

© Nastasia Camberoque

LIVRET
DU **SOL**
NATURE DE PROVENCE



DÉPARTEMENT
**BOUCHES
DU RHÔNE**



SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
QU'EST-CE QU'UN SOL	6
GÉOLOGIE ET PÉDOGENÈSE DANS LES BOUCHES-DU-RHÔNE	12
LA VIE DU SOL	26
LES SERVICES RENDUS PAR LE SOL	46
UN SOL MENACÉ	52
PROTÉGER LE SOL	62
GLOSSAIRE	67
POUR EN SAVOIR PLUS	68



© Jean-Claude Lacassin - SCP

QU'EST-CE QU'UN SOL ?



© Shutterstock

GÉOLOGIE ET PÉDOGENÈSE
DANS LES BOUCHES-DU-RHÔNE



© Jean-Claude Templier

LA VIE DU SOL



© Shutterstock

LES SERVICES RENDUS PAR LE SOL



© Shutterstock

UN SOL MENACÉ



© Shutterstock

PROTÉGER LE SOL

AVANT-PROPOS

QU'EST-CE QUE LE SOL POUR VOUS ?

Pour les historiens, c'est l'origine de nos civilisations, le témoin de notre évolution, de nos guerres et de nos victoires, de nos vies. Il est parfois le symbole de la propriété, du patrimoine, de la richesse et finalement de pouvoir.

Pour les croyants, c'est un lieu de repos éternel, un trait d'union entre les personnes et peut-être la métaphore de la religion.

Pour les personnes sensibles aux enjeux écologiques, c'est l'habitat d'une biodiversité insoupçonnée par d'autres et pourtant essentielle.

Pour les paysans, c'est le support des cultures et des ressources alimentaires.

Pour de nombreux jardiniers du dimanche, c'est le milieu qu'il faut biner et arroser régulièrement, non pas tant dans le but d'une bonne récolte potagère que d'un bon moment de détente.

Pour les voyageurs, c'est une source infinie de couleurs et d'évasion.

Et pour de nombreuses personnes, le sol colle sous les pieds et ne présente que peu d'intérêt...

La beauté du sol est cachée et pourtant cet écosystème est indispensable à la vie terrestre. Changez de regard sur ce qui se trouve sous vos pieds, à travers les pages de ce livret du Sol des Bouches-du-Rhône.



© Shutterstock

QU'EST-CE QU'UN SOL ?



PÉDOLOGUE EN PLEIN TRAVAIL D'ANALYSE DANS UNE FOSSE

© Jean-Claude Lacassin - SCP

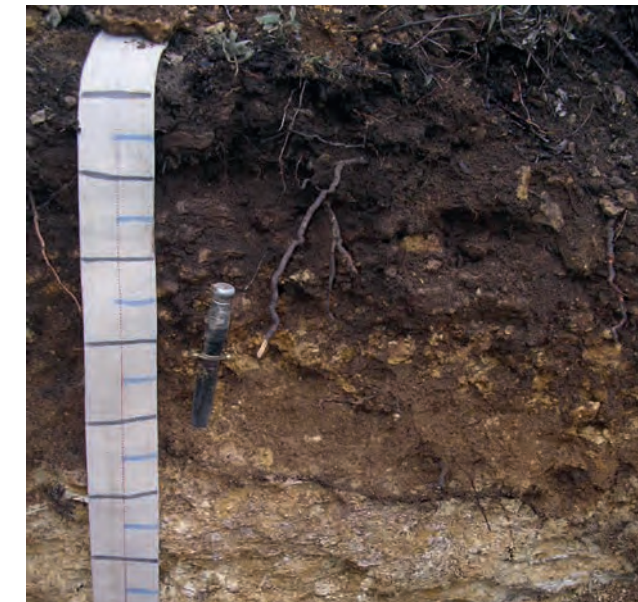
LE MOT « SOL » A PLUSIEURS SIGNIFICATIONS

Ce livret ne s'intéresse pas au sol des partitions musicales, mais plutôt à celui qui se trouve sous nos pieds, en dehors de nos habitations.

Il n'est pas aisé à définir : agronomes, archéologues, géotechniciens... ont chacun une vision différente du sol. La pédologie (la science qui étudie le sol) le définit en tant qu'objet naturel et écosystème à part entière.

Ainsi, pour l'Association Française d'Étude du Sol (AFES), il s'agit d'un « *volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogenèse (mécanisme de formation du sol)* ».

Si les termes « terre » et « sol » sont parfois échangés dans le langage courant, le sol correspond en fait à l'organisation du matériau « terre » en horizons qui sont des couches horizontales superposées aux limites plus ou moins contrastées et rectilignes (voir la photographie ci-dessous).



PROFIL PÉDOLOGIQUE :
PAR LA COULEUR, ON DISTINGUE
AU MOINS TROIS HORIZONS

© Jean-Claude Lacassin - SCP

DE QUOI EST-IL COMPOSÉ ?

On le devine déjà, le sol est tout sauf un milieu monotone !

Il est composé à la fois d'une fraction gazeuse, d'une fraction liquide et d'une fraction solide.

Fraction gazeuse ? Des échanges gazeux s'effectuent entre l'atmosphère et le sol : l'air y circule plus ou moins facilement via la porosité* du sol.










Fraction liquide ? L'eau s'infiltré dans le sol via le réseau de porosités ; c'est la « solution du sol ». Elle pourra ainsi notamment être absorbée par les racines des plantes qui se nourrissent des minéraux dissous dans la solution du sol.

Fraction solide ? La fraction solide du sol se divise entre la matière minérale et la matière organique (morte et vivante) qui interagissent dans le milieu et seront développées dans la suite de ce livret.

DÉCRIS-MOI... UN PROFIL DE SOL ?

Le pédologue décrit un profil de sol (c'est-à-dire une coupe entre la surface du sol et une certaine profondeur) afin d'en comprendre le fonctionnement, les potentialités... en vue par exemple d'identifier quelles espèces seraient les mieux adaptées pour une mise en culture d'un terrain agricole, ou encore quelles essences forestières seraient les mieux adaptées à la station étudiée.

QUELQUES OUTILS PERMETTENT AU PÉDOLOGUE D'ÉTABLIR SON DIAGNOSTIC :

	La tarière : outil qui permet de percer la terre afin d'en prélever une « carotte ».
	La pelle : qui permet de creuser des fosses afin d'apprécier un profil de sol.
	La pioche : qui permet de venir à bout de blocs de pierre récalcitrants.
	Un couteau de poche : utile notamment lors de l'analyse de l'humus, afin d'observer les caractéristiques et les détails dans les horizons et faire des prélèvements.
	Un flacon d'acide chlorhydrique : qui permet d'identifier la présence de calcaire dans le sol, par présence/absence d'effervescence sur l'échantillon testé.
	Une loupe : afin d'observer les éléments les plus petits.
	Un carnet et un stylo : afin de noter les observations de terrain et réaliser des croquis des profils analysés.
	Quelques sacs ou sachets : utiles pour prélever des échantillons de terre, afin de les analyser au laboratoire.
	... les mains du pédologue ! Car le toucher permet notamment d'apprécier la texture d'un sol.



PÉDOLOGUES PROCÉDANT
À UN ÉCHANTILLONNAGE DANS UNE FOSSE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



SONDAGE À LA TARIÈRE

© Jean-Claude Lacassin - SCP

De nombreux paramètres sont à prendre en compte pour analyser et comprendre un profil de sol. En voici une liste non exhaustive, à relever pour chaque horizon.

LA CHARGE EN ÉLÉMENTS GROSSIERS : elle peut être appréciée à vue, sur le terrain, par observation du pourcentage volumique de graviers, cailloux, pierres et blocs (dits éléments grossiers, dont la taille est supérieure à 2 mm) par rapport au volume du sol. Plus il y a d'éléments grossiers, moins il y a de « place » dans le sol pour le stockage de l'eau. De plus, selon la manière dont ils sont disposés dans le sol, les éléments grossiers peuvent constituer des obstacles à la progression des racines des plantes (et donc leur accès aux éléments nutritifs pour le végétal).

LA TEXTURE : apprécier la texture revient à estimer la composition granulométrique* de la terre fine, soit la part de sables, limons et argiles granulométriques de l'échantillon analysé.

On définit trois classes de particules, en fonction de leur taille soit :

- Argiles : particules les plus petites, inférieures à 2 microns (0,002 mm)
- Limons : particules comprises entre 2 et 50 microns (entre 0,002 mm et 0,05 mm)
- Sables : particules de 0,05 mm à 2 mm

Au-delà de 2 mm, on parlera d'éléments grossiers.

Ces classes de particules ne sont basées que sur la taille des éléments et pas sur leur nature.

L'analyse granulométrique en laboratoire va permettre de déterminer le pourcentage de ces trois classes.

Sur le terrain, sur échantillon humide, le pédologue peut apprécier la texture en fonction des touchers différents entre des argiles, des limons et des sables.

Un échantillon où les argiles dominent est facile à modeler : on effectue souvent le test du « boudin » sur le terrain. Si l'échantillon

À l'opposé, un sol à dominante sableuse ne peut être modelé au doigt et il sera généralement plus abrasif (« crissement » lorsqu'il est écrasé entre les doigts) car constitué de particules plus grosses. Un sol à dominante limoneuse se laisse quant à lui modeler mais les formes modelées sont très fragiles. Un sol limoneux n'est pas collant au toucher (ce qui est plutôt une caractéristique des argiles) mais soyeux (contrairement aux sols à dominante sableuse).

Entre ces trois dominantes, il existe une infinité de déclinaisons de textures de sols (argilo-sableux, limono-argileux, sablo-argilo-limoneux, etc.).

La texture est un élément important pour comprendre les propriétés d'un sol, notamment vis-à-vis de la disponibilité en eau pour les plantes qui dépend aussi des propriétés mécaniques et chimiques de ce sol.

Un sol sableux retiendra moins l'eau qu'un sol argileux par exemple. Aussi, un sol limoneux stockera assez bien l'eau, mais sera très sensible au risque de tassement (compaction du sol humide, sous l'effet d'une charge lourde), souvent irréversible.

Un sol optimal aurait une texture équilibrée entre argiles, limons et sables.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Lorsqu'on parle d'argiles en granulométrie, on parle de particules de taille inférieure à 2 microns, quelle que soit leur nature. Les argiles en minéralogie sont des plaquettes formées de feuillettes de silicates empilés (phyllosilicates) comme un mille-feuilles qui absorbent l'eau et fixent les ions minéraux.

LA STRUCTURE : elle correspond à l'agencement spatial des particules du sol entre elles (sont-elles cohésives entre elles ? Y a-t-il beaucoup de « vide » entre les particules ? Forment-elles des agrégats ?). La notion de structure est très liée à celle de porosité du sol. Plus un sol est compact, plus l'enracinement des plantes y sera difficile. Moins il y a d'espace entre les particules et plus il sera difficile pour l'eau et l'air de circuler dans le sol. La structure d'un sol ne peut être appréciée à la tarière (qui pénètre en force dans le sol et écrase la structure de l'échantillon) : on l'évalue à partir d'une fosse pédologique.

LA COULEUR : les sols offrent une palette très variée de couleurs : blanc, jaunâtre, rouge, ocre, noir, bleu ou vert pâle... Des codes couleurs, tels que le « Code Munsell », sont utilisés par les pédologues, sans que leur usage ne soit indispensable pour décrire la couleur d'un sol. Le relevé d'une couleur peut donner une indication sur la composition chimique du sol, son engorgement (par l'eau) temporaire ou permanent...

Généralement, la couleur rouge indique la présence de fer oxydé (Fe^{3+}), dans de bonnes conditions d'aération du sol. Les couleurs noires et brunes témoignent quant à elles généralement de l'abondance de matière organique.



NUANCIER DE SOLS DES BOUCHES-DU-RHÔNE - © Jean-Claude Lacassin - SCP

ZOOM SUR : L'HUMUS !

PAR JEAN-CLAUDE LACASSIN,

Pédologue de la Société du Canal de Provence

Ce nom courant, ambigu, a des significations variées ; on parle aujourd'hui des « matières organiques du sol ». L'humus désigne en fait le résultat de la transformation lente des litières forestières (c'est à dire la matière organique morte d'origine végétale ou animale) par l'activité biochimique des décomposeurs (bactéries, champignons, vers de terre, micro-organismes vivant dans les litières...).

Cette transformation physico-chimique et biologique aboutit à différentes formes d'humus au-dessus du sol. Il peut être progressivement mélangé et enfoui dans l'horizon de surface par l'activité biologique (notamment les vers de terre) ; il devient une matière organique étroitement associée aux minéraux argileux du sol (complexe argilo-humique). Une partie de cette matière organique est facilement assimilable (labile ou libre), elle va servir de carburant pour les micro-organismes et être minéralisée rapidement par ceux-ci. L'autre partie de cette matière organique de structure plus complexe, dont le poids moléculaire est plus élevé, est étroitement associée aux minéraux argileux du sol (complexe argilo-humique). On la désigne comme la matière organique liée, plus difficile à dégrader. La minéralisation de cette partie de la matière organique complexe est plus lente.

L'analyse en laboratoire de ce stock de carbone organique est indispensable en agriculture pour estimer la stabilité structurale du sol vis-à-vis de l'érosion et en gestion environnementale dans le cadre du changement climatique par rapport aux émissions de carbone (CO_2) dans l'atmosphère et aux services écosystémiques assurés par les sols.

Dans le cas des sols cultivés, on ne trouve pas de litière forestière mais des résidus des cultures, des apports de fumiers, de composts ou de boues d'épuration qui sont les sources de matière organique morte qui va subir les processus d'humification et de minéralisation.

L'analyse en laboratoire des matières organiques des sols nous en apprend beaucoup sur le fonctionnement et l'activité biologique de ceux-ci en lien avec les conditions du milieu (par exemple le climat et le pH du sol) :

- Un sol avec une litière* épaisse et présentant une transition brutale et nette entre cet horizon organique et l'horizon minéral témoigne d'un blocage des processus d'humification et de minéralisation. Par exemple sous climat froid et sous résineux, le sol est potentiellement pauvre au-dessous d'une accumulation de litière importante.

- Un sol présentant une couche d'humus maigre et dont les débris des végétaux de la litière des années précédentes sont visuellement absents (car non reconnaissables suite à leur dégradation rapide), témoigne d'une bonne activité biologique. Il est ainsi potentiellement fertile.

En Provence calcaire, l'excès des carbonates modifie la transformation des matières organiques issues de la litière et aboutit à une forme d'humus particulier : le mull carbonaté

LE SAVIEZ-VOUS : (S)OLFACTIF !

L'humus évoque inévitablement pour qui a l'habitude de se promener en forêt une odeur sauvage, de terreau, caractéristique et reconnaissable.

Le sol nous offre une palette de couleurs variées mais (sol)licite également notre odorat, souvent du fait de l'activité biologique qui y foisonne.

Un exemple dont chacun a pu faire l'expérience : l'odeur de pluie ! Peu avant et juste après une averse, un parfum nommé pétrichor est perceptible. Il est dû à une molécule, la géosmine, produite lors du métabolisme de certaines bactéries du sol, les actinomycètes, donnant cette senteur de terre mouillée lorsque l'air est très humide.*

GÉOLOGIE ET PÉDOGENÈSE DANS LES BOUCHES-DU-RHÔNE

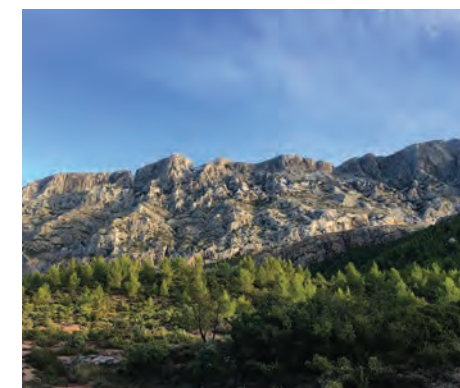
L'HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA BASSE PROVENCE

PAR JEAN-CLAUDE LACASSIN,
Pédologue de la Société du Canal de Provence

Intéressons-nous à l'histoire géologique de la Basse Provence depuis le Paléozoïque (consulter le « en savoir + » en page 15 pour une meilleure vision de l'échelle des temps géologiques), il y a 541 Ma (millions d'années).

L'ère Primaire (Paléozoïque) voit se constituer un immense massif montagneux (la chaîne hercynienne) composé de roches cristallines*. Mais comme pour toute montagne, l'altération et l'érosion vont démolir et transporter les matériaux arrachés. On retrouvera ces dépôts accumulés dans les zones basses.

Au cours du Secondaire (Mésozoïque) le vieux socle hercynien érodé est recouvert par une mer profonde. D'importants dépôts de sédimentation* marine se forment au cours du Trias, du Jurassique et du Crétacé. Les dépôts jurassiques (massifs de Sainte-Victoire, de l'Étoile...) sont surtout des calcaires récifaux, des dolomies*, des calcaires* et des marnes*. Les dépôts crétacés sont des calcaires récifaux, visibles en Basse Provence calcaire (chaînes de la Nerthe, Marseilleveyre, Sainte-Baume...). À la fin du Crétacé la mer se retire, la zone alpine émerge, des lacs s'installent comme dans la région d'Aix-en-Provence, avec des dépôts d'argiles rouges fluviatiles et de calcaires.



