



كلية العلوم  
السملاية - مراكش  
FACULTÉ DES SCIENCES  
SEMLALIA - MARRAKECH

**Workshop international:**

**“Agrobiotechnology for the Bioremediation of soils polluted by Metals”**

**(BIOREMETS 2022)**

Marrakech, 25-26 Mai 2022

[www.ucam.ac.ma/microbiona](http://www.ucam.ac.ma/microbiona)

## Rapport scientifique





كلية العلوم  
الاسلامية - مراكش  
FACULTE DES SCIENCES  
ISLAMIQUE - MARRAKECH



The International Workshop  
**BIOREMEDIATION**  
2022



**Agrobiotechnology  
for the Bioremediation of soils  
polluted by Metals**

May 25-26, 2022, Marrakech-Morocco (FSSM, Amphi 10)



## Rapport scientifique du Workshop BIOREMÉT tenu à Marrakech les 25-26 Mai 2022

La Faculté des Sciences Semlalia de l'Université Cadi Ayyad a organisé le workshop international "*Agrobiotechnology for the Bioremediation of soils polluted by Metals* (BIOREMÉT)" en collaboration avec :

- le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST), Maroc,
- l'Université de Séville, Espagne,
- l'Université Mohammed VI Polytechnique (UM6P), Maroc,
- et l'Association Marocaine des Biotechnologies et de Protection des Ressources Naturelles (MICROBIONA).

L'organisation de ce workshop, réalisé en collaboration avec l'Université de Séville (Espagne), entre dans le cadre du projet PPR2/2016/42 financé par le CNRST (Maroc). Au lieu d'organiser une réunion restreinte de fin du projet, l'idée de ce workshop a été de rassembler plusieurs compétences aux niveaux local, régional, national et international afin de discuter de cette thématique importante pour la préservation de notre environnement et la santé des populations avoisinant les sols dégradés et pollués par les éléments traces métalliques (ETM).

L'urbanisation intensive et le développement industriel ont entraîné une augmentation notable, entre autres, des ETM, des acides minéraux, etc... Ces éléments constituent des menaces environnementales importantes et ont donc attiré l'attention du monde entier pour rendre l'environnement exempt de polluants et pour la protection de la santé publique.

Les stratégies d'assainissement agrobiotechnologiques impliquent l'utilisation de plantes et/ou de microorganismes bénéfiques résistants pour éliminer, immobiliser, transformer ou détoxifier les ETM dans les environnements pollués.

Les processus mis en jeu pour la bioremédiation des sols pollués sont nombreux. La phytoaccumulation, la phytoextraction, la phytostabilisation, le phytomanagement, le phytorecouvrement (par exemple à base des stériles des mines de phosphate), la rhizofiltration, la bioaugmentation etc ... en sont des exemples concrets. Dans les zones hautement contaminées, l'application de microorganismes résistants/tolérants aux polluants est nécessaire pour soutenir la croissance et le développement des plantes, ce qui peut faire progresser considérablement le processus de re-végétalisation des sols et réduire/limiter la translocation des xénobiotiques inorganiques vers les tissus/organes végétaux.

De plus, dans les sites pollués par les ETM, il existe d'autres contraintes environnementales stressantes telles que les sols salins, les pH acides et le stress hydrique et par conséquent l'application des amendements organo-minéraux semble être une solution durable pour surmonter ces caractéristiques et faciliter l'installation du couvert végétal.

Les objectifs de ce workshop sont :

- ✓ Faire l'état des lieux sur les progrès de la recherche scientifique dans le domaine des agrobiotechnologies pour la bioremédiation des sols pollués par les métaux,
- ✓ Échanger des expériences et des connaissances entre scientifiques et responsables nationaux et internationaux,
- ✓ Informer et diffuser des recommandations aux parties prenantes, décideurs et entreprises du secteur privé sur l'importance des agrobiotechnologies dans la réhabilitation des zones fortement contaminées.

La cérémonie d'ouverture de ce workshop a été lancée par la présence honorée de Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences Semlalia ; Pr. El Hassan El Mouden, de Monsieur le Secrétaire général de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA, Maroc) ; Pr. Abdelaziz Yasri, et de Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement Marrakech-Safi ; Dr Nourdine Brine.

Cette manifestation scientifique a connu 4 conférences plénières, 15 communications orales et 17 communications affichées.

Les conférences plénières ont été animées par :

- Pr. Eloisa Pajuelo Dominguez (Université de Séville, Espagne): «*"Circular agronomy" and Culturomics: Two sides of the same coin in the design of tailored low cost biofertilizers for bioremediation of metal polluted soils*»,
- Pr. Mohamed Hijri (Université de Montréal, Canada/UM6P, Maroc): «*Phytoremediation-assisted by mycorrhizal Fungi*»,
- Pr. Rachid Hakkou (Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc): «*Integrated valorization of silver mine tailings through silver recovery and ceramic materials production*»,
- Pr. Wafa Achouak (Université Aix-Marseille, CEA Cadarache, France): «*Contrasted microbial community colonization of a bauxite residue deposit marked by a complex geochemical context and recovery of rare earth elements*».

