

Module de sensibilisation sur le sol et les pollutions diffuses le long du continuum terre-mer

Retour d'expérience

C. Besnard^(1*), A. Lépinay⁽¹⁾ et D. Bouquet⁽²⁾

- 1) Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes Atlantique, UMS 3281 de soutien à l'OSUNA, 2 rue de la Houssinière, 44000 Nantes, France.
- 2) Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV), 1 rue de la Noë, 44000 Nantes, France.

* : Auteur correspondant : chloe.besnard@univ-nantes.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente un module de sensibilisation donné à des collégiens et lycéens entre 2017 et 2019 dans le cadre du projet POLLUSOLS, financé par la Région Pays de la Loire. Ce module a pour but de sensibiliser les élèves à l'importance de protéger les sols au travers d'exemples de pollutions diffuses des sols et sédiments le long du continuum terre-mer sur la partie aval du bassin versant de la Loire. Ce module est illustré avec des exemples issus de recherches menées par des laboratoires du consortium POLLUSOLS. Un retour d'expérience accompagne la description du module..

Mots clés

Sol, pollution, sources, transferts, gestion, phytoextraction, bioremédiation, conférence, ateliers, film, médiation, pédagogie.

SUMMARY

AWARENESS MODULE ON SOIL AND DIFFUSE POLLUTION ALONG THE LAND-SEA CONTINUUM - Feedback

This article presents a module directed at secondary-school pupils and sixth-form students. It was organized between 2017 and 2019, as part of the POLLUSOLS project, which was funded by the Pays de la Loire Region (France). This module aims to raise awareness among younger

Comment citer cet article :

Besnard C. , Lépinay A. et Bouquet D., 2019 - Module de sensibilisation sur le sol et les pollutions diffuses le long du continuum terre-mer. Retour d'expérience, *Etude et Gestion des Sols*, 26, 153-161

Comment télécharger cet article :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-26/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS :
<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

generations of the importance of protecting our soil, using examples of pollution from land to sea. This module is illustrated by various examples from researches at POLLUSOLS's consortium laboratories. Feedback received on the implementation of this module is also included in the description.

Key-words

Soil, pollution, sources, transfers, management, phytoextraction, bioremediation, conference, workshops, movie, popularization, education.

RESUMEN**MÓDULO DE SENSIBILIZACIÓN SOBRE EL SUELO Y LAS CONTAMINACIONES DIFUSAS - Retroalimentación**

Este artículo presenta un módulo de sensibilización destinado a los estudiantes de secundaria y de liceo, organizado entre 2017 y 2019 en el marco del proyecto POLLUSOLS, financiado por la Region Pays de la Loire (Francia). El objetivo de este módulo es el de concienciar a los estudiantes sobre la importancia de proteger los suelos, a través de ejemplos de contaminaciones difusas de suelos a lo largo del continuo tierra-mar. Este módulo es ilustrado con ejemplos tirados de los resultados de investigaciones llevadas a cabo por laboratorios del grupo científico POLLUSOLS. La descripción del módulo incluye también observaciones sobre la experiencia adquirida..

Palabras clave

Suelo, polución, contaminaciones, orígenes, transferencia, gestión, phytoextracción, biorremediación, conferencia, talleres, película, divulgación, pedagogía.

« La pollution des sols affecte la nourriture que nous mangeons, l'eau que nous buvons, l'air que nous respirons et la santé de nos écosystèmes. (...) La capacité des sols à faire face à la pollution est limitée, la prévention de la pollution des sols devrait être une priorité dans le monde entier ». C'est en ces termes que Madame Maria Helena Semedo, directrice générale adjointe de la FAO, a introduit le Colloque International sur la Pollution du Sol (GSOP18), qui s'est tenu à Rome en mai 2018.

Si ce constat est largement partagé par la communauté scientifique, ces enjeux restent encore insuffisamment connus du grand public. Sensibiliser les générations futures aux problématiques de pollutions des sols est indispensable, tant pour faire évoluer les mentalités et les pratiques vis-à-vis de cette ressource insuffisamment considérée, que pour susciter des vocations parmi les scientifiques de demain.

Le projet de recherche POLLUSOLS, financé par la Région des Pays de la Loire (2015-2020), s'intéresse aux pollutions diffuses des sols et sédiments sur le continuum terre-mer, à l'échelle de la partie aval du bassin-versant de la Loire. En parallèle des recherches scientifiques, le consortium développe un volet sociétal, qui comprend notamment un module de sensibilisation de publics scolaires. Ce module a été développé car les problématiques de pollutions des sols et sédiments peuvent s'insérer dans plusieurs sections des programmes scolaires.