SAINTE-VICTOIRE
© Nastasia Camberoque



SAINTE-BAUME
© Christian Rombi - Département 13

Au Tertiaire, une importante phase de plissement ébauche les grands traits de la structure morphologique actuelle. L'Eocène est marqué par des mouvements importants dus à l'érection des Pyrénées, d'où l'orientation Ouest-Est des reliefs de la Provence calcaire. Les couvertures sédimentaires se décollent de leur socle. Durant l'Oligocène les reliefs mis en place sont détruits par l'érosion, des bassins où se déposent des conglomérats*, des grès* et des marnes s'installent au pied des plis structuraux (bassin de Marseille ou d'Aix-en-Provence...).

Au Miocène la surrection des Alpes s'intensifie, la mer miocène est localisée au Sud-Ouest de la région provençale et pénètre vers l'Est en contournant les plus hauts reliefs. Les grès miocènes s'étendent d'Istres à Miramas et Salon-de-Provence, de Pélissanne, Rognes, Lambesc et jusqu'à Jouques.

Enfin **le Quaternaire** se caractérise par des périodes de glaciation importantes, entrecoupées de périodes de réchauffement jusqu'à la relative stabilité actuelle en termes de formation des reliefs. Si les glaciers alpins se sont arrêtés dans leur plus forte extension à Sisteron (04) pour le glacier de la Durance et à Colmars (04) pour le glacier du Verdon, la Provence a été marquée par de nombreux phénomènes périglaciaires.

Les reliefs provençaux sont donc essentiellement formés par des dépôts sédimentaires calcaires marins ou lacustres, plus rarement par des dépôts d'activité volcanique postérieure au volcanisme de l'Esterel (83) comme le petit volcan de Beaulieu à Rognes.

Les vallées et bassins sont constitués des apports sédimentaires détritiques par les cours d'eaux (ce sont les alluvions) et au pied des versants qui bordent les bassins des apports sédimentaires par ruissellement diffus le long des pentes (ce sont les colluvions).

Au-dessus des plaines alluviales actuelles, des terrasses alluviales mises en place à différentes périodes du Quaternaire marquent le paysage. À cette longue histoire géologique complexe de formations, déformations, dégradations et érosions des reliefs et des vallées vont succéder des périodes de pédogenèse (formation des sols).

Les sols constituent une couverture plus ou moins épaisse issue de l'altération de la roche mère (soit un substratum géologique en place ou un dépôt sédimentaire). Sous l'action de facteurs physiques, chimiques et biologiques, les sols s'approfondissent, s'enrichissent puis s'acidifient. L'Homme, de par son action, participe au maintien des potentialités des sols ou au contraire à leur destruction. L'histoire de la formation des sols en Provence est complexe de par la diversité des roches mères, la variabilité des reliefs et une occupation humaine intense et ancienne.



CONGLOMÉRAT
© Astrid Lanneau



GRÈS AFFLEURANT ET SABLE ISSU DE L'ALTÉRATION DU GRÈS
© Jean-Claude Lacassin - SCP



EN SAVOIR +

Les scientifiques estiment que notre planète s'est formée il y a 4,54 milliards d'années. La vie serait apparue sur Terre il y a 3,85 milliards d'années, dans les océans. Les géologues ont découpé cette longue Histoire en grands intervalles, eux-mêmes divisés en intervalles de temps plus petits, etc... selon les grands événements géologiques et biologiques qui ont marqué notre planète. Les plus grandes subdivisions sont nommées « Eonothème » ou « Eon » et sont au nombre de quatre. Les paragraphes précédents ne s'intéressent qu'au plus récent Eonothème, nommé le Phanérozoïque (ayant débuté il y a 541 Ma).

Chaque Éonothème est divisé en Érathèmes (anciennement nommés Ères), découpés en Systèmes (anciennement Périodes) contenant des Séries (anciennement Époques). Pour simplifier, nous n'allons pas au-delà du découpage en Séries dans ce livret et seules les Séries du dernier Érathème (le Cénozoïque) sont abordées.

Voici une représentation sous forme de tableau de l'organisation du Phanérozoïque, dont il est question dans ce chapitre, d'après l'Échelle des Temps Géologiques BRGM établie dans le cadre des projets CANEV et MD GEOL, octobre 2006.

ÉONOTHÈMES (ÉONS)	ÉRATHÈMES (ÈRES)	SYSTÈMES (PÉRIODES)	SÉRIES (ÉPOQUES)
Phanérozoïque	Cénozoïque (Tertiaire + Quaternaire) depuis -66 Ma	Quaternaire	Holocène
			Pléistocène
		Néogène	Pliocène
			Miocène
		Paléogène	Oligocène
			Eocène
	Paléocène		
	Mésozoïque (Secondaire) -252,2 à -66 Ma	Crétacé	
		Jurassique	
		Trias	
		Permien	
		Carbonifère	
		Dévonien	
Silurien			
Paléozoïque (Primaire) -541 à -252,2 Ma	Ordovicien		
	Cambrien		

L'HISTOIRE PÉDOLOGIQUE DE LA BASSE PROVENCE

PAR JEAN-CLAUDE LACASSIN,
Pédologue de la Société du Canal de Provence

Les sols se sont formés au cours des périodes de stabilité géologique et sous des climats différents depuis le Tertiaire et tout au long du Quaternaire.

De manière simplifiée deux grandes régions naturelles se distinguent avec des types de sols issus de contextes géologique et topographique différents :

- la Basse Provence calcaire (essentiellement à l'Est du département) avec des reliefs élevés (Sainte-Victoire, Sainte-Baume) mais aussi les Alpilles à l'Ouest, des plateaux (Arbois, Quatre Termes à Éguilles,..) et des bassins (Aix, Aubagne, Lambesc...).

- les plaines (La Crau qui est l'ancien delta de la Durance), et des vallées alluviales (basses vallées de la Durance et du Rhône, de l'Arc, de la Touloubre ou de l'Huveaune,...), situées essentiellement à l'Ouest et au Nord du département.

Sols de la Basse Provence calcaire

Sols peu évolués d'apports sédimentaires

■ COLLUVIOSOLS

Sols évolués issus de roches sédimentaires anciennes

■ FERSIASOLS

Sols issus de matériaux calcaires

■ CALCISOLS

■ CALCOSOLS

■ RENDISOLS

■ RENDOSOLS

■ Sol des terrils miniers

Sols des plaines et vallées

Sols minéraux

■ LITHOSOLS dominants

■ RÉGOSOLS sableux et ARÉNOSOLS

Sols peu évolués d'apports sédimentaires

■ FLUVIOSOLS dominants

Sols souffrant d'un excès de sel

■ SODISALISOLS

Sols souffrant d'un excès d'eau

■ RÉDUCTISOLS

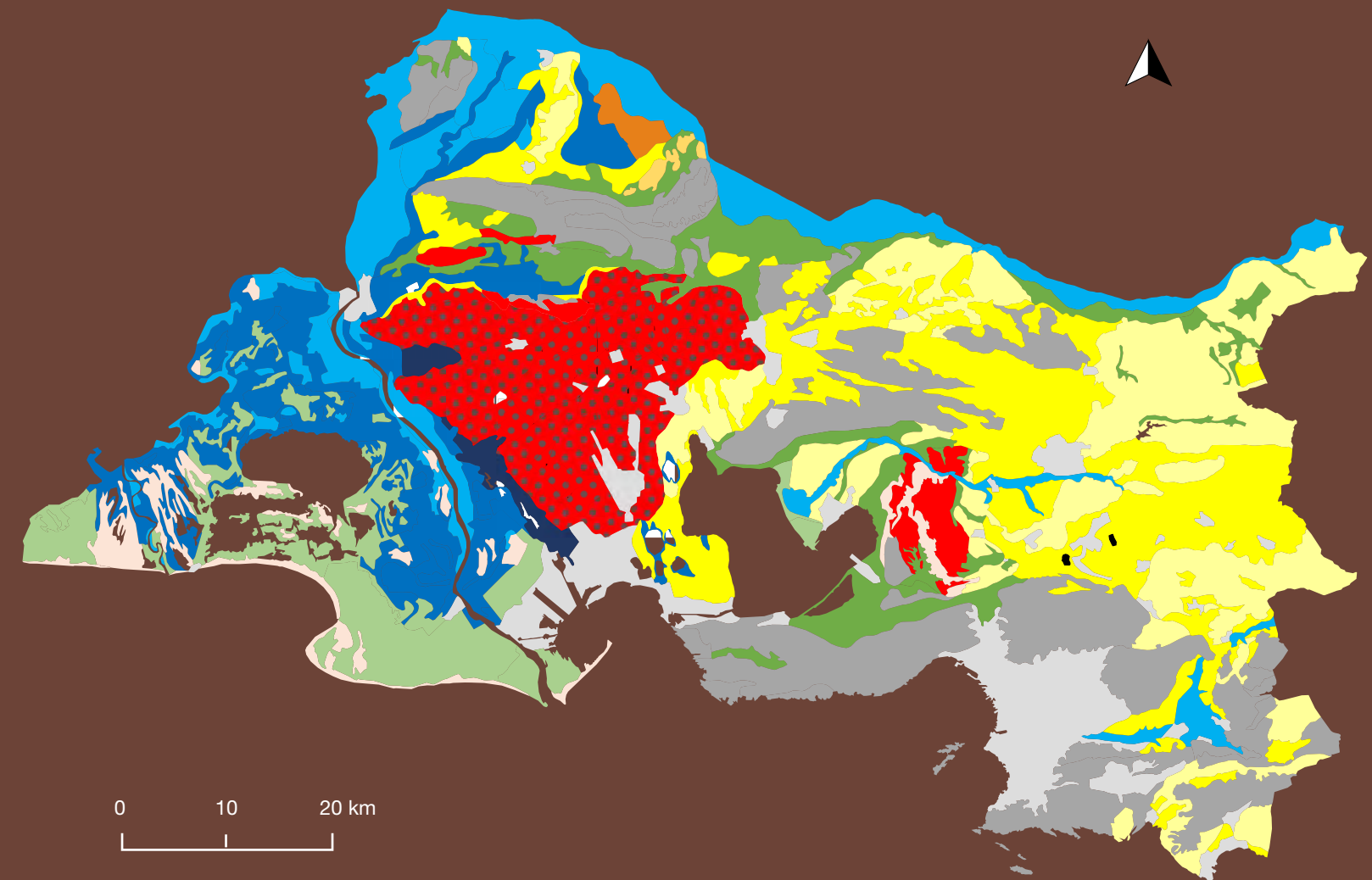
■ HISTOSOLS

Sols évolués issus d'apports sédimentaires anciens

■ FERSIASOLS (Sur poudingue de la Crau)

■ Zones urbanisées

CARTE DES SOLS DES BOUCHES-DU-RHÔNE



EN BASSE PROVENCE CALCAIRE

LES FERSIALSOLS, issus des roches calcaires des reliefs et plateaux, sont sans doute les sols les plus vieux de la Basse Provence calcaire. Connus sous l'appellation désuète de « sols rouges méditerranéens » ils sont l'aboutissement sous climat chaud et sec, avec une saison humide, d'une longue altération spécifique et particulière avec :

- une altération ménagée* des minéraux* de ces roches calcaires par l'eau avec néoformation de minéraux argileux de décarbonatation
- une forte libération du fer qui contracte des liaisons étroites avec les minéraux argileux.

Il en résulte des sols évolués* et différenciés*, caractérisés par une structure anguleuse et stable, des couleurs vives rouges, épais et fertiles (la civilisation romaine florissante le doit en partie à ces sols rouges). La végétation typique associée aux FERSIALSOLS est la forêt de chênes verts exploitée pour le développement de l'agriculture et du pastoralisme depuis le Néolithique (exploitation pour le bois de chauffe, incendies, surpâturage, cultures sur brûlis...). Le sol rouge mis à nu a été emporté par l'érosion. On observe ainsi une évolution régressive des végétations (garrigue à chêne kermès puis garrigue à romarin et bruyère multiflore puis pelouse rase) et du sol. À cause de l'érosion les sols rouges sont peu épais ; tronqués de leur horizon de surface ils sont désormais localisés dans les fissures du karst* ou ponctuellement sur les plateaux grâce à l'absence de pente.

LES RENDOSOLS ET RENDISOLS, CALCOSOLS ET CALCISOLS

constituent un ensemble de types de sols dominés par la présence de calcium et/ou de magnésium. Lorsque en profondeur ou plus haut sur le versant, il y a un matériau ou un substratum riche en minéraux carbonatés de type calcite (calcaires durs purs ou marneux, marnes, éboulis,...) ou de type dolomite (dolomies), les sols sont alors saturés en calcium ou en magnésium. Leur mise en place à travers les temps géologiques dépend de l'âge des différentes formations géologiques, des périodes favorables à la pédogenèse et de l'action humaine (mise en culture) très impactante sur les sols.

Les propriétés agronomiques ou forestières de ces sols sont essentiellement sous la dépendance de l'épaisseur totale prospectable par les racines, fonction elle-même de l'épaisseur des horizons à structure pédologique mais aussi de celle des horizons C (couches d'altération de la roche sous jacente ou roche mère).

LES LITHOSOLS ET LES RÉGOSOLS :

lorsque la pente est forte ou lorsque les roches sont imperméables, alors cette roche mère est peu altérée. On distingue les LITHOSOLS, sols superficiels sur roche dure et les RÉGOSOLS sur roche tendre comme les spectaculaires affleurements d'argiles rouges au pied de Sainte-Victoire. Ils sont appauvris par l'érosion car la terre superficielle est emportée par le ruissellement pluvial.

FERSIALSOLS



FERSIALSOL SUR POUDDINGUE
À SAINT-MARTIN-DE-CRAU

©Jean-Claude Lacassin - SCP



FERSIALSOL À ISTRES

©Jean-Claude Lacassin - SCP



FERSIALSOL À JOUQUES

©Jean-Claude Lacassin - SCP

RENDOSOLS RENDISOLS CALCOSOLS CALCISOLS



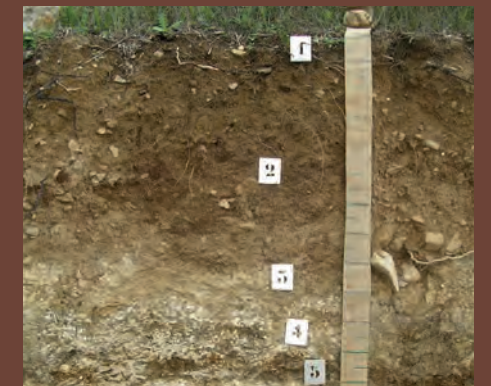
RENDOSOL À SAINT-MARC
JAUMEGARDE

©Jean-Claude Lacassin - SCP



RENDISOL À ISTRES

©Jean-Claude Lacassin - SCP



CALCOSOL À AURIOL

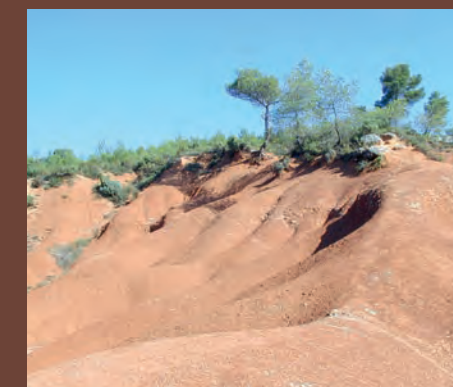
©Jean-Claude Lacassin - SCP

LITHOSOLS RÉGOSOLS



LITHOSOL À ROUSSET

©Jean-Claude Lacassin - SCP



BAD LAND : RÉGOSOL SUR ARGILE
ROUGE DE LA SAINTE-VICTOIRE

©Jean-Claude Lacassin - SCP



RÉGOSOL À SAINT-MARC
JAUMEGARDE

©Jean-Claude Lacassin - SCP

POUR LES PLAINES ET VALLÉES ALLUVIALES

Tout au long du Quaternaire les cours d'eaux et le fleuve Rhône ont déposé les sédiments charriés en grande quantité, notamment lors des crues. Lorsque la végétation peut s'implanter (comme les arbres de la ripisylve*) ou lorsque par enfoncement du lit du cours d'eau les dépôts alluviaux sont définitivement hors d'eau (terrasses alluviales), la formation des sols s'enclenche.

LES FLUVIOSOLS sont des sols jeunes, peu différenciés, plus ou moins caillouteux (galets), de texture variable (souvent limoneuse ou sableuse) issus de ces dépôts alluviaux tout au long des différentes périodes du Quaternaire. Ils sont souvent affectés par l'excès d'eau lié au battement de la nappe alluviale souterraine et par une circulation des carbonates dissous et leur redistribution, par exemple, sous forme d'encroûtement calcaire. Ils sont en général fertiles quand ils ne sont pas caillouteux et si l'eau d'arrosage est disponible (canaux d'irrigation historiques de la Basse Durance).

