

Restauration de zone humide : indicateurs de suivi de sols contaminés en phytosanitaires lors d'un étrépage

Mots-clés : Indicateurs, sol rhizosphérique, plante, phytosanitaires, carbone organique, phosphore disponible, taux d'humidité, respirométrie

Type d'outil	Milieux étudiés	Disciplines mobilisées	Destinataires
Indicateurs physico-chimique et biologique de suivi des milieux	Zone agricole en reconversion, Zone humide	Ecologie- Biologie- Biochimie- Chimie	Bureaux d'études, Gestionnaires

OBJECTIFS

L'étrépage d'un sol sur environ 15 cm est une technique couramment utilisée pour restaurer un milieu dont l'horizon de surface peut être contaminé en polluants. Le sol superficiel et la végétation associée peuvent alors être réutilisés sur site ou exportés hors site. Cette technique a pour conséquence de rapprocher le niveau de la nappe par rapport au sol, comme c'est le cas par exemple lors de la restauration de zones humides ou de zones tourbeuses. Lors de la réutilisation d'un sol étrépié dans les itinéraires techniques proposés aux gestionnaires, les pollutions (fortes teneurs) ou les contaminations (faibles teneurs) en phytosanitaires de ces sols et des sols en place ne sont pas étudiés. Ces pollutions/contaminations peuvent pourtant avoir des impacts non négligeables sur le fonctionnement écologique du milieu et son utilisation future (pâturage fauchage, etc) si les polluants sont remobilisés.

Dans un contexte de renaturation de milieux pollués/contaminés en phytosanitaires, cette fiche outil a pour objectif de proposer 6 indicateurs pertinents de suivi physico-chimique et biologique du sol rhizosphérique et des parties souterraines des plantes associées, pour les sols avant et après étrépage. La rhizosphère, définie comme le volume de sol influencé par la présence des racines est une zone biologiquement très active (Hinsinger et al., 2009). Ce volume est variable en fonction de la nature des plantes, de la densité du système racinaire et des propriétés physico-chimiques du sol. C'est donc l'un des compartiments les plus importants à prendre en compte pour comprendre les impacts de l'étrépage et des polluants sur le fonctionnement du milieu.

L'ESSENTIEL

Proposés et testés dans le cadre du projet DynaMOT, 6 indicateurs physicochimiques et biologiques permettent de rendre compte du fonctionnement du milieu lors d'un étrépage de sols contaminés en phytosanitaires. Applicables à tous types de milieux et en particulier aux zones humides, ces indicateurs s'avèrent être des outils intéressants à déployer lors d'un projet de restauration suite à une pollution organique. Ils sont par ailleurs essentiels pour comprendre les dynamiques de transfert de contaminants et leur influence sur la végétation.

CONTENU DE L'OUTIL

Six indicateurs sont proposés pour le suivi de travaux de restauration sur de sols contaminés en phytosanitaires (sols agricoles notamment) ou/et ayant subi un étrépage. Ces indicateurs ciblent le compartiment sol rhizosphérique avec 5 indicateurs physico-chimiques (teneurs en phytosanitaires sol-racines, humidité du sol, phosphore disponible et carbone organique) et 1 indicateur biologique de fonctionnement de la rhizosphère (respirométrie).

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> + Connaître la distribution des phytosanitaires dans les compartiments sol - plante + Dresser un diagnostic ciblé de l'état du milieu + Evaluer le choix technique retenu pour une restauration 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de réalisation (environ un mois) : stratégie et échantillonnage, préparation des échantillons, analyses en laboratoire - Coût pour le déploiement des 6 indicateurs

MISE EN ŒUVRE

Temps	Moyens humains	Compétences	Matériel	Coûts
selon l'indicateur : de 1 à 3 semaines	technicien.ne à ingénieur.e	selon l'indicateur : chimie, biochimie, microbiologie, écologie	spécifique aux laboratoires d'analyses de chimie et biochimie (cf. Principes des indicateurs ci-après)	de 5€/échantillon (taux d'humidité) à 150€/échantillon. (contaminants du sol et des plantes)

CONTEXTE

Les 6 indicateurs de suivi proposés lors d'un étrépage ont été développés dans le cadre du projet [DynaMOT](#) (ZABR-Agence de l'eau - Action n° 58). Ils ont été sélectionnés parmi plusieurs indicateurs biologiques et physico-chimiques car ils mettent en évidence l'effet de l'étrépage d'un sol contaminé en phytosanitaires sur le fonctionnement du milieu. Ils permettent d'obtenir un premier diagnostic.

Ces 6 indicateurs sont **nécessaires pour faire l'interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) et sont transposables** à différents milieux (terres agricoles, milieux humides, milieux plus mésophiles) et à toute famille de polluants organiques.

La présente fiche technique est à mettre en regard de trois autres fiches du projet DynaMOT éditées par la ZABR : « [Méthodologie de préparation de plantes et de leurs sols rhizosphériques pour des analyses biologiques et de pesticides intégrées](#) », « [Protocole d'extraction de phytosanitaires dans les plantes](#) » et « [Chambre à flux pour la mesure des flux de contaminants évapotranspirés à partir du sol](#) ».