LE MODULE DE SENSIBILISATION

Plusieurs formats de présentation ont été utilisés pour ce module, qui s'adresse aux élèves de collèges et lycées :

- une conférence intitulée « De la terre à la mer : Sur les traces des polluants invisibles » avec un diaporama et un bref film d'animation comme support à la communication orale. Cette conférence

a été donnée en français et en anglais selon la demande des enseignants,

- des ateliers de type « travaux pratiques » autour du sol, de la pollution des sols et de solutions de remédiations. Ces ateliers avaient pour but de faire manipuler les élèves ou de leur faire des démonstrations (petites expériences, observations, mesures).

Ces supports ont été créés afin d'être les plus interactifs possibles.

La conférence

« De la terre à la mer : Sur les traces des polluants invisibles »

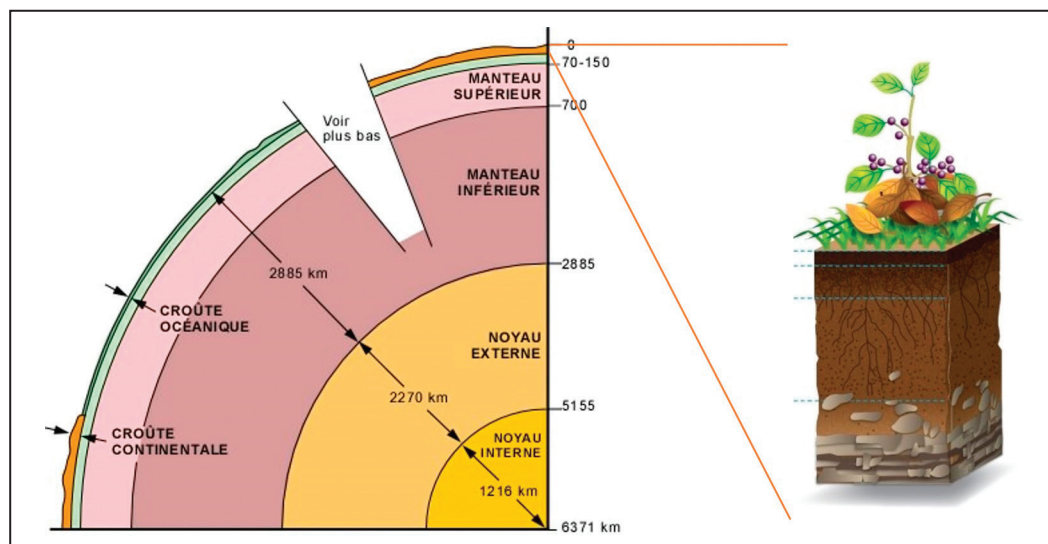
Cette conférence est construite dans une optique de dialogue, chaque partie débute par une question adressée aux élèves, afin de les pousser à réfléchir par eux-mêmes (et de maintenir leur attention!). Ce temps d'échanges est aussi l'occasion pour les intervenantes de sonder le niveau de connaissances des élèves afin d'adapter leur propos par la suite. Après ces temps d'échanges interviennent les temps d'explications. Chaque partie est illustrée, dans la mesure du possible, avec des exemples issus de recherches menées par des laboratoires partenaires de POLLUSOLS.

Question n° 1 : Pour vous qu'est-ce qu'un sol ?

Suite au premier temps d'échanges, la conférence démarre par quelques notions générales sur le sol, cette ressource indispensable, accompagnées d'illustrations : l'épiderme de la terre, la formation du sol, les horizons (*figure 1*), les nombreux services que rendent les sols (FAO, Infographie Fonctions du sol, 2015), les menaces, le temps de formation *versus* le temps de sa détérioration.

Figure 1 - Le sol : épiderme de la terre (modifié de Ademe, 2018 et Université de Laval, Canada, 2013).

Figure 1 - The soil: the earth's skin (adapted from Ademe 2018 and Laval University, Canada, 2013).



Question n°2: Pour vous qu'est-ce que la pollution ?

Les mots « contamination » (Mench et Baize, 2004) et « pollution » (définition du ministère de la transition écologique et solidaire) sont définis. Les types de pollutions (localisées/diffuses) et de polluants (organiques/inorganiques) sont présentés à l'aide d'exemples concrets: cas de l'ancienne usine MetalEurop et du cuivre dans les sols viticoles français (Andrivoon et al., 2017; Gis Sol, 2011). Le tout est illustré avec des photographies, un graphique et une carte (figure 2).

La suite de la présentation est construite en suivant la méthodologie du projet POLUSOLS c'est-à-dire:

- 1/ les sources de pollutions diffuses,
- 2/ les transferts de polluants,
- 3/ leurs impacts et la gestion patrimoniale qui en découle, incluant les possibilités de remédiation.

