ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE

Encyclopédie : *Question sur*

Les erreurs passent, il n'y a que le vrai qui reste (Diderot)

Le rôle des sols dans la transition climatique : peuvent-ils amplifier certains risques ?

Fiche *QUESTIONS SUR…* n 07.05.Q05 **2021, révisée en janvier 2025**

Mots clés : sol, risque naturel, inondation, instabilité gravitaire, risque climatique, permafrost, ressource hydrique, salinisation

Quelles parts prennent les sols dans le développement ou l'amplification de risques naturels ? À quelle intensification des risques s'attendre si les sols voient leurs fonctions changer dans le contexte de changement climatique ? Quelles mesures de prévention ou d'adaptation sont possibles ? Cette fiche propose quelques exemples.

Les risques naturels résultent de la confrontation, dans le temps et l'espace, de phénomènes naturels dangereux, avec des éléments fragiles ou vulnérables (populations, structures, réseaux, biens...). On parle de *catastrophe naturelle* lorsque le phénomène naturel cause des pertes humaines, économiques et/ou environnementales, telles que la zone sinistrée ne peut à elle seule surmonter ce désastre.

La part prise par les sols dans le développement de ces risques est très inégale. La plus évidente est la perte de la *fonction support* du sol. Mais d'autres pertes de fonctions des sols peuvent aussi contribuer à l'amplification d'une catastrophe et induire des *pertes environnementales* (eau, sols, écosystèmes). Souvent difficiles à évaluer sur le court terme, ces pertes – longtemps associées à la notion de risques diffus – peuvent avoir un impact sur le long terme.

En contexte de transition climatique, ces pertes sont maintenant à prendre en compte dans les efforts additionnels des politiques publiques de prévention des risques car certains mécanismes se développent à une **dimension mondiale**, confirmant le rôle des sols et de leurs multi-fonctionnalités dans certaines composantes du changement global.

La perte de la fonction support du sol

Hormis la liquéfaction des sols liée au risque sismique, la perte de cette fonction *support du sol* peut être induite ou amplifiée par des processus en lien avec les changements climatiques et anthropiques.

1 - Le risque *retrait-gonflement* des sols argileux

Sous des alternances de dessiccation/humectation, les sols argileux se fissurent, créant à terme des désordres au bâti. Second poste d'indemnisation aux catastrophes naturelles, ce risque de sécheresse géotechnique concerne la France entière avec 8.500 communes métropolitaines touchées soit plus de 4 millions de maisons potentiellement très exposées[1].

Les simulations du climat à venir prévoient des épisodes de sècheresse et une augmentation de l'intensité des pluies, mais sans capacité de simuler leur alternance à des échelles fines de temps et d'espace. C'est donc l'inventaire des aléas connus qui permet d'indiquer les secteurs a priori sensibles où respecter les principes de prévention (*Figure 1*). Les cartes, recommandations et règlementations afférentes sont disponibles sur le site de la *Direction Générale de la Prévention des Risques* (DGPR).

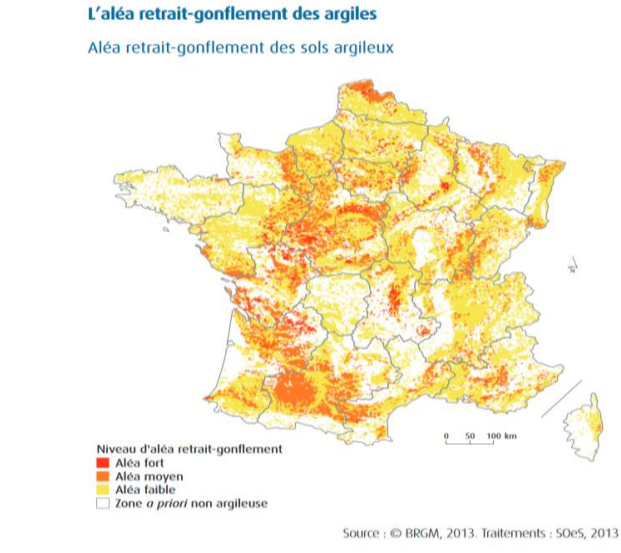

Fig. 1 carte aléa retrait gonflement des argiles

[1] T. LANGRENET et al. - *Adapter le système assurantiel français face à l'évolution des risques climatiques*. rapport final (2023) https://www.vie-publique.fr

