



C'est quoi un sol ?

par Jean-Paul Legros

Le présent module correspond à un cours donné à l'UTT de Montpellier le 3 avril 2024

Les informations fournies en marge des illustrations indiquent à quoi correspond l'image; mais elles ne reprennent pas la totalité des explications

Jean-Paul Legros est ingénieur agronome, directeur de recherche honoraire en Science du Sol (INRAE) et membre de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

L'usage des photos est autorisé; merci d'y laisser figurer la mention des auteurs



I. L'organisation du sol à différentes échelles

II. Le sol dans son environnement

III. La diversité des sols

IV. Les fonctions des sols

V. Les menaces sur les sols

Quelle que soit l'échelle à laquelle on les regarde, les sols sont organisés si bien qu'il est parfaitement faux de les considérer comme constitués d'une substance informe et sale « la terre » pour ne pas dire « la boue » ou « la poussière ». Nous allons le montrer en partant de l'échelle du mètre jusqu'à celle du microscope électronique et même de l'atome.

3

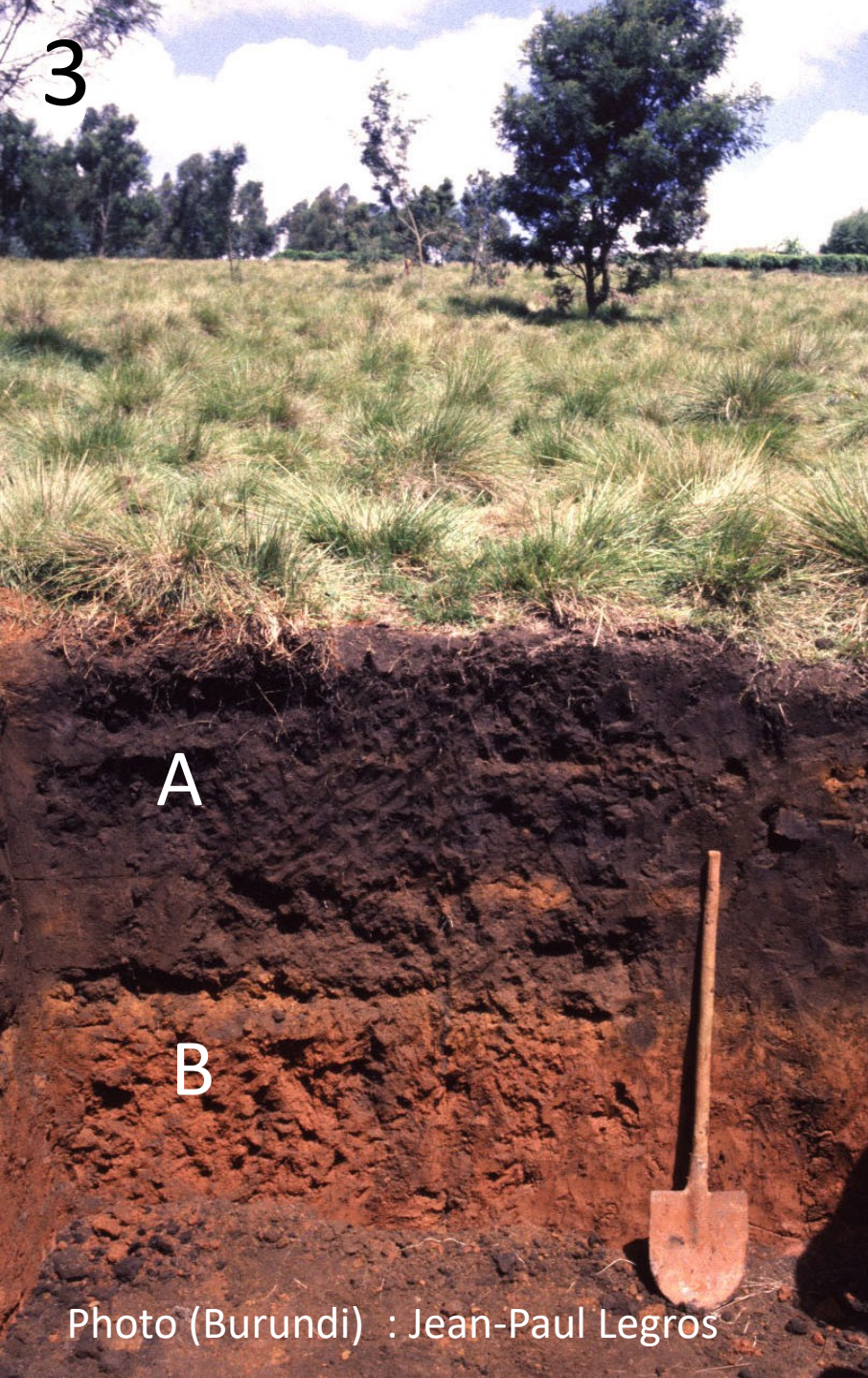


Photo (Burundi) : Jean-Paul Legros

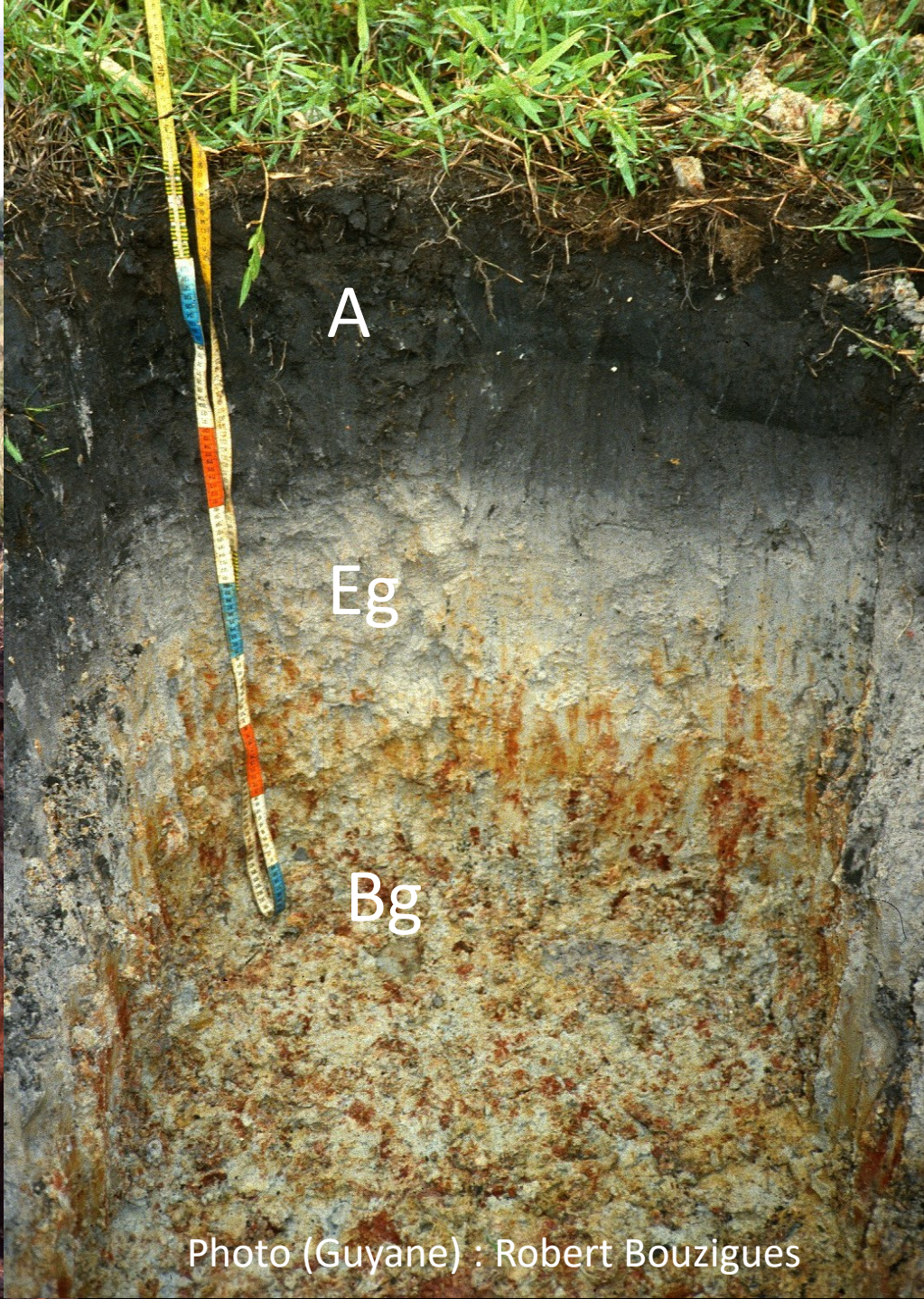
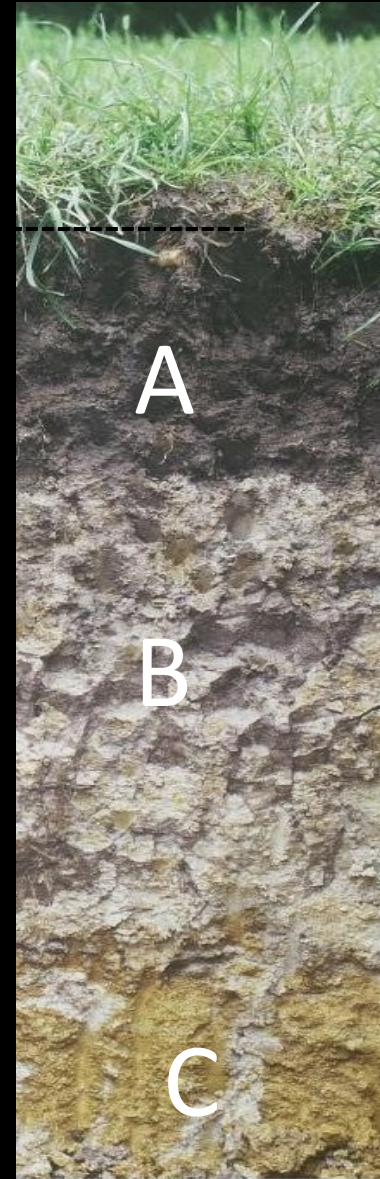
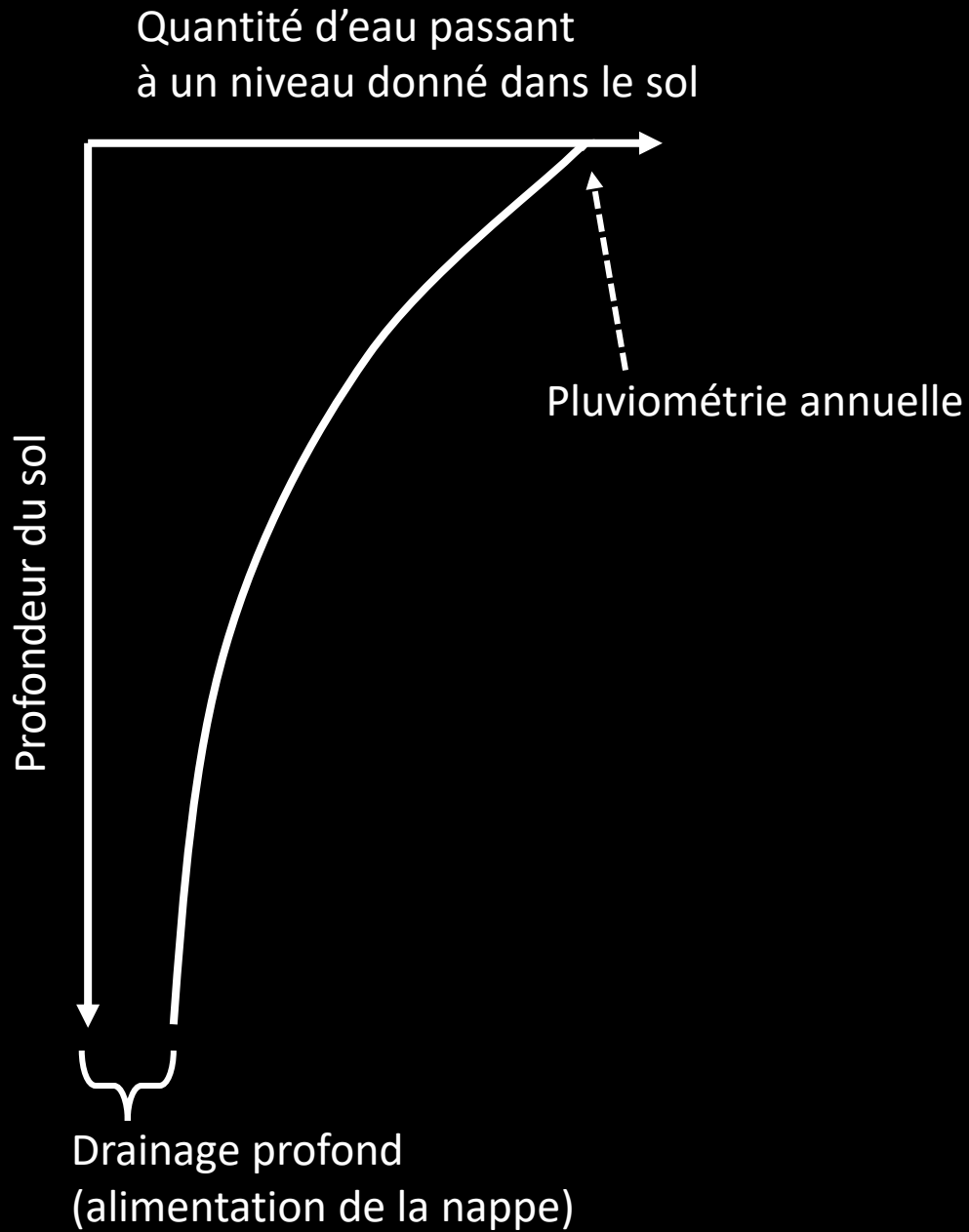