Question n° 3: Pour comprendre d'où provient une pollution, que peut-on faire ?

Cette première partie, intitulée « retour aux sources », présente la manière dont sont identifiées et caractérisées les sources de pollution des sols: prise en compte des caractéristiques naturelles du site (fond géochimique local, Mench et Baize, 2004) et du contexte historique de la pollution. Différents types de sources de pollution (Amiard, 2017, Ramade, 2011) sont décrits: urbaines et domestiques (transport routier, ordures ménagères, stations de traitement des eaux), agricoles (pesticides, épandage, engrais), industrielles et minières (garages automobiles, fonderies, anciennes décharges de déchets), marines (peintures antifouling, relargages sédimentaires, épaves de navires). Les outils utiles à la réalisation d'études historiques sont présentés: archives, entretiens, bases de données BASIAS (sites et sols potentiellement pollués en France) et

Figure 2 - Illustration des pollutions diffuses à l'aide de la carte des teneurs en cuivre dans le sol (0-30 cm) superposées à la part de vignes et vergers (Gissol, RMQS, 2009).

Figure 2 - Demonstration of non-point source pollution, based on the map of vineyards and orchards and copper content in soils (0-30 cm) (Gissol, RMQS, 2009).

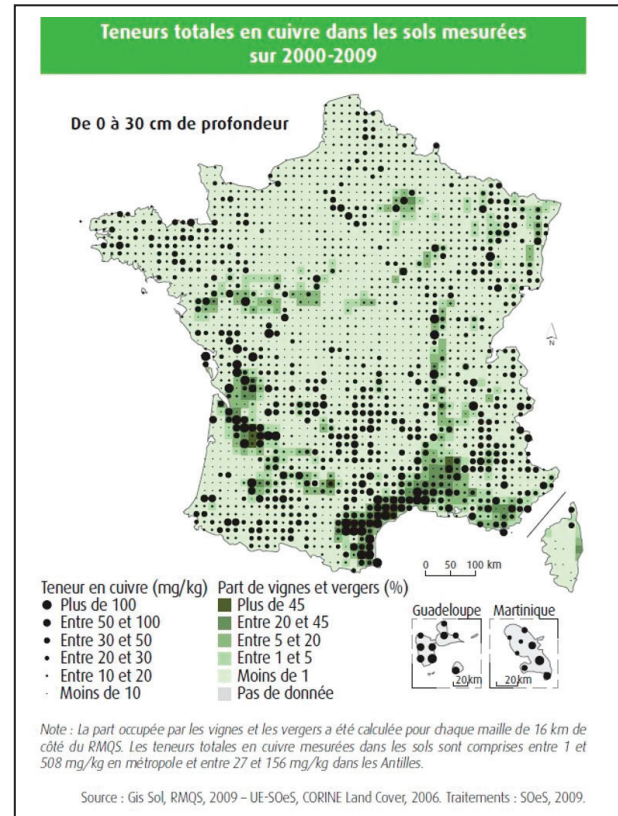
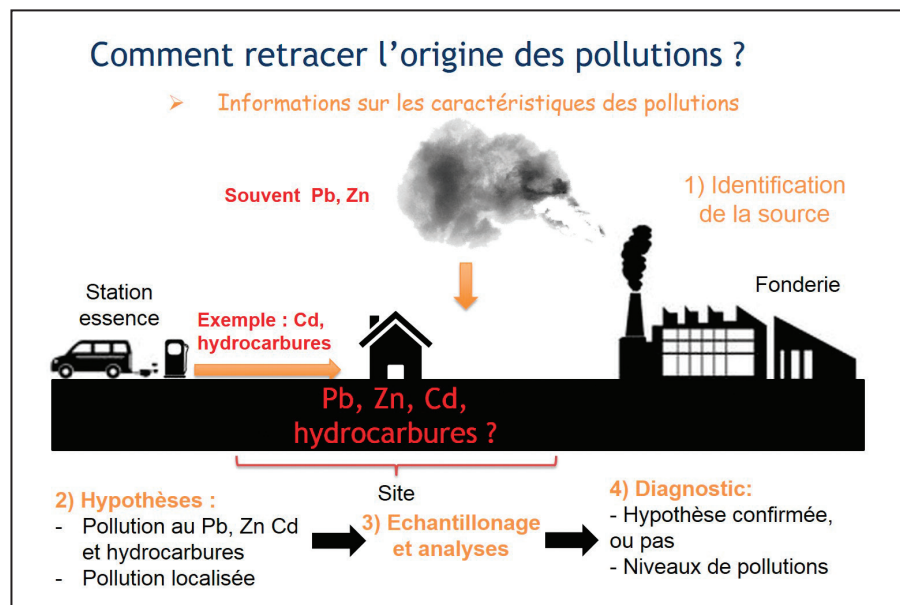


Figure 3 - Première partie du schéma de mise en situation, étapes à suivre pour découvrir la présence ou non de polluants.