2 - Le risque d'une subsidence urbaine amplifie le risque de submersion

Une proportion très élevée de la population mondiale s'est concentrée sur les côtes, avec une densité cinq fois supérieure à celle des autres régions habitées. Or le niveau marin global mesuré par satellite depuis 1993 fait déjà état sur ces 30 dernières années d'une élévation de 3 à 4 mm/an. Celle-ci est en accélération[2] et pourrait tripler d'ici 2100. De plus dans les villes côtières, l'exploitation intensive des nappes phréatiques et le poids des constructions viennent tasser des sols souvent hautement compressibles. L'affaissement de ces sols urbains amplifie le risque de submersion marine (*Figure 2*).

Une cartographie fine de la subsidence côtière vient d'être dressée sur tout le littoral européen grâce au système d'observation Copernicus EGMS (European Ground Motion Service)[3]. Près de la moitié des zones côtières de basse altitude en Europe connaît actuellement une subsidence supérieure à 1 mm / an en moyenne. Si on ajoute la subsidence à la hausse du niveau des mers, c'est autour de 5 mm par an de montée des eaux que subissent la plupart des côtes, et elle est plus importante dans les zones plus densément peuplées, les centres urbains et là où sont situées les infrastructures critiques. De même, au niveau mondial, de nombreuses métropoles deviennent toujours plus vulnérables[4], les villes asiatiques étant les plus menacées, avec Jakarta comme cas extrême (plus de 30 mm/an d'affaissement, soit bien plus vite que la remontée du niveau de la mer).

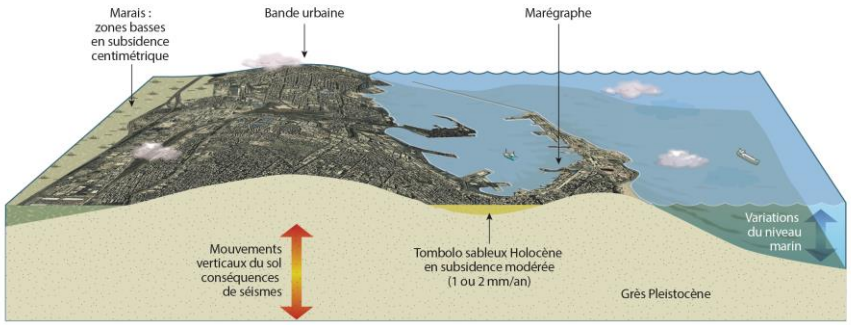

Figure 2 : Subsidence et submersion de villes côtières ©BRGM Éditions Géosciences (2017).

Devant les risques économiques encourus d'ici à 2070, presque toutes les grandes métropoles côtières souhaitent une défense active du littoral imposant des investissements coûteux. Or l'accès à des fonds internationaux reste incertain pour de tels efforts d'adaptation car, comme le confirme le GIEC, l'écrasante majorité du financement mondial du climat a jusque-là été consacrée à l'atténuation.

En France métropolitaine les submersions marines sont rares et les estimations, à prendre avec prudence, restent modestes : autour de 20 cm d'élévation d'ici 2050. C'est pourquoi d'autres solutions d'adaptation, dites douces, visent à vivre avec le risque en ciblant les efforts de prévention aux seules zones urbaines. Le plan de prévention des risques côtiers enlève déjà certaines digues de zones humides ou de marais côtiers et freine l'urbanisation du littoral. Jouer sur le devenir des marais endigués ou sur l'intérêt des dépoldérisations sont des pistes pour redonner de la mobilité au trait de côte. Elles sont en cours d'exploration à l'échelle européenne, bien en amont de futures politiques publiques.

