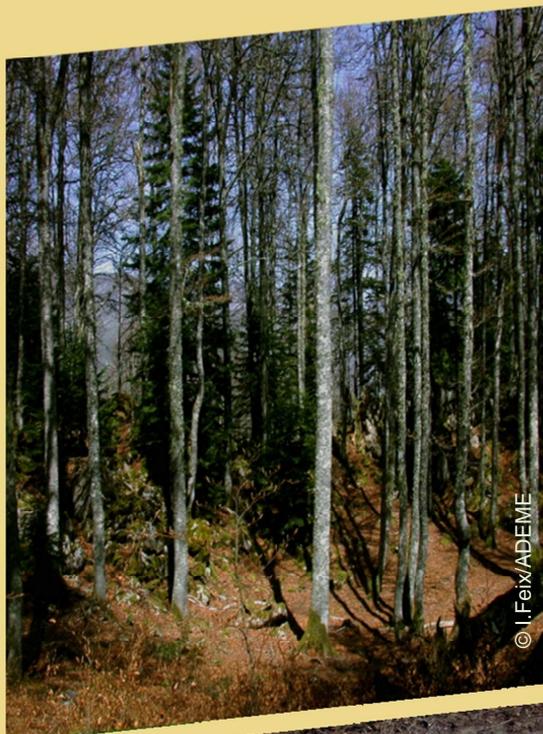


Les sols : une ressource essentielle

Document provisoire – ne pas diffuser



Sommaire

Le sol est l'épiderme vivant de notre planète
Surveiller la qualité des sols

Le sol est au cœur des principaux enjeux de l'humanité
 Le sol est le support des activités et de l'identité des territoires
Le sol est source d'économies
La biodiversité des sols est source d'innovations
Rôle du sol dans la lutte contre le changement climatique

Le sol est menacé par les activités humaines
Érosion des sols
Perte de matières organiques des sols
Perte de biodiversité des sols
Tassement des sols
Salinisation des sols
Acidification des sols
Artificialisation des sols
Croissance mondiale et changements d'usage des sols
Sites pollués : héritage du passé industriel de la France
Contamination diffuse des sols : modérée... mais à surveiller

Collectivité, aménageur, agriculteur, gestionnaire forestier ou
 d'un espace protégé, entreprise, gestionnaire d'un espace vert
 ou jardinier amateur, vous pouvez agir...
 ...et l'ADEME peut vous accompagner
*L'ADEME développe les connaissances sur la pollution des sols
 et ses impacts*
*L'ADEME conseille sur le retour au sol des déchets et produits
 dérivés*
*Agriculteurs et forestiers : agir pour préserver et améliorer les
 sols*
Jardiniers privés et publics : agir ensemble
*Collectivités et aménageurs : agir pour préserver et gérer la
 ressource sol*
L'AEU2 vous aide à élaborer et mettre en œuvre vos projets
Collectivités et aménageurs : reconverter les friches urbaines
L'ADEME vous aide à reconverter les friches urbaines
Réutiliser des terres excavées
*L'ADEME intervient pour la mise en sécurité des sites pollués à
 responsable défaillant*

Remerciements

Ce document a été réalisé par l'ADEME
Coordination technique : Isabelle Feix (Direction
 Productions et Énergies Durables)
Rédaction : Claire Delalande et Hélène Roussel
 (Service Friches Urbaines et Sites Pollués) ; Sophie
 Debergue et Sarah Marquet (Service Organisations
 Urbaines) ; Antonio Bispo et Thomas Eglin (Service
 Agriculture et Forêt) ; Fabienne Muller (Service
 Mobilisation et Valorisation des Déchets) ; Claire
 Greuillet (Direction Régionale Île-de-France) ; Isabelle
 Feix (Direction Productions et Énergies Durables)
Relecture : Sylvie Cogneau (Service Communication
 Professionnelle et Technique) ; Frédérique Cadière et
 Hélène Roussel (Service Friches Urbaines et Sites
 Pollués) ; Sophie Debergue et Sarah Marquet (Service
 Organisations Urbaines) ; Emmanuel Acchiardi
 (Direction Villes et Territoires Durables) ; Damien
 Siess (Direction Productions et Énergies Durables) ;
 Gwénaél Guyonvarch (Direction de l'Action Régionale
 Nord-Est) ; Aude Bodiguel (Service Économie et
 Prospective)

« Notre survie dépend d'une poignée de sol.
 Gérez-le avec prudence et il fournira notre
 nourriture, notre combustible et notre abri et
 nous entourera de beauté. Abusez-en et le
 sol s'effondrera et mourra, entraînant
 l'humanité avec lui » (Vedas, Écritures
 saintes, Sanscrit, 1500 ans avant JC)

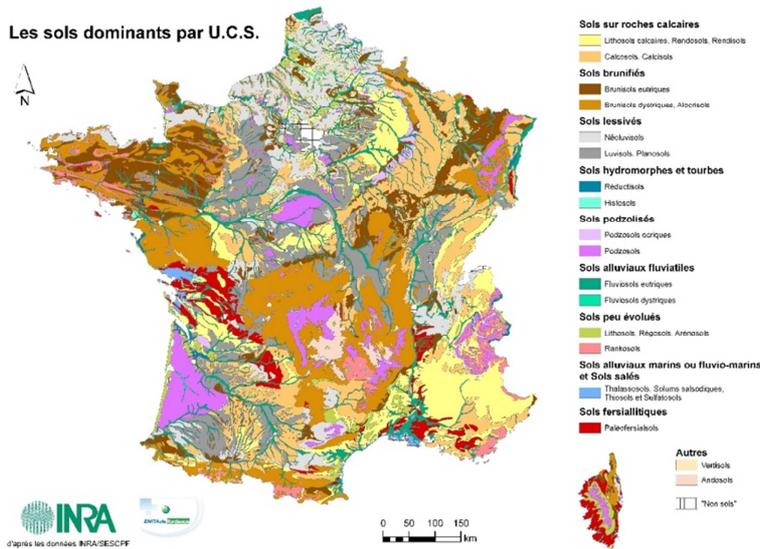
« Une nation qui détruit ses sols, se détruit
 elle-même » (Franklin D. Roosevelt, 1937)

« Terre et ciel ne cessent de se quereller
 dans l'épaisseur du sol arable et de ces
 querelles naissent les qualités premières de
 tout paysage » (Michel Corajoud)

Le sol est l'épiderme vivant de notre planète

D'une épaisseur centimétrique à métrique, le sol est la couche superficielle meuble de la croûte terrestre, qui résulte de l'altération des roches sous-jacentes sous l'influence de processus physiques et chimiques (eau, climat...) et des activités biologiques. Composé de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants, il est organisé en horizons (couches) différenciés. Les sols ont des natures et donc des propriétés très variées.

Le sol connaît d'autres acceptions. Pour l'agronome, le sol se limite souvent aux horizons labourés. En génie civil, le sol correspond au matériau meuble situé en surface (sol, roche altérée ou matériau artificiel). Au sens hydrogéologique, le sol est la couche comprise entre la surface et le niveau de la nappe phréatique.



