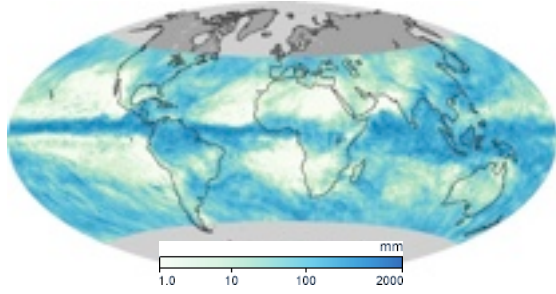


Le sol et l'eau: deux ressources précieuses à la répartition inégale

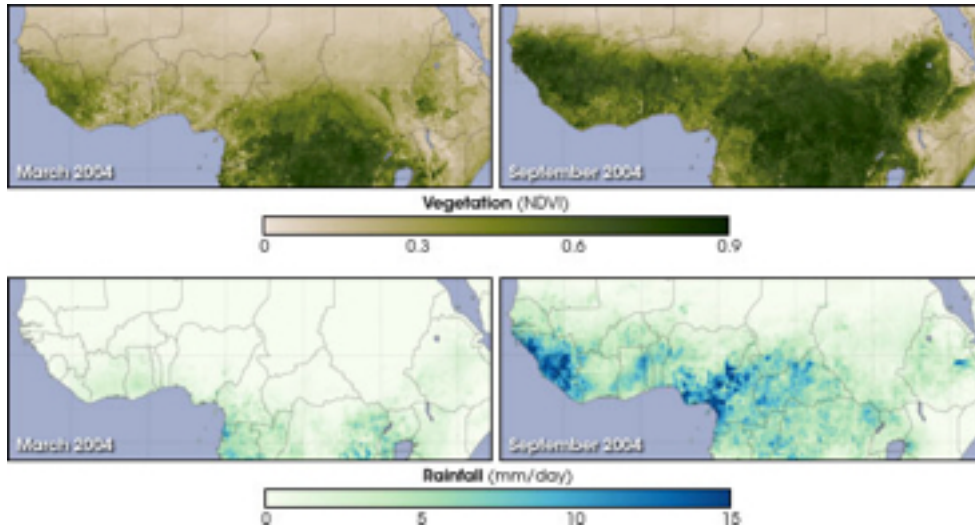
L'agriculture utilise la photosynthèse à des fins variées.

Depuis 10000 ans, les humains ont entrepris de cultiver des végétaux, favorisant leurs semences et leur croissance, afin de satisfaire, en premier lieu, leurs besoins alimentaires. En faisant cela, les humains ont utilisé (1) à leur profit la fabrication de biomasse réalisée par la photosynthèse (2).



très inégale est évidente! Vue NASA/earth_observatory.

L'eau douce ne représente que 1% seulement de l'eau de la Terre (3). Bien que ce soit, à cause du cycle de l'eau, une ressource renouvelée, elle n'est pas disponible en quantité illimitée, ni à la demande.



Dans les régions semi-arides qui s'étendent entre les forêts du Congo et le désert du Sahara, la croissance et le développement des végétaux sont directement liés à la disponibilité de l'eau sous forme de pluie (une animation entre 1998 et 2005 est [disponible ici](#)). Entre mars et septembre 2004, les mesures par satellite montrent bien comment le développement de la végétation (en vert, NDVI = proportion de lumière renvoyée par les végétaux) dépend des chutes de pluie (en bleu, en mm/jours). Document NASA-[Earth_observatory/USGS/USAID](#).

Un sol cultivable (suffisamment épais, contenant les sels minéraux nécessaires) est également une denrée rare: les roches nues, ou les sols gelés ne sont pas, par exemple, utilisables pour l'agriculture. Il en est de même pour les forêts: En Europe, principalement à partir du X^{ème} siècle, l'extension de l'agriculture s'est accompagnée d'une destruction des forêts remplacées par des champs afin de nourrir la population.