---

[2] G. LE COZANNET et al *Adaptation to multi-meter sea-level rise should start now*. Environ. Res. Lett. **18** 091001 (2023)

[3] R.THIEBLEMONT et al. *Assessing Current Coastal Subsidence at Continental Scale: Insights From Europe Using the European Ground Motion Service*, AGU Volume 12 Issue 8 (2024) https://doi.org/10.1029/2024EF004523

[4] P.C. WU et al *Subsidence in Coastal Cities Throughout the World Observed by InSAR*, GRL Volume 49, Issue 7 (2022) https://doi.org/10.1029/2022GL098477

 Cette fiche est consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "***Publications***", puis "***Encyclopédie de l'Académie***" puis "***Questions sur***". Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

Des risques naturels avec pertes environnementales

1 - Les risques d'inondation

Les risques d'inondation représentent la moitié des catastrophes naturelles mondiales en raison de leur fréquence. C'est le premier risque naturel en France au vu des dommages qu'il provoque, du nombre de communes concernées, de l'étendue des zones inondables (27 000 km²) et des populations y résidant (5,1 millions de personnes). L'attractivité des sols alluviaux, faciles d'accès et souvent très fertiles, a contribué de longue date à la vulnérabilité aux inondations par débordement. Mais, de fait, lors des crues elles-mêmes, le rôle des sols, alors saturés, se limite à leur perte de capacité d'infiltration des pluies, et donc à une contribution très mineure à l'inondation face aux flux en jeu[5], au contraire des sols artificialisés donc imperméables.

En France, pour se préparer à l'accentuation de la fréquence d'évènements extrêmes, les *schémas régionaux de cohérence écologique* (trames verte et bleue) tiennent compte des lits naturels dans la gestion des écoulements et l'analyse des vulnérabilités. Cette prévention s'oriente vers des solutions *douces*, comme l'accroissement des zones d'expansion de crues, la protection des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques, enfin le développement de pratiques agroécologiques, toutes mesures bénéfiques aux sols.

2 - Les risques d'instabilité gravitaire des sols et des versants

Les chutes de blocs, les glissements de terrains et les coulées boueuses traduisent une perte de la régulation des flux d'eau et de matière, assurée par les sols et leur substrat. Ces mouvements gravitaires sont souvent déclenchés par des précipitations très intenses ou à l'inverse des épisodes de sécheresse, – plus rarement (en France) par des séismes –, voire par des sollicitations anthropiques (vibration, terrassement, extraction de matériaux…), et avec souvent des interactions en *cascade.* Ils sont rapides et se manifestent en général très localement. Leur surveillance est souvent nécessaire mais chaque contexte étant très spécifique, il faut trouver au cas par cas des méthodes de mesures et de suivi à la fois pertinentes et économiquement réalistes au regard des éléments exposés.

Au niveau national, les éléments factuels sont consignés en base de données – au Ministère de la Transition Écologique et Solidaire – sous forme de portraits de territoires régionaux. Cela permet des diagnostics collectifs de vulnérabilité et l'établissement de *Plans de Prévention des Risques* (PPR).

Dans le contexte du changement climatique, l'augmentation des températures et la réduction de l'enneigement provoquent le dégel avéré des terrains de montagnes, ce qui relève du recul général du permafrost. Sous nos latitudes, cela amplifie ces instabilités simultanément à des pertes d'écosystèmes de haute montagne. La recrudescence de ces risques est déjà perceptible[6], avec des coupures fréquentes d'axes de communication dans les Alpes et les Pyrénées, ce qui limite parfois l'accès à des installations touristiques ou d'agriculture de montagne. Un bon exemple en est l'interruption de l'axe ferroviaire Paris-Milan depuis août 2023, lié à l'éboulement d'un versant entièrement fragilisé par des cavités instables très étendues.

