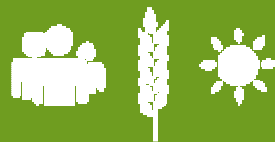




Le temps, un facteur de la pédogenèse pas comme les autres

Journée d'hommage à Marcel Jamagne



INTRODUCTION

Le temps un facteur de la pédogenèse pas tout à fait comme les autres

$$s = \int_{t_0}^{t_n} f[cl(t), o(t), p(t), r(t)] dt$$

Lin (2011) adapté de Jenny (1961)

INTRODUCTION

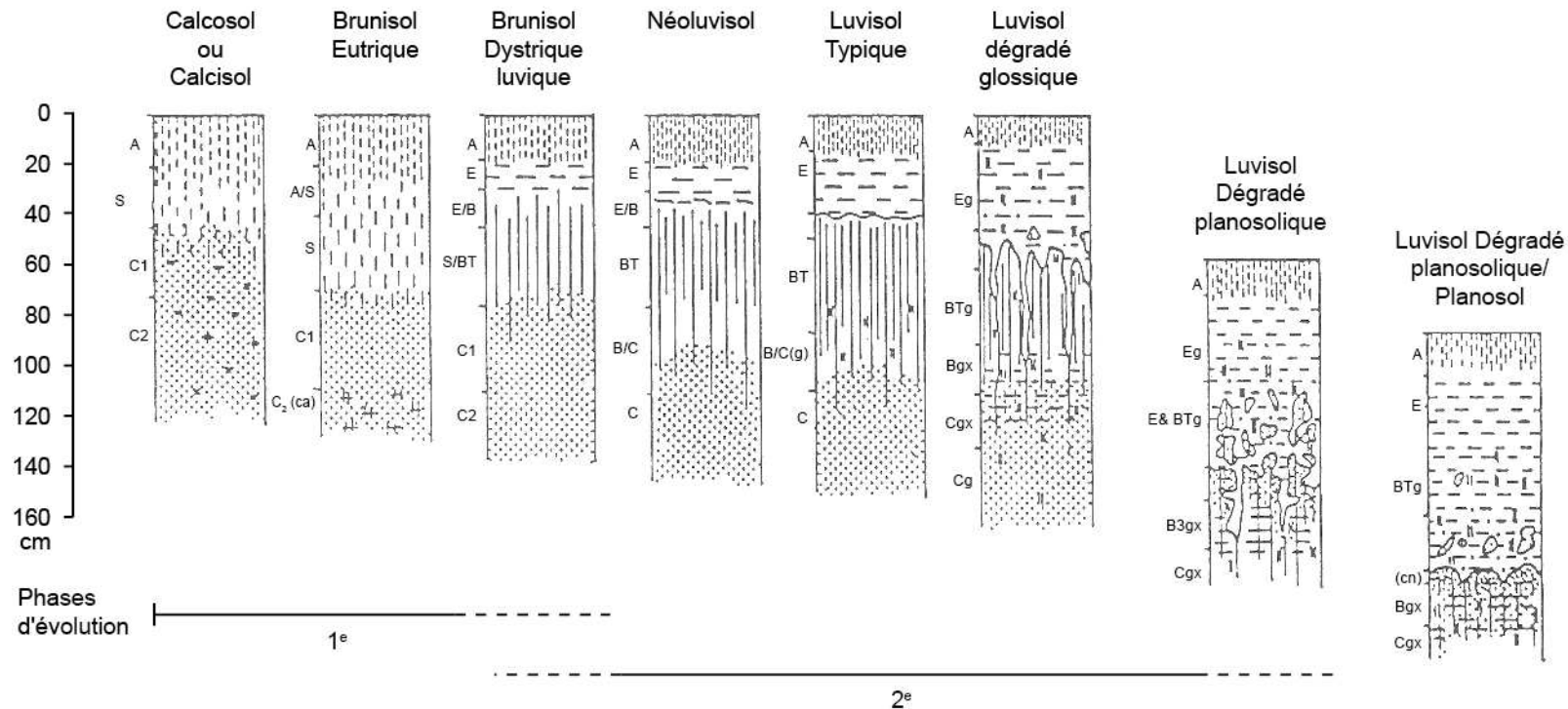
Le temps et la pédogenèse : les grands enjeux

- ✓ Quelles vitesses d'évolution pour les sols?
- ✓ Du passé vers le futur : réconcilier les différents temps des sols pour prédire leur devenir sous l'effet des changements globaux ?

_01

La substitution du temps par l'espace ou l'invention des chrono-séquences

Evolution différentielle et premières chronoséquences : Les travaux précurseurs de Marcel Jamagne (1969, ..., 2011)



+

1- Le temps, le moteur de l'évolution des sols
2- Succession des processus; concept de *phylum pédogénétique*

-

1- Un temps uniquement relatif : vitesses inconnues
2- Quel impact des autres facteurs de la pédogenèse ?

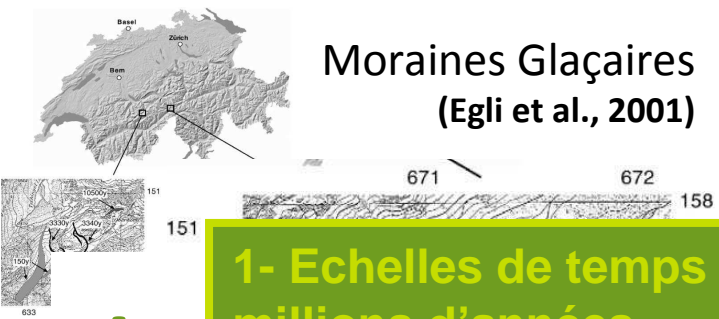
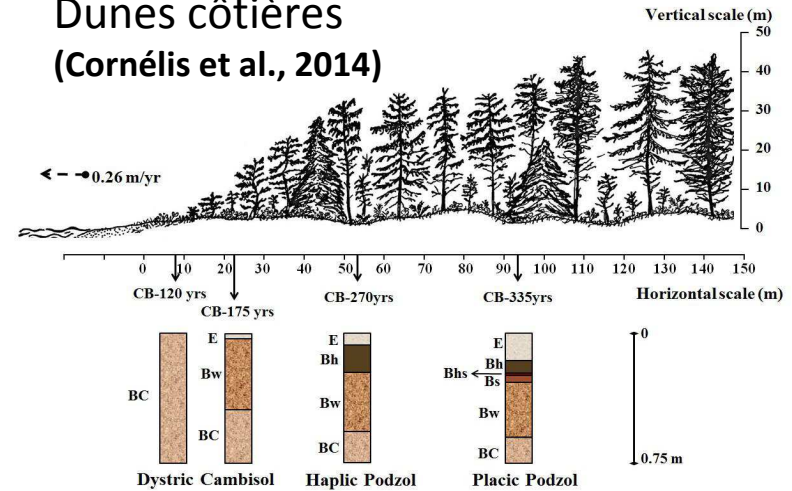
Les chronoséquences à l'épreuve de la datation