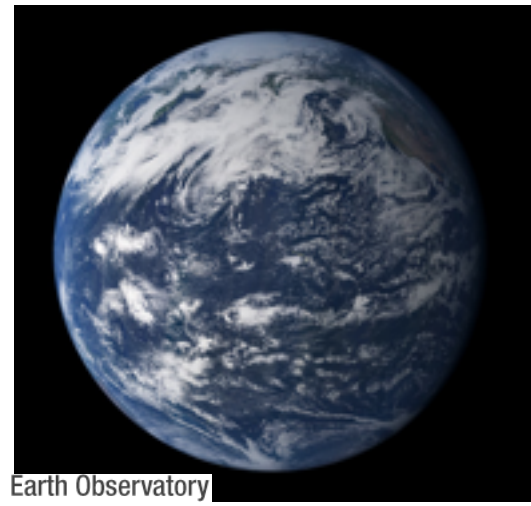
En monopolisant de larges surfaces pour des végétaux bien précis, les humains favorisent ces végétaux, guident leur évolution, et l'agriculture concurrence ainsi la biodiversité végétale «naturelle» (4) des milieux.

1 - sans le savoir pendant 100 siècles...

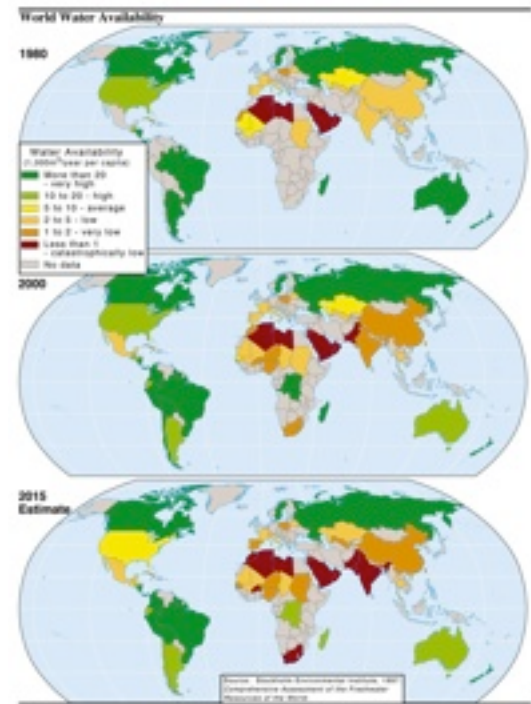
2 - ce qui a abouti à un accroissement de la biomasse... humaine, les populations des premiers agriculteurs pouvant élever plus d'enfants que les populations nomades de chasseurs-cueilleurs. Ainsi, la population de la France est passée d'environ 20000 personnes au paléolithique à 1 million au néolithique (revoyez donc vos cours d'histoire si ces mots ne signifient rien pour vous...

3 - En fait l'eau des océans représente 97% de l'eau de la Terre, et 2% restant sont immobilisés dans les glaces des pôles...

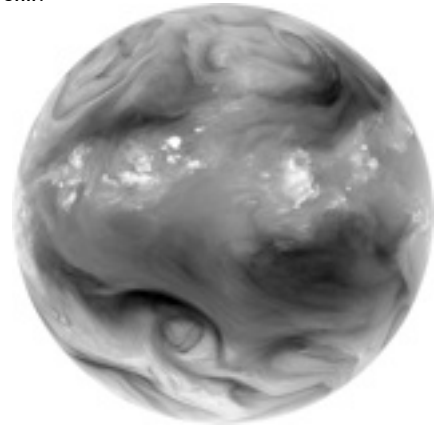
4 - Au point de la remplacer totalement: on peut se demander ce que signifie exactement le mot «naturel» sur des territoires comme la France où toute la végétation est d'origine humaine (oui, même les forêts...). On peut comprendre le mot «naturel» comme signifiant «sans intervention humaine», mais l'homme ne fait-il pas partie de la nature ? Vaste réflexion à approfondir... en terminale, lorsque vous étudierez la philosophie !



En observant l'océan Pacifique, notre planète semble entièrement recouverte d'eau... Mais cette impression est trompeuse, car l'eau douce y est relativement rare. Photo NASA.



Disponibilité de l'eau au niveau mondial (document CIA). Entre 1980 et 2000, l'eau douce s'est raréfiée. Cette tendance devrait se poursuivre à l'avenir.



