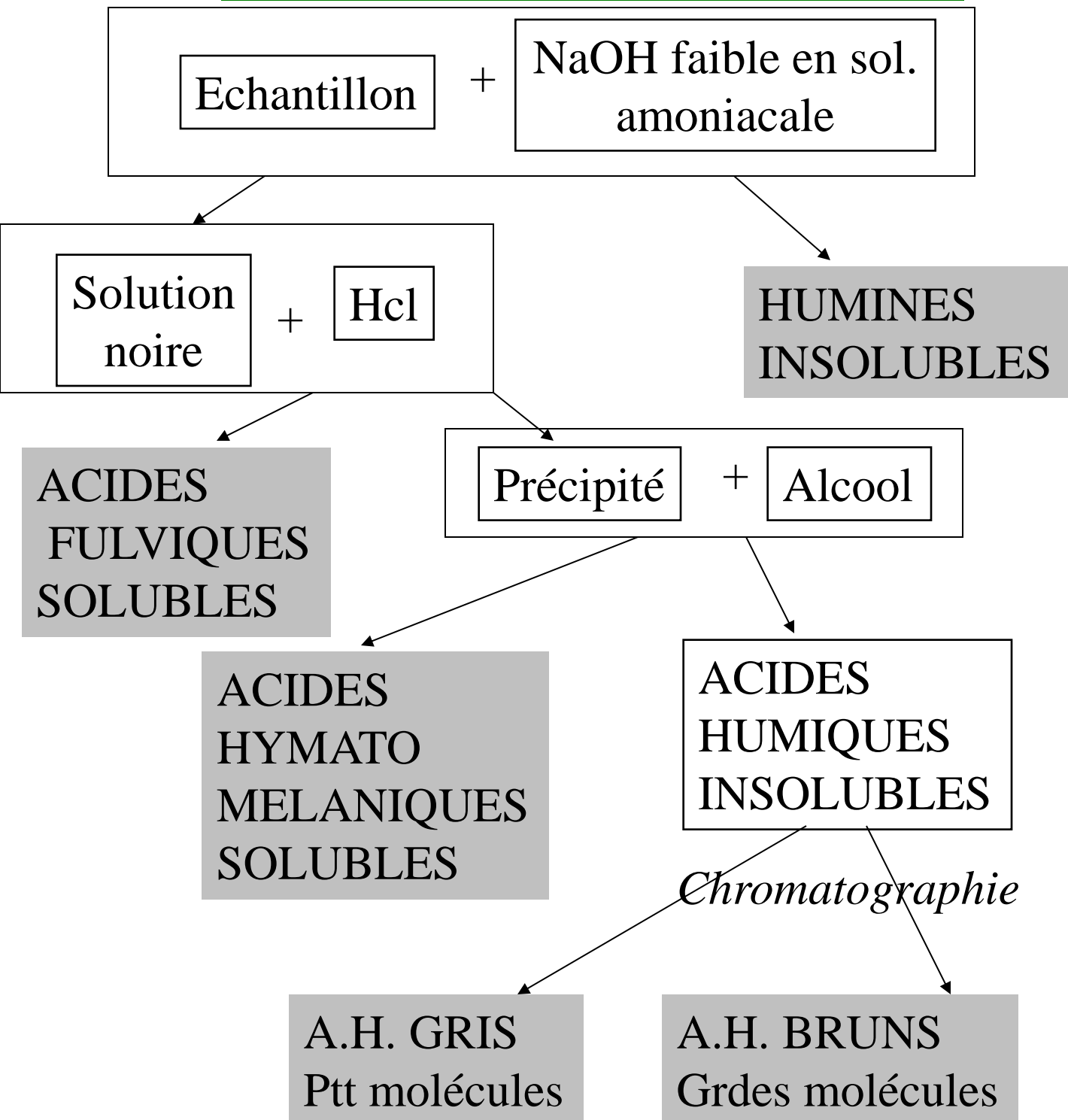
⊠ Dosage du N (NH_3) total

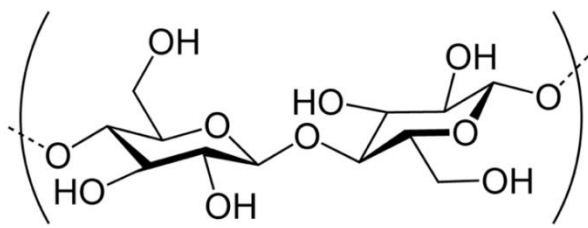
⊠ $MO = [N] * 20 \Leftrightarrow C/N = 11.6$ (valeur standard)