LES COLLUVIOSOLS sont aussi des sols jeunes, peu évolués. Ils sont formés par l'accumulation de sédiments en bas de pente (glacis) provenant de l'érosion pluviale de la terre déplacée depuis le haut du versant. Ils sont présents en bas des versants encadrant les vallées alluviales ou les bassins et au pied des reliefs. Ils peuvent être affectés par une circulation des carbonates dissous et leur redistribution par exemple sous forme d'encroûtement calcaire. Leur épaisseur augmente en bas de pente. Depuis le développement de l'agriculture, les Hommes ont aménagé les versants pour augmenter l'épaisseur de sols et la surface cultivable en construisant des terrasses en pierres sèches sur lesquelles la vigne, l'olivier ou les cultures au sec sont possibles. Les colluvions peuvent être caillouteuses et leurs éléments grossiers sont toujours anguleux et non pas arrondis comme pour les galets des alluvions.

Enfin les **ARÉNOSOLS** du littoral camarguais sont des sols sableux, squelettiques*, instables car soumis à l'érosion éolienne et très perméables. En arrière des plages (le cordon dunaire), lorsque la végétation formée par les oyats stabilise les dunes, un sol superficiel très pauvre se met en place. À cause de la fréquentation touristique ou des tempêtes, ces dunes sont altérées et remises en mouvement ou disparaissent. Il faut alors essayer de les fixer par des moyens appropriés (végétalisation, ganivelles...).

FLUVIOSOLS



FLUVIOSOL À ARLES
© Jean-Claude Lacassin - SCP



FLUVIOSOL SUR LES BORDS
D'UNE RIVIÈRE EN TRESSE
© Odilon Desmoulins - SMAVD



RHÔNE
© Claudine Trezzy

COLLUVIOSOLS



COLLUVIOSOL À PEYROLLES
© Jean-Claude Lacassin - SCP



COLLUVIOSOL À ROUSSET
© Jean-Claude Lacassin - SCP



ZOOM SUR LES ÉLÉMENTS
GROSSIERS DES COLLUVIONS
© Jean-Claude Lacassin - SCP

ARÉNOSOLS



OYATS EN CAMARGUE
© Mattia Trabucchi



PAYSAGE DE DUNES EN CAMARGUE
© Mattia Trabucchi



GANIVELLES STABILISANT LE SOL
EN CAMARGUE
© Jean-Paul Herbecq - Département 13

ZOOM SUR DES SOLS PARTICULIERS DES BOUCHES-DU-RHÔNE

LES SOLS À PH ACIDE DU POUDINGUE DE LA GALANTE sont une rareté en Basse Provence calcaire. Au niveau du Plateau du Cengle (situé au pied de la Sainte-Victoire), affleure le poudingue de la Galante, roche sédimentaire détritique* renfermant des galets millimétriques à centimétriques de différentes natures inclus dans un ciment argilo-sableux, rouge :

- roches et minéraux du Primaire provenant d'un socle cristallin situé plus à l'Est (peut-être des Maures ?),
- calcaires et grès du Secondaire, d'origine locale.

Le sol qui est issu de l'altération du ciment peut être à pH acide (galets siliceux et cristallins) s'il n'est pas sous influence du calcaire environnant. En l'absence d'incendie, une végétation préférant les sols acides comme le ciste à feuille de sauge, l'arbousier ou strictement acidiphile comme la bruyère à balai s'y développent. Les années pluvieuses quelques cèpes peuvent surgir.

LES SOLS DES TERRASSES CULTIVÉES : dans le Midi de la France, les reliefs ont été façonnés par l'Homme avec les restanques, terrasses faites de pierres sèches et constituant un paysage harmonieux. C'est une réponse ancestrale à un contexte difficile (forte pente, climat méditerranéen aux pluies violentes, sols pauvres et superficiels). Pour retenir le peu de terre sur les pentes et augmenter les surfaces cultivables, il a fallu défoncer et épierrer, construire des murs, remblayer, niveler pour casser la pente et enfin canaliser l'eau de ruissellement. Vue en coupe, l'épaisseur de sol d'une terrasse étroite est faible à l'amont, moyenne au milieu et limitée à l'aval par un grand volume de cailloux faisant drains derrière le mur de soutènement de chaque restanque. La maîtrise de l'eau de ruissellement permet de réduire l'action érosive de la pluie. Ces aménagements, non datables, demandent un entretien important et régulier. Avec le recul de l'agriculture, les restanques sont souvent à l'abandon sauf pour les plus larges ou celles supportant des cultures de haute valeur comme la vigne (vignoble de Cassis) ou les oliviers (Alpilles).

LE SAVIEZ-VOUS : LE POIDS DE LA TERRE

Avec une densité apparente comprise entre 1,1 et 1,5 pour les sols cultivés du département le poids de la terre sur les 30 premiers centimètres est compris entre 360 et 390 kg/m².

SOLS À PH ACIDE ▶



POUDINGUE DE LA GALANTE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



POUDINGUE DE LA GALANTE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



ARBOUSIER, TYPIQUE DES SOLS ACIDES

© Astrid Lanneau

SOLS EN TERRASSE ▶



VIGNES EN TERRASSE À CASSIS

© Jean-Claude Lacassin - SCP



RESTANQUE À CASSIS

© Jean-Claude Lacassin - SCP



VUE PLONGEANTE SUR LES TERRASSES DE VIGNE À CASSIS

© Jean-Claude Lacassin - SCP



COUPE DE RESTANQUE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



VIGNOBLE SUR VIEILLE TERRASSE À CASSIS

© Jean-Claude Lacassin - SCP



VIGNOBLE SUR VIEILLE TERRASSE À CASSIS

© Jean-Claude Lacassin - SCP

(SUITE) ZOOM SUR DES SOLS PARTICULIERS

LES SOLS HYDROMORPHES* ET/OU SALÉS DE LA BASSE VALLÉE DU RHÔNE ET LA RIZICULTURE

: dans le delta rhodanien, les sols sont affectés par un excès d'eau permanent ou temporaire (de quelques mois), par la salinité et par des textures assez contraignantes. Ces caractéristiques pédologiques spécifiques, auxquelles s'ajoute la topographie, vont conditionner les types de cultures possibles :

- des apports d'eau externes (nappe, drainage oblique), une faible perméabilité du profil ou un plancher imperméable forment les sols hydromorphes où l'eau s'évacue peu et occupe la macroporosité une bonne partie de l'année (voire en permanence). Ce sont les sols des zones humides. Dans les zones non drainées, les pâtures à chevaux et taureaux couvrent les sols hydromorphes et peu salés avant de faire place aux milieux naturels plus ou moins salés (enganes et sansouïres autour de l'étang du Vaccarès et des étangs littoraux).

- la salinité est très néfaste pour les cultures. Elle est croissante à mesure que l'on approche de la mer. Les sols salés sont fortement présents dans une grande partie du delta, spécialement les terres basses, d'où une préférence accordée aux cultures inondées propres à les dessaler.

- la texture est largement limoneuse à l'Est et sableuse à l'Ouest. Les limons sont plus favorables à la culture du riz. À l'Ouest, sur les sols plus sableux de petite Camargue, la vigne et la culture de l'asperge l'emportent.

La culture du riz, emblématique de la Camargue permet le dessalement des terres et la mise en valeur agricole de la Camargue. Trois années de culture du riz dessalent suffisamment le sol mais progressivement la culture est infestée par les adventices*. Une culture annuelle dite pluviale est alors mise en place (blé dur, colza, sorgho, tournesol...). Au bout de trois ans, la salinité réapparaît et il faut remettre les rizières en place. L'endiguement du Rhône a permis l'apport d'eau douce par pompage et d'importantes infrastructures hydrauliques distribuent l'eau douce pour la culture du riz et le lessivage du sel en profondeur.

LES SOLS ET LES VINS DU VOLCAN DE BEAULIEU

: un vestige de volcan est présent sur la commune de Rognes. L'activité volcanique au Tertiaire à Beaulieu est unique dans le département. C'était un cratère volcanique d'explosion rempli par un lac de lave de basaltes et en partie Est du cratère par un deuxième lac rempli de dolérites*. Les bords ne sont pratiquement plus visibles, l'effondrement et l'érosion les ont détruits. Des dépôts sédimentaires calcaires ont ensuite recouvert les roches volcaniques. Néanmoins, sur une partie du vignoble de Beaulieu, les sols sont de couleur gris brunâtre avec des cailloux de basalte noir. Ils offrent une typicité aux vins de ce vignoble et constituent un terroir unique.

Dans les environs, dans les formations sédimentaires de la mer miocène, de nombreux fossiles ont été retrouvés, notamment des os de mammifères divers et variés (*Anthracotherium...*), des dents de requins, des carapaces de tortues.

SOLS HYDROMORPHES



SOL HYDROMORPHE AVEC NAPPE À ARLES

© Jean-Claude Lacassin - SCP



SANSOÛIRE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



PÂTURE À CHEVAUX EN CAMARGUE

© Christian Rombi - Département 13

SOLS SALÉS



SALISOL SABLEUX À PORT SAINT-LOUIS

© Jean-Claude Lacassin - SCP



SALICORNE, TYPIQUE DES SOLS SALÉS

© Jean-Claude Lacassin - SCP



RIZICULTURE EN CAMARGUE

© Jean-Paul Herbecq - Département 13

SOLS VOLCANIQUES



CAILLOUX DE BASALTE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



SURFACE DE SOL VOLCANIQUE À ROGNES

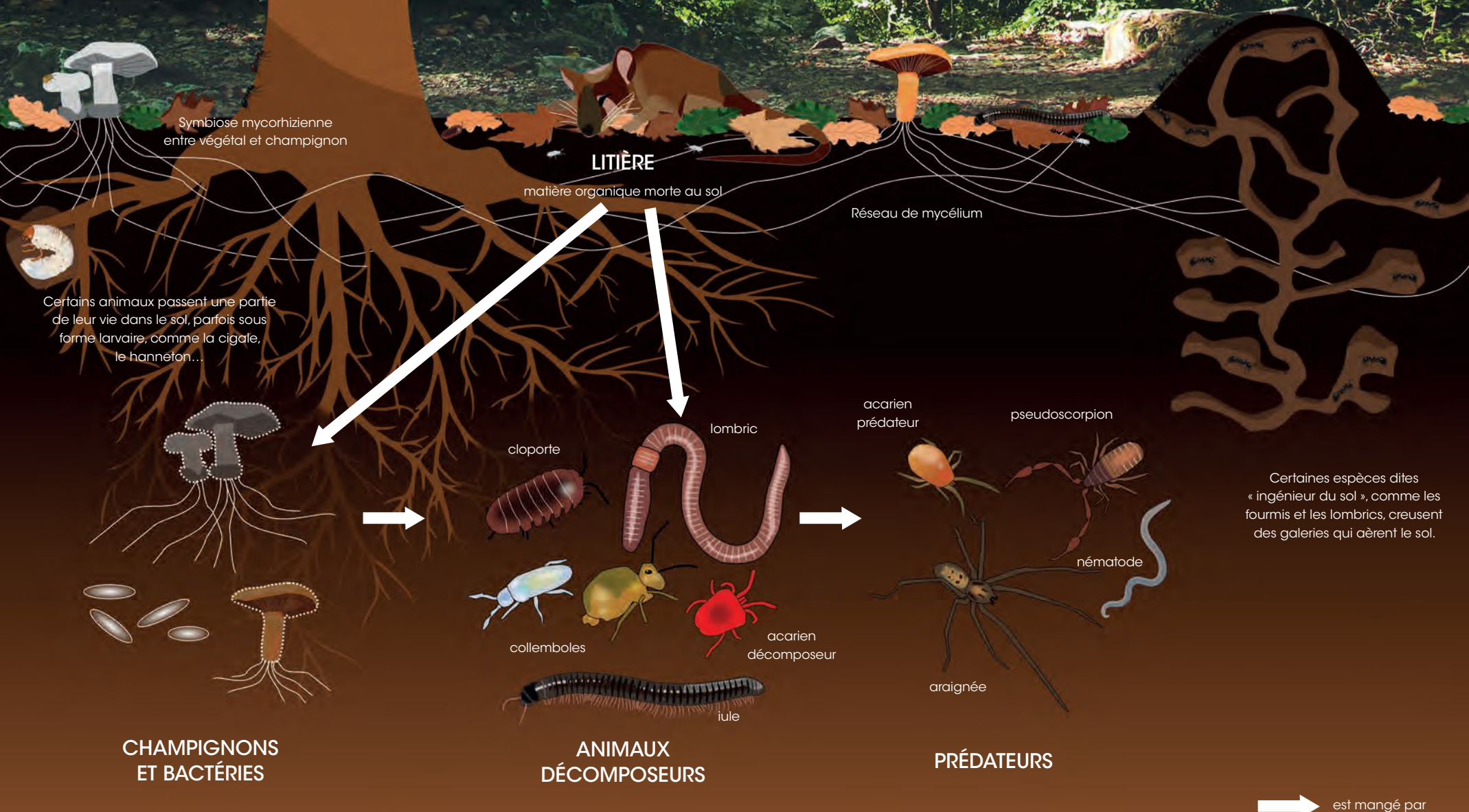
© Jean-Claude Lacassin - SCP



DÉTAIL DE SOL VOLCANIQUE À ROGNES

© Jean-Claude Lacassin - SCP

LA VIE DU SOL



L'INCROYABLE BIODIVERSITÉ DU SOL

Vous en avez déjà fait l'expérience : si nous laissons un matériau biodégradable au sol pendant un certain temps (de quelques mois à quelques années), il finit par « disparaître ». Un trognon de pomme, des épluchures de légumes, une feuille morte... vont en réalité être dégradés, transformés, recyclés par les organismes qui habitent le sol !

Prenons l'exemple d'une forêt : la matière organique morte (animale ou végétale) qui se retrouve au sol forme une couche superficielle appelée litière. Cette matière organique morte est alors découpée, fragmentée, consommée par un cortège de bactéries, champignons, mais également de petits animaux appelés les décomposeurs (parmi eux, des collemboles, des cloportes, des lombrics, certains acariens...). Ces décomposeurs sont eux-mêmes dévorés par d'autres animaux du sol (d'autres acariens, des araignées, des grillons...). Les bactéries et champignons transforment une fraction de la matière organique en composés organiques plus complexes et forment l'humus, qui sera lentement minéralisé. Les minéraux libérés dans la solution du sol seront consommés par les végétaux, qui les utilisent pour assurer leur nutrition et accroître leur biomasse.

L'activité des organismes du sol donne ainsi lieu à des mécanismes de transformation de la matière essentiels à la vie en surface.

Découvrons quelques exemples (non exhaustifs !) d'organismes du sol des Bouches-du-Rhône.

FAUNE	ANNÉLIDÉS	p. 30-31
	ARTHROPODES	p. 32-38
	MOLLUSQUES	p. 39
	NÉMATODES	p. 40
	AUTRES	p. 41
CHAMPIGNONS		p. 42
BACTÉRIES		p. 43

→ est mangé par

© photo - illustrations : Astrid Lanneau
Les éléments du schéma ne sont pas à l'échelle

OBSERVER LA VIE DU SOL

FABRIQUEZ VOTRE APPAREIL DE BERLÈSE !



ÉTAPE 1 - RÉUNISSEZ LE MATÉRIEL

© Astrid Lanneau

ÉTAPE 2 - PLACEZ LA GRILLE

© Astrid Lanneau

ÉTAPE 3 - ÉCLAIREZ L'ÉCHANTILLON

© Astrid Lanneau

Avec très peu de matériel, il est possible de fabriquer un appareil de Berlèse permettant de collecter les animaux du sol afin d'observer ces habitants qui, d'ordinaire, échappent à notre vue.

Étape 1 : réunissez le matériel nécessaire, soit un entonnoir (ou une bouteille coupée en deux, la partie avec le goulot retournée), un tamis/grille (pour retenir les grosses particules de terre), un réceptacle, une lampe (de bureau). Prélevez un échantillon de terre que vous souhaitez observer.

Étape 2 : placez la grille ou le tamis à l'embouchure de l'entonnoir (ou du goulot de la bouteille), au-dessus du réceptacle. Mettez l'échantillon de terre dans l'entonnoir : la grille empêchera les gros agrégats de tomber dans le réceptacle.

Étape 3 : éclairez l'échantillon par le dessus à l'aide de la lampe : la source de lumière va chauffer et sécher la surface de l'échantillon de terre. Les organismes du sol, cherchant la fraîcheur, vont se réfugier dans le fond de l'échantillon, tomber à travers la grille dans le réceptacle.

Ouvrez alors grand vos yeux et découvrez une biodiversité insoupçonnée ! Munissez-vous d'une loupe pour mieux l'observer et relâchez les animaux en liberté une fois l'expérience terminée.

