

Les sols et leurs enjeux

Guilhem Bourrié

Académie d'Agriculture de France

Conférence-Débat

Les sols et leurs fonctions

28 mai 2024

Académie des sciences, Paris

Un salut à l'Academia dei Georgiofilii



Andrea Roggi (2021)
Albero della Pace.

Le 27 mai 1993, la mafia faisait exploser une voiture piégée à Florence au pied de l'Académie d'agriculture (Academia dei Georgiofilii). Ce monument à la paix nous rappelle que l'humanité ne peut vivre en paix qu'en assumant à la fois sa partie aérienne (céleste) et sa partie souterraine (chthonienne).

Qu'est-ce qu'un enjeu ?



Un enjeu, c'est ce que l'on met en jeu, que l'on mise, que l'on se dispute. On peut le perdre ou le gagner. On prend un risque, calculé ou non, conscient ou non.

Adrien Brouwer (Oudenarde 1605 - Anvers 1638).
 Joueurs de cartes dans un cabaret (ca. 1631),
 Alte Pinacothek, München.

Que perd-on, si on perd les sols cultivés ?

La sécurité alimentaire :

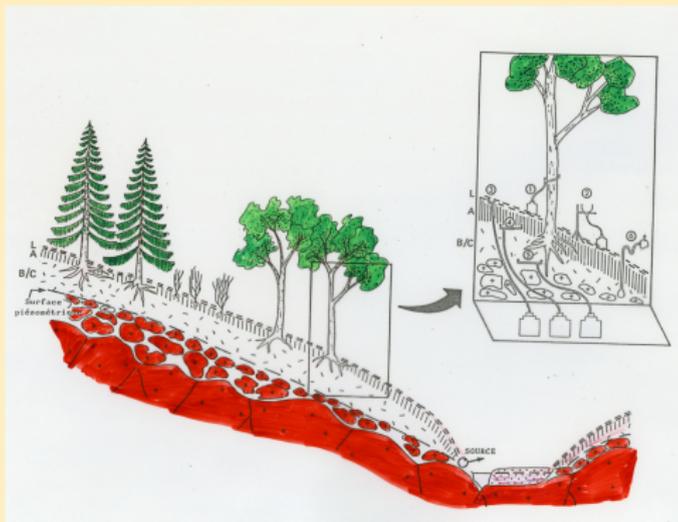
Occupation du sol	Production de protéines /Mt	Réf.
Prairies et pâturages permanents	270	1
Autres fourrages et résidus de culture	130	1
Terres arables	397	1
Production halieutique et aquacole	214	2

(1) en 2011, d'après DRONNE 2018 ; (2) en 2020, d'après FAO 2022.

Les sols des terres émergées produisent 80 % des protéines nécessaires à l'alimentation humaine ou animale.

Que perd-on, si on perd les sols cultivés ?

La qualité de l'eau et de l'air



L'altération des roches et la formation des sols sont le premier puits de CO_2 . Voir le colloque de l'Académie des sciences consacré en 2012 à Jacques Ebelmen, qui l'a démontré en 1845, bien avant Urey (1952).



Que perd-on, si on perd les sols cultivés ?

La qualité de l'eau et de l'air

Il faut 24 000 ans pour altérer complètement 1 m de granite en arène granitique. Ce faisant, un drainage de 1000 mm/an retire 0,4 g C/m²/an qui précipitera sous forme de carbonate de calcium dans un bassin sédimentaire ou dans des sols à croûtes calcaires (BOURRIÉ et FREYTET 2008).

Comme il y a plus de silicate de calcium dans les basaltes que dans les granites, l'activité volcanique augmente le piégeage de CO₂.

Ceci peut se voir comme la titration de bases, les roches, par l'acide carbonique de l'air, avec pour produits l'eau de source et les sols. **Si c'était négligeable à l'échelle humaine, l'eau de source serait de l'eau de pluie et donc ne serait pas potable.**

Que perd-on, si on perd les sols cultivés ?

La qualité de l'eau et de l'air

Le second puits de CO₂ est la matière organique des sols, à plus court temps de résidence, dont parlera Claire Chenu.

Les sols régulent ainsi aussi l'oxygène de l'air, où intervient également le fer, dont parlera Fabienne Trolard.

L'azote de l'air est également régulé par la dénitrification, qui compense la fixation symbiotique de l'azote, mais on n'en parlera pas aujourd'hui.

La clef de la dynamique de la matière organique des sols est entre les mains des biologistes, du fait du rôle des champignons, dont parlera Francis Martin et de la faune du sol, dont parlera Patrick Lavelle.

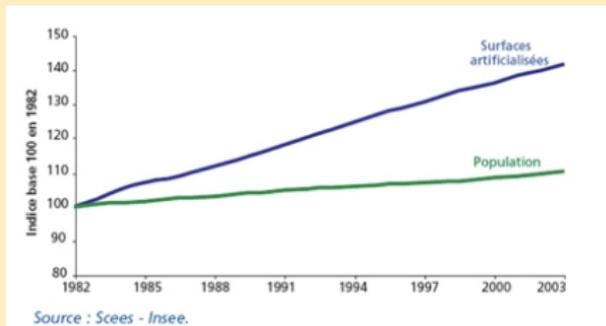
Et tout ceci interagit pour produire (ou non) un arrangement spécifique de la matière favorable à la vie, la structure des sols.

Que perd-on, si on perd les sols cultivés ?

Les sols non cultivés, les biotopes

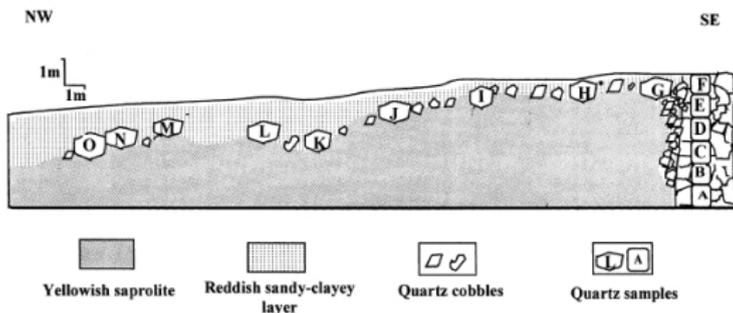
La perte des sols cultivés entraîne une pression par le surpâturage et la déforestation sur les sols non cultivés. Si on perd les sols cultivés, par « effet domino », on perd les biotopes forestiers et naturels, c'est-à-dire qu'on accentue la désertification.

L'urbanisation, l'autre changement global



L'étalement urbain est plus rapide que l'augmentation de la population et l'objectif de « zéro artificialisation nette », inscrit dans la loi, est remis en cause.

Le bilan de l'érosion mécanique et de la formation des sols



La géochimie des nucléides cosmogéniques, ^{10}Be et ^{26}Al , produits par interaction des rayons cosmiques avec les roches à l'affleurement, et instables, permet de mesurer la vitesse d'érosion ou d'enfouissement sur **des durées si longues que l'influence anthropique est négligeable** (BOURLÈS, BRAUCHER et SIAME 2008).

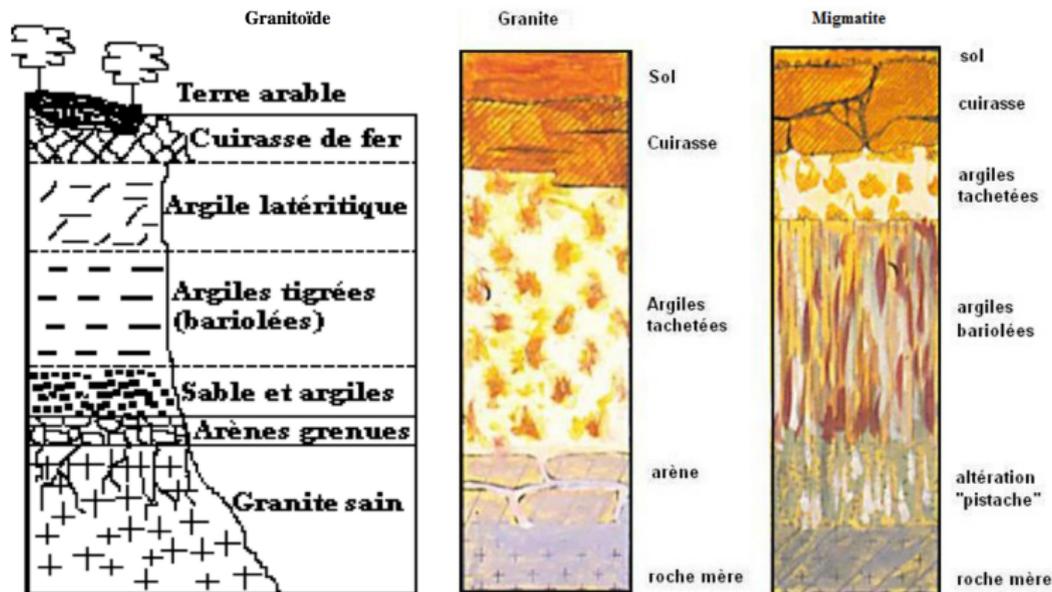
Vitesses typiques des processus

Érosion chimique et érosion mécanique

Processus	Vitesse /mMa ⁻¹
Érosion chimique	12 à 23
Érosion mécanique verticale	2 à 43
Enfouissement latéral	5 à 66

« *Toute l'histoire des altérations est bien, en effet, celle du temps laissé aux mécanismes chimiques pour accomplir leur différenciation, avant que l'érosion mécanique ne survienne.* »
(TARDY 1969).

L'évolution des sols par approfondissement



Exemple en Côte d'Ivoire (LEPRUN 1979; BIÉMI et al. 1997; TROLARD 1997)

Les sols profonds enregistrent les variations climatiques

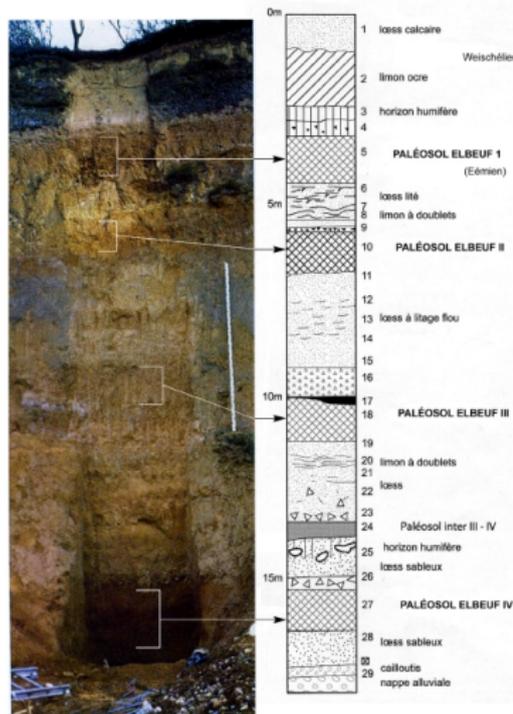
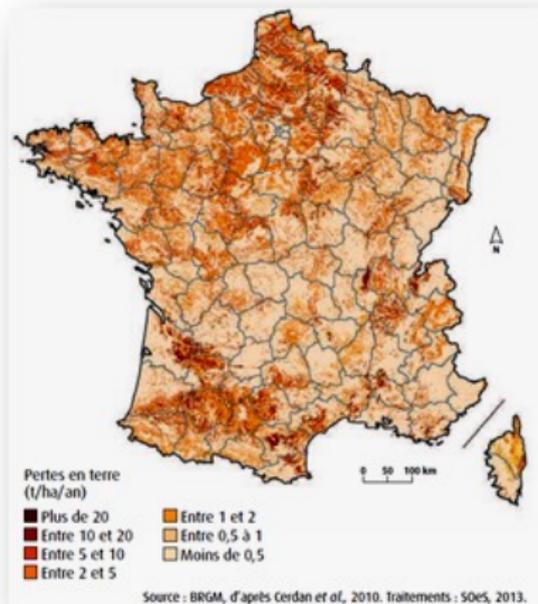


Fig 1 - Coupe de loess et de paléosols Saint-Pierre-lès-Eibeuf

Fig 2 - Profil de la parcelle classique des coupes 1 et 2 de Saint-Pierre-lès-Eibeuf

Quatre paléosols se succèdent au cours du Quaternaire, séparés par une phase d'érosion de la partie supérieure du sol, puis d'un dépôt de loess. Et la pédogenèse se poursuit.