Circulation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre (région comprenant l'Afrique et l'atlantique). Les régions les plus claires sont les plus riches en vapeur. Photo NASA/meteosat 9. Un magnifique film montrant cette circulation de vapeur est [visible ici](#).

La biomasse végétale produite grâce à l'agriculture sert principalement à **l'alimentation des humains**, que ce soit directement ou par le biais de leurs animaux d'élevage. Elle peut aussi avoir d'autres usages, comme, par exemple, la fabrication de textiles (culture du coton, du lin), de bois (meubles, construction) ou de papier. Depuis les débuts de l'agriculture, les humains ont également, à partir des végétaux, produit des alcools variés ainsi que des huiles diverses. Récemment, ces deux dernières productions ont été étudiées afin de constituer une source de combustible, de «carburant végétal»: les **agrocarburants** (1)



June 22, 1992



January 14, 2001

Ces agrocarburants ont tout d'abord été obtenus à partir de végétaux également utilisés dans l'alimentation humaine (blé, maïs, palmier à huile, tournesol, colza), faisant craindre une concurrence entre les productions alimentaires et celles dévolues à la fabrication de carburant, qui devraient se partager l'eau et les sols.

(Ci contre: déforestation à Sumatra, Indonésie. Entre 1992 et 2001, de larges régions de forêt tropicale (en vert profond) ont été défrichées (régions rouge et roses), souvent pour y installer des cultures de palmier à huile destiné soit à l'alimentation, soit à la fabrication de biocarburant. La plupart de ces défrichements sont illégaux, et privent de nombreuses espèces des territoires et du milieu qui leur est nécessaire. Parmi les animaux les plus célèbres menacés par ces pratiques, on compte les Orangs-outans ainsi que le Tigre de Sumatra. Images en fausses couleurs - Photos NASA/LANDSAT/Tropical Rain Forest Information Center)

Pour éviter cet inconvénient, qui menace de rendre plus chères les denrées

alimentaires, et de mener à une déforestation dans les zones tropicales pour l'installation de nouvelles cultures (2), des agrocarburants de seconde génération, utilisant des «déchets» (bois, paille) qui ne servent pas à l'alimentation humaine, sont étudiés et produits. Des recherches sont également menées sur des «algocarburants» produits à partir d'algues microscopiques (qui offrent l'avantage d'un meilleur rendement que les autres végétaux tout en n'utilisant ni eau douce (ce sont des algues marines au doux nom de *Dunaliella* ou *Nannochloropsis*) ni sol (puisqu'elles vivent en suspension dans l'eau de mer).

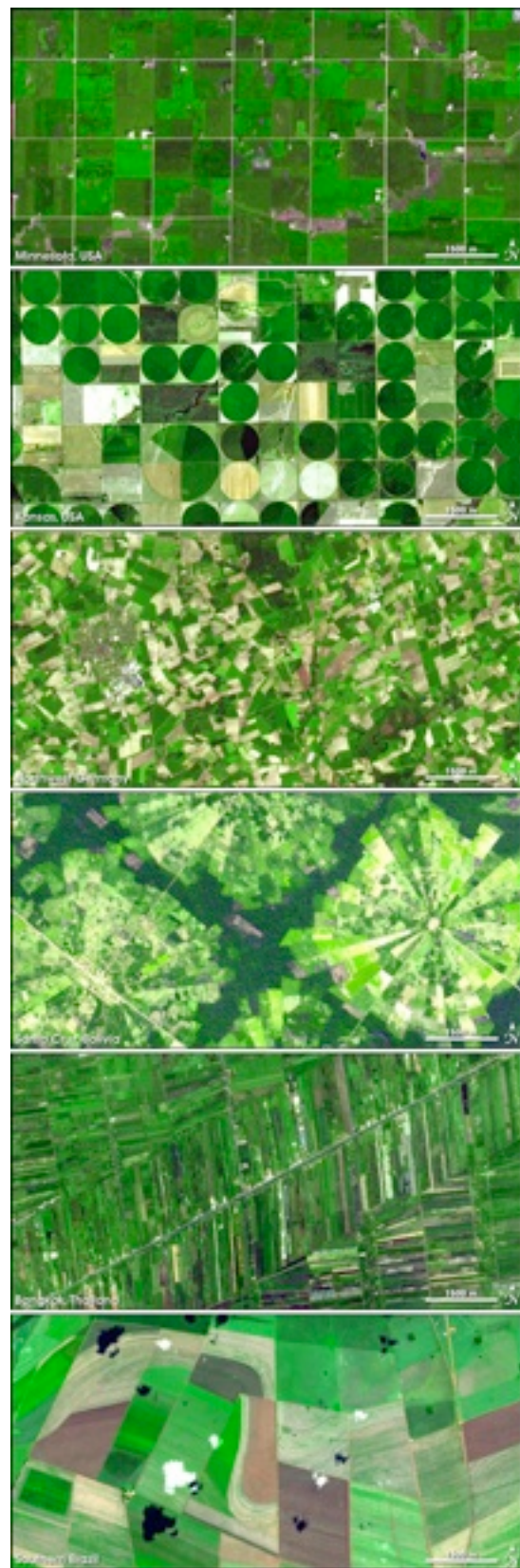
1 - Qui n'ont rien de nouveau, en fait: il est déjà arrivé, au Brésil, pendant la Seconde Guerre mondiale, que le charbon destiné aux locomotives soit remplacé par du... café! Aux débuts de l'industrie automobile, le pétrole était peu utilisé: Rudolph Diesel faisait fonctionner son moteur avec de l'huile d'arachide, et la Ford T, vers 1905, utilisait de l'alcool comme carburant...