nb: $8 < C/N < 30$

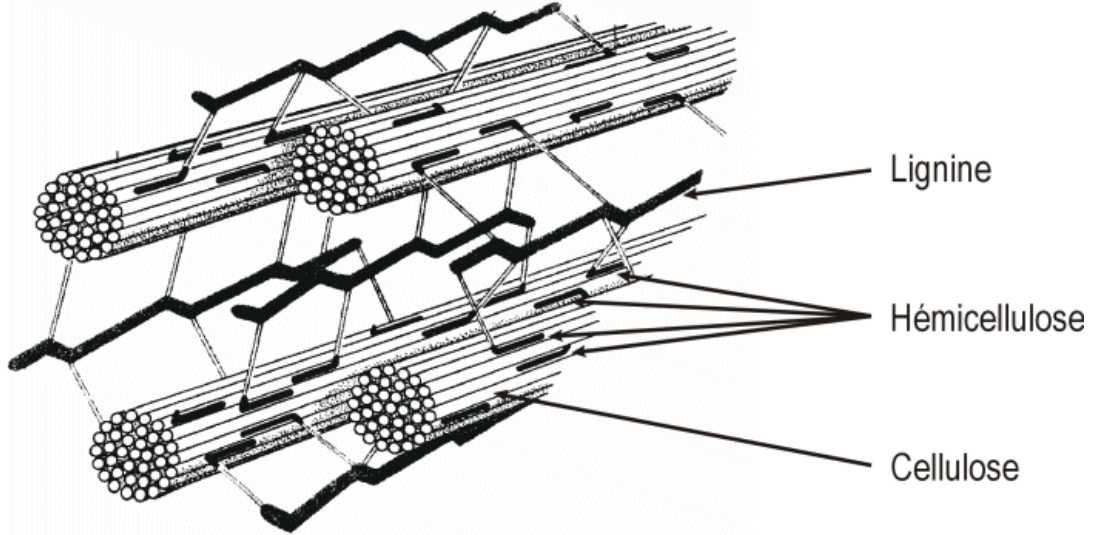
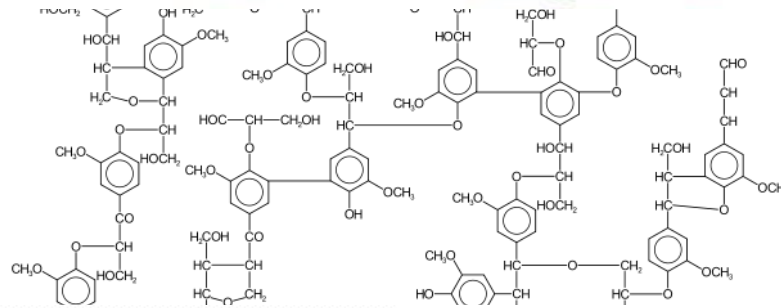
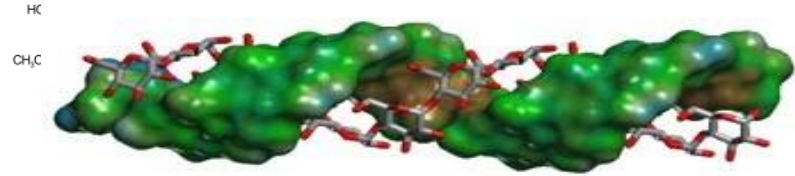
Analyse biochimique des MO du sol