Carte des sols français (INRA - INFOSOL - Orléans)

Surveiller la qualité des sols

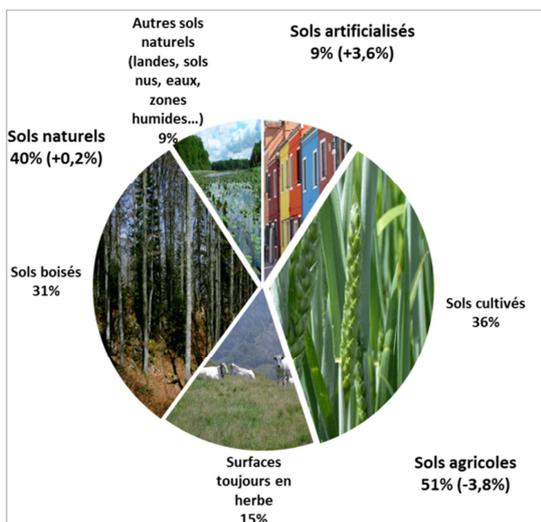
Les sols sont en perpétuelle évolution à cause de facteurs naturels tels que le climat mais également de pressions extérieures liées notamment aux activités humaines (ex : aménagement, pratiques culturales) rendant obligatoire la mise en place de programmes de surveillance. Organisés au sein du Groupement d'Intérêt Scientifique « Sol », qui associe les ministères en charge de l'écologie et de l'agriculture, l'INRA, l'ADEME, l'IRD et l'IGN, ces programmes ont pour vocation de définir un état de référence, de suivre et d'alerter sur d'éventuelles modifications. Ils permettent également d'évaluer le succès de politiques publiques de protection des sols.

Pour en savoir plus :

Site Internet GIS Sol : <http://www.gissol.fr/>

L'état des sols de France. GIS Sol. 2011. <http://www.gissol.fr/RESF/>

Gestion durable des sols – ouvrage de synthèse 1998-2008. MEEDDAT, ADEME. 2008. Éd. Quae.
<http://www.gessol.fr/articles-et-documents-de-synthese>



Le saviez-vous ?

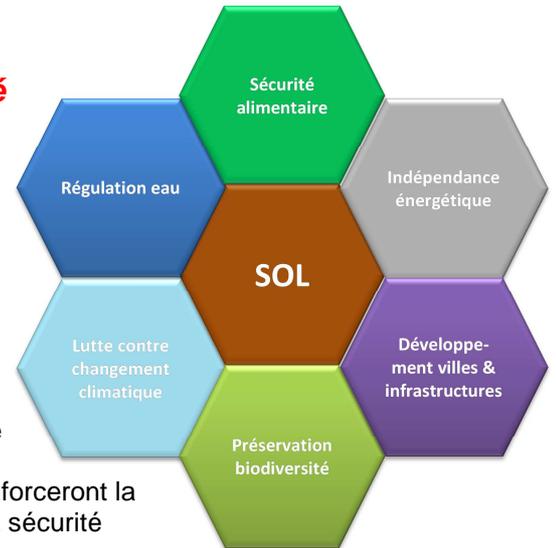
Seuls **12,7%** des sols mondiaux sont productifs et fertiles, c'est-à-dire libres de contraintes pour la plupart des usages agricoles (classification selon la qualité intrinsèque à produire du grain).

Plusieurs siècles ou milliers d'années sont nécessaires pour qu'un sol cultivable se forme naturellement.

Le sol est au cœur des principaux enjeux de l'humanité

Les sols sont le fondement du développement de l'agriculture, de la sécurité alimentaire mondiale et de fonctions écologiques essentielles, constituant dès lors un élément clé de la survie de l'humanité et d'une grande partie des écosystèmes sur terre.

Les défis planétaires sont immenses. Les sols sont au cœur d'enjeux économiques, sociétaux et politiques prioritaires et font l'objet de demandes croissantes et concurrentielles. Avec l'augmentation rapide de la population mondiale (6 Mds d'humains aujourd'hui, vraisemblablement 10 Mds en 2050) et du niveau de vie (et donc de la consommation), la demande nette d'aliments et d'énergie augmentera, tandis que les sols arables constituent une ressource finie à l'échelle de la planète. La disparition progressive des sources d'énergie fossile et le besoin d'indépendance énergétique des pays renforceront la pression sur les sols pour produire des bioénergies. La menace pour la sécurité alimentaire des générations futures est aggravée par le réchauffement climatique global, par le plafonnement des rendements des principales cultures et par la dégradation accentuée des sols due à une mauvaise utilisation et une mauvaise gestion. Enfin, localement, l'extension prévisible des villes consommera des sols, souvent au détriment des plus fertiles.



Adapté de McBratney A, Field DJ, Koch A, 2014

Le saviez-vous ?

Dans le monde :

Production d'aliments : **93%** (en poids) et **99%** (en énergie) de l'alimentation humaine sont basés sur le sol ; l'augmentation de la demande nette d'aliments serait à minima de 50% d'ici 2050

Biodiversité : plus de **25%** des espèces de la Planète vivent dans les sols

Biodiversité : une cuillère à soupe contient plus de microorganismes qu'il y a d'humains sur la planète

Civilisation : le déclin de nombreuses civilisations sophistiquées (Mayas d'Amérique centrale, Sumériens en Mésopotamie...) est le résultat direct de la mauvaise gestion de leur sol

Atténuation du changement climatique : les sols contiennent 2 011 Mds tonnes de carbone (contre 466 pour la végétation) et constituent le **3^{ème}** réservoir de carbone

En France :

Production d'énergie : **57%** des énergies renouvelables (bois énergie & biocarburants) sont basés sur le sol

Commerce : grâce à ses sols fertiles, la France est la **1^{ère}** puissance agricole d'Europe (en valeur au prix de base) & le **2^{ème}** pays exportateur mondial de céréales

Consommation : l'empreinte « sol » de notre pays est estimée entre **77**

Mha (produits agricoles et forestiers) et **160 Mha** (2 fois supérieures à la moyenne mondiale par habitant) et bien qu'étant « exportatrice » importante de surface de terre, son taux de dépendance vis-à-vis des terres étrangères (contenu en sol des biens importés / demande finale française en sol) s'élève à 65%



©I. Feix/ADEME

Le sol est le support des activités et de l'identité des territoires

Le sol rend de nombreux services à l'homme. Il est, pour l'agriculture et la sylviculture, la base de production d'aliments, de fibres et de matériaux. Il constitue un outil de production d'énergie renouvelable. Il joue un rôle central en tant qu'habitat de biodiversité et réservoir de gènes. Il est le support des activités humaines, de la construction des villes, des infrastructures et de l'implantation d'espaces de loisirs végétalisés et de jardins. Il constitue un élément du paysage. Il conserve la mémoire de traces archéologiques et paléontologiques. Il recycle certains des déchets et des effluents issus des activités humaines. Il intervient dans l'atténuation du changement climatique en stockant du carbone et dans l'adaptation des secteurs

agricoles et forestiers aux conséquences du changement climatique en régulant les quantités d'eau disponibles pour les plantes. Il intervient dans l'épuration de l'eau et dans la fourniture d'aliments sains en filtrant, retenant ou dégradant les contaminants. Il limite les inondations et contribue à la gestion des eaux pluviales urbaines, grâce à sa capacité à réguler les flux d'eau. Avec la végétation, il contribue au rafraîchissement estival des zones urbaines.