CONSEILS POUR OBSERVER LA BIODIVERSITÉ DU SOL SUR LE TERRAIN.

Il suffit d'un peu de patience et d'attention pour observer la biodiversité du sol dans la nature. Voici quelques conseils pour améliorer votre expérience :

- Optez pour une **zone d'observation plutôt humide** (en forêt par exemple), susceptible de présenter une plus grande diversité d'organismes.

- Le **printemps** et l'**automne** sont les meilleures saisons pour observer les êtres vivants du sol (périodes de reproduction ou périodes plus humides).

- Installez-vous confortablement : l'observation demande de la patience. Vous pouvez vous équiper de **coudières** ou **genouillères** si vous prévoyez d'observer le sol pour un temps assez long.

- Si vous souhaitez faire de la macrophotographie, n'oubliez pas une **lampe** (frontale ou lampe de poche) pour réaliser de beaux clichés.

- Munissez-vous d'une **loupe** pour observer les petits organismes. Certains microscopes de poche existent et permettent de mieux observer les animaux les tout petits habitants du sol.



LOMBRICS ET CLOPORTES DANS LE COMPOST

© Olivier Briand

ANNÉLIDES

Le phylum* des annélides regroupe l'ensemble des vers annelés, c'est-à-dire des vers dont le corps est constitué de la répétition de segments (dits métamères) en forme d'anneaux et présentant une cavité générale appelée le coelome.

La famille des lombriciens (couramment appelés « vers de terre ») est très importante parmi les annélidés vivant dans le sol.

Le terme « ver de terre » ne correspond pas à une seule espèce, mais à un ensemble de plus de 7000 espèces connues sur le globe, qui représentent 70 % de la biomasse terrestre (« *Mieux connaître les vers de terre* », Université de Rennes 1). Une centaine d'espèces est recensée en France (Bouché 1972).

LE SAVIEZ-VOUS ?

Son corps est mou et semble lisse : mais comment le ver de terre fait-il pour creuser et avancer dans le sol ?

Le corps segmenté du ver de terre est rempli d'eau : le ver est capable de faire passer l'eau d'un segment à un autre. Lorsqu'un segment se remplit d'eau, il gonfle et crée une pression, qui écarte la terre sur les flancs du ver, formant peu à peu la galerie du ver qui consomme en parallèle la terre devant lui.

De minuscules soies en forme de crochets situés sur les segments permettent au ver de s'agripper aux parois de la galerie tandis que l'animal sécrète un mucus lubrifiant, facilitant sa progression.

Certaines espèces, notamment le lombric commun (*Lumbricus terrestris*), peuvent ainsi creuser des galeries jusqu'à plusieurs mètres de profondeur !

Pour en savoir plus : documentaire de Amouroux V. & Leyendecker J. 2015. *Voyage sous nos pieds* [DVD]. Les Zéditions nature, 104 min.

Les vers de terre sont généralement appréciés par le jardinier, car leur présence témoigne du bon fonctionnement du sol : les vers de terre sont considérés comme des « ingénieurs du sol ».

En effet, ils creusent des galeries qui « aèrent » le sol : capables de le rendre plus meuble, les vers facilitent l'exploration des racines des végétaux et la porosité créée par les galeries favorise la circulation de l'eau et de l'air ainsi que la capacité de stockage de l'eau dans le sol.



COCONS DE LOMBRIC

© Céline Pélosi



GALERIES DE VERS DE TERRE

© Shutterstock



Lumbricus castaneus

© Yvan Capowiez



Aporectodea longa ripicola

© Yvan Capowiez



Microscolex dubius

Cœur du parc de Port Cros - mars 202

© Thibaud Decaëns



TURRICULE DE LOMBRIC

© Céline Pélosi

De plus, les vers de terre participent à l'enfouissement, au brassage et à la décomposition de la matière organique morte en surface vers les horizons plus profonds du sol. Leurs déjections, nommées turricules, possèdent un puissant pouvoir fertilisant et apportent de nombreux éléments nutritifs aux végétaux. En outre, ils constituent des agrégats stables du sol car ils sont composés d'un mélange intime entre la phase minérale et la phase organique du sol. Les vers de terre sont donc un maillon essentiel à la santé des sols, en améliorant sa structure et participant activement à sa fertilité.

Il existe trois catégories de vers de terre, se répartissant dans les différents horizons du sol et assurant des rôles complémentaires (d'après « *Mieux connaître les vers de terre* », Université de Rennes 1) :

- les vers de terre **épigés**, les plus petits, de couleur sombre, qui vivent dans la litière du sol et sont spécialisés dans le fractionnement de la matière organique en surface (qui est ainsi plus facile à consommer par les autres décomposeurs du sol). Par exemple : *Lumbricus castaneus* ;

- les vers de terre **anéciques**, les plus grands, de couleur sombre, capable de brasser la matière organique depuis la surface vers les horizons plus profonds en creusant des galeries verticales qui leur servent de terriers. Par exemple : *Aporectodea longa ripicola* ;

- les vers de terre **endogés**, de taille moyenne, qui vivent uniquement dans le sol et dont la peau est transparente. Ils décomposent la matière organique en profondeur en cheminant aléatoirement dans le sol à la recherche de matières organiques. Par exemple : *Microscolex dubius*.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE IMPACTE LE FONCTIONNEMENT BIOLOGIQUE DES VERS DE TERRE.

Les vers de terre ont besoin d'un minimum d'humidité pour vivre et remplir leur rôle d'ingénieurs du sol : lorsque le sol est trop sec, les vers de terre passent en vie ralentie et ne réalisent plus le brassage ou la décomposition de la matière organique.

Les spécialistes prévoient que du fait du changement climatique les épisodes de sécheresse notamment estivale seront de plus en plus marqués et étendus sur le territoire des Bouches-du-Rhône : à la seule échelle des vers de terre, c'est ainsi le fonctionnement biologique de l'écosystème sol qui est mis en péril !

LE SAVIEZ-VOUS ?

Suite à l'inventaire des espèces de lombrics réalisé par Marcel Bouché en 1972 sur le territoire métropolitain, un programme national de recensement des espèces de vers de terre est mené entre 2019 et 2022 par divers organismes de recherche. Apportez votre contribution à ce projet de science participative en faisant part de vos observations de vers de terre sur le site internet : <https://www.open-sciences-participatives.org/fiche-observatoire/230> .

ARTHROPODES

Les animaux appartenant à l'embranchement des arthropodes partagent des traits morphologiques : ils possèdent un squelette externe, leur corps présente une succession de segments (appelés métamères) et ils sont dotés de pattes articulées. Les arthropodes représenteraient 75 % des espèces animales sur la planète !

Ils sont capables de se développer dans tous les milieux. Pas étonnant qu'une grande quantité d'arthropodes se retrouve dans le sol ! Ces espèces sont notamment des chélicérates (principalement les araignées, les opilions ou faucheux, les scorpions, les pseudoscorpions et les acariens), des pancrustacés, les crustacés terrestres (notamment les cloportes) et des myriapodes (plus couramment appelés « mille-pattes »).

À travers quelques exemples (non exhaustifs !), partons à la découverte de certains Arthropodes du sol des Bouches-du-Rhône.

CHÉLICÉRATES

Le terme « chélicérate » rassemble l'ensemble des espèces munies de « chélicères » qui sont deux appendices situés au niveau de la « tête » de l'animal. Les chélicères sont parfois en forme de pinces cornées chez les scorpions, pseudoscorpions et acariens, en forme de fourche chez les opilions (ou faucheux) ou composées de deux parties chez les araignées, l'article basal terminé par les crochets à venin, lui permettant de mordre et parfois d'envenimer les proies.

Ce sont principalement des araignées, des scorpions, des pseudoscorpions et des acariens, qui sont des arachnides remplissant des fonctions différentes dans l'écosystème sol.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les arachnides tiennent leur nom de la mythologie gréco-romaine. Arachnée était une jeune fille réputée pour ses talents de tisseuse. Orgueilleuse, elle provoqua la colère de la Déesse Athéna qui la transforma alors en araignée, afin qu'elle tisse indéfiniment.



TARENTULE SORTANT DE SON TERRIER
(*Lycosa tarantula*)

© Anne Bounias-Delacour



CHAUSSETTE DE SOIE D'*Atypus piceus*

© Anne Bounias-Delacour



Atypus affinis

© Anne Bounias-Delacour



Eresus sandaliatus FEMELLE

© Anne Bounias-Delacour



Eresus sandaliatus MÂLE

© Anne Bounias-Delacour



Buthus occitanus FEMELLE PORTANT SES PETITS

© Anne Bounias-Delacour

ARAIGNÉES

Les araignées font tristement partie des animaux mal aimés ! Souvent, elles provoquent des réactions de dégoût et la crainte de la morsure nous effraie. Pourtant, aucun cas de décès n'a jamais été recensé en France suite à une morsure d'araignée (et ces cas restent très rares à l'échelle du globe). Ces animaux ne sont jamais agressifs et ne mordent l'Homme que lorsqu'ils se sentent menacés, dans une attitude défensive.

Parmi la grande diversité d'espèces d'araignées, rares sont celles qui vivent dans le sol en France. Toutefois quelques espèces vivent en terrier. En Provence, elles sont réparties en quatre familles (les atypidés, les érésidés, les némésidés et quelques lycosidés).

Ces araignées sont plutôt de grande taille (3 cm pour le corps de *Lycosa tarantula* – la tarentule), elles creusent toutes des terriers d'une dizaine jusqu'à une cinquantaine de centimètres dans le sol.

Ces araignées sont des prédateurs dans l'écosystème. Leur mode de chasse est l'affût au sol et non pas sur une toile aérienne régulière comme certaines familles d'araignées. Cachées, elles attendent le passage de petits animaux à proximité de leur terrier et sont capables de se déplacer très rapidement pour les attraper et les immobiliser avec une morsure. Elles restent souvent à proximité, à l'entrée ou dans la partie aérienne de leur terrier, tapissé totalement ou pour partie de soies formant une toile en tube. Les atypidés particulièrement, comme *Atypis affinis* ou *Atypis piceus*, tissent une chaussette de soie qui dépasse sur quelques centimètres au-dessus du sol mais est profonde de 20 à 30 cm sous terre.

Ces araignées régulent ainsi les populations d'insectes du sol ou se déplaçant sur la surface, ainsi que celles des petits myriapodes, participant ainsi à l'équilibre de l'écosystème.

SCORPIONS

Les scorpions ne sont pas des insectes mais des chélicérates de la classe des arachnides (comme les araignées), facilement reconnaissables à leur paire de pinces à l'avant du corps ainsi qu'à leur queue terminée par un aiguillon venimeux. Ce sont des prédateurs dans l'écosystème : avec leur aiguillon ils piquent leurs proies (iules, coléoptères, cloportes, scolopendres...) dont ils régulent les populations.

Trois espèces de scorpions sont présentes dans les Bouches-du-Rhône dont *Buthus occitanus*, qui est une espèce des milieux très secs et dont la femelle creuse dans le sol une niche, souvent sous une pierre. Le corps de *Buthus occitanus* mesure entre 7-8 cm, soit environ 12 cm avec la queue. Cette espèce peut vivre une trentaine d'années.

PSEUDOSCORPIONS

De morphologie semblable aux scorpions, mais sans queue munie d'une vésicule de venin, les pseudoscorpions sont moins connus que leurs cousins et très difficiles à observer. En effet, ils sont très petits et font partie de la mésofaune (animaux de taille comprise entre 0,2 mm et 4 mm).

Les études sur ce groupe sont rares, mais une dizaine d'espèces a pu être recensée dans les Bouches-du-Rhône (Delfosse E. 2003. *Catalogue préliminaire des Pseudoscorpions de France métropolitaine*, Bulletin de Phyllie n°17), dont *Chthonius cephalotes* (mais il y a certainement bien plus d'espèces présentes sur le territoire).

Les pseudoscorpions sont des animaux abondants dans le sol et jouent le rôle de prédateurs pour la mésofaune. Leurs pinces contiennent un venin (non dangereux pour l'Homme) et permettent au pseudoscorpion d'immobiliser sa proie (des acariens, collemboles, larves et œufs d'insectes...).



PSEUDOSCORPION
(*Chelifer* sp.)

© Richard Frèze

ACARIENS

Les acariens du sol (qui ne sont pas les mêmes que ceux se développant dans nos maisons par exemple) présentent une incroyable diversité d'espèces et sont présents en très grande quantité ! Un mètre carré de sol très riche peut compter jusqu'à 600 000 individus ! Très petits (dixième de millimètre) ou bien mesurant plusieurs millimètres voire un centimètre (par exemple les tiques, qui sont des acariens parasites passent une partie de leur cycle de vie dans le sol), les espèces d'acariens se répartissent entre mésofaune et macrofaune.

Les acariens ne remplissent pas tous le même rôle dans l'écosystème. Certains se situent dans la catégorie des organismes décomposeurs (acariens fongivores et détritivores) et participent à la décomposition et au recyclage de la matière organique du sol (par exemple *Trombidium holosericeum* – trombidion soyeux). D'autres acariens sont des prédateurs et consomment collemboles, bactéries, autres acariens... du sol, avec pour certaines espèces un comportement parasitaire, comme par exemple la tique *Dermacentor reticulatus*, que l'on trouve fréquemment dans la litière à la recherche d'un hôte.

Les acariens sont un maillon essentiel de l'écosystème sol.



TROMBIDION SOYEUX
(*Trombidium holosericeum*)

© Shutterstock



DERMACENTOR RETICULATUS

© Anne Bounias-Delacour



ARMADILLE OFFICINAL
(*Armadillo officinalis*)

© Daniel Pavon



Platyarthrus sp.

© Daniel Pavon



COLLEMBOLE
(*Monobella grassei*)

© Richard Frèze

CRUSTACÉS TERRESTRES

Les crustacés sont des arthropodes dont le corps est protégé par une carapace plus ou moins rigide. Si ce nom évoque facilement certains animaux marins (crabe, crevette, langouste...), les espèces terrestres sont moins connues, notamment les cloportes dont de nombreuses espèces sont présentes dans les Bouches-du-Rhône.

Au sein des cloportes, certaines espèces vivent dans le sol, à différentes profondeurs. Certaines espèces, dites épigées, vivent en surface du sol, notamment dans la litière. C'est par exemple le cas d'*Armadillo officinalis* – armadille officinal.

D'autres espèces, dites endogées, vivent plus en profondeur, à l'abri de la lumière et présentent généralement des couleurs moins vives (voir la page 354 de Johanet A., Kabouche B. 2019. *La faune des Bouches-du-Rhône*. Biotope éditions, Mèze). Parmi les cloportes endogés, nous pouvons noter *Haplophthalmus danicus* ou bien les espèces du genre *Platyarthrus* (ces dernières vivent dans les fourmilières).

Les cloportes du sol sont des décomposeurs et participent à la dégradation et au recyclage de la matière organique.

Ils ont la particularité de se rouler en boule lorsqu'ils se sentent menacés !

PANCRUSTACÉS

Vaste sous-phylum que les pancrustacés ! Vous en connaissez déjà : en effet, les insectes font partie des pancrustacés, tout comme le groupe des collemboles, moins connus mais extrêmement abondants et essentiels à l'écosystème sol.

COLLEMBOLES

Parmi la formidable diversité d'animaux difficiles à observer à l'œil nu, intéressons-nous aux collemboles.

Plus de 8000 espèces de collemboles sont connues dans le monde et les spécialistes estiment que plus d'un millier est observable en France.

Trois paires de pattes ... mais les collemboles ne sont pas des insectes ! Ils forment un Ordre à part entière dans la classe des Hexapodes (animaux à six pattes).

Les espèces de collemboles présentent une très grande variabilité de formes, tailles, couleurs...



LE SAVIEZ-VOUS ?

De nombreux collemboles sont dotés d'une furca : il s'agit d'un organe situé sous l'abdomen, caractéristique de la classe des collemboles, en forme de fourche (d'où le nom « furca »), permettant à l'animal de se déplacer en sautant.

© Anne Bounias-Delacour



La diversité morphologique des collemboles leur permet de vivre dans des milieux très différents : certaines espèces sont aquatiques, d'autres peuvent vivre dans des milieux aux conditions extrêmes... et certaines espèces ont fait du sol leur habitat.

D'après *Planète Collemboles, la vie secrète des sols* (Jérôme Cortet & Philippe Lebeaux, 2015, Biotopie éditions) certaines espèces vivent dans la végétation et à la surface du sol (espèces dites épi-édaphiques), dans la litière (espèces hémi-édaphiques) ou en profondeur (espèces eu-édaphiques).

Les collemboles, en association avec d'autres espèces, consomment la matière organique morte ou certains micro-organismes (champignons, bactéries, micro-algues...) et participent ainsi au recyclage du carbone et des nutriments dans le sol : ils font partie des décomposeurs et sont ainsi acteurs de la fertilité des sols.