Méthode de Kononova

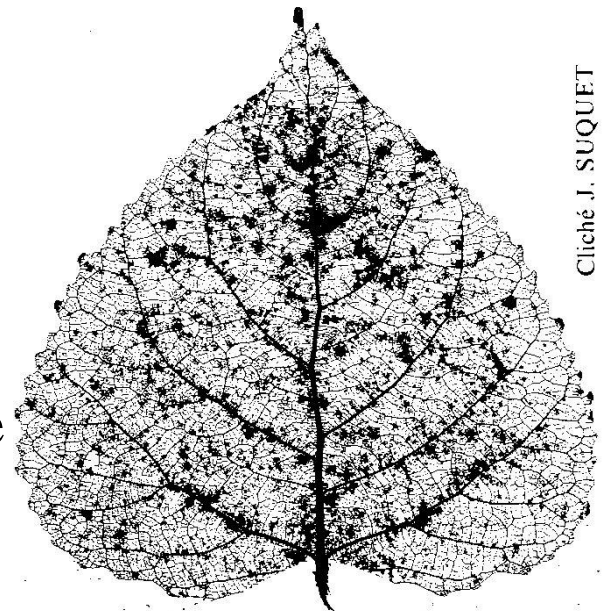




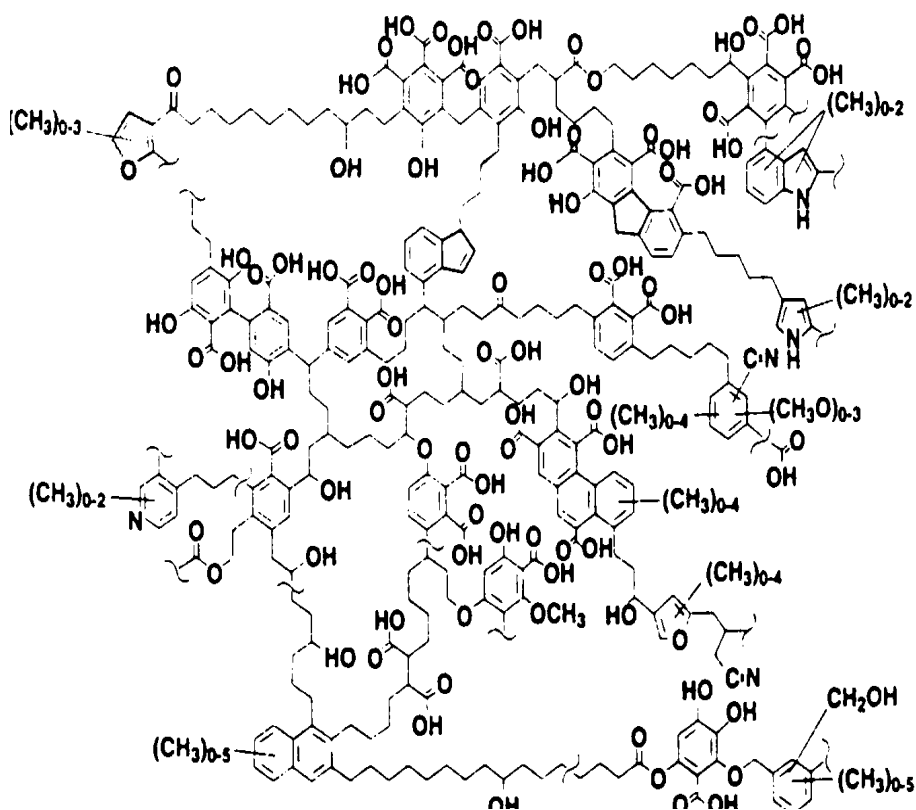
Cellulose



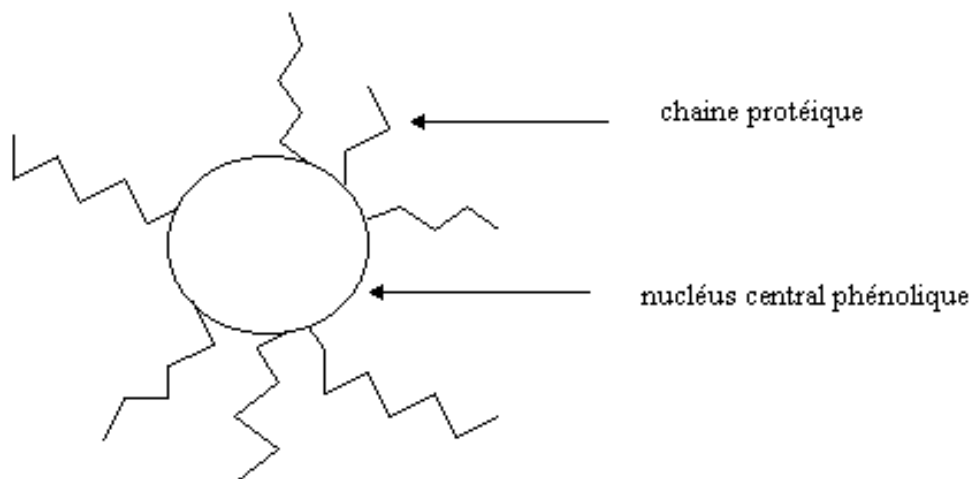
Disparition de la cellulose
Il ne reste plus que la lignine