©I. Feix/ADEME

Fonctions écologiques : Processus biologiques naturels de fonctionnement et de maintien des écosystèmes (cycle de l'eau, cycle du carbone et de l'azote, photosynthèse, offre d'habitats aux organismes vivants...).

Services écosystémiques (ou écologiques) : Bénéfices que les humains retirent des écosystèmes pour assurer leur bien-être. Ils sont le résultat des fonctions écologiques. Il peut s'agir d'avantages matériels d'approvisionnement et de régulation (épuration de l'eau et des déchets, purification de l'air, production d'aliments, de matériaux de construction et de fibres, régulation du changement climatique, des inondations et des maladies...) ou immatériels (activités récréatives ou culturelles...).



©I.Feix/ADEME



©A.Bispo/ADEME

©I.Feix/ADEME

©I.Feix/ADEME

©P.Henning Krogh/Un.Aarhus ?

Le sol est source d'économies

Les sols et leurs fonctions au sein d'un territoire présentent de multiples intérêts sociaux et économiques à préserver. Les programmes de préservation des bassins versants et des zones humides permettent leur participation au traitement et à la régulation des eaux sans investissement spécifique.

Le saviez-vous ?

Epandage des déchets : **73%** des boues d'épuration urbaines retournent au sol en France

Coûts évités grâce aux zones humides de la Loire bourguignonne, qui stockent 500 à 700 Mm³ d'eau et qui évitent la construction coûteuse d'un barrage écrêteur de crues : **60 à 300 €/ha/an**

Valeur économique moyenne des services rendus par les prairies permanentes françaises, dont 2/3 sont attribuables aux sols (stockage de carbone et épuration des eaux) : **>600 €/ha/an**

Matériau : dans le monde, **1/3** de l'humanité vit dans un habitat en terre

Matériau : en France, **1 million** d'habitations sont en terre : pisé (ex : 75% de l'habitat traditionnel en Isère), briques crues (ex : Sud-Ouest), torchis (ex : Alsace, Normandie), bauge (ex : Vendée)

comprendre leurs fonctionnements et leurs interactions, plaçant alors le sol au cœur de la bioéconomie. Des applications et des innovations sont ainsi attendues notamment dans les domaines de l'agroécologie (ex : diminution des intrants, biocontrôle, biopesticides) et de l'industrie (ex : médicaments, dépollution des sols et des eaux, bioextraction, bioraffinerie).

Le saviez-vous ?

Bénéfices de la biodiversité des sols en Europe : **2 Mds €/an**

Production de molécules : **70%** des antibiotiques présents sur le marché sont issus de bactéries du sol

Rôle du sol dans la lutte contre le changement climatique

Le sol joue un rôle crucial dans les flux des 3 principaux gaz à effet de serre. Le sol constitue le premier réservoir terrestre de carbone en stockant au niveau national entre 3 et 4 Gt de carbone. Les activités biologiques du sol, liées au cycle de l'azote, sont responsables de près de 80% des émissions nationales de N₂O. Les zones humides et les rizières contribuent aux émissions de méthane (CH₄). En fonction des usages des sols et des pratiques agricoles, la gestion des sols peut contribuer à lutter contre le changement climatique ou au contraire l'accélérer.

Le saviez-vous ?

Capital constitué par le carbone organique des sols mondiaux : **27 500 Mds €**

L'artificialisation de 15 000 ha entre 2003 et 2008 dans la Plaine d'Emilie-Romagne a causé des pertes économiques : **100 M€** (production de blé) et **19 M€** (puits de carbone)

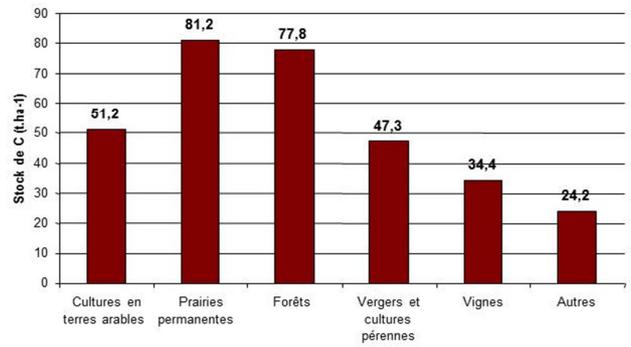
Exemple à suivre :

Pour préserver la qualité de sa ressource d'eau potable, la ville de Munich a acquis et boisé des terres (1600 ha) et a mené un programme incitatif de conversion à l'agriculture biologique des exploitations agricoles (2500 ha, 110 fermes), dans la zone d'influence du captage principal. Le coût de ces actions pour le consommateur d'eau est de 0,005€/m³ et le coût évité pour des équipements de traitement « classique » a été de 0,23€/m³.

La biodiversité des sols est source d'innovations

Bien que supportant le quart de la biodiversité mondiale, les sols sont encore considérés comme l'une des dernières frontières biotiques compte tenu du nombre et de la difficulté d'observation des organismes du sol (seuls 1 à 5% des microorganismes du sol ont été identifiés). Les nouveaux outils moléculaires récemment développés devraient permettre non seulement de les identifier mais également de

La majorité des espèces d'organismes du sol, comme celles des fonds marins ou de la canopée des forêts tropicales, est inconnue ou non décrite, mais les avancées scientifiques laissent supposer que leur richesse est vaste. On parle pour ces 3 mondes de frontières biotiques, en référence aux possibilités d'exploration et de découvertes scientifiques.



Stocks de carbone dans les sols français selon les usages des sols (GIS Sol, RMQS)



Désertification : Dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.

Le sol est menacé par les activités humaines

Les dégradations des sols s'accroissent depuis plusieurs décennies. Des pratiques agricoles ou forestières inappropriées entraînent une perte de fertilité du sol, son érosion qui décape les couches superficielles les plus fertiles, sa contamination diffuse qui peut aussi mettre en péril son aptitude à produire des aliments sains, son tassement et la diminution de sa teneur en matière organique et de sa biodiversité. Si elle n'est pas adaptée, l'irrigation provoque la salinisation du sol en climat chaud (ce qui pourrait être le cas en Outre-Mer, voire dans certaines parties de la Métropole avec le réchauffement climatique). L'industrialisation a laissé en héritage des milliers de sites pollués en France. L'imperméabilisation prive l'humanité de sols productifs et perturbe les cycles d'eau et d'énergie dans les territoires urbains, accentuant chaleur urbaine, coulées boueuses et inondations. Plusieurs des menaces qui pèsent sur les sols sont aggravées par les effets du changement climatique, et certaines régions françaises présenteraient un risque faible à modéré de désertification.



© Y. Lebissonais / INRA

Le saviez-vous ?

Seuls **22%** des terres émergées sont considérées comme cultivables, dont **60%** sont dégradées.

1 964 Mha : superficie mondiale des sols dégradés, la principale cause étant l'érosion (84%).