Photo (Guyane) : Robert Bouzigues

Regardés en coupe, les sols sont organisés en horizons c'est-à-dire en couches généralement parallèles à la surface du terrain ; on les numérote avec les premières lettres de l'alphabet, ceci depuis les débuts de la discipline. Mais il faut les étudier de bas en haut !

[Pour en savoir plus cliquer ici](#)



La différenciation verticale des sols est principalement liée aux facteurs suivant : la pluie pénètre de moins en moins avec la profondeur. Donc l'altération est croissante de bas en haut. En même temps, les redistributions de matière ou d'ions se font de haut en bas mais comme la pluie pénètre de plus en plus difficilement avec la profondeur, le principal est l'alimentation du B à partir du A en substances solides ou solubles.

Photo : CDA36,
J. Moulin, 1999



Photo (Alpes du Nord): Jean-Paul Legros

Quand on l'examine de près, le sol est structuré c'est-à-dire qu'il est divisé en agrégats. Ici, ils sont très gros et bien visibles si bien que la structure est dite « prismatique ». Mais il existe bien d'autres types de structures. Tout cela est lié aux variations d'humidité.

Un sol doit contenir à la fois de la matière solide pour nourrir les plantes, de l'air pour faire respirer les racines et de l'eau pour les abreuver, il vient que les meilleures structures sont celles qui ménagent des cavités entre les agrégats et rendent ainsi le sol léger et poreux.