PRINCIPES DES INDICATEURS

1-Taux d'humidité du sol (exprimé en %)

Le taux d'humidité du sol rhizosphérique est un indicateur facile à mettre en place qui reflète directement la teneur en eau du sol. Il permet, avec des mesures répétées dans le temps et à différents points du site, de suivre ses variations spatio-temporelles. Un fort taux d'humidité, avec des températures extérieures élevées favorisera les émissions de contaminants par évaporation.

Matériel : Tamis à 2 mm, balance de précision, étuve

Protocole : 10 g de sol frais -Séchage à 105°C pendant 3 jours - Peser avant / après

Calcul : Taux d'humidité = $\frac{MF-MS}{MF}$ (MF = Masse Fraîche, MS = Masse Sèche)

2-Carbone organique (CO) et la matière organique (MO) du sol

Le CO indique le potentiel agronomique du sol et sa capacité à adsorber aussi bien les cations

échangeables que des contaminants tels que les phytosanitaires. En général, plus la valeur du CO (en g CO / kg sol sec) est élevée, plus la rétention est importante (Baize, 2018).

Matériel : spécifique nécessitant une sous-traitance des échantillons à un laboratoire d'analyse équipé d'un analyseur de carbone organique total et minéral

Protocole : norme NF ISO10694 ou NF ISO14235

Principe du calcul : le CO est calculé par différence entre le C total et le C minéral

3-Phosphore disponible (P₂O₅)

Le phosphore disponible est le phosphore accessible (biodisponible) pour la plante et les microorganismes. Les contaminants peuvent affecter sa concentration.

Matériel : spécifique nécessitant une sous-traitance des échantillons à un laboratoire d'analyse

Protocole : Méthode Olsen- NF ISO 23470

4-Respiration microbienne basale anaérobie du sol

La respiration microbienne basale anaérobie est un bioindicateur d'effet : la respiration du sol est mesurée à intervalles de temps réguliers. A l'inverse d'autres techniques de respirométrie, l'indicateur OxiTop permet d'avoir une vision cinétique de la respiration au travers de la consommation en oxygène par les microorganismes du sol (ADEME, 2012). La respiration du sol est sensible au mode de gestion et aux intrants chimiques, elle l'est également vis-à-vis des facteurs naturels environnementaux (paramètres physico-chimiques, météorologiques).

Matériel : spécifique de type OxiTop® (WTW) nécessitant une sous-traitance des échantillons à un laboratoire d'analyse



Figure 1 - Dispositif OxiTop® (ADEME 2012)

Protocole simplifié : la respiration microbienne basale est mesurée dans une jarre étanche à l'aide d'un système automatique OxiTop®. Plus d'information dans le rapport DynaMOT et sur la fiche outils ADEME 2012.

Principe du calcul : la respiration basale (mg O₂.g⁻¹ MS.j⁻¹) est calculée à partir de la courbe de dépression, en utilisant l'équation suivante :

$$RB = \frac{MMO_2 \cdot VI \cdot \delta P}{R \cdot T \cdot Ms \cdot Nj}$$

RB = respiration basale ; MMO₂ = masse molaire de l'O₂ (mg.mol⁻¹), VI = Volume libre du flacon (L), δP = différence de pression (hPa.jour⁻¹), R = constante des gaz parfaits, T = Température (°K), MS = masse sèche de sol (g), Nj = nombre de jours d'incubation.

5-Concentrations en phytosanitaires du sol rhizosphérique

De fortes concentrations en phytosanitaires dans le sol rhizosphérique peuvent impliquer un risque environnemental et/ou sanitaire. Le sol peut constituer un réservoir pour les contaminants à partir duquel ils peuvent être remobilisés vers d'autres compartiments (eau, plantes, atmosphère). Ce

processus dépendra des propriétés physicochimiques des contaminants et du sol. En site et sols pollués, il n'existe pas de norme sur des teneurs en contaminants à respecter dans les sols.

Matériel : spécifique nécessitant une sous-traitance des échantillons à un laboratoire d'analyse équipé d'appareillages d'extraction (ASE, Accelerated Solvent Extractor), d'évaporation de solvant (Turbovap) et d'analyse (quantification et identification) par GC-MS ou LC-MSMS.

Protocoles d'extraction et de quantification simplifiés : extraction de 10 g de sol sec par l'ASE (100°C, 100 bars, 30 min) à l'aide de solvants organiques (acétone, dichlorométhane, acétate d'éthyle, acétonitrile). L'extrait est ensuite réduit sous N₂ (Turbovap) et filtré sur PTFE (0,22 µm). L'analyse se fait par LC-MSMS (Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem) ou GC-MS (Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse). La limite de quantification est du ng/g sol sec en LC-MSMS au µg/g sol sec en GC-MS. *Plus d'information dans le rapport DynaMOT.*

6-Concentrations en phytosanitaires dans les parties souterraines des plantes

Le transfert des contaminants dans les parties souterraines des plantes (racines, rhizomes) permet avec celui du sol de calculer un facteur de bioconcentration ([contaminant parties souterraines]/[contaminant sol]). La présence de phytosanitaires dans les racines et rhizomes peut également conduire à leur transfert et accumulation vers les feuilles nécessitant une étude complémentaire (risque potentiel pour une valorisation agricole).