Espèces essentielles au bon fonctionnement de l'écosystème sol, les collemboles sont utilisés par les scientifiques comme bio-indicateurs de la qualité des sols : la présence, l'absence et la santé des collemboles permettent de renseigner l'état d'un sol et d'en évaluer les altérations. De nombreux travaux de recherche analysent les réactions de populations de collemboles soumises à des concentrations variables de polluants (métaux lourds ou pesticides par exemple). Ces études permettent ainsi, par extrapolation, d'estimer la qualité d'un sol au regard de l'état des populations de collemboles qui y vivent.

INSECTES

Parmi tous les insectes qui côtoient le sol, certains n'y vivent que pour une partie de leur cycle biologique (voir le paragraphe en page 41) et d'autres y passent toute leur vie. Les exemples sont nombreux.



COLLEMOLES (diverses espèces)

© Shutterstock



COLLEMOLE

© Jean-Claude Tempier



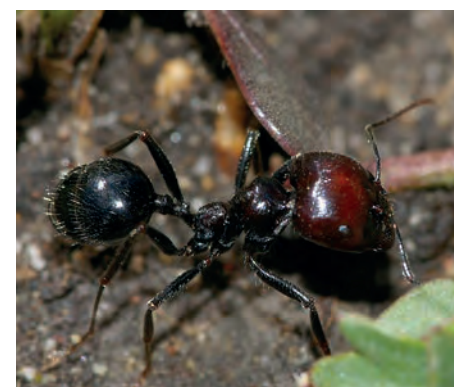
STAPHYLIN ODORANT
(*Ocypus olens*)

© Jean-Claude Tempier



COURTILIÈRE PROVENÇALE
(*Grylotalpa septemdecimchromosomica*)

© Jean-Claude Tempier



FOURMI MOISSONEUSE
(*Messor barbarus*)

© Daniel Pavon



FOURMIGRIL

© Jean-Claude Tempier

Les insectes du sol présentent une très grande diversité de formes, couleurs et tailles (du millimétrique au géant du sol mesurant une dizaine de centimètres !) et ce parfois au sein d'une même famille.

C'est le cas des staphilins qui sont une famille de coléoptères (insectes possédant deux paires d'ailes, dont une paire rigide appelée « élytres ». Les coccinelles, par exemple, sont des coléoptères), dont le corps est généralement allongé. Certaines espèces sont millimétriques comme *Gynotyphlus perpusillus* (voir photographie en page 44). D'autres mesurent plusieurs centimètres comme le staphylin odorant – *Ocypus olens* (environ 3 cm) : ce prédateur du sol redresse son abdomen en cas de danger et sécrète alors un liquide malodorant dont il tire son nom.

Parmi les géants du sol, les espèces de courtilières (par exemple, la courtilière provençale - *Grylotalpa septemdecimchromosomica*), omnivores creusant des galeries dans le sol, peuvent atteindre 10 cm de long !

Cependant, impossible d'évoquer les insectes du sol sans parler des fourmis.

Les fourmis forment une famille à part entière parmi les insectes et vivent en grandes colonies de plusieurs dizaines de milliers d'individus (les fourmilières) organisées et hiérarchisées. Comme chez les abeilles, les reines fourmis sont à la tête de la colonie et les ouvrières se répartissent les tâches nécessaires au bon fonctionnement de la société (notamment selon leur âge). Les mâles fourmis interviennent au moment de la reproduction afin de féconder les futures reines.

De très nombreuses espèces de fourmis sont répertoriées dans les Bouches-du-Rhône. Comme les vers de terre, les fourmis sont des ingénieurs du sol : elles creusent des galeries, aèrent le sol, accumulent de la matière organique au niveau de leur nid (réserves de nourriture enterrées). Elles créent des micro hotspots de biodiversité qui améliorent la qualité du sol (structure, fertilité), ce qui a un impact positif sur les communautés végétales et animales qui vont pouvoir s'y développer. Les fourmis sont ainsi un maillon essentiel de l'écosystème et peuvent être utilisées dans certaines situations de restauration écologique. C'est par exemple le cas de l'espèce *Messor barbarus*, communément appelée fourmi moissonneuse, principalement granivore (se nourrit de graines). Retrouvez cette espèce en page 54 de ce livret, dans le cadre de la restauration écologique de la plaine de la Crau.

Certaines espèces dites myrmécophiles vivent en association avec les fourmis : c'est le cas du fourmigril (diverses espèces) qui se rencontre parfois sous les pierres ou dans les fourmilières.

De par leur incroyable diversité, les insectes occupent de nombreux rôles dans l'écosystème sol.

MYRIAPODES

Les myriapodes se distinguent des autres arthropodes par un nombre très important de paires de pattes, qui leur vaut couramment le nom de « mille-pattes ». Ce sous-phylum présente une très grande diversité de tailles (de quelques millimètres à une dizaine de centimètres selon les espèces !), de formes... pour des rôles dans l'écosystème sol également très variés.

Il existe deux classes de myriapodes : les chilopodes (par exemple les scolopendridés et les géophilomorphes), qui n'ont qu'une paire de pattes par métamère et les diplopoïdes (par exemple les gloméridés et les iulidés) qui ont deux paires de pattes par métamère (voir la page 325 de Johan et A., Kabouche B. 2019. *La faune des Bouches-du-Rhône*. Biotope éditions, Mèze). En voici quelques exemples.

CHILOPODES

Parmi les myriapodes chilopodes, intéressons-nous à *Scolopendra cingulata* – la scolopendre méditerranéenne annelée. Il s'agit d'une espèce impressionnante par sa taille (quinzaine de centimètres, un géant parmi la faune du sol !), plutôt nocturne, capable de creuser des galeries dans le sol et de se déplacer très rapidement pour chasser ses proies (cloportes, grillons, araignées...). La scolopendre est dotée de crochets venimeux avec lesquels elle mord ses proies. Si vous rencontrez cette espèce, n'essayez pas de l'attraper : la morsure de la scolopendre méditerranéenne est très douloureuse.

DIPLOPODES

Parmi les myriapodes diplopoïdes, certains se placent en tant que décomposeurs dans l'écosystème sol. C'est le cas de *Glomeris marginata* – glomeris marginé et d'*Ommatoiulus sabulosus* – iule des sables qui sont morphologiquement des espèces très différentes.

Le glomeris marginé ressemble à s'y méprendre à un cloporte (voir page 35, mais il s'agit bien d'un myriapode (en cas de doute, regardez les pattes ! Glomeris marginé possède plus de pattes que les cloportes et elles sont organisées en double paires par segment), capable de se rouler en boule en cas de danger. Il s'agit d'un grand consommateur de feuilles mortes, qui affectionne particulièrement les environnements humides et les sols calcaires.

L'iule des sables (dont la plus commune en Provence est l'espèce *Ommatoiulus sabulosus aimatopodus* – iule noir des sables) est plus facilement identifiable comme étant un myriapode : cette espèce présente une succession de segments sombres bruns ou noirs avec un corps très allongé, mesurant environ 5 cm de long et présente de très nombreuses petites pattes. L'espèce s'enroule en spirale lorsqu'elle se sent menacée. Elle se nourrit de feuilles mortes et de bois en décomposition.

Le glomeris marginé et l'iule des sables contribuent à la décomposition de la matière organique dans le sol et ainsi aux processus de formation de l'humus.



SCOLOPENDRE MÉDITERRANÉENNE ANNELÉE (*Scolopendra cingulata*)

© Jean-Claude Tempier



GLOMERIS MARGINÉ (*Glomeris marginata*)

© Daniel Pavon



IULE

© Jean-Claude Tempier



LIMACE LÉOPARD (*Limax maximus*)

© Jean-Claude Tempier



ŒUFS DE LIMACE LÉOPARD

© Shutterstock



GRANDE LOCHE (*Arion rufus*)

© Jean-Claude Tempier

MOLLUSQUES

Les mollusques sont des animaux invertébrés pouvant ou non être pourvus d'une coquille. Leur corps est mou et divisé en trois parties à savoir la tête, le pied et la masse viscérale.

Les mollusques présentent une grande variété de morphologies et colonisent de nombreux écosystèmes sur la planète. On trouve ainsi des mollusques aquatiques (comme la moule, la pieuvre...) mais également des mollusques terrestres.

Ces derniers appartiennent à la classe des gastéropodes (« ventre-pied » selon l'étymologie grecque du mot) et regroupent notamment les escargots et les limaces, qui apprécient particulièrement les milieux humides.

En Provence, il est possible de rencontrer une limace dont les motifs ne laissent pas indifférent : la limace léopard (*Limax maximus*) est une grande limace mesurant environ 13 cm de long. Cet animal est nocturne, son corps est entièrement tacheté (d'où son nom). Elle se montre généralement au moment des averses ou en périodes humides, en forêt, au bord des cours d'eau ou dans les jardins.

La limace léopard peut vivre jusqu'à trois ans. Elle est hermaphrodite (à la fois mâle et femelle) et peut pondre une centaine d'œufs après l'accouplement, en été. Les œufs sont déposés au sol, parfois cachés sous un bout de bois mort.

Lorsque les températures se rafraîchissent à l'automne, la limace léopard s'enterre dans le sol et hiberne jusqu'au retour des beaux jours.

Souvent haïes des jardiniers qui cherchent à les éliminer, les limaces ne s'attaquent pas toutes à nos potagers !

La limace léopard peut adopter un comportement de prédateur et chasser d'autres espèces de limaces. Cette espèce omnivore peut également adopter un comportement détritivore : elle consomme la matière organique morte en décomposition. Elle participe ainsi au recyclage de la matière organique de la litière, en jouant le rôle de décomposeur.

D'autres espèces de limaces contribuent également au recyclage de la matière organique, comme la grande loche (*Arion rufus*) qui ne consomme pas seulement la matière végétale fraîche, mais peut également se nourrir d'animaux morts au sol.

NÉMATODES

Les nématodes, généralement peu connus du grand public, représentent un phylum à part entière constitué de nombreuses espèces de vers ronds microscopiques non segmentés (contrairement aux annélides par exemple, voir pages 30-31).

Les nématodes peuvent se développer dans de nombreux milieux sur Terre. Ils sont si abondants que les spécialistes estiment que près de 4/5 des métazoaires (clade des animaux pluricellulaires, dont les cellules possèdent un noyau et se nourrissent de matières organiques) de la planète sont des nématodes !

Pas étonnant qu'ils soient également très abondants dans le sol, avec plus d'un million d'individus dans un mètre carré de sol.

Les nématodes du sol sont tous très petits (moins d'un millimètre de long et 20 µm de diamètre) et vivent plutôt dans les 30 premiers centimètres du sol (là où la matière organique est la plus abondante). Près de 13 000 espèces de nématodes vivant dans le sol sont recensées en France.

Ils s'organisent en quatre groupes fonctionnels, selon leur régime alimentaire. Le sol abrite ainsi trois groupes de nématodes libres (c'est-à-dire non parasites) qui sont tous favorables au fonctionnement biologique du sol : des nématodes bactérivores (qui se nourrissent de bactéries), des nématodes fongivores (qui se nourrissent de champignons) et enfin des nématodes prédateurs (généralement plus gros, se nourrissant de protozoaires, d'autres petits organismes de la microfaune et même de nématodes). Le dernier groupe est constitué des nématodes phytophages, des nématodes qui sont parasites des plantes d'après la *Fiche explicative - analyse de la nématofaune du sol*, ELISOL environnement, 2019. Considérés à juste titre comme des nuisibles, les nématodes phytophages peuvent dans certains cas causer des dégâts aux cultures en s'attaquant aux racines des plantes. En agriculture, des solutions agro-écologiques peuvent être appliquées, notamment basées sur la diversité végétale et la rotation des cultures (en remplacement des nématicides chimiques maintenant pour la plupart interdits en raison de leur toxicité), afin de limiter la prolifération des phytoparasites les plus agressifs.

Par ailleurs, la nématofaune du sol (qui est donc constituée de l'ensemble des nématodes du sol) est un bon bio-indicateur de l'état de l'écosystème sol (comme les collemboles, voir pages 35-36). Un déséquilibre dans les populations de nématodes indique un déséquilibre dans le fonctionnement du sol. La connaissance de l'abondance et de la composition des différentes populations de nématodes présentes sur un site permet de faire un diagnostic du sol. L'étude de la nématofaune est ainsi très utile pour évaluer l'état des sols, dans les milieux agricoles mais également dans le contexte des sites et sols pollués.



PIÈCES BUCCALES D'UN NÉMATODE PRÉDATEUR

© Cécile Villenave



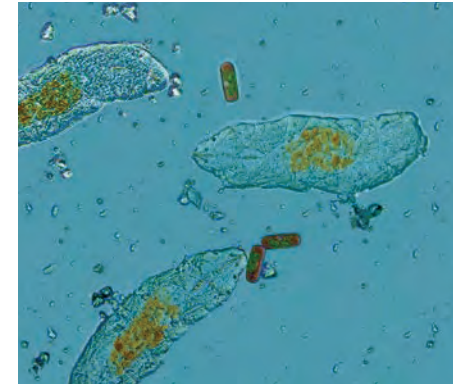
NÉMATODE BACTÉRIVORE

© Cécile Villenave



DÉTAIL DE NÉMATODE PHYTOPHAGE

© Cécile Villenave



TARDIGRADES

© Shutterstock



LARVE DE CIGALE DE L'ORNE (Cicada orni)

© Jean-Claude Tempier



CAMPAGNOL PROVENÇAL (Microtus duodecimcostatus)

© Jean-Claude Tempier

AUTRES HABITANTS DU SOL

Tardigrades, protozoaires (des animaux unicellulaires, très simples)... sont des habitants du sol et d'autres écosystèmes de la planète. De par leur taille très petite (de l'ordre du micromètre pour les protozoaires, de l'ordre du millimètre pour les plus grands tardigrades), ils sont peu connus et peu étudiés. Ils participent cependant à la vie du sol où ils sont très abondants.

LES ESPÈCES QUI NE PASSENT QU'UNE PARTIE DE LEUR CYCLE DE VIE DANS LE SOL

Si le sol est le terreau de vie de nombreuses espèces végétales qui y poussent et s'y enracinent, c'est également le berceau et la nurserie de nombreuses espèces que nous n'imaginons pas passer une partie de leur cycle de vie sous nos pieds.

C'est le cas des cigales *Cicada orni* – cigale de l'orne et *Lyristes plebejus* – cigale commune qui, avant d'obtenir leur forme ailée, passent plusieurs années sous le sol (de 2 à 10 ans, selon les conditions climatiques et la disponibilité des ressources alimentaires) à proximité de racines dont elles prélèvent la sève. La larve de cigale y grandit et y mue, pour se changer en nymphe qui sortira du sol au mois de juin d'une année favorable, pour y réaliser sa métamorphose en adulte ailé. L'adulte ne vivra pas plus d'un mois et demi, durant lequel il cherchera un partenaire pour se reproduire et assurer la continuité de l'espèce.

De nombreuses espèces, parfois bien plus grandes (mégafaune) entretiennent également un lien étroit avec le sol, qu'il soit utilisé comme lieu de ponte (pour de nombreuses espèces de serpents ou lézards par exemple, ou encore les espèces d'abeilles terricoles) ou lieu de refuge (terrier de nombreux rongeurs, ...). Le campagnol provençal - *Microtus duodecimcostatus*, par exemple, creuse des galeries sous le sol, où il va pouvoir se déplacer à l'abri des prédateurs et se nourrir de racines et tubercules. Autre exemple : l'orvet fragile – *Anguis fragilis* (photographie en page 45), qui est un lézard sans pattes, s'enfouit dans le sol pour hiverner et passer la mauvaise saison.

CHAMPIGNONS

Plus d'un million de champignons peuvent être recensés dans un gramme de sol ! Certains sont microscopiques (les micromycètes), d'autres macroscopiques (les macromycètes) : ils remplissent des rôles essentiels dans le fonctionnement de l'écosystème. Selon les espèces, les champignons peuvent être parasites (et ainsi réguler les populations de certaines plantes, insectes, etc...) ou bien décomposeurs (les champignons saprophytes, soit les champignons consommateurs de matière organique morte, qui jouent le rôle « d'éboueurs » du sol).

Lorsque nous pensons aux champignons, c'est particulièrement le carpophage (le « chapeau » du champignon) qui vient à l'esprit : il n'est en réalité que l'appareil reproducteur des macromycètes. L'essentiel du champignon se trouve caché dans le sol, sous forme d'un réseau de filaments fongiques, nommé mycélium. Le mycélium s'étend sur des dizaines de kilomètres (voire centaines de kilomètres !), en forêt par exemple ; il permet aux champignons de se nourrir et les relie aux plantes dans un réseau d'échanges et de communication.