Figure 3 - First part of the illustration, steps to be followed to investigate the presence of pollutants.



BASOL (sites et sols pollués en France) regroupées sur le site internet Géorisques, ainsi que les sites internet Géoportail et outils « IGN Remonter le temps ». Avec l'outil « IGN Remonter le temps », des photographies aériennes de l'emplacement de leur établissement au siècle dernier et aujourd'hui sont présentées aux élèves.

Une mise en situation simple débute à la fin de cette partie, qui permet de construire avec eux un schéma récapitulatif animé.

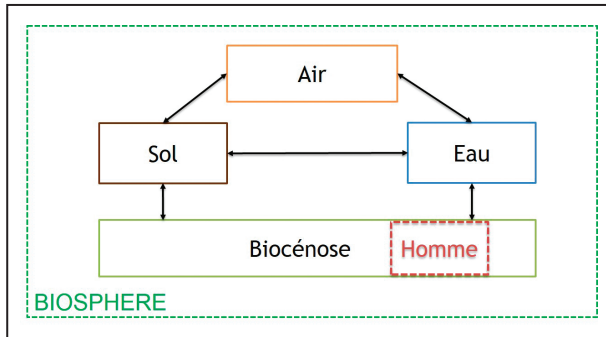
Il est indiqué aux élèves qu'ils viennent d'acquérir une maison, et il leur est demandé d'expliquer quelles sont les étapes à suivre pour découvrir s'il y a, ou non, présence de polluants. Dans l'exemple imaginé (figure 3), il y a présence de pollutions multiples (Pb, Zn, Cd, hydrocarbures), dues à d'anciennes activités à proximité du site (fonderie et station essence).

Question n° 4: « Transferts des polluants » qu'est-ce que cela évoque pour vous ?

La seconde partie, intitulée « chacun sa route », permet d'expliquer les transferts et/ou la dégradation des polluants dans l'environnement et entre les différents compartiments de l'environnement (figure 4).

Figure 4 - Les compartiments environnementaux.

Figure 4 - The environmental compartments.



Il est expliqué aux élèves que ces transferts sont complexes et dépendent des caractéristiques des sols et des polluants. Le cadmium dans le bassin de Decazeville, et son transfert jusqu'à l'estuaire de la Gironde, illustre cette partie (Blanc, 2015). La notion de polluants émergents est aussi introduite (platinoides, perturbateurs endocriniens). Les outils à disposition pour comprendre ces transferts leur sont présentés: échantillonnage sur site, analyses (détection, quantification des polluants). L'importance de la caractérisation des pollutions est mise en évidence car elle permet de connaître l'étendue spatiale d'une contamination, les voies de transfert et d'exposition, les milieux d'exposition et les cibles à protéger. Les risques et surtout les voies de transferts liés à une pollution du sol sont exposés aux élèves sous forme d'un schéma (figure 5).

À la fin de cette partie, les élèves sont remis en situation avec l'exemple de leur maison nouvellement acquise. Il leur est demandé d'identifier les voies de transferts possibles des polluants mis en évidence précédemment: air, eau, sol, et l'impact éventuel sur la biocénose (figure 6).

À l'issue de cette partie, le film d'animation pédagogique est montré aux élèves pour récapituler les notions préalablement évoquées.

Question n° 5: Que peut-on faire ?

Enfin, la partie intitulée « de quoi demain sera-t-il fait ? » permet, après la présentation des faits scientifiques illustrés par des exemples concrets, de sensibiliser les élèves à la préservation des sols. Cette partie est divisée en 4 thèmes: prévenir, fuir, reconverter, réduire la pollution. Dans ce dernier thème, plusieurs méthodes de dépollution traditionnelles des sols sont présentées avec leurs avantages et inconvénients, en fonction des types de pollutions (localisées ou diffuses). Un focus est fait sur des travaux développés dans le cadre du projet POLLUSOLS: la phytoextraction couplée à la bioaugmentation comme méthode écologique d'extraction des polluants métalliques du sol à l'aide de plantes et de bactéries