Ici excellente
structure
polyédrique

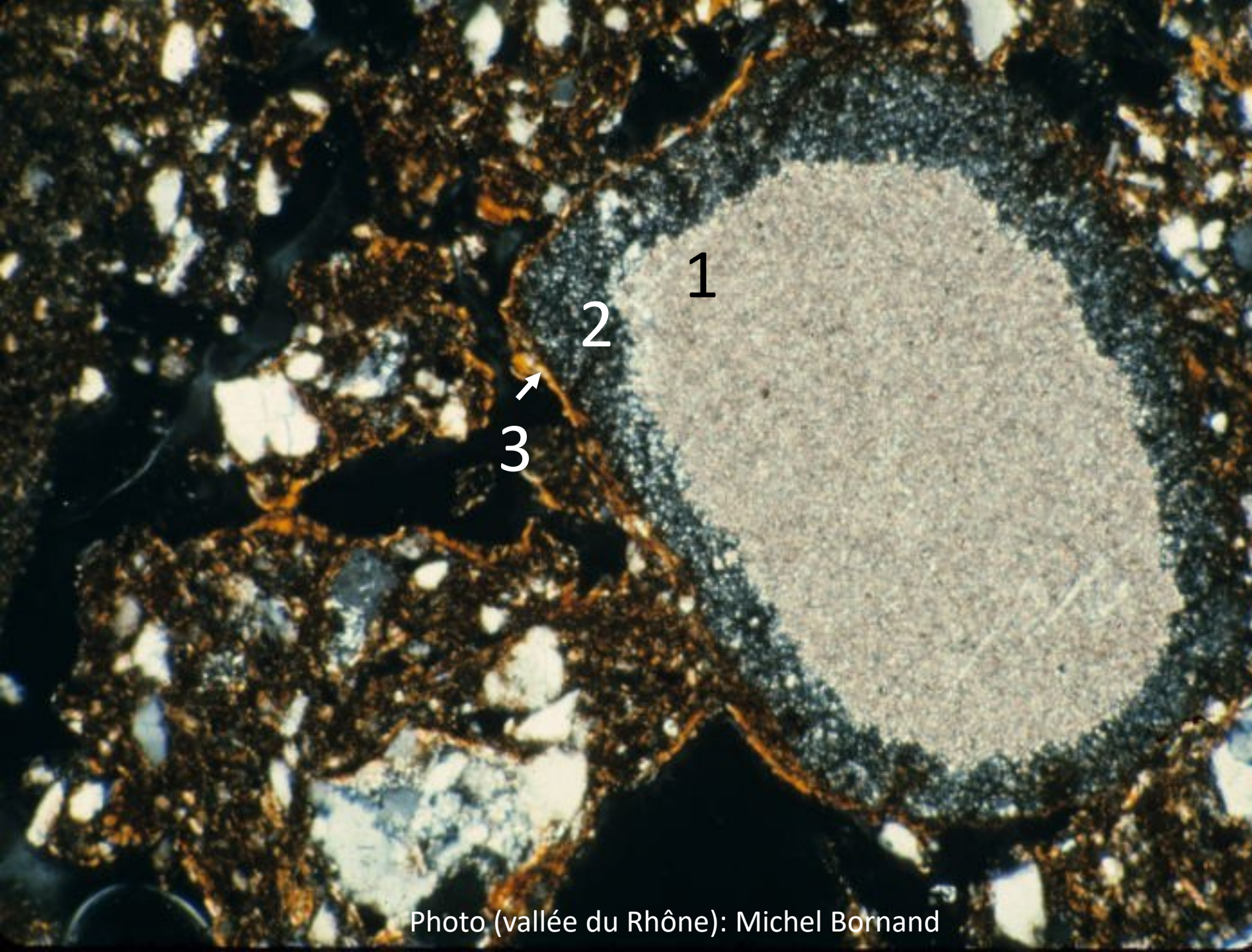
Photo Jean-Paul Legros



Ici superbe structure
grenue à la surface
du sol

Il s'agit d'une « terre
noire de Limagne »,
un des meilleurs sols
de France

Photo (Limagne) : Jean-Paul Legros

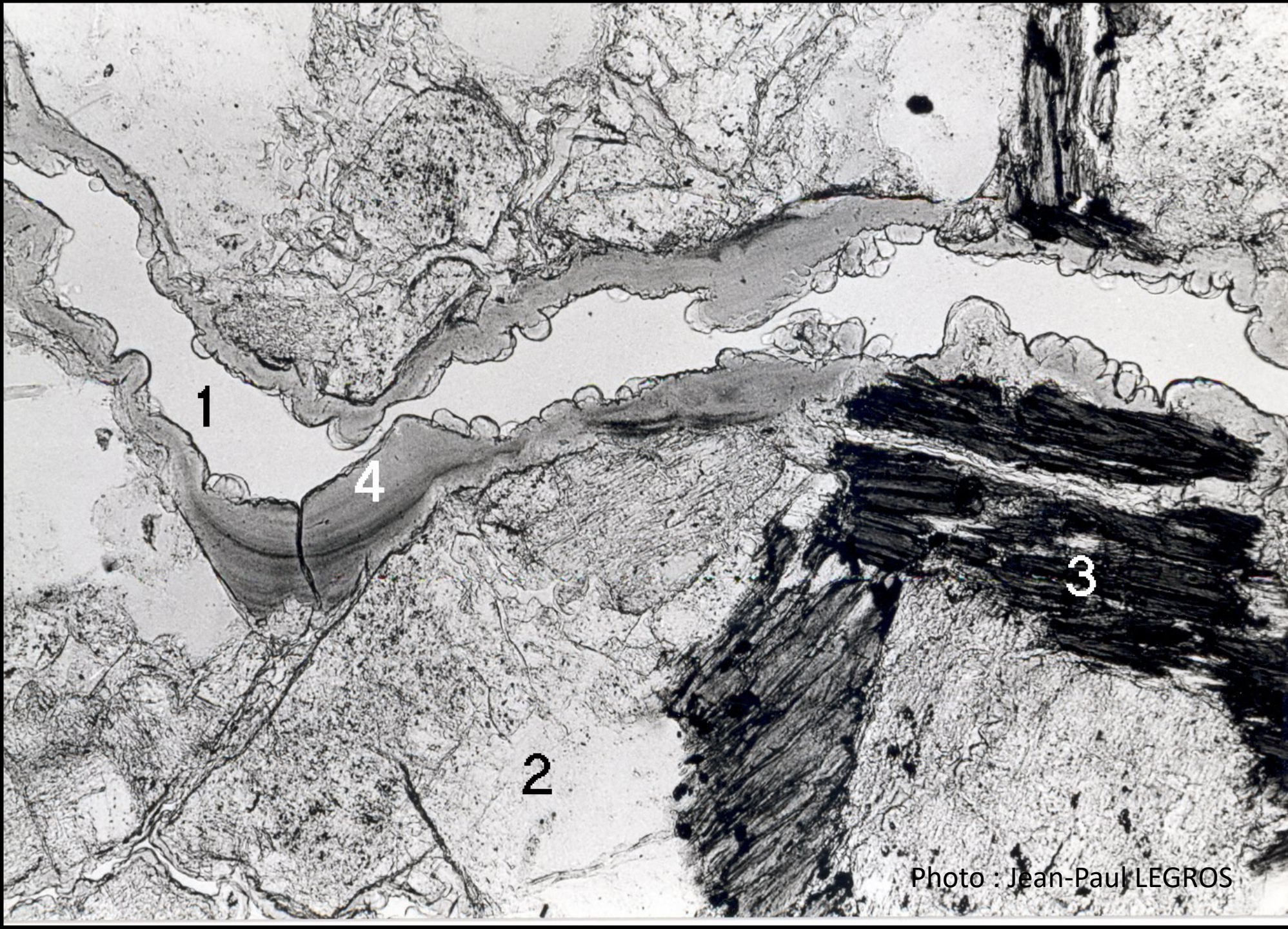


Observation d'un sol en
lame mince sous le
binoculaire

1: grain blanchâtre de grès
calcaire (2 ou 3 mm de
diamètre)

2: pellicule grise de
décarbonatation autour du
grain calcaire

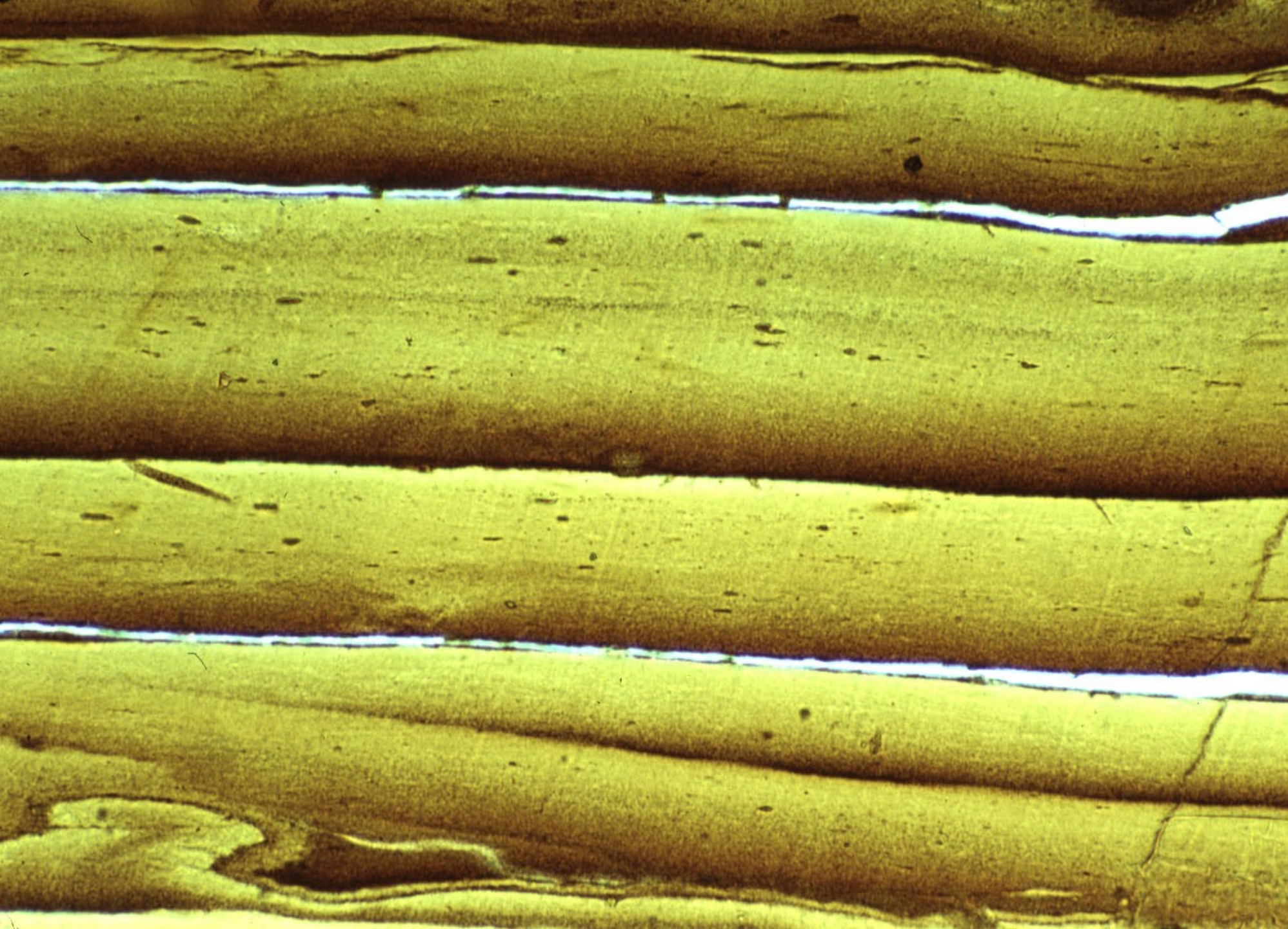
3: Revêtement d'argile
brune



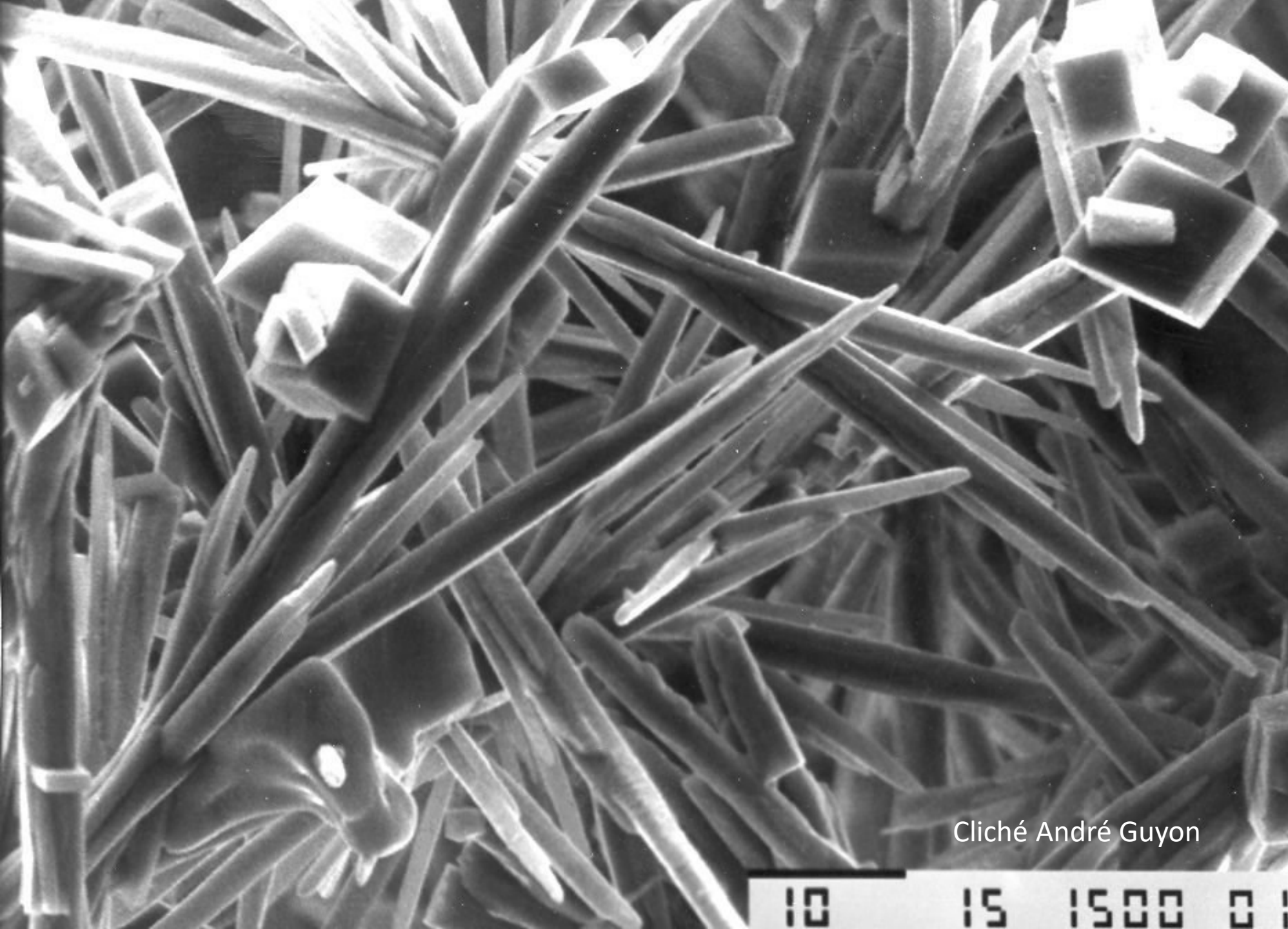
Lame mince dans un
sol sur granite dans
l'horizon BC