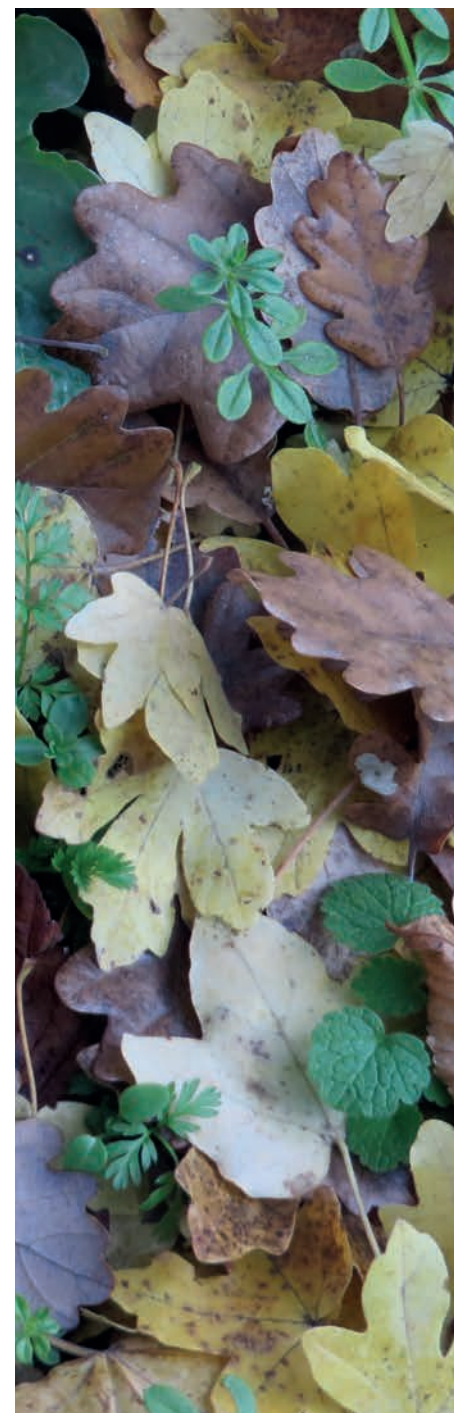
Via le mycélium, certains champignons participent à « nettoyer » le sol des déchets organiques. Parmi les champignons saprophytes (qui consomment la matière organique morte), les espèces de Pourriture blanche sont très intéressantes : elles sont responsables du blanchiment des feuilles mortes. Capables de s'attaquer à la lignine du bois mort (molécule très complexe à décomposer), elles sont ainsi très importantes dans les processus de décomposition de matériaux végétaux rigides. D'autres espèces de pourritures, dites les Pourritures brunes, sont capables de décomposer la cellulose, qui est une molécule essentielle dans la matière organique végétale.

Ces champignons participent au processus d'humification (voir page 11 pour plus de détails), permettant de constituer un stock de carbone issu de la décomposition de la matière organique dans le sol. Ils réalisent également la minéralisation d'une partie de la matière organique, en composés directement absorbables par les plantes (et augmentent ainsi la fertilité du sol), en association avec les bactéries du sol.

Enfin, sous nos pieds se déroule une formidable symbiose entre plantes et champignons appelée mycorhize. Dans une association mycorhizienne, le champignon communique avec son hôte au niveau des racines et lui fournit des éléments nutritifs. L'association mycorhizienne augmente les capacités d'absorption de l'eau par la plante, car le champignon forme une ramification au niveau des racines, permettant au végétal de prospecter une surface plus grande. De plus, le champignon est capable de décomposer les matières organiques complexes de l'humus et de les rendre disponibles pour la plante. En échange de ces éléments nutritifs, la plante fournit au champignon la matière organique qu'elle a fabriquée ainsi que des vitamines. On estime que près de 90 % des plantes sur terre sont mycorhiziennes. Les mycorhizes relient ainsi plantes et champignons mais également les plantes entre elles : le mycélium permet par exemple aux arbres de communiquer (via des signaux chimiques dans le sol) et de coopérer (en échangeant des nutriments), en faisant transiter les informations à travers les filaments fongiques. Un véritable réseau internet sous nos pieds !



MYCÉLIUM
© Shutterstock



LITIÈRE DE CHÊNE BLANC ET ÉRABLE
EN DÉCOMPOSITION
© Nastasia Camberoque

BACTÉRIES

Nous ne les voyons pas, pourtant elles sont partout et notamment sous nos pieds : un gramme de sol peut contenir jusqu'à un milliard de bactéries !

Ces organismes, dont la taille est de l'ordre du micromètre, présentent une grande diversité morphologique selon les espèces et une grande diversité de métabolismes (le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent à l'intérieur d'un être vivant). Certaines bactéries ont besoin d'oxygène pour vivre et respirer. D'autres peuvent s'en passer. Certaines bactéries sont capables d'assimiler les composés minéraux en réalisant la photosynthèse, tandis que d'autres se nourrissent de composés organiques.

Cette grande diversité de fonctionnement donne aux bactéries une place clé et polyvalente dans l'écosystème sol.

Les bactéries jouent en effet un rôle très important de décomposeur des matière végétale et animale mortes, qu'elles vont consommer en libérant dans le milieu des enzymes. Ces protéines vont permettre de dégrader les molécules organiques (les molécules les plus complexes sont cependant plus souvent consommées par les champignons) en molécules plus petites.

Certaines bactéries participent, avec les champignons, au processus d'humification (voir page 11 pour plus de détails), permettant de constituer un stock de carbone issu de la décomposition de la matière organique dans le sol. D'autres vont permettre la minéralisation d'une partie de la matière organique en composés directement absorbables par les plantes (elles augmentent ainsi la fertilité du sol). Certaines bactéries sont capables de s'associer en symbiose avec les légumineuses (trèfles, luzerne, sainfoin, coronille, arbre de Judée, robinier faux acacia, genêts...) : les bactéries *Rhizobium* s'installent ainsi dans les racines au niveau de nodosités. Elles sont capables d'assimiler l'azote atmosphérique et de le transformer en molécules azotées utiles à la croissance de la plante, qui en échange fournit aux bactéries des molécules carbonées. Cette association plante-bactéries va permettre la croissance des végétaux dans des milieux pauvres en azote, en augmentant grâce à l'action bactérienne la fertilité du milieu.

Les bactéries jouent ainsi un rôle essentiel dans le cycle des éléments dans le sol.

Elles restent encore cependant peu connues des scientifiques, qui peuvent analyser les colonies bactériennes du sol en réalisant des cultures de bactéries (mais toutes les bactéries ne sont pas cultivables) ou en réalisant des extractions puis analyse de l'ADN des bactéries du sol (mais les bactéries les moins représentées sont alors difficilement repérables). Dans ce domaine d'études, il reste encore beaucoup à découvrir !



Microscoclex phosphoreus
Cœur du parc de Port Cros - mars 2020
© Thibaud Decaëns



Scheotheca gigas
© Yvan Capowiez



***Eresus kollari* mâle**
© Anne Bounias-Delacour



PERCE-OREILLE sp.
© Jean-Claude Tempier



PERCE-OREILLE sp.
© Jean-Claude Tempier



**SCUTIGÈRE VÉLOCE
(*Scutigera coleoptrata*)**
© Jean-Claude Tempier



Camponotus cruentatus
© Daniel Pavon



**GLOMERIS À TÂCHES FAUVES
(*Glomeris guttata*)**
© Jean-Claude Tempier



**GRILLON CHAMPÊTRE
(*Gryllus campestris*)**
© Jean-Claude Tempier



**LOCHE PROVENÇALE
(*Deroceras chevallieri*)**
© Jean-Claude Tempier



**CIGALE PLÉBÉIENNE
(*Lyristes plebejus*)**
© Anne Bounias-Delacour



LARVE DE COLÉOPTÈRE
© Jean-Claude Tempier



Gynotyphlus perpusillus
© Christian Perez



MYRIAPODE GÉOPHILE
© Jean-Claude Tempier



Paramaurops abeillei
© Philippe Ponel



**LARVE DE LUCANE
(*Lucanus cervus*)**
© Jean-Claude Tempier



LARVES DE CICADELLES sp.
© Jean-Claude Tempier



**ORVET FRAGILE
(*Anguis fragilis*)**
© Jean-Claude Tempier



LES **SERVICES** RENDUS PAR LE SOL

QUE SONT LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Apparue à la fin du XX^e siècle, la notion de service écosystémique a été largement diffusée depuis le Millennium Ecosystems Assessment (MEA) ou Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire (EM) en 2005 : il s'agit des bénéfices que l'Homme peut tirer du fonctionnement des écosystèmes.

Les services écosystémiques sont classiquement répartis en quatre catégories :

- Les services de support ou fonctions écologiques : il s'agit des processus en jeu lors du fonctionnement de l'écosystème. Ces services, étroitement liés au bon état écologique de l'écosystème, conditionnent l'existence des autres services écosystémiques
- Les services d'approvisionnement : ils correspondent à la production de biens par l'écosystème.
- Les services de régulation : il s'agit des services de contrôle des risques et processus naturels.
- Les services culturels : ils correspondent aux biens immatériels produits par les écosystèmes.

Le sol des Bouches-du-Rhône s'illustre dans chacune de ces catégories de services écosystémiques. En voici quelques exemples, non exhaustifs.



L'EAU DE PLUIE S'INFILTRE DANS LE SOL

© Shutterstock

LE SOL RÉGULE, FILTRE ET ÉPURE LES EAUX

Une partie de l'eau de pluie, d'irrigation... pénètre dans le sol et circule via les porosités. L'eau qui circule dans les microporosités du sol servira de réservoir pour les plantes. L'eau qui circule dans la macroporosité peut être restituée à l'atmosphère par évaporation, mais une partie peut également s'infiltrer lentement en profondeur puis ressortir après un temps plus ou moins long à l'air libre dans différents milieux : zones humides, cours d'eau ...

Lors de son lent passage à travers les horizons du sol, avant de rejoindre éventuellement une nappe phréatique, l'eau va être filtrée par le sol et ses organismes vivants, ce qui va limiter le transfert de polluants vers la nappe et enrichir l'or bleu en minéraux.



RÉCOLTES DE LA TERRE - © Christian Rombi - Département 13

NOURRIR LES HOMMES

Il semble si facile de trouver notre nourriture en ouvrant la porte du réfrigérateur que nous oublions parfois que c'est de la terre que provient directement ou indirectement une grande partie de notre alimentation.

En remontant le cours de l'histoire, après des milliers d'années à se nourrir par la chasse, la pêche et la cueillette, l'Homme développe l'agriculture il y a 10 000 ans en Mésopotamie. Il exploite les sols depuis 10 millénaires afin de se nourrir et la situation reste inchangée à notre époque moderne.

D'après la base de données AGRESTE (étude n°112 - Décembre 2019 - L'agriculture, l'agroalimentaire et la forêt dans les Bouches-du-Rhône), 139 000 ha de sols sont à vocation agricole, soit 26 % de la superficie du département. Le secteur agricole représente 9800 emplois pour un chiffre d'affaires estimé à 962 millions d'euros par an (données 2018) dans les Bouches-du-Rhône, dont 813 millions d'euros issus de la production agricole végétale. Le département est ainsi le premier producteur national de pêches, de tomates et de poires Guyot.

Le sol permet de produire des ressources alimentaires, mais également des emplois et une dynamique économique sur le territoire des Bouches-du-Rhône.

LE SAVIEZ-VOUS ?

95 % (en poids) des aliments sont produits directement ou indirectement grâce aux sols dans le monde (FAO, 2015).

LE SOL, MÉMOIRE DU PASSÉ

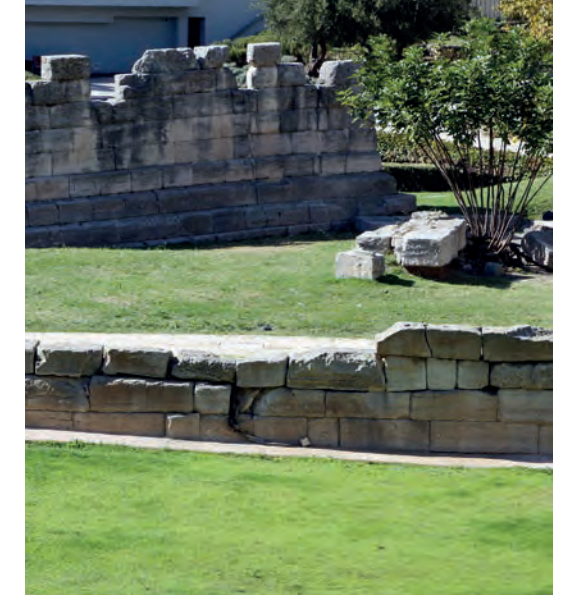
Le sol est un livre d'Histoire pour les archéologues et paléontologues : il préserve les témoignages de vies passées à l'abri des regards et des perturbations de la surface.

Le sol des Bouches-du-Rhône conserve ainsi des trésors de l'histoire humaine et de l'histoire de la vie, dont voici quelques exemples.

JARDIN DES VESTIGES, Marseille

Mis à jour en 1967 lors des travaux de construction d'un centre commercial, le jardin des vestiges situé en centre-ville de Marseille est un écho du passé grec de la ville, connue alors sous le nom de Massalia.

Le site, classé monument historique présente aux visiteurs des fortifications grecques et une partie de l'ancien port antique, qui s'étendait alors plus à l'Est et Nord-Est par rapport à l'actuel Vieux-Port de Marseille.



JARDIN DES VESTIGES

© Christian Rombi - Département 13

RÉSERVE GÉOLOGIQUE, Sainte-Victoire

L'Histoire humaine n'est pas la seule à être contée au fil des horizons du sol de Provence : l'Histoire de la vie y est également conservée et racontée à l'observateur attentif.

Le piémont de la montagne Sainte-Victoire conserve les traces fossilisées de dinosaures en Provence, disparus il y a 66 millions d'années. Une réserve nationale géologique, la Réserve naturelle de Sainte-Victoire, a été créée en mars 1994 afin de protéger du pillage ce gisement exceptionnel pour sa richesse en œufs de dinosaures.



ŒUF DE DINOSAURE

© Jean-Paul Herbecq - Département 13

LE SAVIEZ-VOUS ?

Depuis 2015, une dizaine de squelettes fossilisés, plus ou moins complets, de *Rhabdodon* ont été découverts dans la Réserve naturelle de Sainte-Victoire. Ce dinosaure herbivore vivait sur le territoire il y a près de 74 Ma. Le *Rhabdodon* mesurait près de 4 mètres de long et 1,8 mètre de haut.



REPRÉSENTATION DE RHABDODON - © Thierry Tortosa



MINERAI DE BAUXITE

© Shutterstock

LE SOL PRODUIT DES MATÉRIAUX

Depuis des millénaires, le sol fournit à l'Homme des matériaux de construction (terre, argile, granulats, pierres), des combustibles et des matériaux pour l'industrie.

La bauxite est un exemple de matériaux issus du sol exploités dans les Bouches-du-Rhône. Il s'agit d'une roche sédimentaire riche en oxyde d'aluminium (alumine), dont on extrait de l'aluminium, utilisé en industrie à haute valeur ajoutée.

Le premier gisement de bauxite a été découvert en 1821 par Pierre Berthier, ingénieur des Mines, à proximité du village des Baux-de-Provence (Bouches-du-Rhône) qui a donné son nom à la roche. Les Bouches-du-Rhône possèdent 5 % du gisement national de bauxite, qui est encore exploitée de nos jours.

LE SOL, UN ALLIÉ DANS LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), « les sols jouent un rôle majeur dans les cycles biogéochimiques mondiaux du carbone. Ils y représentent le 3^e puits de carbone et en contiennent environ 1 600 milliards de tonnes (jusqu'à un mètre de profondeur) contre 650 pour la végétation. »

(<https://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/chiffres-cles-observations/dossier/qualite-sols/sols-changement-climatique>).

Géré de façon durable ou non perturbé par des activités anthropiques trop intensives, un sol stocke plus de carbone que ce qu'il en relâche dans l'atmosphère (sous forme de CO₂ issu de la respiration des racines et organismes du sol). Ce mécanisme de stockage en fait un bon allié dans la lutte contre le changement climatique... mais encore faut-il prendre soin du sol pour que ce service soit assuré !

Par ailleurs, le sol régule l'humidité et la température du microclimat, en particulier entre le jour et la nuit. Il limite ainsi les îlots de chaleur urbains (voir page 55).



LE SOL, PUIITS DE CARBONE ?

© Shutterstock

LE SAVIEZ-VOUS ?

L'initiative mondiale « 4 pour 1000 » lancée en 2015 par le ministère de l'Agriculture a pour but de favoriser la séquestration de carbone dans les sols tout en augmentant les rendements agricoles et donc lutter contre la faim. Augmenter de 0,4 % (soit les fameux 4 pour 1000) par an la capacité de stockage des sols permettrait de compenser l'ensemble des émissions de CO₂ de la planète.

RÉSERVOIR DE BIODIVERSITÉ

Nous l'avons vu en partie III de ce livret : le sol abrite une diversité incroyable d'organismes qui en font un milieu riche et vivant ! Afin d'imaginer cette diversité, notons que plus de 25 % des espèces de la planète vivent dans les sols (Blanchart, 2010)

D'après le ministère de la Transition Écologique et Solidaire, un sol contient plusieurs milliers d'espèces animales et plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d'espèces de micro-organismes comme les bactéries ou champignons (<http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/sol-biodiversite.htm>).