D'ici 25 ans, dans le monde, la dégradation des sols pourrait réduire de **12%** la production d'aliments et augmenter de **30%** leurs prix.

250 M à 1 Md : nombre de personnes menacées par la progression de la désertification dans le monde.

>3,3 Mds €/an : coût de la désertification en Europe.

115 Mha, soit **12 %** environ de la superficie totale des terres en Europe, sont soumis à l'érosion par l'eau et **42 Mha** à l'érosion éolienne.

0,7 à 14 Mds €/an : coûts de l'érosion des sols européens.

18 % des sols français présentent un risque d'érosion moyen à très fort.

Parmi les ressources naturelles utilisées tous les ans par l'économie française :

- **200 Mt** (soit **3 t/hab.**) de terres sont excavées lors des activités de construction et des travaux publics, dont seuls **20 Mt** sont réutilisées sur le site où elles ont été excavées.

- **100 à 150 Mt** de terres agricoles (**1,5 à 2,5 t/hab.**) sont érodées.

Perte de matières organiques des sols

Les matières organiques du sol regroupent les constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol. Elles représentent 1 à 10 % de la masse du sol. Aux facteurs naturels responsables de leur baisse (climat, nature et hydrologie des sols, végétation, érosion des sols), s'ajoutent les activités humaines (conversion des prairies ou des forêts en cultures, exportation des résidus de cultures ou des résidus forestiers, préférence pour des engrais minéraux plutôt qu'organiques, labour profond...). Ces baisses entraînent : baisse de la fertilité des sols (la décomposition des matières organiques fournit des éléments nutritifs aux plantes), perte de biodiversité des sols (les matières organiques fournissent l'énergie et la nourriture pour les organismes du sol), diminution de la résistance des sols à l'érosion et au tassement, diminution de la capacité des sols à retenir l'eau (essentielle pour les plantes cultivées dans des sols secs et sableux), diminution du stockage de carbone dans les sols...

Le saviez-vous ?

45% des sols européens ont un faible taux de matières organiques : pays du sud de l'Europe, certaines régions françaises (Bretagne, Beauce, Franche-Comté, Landes de Gascogne, piémont pyrénéen)...

Érosion des sols

L'érosion, phénomène naturel aggravé par les activités humaines (déforestation, arrachage des haies, mise en culture des prairies ou de parcelles sur pentes fortes, cultures dans le sens de la pente, surpâturage, sols nus en périodes pluvieuses, imperméabilisation des surfaces) est susceptible de s'exprimer sous forme de coulées boueuses aux conséquences parfois catastrophiques. En France, l'érosion est principalement liée à l'action de l'eau et concerne les sols de vergers et de vignes en pente ou

les sols limoneux. Les dégâts occasionnés concernent les parcelles en amont (perte de la couche fertile superficielle des sols, déclin de la biodiversité des sols, arrachement des plants et semis, formation de ravines...), ainsi que l'environnement à l'aval (recouvrement des plants et semis en contre-bas ou des réseaux routiers par des coulées boueuses, comblement des réseaux de collecte des eaux, entraînement de polluants vers les eaux superficielles). L'érosion provoque, à long terme, une dégradation irréversible des sols.

Le saviez-vous ?

24 Mds t/an sol emportés par érosion dans le monde.

Les modes de culture (travail du sol...) entraînent des pertes de sol par érosion (**3 à 40 t/ha/an** de sol) bien supérieures au taux de formation naturelle de sol (**0,3 à 1,4 t/ha/an** de sol).

Érosion des sols : Processus d'altération de la surface du sol et de modification du relief impliquant successivement le détachement de particules de sol, leur transport sous l'action de divers agents (pluie, vent, outils de labour, gravité, glaciers...) et ensuite leur dépôt à une distance pouvant varier de moins d'un mètre à plusieurs milliers de kilomètres.

Perte de matières organiques des sols : Diminution de la quantité de matières organiques dans les sols.

3,4 à 5,6 Mds €/an : coût de la baisse des teneurs en matière organique dans les sols européens.

Perte de biodiversité des sols : Diminution de la quantité et de la diversité des formes de vie dans les sols.

Perte de biodiversité des sols

La biodiversité des sols est définie à trois niveaux : la diversité spécifique (nombre d'espèces), la diversité génétique (diversité des gènes au sein d'une espèce donnée) et la diversité des écosystèmes (les sols sont des écosystèmes). Elle concerne l'ensemble des formes de vie qui présentent au moins un stade actif de leur cycle biologique dans les sols. Elle inclut la mégafaune (taupes, crapauds, serpents...), la macrofaune visible à l'œil nu (vers de terre, termites, fourmis, larves d'insectes...), la mésofaune visible à la loupe (acariens et collemboles), la microfaune et les microorganismes visibles au microscope (protozoaires, nématodes, bactéries, champignons, algues). La baisse de la biodiversité des sols est notamment due aux modes de gestion des sols agricoles ou forestiers qui réduisent les matières organiques du sol et à différentes dégradations physiques ou chimiques (tassement, érosion, contamination des sols). Elle entraîne une diminution de la biodiversité des écosystèmes terrestres, de la dégradation des polluants organiques, de la régulation des germes pathogènes, de l'aération des sols et de la fourniture d'éléments nutritifs aux plantes. Elle a donc pour conséquences une moindre épuration de l'eau, une augmentation des contaminations de l'homme et des animaux, de moindres rendements et des possibilités réduites de recourir aux organismes du sol pour produire les médicaments du futur.

Pour en savoir plus :

La vie cachée des sols. 2010. MEEDDM, ADEME. Réf. 7021. <http://www.ademe.fr/vie-cachee-sols>

Atlas européen de la biodiversité des sols.

Commission Européenne – JRC. 2013.

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/french.html

Le saviez-vous ?

La capacité des sols à absorber l'eau peut être réduite de **90%** s'ils ne contiennent pas de vers de terre.

Tassement des sols

Le tassement des sols est dû, si l'on excepte le cas des prairies sur-pâturées, à la mécanisation de l'activité agricole, viticole et forestière qui implique des passages d'engins de plus en plus lourds lors du travail du sol, du semis, de l'épandage et de la récolte, notamment en conditions humides. Il a pour conséquences de diminuer la porosité des sols, et donc de le rendre asphyxiant (limitant l'enracinement des cultures, perturbant le développement de la faune du sol, favorisant la production de N₂O un puissant GES) et de réduire ses capacités d'infiltration et de stockage de l'eau (provoquant une augmentation des ruissellements à la surface et donc l'érosion des sols). En France, les risques les plus élevés de tassement sont localisés sur les sols sableux, la gravité du phénomène restant toutefois mal connue.

Le saviez-vous ?

37% des sols européens sont soumis à un risque élevé (28%) à très élevé (9%) de tassement.

Tassement (ou compactage) des sols : Augmentation de leur densité apparente résultant de l'application d'une charge sur ces derniers.

Salinisation des sols

Les sols salés sont naturellement présents sur la planète, mais le développement mondial d'une irrigation souvent mal conduite a provoqué une extension des terres touchées. La présence de fortes teneurs en sels dans les sols, en plus de provoquer une toxicité pour les cultures, a aussi pour conséquence de réduire la quantité d'eau assimilable par la plante et donc de diminuer les rendements.