2 - En particulier à cause de la culture du palmier à huile, qui entraîne la destruction de forêts tropicales (il ne pousse que dans cet environnement) pour créer des plantations produisant une huile alimentaire de qualité médiocre, mais très peu chère (et que l'on retrouve, hélas, dans de nombreux produits alimentaires industriels, bien que certains commencent à s'en détourner).

Résumé de l'épisode.

L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement dans l'atmosphère du CO₂ prélevé et piégé lentement dans un lointain passé. Utiliser cette ressource revient à utiliser une énergie solaire provenant du passé. L'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère, causée en partie par les humains, interfère avec le cycle naturel du carbone. L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète. La photosynthèse en utilise moins de 1%, le reste chauffe le sol (qui chauffe l'air, provoquant les vents) et l'eau (ce qui est à l'origine des courants) qui s'évapore, amorçant le cycle de l'eau.

Utiliser l'énergie, rapidement renouvelable, des vents, des courants, des barrages hydroélectriques, revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse grâce à l'agriculture, qui nécessite des sols cultivables et de l'eau, deux ressources inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. L'agriculture concurrence la biodiversité naturelle, et produit une biomasse végétale source de nombreux produits, dont de la nourriture mais aussi des agrocarburants. Ces deux productions peuvent être concurrentes.



L'utilisation agricole des sols peut être extrêmement variée. Ces 6 vues satellites (à la même échelle) permettent de comparer les champs:

- rectangulaires du Minnesota, tracés au début du 19^{ème} siècle et adaptés à l'utilisation de machines.
- du Kansas, irrigués par de grands dispositifs rotatifs qui leur donne un aspect caractéristique
- du nord-ouest de l'Allemagne, de petite taille, et dont la disposition date du moyen âge
- inclus dans la forêt tropicale et rayonnant autour des villages en Bolivie, vers Santa Cruz
- rectangulaires et très fins des rizières de Bangkok, découpés d'un fin réseau de canaux d'irrigation.
- géants et plats de la région de Cerrado, au sud du Brésil.

Images NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, U.S./Japan ASTER Science Team

Les sols utilisables sont rares, donc précieux

La formation d'un sol est un lent processus dont vous avez étudié les grandes lignes en sixième. Comme il est possible que vous ayez oublié quelques détails depuis (je me trompe?), revoyons un peu comment, lentement, un sol peut recouvrir une étendue de roche nue.

