

Les communautés végétales

Faure O., Bouchardon, J-L. & Conord, C. ENSM-SE, UMR 5600 EVS
Contact : ofaure@emse.fr



DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Nom de l'indicateur : Les teneurs foliaires en éléments traces métalliques (ETMs) dans les communautés végétales, indicateur de la phytodisponibilité des contaminants, l'indice Phytomet.

Rôle écologique de l'organisme testé : Les végétaux supérieurs, plantes herbacées et ligneuses, forment des communautés d'organismes fixés, directement inféodés à leur substrat et dont la nutrition minérale, et donc la composition en éléments, dépend étroitement des propriétés du sol sur lequel ils se développent. En tant que producteurs primaires, les végétaux constituent aussi un maillon essentiel des chaînes trophiques, et représentent ainsi une voie potentielle de transfert des contaminants vers les consommateurs primaires et secondaires.

Sur des sols non contaminés, les concentrations en métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) et métalloïdes (As) mesurées dans les feuilles des plantes présentes sont variables en fonction des espèces et des éléments considérés, mais elles restent toujours relativement faibles, dans une gamme de concentrations bien définie. Sur sites contaminés par contre (Fig. 1), les concentrations foliaires mesurées peuvent atteindre des valeurs « inhabituellement » hautes, et d'autant plus importantes que les contaminants du sol sont en concentrations élevées et sous formes facilement assimilables par les plantes. Les teneurs foliaires en éléments métalliques de la végétation d'un site renseignent donc non seulement sur la présence de contaminants, mais surtout sur leur phytodisponibilité, c'est-à-dire leur facilité à se déplacer au sein de leur matrice, pour atteindre une cible biologique (le « compartiment » végétal).



Figure 1 : Les communautés végétales se développant sur sites pollués, présentent des concentrations métalliques foliaires qui renseignent sur la phytodisponibilité des éléments traces.

Type d'indicateur : Bioindicateurs d'accumulation. Les concentrations métalliques foliaires d'un ensemble d'espèces appartenant à une même communauté végétale sont considérées comme représentatives de la phytodisponibilité des métaux sur le site. Les valeurs mesurées permettent, pour les éléments considérés, de calculer l'excès de charge métallique d'une communauté végétale exposée, et donc d'évaluer la phytodisponibilité de chaque contaminant. Un descripteur unique, l'indice PhytoMet, intégrant la phytodisponibilité et la toxicité potentielle des principaux ETMs peut également être calculé et permet de discriminer nettement des sites multicontaminés vis-à-vis des risques de transfert vers les consommateurs primaires.

DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

Normes et/ou protocoles de référence

Le protocole de référence a été défini dans le cadre du programme Bioindicateurs II. Des échantillons composites, représentatifs de la communauté végétale en place, sont constitués en prélevant des feuilles sur les espèces les plus abondantes observées sur le site d'étude (Fig. 2). Chaque échantillon composite est alors minéralisé et analysé par spectrométrie d'émission atomique, afin de déterminer leurs teneurs en éléments trace métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn). La comparaison des valeurs obtenues avec des valeurs de références, définies sur sols non contaminés, permet de calculer l'indice Phytomet.

Plan et méthode d'échantillonnage : Les prélèvements sont réalisés à l'optimum de végétation, c'est-à-dire en juin-juillet. En vue de la constitution d'échantillons composites (« pools »), de 10 à 50 g de matière fraîche (feuilles pour les ligneux, feuilles et éventuellement tiges chlorophylliennes pour les herbacées) sont prélevés sur trois à cinq espèces différentes se développant dans une même zone (environ 10 à 100 m² en fonction de la richesse spécifique et du couvert végétal). D'une manière générale, cinq échantillons composites sont prélevés pour des surfaces totales de 100 à 1000 m² (à chacun des 4 angles et au centre, si possible en utilisant des mélanges d'espèces différentes entre chaque réplique), mais le nombre d'échantillons peut être augmenté en fonction de la surface et de l'hétérogénéité constatée de la zone d'étude. La prospection d'un site et la collecte des échantillons nécessite de deux à trois heures (niveau ingénieur d'étude) et ne demande aucune connaissance particulière en botanique (la reconnaissance taxonomique des espèces n'est pas nécessaire).



Figure 2 : Prélèvement, minéralisation et analyse d'échantillons végétaux.

Stockage et pré-traitement des échantillons : Après leur prélèvement, les échantillons de chaque espèce constitutive des pools sont lavés soigneusement à l'eau courante, séchés jusqu'à déshydratation complète (à l'air libre ou à l'étuve à 40°C), puis broyés individuellement (<2 mm). Un échantillon composite (« pool ») est alors préparé en mélangeant 100 mg (DW) de chacune des espèces constitutive du pool. Chaque échantillon composite est alors minéralisé par attaque acide. Pour l'étude d'un site, la préparation de cinq échantillons composites nécessite environ 2 jours de travail (niveau technicien).

Description simplifiée de la méthode de mesure : Les analyses de la composition élémentaire des échantillons minéralisés, sont réalisées par spectrométrie d'émission atomique (ICP-AES). Une centaine d'échantillons peuvent être analysés par journée de travail (niveau technicien).