De nombreuses méthodes de datation :

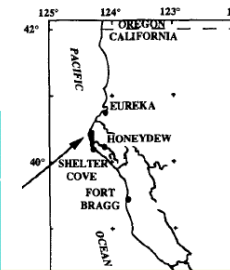
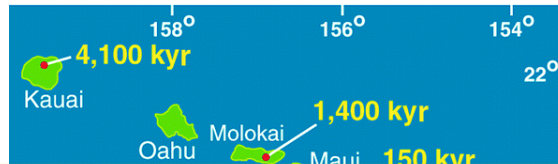
- Géomorphologie
- Dendrochronologie, successions végétations
- Datation ^{14}C de résidus organiques
- Datation OSL
- ...

Pour assez peu de situations « favorables »

Dunes côtières
(Cornélis et al., 2014)



Moraines Glaciaires
(Egli et al., 2001)



Terraces alluviales
ou marines
(Merritts et al., 1992)

1- Echelles de temps variées: de quelques centaines à quelques millions d'années
2- Premières dynamiques d'évolution des sols

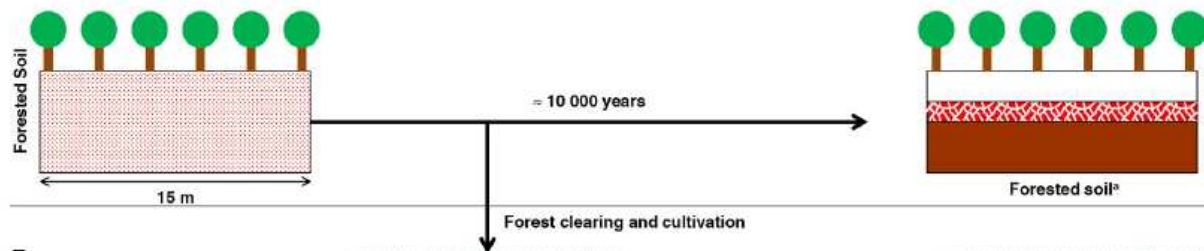
1- Des contextes géo-morpho-pédologiques peu représentatifs
2- Une faible résolution temporelle avec peu de données pour des durées inférieures au millénaire

De la formation à l'évolution sous contrainte : changement d'origine et construction d'anthropo-chrono-séquences

Chronoséquence « classique » : t_0 = date de mise en place du matériel parental

Anthropo-chrono-séquence : t_0 = date d'un changement d'usage des terres ou des pratiques agricoles

Des datations par reconstitution historique



nd soil

+

1- Vers des pas de temps plus courts (< 1000 ans): amélioration de la résolution temporelle

2- Approche possible sur une très large gamme pédoclimatique

-

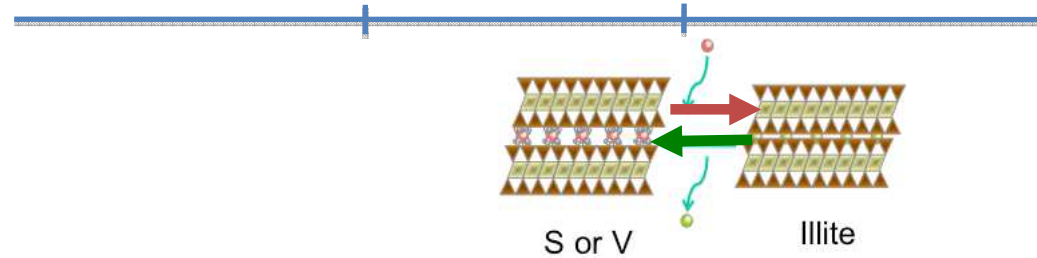
1- difficulté des reconstitutions historiques

2- Limites communes à l'ensemble des chrono-séquences : enregistrement partiel du passé, covariations des autres facteurs,...

Drain

(Montagne et al. 2016)

Quelques résultats marquants : Rapidité des échanges cationiques dans les argiles



Temps

200 ans

80 ans

10 ans

Agriculture sans apport de K

(Bortoluzzi et al., 2005)

Monoculture de maïs

(Velde & Peck, 2002)

(Velde & Peck., 2002)

(Pernes-Debuyser et al., 2003)

(Montagne et al. 2016)

(Barré et al., 2008)

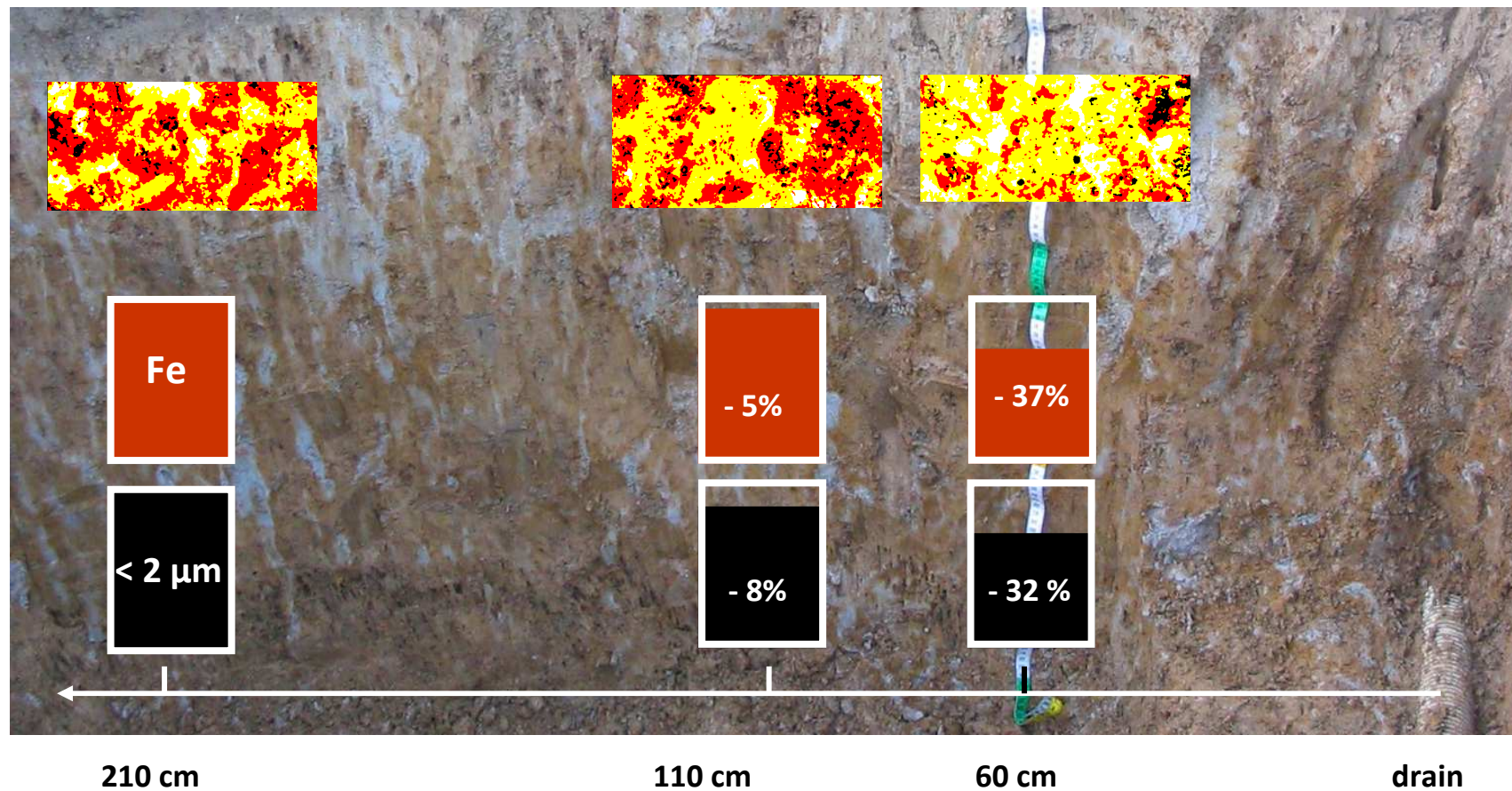
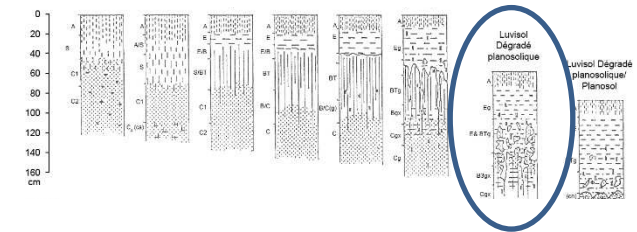
Forest monoculture

(Ticé et al., 1996)

Changements saisonniers rhizosphériques (Turpault et al., 2008)

Ferti. K

Quelques résultats marquants : Impact de 16 ans de drainage sur les Albeluvisols



Quelques résultats marquants : Rapidité de l'établissement de la podzolisation



Type de séquence	Contexte géo-morpho-pédologique	Apparition podzolisation	Source
Chrono-	Plage	Entre 175-270 ans	Cornélis et al., 2014
Chrono-	Dune	Entre 134-146 ans	Caner et al., 2010
Chrono-	Moraine glaciaire	70 ans	Burt et Alexander, 1996
Anthropo-	Reforestation de prairie	60 ans	Cornu et al., 2009

Que retenir ?

- ❖ Des différenciations rapides sur quelques dizaines d'années
- ❖ Suite à une évolution « naturelle » ou induite par l'homme
- ❖ Souvent irréversibles et donc à prendre en compte dans les raisonnements « agriculture durable »
- ❖ Pas de vraies cinétiques car des résolutions temporelles insuffisantes ⇒ des vitesses **moyennes**

_02

La géochimie isotopique : de l'âge des sols et de ses constituants à la dynamique des processus

Au départ : une mesure de l'âge de certains constituants des sols ou de leur temps d'exposition

De nombreux chronomètres issus de la géologie ou de la géomorphologie

Type	Méthode	cible	Période couverte
Age des constituants	^{14}C	Matières organiques, carbonates	< 50 000 ans
	U - Th	Carbonates, silicates, oxy-hydroxydes de Fe, Mn	2 000 à 500 000 ans
	$^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$	Oxy-hydroxydes de Mn	> 2 000 ans
Age du sol	OSL	Quartz	30 – 300 000 ans

+

- 1- Mesure absolue du temps indispensable aux chronoséquences
- 2- Un âge moyen des sols entre 10 à 100 milles ans (Wilkinson et al., 2005)

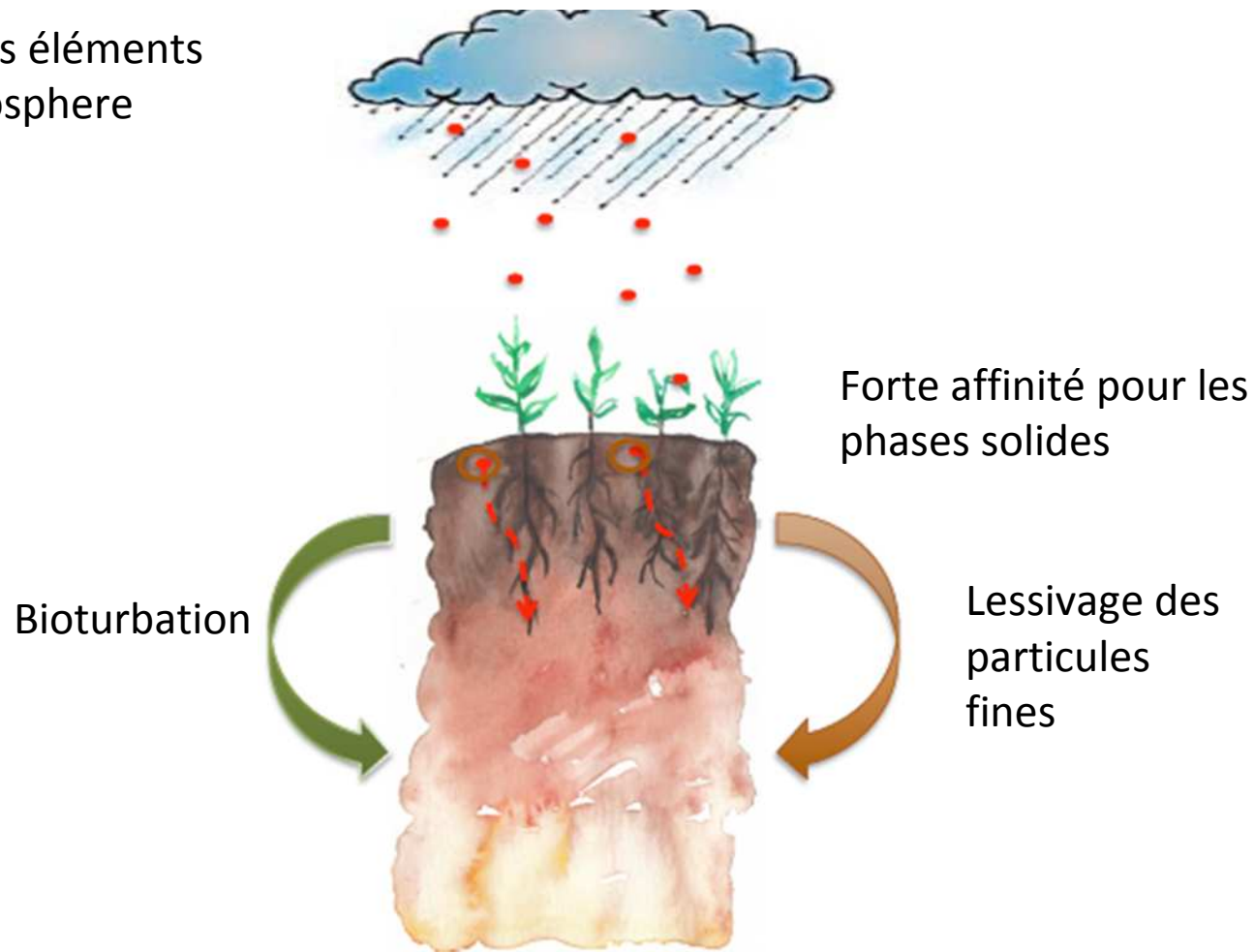
-

- 1- Application aux minéraux des sols complexe
- 2- Des âges, rarement des dynamiques de processus
- 3- Des méthodes plutôt adaptées aux pas de temps longs (> 1000 ans)

De l'âge des sols à la dynamique des transferts de matières : une approche multi-isotopiques

Principe (1/2)

Apport des éléments
par l'atmosphère



De l'âge des sols à la dynamique des transferts de matières : une approche multi-isotopique

Principe (2/2)

Isotope

^{210}Pb (xs)



$\frac{1}{2}$ vie (ans)

22.3

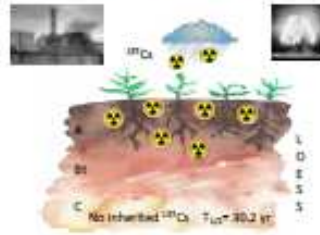
Herit.

non

Apport

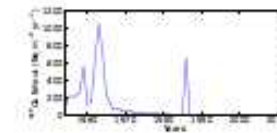
\pm constant

^{137}Cs

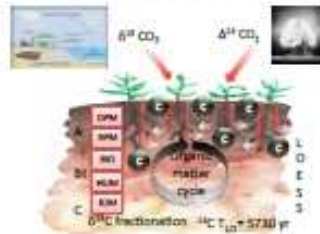


30.2

non

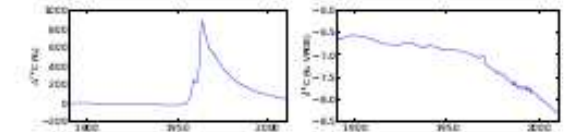


$\Delta^{14}\text{C}$

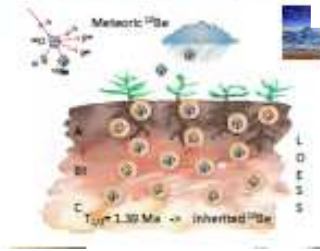


5730

oui



^{10}Be



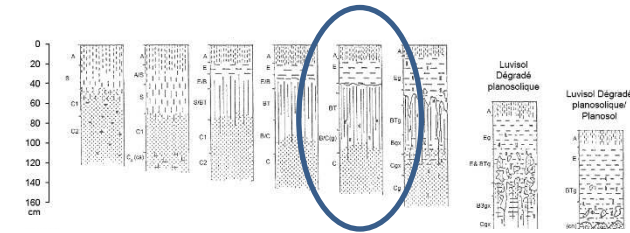
1.39×10^6

oui

\pm constant

Traçage des transferts verticaux de matière

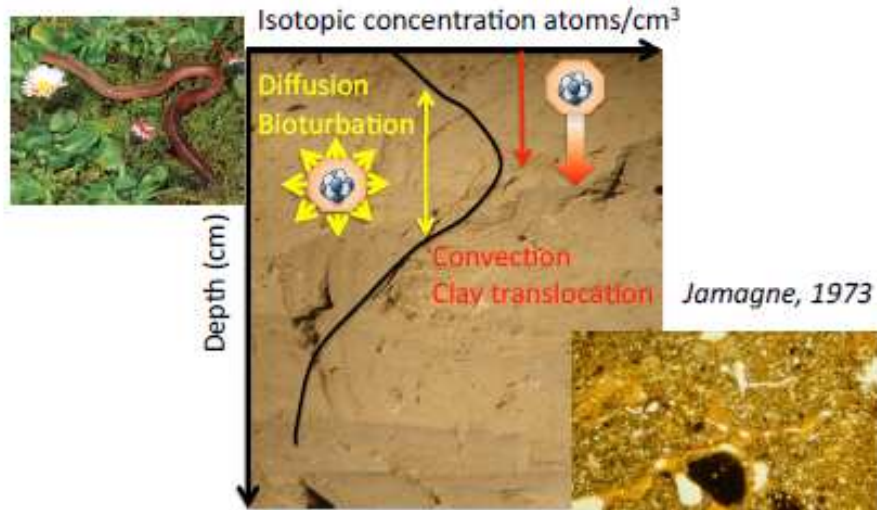
Modélisation par une équation convection-diffusion



$$\frac{\partial C(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D(z) \frac{\partial C(z, t)}{\partial z} \right) - \frac{\partial v(z) C(z, t)}{\partial z} - \lambda C(z, t)$$

C -isotopic concentration per volume, D -diffusion coefficient, v -convection velocity, λ -radioactive decay
He and Walling, 1997; Schuller et al. 1997

Boudreau, 1986

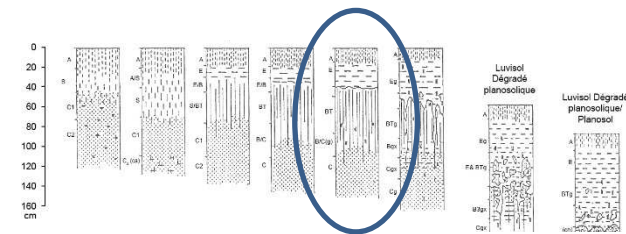
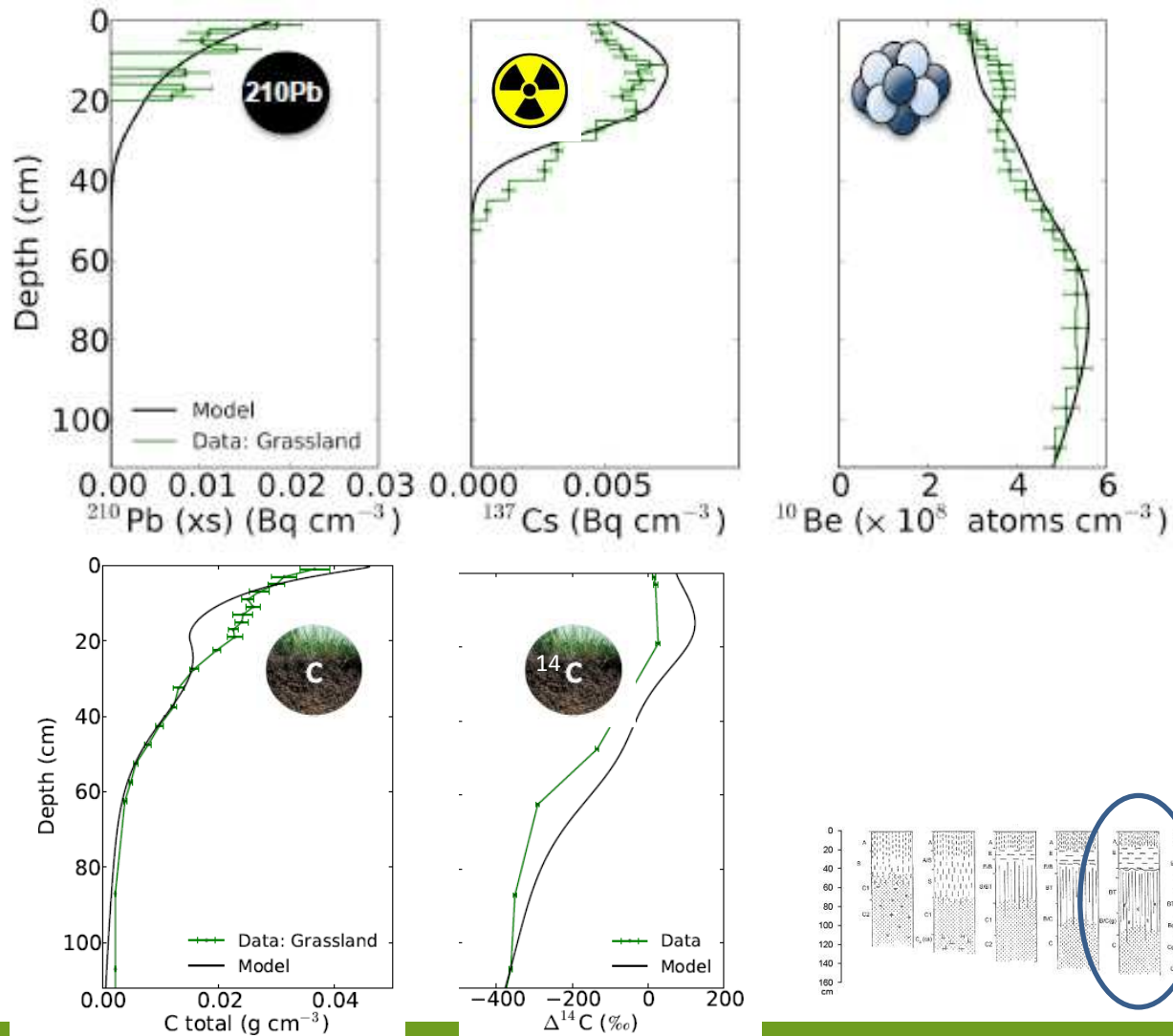
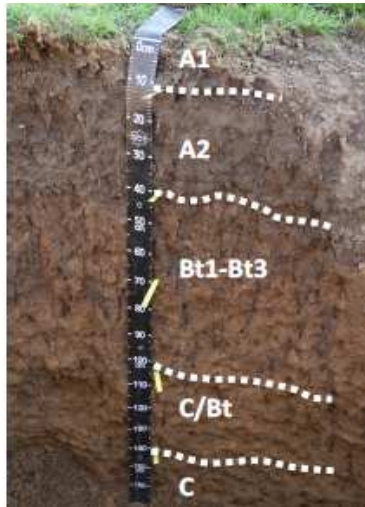


Diffusion \Rightarrow **Bioturbation**
 (Boudreau, 1986; Elzein and Balesdent 1995)

Convection \Rightarrow **Lessivage**
 (Jagercikova et al., 2014)

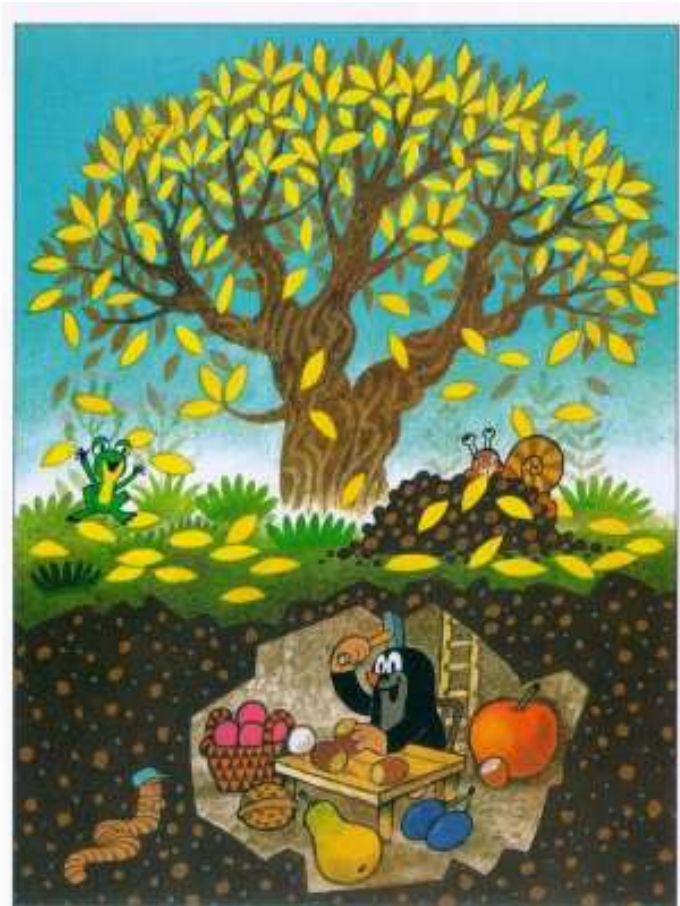
Traçage des transferts verticaux de matière

Un exemple d'application à un Luvisol sous prairie à Mons en Chaussée

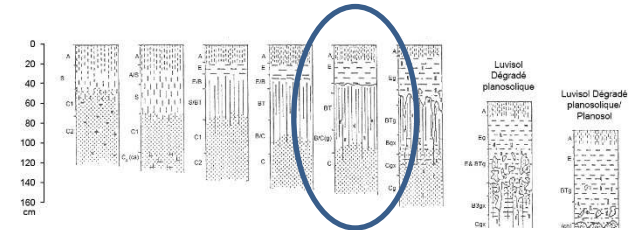


Traçage des transferts verticaux de matière

Vitesse de bioturbation dans des Luvisols tempérés



Miler Z.

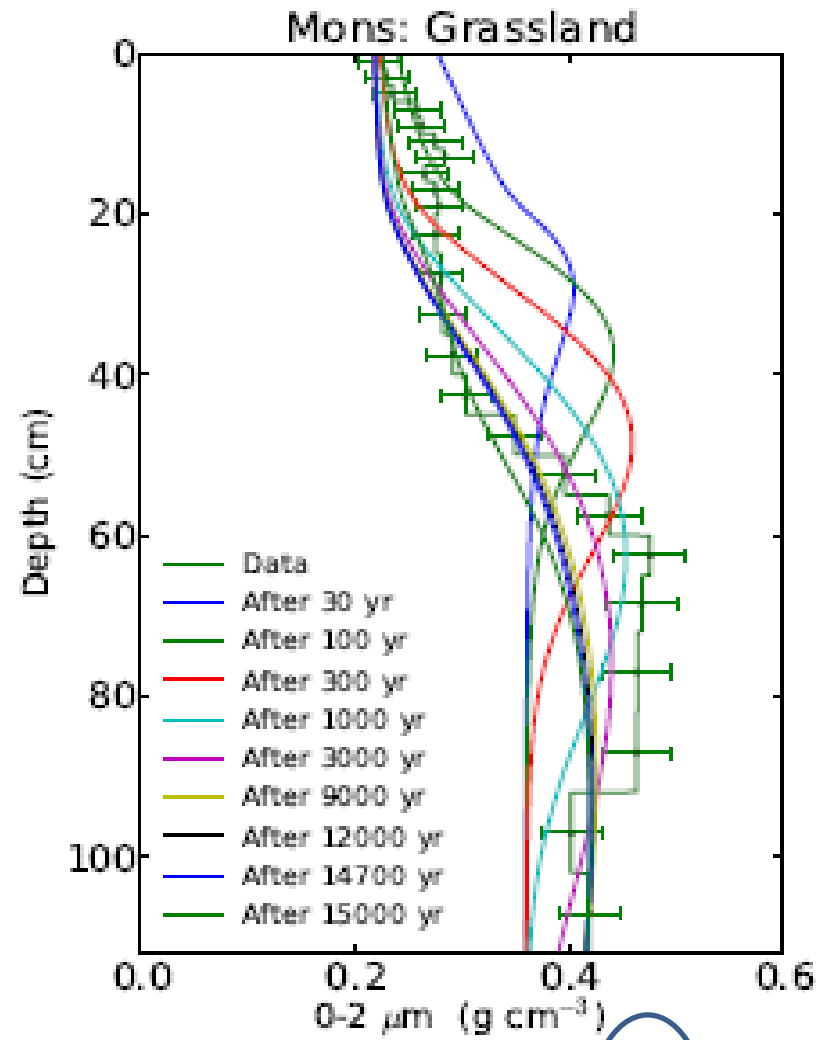
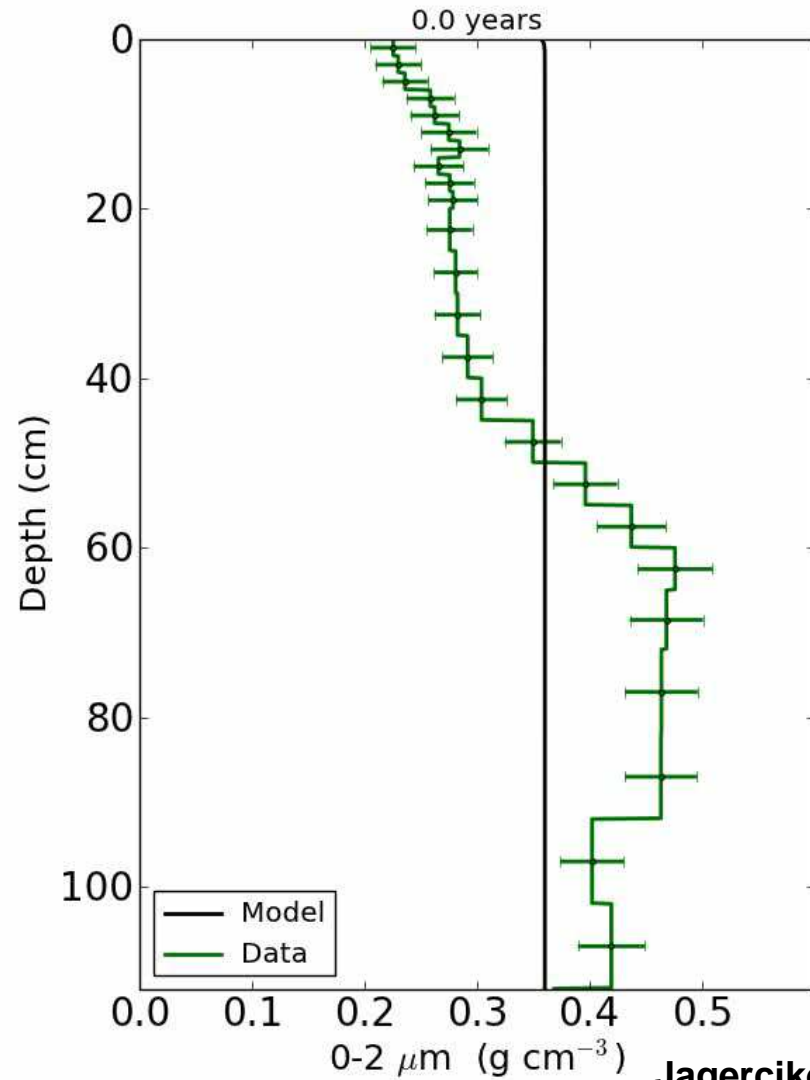


Bioturbation sous prairie :

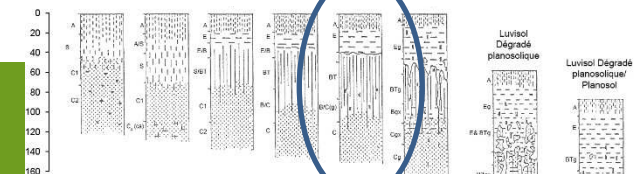
- Cette étude : 441- 687 t.ha.an⁻¹
- Littérature : 5,7 - 435 t.ha.an⁻¹
(James, 1991; Matthey et al., 1990)

Traçage des transferts verticaux de matière

Dynamique du lessivage des particules fines sur 15000 ans



Jagercikova et al., soumis



Que retenir ?

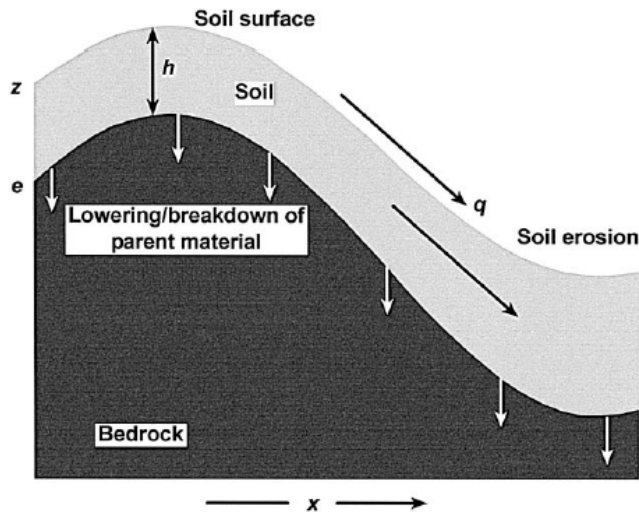
- ❖ La géochimie isotopique : un outil de datation absolue de l'âge des sols
- ❖ Des développements encore nécessaires pour adapter ces méthodes aux minéraux des sols et traduire les âges des constituants en termes de vitesse des processus
- ❖ Une première reconstitution dynamique du passé \Rightarrow des vitesses **instantanées**

_03

Prévoir le futur ou la modélisation quantitative de l'évolution des sols

Prédire l'avenir : où en sommes-nous ?

Un modèle de production et de redistribution du sol (Minasny and McBratney 1999)



- Une équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \underbrace{\frac{\rho_r}{\rho_s} \frac{\partial e}{\partial t}}_{\text{Production}} - \underbrace{\nabla q_s}_{\text{Redistribution}}$$

Production

- Une production de sol qui décroît avec la profondeur:

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -P_0 e^{-kh}$$

+

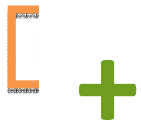
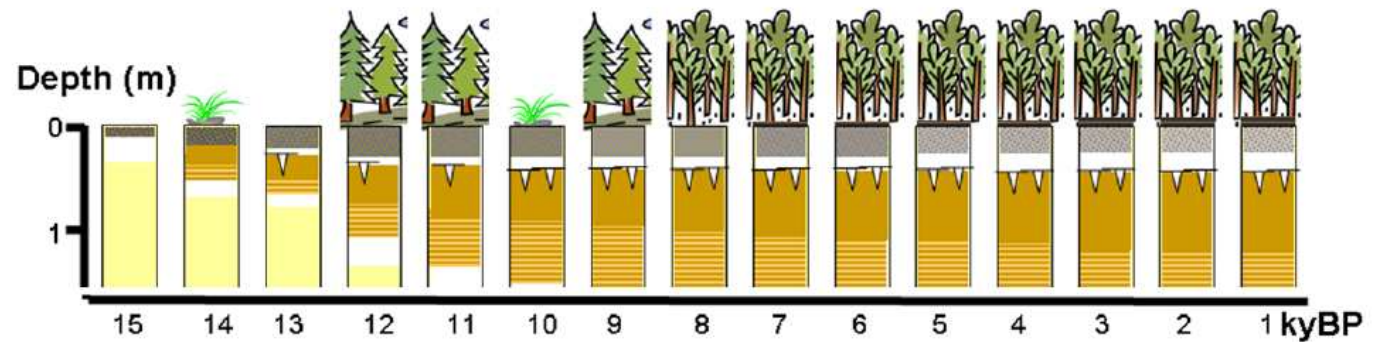
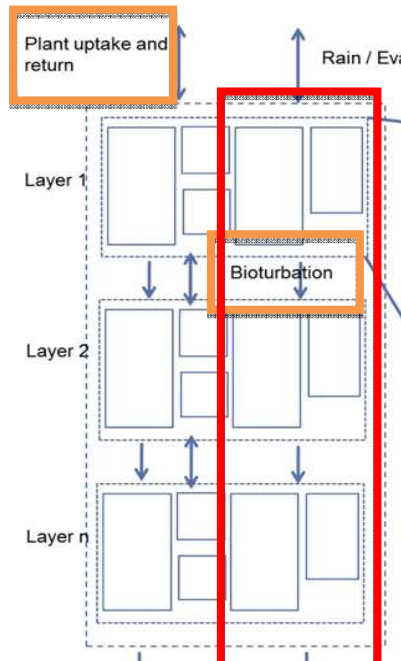
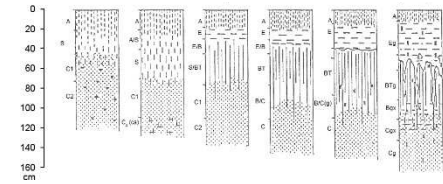
- 1- Une modélisation 2D à l'échelle du paysage
- 2- Une prise en compte spatialement explicite des transferts latéraux

-

- 1- le sol vu comme un « matériau inerte » non réactif
- 2- une incorporation des processus fondamentaux en cours
- 3- une modélisation de type « empirique »

Prédire l'avenir : où en sommes-nous ?

Un modèle déterministe de pédogenèse : SoilGen (Finke, 2012)



- 1- Modélisation mécaniste de la plus large gamme de processus
- 2- Modélisation possible des forçages climatiques et anthropiques
- 3- Vers la réconciliation des différents « temps » des sols



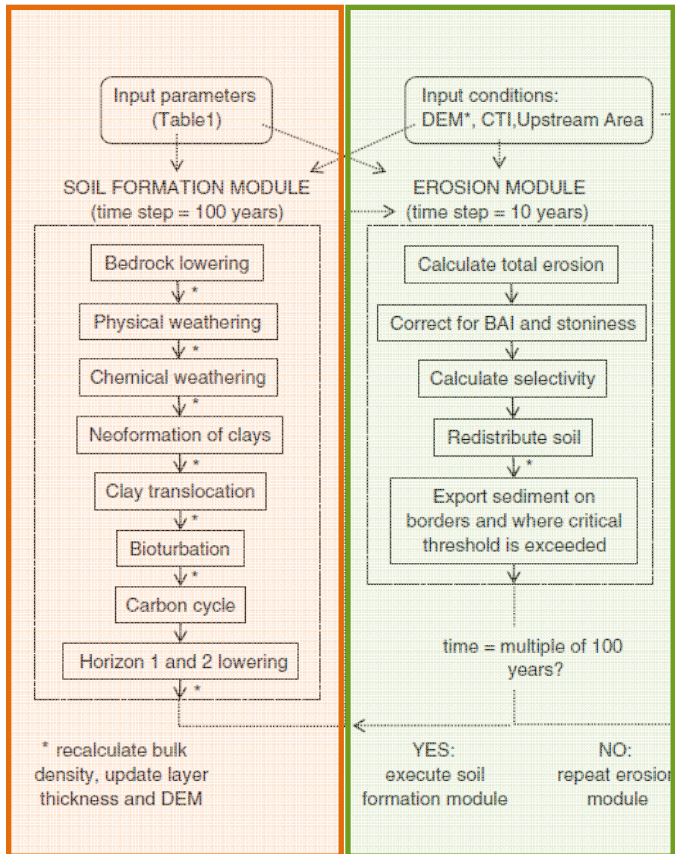
- 1- Une modélisation 1D sans prise en compte des transferts latéraux
- 2- Un modèle validé principalement sur couvertures limoneuses

Prédire l'avenir : la prochaine étape ?

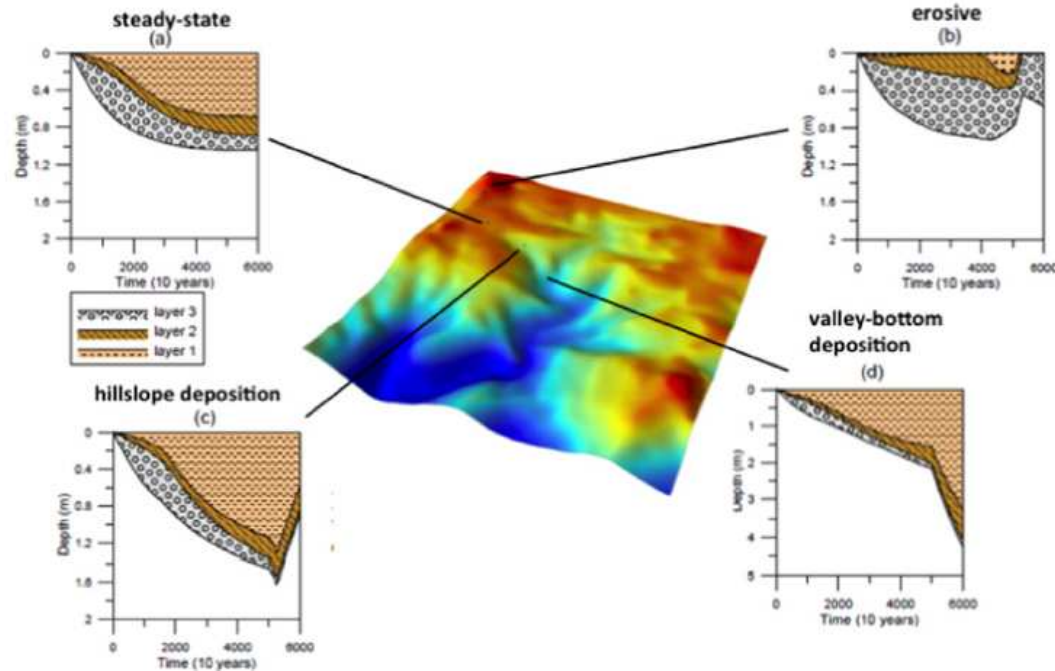
Vers un modèle intégré de pédogenèse à l'échelle du paysage

Modèle de Pédogenèse

Modèle de Paysage



Vanwallenghem et al. 2013



Evolution of soil horizons in four different landscape positions, from erosive over stable (steady-state) to depositional for a constant erosion rate during the first 50 000 years followed by higher erosion period during the last 10 000 years.

Minasny et al. 2015

Conclusion/Perspectives (1/2)

- ❖ La combinaison des travaux de Marcel sur la séquence des Luvisols notamment avec **les approches modernes (isotopie, analyse d'image ...)**

=> directions et vitesses moyennes des processus pédologiques

=> reconstruction des dynamiques passées de certains processus majeurs

⇒ **Des données indispensables à la paramétrisation et/ou la validation des modèles mécanistes**

- ❖ Les approches de modélisation => réconcilier les différents temps des sols

Conclusion/Perspectives (2/2)

- ❖ Des différenciations rapides sur quelques dizaines d'années suite à une évolution « naturelle » ou induite par l'homme
- ❖ Des différenciations souvent irréversibles et donc à prendre en compte dans les raisonnements agriculture durable
 - ❖ Il sera bientôt possible de raisonner les modalités de gestion des sols dans un objectif d'atténuation de l'impact des changements climatiques.