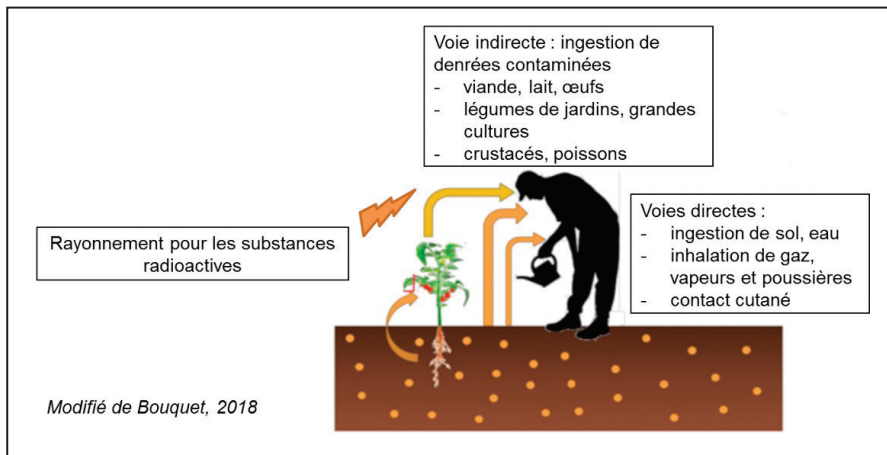
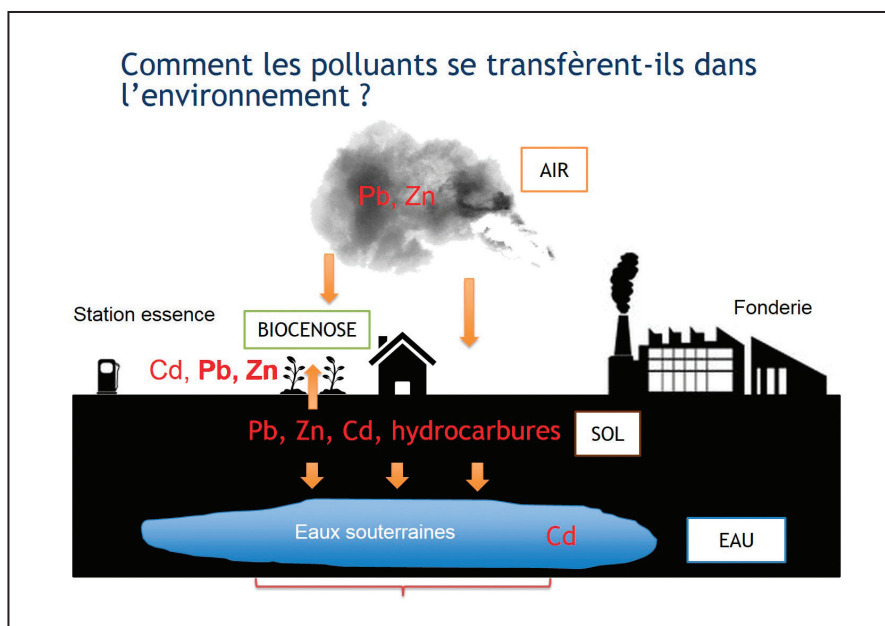


Figure 5 - Les voies de transferts des polluants (modifié de Bouquet, 2018).

Figure 5 - Polluants transfer pathways (adapted from Bouquet, 2018).

Figure 6 - Deuxième partie du schéma de mise en situation, les voies de transferts possibles des polluants identifiés précédemment et les impacts éventuels sur la biocénose.

Figure 6 - Second part of the illustration, possible transfer pathways of identified pollutants, and their potential impact on biocenosis.



dans le cas de pollutions diffuses. Un exemple de la mise en place d'un dispositif de culture de légumes accumulant très peu le plomb sur un sol très modérément contaminé au plomb leur est également présenté ainsi que les recommandations qui s'imposent lors de la pratique du jardinage dans ce type de contexte (amendements organiques et calciques pour bloquer la mobilité, couverture de sols, lavage des mains après jardinage, éviter le contact main-bouche de jeunes enfants voire interdiction de l'accès des enfants au jardin), (Bouquet, 2018).

La conférence est conclue par un récapitulatif des informations à retenir sous forme d'une « boîte à mots-clés ».

Les ateliers

Trois ateliers ont été mis en place.

Atelier 1 : « Le sol : analyse de terre »

Cet atelier permet de présenter aux élèves comment faire une caractérisation rapide de la terre (nuances de couleur d'un sol, texture, pH, vie du sol). Des sols avec différentes nuances de bruns leur sont montrés. Il leur est expliqué que ces nuances donnent de premières indications sur la composition du sol (plus ou moins de matière organique, de fer, de calcaire). Une des planches de la Charte de couleur Munsell (Munsell soil-color charts, 2009) est utilisée comme support. Ensuite, il est proposé aux élèves de déterminer la texture du sol c'est-à-dire la proportion des différents éléments du sol en fonction de leur taille : éléments grossiers (> 2000 μm), sables (50 - 2000 μm), limons (2 - 50 μm), argiles (0 - 2 μm) (Baize, 2018) avec les « tests du boudin » (figure 7) et du bocal (Test de sédimentation) puis de

Figure 7 - Photographie d'un élève en train de réaliser le « test du boudin ».