### **Faits marquants :**

La cérémonie d'ouverture du workshop BIOREMET a été marquée par des hommages rendus au :

- **Pr. Ahmed OUHAMMOU**, Eminent enseignant-chercheur à la FSSM, UCA :

Il a rejoint la FSSM en 1980. Il est Professeur de l'Enseignement Supérieur (grade C) depuis 2009. Son domaine d'expertise est axé sur l'écologie végétale des zones de montagne, l'étude de la biodiversité végétale du Maroc dont les plantes aromatiques et médicinales, le suivi de la dynamique et de la succession de la végétation, l'analyse des impacts des activités pastorales sur la végétation, le génie écologique : phytoremédiation et réhabilitation de mines abandonnées, l'étude des espaces verts et jardins de Marrakech, et l'étude des plantes envahissantes. Pr. Ouhammou a encadré et co-encadré 13 thèses de doctorat dont deux sont en cours. Il a publié 100 articles scientifiques dans des revus à comité de lecture, 03 chapitres de livres et 140 communications. Il est Responsable de l'Herbier Régional « MARK » à la Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech (Unité indexée liste des herbiers internationaux, Code: MARK) et Responsable du Jardin Botanique Universitaire de la Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. Il a eu le Wissan de mérite national - Excellent degré.

- **Pr. Yedir OUHDOUCH**, Eminent enseignant-chercheur à la FSSM, UCA :

Il a rejoint la FSSM en 1989. Il est Professeur de l'Enseignement Supérieur (grade C) depuis 2009. Son domaine d'expertise est axé sur les actinobactéries en biotechnologie : les actinobactéries comme rhizobactéries favorisant la croissance des plantes / Isolement et caractérisation de nouvelles espèces d'actinobactéries des habitats endémiques marocains et leur utilisation comme bases de biofertilisants (P&K) et de biopesticides. L'ensemble de ses travaux a permis la réalisation de :

- 6 brevets,
- l'encadrement et le co-encadrement de 17 Doctorants, Post Docs, Masters,
- 95 publications d'articles,
- l'identification et la caractérisation de 3 nouvelles espèces de *Streptomyces*,
- et la contribution à la mise en place des Collections Coordonnées Marocaines de Microorganismes (CCMM).

- **Mr. Ahmed BAHSSAINE**, Attaché Pédagogique, FSSM, UCA :

Il a rejoint la FSSM en 1994. Il a été coordinateur des activités sportives à la FSSM, puis en 2000, il a été affecté au Service d'entretien où il a assuré la responsabilité de dédouanement du matériel scientifique. En 2006, il a rejoint le Service de Microbiologie comme Préparateur des TP de Microbiologie. A partir de 2017, il a prolongé, à deux reprises, sa retraite jusqu'en 2021.

### **Synthèse et Recommandations :**

L'exploitation minière est une activité essentielle de l'économie marocaine. Abandonnés ou en activité, les sites miniers génèrent de la pollution dans les écosystèmes environnants. Les sites miniers subissent des stress importants sur les plans physique, chimique et biologique. Le Maroc compte plus de 200 sites miniers de plus ou moins grande taille qui sont abandonnés. Leur remédiation est une nécessité pour protéger l'environnement des effets toxiques des ETM et pour conserver l'environnement pour les générations futures.

Les techniques agrobiotechnologies sont des stratégies de remédiation biologique considérées comme les méthodes de remédiation les plus efficaces d'élimination et de stabilisation des métaux toxiques car il s'agit de processus naturels, peu coûteux, respectueux de l'environnement et compatibles avec les politiques de préservation de l'environnement.

- Dans de telles études de réhabilitation et bioremédiation des sites dégradés et abandonnés suites aux activités industrielles, il est très important de les débiter avec des études minéralogiques, des caractérisations physico-chimiques des sols dégradés et des résidus miniers. Il est également important de tenir compte dans ces études de la profondeur et l'âge de ces sols dégradés et résidus miniers. Lors de la réalisation de ces études, il est aussi important d'effectuer et d'élaborer des cartes géochimiques et disposer de données de base géogéniques afin de connaître l'origine des contaminations des sols (naturelle ou artificielle). Il est aussi utile de tenir compte des interactions des différents métaux.

- Plusieurs travaux de recherche ont été exposés sur le site minier Kettara situé à 35 km au Nord-Ouest de la ville de Marrakech et abandonné depuis 1981. En absence de décrets d'application obligeant une société qui a arrêté son activité minière de faire

la réhabilitation des sites miniers abandonnés, il sera souhaitable de rendre ces décrets d'application obligatoires afin de protéger les populations locales des impacts négatifs générés par tout site minier en activité ou abandonné.

- Les sites pollués sont très contaminés par les ETM. En plus, les sols et résidus miniers sont souvent très acides, ayant une salinité élevée et de faibles précipitations sont enregistrées (stress hydrique). Ce qui a conduit les chercheurs à utiliser des amendements organo-minéraux permettant l'installation des processus de revégétalisation des sites contaminés. Il est très difficile de faire pousser des végétaux pendant plusieurs années sur ces sites fortement contaminés.