Matériel : spécifique nécessitant une sous-traitance des échantillons à un laboratoire d'analyse. Idem que pour les contaminants du sol excepté pour l'étape d'extraction réalisée selon la méthode QuEChERS

Protocoles d'extraction et de quantification simplifiés : méthode Quechers selon le standard Européen EN 15662 et l'analyse se fait par LC-MSMS ou GC-MS. Pour plus de détails se reporter aux fiches outils ZABR «[Méthodologie de préparation de plantes et de leurs sols rhizosphériques pour des analyses biologiques et de pesticides intégrées](#)» et «[Protocole d'extraction de phytosanitaires dans les plantes](#)».

PERSPECTIVES ET PRECONISATIONS

Préconisations pour l'utilisation des indicateurs proposés :

- ⇒ La période d'étrépage conseillée est la fin de l'été - début d'automne, permettant de minimiser l'évaporation des contaminants dans l'atmosphère.
- ⇒ La fréquence de suivi des indicateurs conseillée est de 2 campagnes de mesures avant étrépage (printemps et fin d'été - début d'automne), puis 1 fois par an après étrépage (fin d'été - début automne).
- ⇒ Les 6 indicateurs proposés sont « à minima ». Ils peuvent être complétés par d'autres analyses selon le milieu et l'objectif des travaux. Par exemple, avec d'autres analyses physico-chimiques (azote total, calcaire total...) ou des analyses d'autres compartiments (sol en profondeur, eau de nappe ...).

Préconisations lors d'un étrépage d'un sol contaminé :

- ⇒ Point de vigilance : en présence de polluants volatils, un pic d'émission peut être observé vers l'atmosphère dès le démarrage de l'opération de décapage (cas du (S) métoclochloré).
- ⇒ Faire attention à la période choisie pour démarrer les travaux : privilégier une période avec de faibles températures et/ou de faibles pluviométries pour limiter l'évaporation de la solution du sol contaminé.

PERSONNES RESSOURCES

Geneviève CHIAPUSIO

Laboratoire CARRETEL (UMR USMB- INRAE)
genevieve.chiapusio@univ-smb.fr
 04 79 75 81 07

Bernard DAVID

Laboratoire EDYTEM (UMR CNRS-USMB)
bernard.david@univ-smb.fr
 04 79 75 88 03

DOCUMENT(S) SOURCE

G.Chiapusio, et al (2022). *Dynamique des transferts et effets des Micropolluants Organiques persistants dans le fonctionnement d'une Tourbière alcaline en restauration. DynaMOT. Action n° 58* du Programme 2018 au titre de l'accord-cadre ZABR-Agence de l'Eau RMC.

AUTEUR(S)

Geneviève CHIAPUSIO (Laboratoire CARRETEL), Bernard DAVID (Laboratoire EDYTEM)

STRUCTURE(S) PORTEUSE(S) DU PROJET

Université Savoie Mont Blanc, CNRS, INRAE, Agence de l'eau RMC

SITES ET OBSERVATOIRES DE LA ZABR MOBILISES

Zone Humide, site en Chautagne-Savoie (commune de Chindrieux, gestion par le CEN Savoie depuis 2016).

THEMATIQUES ZABR ABORDEES

Flux Polluants, Ecotoxicologie, Ecosystèmes (FPPE)

PROJET

[DynaMOT](#) « Dynamique des transferts et effets des Micropolluants Organiques persistants dans le fonctionnement d'une Tourbière alcaline en restauration » (2018-2020), projet financé par l'Agence de l'eau RMC.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME (2012). *Bioindicateurs : des outils biologiques pour des sols durables - Fiche outils : Respirométrie Oxitop Fiche Outil M2.* (<https://bibliothèque.ademe.fr/sols-pollues/2714-bioindicateurs-des-outils-biologiques-pour-des-sols-durables-fiches-outils.html>)
- D. Baize (2018). *Le carbone et les matières organiques.* Guide des analyses en pédologie. Quae (Ed.), 3e Edition revue et augmentée, pp 43-61.
- G.Chiapusio, S.Puijalon, P.Binet, S.Criquet et B.David (2022). *Dynamique des transferts et effets des micropolluants organiques persistants dans le fonctionnement d'une tourbière alcaline en restauration. DynaMOT. Action 58* programme 2018 ZABR-Agence de l'eau RMC.
- P. Hinsinger, A.G. Bengough, D. Vetterlein, M. Young Iain (2009). *Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance.* Plant Soil, 321, 1-2, 117-151.
- Video associée au programme DynaMOT "Chimie de campagne" : <https://www.youtube.com/watch?v=Cl39xEhckYs>