Figure 7 - Picture of a pupil performing the « sausage shape test ».

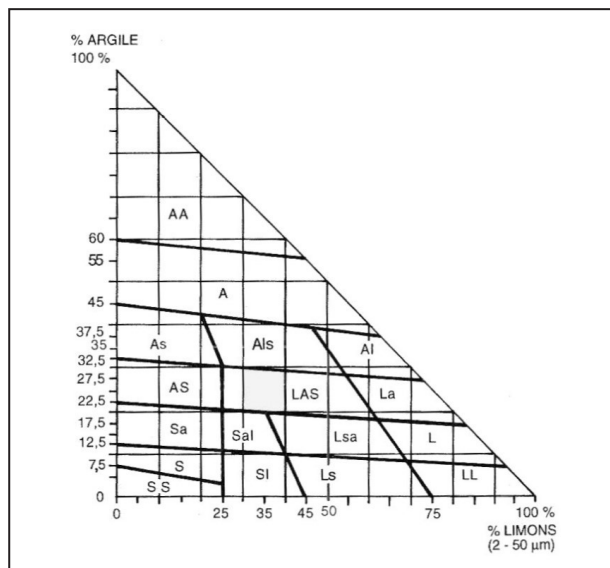


déterminer sa classe texturale à l'aide du triangle de texture GEPPA (1963, Baize, 2018) (figure 8). Ils peuvent palper différents types de sols puis mesurer l'épaisseur des différentes couches qui se sont déposées dans les bocaux préparés quelques jours avant l'atelier. Ils mesurent le pH du sol à l'aide de bandelettes indicatrices (pH-Fix 2.0-9.0 Macherey-Nagel) plongées dans une solution de sol.

La dernière partie de cet atelier est consacrée à « la vie du sol ». Les organismes qui habitent dans le sol leur sont présentés (Jeffery et al., 2010) ainsi que leurs rôles (fertilité du sol, protection des cultures, régulation du cycle de l'eau, lutte contre

Figure 8 - Triangle de texture GEPPA (Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée, 1963 et Baize, 2018).

Figure 8 - Soil texture triangle-GEPPA (Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée, 1963 et Baize, 2018).



l'érosion, décontamination eaux et sols) (Eglin *et al.*, 2010). En pratique, il leur est proposé de rechercher et d'observer, dans des boîtes de Pétri, avec des loupes, les organismes vivant dans du sol, préalablement collectés dans un jardin à l'aide d'un piège réalisé avec une bouteille en plastique selon la méthode décrite par Eglin *et al.*, (2010).

Atelier 2 : « La pollution des sols : analyse d'un polluant (méconnu), le cuivre »

Cet atelier présente la problématique de la pollution des sols aux éléments en trace dont les métaux lourds (présentation des métaux lourds sur le tableau périodique des éléments) avec un focus sur l'accumulation du cuivre dans les sols viticoles français de par l'utilisation de la bouillie bordelaise pour le traitement d'un champignon de la vigne, le mildiou. Cet atelier permet de réaliser une petite expérience devant les élèves. La teneur en cuivre dans un extrait de sol viticole est mesurée à l'aide d'un kit colorimétrique semi-quantitatif (MColortest™ Test Cuivre, Merck). Ils peuvent ainsi observer l'apparition d'une coloration bleue de l'extrait de sol et déterminer à quelle concentration en cuivre cette couleur, plus ou moins intense, correspond (*figure 9*).

Atelier 3 : « La dépollution des sols avec des plantes et des bactéries »

Cet atelier permet de présenter aux élèves un des thèmes de recherche du projet POLLUSOLS. Il leur est expliqué le prin-

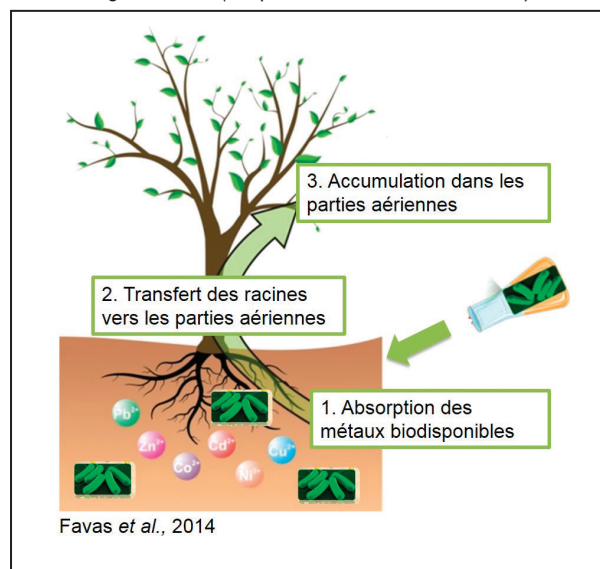
Figure 9 - Démonstration de la mesure de la teneur en cuivre d'un extrait de sol viticole à l'aide du kit colorimétrique Merck.

Figure 9 - Demonstration of copper content measurement in a vineyard soil extract, based on Merck colorimetric kit.



Figure 10 - Illustration de la phytoextraction couplée à la bioaugmentation (modifié de Favas *et al.*, 2014).

Figure 10 - Illustration of phytoextraction coupled with bioaugmentation (adapted from Favas *et al.*, 2014).



cipe de la phytoextraction et de la bioaugmentation à l'aide d'un schéma (*figure 10*).

Des exemples de plantes qui accumulent les métaux et utilisées comme modèle pour des expériences au laboratoire leur sont présentés puis sous forme d'un petit jeu, ils doivent associer les plantes et leurs graines (*figure 11*).

Des bactéries utilisées pour les expérimentations en laboratoire leur sont également montrées sous forme de colonies sur boîtes de Pétri et sur photographies.

Les ateliers se concluent par un temps d'échanges puis la présentation d'ouvrages sur les sols qu'ils peuvent consulter librement.

Figure 11 - Photographie de graines et plantes présentées aux élèves lors de l'atelier « dépollution des sols ».

Figure 11 - Picture of seeds and plants shown to pupils during the workshop "soils remediation".



RETOUR D'EXPÉRIENCE DES AUTEURES

La mise en place de ce module a demandé quelques heures de réflexion, de préparation et d'entraînement. Elle a demandé des efforts de synthèse et de pédagogie pour rendre compréhensible des notions complexes, sachant qu'il n'est pas facile pour des « néophytes en enseignement » d'évaluer le niveau de connaissance de collégiens et lycéens.

Ensuite, il a fallu rendre visible cette proposition de module aux enseignants et parfois les contacter directement, ce qui s'est avéré le plus fructueux.

Les enseignants concernés étaient des enseignants de sciences de la vie et de la terre ou de physique-chimie. Il est intéressant de proposer le module en début d'année scolaire afin que les enseignants aient le choix, soit de l'intégrer à leurs enseignements en cours d'année soit de le proposer en fin d'année en guise de rappels de notions évoquées dans l'année. La présentation des parcours des intervenants a parfois été demandée. À la demande des enseignants, la conférence a pu être adaptée en anglais.

Les retours des élèves et enseignants sur le module ont permis de l'améliorer, de pointer du doigt les éléments à simplifier, d'ajouter des questions à poser au cours de la présentation et des schémas animés pour rendre le module plus interactif afin que les élèves soient acteurs et non pas seulement spectateurs de ce module.

Lors des 2 premières conférences, qui se sont déroulées dans de grandes salles regroupant plusieurs classes de lycéens, il y a eu peu de questions. Les questions des élèves portaient surtout sur les effets des pollutions des sols sur leur santé. Cette question du risque des pollutions sur la santé semble préoccupante pour eux mais il est complexe d'y apporter une réponse rapide et simple. En réponse à ce questionnement et après une étude approfondie de la question à l'aide des ouvrages d'Amiard (2017) et de Ramade (2011), une diapositive a été ajoutée à la communication orale avec une explication des effets doses/ré-

ponses en fonction de l'exposition, du polluant et de la personne exposée, des exemples de maladies telles que le saturnisme à cause du plomb, les organes le plus souvent touchés, et l'importance des effets cocktails.

Les interventions suivantes ont été réalisées face à des groupes d'élèves plus petits, en salle de classe ou de travaux pratiques, ce qui a rendu les échanges plus faciles. De plus avec l'ajout de questions au cours de la présentation et de la mise en situation, l'intérêt et la compréhension des élèves étaient plus perceptibles.

IMPACTS ET FINANCEMENT

Ce module de sensibilisation a été organisé auprès de 13 classes de lycéens et collégiens sur la période 2017-2019, et sera proposé aux établissements jusqu'à la fin du projet POLLUSOLS, en 2020. Le film d'animation pédagogique est intégré dans un film de présentation global du projet, et restera accessible après la fin de celui-ci (cf. Vidéo de présentation du projet POLLUSOLS: 0'24 à 1'09", accessible depuis le site internet du projet POLLUSOLS).