- 1: pore
- 2: feldspath
- 3: mica
- 4 : revêtement argileux

Photo : Jean-Paul LEGROS

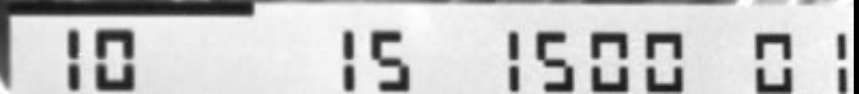


Observation des
revêtements
argileux au
microscope



Observation de l'interface sol-racine au microscope électronique (deux types de cristallisation du carbonate de calcium)

Cliché André Guyon



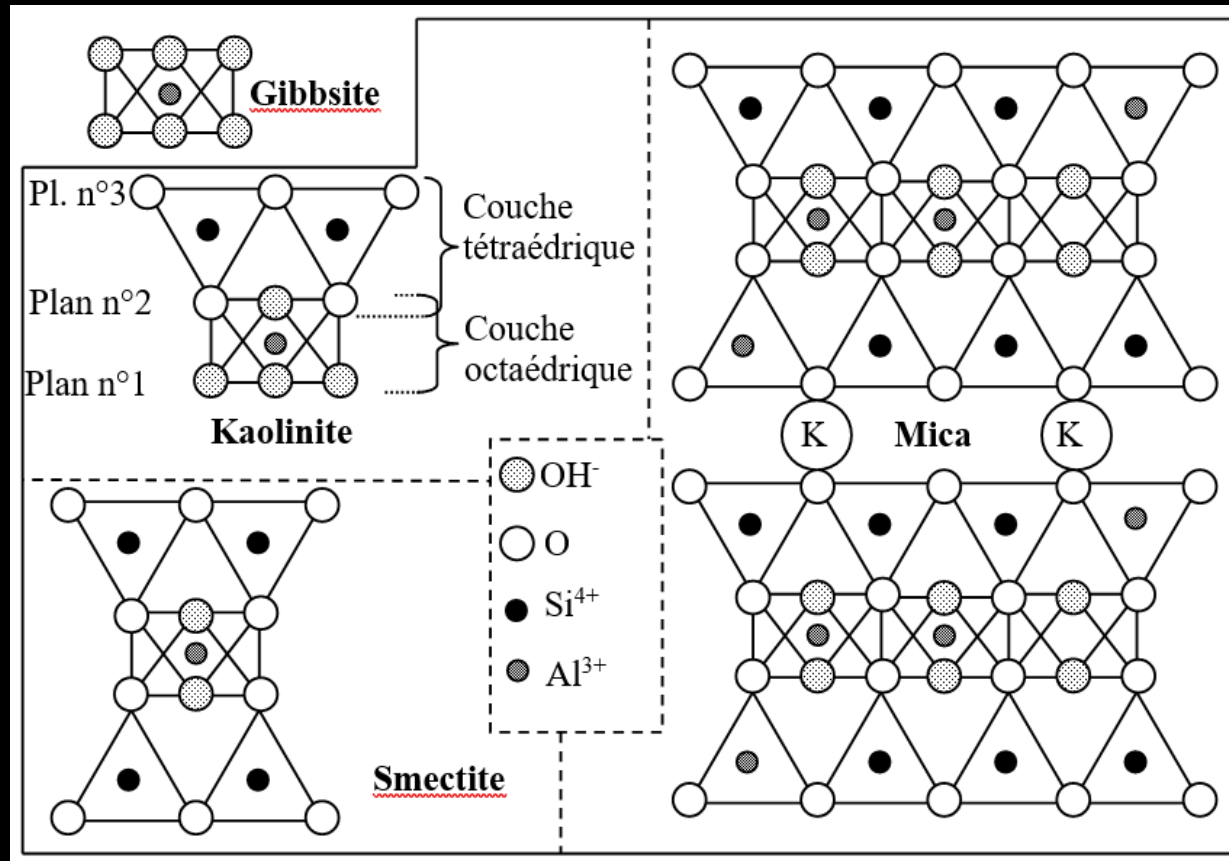
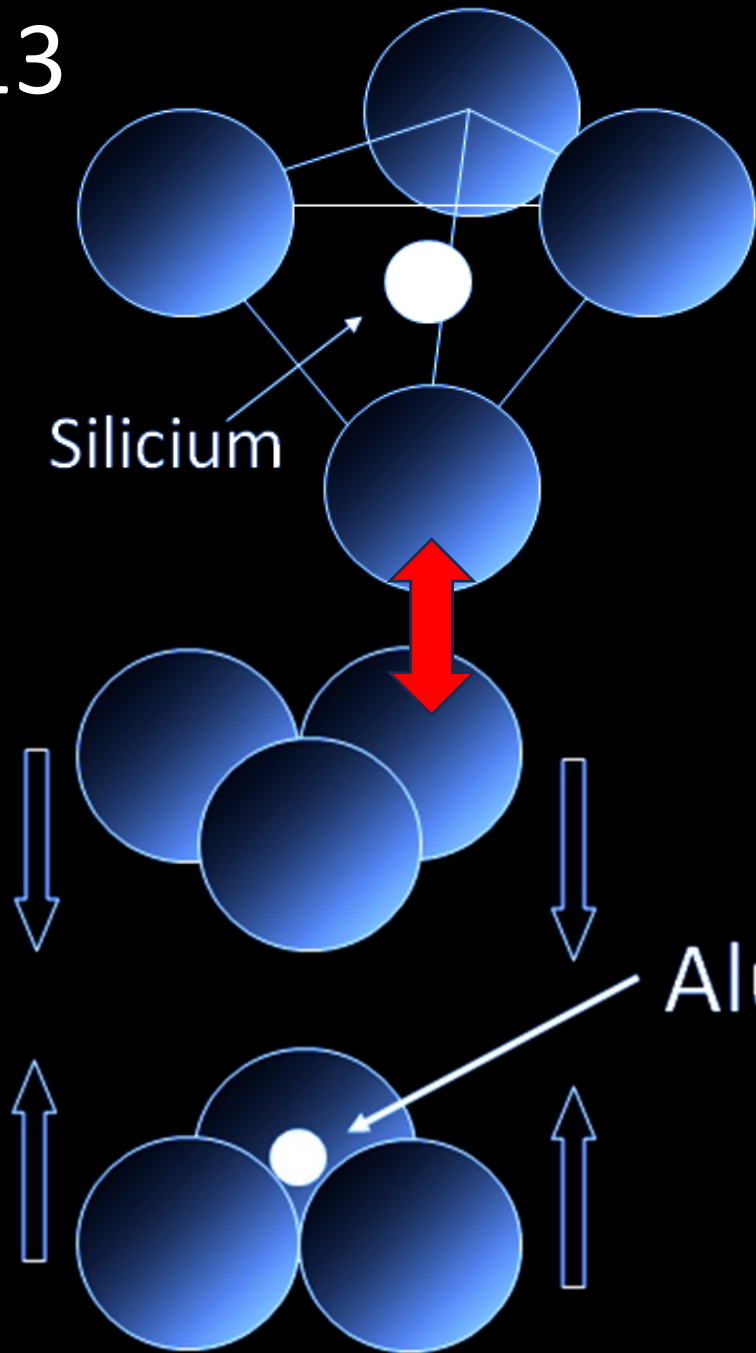
Hyphes de
champignons
attaquant un
cristal de galène

In : Atlas
européen de la
biodiversité des
sols , publication
Commission
Européenne

**[Pour obtenir cet
atlas, cliquer ici](#)**

Fig. 4,6 : Les Champignons attaquant un cristal de galène (PbS). Remarquez le mode de fixation des hyphes fongiques sur la surface minérale à 90°. (KK)

13



A l'échelle atomique aussi les sols sont organisés (en argiles) avec une époustouflante complexité et précision malgré quelques irrégularités de détail

Schémas Jean-Paul Legros

- 
- I. L'organisation du sol à différentes échelles
 - II. Le sol dans son environnement**
 - III. La diversité des sols
 - IV. Les fonctions des sols
 - V. Les menaces sur les sols



Terre noire de Limagne,
Phot Jean-Paul Legros



Sol superficiel sur granite en Vivarais
Photo Jean-Paul Legros

ROLE DE LA ROCHE

De toute évidence, on ne peut pas avoir le même sol sur un substrat meuble profond calcaire et sur un substrat acide dur superficiel . On s'en est aperçu très tôt au point que s'est développée en France au 19^e siècle un courant de « Géologie agricole » dont Eugène Risler fut l'un des leaders.

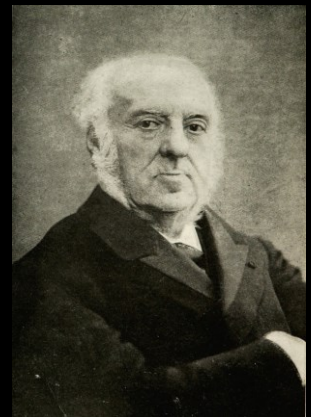




Photo de Chernozem :Gérard Trouche



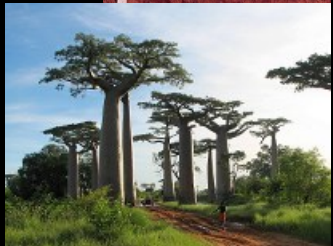
V.V. Dokuchaev

Mais, grâce à ses travaux sur le Chernozem russe, V.V. Dokuchaev invente la pédologie.

Séquence de sols
identifiée
par Dokuchaev du sud
au nord de la Russie

SUD

Sol
ferrallitique



Solonchak



Kastanozem



Chernozem



Phaeosems



NORD

Podzol



Cryosols



Parcourant la Russie du
nord au sud
Dokuvchaev découvre
les

FACTEURS DE LA
PEDOGENESE

- le climat
- les agents biologiques
(végétation, hommes,
animaux),
- la topographie,
- la roche,
- le temps.