Vous devriez vous rappeler que tout commence par **une érosion superficielle de la roche sous l'effet de l'eau**, qui permet à des végétaux de s'installer, et, lorsqu'ils meurent, d'enrichir lentement leur milieu en matière organique issue de leur décomposition, constituant une couche qui, en retenant l'eau, accélère à son tour l'altération des roches sous-jacente, facilitée par le développement des racines, et la libération d'éléments minéraux. Voyons cela en détail.

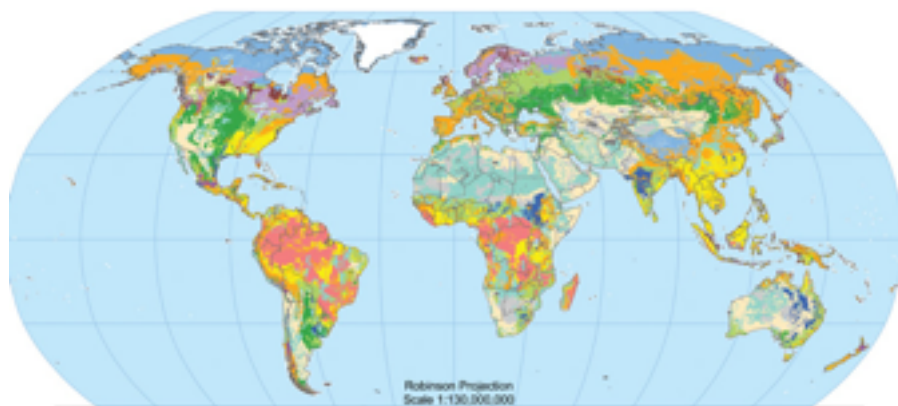
Au commencement, la roche, appelée roche mère, subit une véritable destruction par l'eau, ou hydrolyse, dont la vitesse est variable selon les précipitations, la nature de la roche et le climat, la température jouant à cet égard un rôle majeur (1).

Une première couche, ou **horizon**, se met ainsi en place au dessus de la roche nue. Elle est constituée par le produit de la dégradation des roches par l'eau: dans les régions calcaires, ce pourra être de l'argile mêlée à des morceaux de roche. Ce premier horizon est dénommé C par les scientifiques spécialistes des sols (2). Il va servir de supports à l'enracinement et à la croissance de végétaux qui, en se décomposant, vont aboutir à la formation d'un nouvel horizon, l'horizon de surface A, composé d'un mélange d'argile, d'humus et d'autres minéraux provenant de la roche-mère et de la dégradation de la matière organique. Au dessus de cet horizon se trouve la couche la plus riche en matière organique: l'**humus**.

Lentement, des végétaux nécessitant des couches de sol de plus en plus profondes s'installent, la productivité du sol augmente, de la matière organique s'y accumule, et est dégradée par de nombreux êtres vivants (dont les plus célèbres sont les **vers de terre**, qui assurent de plus une circulation, dans le sol, des éléments profonds vers la surface), dont les plus actifs sont **les champignons et les bactéries**. Ces êtres vivants du sol sont extrêmement nombreux: les 30 premiers cm de profondeur d'un seul mètre carré de prairie française contiennent environ 250 millions d'organismes appartenant à plusieurs milliers d'espèces différentes (3). Si l'on s'intéresse aux bactéries, on en trouvera aisément plus de 100 millions dans un seul gramme de sol...

La dégradation de la matière organique assurée par ces différents décomposeurs enrichit également le sol en minéraux. Le sol se forme ainsi à la fois par **décomposition biologique de matière organique et par altération profonde de la roche mère**. À ce niveau, la destruction des éléments minéraux de l'horizon C pourra amener à la formation d'une couche intermédiaire composée d'argile et d'autres particules, l'horizon B, aussi appelé horizon minéral.

Comme les roches mères, les conditions climatiques, physiques et chimiques ainsi que les différentes espèces de décomposeurs sont très variables sur la planète, il existe de très nombreux types de sols différents (ci-dessus : répartition des divers types de sol au niveau mondial (document USDA). Seule une fraction de ces sols est utilisable pour l'agriculture.)