L'érosion des sols est largement accélérée par le labour, par le tassement des sols et la suppression des haies du bocage

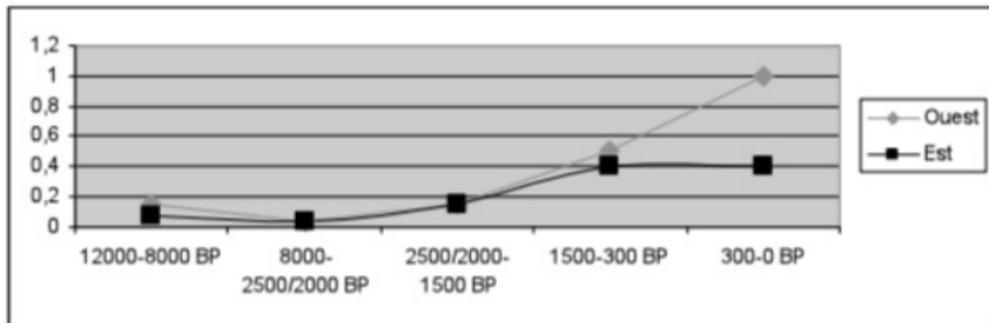


L'érosion est maximale dans les plaines cultivées, alors que les pentes sont plus faibles.



Bassin de Rennes

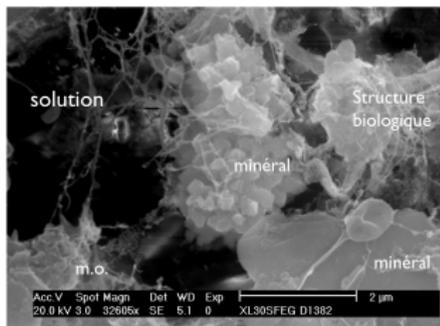
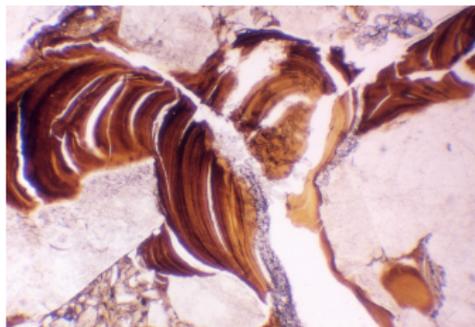
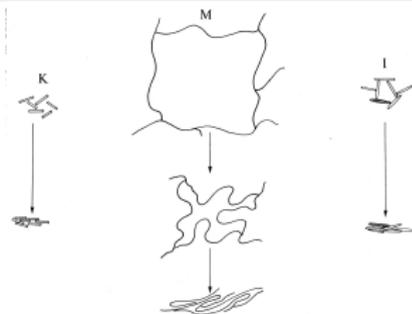
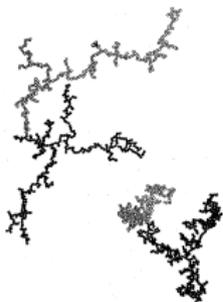
L'érosion accompagne tous les défrichements depuis le Néolithique



Rythme d'accumulation sédimentaire en mm/an dans la plaine de la Limagne, à l'ouest et à l'est du marais, d'après BALLUT 2000.

« L'homme est le principal agent de la morphogénèse en Limagne depuis le Néolithique. [...] la tendance globale se résume au passage d'une érosion modérée et localisée à une érosion accélérée et généralisée. » (TRÉMENT 2004, p. 177).

Les ingrédients de la matière des sols



Minéraux en plaquettes ou polyèdres, filaments mycéliens, gels donnent aux sols les propriétés de la « matière molle », chère à Pierre Gilles de Gennes et à Étienne Guyon.

La structure grumeleuse



Conditions favorables Conditions défavorables (acidité)
 Il faut des conditions favorables à l'activité biologique, pas toujours réunies, pour former l'agrégat biologiquement construit.

Une bonne structure du sol



Sous hêtraie, à Fougères
Conditions défavorables



Sous culture sur le Larzac
Conditions favorables

Il faut des conditions de pH et Eh favorables.

La présence des ingrédients ne suffit pas pour que « la mayonnaise monte » ; il faut un agitateur : la faune du sol et son microbiote.

Conclusion : éviter l'érosion du sol

La Fontaine n'a pas donné un bon conseil !

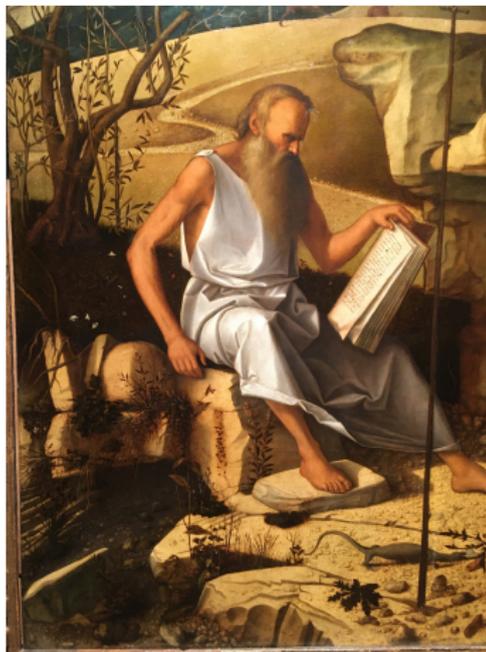
*Travaillez, prenez de la peine
C'est le fond qui manque le moins !*

L'agriculture conventionnelle laboure et utilise « engrais de synthèse » et pesticides.

L'agriculture biologique refuse l'emploi des « engrais de synthèse » et des pesticides, mais garde le travail du sol, donc le sol nu pendant l'hiver.

L'agriculture de conservation des sols couvre le sol en permanence, mais utilise du glyphosate, en faible quantité. Le débat est ouvert et il n'y a ni solution miracle, ni recette universelle.

La sagesse peut éviter la désertification



Saint Jérôme dans le désert (détail)
par Giovanni Bellini (ca. 1480).

Le sol du désert est clairement non structuré.

Nous savons restaurer les sols dégradés, mais mieux vaut prévenir que guérir.

Il faut imaginer Saint Jérôme (lisant ou écrivant un livre de pédologie), tel Sisyphe, heureux !

-  BALLUT, C. (2000). “Évolution environnementale de la Limagne de Clermont-Ferrand au cours de la seconde moitié de l’Holocène (Massif central français)”. *Thèse de doctorat. Université de Limoges.*
-  BIÉMI, J. et al. (1997). “Étude par télédétection et système d’information géographique des structures circulaires et profils d’altération en milieu cristallin de Côte-d’Ivoire”. In : *Actes des IX^{es} Journées Géographiques. Bouaké, Côte-d’Ivoire, p. 243-255.*
-  BOURLÈS, Didier et al. (2008). “Les nucléides cosmogéniques produits *in situ* : applications en géomorphologie quantitative et évolution des paysages”. In : *LES FORMATIONS SUPERFICIELLES, Genèse — Typologie — Classification — Paysages et environnement — Ressources et risques.* Sous la dir. d’Yvette DEWOLF et Guilhem BOURRIÉ. Paris : Ellipses. Chap. 15, p. 481-506.
-  BOURRIÉ, Guilhem et Pierre FREYTET (2008). “Résultats de la météorisation qualitatifs et quantitatifs”. In : *LES*

FORMATIONS SUPERFICIELLES, Genèse — Typologie — Classification — Paysages et environnement — Ressources et risques. Sous la dir. d'Yvette DEWOLF et Guilhem BOURRIÉ. Paris : Ellipses. Chap. 2.4, p. 78-88.



DEWOLF, Yvette et Guilhem BOURRIÉ, éd. (2008). *LES FORMATIONS SUPERFICIELLES, Genèse — Typologie — Classification — Paysages et environnement — Ressources et risques.* Paris : Ellipses. 815 p.



DRONNE, Yves (2018). “Les matières premières agricoles pour l'alimentation humaine et animale : le monde”. In : *INRAE Productions animales* 31 (3), p. 165-180. DOI : [10.20870/productions-animales.0.31.0.2345](https://doi.org/10.20870/productions-animales.0.31.0.2345).



FAO (2022). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue.* Book (series). Rome : FAO. 294 p. DOI : [10.4060/cc0461fr](https://doi.org/10.4060/cc0461fr).



LEPRUN, Jean-Claude (1979). *Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse*

Transformations. Dégradation. Sciences Géologiques, Mémoire 58. Strasbourg : Université Louis Pasteur. 224 p.



TARDY, Yves (1969). *Géochimie des altérations — Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique.* Mémoires du Service de la Carte géologique d'Alsace-Lorraine 31. Strasbourg : Université Louis Pasteur. 199 p.



TRÉMENT, Frédéric (2004). “De la Gaule méditerranéenne à la Gaule centrale : paysages et peuplements à l’âge du fer et à l’époque romaine. Archéologie et paléoenvironnement des campagnes de Provence et d’Auvergne”. Habilitation à diriger les recherches. Aix-en-Provence : Université de Provence. 292 p.



TROLARD, Fabienne (1997). “Les “oxydes” de fer des latérites et des sols hydromorphes — Géochimie, minéralogie et modélisations thermodynamiques”. Thèse d’Agrégation de l’Enseignement Supérieur. Université Catholique de Louvain.