©I.Feix/ADEME

Dans les cas extrêmes, la salinisation des sols est une cause importante de désertification. Elle ne semble toutefois pas être une préoccupation majeure en France métropolitaine, mais, les surfaces salinisées pourraient s'étendre du fait du changement climatique (augmentation du recours à l'irrigation du fait des sécheresses et montée du niveau des océans).

Le saviez-vous ?

<100 000 ha : superficie des sols salés en France (essentiellement localisés dans le delta du Rhône, la Camargue et les zones humides littorales).

Dans le monde : **100 Mha** sont affectés par la salinisation (soit environ 5 fois la superficie cultivée de la France), dont **62 Mha** de terres irriguées (soit 20% de l'ensemble des terres irriguées).

1 à 3 Mha de sols sont salinisés en Europe, surtout sur le pourtour méditerranéen et en Europe centrale.

158 à 321 M€/an : coûts de la salinisation des sols européens.

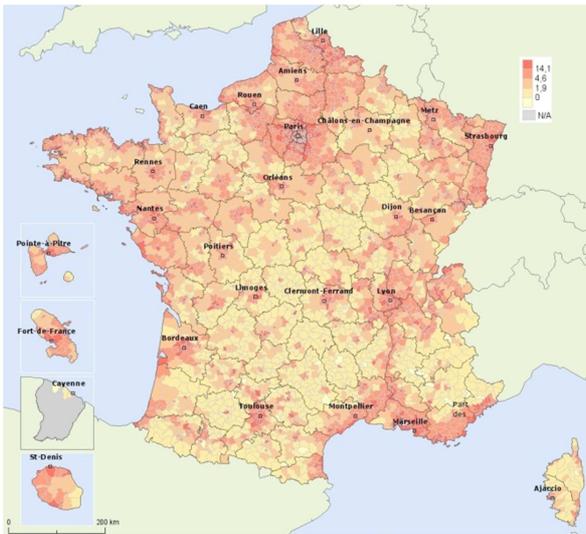
Acidification des sols

L'acidification des sols est un processus naturel qui touche la plupart des régions du globe, notamment lorsque les roches sont elles-mêmes acides et pauvres en éléments nutritifs (granite, grès...) et que le climat est humide. Elle peut être aggravée par l'homme (« pluies acides », engrais ammoniacaux et produits phytosanitaires soufrés, certaines pratiques forestières). Elle a pour conséquences une moindre disponibilité des éléments nutritifs et une plus forte toxicité des métaux pour les plantes, une diminution de l'activité biologique du sol, un transfert de métaux toxiques vers les eaux superficielles. Elle peut conduire, sur le long terme, à une quasi-stérilisation des sols en raison de la présence d'ions aluminium toxiques pour les organismes vivants. L'acidité des sols agricoles français est stable depuis 15 ans, indiquant une correction efficace du pH par les agriculteurs (chaux...). En revanche, l'acidification des sols forestiers pourrait s'aggraver avec l'intensification des prélèvements de bois.

Le saviez-vous ?

Près de **30%** des sols français sont naturellement acides

Acidification des sols : Modification résultant de l'apport d'acide ou de réactions produisant des acides (ou consommant des bases) et pouvant conduire à plus ou moins long terme à un abaissement du pH des sols.



Part des territoires artificialisés en France en 2006
 (source : UE-SOeS, Corine Land Cover, @IGN)

Artificialisation des sols

Le développement et l'extension des villes se caractérisent par une consommation de sol agricole et dans une moindre mesure de sol naturel. Ces sols perdent alors leurs qualités initiales. Ce sont les régions déjà très urbanisées (Alsace, Île-de-France et Nord-Pas-de-Calais) qui ont connu le mouvement d'artificialisation le plus important, ainsi que les Pays de la Loire, Rhône-Alpes, le littoral méditerranéen et l'Outre-Mer. Les principales raisons sont la construction toujours forte en habitat individuel (avec l'augmentation du nombre de ménages), les activités commerciales et logistiques notamment. Les conséquences de l'artificialisation sont nombreuses : imperméabilisation, fragmentation des milieux et impacts sur la biodiversité, mitage de l'espace agricole et viabilité de l'agriculture péri-urbaine, moindre régulation des flux d'eau et des températures extrêmes en été...

Le saviez-vous ?

- En France métropolitaine (Teruti-Lucas) :
- **4,9 Mha** sont artificialisés, l'équivalent de la surface de 3 régions : Alsace, Lorraine et Franche-Comté.
 - **60%** des sols artificialisés sont imperméabilisés.
 - **1,9 Mha** ont été artificialisés entre 1981 et 2008, l'équivalent de la surface de la Picardie.
 - L'artificialisation progresse toujours, mais à un rythme ralenti après un pic entre 2006 et 2008 : 61 000 ha/an ont été artificialisés entre 1992 et 2006 (l'équivalent d'un département tous les 10 ans), 86 000 ha/an entre 2006 et 2008 (un département tous les 7 ans), 49 000 ha/an entre 2010 et 2012 (un département tous les 12 ans).

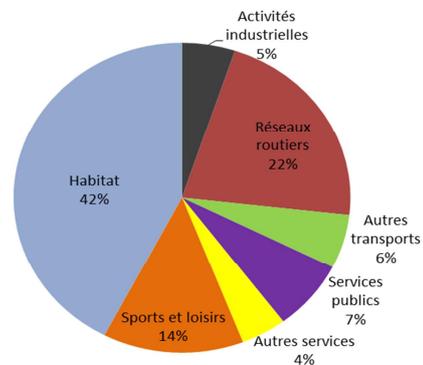


Artificialisation des sols (consommation d'espace) : Perte des qualités de « naturalité » des sols due aux activités de l'homme. Selon la nomenclature de l'occupation des sols Corine Land Cover, les espaces artificialisés recouvrent les zones urbanisées (tissu urbain continu ou discontinu), les zones industrielles et commerciales, les réseaux de transport, les mines, carrières, décharges et chantiers, ainsi que les espaces verts artificialisés (espaces verts urbains, équipements sportifs et de loisirs). Selon Teruti-Lucas, ils recouvrent les sols bâtis, les sols revêtus ou stabilisés (routes, voies ferrées, chemins permanents et leurs annexes, parkings, cours, places, aéroports, etc.), les autres sols artificialisés (mines, carrières, décharges, chantiers, terrains vagues ainsi que les espaces verts urbains et les équipements sportifs et de loisirs).

Imperméabilisation des sols : Recouvrement permanent d'un terrain et de son sol par un matériau artificiel imperméable (asphalte ou béton, par exemple), notamment lors de la construction de bâtiments et de routes.

Le saviez-vous ?