In: [Atlas des Sols d'Afrique](#)
(Union Européenne)
[Cliquer ici pour l'obtenir](#)



Photo AFP : Agence
France Presse

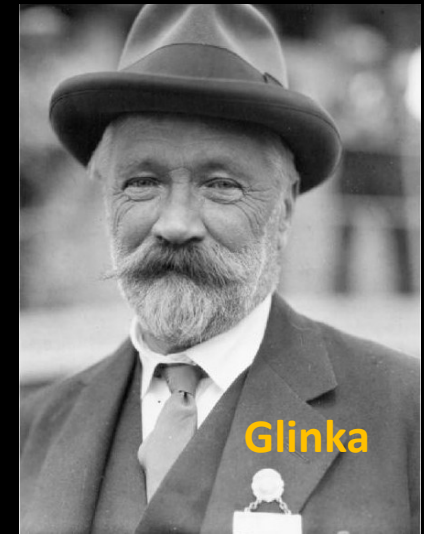
ROLE DU CLIMAT

Par exemple, les pluies tropicales conduisent au maintien sur place des seuls éléments non solubles (fer et aluminium dans les sols ferralitiques africains); alors que la sécheresse relative des climats continentaux froids amène le maintien sur place d'élément pourtant solubles dans l'eau, tel le carbonate de calcium (voir points dans rond blanc); ici c'est un chernozem ukrainiens (avec une pensée pour les soldats de ce pays).



СХЕМАТИЧЕСКАЯ
ПОЧВЕННАЯ КАРТА
ЗЕМНОГО ШАРА
Составилъ К. Д. ГЛИНКА
1906 г.

- | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---------------------------------------|----|---|----|--|----|--|
| 1 | Ледянистая (и торфяная) почва | 5 | Средне-степная почва умеренного пояса | 9 | Желтая (или серая) пустыня | 13 | Пустынные почвы субтропического и тропического поясов | 17 | Водяные почвы |
| 2 | Лесная почва и дерново-подзолистая почва | 6 | Пустынные почвы умеренного пояса | 10 | Лесная почва степей | 14 | Пустынные почвы (или полупустынные почвы) северных стран | 18 | Солончи |
| 3 | Чернозем (и каштан) | 7 | Каштановая (и белая глина) | 11 | Луготная (или лугово-степная) почва | 15 | Водяные почвы | 19 | Солончаковые почвы субтропического пояса |
| 4 | Каштановая почва | 8 | Луготная | 12 | Пустынные субтропического и тропического поясов | 16 | Водяные почвы | | |



[Pour en savoir plus, cliquer ici](#)



Podzol sous sapins



*Ocre podzolique
sous hêtres*



*Brun ocreux sous
pins*



Brun acide sous pins



RÔLE DE LA VEGETATION

Aux sols sous forêt dont le profil est relativement pauvre en matière organique, quelle que soit l'altitude et donc le climat (ci-dessus dans le massif du Pilat à proximité de St-Etienne) s'opposent les sols sous landes riches en matière organique sur toutes les hautes terres du Massif Central (ci-contre)

17

Piétinement par le bétail



Mise en terrasses



Photos : Jean-Paul Legros

ROLE DES AGENTS
BIOLOGIQUES

Quelques exemples
de la très forte action
de l'homme sur les
sols

Brûlis



Défoncement



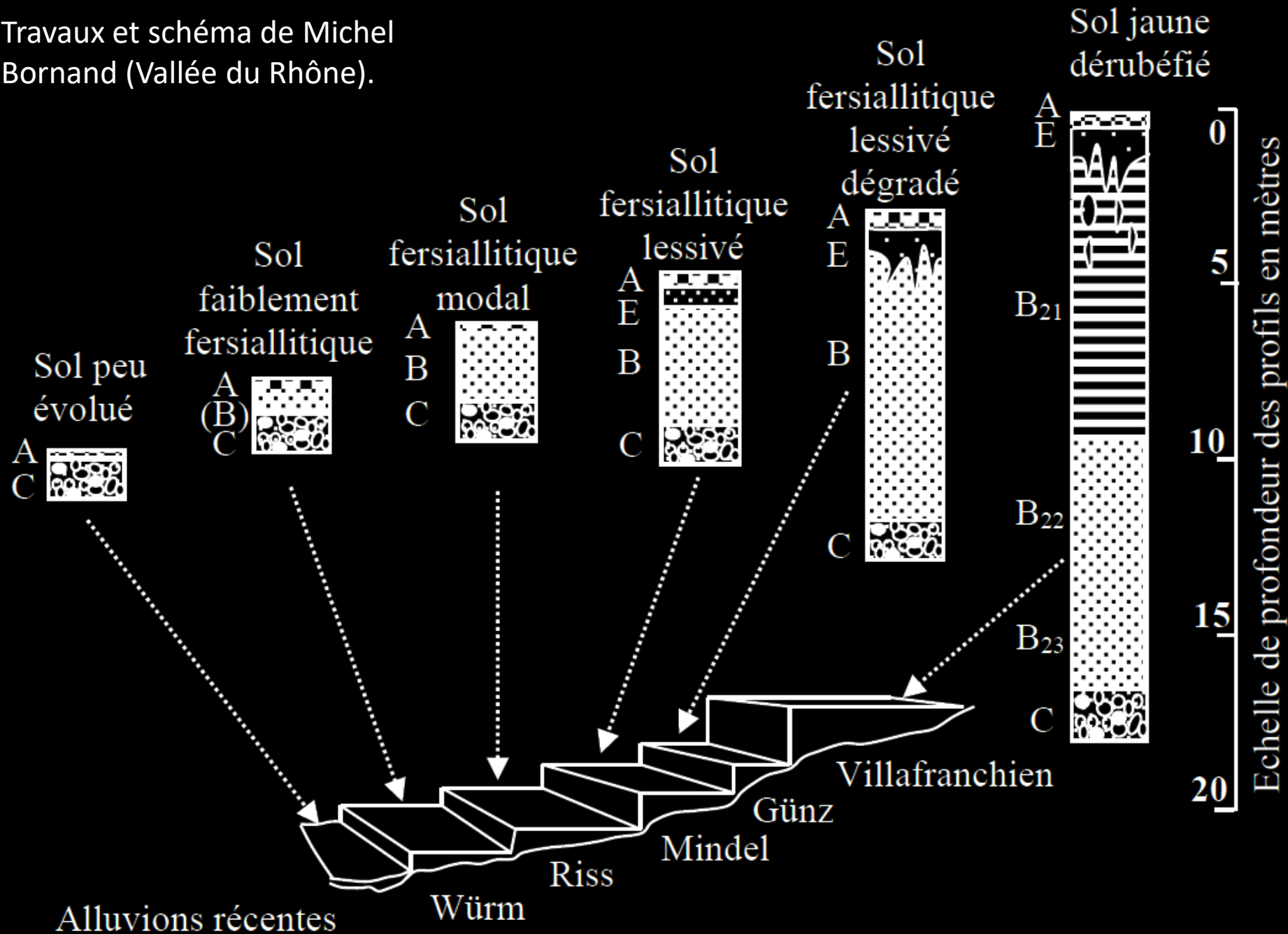


ROLE DE LA TOPOGRAPHIE

Etagement des cultures sur la pente dans les plateau du Haut Vivarais : observer la répartition des cultures en couronne autour des buttes boisées

Photo : Jean-Paul Legros

Travaux et schéma de Michel Bornand (Vallée du Rhône).



RÔLE DU TEMPS

Pour l'étudier il faut rechercher des « chronoséquences » de sols.

Le meilleur cas est celui des terrasses fluviales dont l'âge diminue quand on se rapproche du cours d'eau, ici le Rhône du côté de Valence.

Avec le temps, les sols s'approfondissent jusqu'à 20 mètres d'épaisseur = record de France

RÔLE DU TEMPS (SUITE) avec pour exemple la Vallée du Rhône (travaux et photos de Michel Bornand)