À partir des données analytiques la détermination de l'indice Phytomet est basée sur une comparaison des distributions des teneurs en éléments métalliques dans les échantillons du site étudié, avec celles mesurées dans des échantillons témoins, prélevés sur sites non contaminés (données disponibles dans la base de donnée de programme bioindicateurs II, cf ci-dessous).

Pour chaque élément analysé les paramètres à prendre en compte sont les suivants (figure 3) :

- Médiane de la distribution sur sites témoins, MedT
- Vibrisse supérieure de la distribution sur site témoin (3^e quartile + 1.5 * distance interquartile), V
- Médiane de la distribution observée sur le site d'étude, MedObs
- Fréquence des outliers (valeurs > vibrisse) dans la distribution observée, par rapport à la distribution témoin, FreqOut (par ex. dans le cas présenté en fig. 2, quatre mesures sur cinq sont supérieures à la vibrisse, FreqOut = 4/5).

À partir de ces données, le calcul de l'indice PhytoMet est réalisé en quatre étapes :

- **Etape 1 :** calculer pour chaque métal(loïde) la déviation relative (DRMet), en valeur absolue, de la médiane observée sur le site (MedObs) à la médiane sur site témoin (MedT).

$$DRMet = \text{ABS}(\text{MedObs} - \text{MedT}) / \text{MedT}$$

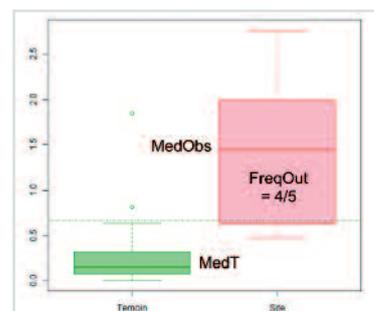


Figure 3 : exemple de distribution des teneurs foliaires en Cd dans des communautés végétales se développant sur site non contaminé (Témoin) et sur un site d'étude (Site). La ligne pointillée représente la vibrisse supérieure de la distribution en site témoin.

- **Etape 2** : corriger les déviations relatives calculées, en tenant compte de la fréquence des outliers (FreqOut) dans les distributions observées (permet de tenir compte du nombre de valeurs anomaliques et de borner l'indice à 0 quand les déviations observées par rapport à la médiane témoin restent dans la gamme des valeurs observées en site non contaminé)

$$\text{DRMet/Cor} = \text{DRMet} \times \text{FreqOut}$$

(Rq. : Les DRMet/Cor représentent, pour chaque métal, l'excès de charge métallique dans la communauté végétale étudiée. Elles renseignent donc sur la phytodisponibilité individuelle des métaux par rapport à des situations témoins, sur sites non contaminés.)

- **Etape 3** : calculer l'indice de risque (IRMet) associé à chaque élément, en multipliant chaque DRMet/Cor par une constante caractéristique de la toxicité potentielle de chaque métal (kMet).

$$\text{IRMet} = \text{DRMet/Cor} \times \text{kMet}$$

Les kMet retenues ici sont celles utilisées pour le calcul de l'indice Metox utilisé par les agences de l'eau pour évaluer les contaminations aquatiques (mais le choix d'autres constantes peut être envisagé en fonction des récepteurs suspectés) :

$$\text{kAs} = 10 ; \text{kCd} = 50 ; \text{kCr} = 1 ; \text{kCu} = 5 ; \text{kNi} = 5 ; \text{kPb} = 10 ; \text{kZn} = 1$$

- **Etape 4** : calculer l'indice PhytoMet de la végétation du site

$$\text{PhytoMet} = \sum \text{IRMet}$$

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

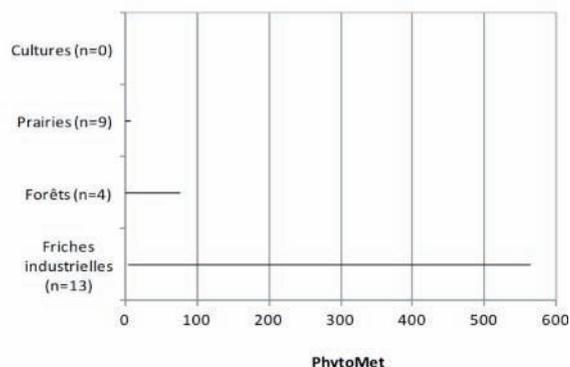
Nécessité d'un référentiel global, faisant appel à une base de données

Le calcul de « l'excès de charge métallique » et de l'indice PhytoMet pour des sites contaminés, nécessite de connaître les paramètres des distributions « habituelles » des teneurs foliaires en ETMs, pour des situations témoin, sur sites non contaminés. Il est donc nécessaire de disposer d'une base de données, la plus représentative possible, regroupant ces valeurs pour les métaux analysés.

Disponibilité/accès à la base de données

Une base de données a été initiée dans le cadre du programme Bioindicateurs II. À titre d'exemple, la figure 4 présente la gamme de variations de l'indice PhytoMet, pour les différentes typologies d'occupation des sols étudiées dans le programme Bioindicateurs II.