Ce module de sensibilisation a eu lieu grâce aux moyens financiers octroyés au projet POLLUSOLS par la Région des Pays de la Loire. Ils ont notamment permis de financer le film d'animation pédagogique, ainsi que le temps et les déplacements des ingénieures d'études ayant travaillé sur ce module.

REMERCIEMENTS

Le consortium POLLUSOLS remercie les établissements et les enseignants qui l'ont accueilli et lui ont permis d'améliorer la dimension pédagogique de ce module par leurs retours constructifs. Les auteures remercient Thierry Lebeau, coordinateur du projet POLLUSOLS, enseignant-chercheur au sein du

Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de l'Université de Nantes (LPG), et Directeur de l'OSUNA, ainsi que Pierre Gaudin, assistant-ingénieur au LPG de l'Université de Nantes pour leurs relectures et conseils sur le contenu de la conférence.

Enfin, les auteures remercient la Région des Pays de la Loire, pour avoir financé le projet POLLUSOLS, sans lequel ce module n'aurait pas pu voir le jour.

BIBLIOGRAPHIE

- Ademe, 2018 - Les sols en danger. Article mis à jour le 04/07/2018. [<https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/dossiers-comprendre/dossier/sols-tresor-a-protger/sols-danger>].
- Amiard J-C., 2017 - Les risques chimiques environnementaux. Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. Editions Tec&Doc Lavoisier, 2^e édition.
- Andrivo D., Bardin M., Bertrand C., Brun L., Daire X., Fabre F., Gary C., Montarry J., Nicot P., Reignault P., Tamm L., Savini I., 2017 - Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ? Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective. INRA, 66 p.
- Baize D., 2018 - Guide des analyses en pédologie. Editions Quae, pp. 75, 84.
- Blanc G., 2015 - Les Cahiers Métalliques. Cahier n°1 : le cadmium (Etat de l'art 2015 en Gironde).
- Bouquet D., 2018 - Thèse de doctorat - Gestion in situ des sols de jardins potagers modérément contaminés en plomb.
- Eglin T., Blanchart E., Berthelin J., de Cara S., Grolleau G., Lavelle P., Richaume-Jolion A., Bardy M., Bispo A., 2010 - La vie cachée des sols. MEDDTL, 20 p.
- FAO, Infographie Fonctions du sol, 2015. [<http://www.fao.org/soils-2015/fr/>]. Dernier accès le 22/03/2018.
- Favas Paulo J.C., Pratas J., Varun M., D'Souza R., Paul M. S., 2014 - Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. Environmental Risk Assessment of Soil Contamination. 17, pp. 485-517. DOI: 10.5772/57469.
- GEPPA, 1963. Travaux de la commission cartographie. Annexe 4. Expression de la texture des sols, détermination et dénomination de classes en relation avec un diagramme granulométrique. 5 p.
- Gis Sol, RMQS, 2009 - UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006. Traitements : SOeS, 2009. Carte extraite de : Commissariat général au développement durable, Service de l'observation et des statistiques, 2010 - « L'environnement en France », p. 36.
- Gis Sol, 2011 - L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols. 188 p.
- Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K., Peres G., Römbke J. et van der Putten W. H. (eds.), 2010 - Atlas européen de la biodiversité du sol. Commission européenne, Bureau des publications de l'Union européenne, Luxembourg.
- Mench M. et Baize D., 2004 - Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces mesures pour réduire l'exposition. Courrier de l'environnement de l'INRA n°52, septembre 2004, pp. 31-56.
- Munsell soil-color charts, 2009. Munsell soil color charts. Revised edition. Newburgh, New York, USA.
- Ramade F., 2011 - Introduction à l'écochimie. Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme. Editions Tec&Doc Lavoisier.
- Touyre P., 2015 - Le sol, un monde vivant. Formation, faune, flore. Delachaux et Niestlé.

Université de Laval, Canada, 2013 - La structure interne de la terre. [<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/img.communes.pt/str.interne.terre.html>]. Dernier accès le 22/03/2018.

Sites et bases de données

Géoportail : <https://www.geoportail.gouv.fr/> (dernier accès le 22/03/2018).

Géorisques : <http://www.georisques.gouv.fr/> (dernier accès le 22/03/2018).

IGN Remonter le temps : <https://remonterletemps.ign.fr/> (dernier accès le 18/04/2019).

POLLUSOLS : <https://osuna.univ-nantes.fr/recherche/projets-de-recherche/pollusols/pollusols-pollutions-diffuses-de-la-terre-a-la-mer-1304013.kjsp> (dernier accès le 17/04/2019).