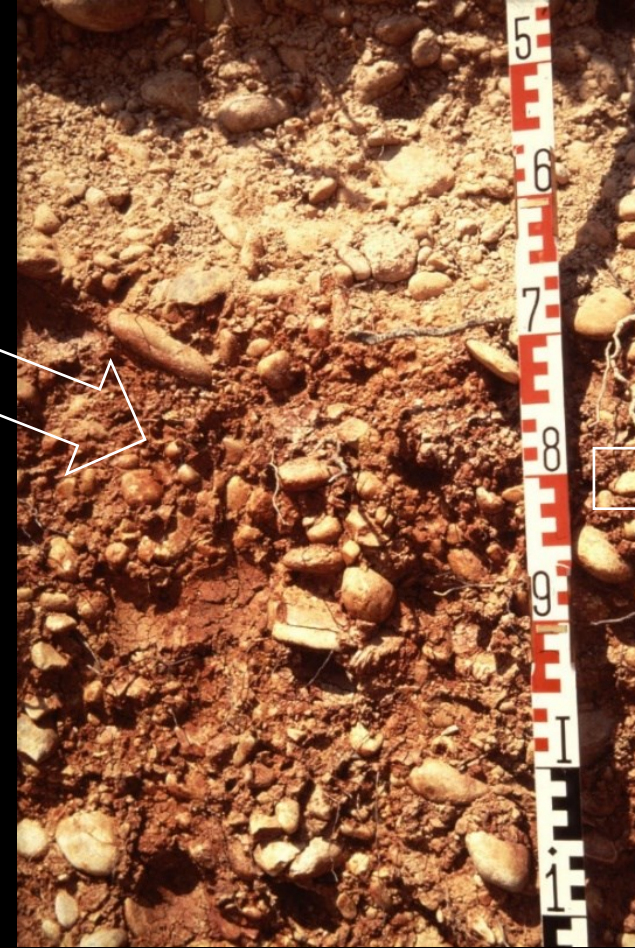
Temps zéro



100 000 ans



200 000 ans



500 000 ans



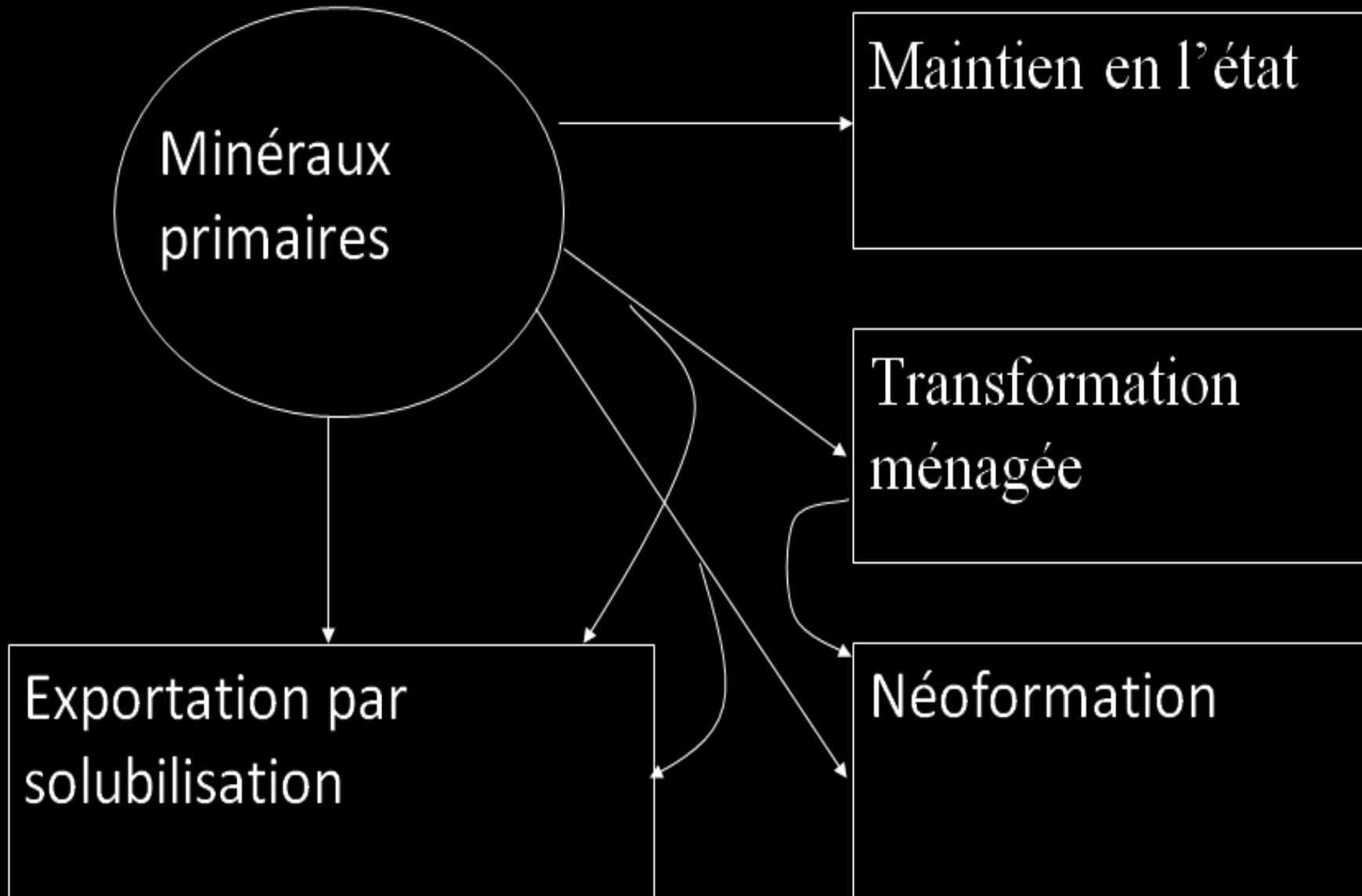
On s'arrêtera sur le fait qu'il faut 100 000 ans pour transformer un tas de cailloux en un sol

Et malheureusement beaucoup moins pour rabler complètement un sol par érosion anthropique. On y reviendra plus loin. Donc à l'échelle humaine les sols sont une ressource **NON RENOUVELABLE !**

- 
- I. L'organisation du sol à différentes échelles
 - II. Le sol dans son environnement
 - III. La diversité des sols**
 - IV. Les fonctions des sols
 - V. Les menaces sur les sols



Une incroyable palette de couleurs !



Les minéraux dont le sol est constitué peuvent prendre différents chemins lors de l'altération : ne pas être modifiés et rester sur place, subir de petites modifications, être totalement transformés (néof ormation) ou bien encore être détruits, leurs composant pouvant être ou ne pas être exportés par solubilisation.

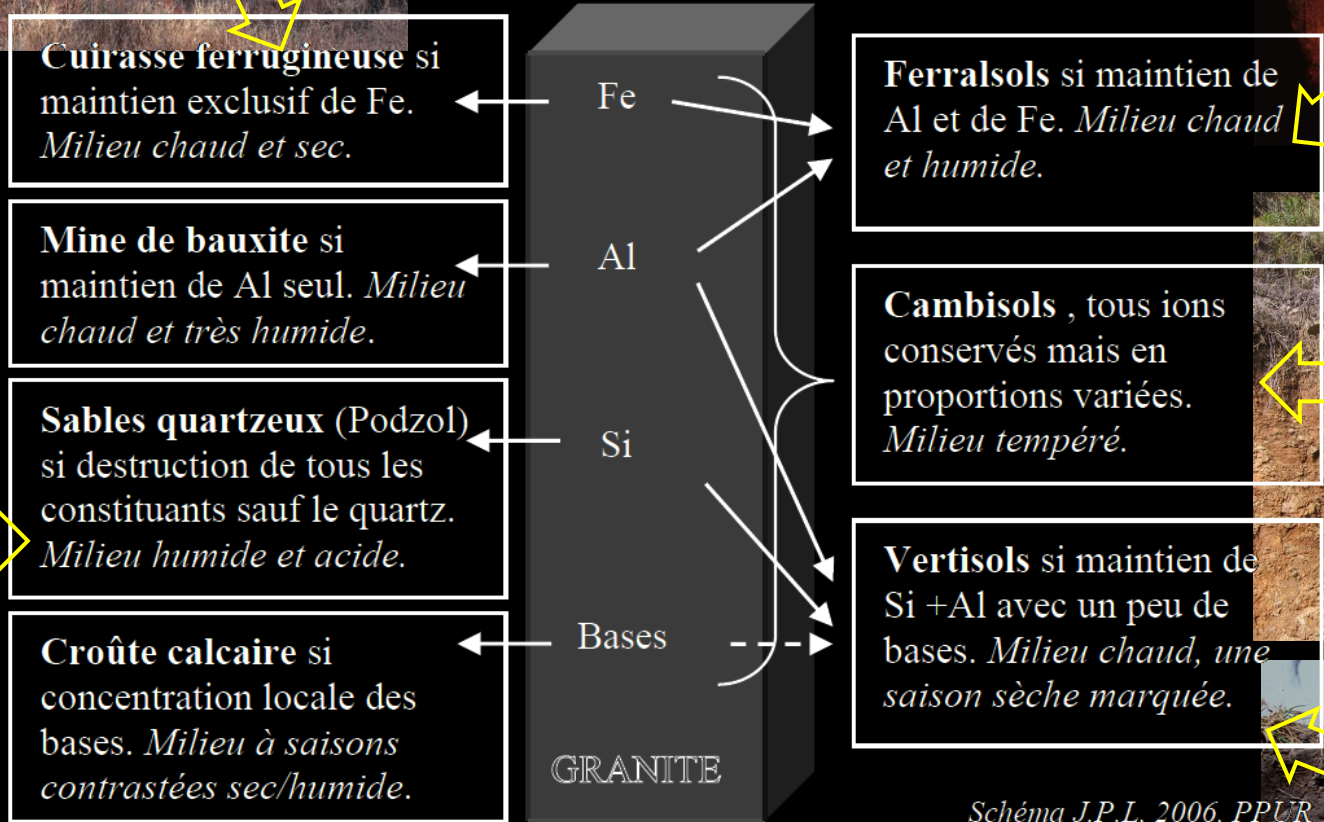


Schéma J.P.L, 2006, PPUR

Suivant les condition de milieu qu'il rencontre à la surface de la Planète (climat, topographie), le même granite va donner des sols extrêmement divers...



Sol
humifère
sur dalle
calcaire à
Flaine
(Savoie)



Cuirasse
ferrallitique au
Sénégal



Sol sur
basalte de
l'Ardèche

Photo : Jacques Moinereau

Sol
hydromorphe
en montagne
(Amérique du
Sud)



Photo : Pascal Podwojewski




Sol à B
enfoui de
l'Aigoual


Photo : Jean-Paul Legros



Sol sur marne
dans le vignoble
bordelais



Partie haute
d'un podzol en
Guyane



Sol du
Burundi sur
socle

Photo : JP Legros

- 
- An aerial photograph of rolling green hills. A winding road or path is visible, along with a small stream or ditch cutting through the landscape. The terrain is covered in dense green vegetation, likely grass or low shrubs. The lighting is bright, creating strong shadows and highlights on the slopes.
- I. L'organisation du sol à différentes échelles
 - II. Le sol dans son environnement
 - III. La diversité des sols
 - IV. Les fonctions des sols**
 - V. Les menaces sur les sols



Toute la nourriture vient des sols et il faut être naïf, et surtout peu au fait des dépenses énergétiques, pour croire que dans le futur, on va nourrir le monde à partir de fermes urbaines verticales à éclairage artificiel.

Via la photosynthèse, l'énergie solaire est la moins chère de toutes !



LOGER LES GENS

Encore aujourd'hui,
la moitié de la
population mondiale
vit dans des
habitations en terre
crue



Images extraites de la plaquette : **La vie cachée des sols**, 2010, **MEEDDM, 20pp**, par : Eglin T., Blanchart E., Berthelin J., de Cara S., Grolleau G., Lavelle P., Richaume-Jolion A., Bardy M., Bispo A.

CONTRIBUER A LA BIODIVERSITE

Le sol est un extraordinaire lieu de vie et de biodiversité. Quand on regarde une prairie, il faut avoir à l'esprit que la biomasse qui est dedans est plus grande que la biomasse qui est dessus (moutons ou vaches).

Combien de vie y a-t-il dans le sol ? (Biomasse)

Dans une prairie permanente en zone tempérée, la faune du sol représente jusqu'à 260 millions d'individus par m², correspondant au minimum à 1,5 t/ha (soit environ le poids de 50 moutons) et à une abondance moyenne de 200 vers de terre par m².

Clé simplifiée de la macrofaune du sol

inspirée de Ruiz et al. 2008

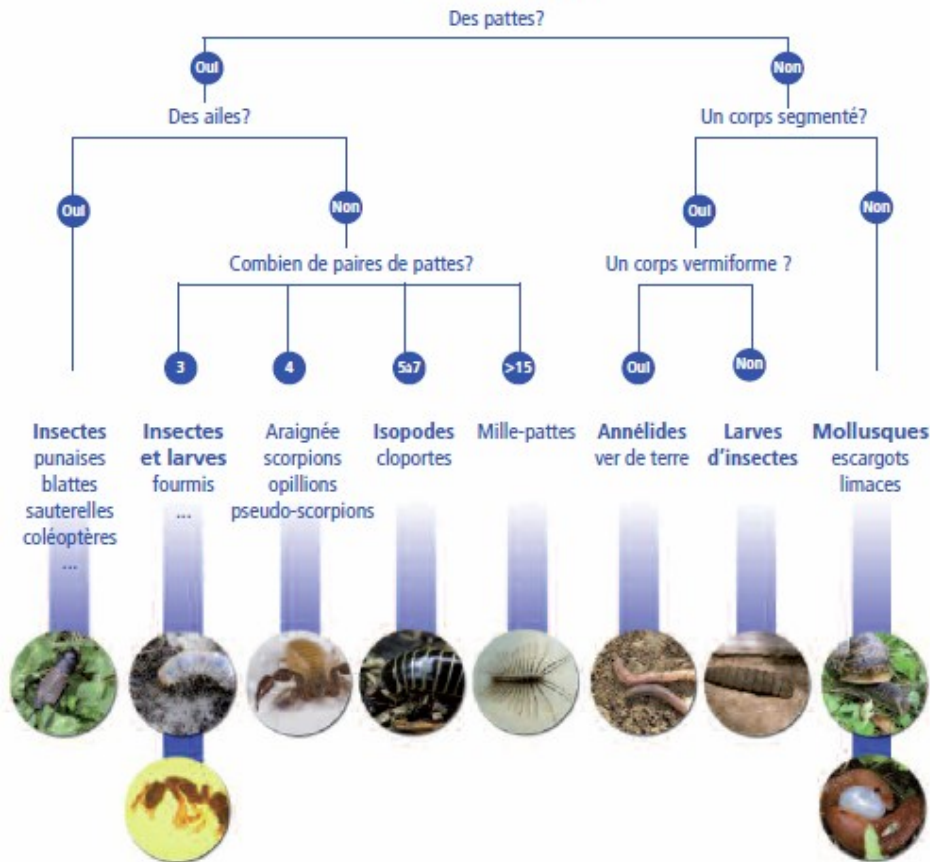




Fig. VI,II : Un tardigrade de l'espèce *Paramacrobiotus kenianus* sur une feuille de mousse.

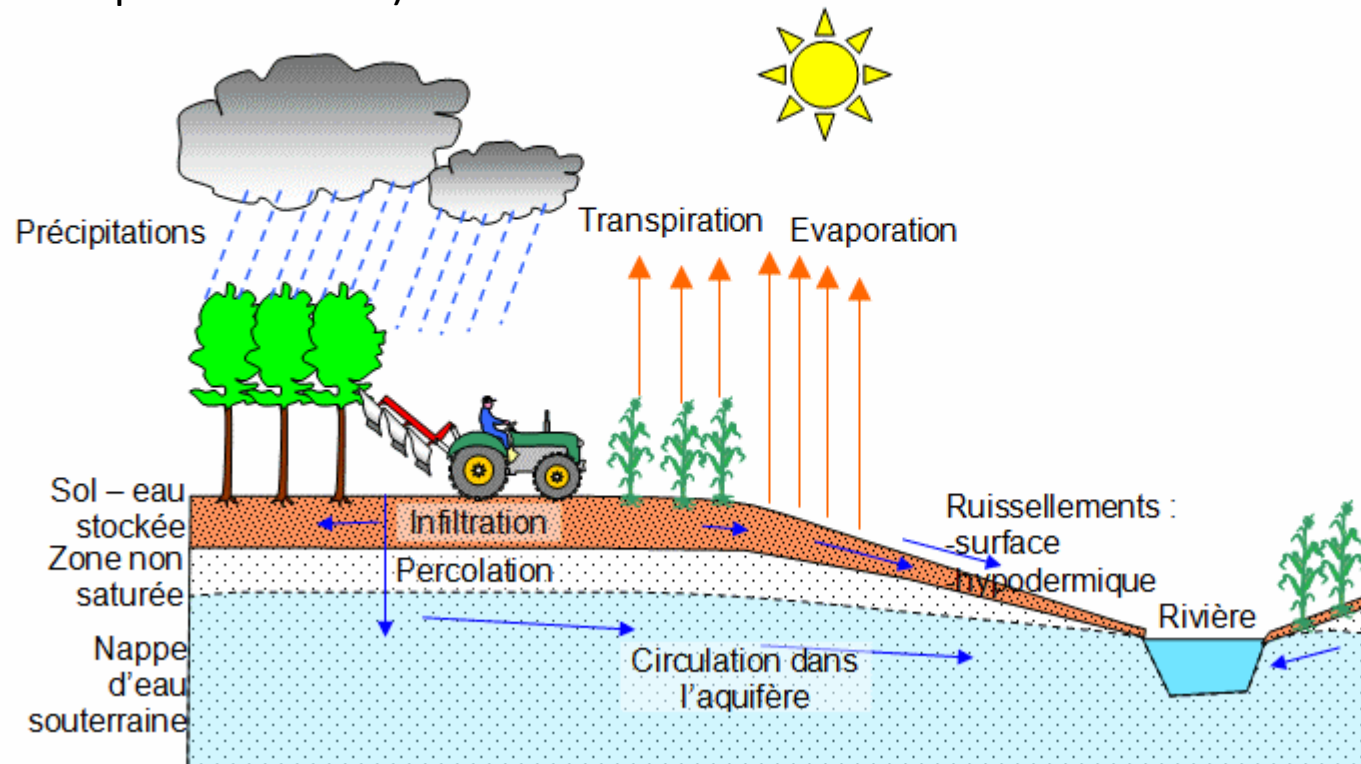


Images extraites de l'Atlas de la biodiversité des sols (Commission Européenne), déjà cité, accessible en ligne



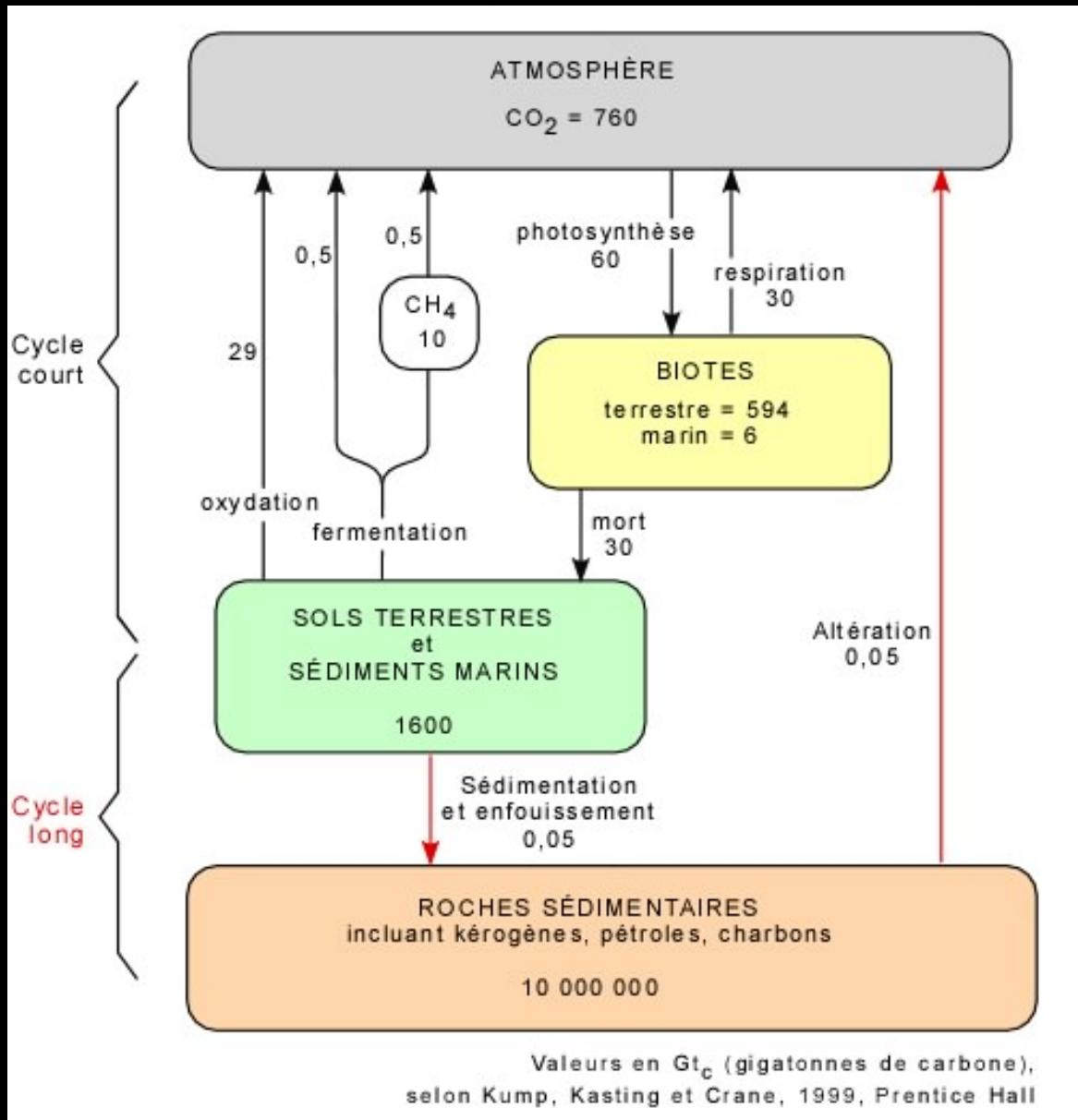
REGULER LE CYCLE DE L'EAU

Banque de Schémas - SVT - Académie de Dijon (d'après croquis du GISSOL)



La pluie qui tombe irrégulièrement du ciel se stocke dans les sols qui servent de réservoir et alimentent jour après jour les plantes en eau. Mais quand le sol est complètement saturé d'eau ou quand la pluie est si forte qu'elle n'a pas le temps de s'infiltrer, il y a ruissellement de surface avec deux conséquences possibles : érosion des sols et/ou inondations dans les vallées. Il est donc essentiel de faire en sorte que l'infiltration de l'eau soit la meilleure possible dans les sols. Pour cela, il faut les protéger et traiter convenablement leur surface.