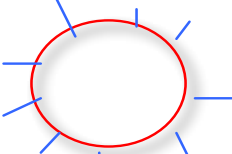
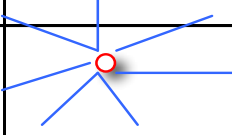

Cliché J. SUQUET



Représentation schématique d'un acide humique (Schintzer, 1992)

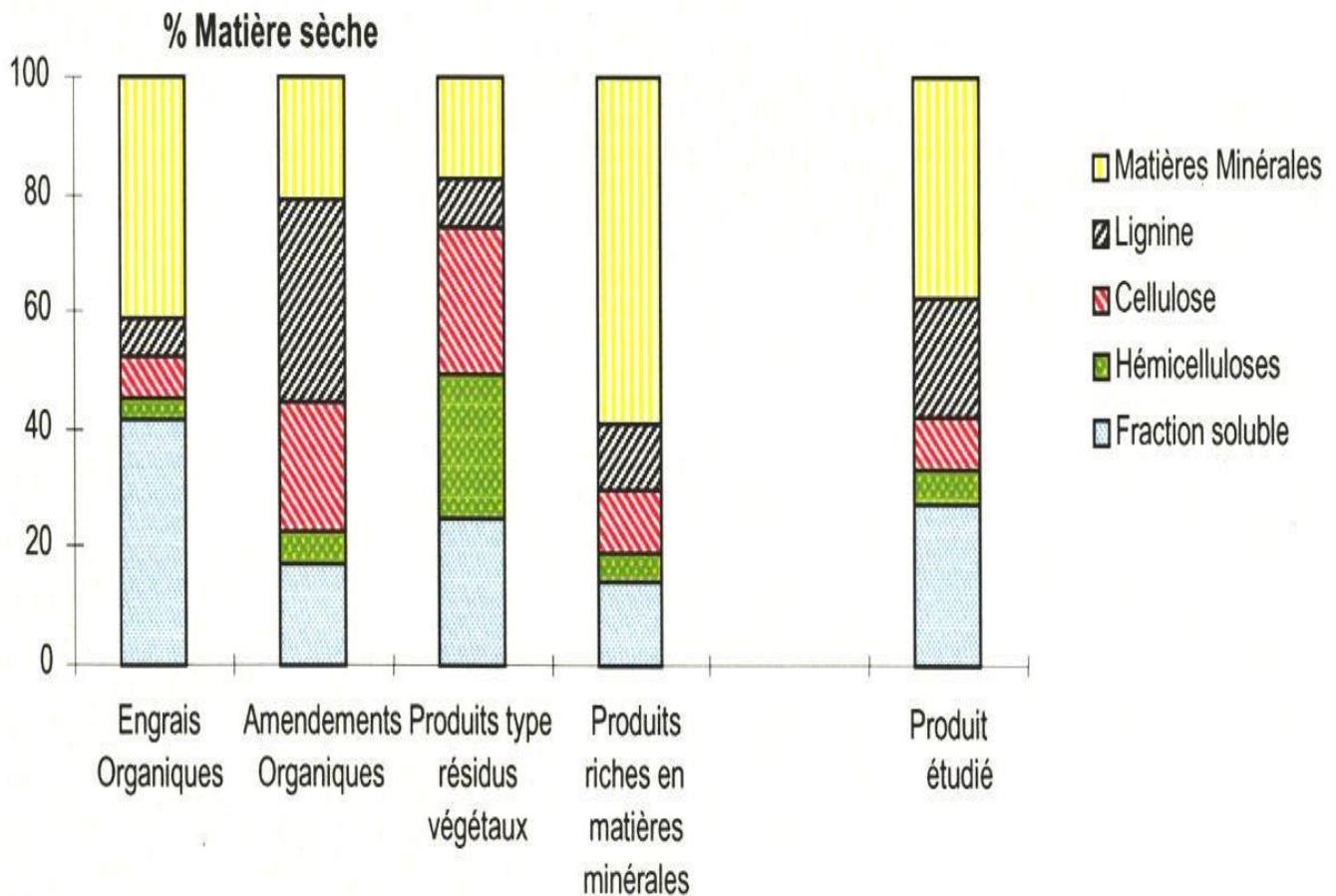


Processus d'évolution de la MO du sol en milieu naturel

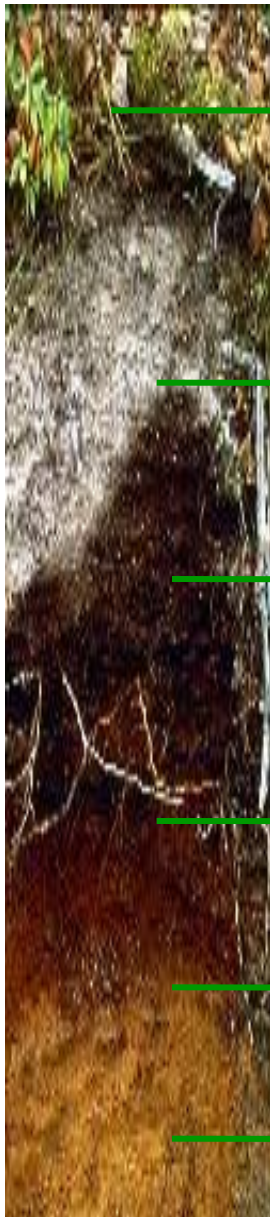
	Milieu	Mode d'action	Produit	Dynamique
Cellulolyse	Aérobique basique	Rapide (basidio.)	CO ₂ + A.H.Gris Glucides Uronides	 Minéralisation rapide
	Aérobique acide	Lente (champi.)		
	Anaérobique	Assez rapide (basidio)	CO ₂ + CH ₄ + alcools	Méthanisation & lessivage
Ligninolyse	Aérobique basique	Lente (basidio)	A.H. BRUNS	 Humification stable
	Aérobique acide	Rapide (champi.)	ACIDES FULVIQUES	 Polyphénols très mobiles et agressifs
	Anaérobique	Lente	Tourbes	
Protéolys	Basique	Rapide (μorg. variés)	ACIDES AMINES	Synthèse microbienne, Acides orga. Solubles, NH ₄
	Acide	Très lente		

NB: en milieu acide et anaérobique, la MO fraîches n'évolue pas, c'est la TOURBE

Caractérisation (fractionnement) biochimique des amendements organiques (SADEF 99)