Pour localiser régionalement les impacts possibles à venir, il faudrait savoir faire à des échelles fines des projections des conditions climatiques et de leurs interactions avec le milieu physique. Cela reste du domaine de la recherche pour nourrir davantage des services climatiques pour l'adaptation au changement climatique en montagne, comme en France le service CLIMSNOW.

Le changement climatique : vers d'autres pertes et d'autres risques de dimension mondiale

1 - Le changement climatique amplifie-t-il la disparition de ressources en eaux et sols (salinisation) ?

En zone côtière, la double perte de ressources en sols et en eau est en passe d'atteindre une dimension mondiale du fait de la conjonction entre la remontée du niveau marin, favorisant les intrusions salines, et la pression anthropique pour l'irrigation ou les besoins d'eau potable [7] (*Figure 3*). L'alerte est clairement donnée en contexte méditerranéen, où les remédiations seront très difficiles à mettre en œuvre et demanderont du temps. Une programmation européenne conjointe appelle les pays à collaborer durant 5 à 10

---

[5] *Inondations, agriculture et société, le besoin d'une parole juste*, AAF avis d'académicien 2-12-2018

[6] B. EINHORN et al. *Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes,* Journal of Alpine Research , Revue de géographie alpine 103-2 , (2015)

[7] G. LE COZANNET G. et al. *Sea level change and coastal climate services: The way forward*. Journal of marine science and engineering, MDPI AG, Basel, Switzerland 5 (4), pp.49, (2017)

 Cette fiche est consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "***Publications***", puis "***Encyclopédie de l'Académie***" puis "***Questions sur***". Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

ans sur tout le pourtour méditerranéen au sein du partenariat PRIMA sur les systèmes alimentaires et les ressources en eau pour des sociétés méditerranéennes durables et inclusives (H2020).

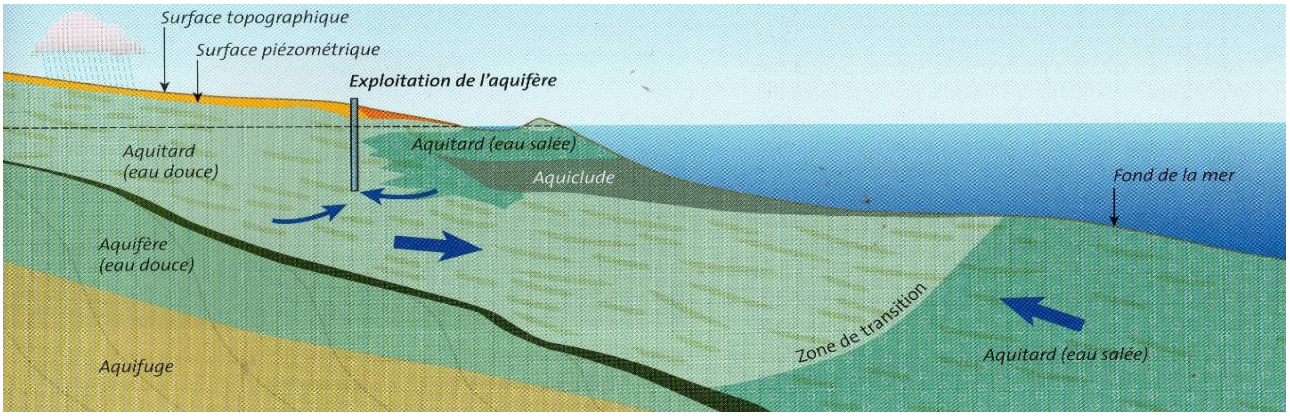

Figure 3 : Intrusion saline dans l'aquifère supérieur en lien avec la mer et par infiltration d'eaux saumâtres ©BRGM

2 - Le changement climatique influence-t-il le fonctionnement du sol ?