Une partie de la pluie alimente les nappes ce qui est une excellente chose. Par exemple, cela permet un débit régulier des sources et autorise le prélèvement d'eau dans les puits. Parfois cependant, la nappe est alimentée en excès. Elle monte jusqu'à dépasser le niveau du sol. C'est alors une inondation venue de la profondeur. Elle prend du temps avant de disparaître.



PARTICIPER AU CYCLE DU CARBONE

Le sol stocke du carbone (humus), le double au moins de ce que l'on trouve dans l'atmosphère et monde vivants réunis.

Les actions qui visent à préserver le carbone du sol sont donc souhaitables. Ce n'est pas une raison pour faire croire qu'on pourra atteindre l'objectif « 4 pour mille » ou convaincre les agriculteurs d'utiliser du « Biochar » dont on se demande bien ce qu'il pourra leur apporter.

Cycle du carbone en giga tonnes/an (Schéma de l'Université Laval, Canada)



Musée d'Arles



Musée de Shanghai

Jean-Paul Legros



Musée de Tarente (Italie)

CONSERVER NOTRE PASSE

La plupart du temps, c'est parce qu'elles ont été conservée par le sols que les traces des civilisations anciennes nous sont parvenues. Même chose pour les ossements de l'homme ancien ou ossements animaux.



[Pour en savoir plus sur la conservation permise par le sol, cliquer ici](#)



Un cas emblématique !





LE SOL ET LA RELIGION

Le sol est le lieu où on enterre les morts. Il est lié à la religion et à l'histoire de l'humanité

[Pour en savoir plus sur les relations entre sols et religion, cliquer ici](#)

Cimetière au Togo, photo JPL

- 
- I. L'organisation du sol à différentes échelles
 - II. Le sol dans son environnement
 - III. La diversité des sols
 - IV. Les fonctions des sols
 - V. Les menaces sur les sols**

Il existe de très nombreuses menaces sur les sols mais trois dépassent les autres en importance au plan mondial :

- artificialisation
- salinisation
- érosion

Montagne et
terrains peu
fertiles

Nîmes

Montpellier

Camargue
(marais)

Béziers

Narbonne

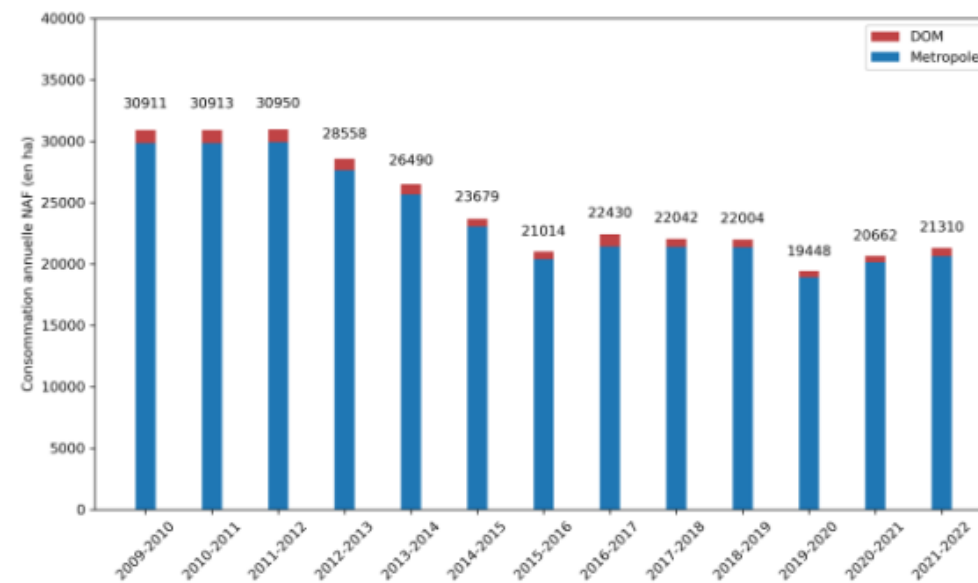
Plaines et
plateaux
fertiles

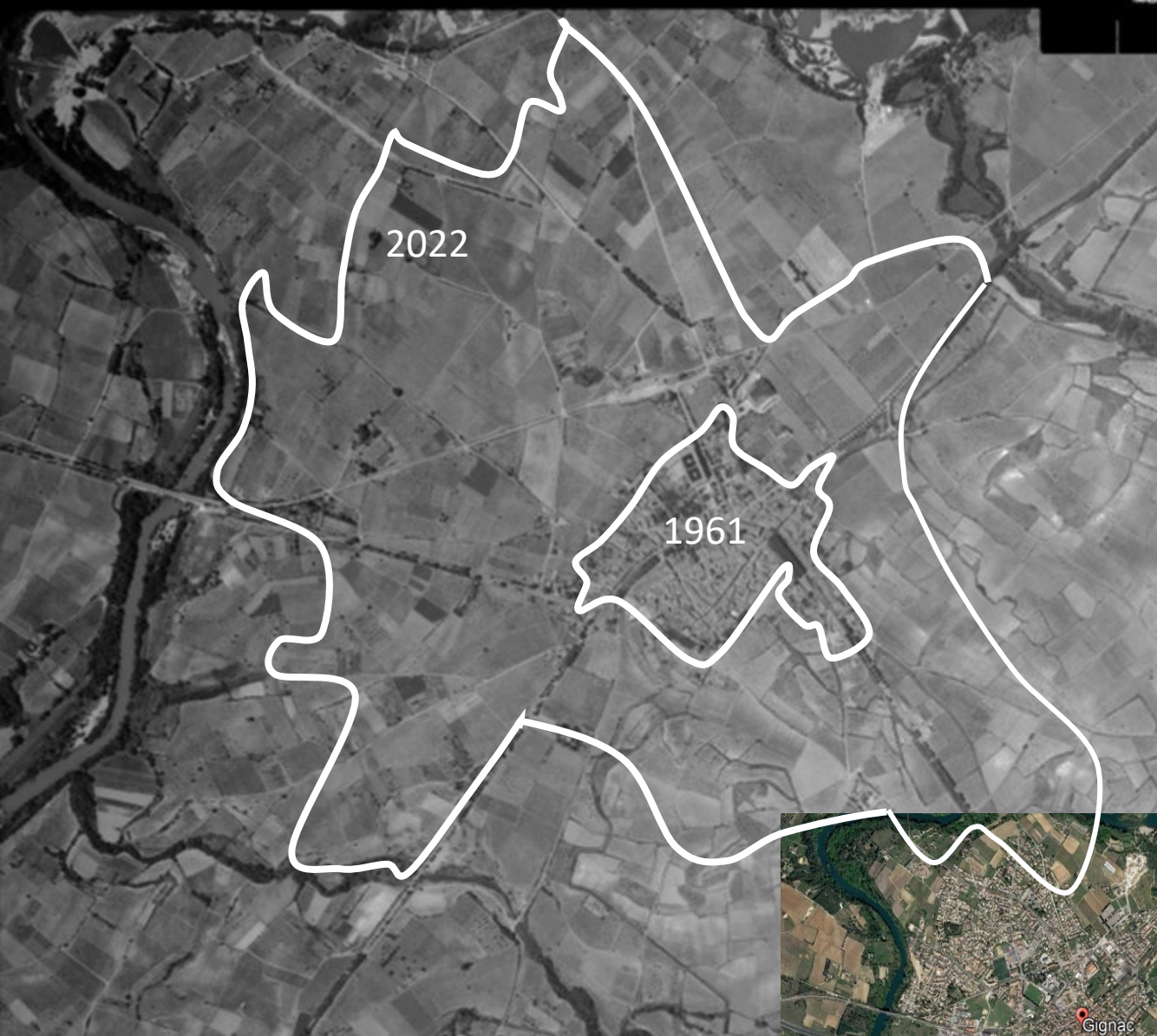
Perpignan

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image Landsat / Copernicus

Au départ les villages ont été installés à côté de cours d'eau et au cœur ou au moins à proximité de plaines fertiles. Par leurs croissance, les villes ont ensuite dévoré leurs propres bons terrains. Il y a peu d'exceptions. Le résultat est catastrophique.

Consommation annuelle
d'espaces naturels, agricoles et forestiers
(en ha, France dont DOM)





EXEMPLE DE GIGNAC

Gignac faisait environ 16 ha en 1961; en 2022, la bourgade en occupe 218 approximativement à quoi s'ajoute une zone industrielle de 19 ha environ. L'emprise au sol a été multipliée par un facteur 17 en 60 ans. Des bons sols agricoles ont été consommés : terrasses de l'Hérault, marnes jaunes de l'Aquitaniens.



Extension de Gignac (34)
entre 1961 et 2022

Situation actuelle



SALINISATION DES TERRES

La plus importante n'est pas d'origine marine mais continentale. Quand on irrigue avec une eau contenant une petite quantité de sels, ceux-ci se concentrent en climat sec par évaporation de l'eau. Il y a stérilisation du sol.

1,5 million d'ha perdu chaque année dans le Monde, soit 3ha/minute!

[Pour en savoir plus sur la salinisation des terres, cliquer ici](#)

Photo (Maroc) : Jean-Paul Legros



L'Action
Agricole
PICARDE

[Pour en savoir plus,
consulter le journal
en cliquant ici](#)



CONCASSAGE

<https://www.fermesdefigeac.coop/ameliorer-les-sols-grace-au-chaulage/>



CHAULAGE

<https://www.rabaud.com/materiels/sous-soleuse-draineuse/sous-soleuse-draineuse>



DRAINAGE



MISE EN TERRASSES

L'HOMME AMELIORE
BEUCOUP DE SOLS !!!!!

Il faut terminer sur une note optimiste : l'homme n'est pas systématiquement l'ennemi des sols. Avec le temps et l'aide d'innombrables générations, il a épierré, mis en terrasse, drainé, corrigé l'acidité et fertilisé des millions d'ha...

<https://www.celagri.be/epandage-dengrais-et-apport-de-fertilisants/>



FERTILISATION

An aerial photograph of a vast, rolling landscape of green hills. The terrain is covered in dense, vibrant green vegetation, likely grass or low-lying shrubs. The hills are characterized by soft, undulating slopes and are separated by shallow, winding valleys. In the lower-left foreground, a prominent, dark, and rugged rocky outcrop or cliff face is visible, contrasting sharply with the surrounding greenery. The overall scene is captured from a high angle, providing a wide perspective of the natural environment. The lighting is bright, highlighting the textures and colors of the landscape.

MERCI DE VOTRE
ATTENTION