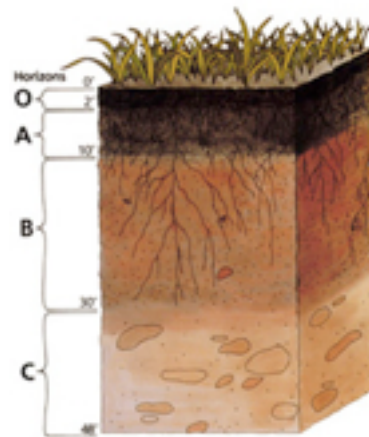


Ainsi, comme les conditions de formation du sol, que ce soit au niveau de la roche mère, du climat permettant l'action de l'eau, ou des conditions de l'installation des êtres vivants, ne sont pas réunies partout sur la Terre, **les sols utilisables par les humains sont inégalement répartis** à la surface de la planète.

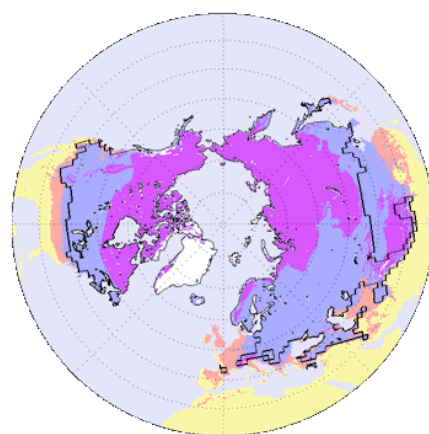
1 - Une température élevée accélérant les dégradations, jusqu'à un maximum au-delà duquel il n'y a plus de décomposeurs...

2 - Et que l'on appelle des pédologues. Tout mauvais jeu de mots serait, à ce sujet, indépendant de ma volonté...

3 - et représentant une biomasse de 1,5 t par hectare (rappelons qu'un hectare est la surface d'un carré de 100 m de côté).



Situation des différents horizons dans le sol. Les racines des végétaux ouvrent la voie à une altération profonde de la roche-mère. Le passage d'un horizon à l'autre est, dans la réalité, bien plus progressif que sur le schéma, comme le montre la photographie ci-dessous. Documents USDA.



Sur la carte en vue polaire ci-dessus, les sols colorés en violet sont gelés toute l'année et sont donc impropres à l'agriculture, bien qu'ils représentent une importante surface.

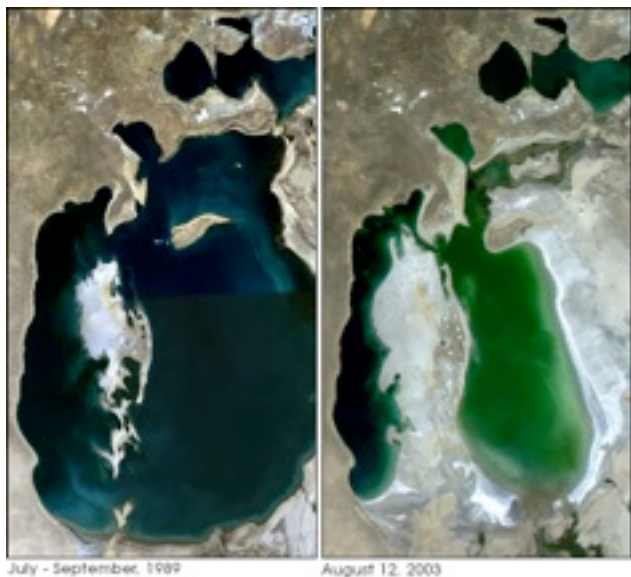
Toute la surface des sols arables (1) est loin d'être utilisée à des fins agricoles: des terres au sol riche sont aussi utilisées pour construire des villes et des villages, des routes, divers équipements qui prennent la place des cultures ou des végétaux présents, engendrant ainsi une véritable «consommation» des sols par les humains.

Cette consommation des sols, particulièrement développée en Asie, pose de nombreux problèmes, mais c'est aussi le cas de nombreuses pratiques qui ne consomment pas les sols, mais les détruisent: alors que la formation d'un sol est extrêmement lente, et peut nécessiter une dizaine de siècles (2), **sa dégradation peut être rapide**:



- L'érosion peut emporter les sols, laissant la roche mère nue et impropre à toute culture. Ce phénomène est particulièrement développé dans les zones tropicales où les précipitations sont très abondantes: un sol mis à nu par une déforestation trop intense (Photo ci-contre : les zones du sud de Madagascar déforestées depuis 1990 apparaissent en rouge sur cette vue en fausses couleurs. Cliché NASA.) ne peut donc pas être cultivé longtemps, car il n'est plus protégé et

stabilisé par les végétaux de la forêt, et devient alors **une ressource consommable, mais qui n'est pas durable**. De tels sols doivent donc être gérés différemment des sols plus stables des zones tempérées, et constituent une ressource dont il faut assurer la conservation ainsi qu'une utilisation raisonnée.



- Le détournement de cours d'eau afin d'irriguer des champs, la surexploitation des forêts, la multiplication des animaux d'élevages gênant la repousse de végétaux peuvent conduire à une désertification qui stérilise le sol et le rend improductif.

(Photo ci-contre : la mer d'Aral, au Kazakhstan, a vu dans les années 60 les principaux fleuves qui l'alimentaient être détournés pour irriguer des champs de coton en URSS. Le niveau de cette mer s'est alors mis à baisser, ce qui est ici clairement visible entre 1989 et 2003, modifiant

radicalement l'environnement de ses anciennes côtes. Depuis 2003, le gouvernement kazakh ainsi que des organisations internationales tentent de stabiliser et de nettoyer cette «mer» où divers polluants se sont concentrés au fur et à mesure que l'eau s'évaporait. Jusqu'à présent, ils n'y sont pas parvenus. Photo NASA.)

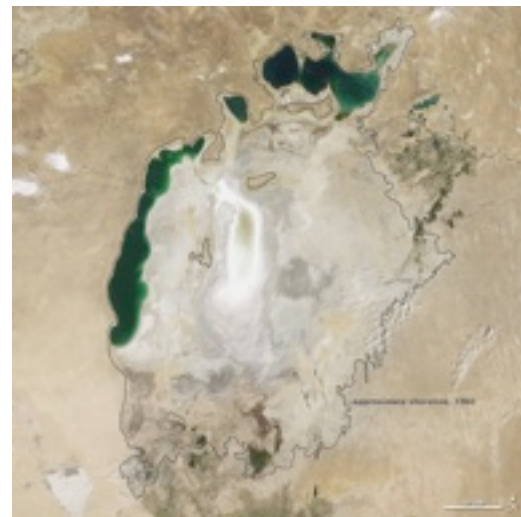
La gestion des sols, leur protection, leur extension et leur utilisation raisonnable constituent donc un enjeu important pour assurer le développement de l'humanité. Dans ce contexte comme dans d'autres, science et technique doivent permettre de rechercher et de construire des solutions visant à rendre compatible la civilisation humaine et l'environnement.

1 - Un sol arable est un sol que l'on peut cultiver.

2 - La forteresse de Kamenetz, en Ukraine, construite en dalles de calcaire, a été abandonnée en 1700. En 1930, le scientifique Akimtzev a mesuré qu'une épaisseur de sol de 12 cm seulement s'était formée pendant ces deux siècles. Ce sol possédait les mêmes propriétés que celui des prés alentour (où il était toutefois moins profond).



Estuaire de la rivière Betsiboka sur la côte nord-ouest de Madagascar: a la suite du cyclone tropical Gafilo, les fortes pluies ont emporté le sol rouge de l'île; déstabilisé par la déforestation, qui se retrouve rejeté dans l'océan (photo du haut). Les astronautes de la station spatiale ont dit qu'ils avaient l'impression que «Madagascar saignait dans l'océan». La photo du bas montre une situation «normale», les petites vues carrées représentent la ligne de côte. Le gouvernement de l'île essaye d'éviter cette érosion des sols en essayant de replanter des végétaux et en limitant la déforestation. [Photos NASA/ISS.](#)



Ce qui reste de la mer d'Aral, en août 2009. L'ancienne côte est indiquée en noir - Photo NASA.

Résumé de l'épisode.

Un sol se forme à la suite d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la température et la présence d'eau. Le sol, lentement formé, est inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé par l'érosion et souvent détourné de son utilisation biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.