Figure 4 : gamme de variation de l'indice PhytoMet sur les sites du programme Bioindicateur II.



Informations complémentaires nécessaires (ex : climat, usage, type de sol..)

Aucune information complémentaire n'est nécessaire.



EXEMPLE D'APPLICATION

La comparaison de quatre situations type, étudiées dans le cadre du programme Bioindicateur II, permet d'illustrer l'intérêt de l'indice PhytoMet. Les exemples présentés correspondent à des parcelles diversement contaminées par des éléments métalliques, situées sur les sites atelier de Metaleurop (parcelle MeTeF), du GISFI (parcelle GHM), de St Etienne (StEtA) et d'Auzon (AuzFCo). Le tableau I présente les concentrations totales en ETMs du sol de ces différentes parcelles et les compare aux concentrations limites rencontrées sur sites non contaminés (vibrisses du RMQS).

Métal	Vibrisse RMQS	Parcelle d'étude			
		MeTeF	GHM	AuzFCo	StEtA
As	60	7,1	58,5	1087	73,3
Cd	0,67	1,1	1,2	6,7	21,0
Cr	116	41,5	171,5	52,3	982
Cu	42,7	12,3	45,3	139,8	1555
Ni	61,5	13,7	26,9	25,7	685
Pb	62,3	48,8	309,0	1834	2525
Zn	161	101,7	323,0	173,2	2830

Le tableau I présente les concentrations totales en ETMs du sol de ces différentes parcelles et les compare aux concentrations limites rencontrées sur sites non contaminés (vibrisses du RMQS).

Tableau 1 : teneurs totales en ETMs des sols (en mg kg⁻¹) de quatre parcelles contaminées et comparaison aux vibrisses du RMQS. Les valeurs en vert (<vibrisse RMQS) sont considérées comme non anormales, les valeurs en rouge (>vibrisse RMQS) sont considérées comme anormales.

L'observation du tableau I montre que la parcelle MeTeF est la moins contaminée et ne présente qu'une légère anomalie en Cd. En revanche les parcelles GHM et AuzFCo présentent des contaminations modérées à fortes, avec des anomalies marquées pour cinq des sept métaux analysés. La parcelle la plus contaminée est StEtA, pour laquelle tous les métaux analysés montrent des concentrations fortement anormales. En conséquence, les analyses de sol indiquent que la parcelle MeTeF présente un danger potentiel beaucoup plus faible que la parcelle StEtA, vis-à-vis des récepteurs biologiques susceptibles d'être exposés ; les deux autres parcelles (GHM et AuzFCo) présentant des dangers potentiels intermédiaires.

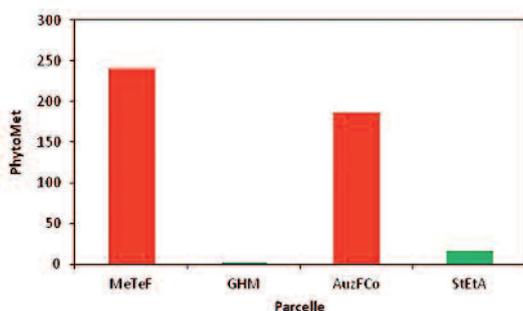


Figure 5 : indices PhytoMet de quatre parcelles contaminées du programme Bioindicateurs II.

Cependant la question reste posée de savoir si les métaux identifiés comme anormaux sont effectivement biodisponibles et donc susceptibles d'interagir avec des organismes vivants. Le calcul de l'indice PhytoMet (Figure 5) apporte des éléments de réponse à cette question, au moins en ce qui concerne le compartiment végétal. De fait, de façon a priori inattendue, les résultats obtenus montrent que la parcelle MeTeF, pourtant la moins contaminée, présente l'indice le plus élevé. Inversement, les parcelles GHM et StEtA, très contaminées, présentent un indice très faible ou nul. La parcelle AuzFCo présente quant à elle un indice élevé, mais qui reste inférieur à celle de la parcelle MeTeF.

L'ensemble de ces résultats suggère donc que, malgré une contamination très faible, la parcelle MeTeF présente une phytodisponibilité du Cd très importante. Compte tenu de la toxicité élevée de ce métal, le risque associé à son transfert vers les plantes est élevé, comme le montre la valeur importante de l'indice PhytoMet. Inversement, malgré des contaminations multimétalliques très importantes, les métaux présents sur les parcelles GHM et StEtA sont très peu phytodisponibles, et les risques associés à leur transfert, vers les plantes et les consommateurs primaires, sont très faibles.

INTÉRÊTS ET LIMITES DE L'INDICATEUR

- + Apporte une information sur la phytodisponibilité des contaminants (très difficilement prévisible par les extractions chimiques).
- + Apporte des informations relatives à l'exposition des consommateurs de niveaux supérieurs et au risque associé.
- + La base de données des valeurs de références n'est renseignée que pour un nombre limité de contaminants (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn).
- + Ne donne pas d'information sur la biodisponibilité des contaminants organiques.