Matière Organique du sol



Les différents types de
matière organique

Évolution de la matière
organique

Les différents modèles
d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

LES DIFFERENTS HORIZONS ORGANIQUES DANS UN PROFIL PEDOLOGIQUE

A_o	L ou O₁	MO fraîche
	F ou Of	Fermentation cellulose
	M ou Oh	Humification
A₁		Mélange humus et terre (zone de minéralisation)



*Litière peu épaisse
sous forêt : c'est un
mull, avec une
seule couche OI,
posé sur un horizon
organo-minéral A.*

*Hauteur de la
coupe : 20 cm.*

France, Vosges, climat tempéré froid

> Les horizons O, H et A



Brésil, centre-sud, climat tropical subhumide

*Litière moyennement épaisse sous forêt : c'est un **moder**, avec ses deux couches **Ol** et **Of** posé sur un horizon organo-minéral **A**.
Hauteur de la coupe : 20 cm.*



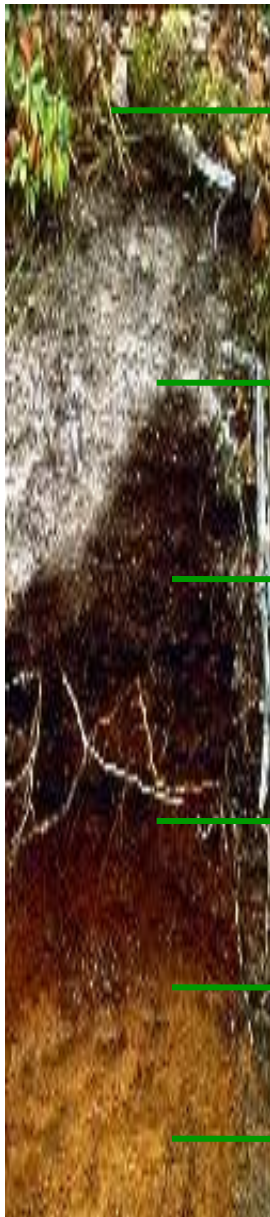
France, Morvan, climat tempéré froid

*Litière épaisse sous forêt:
c'est un **MOR**, avec ses
trois couches **Ol**, **Of**, **Oh**,
posé sur un horizon
organo-minéral **A**.
Hauteur de la coupe : 25
cm.*

CARACTERISTIQUES DES TROIS PRINCIPAUX TYPES D ' HUMUS

	MULL	MODER	MOR
HRZ	O1 A1 épais	O1 Of A1 épais	O1 Of Oh A1 mince
Composés	Acides humiques gris	Acides humiques bruns	Acides fulviques
pH	7	5.5	4
C/N	10	20	30
S/T	100%	20%	5%
CEC(meq/ 100g)	600	400	200

Matière Organique du sol



Les différents types de
matière organique

Évolution de la matière
organique

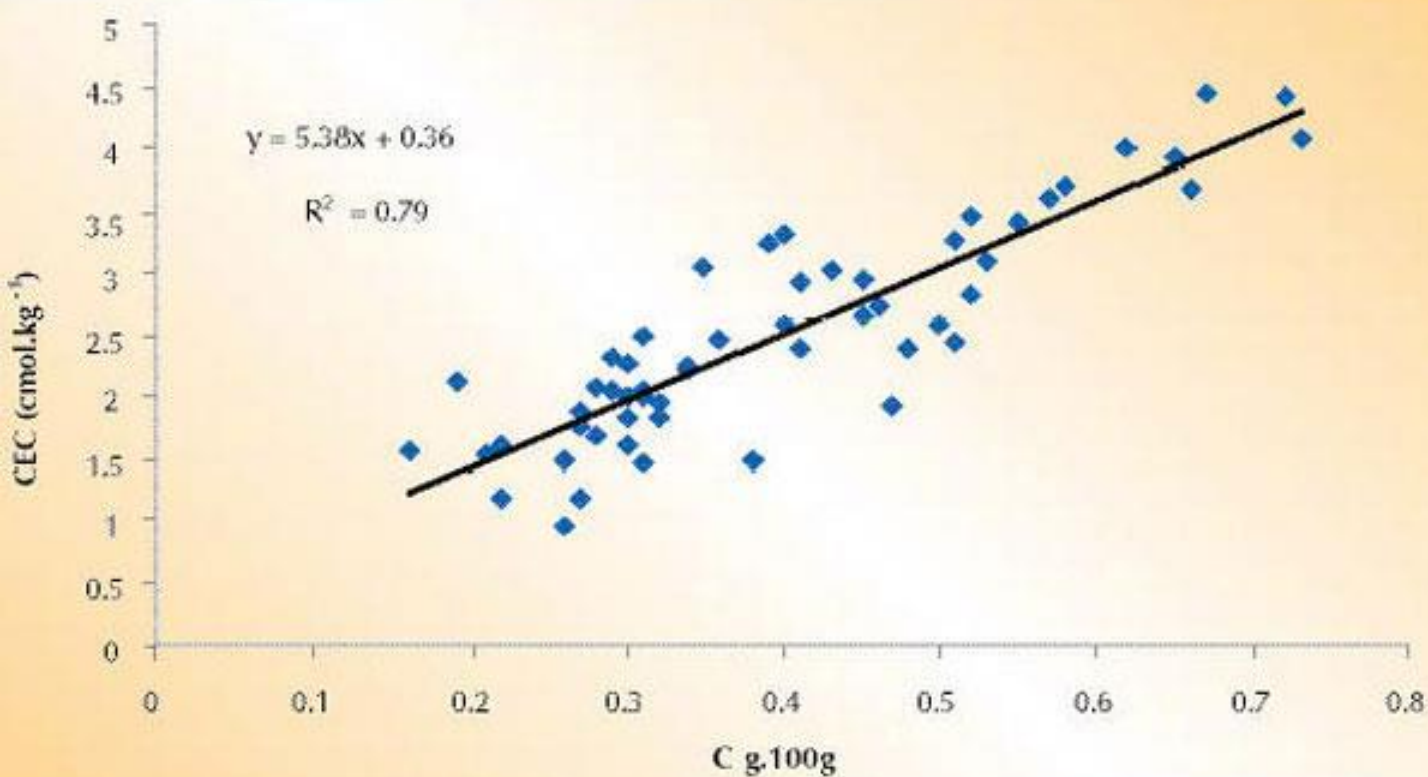
Les différents modèles
d'évolution

Méthodes d'analyse

Approche Pédologique

Approche Agronomique

Relation entre Matière organique (MOS) et la capacité d'échange cationique (CEC) du sol



Guibert - Tchad- 1971

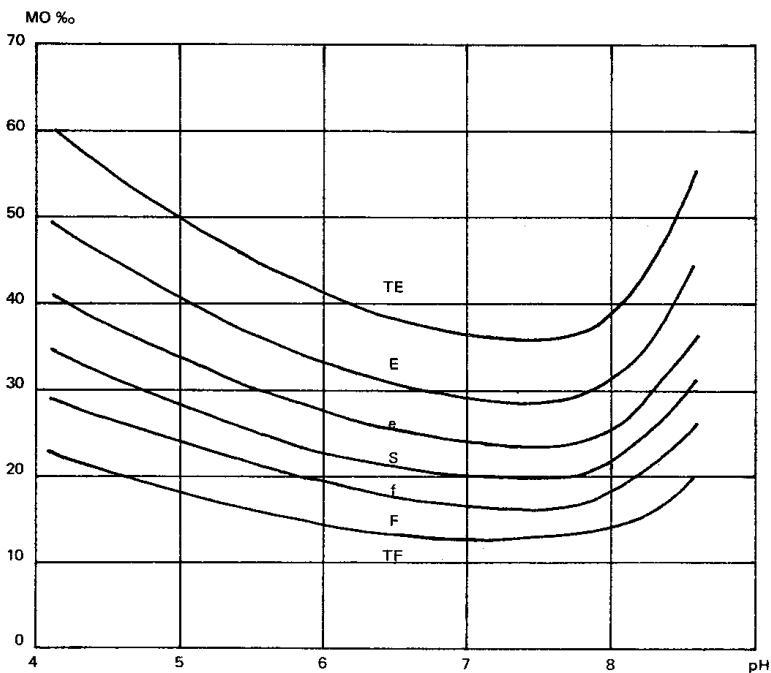
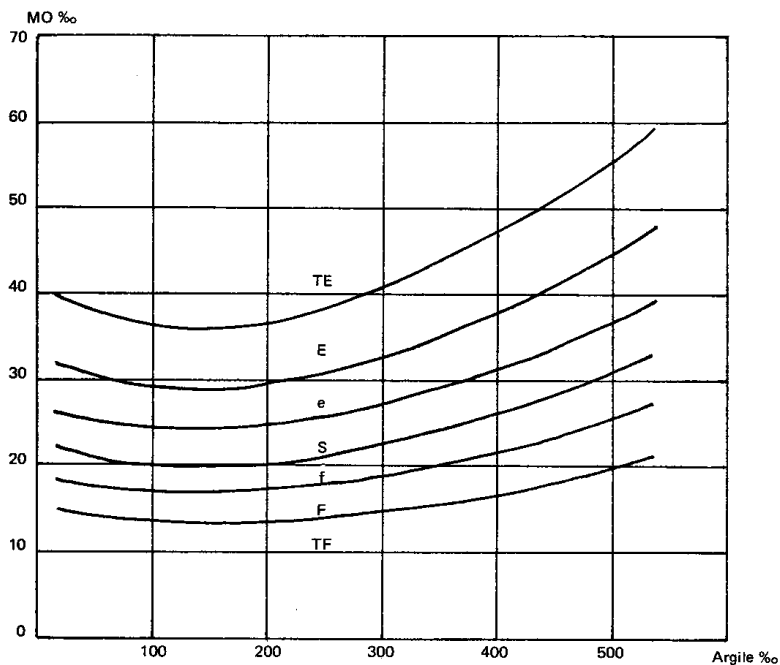
Types et quantité de minéraux produits par la minéralisation d'humus issus de différents sous produits (d'après Rémy et al. 1975)



(t/ha)		N	P2O5	K2O	CaO
		(Kg/ha)			
Paille	6	23 (-26)	10	45	23
Fumier	30	172 (25)	100	260	300
Lisier porc	30	100 (40)	80	70	20
Fientes	10	150 (100)	163	75	300
Boues de STEP	10	50 (15)	15	8	400
Ss produits de distillerie	20	66 (23)	172	8	6200
Compost hurbain	10	65 (10)	30	50	700
Tourbes	20	90 (0)	15	15	
Humus industriel	4	173 (45)	22	5	

INTERPRETATION DU TAUX DE MO DANS L' HORIZON CULTUVE

TAUX D'HUMUS, ARGILE ET pH
(Abaques de la Station Agronomique de Laon - J.C. REMY)



Le travail du sol et dilution de la matière organique



Du labour systématique



Au travail du sol simplifié



Voire le semis sous couvert