Ces espèces protègent et enrichissent le sol, de multiples façons. Leur activité biologique permet le recyclage de la matière organique : les organismes du sol décomposent la matière organique morte au sol, les déchets naturels et humains. Sans ces organismes, les déchets s'accumuleraient à la surface du sol, et le recyclage des éléments nutritifs n'aurait plus lieu, rompant ainsi l'équilibre des écosystèmes.

Les organismes du sol le rendent également fertile en maintenant une porosité intéressante pour les échanges gazeux et liquides dans le sol (le ver de terre en est un parfait exemple), ce qui est essentiel pour soutenir tous les autres services écosystémiques rendus par le sol.

La biodiversité du sol a également la capacité de « soigner » un sol en mauvais état : certaines espèces ingénieuses peuvent participer activement à la réhabilitation d'un sol tassé (voir exemple en pages 64-65).

Notons que la vie du sol rend également d'autres services à l'Homme, de façon plus directe : ainsi, certains produits pharmaceutiques sont fabriqués à partir de molécules produites par les micro-organismes du sol. C'est le cas de l'antibiotique actinomycine synthétisé par certaines bactéries du groupe des actinomycètes.



ILLUSTRATION D'ACTINOMYCÈTES

© Shutterstock

EN SAVOIR +

« Les champignons se nourrissent de mort et, ce faisant, ils créent la vie »

Une belle citation à retrouver dans le documentaire de Tálás A. & Nasht S. 2017. *Au royaume des champignons – The kingdom : how fungi made our world* [Documentaire disponible en français sur Internet]. 52min. Cette réflexion peut être étendue à l'ensemble des organismes décomposeurs du sol.



UN SOL MENACÉ

LE SOL, ÉCOSYSTÈME FRAGILE

Comme illustré dans la partie précédente de ce livret, le sol assure de nombreuses fonctions essentielles à la vie et à l'équilibre des écosystèmes.

Il constitue une ressource d'autant plus précieuse qu'elle n'est pas renouvelable à l'échelle humaine : « pour former un centimètre de sol, il faut 200 ans à plusieurs milliers d'années » (ADEME, l'avenir des sols en 10 questions, page 8). Les activités anthropiques consomment ou dégradent cette ressource beaucoup trop rapidement : le sol, fragilisé et malmené, est aujourd'hui menacé à l'échelle locale comme globale.

« On estime qu'actuellement, à l'échelle mondiale, 25 % des sols sont fortement dégradés ou subissent un taux élevé de dégradation, 41 % des sols cultivés sont déjà dégradés et chaque année, ce sont 12 millions d'hectares supplémentaires de sols qui sont perdus » (FOA, 2011).

Cette partie vise à mettre en lumière une liste non exhaustive de causes menaçant l'équilibre de cet écosystème fragile.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Suite à l'approbation de l'Assemblée générale des Nations Unies en 2013, le 5 décembre est célébrée depuis 2014 la journée mondiale des sols. Plus d'une centaine de pays organisent pour l'occasion des événements, afin de mettre le sol en lumière et promouvoir une gestion durable de ses ressources. C'est l'Association française pour l'étude du sol qui organise cet événement en France tous les ans.



SOL IMPERMÉABILISÉ EN VILLE - © Jean-Paul Herbecq - Département 13

ARTIFICIALISATION, URBANISATION ET IMPERMÉABILISATION

Voici trois mots dont on pourrait penser qu'ils sont synonymes... mais pas tout à fait !

Le phénomène d'artificialisation est défini par l'observatoire des espaces naturels, agricoles et forestiers (OENAF) comme le « *changement d'état effectif d'une surface agricole, forestière ou naturelle vers des surfaces artificialisées, c'est-à-dire les tissus urbains, les zones industrielles et commerciales, les infrastructures de transport et leurs dépendances, les mines et carrières à ciel ouvert, les décharges et chantiers, les espaces verts urbains (espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain) et les équipements sportifs et de loisirs y compris les golfs. Les espaces qui subissent une artificialisation ne sont plus disponibles pour des usages tels que l'agriculture, la foresterie ou comme habitats naturels* ».

L'urbanisation correspond au phénomène de développement des villes. Quant à l'imperméabilisation, il s'agit du recouvrement du sol par un matériau, tel que le bitume, le béton, ... qui ne laisse pas l'eau s'infiltrer.

Le terme d'artificialisation est ainsi plus large que les termes d'urbanisation et d'imperméabilisation : un sol urbanisé et un sol d'imperméabilisation sont des sols artificialisés, tout comme un jardin correspond également à un sol artificialisé...

Tous les types de sols artificialisés n'ont pas le même impact sur l'environnement.

Il est difficile de connaître précisément le taux de sols artificialisés en France : les estimations varient énormément selon la méthode d'évaluation employée.

Ainsi, selon les données de la base CORINE Land Cover (élaborée par photo-interprétation d'images satellitaires), on estime que 5,6 % des sols du territoire métropolitain sont artificialisés (données 2012). Néanmoins, cette méthode prend en compte un seuil de détection : les éléments artificialisés très petits ou diffus ne sont pas repérés. Ainsi, la quantification de l'artificialisation des sols en France par CORINE Land Cover est sous-estimée.

L'enquête TERUTI-LUCAS menée chaque année par le ministère de l'Agriculture a « *pour objectif de suivre l'évolution de l'occupation et de l'usage des sols sur tout le territoire national* » (<https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/bases-donnees/teruti-lucas>). Elle permet d'estimer le taux d'artificialisation, par un échantillonnage représentatif de milliers de points de mesure puis par extrapolation des résultats à l'échelle nationale et départementale. Pour l'année 2014, l'enquête TERUTI-LUCAS estime le taux de sols artificialisés en France métropolitaine à 9,3 % soit beaucoup plus que l'estimation par la base CORINE Land Cover.

Si la valeur absolue de sols artificialisés est difficile à connaître, il est intéressant de remarquer que la tendance en France est à l'augmentation du taux d'artificialisation, mais à une vitesse qui ralentit ces dernières années : la part de sols artificialisés augmente, mais de moins en moins vite, en métropole.

Toutefois, c'est la superficie d'un département moyen qui est artificialisée tous les dix ans en France.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour évaluer l'impact de l'artificialisation d'un sol. Selon le résumé de

l'expertise scientifique collective « *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action* » (INRA et IFSTTAR, 2017) : « *Au total, les causes et conséquences de l'artificialisation des sols doivent être appréhendées en tenant compte de trois dimensions : le degré d'imperméabilisation et de perturbation subi par les sols ; leur position dans la trame et l'armature urbaine ou dans les paysages ruraux ; le type d'activités qui s'y déploient* ».



LUTTE DE LA VIE SUR UN SOL IMPERMÉABILISÉ

© Marion Agoyan



DIFFÉRENTS DEGRÉS D'ARTIFICIALISATION DU SOL

© Astrid Lanneau

DEGRÉ D'IMPERMÉABILISATION ET DE PERTURBATION

Ainsi, plus le degré d'imperméabilisation d'un sol est important et plus on a affaire à un sol « malade » : l'eau ne s'infiltré plus dans le sol qui, hermétique, ne réalise plus aucun échange gazeux, hydrique ou de matière organique ou minérale. La faune et la flore ne peuvent survivre dans ces conditions et le sol mute peu à peu en système stérile, sans vie.

Par ailleurs, l'imperméabilisation engendre d'autres conséquences en cascade. Une surface d'imperméabilisation ne peut absorber les eaux de pluie qui ruissellent alors le long des pentes. Ce ruissellement peut alors notamment accentuer le risque d'inondations.

Une autre conséquence de l'imperméabilisation des sols en ville est l'intensification du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Il s'agit de l'augmentation localisée des températures diurnes et surtout nocturnes que l'on peut observer en ville, notamment l'été, par rapport à la périphérie des villes ou dans les zones agricoles ou naturelles alentour. Les matériaux minéraux en ville, tels les murs des bâtiments ou les revêtements des sols, stockent la chaleur la journée et limitent le rafraîchissement du centre urbain la nuit. Ce phénomène a des conséquences sur le bien-être des populations citadines qui y sont confrontées et peut constituer un enjeu sanitaire important pour les personnes les plus fragiles.

POSITION DANS LA TRAME NATURELLE ET L'ARMATURE URBAINE

Par ailleurs l'artificialisation, même diffuse, peut avoir des conséquences sur la biodiversité plus importantes qu'il n'y paraît à première vue.

Prenons l'exemple d'une route revêtue située en campagne : bien que ne représentant qu'une faible surface de sol artificialisé, elle peut représenter un obstacle au passage de certaines espèces en rompant la continuité d'un corridor écologique.

Si la circulation de la faune n'est pas prise en compte lors de la conception de l'infrastructure de transport (via la construction de passages à faune par exemple), l'artificialisation des sols peut dans cet exemple constituer, de par sa position, un facteur d'érosion de la biodiversité



© Jean-Paul Herbecq - Département 13

TYPES D'ACTIVITÉS QUI OCCUPENT LE SOL

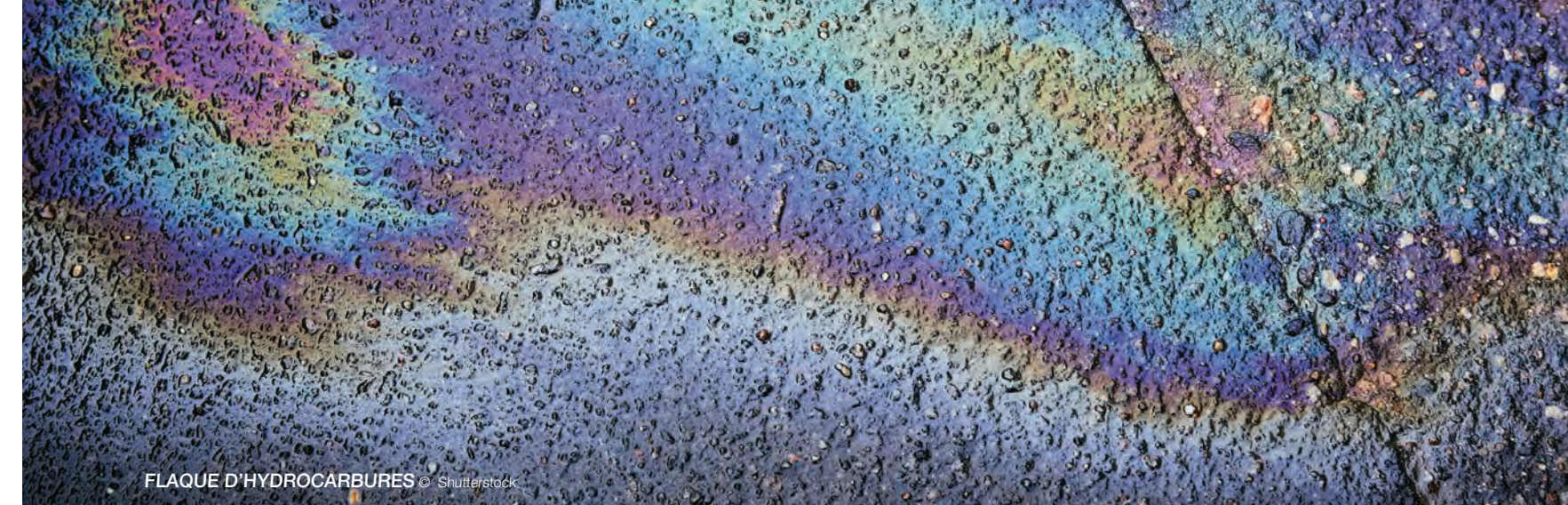
Enfin, l'artificialisation rime avec occupation du sol par des activités anthropiques qui n'auront pas toutes les mêmes conséquences pour l'environnement.

Le déploiement d'une activité industrielle peut engendrer par exemple des pollutions qui vont s'accumuler dans le sol, dérégler son fonctionnement, migrer vers l'eau souterraine et empêcher l'établissement ultérieur d'autres activités, comme des cultures, par crainte pour la santé des consommateurs.



© Shutterstock

Le paragraphe précédent présente de façon non exhaustive quelques exemples de conséquences de l'artificialisation des sols, qui est d'autant plus dommageable qu'elle est souvent irréversible. Il est très difficile de renaturer un sol artificialisé.



FLAQUE D'HYDROCARBURES © Shutterstock

POLLUTION

Le terme de pollution est facilement associé dans notre esprit à la pollution de l'air et de l'eau... mais beaucoup moins à la notion de pollution des sols. Pourtant, les conséquences sur nos sociétés d'un sol pollué sont loin d'être bénignes !

En majorité, les pollutions des sols sont liées aux activités anthropiques notamment industrielles (industrie chimique, pétrochimique, activités minières...), agricoles (dans le cas de pratiques agricoles utilisant des pesticides, engrais...) ou de services (par exemple une station essence).

Les polluants que l'on retrouve sur ces sites peuvent ainsi être des métaux lourds (plomb, zinc, arsenic, ...), des hydrocarbures, des composés pharmaceutiques, des perturbateurs endocriniens, des polluants plastiques, etc. en concentrations variées.

Ces polluants sont très tenaces et peuvent résider sur un site pendant des milliers d'années.

Ils impactent directement la biodiversité du sol, entraînant la chute de populations de certains animaux et micro-organismes qui y sont sensibles (cf l'exemple des collemboles pages 35-36) et qui ne peuvent alors plus assurer leur rôle dans l'écosystème sol : un sol peut ainsi être affaibli de façon directe par la présence de polluants.

Aussi, les pollutions peuvent être entraînées dans les milieux aquatiques superficiels et dans les eaux souterraines qui finiront dans nos verres, ou être absorbées par les plantes, puis les animaux qui les consomment... et ainsi remonter le

long de la chaîne alimentaire pour finir dans nos assiettes. **Le sol est le terreau de la vie : le polluer, c'est s'empoisonner soi-même.**

La base de données BASOL (<https://www.georisques.gouv.fr/risques/sites-et-sols-pollues/donnees#/>), mise à jour par le ministère de la Transition Écologique et Solidaire, recense en région SUD 252 sites pollués pour lesquels une action de diagnostic, évaluation ou traitement est envisagée. Cependant, de nombreux sites pollués ne font pas aujourd'hui l'objet de mesures de dépollution, du fait de la complexité des démarches juridiques pour impliquer le responsable des pollutions souvent anciennes dans la dépollution du terrain.

Le Code de l'Environnement impose aujourd'hui une dépollution des sites dont le sol présente des polluants : en cas de changement d'usage d'un site pollué (par exemple un site industriel qui serait converti en zone de logement), l'exploitant du site a obligation de faire réaliser un diagnostic de pollution du sol par un bureau d'études certifié. En cas de pollution avérée, l'exploitant doit réaliser les opérations de dépollution adéquates, afin de rendre l'état du sol compatible avec le nouvel usage prévu.

Notons que des techniques de dépollution existent, par traitement physique, chimique, biologique, thermique ou encore décaissement des horizons pollués (voir exemple dans le chapitre en page 63). Néanmoins, ces techniques ne sont pas toujours efficaces (selon le polluant, le type de sol...) et sont très coûteuses donc peu durables.



LE SOL, UNE RESSOURCE QUE NOUS CONSOMMONS TROP VITE - © Photographies : Shutterstock, Montage : Girard Jammes

SUREXPLOITATION ET MAUVAISE GESTION

La croissance démographique de l'humanité pose un réel défi dans la gestion des ressources, notamment alimentaires, que la Terre peut produire : on estime que la population mondiale atteindra 9,7 milliards d'individus en 2050. Or, la FAO (Food and Agriculture Organization of the United States) estime qu'à l'horizon 2050, la moitié des terres arables (terres qui peuvent être cultivées) aura disparu à l'échelle de la planète (documentaire « *Let's talk about soil* » de la FAO disponible sur Internet). Tandis que l'enjeu de nourrir l'humanité apparaît comme une évidence, une question se pose : pourquoi les terres cultivables disparaissent-elles ?

Les facteurs développés dans les paragraphes précédents peuvent constituer des éléments de réponse : les espaces urbanisés tendent globalement à s'étendre, mitant peu à peu espaces naturels et terres agricoles. La pollution d'un sol le rend incompatible avec un usage à destination de production alimentaire, pour limiter l'impact sur la santé des populations.

La surexploitation des terres ou leur mauvaise gestion sont des éléments critiques dans le défi alimentaire que l'humanité sera amenée à affronter.



LE SOL, RESSOURCE ÉPUISSABLE

© Shutterstock

Dans le cas de terres agricoles surexploitées, la mise en culture continue épuise peu à peu la fertilité des sols dont les stocks d'éléments nutritifs pour les plantes s'amenuisent, sans recyclage de la matière organique, au fil des récoltes. Les sols moins fertiles sont soumis à des pratiques agricoles inadaptées (travail du sol intense, fertilisation chimique, apports organiques insuffisants, monoculture...) qui dérèglent le fonctionnement de l'écosystème sol.