Pour remédier aux problèmes de contamination des sols par les ETM, plusieurs amendements existent. Nous en citons, comme exemple, les composts, le fumier, le biochar, les déchets de marbre en poussière, les coquilles d'escargot, des sols argileux, des fertilisants phosphatés minéraux, des sous-produits de l'industrie des phosphates (roche phosphatée, boues de phosphates, stériles de mines de phosphate, ...).

Plusieurs expérimentations contrôlées sous serres et/ou réalisées sur le terrain, ont été exposées durant ce workshop. Ces différentes études ont utilisé des plantes et aussi des microorganismes incluant des bactéries de la rhizosphère, des bactéries endophytiques, des actinomycètes, des champignons ectomycorhiziens et endomycorhiziens ... Il est important de noter que toutes ces techniques biologiques sont peu coûteuses et respectueuses de l'environnement.

Aussi, plusieurs études ont pu isoler des souches microbiennes très intéressantes ayant la particularité de résister aux ETM, en plus de leur tolérance aux contraintes environnementales stressantes notées dans ces régions contaminées (pH acide, salinité élevée, stress hydrique ...) et ayant des caractéristiques PGP (Promotion de la croissance végétale). De nouveaux genres et espèces ont été isolés et caractérisés.

- Le choix de la plante est important pour réussir la bioremédiation des sites contaminés. Il y a des plantes hyperaccumulatrices des ETM. Les études floristiques sont primordiales à réaliser permettant ainsi la sélection d'espèces végétales prometteuses, la collecte et la gestion des semences, la pépinière de semis,

l'évaluation de l'efficacité d'accumulation de métal, la valorisation de la biomasse non agricole et les critères d'évaluation et de succès.

Les plantes sélectionnées pour la bioremédiation peuvent être d'intérêt industriel, écologique, des plantes aromatiques et médicinales ou des légumineuses. Ces dernières peuvent fixer l'azote atmosphérique en symbiose avec les rhizobia et donc améliorer la fertilité des sols pour une revégétalisation des sites contaminés. La combinaison de plusieurs plantes pourrait être bénéfique afin d'éviter les cultures monospécifiques dans un site contaminé à réhabiliter tout en ayant un beau paysage.

- Il est indispensable à ce que les plantes hyperaccumulatrices ou l'étant moins, puissent développer une biomasse importante pour atteindre les objectifs escomptés. La phytoextraction consiste à utiliser des plantes accumulatrices de métaux pour éliminer les métaux du sol en les concentrant dans des tissus récoltables. Pour atteindre cet objectif, il faut qu'il y ait installation de zones protégées afin d'éviter les risques de transfert des métaux à partir des plantes vers la chaîne alimentaire.

La phytostabilisation repose sur l'utilisation de plantes pour immobiliser les métaux ou réduire la biodisponibilité des métaux dans le sol. C'est aussi une stratégie appropriée pour la gestion de grandes surfaces contaminées. La phytostabilisation est une technique qui peut être améliorée par l'application des microorganismes en raison de leur capacité à accumuler les métaux provenant d'environnements pollués et des effets ultérieurs sur la mobilisation des métaux qui résultent d'une absorption accrue des métaux et d'une croissance accrue.

- L'ensemble des études de réhabilitation permettent d'éviter l'érosion éolienne et le drainage minier acide entraînant des effets néfastes sur l'environnement (sols, eaux réceptrices, air ...) et ainsi sur la santé publique.

- Durant ce workshop, des études ont été aussi exposées sur la valorisation de résidus miniers dans le domaine de la céramique, par exemple, sous forme de briques rouges à partir de résidus miniers inertes. Aussi, a été présentée l'extraction de terres rares à haute valeur économique à partir de piles combustibles microbiennes dans un site contaminé en métaux. Ces terres rares peuvent aussi être extraites à partir des plantes hyperaccumulatrices de métaux par phytoextraction.

Avant la clôture de ce workshop, un débat riche a été lancé sur l'importance des différents travaux de recherche axés sur la thématique de la pollution métallique des sols. Il a été convenu de lancer un appel aux acteurs sociaux, économiques, politiques et chercheurs, de tisser et d'encourager toute collaboration scientifique efficace pour trouver des solutions adéquates, peu coûteuses, aux nombreux problèmes environnementaux relatifs à la contamination métallique des sites miniers.

**Remerciements :**

Le comité d'organisation adresse ses vifs remerciements au CNRST qui a financé ce projet PPR2/2016/42 et qui a permis l'organisation de ce workshop.

Nous exprimons nos vifs remerciements à l'UCA et la FSSM pour leur soutien financier et logistique. Nous remercions le personnel administratif et technique de la Présidence de l'Université Cadi Ayyad et du Décanat de la Faculté des Sciences Semlalia qui nous ont bien aidés pour la réalisation du projet PPR2/2016/42 et l'organisation de cette manifestation scientifique.

Nous remercions également l'Association MICROBIONA pour son soutien financier pour la cérémonie de l'Hommage.

Le comité d'organisation tient à remercier également toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de cette manifestation scientifique.

Le Comité scientifique du Workshop BIOREMET