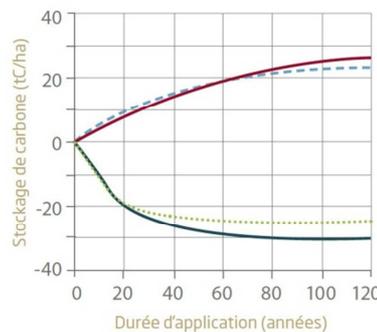
L'artificialisation annuelle moyenne en France métropolitaine entre 1990 et 2006 (selon Corine Land Cover), équivaut à la perte de production de 75 000 t/an de blé, soit les besoins annuels en calories de 290 000 personnes.



Répartition des sols artificialisés par usage en France métropolitaine en 2012 (source : Agreste)

Croissance mondiale et changements d'usage des sols

L'augmentation de la demande en matières premières agricoles, utilisées pour l'alimentation mais également pour l'industrie (ex : biocarburants), incite les agriculteurs à produire plus, et donc potentiellement à convertir des terres initialement non cultivées (ex : forêts, pâtures, milieux naturels). Ces changements d'usage se traduisent par une transformation profonde de ces milieux, diminuant considérablement leurs stocks de carbone (dans la végétation et les sols) mais également leur biodiversité et leur capacité de stockage de l'eau.



Pendant les vingt premières années suivant un changement d'affectation des sols, le déstockage est deux fois plus rapide que le stockage. Au bout de plusieurs décennies voire plus d'un siècle, un stockage peut compenser un déstockage.

source : d'après Arrouays et al. 2002

Évolution du taux de carbone selon le changement d'affectation des sols



©F. Marot/ADEME

Sites pollués : héritage du passé industriel de la France

Les sols sont exposés aux pollutions des activités industrielles (fonderies, tanneries, mines...) et de services (pressings, stations-services...). Les sols sont principalement souillés par des hydrocarbures, solvants et métaux et leur contamination met en péril la qualité de la ressource en eau (nappes phréatiques et eaux de surfaces), de la chaîne alimentaire et des écosystèmes. Ces pollutions peuvent par ailleurs hypothéquer durablement les sols pour certains usages : habitat, zones récréatives, agriculture et donc faire baisser leur valeur d'usage.

Pour en savoir plus :

<http://basias.brgm.fr/>

ADEME / Quelle Ville ?, 2014. Note de synthèse - Estimation du gisement foncier des friches urbaines potentiellement polluées. 8 p.

Le saviez-vous ?

300 000 à 400 000 sites sont recensés comme sources potentielles de pollution dans la base de données nationale BASIAS.

2,4 à 17,3 Mds €/an : coût de la contamination des sols (sites pollués) en Europe.

Pollution des sols : Introduction de substances ou d'agents par les activités humaines, qui du fait de leurs propriétés, de leur quantité ou de leur concentration ont des effets préjudiciables sur les fonctions des sols (ex : qui présentent un danger pour la santé de l'homme ou qui détériorent les écosystèmes).

Contamination des sols : Introduction de substances ou d'agents par les activités humaines.

Contamination diffuse des sols : modérée... mais à surveiller

La contamination diffuse des sols résulte d'apports extérieurs d'éléments ou de molécules ayant pour conséquence une élévation de leur teneur initiale dans le sol. Ces apports ont diverses origines telles que des dépôts (ex : circulation automobile, rejets atmosphériques) ou des intrants utilisés en agriculture (ex : déjections animales, engrais, produits phytosanitaires, composts). Les conséquences sont la perte de biodiversité des sols, la contamination des aliments, des eaux, voire de l'air, la toxicité pour les cultures et le animaux d'élevage nourris à l'herbe et la baisse de fertilité des sols. En France, les contaminations des sols sont le plus souvent modérées. Elles touchent principalement les vignes et les zones urbaines, péri-urbaines et industrielles. On note aussi l'omniprésence de certains pesticides organochlorés persistants. Les sols sont enfin un réservoir potentiel de pathogènes dont la connaissance reste à être approfondie.

Pour en savoir plus :

<http://www.gissol.fr/>

<http://www.ademe.fr/bilan-flux-contaminants-entrant-sols-agricoles-france-metropolitaine>

Le saviez-vous ?

2,6 Mds €/an : les pertes de production de céréales contaminées en Chine.

Source	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Traitements phytosanitaires	0 t/an 0%	0 t/an 0%	0 t/an 0%	1655 t/an 34%	0 t/an 0%	0 t/an 0%	0 t/an 0%	0 t/an 0%	0 t/an 0%	408 t/an 3%
Engrais minéraux	25 t/an 19%	29 t/an 54%	424 t/an 42%	99 t/an 2%	0,9 t/an 8%	16 t/an 12%	63 t/an 11%	10 t/an 1%	39 t/an 44%	559 t/an 4%
Déjections animales	78 t/an 58%	13 t/an 25%	369 t/an 37%	2578 t/an 53%	5,9 t/an 50%	90 t/an 68%	366 t/an 64%	306 t/an 44%	34 t/an 38%	11869 t/an 78%
Amendements calciques & magnésiens	5 t/an 3%	1 t/an 2%	55 t/an 5%	61 t/an 1%	0,4 t/an 3%	3 t/an 2%	9 t/an 2%	12 t/an 2%	1 t/an 1%	89 t/an 1%
Boues et composts	11 t/an 8%	3 t/an 5%	82 t/an 8%	239 t/an 5%	2,0 t/an 17%	6 t/an 5%	42 t/an 7%	140 t/an 20%	4 t/an 4%	619 t/an 4%
Retombées atmosphériques	16 t/an 12%	8 t/an 14%	71 t/an 7%	237 t/an 5%	2,5 t/an 21%	18 t/an 13%	88 t/an 16%	228 t/an 33%	11 t/an 13%	1646 t/an 11%
Total SAU France	135 t/an	54 t/an	1001 t/an	4869 t/an	11,7 t/an	133 t/an	568 t/an	696 t/an	89 t/an	15190 t/an

Estimation des quantités moyennes totales de métaux entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine (t/an) et part des différentes sources de contamination (%) - Source : ADEME, SOGREAH, 2007

Collectivité, aménageur, agriculteur, gestionnaire forestier ou d'un espace protégé, entreprise, gestionnaire d'un espace vert ou jardinier amateur, vous pouvez agir...

Le sol est au cœur d'enjeux cruciaux pour l'homme et est indispensable au développement durable de notre société. C'est pourtant une ressource finie et non renouvelable, qui se dégrade. Il doit donc être géré selon les principes de l'économie circulaire : sobriété (consommer moins de sol), efficacité (optimiser les pratiques) et recyclage (reconversion de friches, réutilisation de sols dégradés).

...et l'ADEME peut vous accompagner

L'ADEME intervient dans la préservation des sols et la réhabilitation des sites pollués. Elle coordonne et anime des programmes d'acquisitions de connaissances (recherche, surveillance...). Elle organise des journées techniques et colloques, des formations, édite des guides. Elle fournit des conseils et des outils d'aide à la décision à l'ensemble des acteurs et apporte son expertise à l'État dans la définition et la mise en œuvre des politiques publiques. Elle peut également financer des projets, comme par exemple la reconversion de friches.