Dans le cas de monocultures, les récoltes sont réalisées au même moment et laissent le sol nu, une partie de l'année : non protégé par les plantes, le sol est alors plus sensible aux perturbations, au vent et peu à peu s'érode... 10 cm de sol produits en quelques 2000 ans peuvent ainsi être perdus en quelques années, par érosion hydrique ou éolienne.

Notons que « 24 milliards de tonnes/an de sol sont emportés par érosion dans le monde » (Girard et al., 2011) : il s'agit d'un problème majeur, d'autant plus important qu'il est irréversible, à l'échelle humaine.

Par ailleurs, les techniques agricoles reposant sur l'utilisation d'engins lourds peuvent altérer mécaniquement les sols en les tassant : le tassement correspond à la destruction superficielle ou plus profonde de la structure du sol (voir la définition de la structure en page 10)

soumise à de fortes contraintes. Le sol, « écrasé », va perdre une partie de sa porosité et donc une partie de sa capacité à s'aérer et infiltrer l'eau. Le sol compact crée une couche quasi imperméable en surface (la croûte de battance) où les racines ont du mal à progresser, tandis que la vie du sol (faune, microorganismes, racines), perturbée, se trouve bloquée dans un sol où la circulation de l'air et de l'eau est très difficile. Elle ne peut plus assurer son rôle dans la fertilité du sol : le rendement des parcelles tassées s'effondre.

Le tassement est un phénomène également problématique dans le cadre de certaines exploitations forestières. Le passage des engins de débardage lors des chantiers de coupe peut, notamment après des épisodes de pluie, tasser le sol de façon parfois irréversible. Une meilleure prise en compte du risque de tassement permettrait d'économiser la ressource sol, infiniment précieuse pour l'avenir de nos sociétés.

Ces notions de préservation des terres arables en particulier ou de la ressource sol en général, dans une logique alimentaire peuvent sembler assez éloignées des enjeux actuels dans le contexte des Bouches-du-Rhône. N'oublions pas que le sol est épuisable et que bien le gérer aujourd'hui permettra de mieux faire face aux enjeux des générations à venir, de limiter le creusement d'inégalités sociales et éviter que cette richesse sur laquelle nous marchons ne s'évapore.



CROÛTE DE BATTANCE LIÉE À LA PLUIE ET AU TRAVAIL DU SOL TROP FIN : LA COUCHE DE SURFACE EST IMPERMÉABLE

© Jean-Claude Lacassin - SCP



© Shutterstock

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique n'est pas un phénomène à venir : il est déjà présent et en action sur le globe. Certaines de ses conséquences se font déjà sentir au quotidien. Mais certains de ses effets sont encore difficiles à anticiper.

Dans les Bouches-du-Rhône, le changement climatique se traduit par une augmentation moyenne de la température et une sécheresse de plus en plus marquée. Ces phénomènes devraient s'accroître dans les années à venir (de plus en plus sec et chaud, notamment en période estivale).

Ces changements ont un impact direct sur le sol, notamment sur la biodiversité du sol : certains organismes (les vers de terre par exemple), dans un environnement trop sec ou trop chaud, vont passer en vie ralentie ou ne vont pas survivre.

En conséquence, les rôles assurés par la biodiversité du sol, notamment sur les cycles du carbone et de l'azote, ou le maintien de bons paramètres physiques du sol (porosité, structure) seront assurés de plus en plus difficilement. Ces services écosystémiques, dits de support (voir le chapitre en page 46), sont un maillon indispensable au bon fonctionnement des écosystèmes, dont l'équilibre est fragilisé par le réchauffement climatique.

Les conséquences du changement climatique sur les sols sont difficiles à appréhender en globalité, mais pourraient être catastrophiques : un sol dont la biodiversité est mise à mal par un climat plus sec et chaud sera un sol moins fertile. En compensation, l'Homme cherchera à utiliser plus d'engrais et produits chimiques afin de continuer à produire de quoi se nourrir, entraînant des pollutions plus importantes et donc un écosystème de plus en plus fragile...

Les conséquences du changement climatique sur les sols risquent de former un cercle vicieux, exacerbant toutes les autres menaces pesant déjà sur cet écosystème.

Une prise de conscience rapide et la mise en place d'actions de protection sont nécessaires pour assurer l'avenir de nos sols, mais aussi de l'humanité.



ÉPARGNONS LE SOL POUR LES GÉNÉRATIONS À VENIR

© Shutterstock

PROTÉGER LE SOL

UN EXEMPLE DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE :

Les menaces qui pèsent sur les sols sont nombreuses. Il suffit parfois de quelques secondes pour dégrader un sol ayant mis plusieurs milliers d'années à se former.

Des actions peuvent parfois être mises en œuvre pour restaurer un sol dégradé, pollué. Leur succès dépend de la nature du sol et de la nature et l'ampleur de la dégradation. Il peut s'agir de traitements physiques, chimiques, biologiques ou thermiques (pour plus d'informations, voir le guide « *L'avenir des sols en 10 questions* », 2019, ADEME).

Ces actions sont toutefois très coûteuses, longues et difficiles à mettre en œuvre : mieux vaut encore tout mettre en œuvre pour éviter de dégrader un sol.



TRAVAUX DE DÉCAISSAGE DE SOL POLLUÉ DANS LA PLAINE DE LA CRAU SUITE À UNE RUPTURE DE PIPELINE EN 2009

© Jean-Paul Herbecq - Département 13



PLAINE DE LA CRAU - © Olivier Briand

LE SOL POLLUÉ DE LA PLAINE DE LA CRAU RETROUVE VIE GRÂCE AUX FOURMIS MOISSONNEUSES

La plaine de la Crau, située dans la partie Ouest du département des Bouches-du-Rhône, abrite un écosystème exceptionnel, reconnu pour la biodiversité qu'il présente, dans un habitat steppique semi-aride, nommé le « Coussoul ».

En 2009, un oléoduc rompt et déverse une nappe d'hydrocarbures sur une superficie de 5 ha de la plaine. En quelques instants, un sol ayant mis plus de 10 000 ans à se former se retrouve pollué. Des travaux sont mis en œuvre pour restaurer la zone dégradée : plus de 70 000 tonnes de sol pollué sont retirées au moyen d'engins de chantier, sur plus de 40 cm de profondeur. Ce sol pollué est remplacé par un sol récupéré d'une carrière située à proximité.

Néanmoins cela ne suffit pas : le sol nouvellement mis en place est tassé, compact, ce qui rend difficile la colonisation par les végétaux et les animaux.

En 2011, une équipe de chercheurs de l'IMBE (Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale) introduit plus de 200 reines fécondées de fourmis moissonneuses *Messor barbarus* et étudie l'effet de cette espèce ingénieuse sur



FOURMIS MOISSONNEUSES (*Messor barbarus*)

© Jean-Claude Tempier

l'écosystème. En 2020, soit presque 10 ans après l'introduction de *Messor barbarus* (espèce présente naturellement dans la plaine de la Crau), les résultats sont très encourageants : en creusant les galeries de leurs nids, les fourmis aèrent le sol, créent de la porosité et agissent sur la texture du sol. Les végétaux ont ainsi plus de facilité pour s'enraciner dans le sol redevenu plus meuble.

L'espèce, granivore, est connue pour transporter des graines, qu'elle stocke dans la fourmilière dans le but de faire des réserves de nourriture. Certaines graines, oubliées par les fourmis, vont pouvoir germer et favoriser l'installation de communautés de plantes au niveau de la fourmilière.

Aujourd'hui, le travail de restauration du site, grâce aux fourmis, est toujours en cours : il faudra encore attendre une dizaine d'années avant de retrouver un sol en bonne santé.

Ce projet a obtenu le Grand Prix de la Recherche en Provence, attribué par le Conseil départemental des Bouches-du-Rhône en 2019.

EN SAVOIR +

Voir l'article Dutoit T., Mesléard F., Blight O., De Almeida T., 2020. « Restaurer la nature : un travail de fourmis ? » The Conversation. <https://theconversation.com/restaurer-la-nature-un-travail-de-fourmis-142750>

UN AUTRE EXEMPLE DE RESTAURATION DES SOLS PAR LA VALORISATION DE SÉDIMENTS MINÉRAUX.

PAR JEAN-CLAUDE LACASSIN,
Pédologue de la Société du Canal de Provence

La valorisation des boues du process de la station de clarification de Saint-Chamas de la Société du Canal de Provence permet depuis les années 1980 de reconstituer des sols au-dessus de sols peu épais (moins de 10 cm) et pauvres dans un domaine de chasse privé voisin de la station.

Ces boues sont en fait des sédiments minéraux issus de l'eau de la Durance pompée depuis le canal EDF.

Les pédologues de la Société du Canal de Provence ont pu mettre en œuvre des expérimentations en grandeur réelle. Ces boues sont épandues et mélangées avec du compost de déchets verts, source de matières organiques (2/3 de sédiments et 1/3 de compost).

Au bout de quelques années d'épandage on obtient un sol de 60 à 100 cm d'épaisseur, cultivable (cultures pour le gibier, oliviers et arbres d'ornement) en lieu et place de 4 ha de garrigue.

La création de ce sol technique est une réussite et se poursuit. De plus elle évite une mise en décharge des boues minérales (déchets inertes non dangereux) et améliore la biodiversité végétale dans la garrigue uniforme et continue, à chêne kermès, du domaine de chasse.

TOUS SOLIDAIRES POUR PRÉSERVER NOS SOLS

« Mieux vaut prévenir que guérir » : réparer les effets d'une dégradation, pollution d'un sol n'est pas forcément possible, ou bien complexe, coûteux et long.

Mieux vaut ainsi adopter de bons gestes pour protéger nos sols : adoptons un comportement responsable pour les préserver.



GLOSSAIRE

Adventice : Se dit d'une plante qui pousse sans avoir été intentionnellement installée par l'Homme ; souvent appelée « mauvaise herbe »

Altération ménagée : Altération « moyenne » ou non complète des minéraux d'une roche

Argile de décarbonatation : Argile issue de l'altération du calcaire

Calcaire : Ensemble de roches sédimentaires carbonatées, composées en majorité de carbonate de calcium ou de carbonate de magnésium

Conglomérat : Roche sédimentaire détritique contenant des galets (on parle alors de poudingue) ou morceaux de roches anguleux (on parle alors de brèche), cimentés, en Provence, par du calcaire

Dolérite : Roche volcanique ayant refroidi lentement puis ayant subi des transformations à l'état solide résultant de contraintes très intenses (métamorphisme)

Dolomie : Roche sédimentaire carbonatée composée majoritairement de dolomite (minéral constitué de carbonate de calcium et magnésium)

Granulométrie : Taille des particules constituant l'échantillon de terre analysé

Grès : Roche sédimentaire, constituée de sables marins, lacustres ou fluviatiles cimentés, en Provence, par du calcaire

Karst : Relief spécifique résultant de la dégradation du calcaire (les calanques sont une structure karstique par exemple)

Litière : Ensemble des matières organiques (végétales et animales) mortes au sol

Marne : Roche sédimentaire calcaire meuble

Métabolisme : Ensemble des réactions chimiques et biologiques qui se déroulent dans un organisme

Minéral : Se caractérise par une composition chimique et une structure atomique ordonnée

Phylum : Embranchement dans la classification des êtres vivants

Porosité du sol : Volume de « vide » dans le sol permettant la circulation de l'air et l'eau. On distingue la macroporosité et la microporosité

Ripisylve : Forêt de bords de cours d'eau

Roche : Assemblage de minéraux. Les roches peuvent avoir différentes origines de formation : sédimentaire, magmatique ou métamorphique

Roche cristalline : Roche magmatique (formée de magma refroidi) ou roche métamorphique (issue de la transformation à l'état solide de roche sédimentaire, liée à des modifications de l'environnement physico-chimique de la roche)

Roche détritique : Roche sédimentaire formée d'au moins 50 % de débris issus de l'érosion, qui peuvent avoir différentes tailles

Roche sédimentaire : Roche formée à partir de l'accumulation de sédiments issus de l'érosion

Sol différencié : Sol présentant différents horizons distincts (la distinction n'est pas toujours identifiable visuellement)

Sol évolué : Sol ancien ayant subi de longues altérations

POUR EN SAVOIR PLUS !

Voici quelques références non exhaustives d'ouvrages, sites ou vidéos si vous souhaitez creuser davantage et approfondir vos connaissances sur le sol :

OUVRAGES, DOCUMENTS ET ARTICLES :

Brêthes A., Ponge J.-F., Brun J.-J., Jabiol B. 2007. *L'humus sous toutes ses formes, 2^e édition*. AgroParisTech ENGREF, Nancy.

Cortet J. & Lebeaux P. 2015. *Planète collemboles. La vie secrète des sols*. Biotope éditions, Mèze, 252p.

Dutoit T., Mesléard F., Blight O., De Almeida T., 2020. *Restaurer la nature : un travail de fourmis ?* The Conversation [<https://theconversation.com/restaurer-la-nature-un-travail-de-fourmis-142750>].

Jeffery S., Gadi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K., Römbke J., Van der Putten W.H. 2010. *Atlas européen de la biodiversité du sol*. Commission européenne, bureau des publications de l'Union européenne, Luxembourg.

Johanet A., Kabouche B. 2019. *La faune des Bouches-du-Rhône*. Biotope éditions, Mèze, 416p.

Trouyre P. 2015. *Le sol, un monde vivant. Formation, faune, flore*. Delachaux et Niestlé, Paris, 128p.

SITES INTERNET :

ADEME désormais ATE Agence de la transition écologique. 2020 [www.ademe.fr].

AFES Association française pour l'étude du sol. 2017 [www.afes.fr].

ANIMAILES, galerie de Philippe Lebeaux, photographe professionnel spécialisé dans la photographie de la faune du sol [www.animailles.com].

CHEZ LE PÈRE MAGRAINE, blog très accessible dont de nombreux articles s'intéressent au sol et ses habitants [www.chezleperemagraine.com].

GÉOPORTAIL [<https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/carte-des-sols>].

GIS SOL Groupement d'intérêt scientifique Sol [www.gissol.fr].

VIDÉOS :

Amouroux V. & Leyendecker J. 2015. *Voyage sous nos pieds* [DVD]. Les Zéditions nature, 104 min.

Streckenbach U.H. 2012. *Let's talk about soil* [vidéo d'animation disponible en français sur Internet]. First Global Soil Week, 5 min.

Tálas A. & Nasht S. 2017. *Au royaume des champignons – The kingdom : how fungi made our world* [Documentaire disponible en français sur Internet]. 52min.

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage n'aurait pu voir le jour sans l'aide précieuse de nombreux partenaires, qui se sont mobilisés lors de la réalisation de ce livret.

Un grand merci à :


- Conservatoire des espaces naturels PACA (Jean-Claude Tempier)
- Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (Jérôme Cortet, Thibaud Decaëns)
- ELISOL environnement (Cécile Villenave)
- Fils et soies (Anne Bounias-Delacour)
- France nature environnement PACA (Mattia Trabucchi)
- Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie (Olivier Blight, Tania De Almeida, Raphaël Gros, Daniel Pavon, Philippe Ponel, Thierry Dutoit)
- Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Yvan Capowiez, Céline Pélosi)
- Réserve naturelle nationale de Sainte-Victoire (Nastasia Camberoque, Thierry Tortosa)
- Richard Frèze
- Jean-Marie Mollet
- Christian Perez

Des remerciements particuliers à Jean-Claude Lacassin, pédologue de la Société du Canal de Provence qui a grandement contribué à l'écriture de ce livret pour nous faire découvrir la richesse des types de sols de Provence !

Un très grand merci à l'ensemble des photographes et illustrateurs qui ont contribué à cet ouvrage par la mise à disposition de leur travail :

Marion Agoyan, Anne Bounias-Delacour, Olivier Briand, Nastasia Camberoque, Yvan Capowiez, Thibaud Decaëns, Odilon Desmoulins, Richard Frèze, Jean-Paul Herbecq, Ingrid Jammes, Jean-Claude Lacassin, Astrid Lanneau, Daniel Pavon, Céline Pelosi, Christian Perez, Philippe Ponel, Christian Rombi, Jean-Claude Tempier, Thierry Tortosa, Mattia Trabucchi, Claudine Trezzy, Cécile Villenave.

Dépôt légal janvier 2021



« Vous devez apprendre à vos enfants que le sol qu'ils foulent est fait des cendres de nos aïeux. Pour qu'ils respectent la terre, dites à vos enfants qu'elle est enrichie par les vies de notre race. Enseignez à vos enfants ce que nous avons enseigné aux nôtres, que la terre est notre mère. Tout ce qui arrive à la terre, arrive aux fils de la terre. Si les hommes crachent sur le sol, ils crachent sur eux-mêmes. »

Extrait du discours prononcé par le Chef Indien Seattle devant l'assemblée des tribus d'Amérique du Nord en 1854.



Direction de l'Environnement, des Grands Projets et de la Recherche
52, avenue de Saint-Just 13256 Marseille Cedex 20

ISBN : 978-2-911111-18-1

departement13.fr