Le recul du permafrost est un exemple marquant. En zone arctique le pergélisol ou cryosol se maintient sous 0° C depuis 400 000 ans et représente 20 % des terres émergées (*Figure 4*). Il contient notamment de la glace sous diverses formes et du carbone organique. Avec les changements climatiques actuels, sa fonte est signalée en maints endroits, et les conséquences sont déjà notables sur l'environnement local : instabilité d'infrastructures initialement conçues pour des sols gelés en permanence, ou modifications des pâturages des rennes, avec une inquiétude croissante des populations nomades vivant de leur élevage, les successions de "fonte-regel" de la neige empêchant l'accès aux lichens.

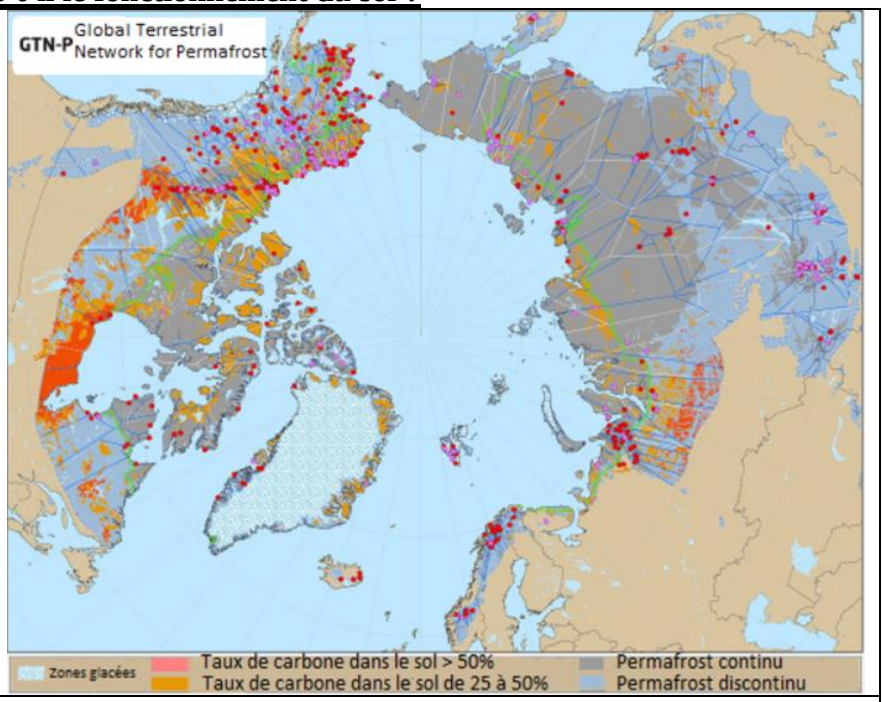

Figure 4 : Pergélisol et contenu en carbone du pourtour de l'Arctique (Biskaborn et al. 2015)[8]

De plus la progression de l'activité humaine pour le transport maritime et l'exploitation de ressources forestières ou minières va amplifier aussi les atteintes à ces écosystèmes boréaux et polaires.

Les expérimentations et les données manquent encore pour estimer des perturbations comme la stabilité des terrains, les régimes hydrologiques, la qualité de l'air et de l'eau[9], mais les effets de la décomposition de la matière organique du sol dégelé sont bien identifiés : ils s'accompagnent de production et de relargage de gaz carbonés susceptibles d'accélérer le changement climatique (dioxyde de carbone, méthane, mercure et protoxyde d'azote). Selon les estimations du GIEC, si les émissions humaines ne diminuent pas, ces sols pourraient disparaitre d'ici 2100. Or l'amplification de ce relargage de méthane pourrait avoir un très fort impact, puisque l'effet de serre de ce gaz peut être jusqu'à 25 fois plus puissant que le CO_2, engageant tout un engrenage de rétroactions potentielles.

[8] B.K. BISKABORN et al. *The new database of the Global Terrestrial Network from Permafrost* (GTN-P), Earth Syst. Sci. Data, 7, 245-259, 2015

[9] F. COSTARD., *À l'origine des glissements de terrain en Arctique* GRL/AGU, Article ID : GRL_61641, 2020

 Cette fiche est consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "***Publications***", puis "***Encyclopédie de l'Académie***" puis "***Questions sur***".
Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

3- Le sol peut-il influencer le climat ?