L'ADEME développe les connaissances sur la pollution des sols et ses impacts

Des risques pour l'homme et les écosystèmes peuvent se poser lorsque le sol est contaminé, les polluants pouvant être assimilés par les animaux et les plantes (ex : plantes potagères et productions agricoles). Pour évaluer ce risque, l'ADEME a contribué au développement d'outils de caractérisation et de suivi des contaminants (ex : normalisation de méthodes chimiques et biologiques, proposition de tests d'écotoxicité et de bioindicateurs) mais également de référentiels pour fournir des données scientifiquement validées lorsqu'il n'est pas possible de faire des mesures directes sur les plantes potagères. De même, en milieu urbain la fréquente pollution des sols par des composés organiques volatils (COV) induit une nécessaire prise en compte des vapeurs toxiques qui s'en dégagent et qui peuvent traverser les dalles des habitations et ainsi contaminer l'air intérieur. Mieux comprendre et mesurer ces transferts pour pouvoir y remédier est un objectif que poursuit l'ADEME à travers plusieurs recherches.

Pour en savoir plus :

- [http://www.ademe.fr/mediatheque/expertise « sols pollués »](http://www.ademe.fr/mediatheque/expertise/sols_pollues)
- <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/index.php>
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/BAPPET-BAse-de-donnees-sur-les.html>
- <http://www.citychlor.eu/>
- <http://www.boutique.afnor.org/normes-produits-edition>

L'ADEME conseille sur le retour au sol des déchets et produits dérivés

Le retour au sol ou épandage des déchets est très encadré. La principale destination étant l'agriculture, la qualité doit être irréprochable. Il est important de connaître la nature des produits à épandre et leurs effets après épandage si l'on veut pérenniser la filière et optimiser l'utilisation. L'ADEME finance des programmes de recherche pour acquérir des nouvelles connaissances, notamment des essais agronomiques et des sites de longue durée sur les impacts du retour au sol pour différents déchets et produits dérivés (au sein du réseau de partenaires techniques et scientifiques « PRO »), ainsi que la mise au point de méthodes de caractérisation (tests d'écotoxicité, caractérisation de la matière organique, disponibilité de l'azote...). L'ADEME conseille également les producteurs, transformateurs et/ou utilisateurs des déchets (collectivités, entreprises, agriculteurs, ménages), notamment via des guides de bonnes pratiques sur les boues d'épuration, les digestats et les composts (techniques d'épandage, valeur agronomique, risques sanitaires, écotoxicité...).

Pour en savoir plus :

- <http://www6.inra.fr/qualiaagro/Nos-partenaires/Le-reseau-SOERE-PRO>
- <http://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-l'action/valorisation-organique-0>
- [http://www.ademe.fr/mediatheque/expertise « déchets »](http://www.ademe.fr/mediatheque/expertise/dechets)

Retour au sol des déchets : Valorisation agronomique des déchets ayant une valeur fertilisante ou amendante par épandage, généralement en agriculture ou en revégétalisation. Le retour au sol peut être direct (épandage du déchet en l'état) ou faire suite à un traitement ou une transformation du déchet (compostage, méthanisation, séchage, chaulage...).



©C.Rantien/ADEME



©I.Feix/ADEME

Agriculteurs et forestiers : agir pour préserver et améliorer les sols

Composante essentielle de la fertilité chimique du sol et de la biodiversité, la teneur en matière organique dépend de nombreux facteurs dont le climat : elle est donc très variable en fonction des régions. Cependant, plusieurs pratiques permettent de la préserver ou de la renforcer comme des apports de produits résiduels organiques (ex : déjections animales, composts), la mise en place de cultures intermédiaires, le choix des rotations ou encore la réduction du travail du sol. Parallèlement, le choix des intrants permet de réduire la contamination diffuse des sols et améliore ainsi globalement la qualité des sols. Le respect des conditions de portance des sols lors des différents passages d'engins (ex : récolte, traitements) limite leur tassement et donc leur perte de fertilité physique. Cette précaution est d'autant plus importante pour l'exploitation des forêts car les sols ne sont pas labourés. Les sols des forêts sont plus fragiles car ils sont très peu amendés ou fertilisés : toute modification des cycles des nutriments ou de leur structure peut conduire à des pertes de fertilité et des chutes de rendement.

Pour en savoir plus :

Carbone organique des sols – l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. Juillet 2014. ADEME. Réf. 7886. <http://www.ademe.fr/carbone-organique-sols>

Jardiniers privés et publics : agir ensemble

Les teneurs en contaminants des sols et des produits alimentaires (légumes, fruits, petits animaux d'élevage) de jardins urbains sont plus élevées que pour les sols agricoles ou ruraux. Compte-tenu des pratiques d'auto-consommation, des risques de transferts dans la chaîne alimentaire ne peuvent être écartés. Les collectivités, peuvent jouer un rôle dans le choix des parcelles mises à disposition pour l'installation de jardins collectifs en fonction de la qualité des sols et dans la diffusion de conseils auprès des jardiniers pour limiter l'apport supplémentaire de contaminants et leurs transferts. Elles peuvent aussi œuvrer au sein de leurs services techniques et avec les propriétaires des jardins privés pour une meilleure intégration des jardins et des espaces verts dans la trame verte et bleue, pour limiter l'imperméabilisation des sols et plus généralement pour préserver ou améliorer la qualité des sols grâce à une gestion adaptée.

Pour en savoir plus :

Jardins potagers : terres inconnues ? C. Schwartz et al. Avril 2013. ADEME-EDP Science. Réf.7481.

<http://www.ademe.fr/jardins-potagers-terres-inconnues>

Le saviez-vous ?

12 millions de ménages français entretiennent 13,5 millions de jardins (0,171 Mha jardins familiaux et 1 Mha jardins privés).

Collectivités et aménageurs : agir pour préserver et gérer la ressource sol

Le développement urbain durable doit concilier plusieurs enjeux majeurs : offre accrue de logements (500 000 logements par an), préservation des sols naturels et agricoles (zéro artificialisation), adaptation aux changements climatiques (notamment retour de la nature en ville). Si la récente loi ALUR donne un cadre réglementaire, différentes initiatives locales, démarches et outils sont à la disposition des collectivités pour engager de nouveaux modes d'organiser la ville, réinvestir et densifier les zones déjà bâties (friches, zones pavillonnaires...), concevoir des formes urbaines et architecturales économes en espace, prévoir des modes de gestion différenciée des espaces ouverts par une approche intégrée du sol dans les enjeux urbains.

L'AEU2 vous aide à élaborer et mettre en œuvre vos projets

L'AEU2 qui prend la forme d'une assistance à maîtrise d'ouvrage des collectivités propose une approche transversale et intégrée des critères de durabilité aux différentes échelles de projet : du grand territoire (SCoT, PLUI), du projet urbain (PLU) et des opérations d'aménagement. L'AEU2 est un dispositif complet : guide méthodologique, cahiers techniques, formations... La préservation des milieux et des ressources, des écosystèmes, et donc la préservation des sols et l'optimisation de leur usage, est un objectif général de la démarche AEU2, qui vise la limitation de leur consommation, le renouvellement urbain...

La question « des sols » est ainsi abordé à diverses étapes de la démarche et notamment :

- En phase de diagnostic et de définition des ambitions du projet, le volet « sols » du guide méthodologique précise ces orientations : prise en compte des fonctions et de la qualité des sols pour déterminer leur usage, pollution et reconversion, et propose des exemples, notamment la reconversion des sites pollués, la préservation des sols agricoles grâce à la cartographie de leur aptitude culturale, l'optimisation de la répartition des éléments du plan



©X.Benony/ADEME



©X.Benony/ADEME

masse de ZAC en fonction de la qualité des sols disponibles.

- Le cahier technique « Écosystèmes dans les territoires » complète cette approche stratégique avec des éléments de méthode et des fiches pratiques pour 4 domaines d'action, dont les sols. Il s'agit de réaliser des études de sols en fonction des enjeux du territoire ou du site ; caractériser les sols et en développer leur connaissance ; développer la cartographie des sols ; faire appel au génie pédologique pour requalifier les sols urbains.

Pour en savoir plus :

- Guide Réussir la planification et l'aménagement durables, Éd. Le Moniteur, juin 2013, 272 p.

<http://www.ademe.fr/reussir-planification-lamenagement-durables-guide-methodologique-aeu2>

- Cahier technique Écosystèmes dans les territoires (à paraître, réf. ADEME 7592)

Collectivités et aménageurs : reconverter les friches urbaines

Outre la réduction des impacts sanitaires et environnementaux que les friches urbaines peuvent générer si elles sont polluées, leur reconversion permet de réduire la pression sur les sols agricoles en limitant l'étalement urbain. Ces sites sont devenus de réelles opportunités foncières pour réaliser des logements et services. Il reste cependant des friches urbaines sans projet d'aménagement planifié, en particulier lorsqu'il y a pollution : on peut alors les utiliser, au moins de manière transitoire, pour produire des cultures non alimentaires, de l'énergie durable (centrales photovoltaïques), utiliser les phytotechnologies comme modalités de gestion de la dépollution (les plantes servent à limiter les transferts de polluants dans l'environnement) ou bien une agriculture hors sol.

L'ADEME vous aide à reconverter les friches urbaines

Dans le cadre des aides aux études et travaux de dépollution, l'ADEME soutient les projets de reconversion de friches urbaines

polluées et aide les acteurs à répondre aux questions suivantes :

- Comment maîtriser la conduite de projet sur un foncier pollué ?
- Quelles solutions techniques mettre en œuvre ?
- Comment garantir les objectifs de dépollution ?

Pour en savoir plus :

-Aménagement sur friches et sites pollués : guide de l'aménageur (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Guide-de-l-amenageur.html>)

-Friches urbaines et développement durable, 9 fiches pratiques à télécharger sur le site de l'ADEME (à venir)

-La reconversion des sites et friches urbaines polluées, connaître pour agir. Mars 2014. ADEME. Réf. 7794.

Le saviez-vous ?

Depuis 2009, l'ADEME a contribué à reconverter plus de **500 ha** de friches polluées, pour un coût moyen de dépollution de l'ordre de **400 000 €/ha**. Sur la période 2009-2014, l'ADEME a consacré **55M€** de son budget aux travaux de dépollution dans le cadre de reconversion de friches urbaines pour **134 projets** soutenus.

Exemple à suivre :

Un projet soutenu à Conflans-Sainte-Honorine (78) : le site OTELO a accueilli entre 1920 et 1988 une activité de production de câbles téléphoniques et bobines. Les études ont mis en évidence une pollution des sols aux hydrocarbures, mercure, trichloréthylène et PCB. La dépollution retenue consiste à traiter les terres sur site : plateforme de tri, puis lavage des terres, traitement thermique ou biologique, malaxage. En fonction des analyses réalisées après traitement, les terres rendues compatibles avec les usages projetés sont réutilisées sur site et un sol aux qualités pédologiques et agronomiques suffisantes sera reconstitué au droit du futur parc urbain. La solution de traitement retenue accroît le niveau de restauration des milieux, tout en évitant au maximum l'envoi des terres en installation de stockage de déchets. Le site va accueillir 300 logements et une résidence pour personnes âgées.

Friche : Espace laissé à l'abandon, temporairement ou définitivement, à la suite de l'arrêt d'une activité agricole, portuaire, industrielle, de service, de transformation, de défense militaire, de stockage, de transport.



La Combe du Saut en 1999 (en haut) et en 2008 après réhabilitation (en bas)

Exemple à suivre :
 Dans le cadre de la reconversion des friches urbaines, l'ADEME soutient la réalisation de l'inventaire historique urbain de la ville de Toulouse, permettant ainsi de tracer les sites potentiellement contaminés et d'anticiper les aménagements adaptés aux sites pollués.

Réutiliser des terres excavées

L'application TERRASS (Terres Excavées Réutilisées de façon Raisonnée dans des Aménagements en Sous Structures) permet aux opérateurs de trouver des débouchés pour leurs terres excavées.

Pour en savoir plus :
<http://terrass.brgm.fr/>

L'ADEME intervient pour la mise en sécurité des sites pollués à responsable défaillant

L'ADEME est le maître d'ouvrage pour le compte de l'État, de la mise en sécurité sanitaire et environnementale des sites pollués dont le responsable reste non identifié ou insolvable. En plus de cet aspect opérationnel, l'ADEME a un rôle d'animateur de la recherche sur les sols pollués. C'est dans ce cadre que des outils ont été développés : ils permettent par exemple d'organiser une implication des populations dans l'évaluation et la réhabilitation des sites pollués, d'aider au choix des techniques de dépollution, de guider la mise en place des phytotechnologies sur des sols pollués, etc.

Pour en savoir plus :
 - <http://www.ademe.fr/expertises/sols-pollues>
 - <http://www.comrisk.fr/>
 - <http://www.selecdepoll.fr/>

Le saviez-vous ?

25 M€ en 2013 ont été dépensés par l'ADEME pour financer les interventions de maîtrise d'ouvrage pour la mise en sécurité des sites pollués à responsable défaillant.

Plus de **200** sites pollués ont été pris en charge par l'ADEME en 2014.

Recherches à suivre :
 La recherche prépare les solutions de demain : 2 projets sur la réutilisation de terres excavées et la reconstruction de sols, sont financés par l'ADEME. Le premier, Valtex qui bénéficie d'une aide au titre des Investissements d'Avenir de l'Etat, a pour objectif d'évaluer l'impact économique et environnemental d'une réutilisation de terres excavées dépolluées par rapport à un scénario « envoi en installation de stockage de déchets ». Le 2^{ème}, SITERRE, a pour objet la mise au point d'un procédé innovant de construction de sols à partir de déchets, en substitut à la terre végétale en milieu urbain.

L'ADEME EN BREF

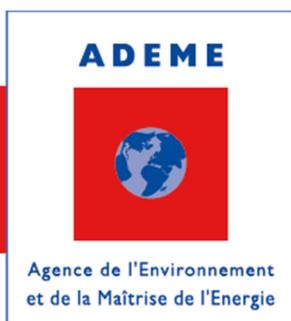
L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'Agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



2015

Année internationale des sols



ADEME
20 avenue du Grésillé
BP 90406 – 49004 ANGERS Cedex 01