Grâce aux récentes évaluations internationales sur le cycle du carbone, la teneur en carbone dans la matière organique des sols est estimée 2 à 3 fois supérieure à celle de l'atmosphère en CO_2. Si le dégel des cryosols peut avoir un impact négatif, les sols agricoles et forestiers pourraient eux stocker davantage de carbone qu'ils n'en émettent.

Suite à l'*initiative 4 pour 1000*, largement soutenue par la France, le programme européen de recherches EJP SOIL, coordonné par l'INRAE, encourage la mise en œuvre de pratiques favorables à ce stockage, jusqu'à l'atteinte d'un nouvel équilibre. Il s'agit de soutenir une information harmonisée sur les sols en Europe, tout en promouvant des pratiques climato-intelligentes et durables de gestion des sols agricoles, le tout sans perdre de vue les contraintes spécifiques à chaque contexte régional. Cet effort, qui peut prendre environ 50 ans, vise un double bénéfice : contribuer à compenser des émissions anthropiques de CO_2 tout en renforçant la sécurité alimentaire.

Christine KING, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Le sol n'est pas une simple surface mais un volume et il prend une part significative dans un certain nombre de risques naturels. Les politiques de prévention les prennent en compte principalement sous l'angle géotechnique, pour préserver ou restaurer en priorité la fonction support du sol.

Les pressions anthropiques et climatiques perturbent diverses fonctions écosystémiques assurées par les sols, ce qui participe à l'amplification de risques naturels comme la submersion en zone côtière ou les mouvements de terrain. D'autres risques plus diffus, comme la salinisation des sols ou le recul du permafrost, sont pourtant en cours d'amplification, avec déjà des pertes de ressources en sol et en eau. À une échelle globale, ces pertes environnementales accroissent les menaces sur la sécurité, la santé voire l'alimentation des sociétés humaines.

En France, pour établir un diagnostic, les politiques de prévention commencent à prendre simultanément en compte les enjeux humains, socio-économiques et environnementaux selon une approche territoriale. Lorsque la prévention et la réduction des risques connaissent des limites, il s'agira de vivre avec l'aléa. Faire les bons choix ou des choix sans regret impose une meilleure connaissance des sols et de leurs multi-fonctionnalités notamment pour l'eau et la biodiversité mais aussi des facilitations de leur prise en compte en termes de formation et de réglementation.

Pour en savoir plus :

- Autres risques et dégradations des sols : https://www.academie-agriculture.fr/publications/encyclopedie/questions-sur/0705q01-comment-evaluer-letat-de-degradation-des-sols
- https://www.academie-agriculture.fr/publications/encyclopedie/questions-sur/0705q10-la-realite-de-laccaparement-mondial-des-terres
- https://www.academie-agriculture.fr/publications/encyclopedie/questions-sur/0704q02-rechauffement-climatique-agriculture-mondiale-et
- C. VALENTIN Coord. Les sols au cœur de la zone *critique*, 6 livres, ISTE éditions, 2018
- Risques naturels http://www.georisques.gouv.fr/
- Salinisation https://chaire-eacc.fr/salinisation-en-zones-cotieres-mediterraneennes-think-tank/
- Permafrost https://reseauactionclimat.org/carbone-degel-pergelisol-rechauffement-climatique/
- Le réseau national d'experts sur les sols https://rnest.fr/ressources/les-reseaux-sols/
- MTES/ CGDD : *Repères - Chiffres-clés sols, climat, France et monde*, Ed. 2024 https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-du-climat-france-europe-et-monde-edition-2024
- GIEC 6e rapport https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/

 Cette fiche est consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "***Publications***", puis "***Encyclopédie de l'Académie***" puis "***Questions sur***".

Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance