

NOTE DE SYNTHÈSE

Indice de préoccupation (IdP) Outil d'aide à la gestion pour identifier les friches polluées éligibles à une reconversion écologique

Janvier 2025

En réponse aux engagements du gouvernement vis-à-vis de l'objectif de « zéro artificialisation nette » prévu par le Plan Biodiversité, les instituts techniques et de recherche, les communes ou encore les bureaux d'étude multiplient les initiatives pour identifier les friches, industrielles, urbaines ou agricoles, qui présentent un potentiel pour des opérations de renaturation et permettre ainsi l'intégration d'espaces verts dans les agglomérations.

Certaines de ces friches polluées et à l'abandon accueillent des écosystèmes de transition ayant un intérêt écologique (du fait de la présence d'espèces patrimoniales par exemple). La question se pose alors de savoir s'il faut laisser la pollution en place pour préserver cet écosystème de transition ou s'il faut démarrer des opérations de dépollution dont la mise en œuvre peut conduire à sacrifier ces écosystèmes. Puisque les concentrations de polluants à des teneurs supérieures aux valeurs de fond et à d'autres valeurs de gestion ne sont pas nécessairement liées à des impacts sur les écosystèmes, une revalorisation de ces friches vers des usages écologiques est possible à condition de pouvoir démontrer une absence de risque. Le processus d'évaluation des risques pour les écosystèmes (ERE), décrit par un document d'orientation diffusé par l'Ineris en 2022¹, peut permettre d'accompagner cette prise de décision. Cependant, les méthodologies qui y sont exposées sont rarement mises en œuvre car elles nécessitent des moyens techniques et financiers souvent perçus comme trop importants.

C'est la raison pour laquelle, en se basant sur les principes de la méthode Triade (NF ISO 19240), et notamment sur la combinaison des 3 approches (écologique, chimique et éco toxicologique), un « Indice de Préoccupation » (IdP) a été développé afin de caractériser un sol pollué du point de vue du risque qu'il représente pour les écosystèmes. L'IdP permet de classer les sites pollués en 3 catégories : un « état non préoccupant » qui traduit une possibilité de revalorisation de la friche vers un usage écologique, un « état intermédiaire » qui peut être précisé vers une des deux autres catégories en renseignant le caractère biodisponible de la pollution en place, et enfin un « état préoccupant » nécessitant une étude plus approfondie de type ERE.

En définitive, l'Indice IdP est un outil destiné à orienter les modalités de gestion ou de remédiation des sites pollués. Au travers de cas d'étude développés dans le projet Ademe Tipomo, il a montré son caractère opérationnel et adapté aux friches présentant des teneurs en polluants supérieures aux valeurs de fond mais pouvant produire un bénéfice environnemental lié à un écosystème déjà en place (stockage de carbone, espace de loisir, lutte contre les îlots de chaleur et les inondations, etc.).

Contexte et enjeux : la contamination des sols (péri)urbains

Le devenir des friches industrielles urbaines ou périurbaines est au cœur de nombreux enjeux environnementaux, sociaux et économiques, notamment en raison des objectifs de réduction de l'étalement urbain et de requalification des zones laissées à l'abandon. Ces friches sont des éléments essentiels pour atteindre l'objectif « zéro artificialisation nette » prévu par le Plan Biodiversité. Certains de ces espaces sont en effet des candidats à un changement d'usage du sol vers un usage de renaturation (voir encadré). Cette deuxième vie de la friche pourrait alors offrir le bénéfice d'un environnement agréable à la population, faire bénéficier une commune d'un puits de chaleur et maintenir une source de biodiversité au sein de l'enclave urbaine.

Lorsque des projets de requalification concernent des friches contaminées pour lesquelles des enjeux sanitaires ou écologiques ont été identifiés, la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués prévoit la réalisation d'une étude des risques sanitaires et envi-

ronnementaux. Dans ces cas de figure, une approche de type « risque » peut être proposée pour vérifier la qualité écologique du milieu. Cette ERE (évaluation du risque pour les écosystèmes) (Ineris, 2022) se base par exemple sur le calcul d'un ratio de caractérisation du risque, équivalent sur le fond au quotient de risque utilisé pour estimer le risque sanitaire. Il correspond au rapport entre la concentration d'exposition (prédite à partir de concentrations mesurées ou modélisées) (PEC) et la concentration sans effets prévisibles (PNEC). L'ERE peut encore être conduite sur le modèle normalisé de l'approche Triade², qui va exploiter les outils de différents domaines de la science de l'évaluation du risque pour diminuer les incertitudes de l'évaluation et obtenir un résultat le plus pertinent possible. Cependant, ces études sont longues, onéreuses et ne sont mises en œuvre que sur un nombre restreint de friches contaminées. De plus, lorsque ces méthodes sont utilisées, des incertitudes peuvent subsister quant à la nécessité d'une remédiation de la friche si ce processus a pour conséquence la destruction d'un écosystème de transition qui s'y serait installé.

L'usage de renaturation

Dans le but de faciliter le montage des opérations de réhabilitation de sites et sols pollués, la loi Climat et résilience est à l'origine de l'article L.556-1 A ajouté au Code de l'environnement en 2021. Celui-ci indique que « l'usage est défini comme la fonction ou la ou les activités ayant cours ou envisagées pour un terrain ou un ensemble de terrains donnés, le sol de ces terrains ou les constructions et installations qui y sont implantées ». En ce qui concerne la réhabilitation de ces terrains, comme par exemples des friches, le texte la définit comme étant « la mise en compatibilité de l'état des sols avec, d'une part, la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 (du Code de l'environnement) et, le cas échéant, à l'article L. 211-1 et, d'autre part, l'usage futur envisagé pour le terrain ». Le décret n°2022-1588 du 19 décembre 2022 identifie et définit les huit différents types d'usages dans la gestion des sites et sols pollués. Il est entré en vigueur le 1er janvier 2023. Ainsi, l'usage de renaturation est défini comme impliquant une désartificialisation ou des opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité des sols, notamment des opérations de désimperméabilisation, à des fins de développement d'habitats pour les écosystèmes.

Objectifs

L'objectif premier du partenariat avec les organismes de Afin de simplifier la gestion et éventuellement la reconversion des friches contaminées, et plus particulièrement la gestion des friches laissées à l'abandon qui accueillent des écosystèmes de transition ayant une valeur écologique (e.g. présence d'espèces protégées ou patrimoniales), une nouvelle approche méthodologique de caractérisation de la qualité des sols est proposée : l'Indice de Préoccupation (IdP). La méthode s'applique en amont des procédures d'évaluation du risque et permet d'identifier les situations où la

contamination des sols est susceptible d'avoir ou non un effet néfaste vis-à-vis des écosystèmes terrestres. L'interprétation de l'IdP devrait ainsi permettre d'identifier les friches contaminées accueillant un écosystème de transition qui sont éligibles à une reconversion facilitée vers un usage de renaturation (intégré à une trame verte, réserve de biodiversité, etc.) et celles pour lesquelles la possibilité d'une telle reconversion doit être confirmée par la réalisation d'une ERE selon les méthodes évoquées plus haut.

Le projet Tipomo

La méthode « IdP » a été mise au point dans le cadre du projet Ademe « Étude du transfert, indice de préoccupation : outil pour la valorisation des friches moyennement contaminées » ou projet Tipomo. Les différents partenaires du projet (l'Ineris, l'école des mines de Saint Etienne et le bureau d'étude EODD Ingénieurs conseils) ont coordonné leurs actions pour éprouver ce nouvel outil de gestion au travers de son utilisation sur huit friches urbaines sélectionnées dans la base de données du programme Ademe « RESOLU ».

Les détails du projet Tipomo sont présentés dans le rapport d'étude « étude Tipomo³, Étude des transferts, indices de préoccupation : outils pour la valorisation des friches urbaines moyennement contaminées » disponible en ligne dans la librairie de l'Ademe. Il est possible d'y retrouver notamment la méthode détaillée du calcul de l'indice et la corrélation entre l'interprétation de l'indice et les résultats d'une batterie de bioessais réalisés sur des organismes du sol.

L'Indice de préoccupation

Contexte d'utilisation

L'indice de préoccupation est un outil de gestion utilisé en amont d'une évaluation de risque pour les écosystèmes. Son objectif est de classer un sol contaminé pour lequel on envisage un usage écologique en fonction du niveau de préoccupation qu'il représente pour la santé des écosystèmes terrestres.

L'IdP s'applique sur les friches industrielles urbaines ou péri-urbaines contaminées par 5 EPT (des éléments potentiellement toxiques, ici l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc) et des HAP (la liste des HAP prioritaires de l'US-EPA). En condition préalable, les friches considérées doivent abriter un écosystème de transition (couverture végétale importante et sol présentant une ou plusieurs fonctionnalités⁴).

En choisissant d'utiliser la méthode de l'indice de préoccupation (ou IdP), le gestionnaire pourrait obtenir suffisamment d'information pour faire évoluer l'usage d'une friche polluée vers la sauvegarde une éventuelle biodiversité fonctionnelle, tout en s'affranchissant de la mise en œuvre d'une ERE, injustifiée au regard du ratio coût/bénéfice.

Principes de la méthode

La méthode est itérative et s'appuie pour débiter sur les concentrations totales en contaminants mesurées dans les sols. Dans un premier temps, les concentrations totales en EPT et en HAP sont agrégées sous la forme d'un Indice assimilable à un calcul de pression toxique : un Indice pour les EPT ($IdP_{\text{métaux}}$) et un indice pour les HAP (IdP_{HAP}). Ces indices sont comparés à une valeur limite basse de 5 et à une valeur limite haute de 15 (Figure 1). La valeur limite basse correspond au résultat attendu si la démarche est appliquée sur une friche présentant des concentrations totales jugées acceptables dans le cadre d'une évaluation des risques. À l'inverse, la valeur limite haute reflète le résultat attendu pour une friche dont les concentrations totales semblent, à première vue, inacceptables lorsqu'elles sont comparées à des valeurs seuils sans effet, comme une PNEC. Si les Indices $IdP_{\text{métaux}}$ et IdP_{HAP} sont inférieurs à la valeur limite basse, la friche est qualifiée de « non préoccupante » et sa requalification vers un usage écologique est envisageable sans qu'il soit indispensable de réaliser une évaluation des risques pour les écosystèmes. Si l'un ou l'autre des Indices $IdP_{\text{métaux}}$ et IdP_{HAP} sont supérieurs à la valeur limite haute, la friche est préoccupante et une évaluation des risques pour les écosystèmes doit être déroulée pour appréhender la compatibilité de la pollution en place avec l'usage de renaturation envisagé (continuité écologique, espace vert, zone naturelle etc.). Les données obtenues au travers de la réalisation de la méthode de l' IdP fournissent une bonne base pour réaliser cette évaluation. Dans les autres cas (l'un ou les deux indices sont compris entre la valeur limite basse et la valeur limite haute et aucun n'est supérieur à la limite haute), une caractérisation de la biodisponibilité des substances peut être mise en œuvre pour une meilleure qualification de l'état de la friche.

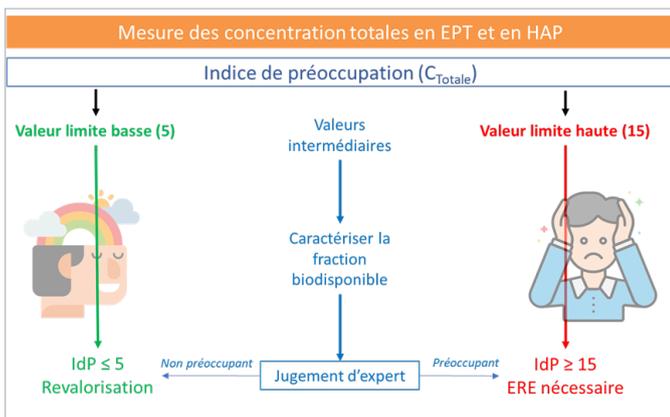


Figure 1 / Concept d'utilisation de l'indice de préoccupation

En définitive l' IdP est un outil de gestion qui permet de distinguer trois types de friches industrielles qui abritent un écosystème de transition :

- / les friches pour lesquelles la présence d'une pollution résiduelle ne présente pas de risque pour les écosystèmes (état non préoccupant) ;
- / les friches pour lesquelles la présence d'une pollution résiduelle est susceptible d'être préoccupante pour

les écosystèmes en place (état intermédiaire). Une caractérisation de la biodisponibilité des polluants doit conduire à une meilleure évaluation de l'état de la friche ;

- / les friches pour lesquelles la présence d'une pollution résiduelle est préoccupante pour les écosystèmes en place (état préoccupant). Des impacts n'ont pas été démontrés mais une évaluation des risques pour les écosystèmes doit être déroulée.

La biodisponibilité dans le contexte de l'évaluation des risques pour les écosystèmes

Selon la norme EN ISO 17 402 (2011), la disponibilité environnementale est la « fraction du contaminant potentiellement disponible pour des organismes qui résulte de processus physico-chimiques de désorption ». Elle est directement liée aux conditions environnementales⁵ (caractéristiques pédologiques, humidité, température, nature des contaminants, etc.). Cette fraction, susceptible d'être assimilée par les organismes, correspond à la fraction qui peut provoquer des effets néfastes. La concentration totale comprend à la fois la fraction biodisponible et la fraction fixée au substrat « sol » qui n'est pas mobilisable par les organismes.

Calcul de l'indice

Dans un premier temps, les concentrations totales en EPT et en HAP sont agrégées sous la forme de deux indices : un Indice pour les EPT ($IdP_{\text{métaux}}$) et un indice pour les HAP (IdP_{HAP}). Les IdP sont calculés en tenant compte des concentrations de ces substances d'une part et de la toxicité de ces dernières d'autre part sous la forme du potentiel écotoxique (PET) propre à chacune d'entre elles. Les PET sont des valeurs relatives basées sur les concentrations sans effet sur l'environnement (PNEC) des substances. L'équation proposée trouve son origine dans la méthode de calcul de l'indice METOX : un outil de gestion utilisé par les agences de l'eau pour quantifier des pollutions aquatiques et calculer une redevance que certains pollueurs doivent verser aux agences de bassin.

Ainsi, comme pour METOX, la concentration totale de la substance mesurée est multipliée par un facteur indexé sur sa toxicité mais c'est la toxicité pour les organismes terrestres plutôt qu'aquatique qui est prise en compte. Il est de plus divisé par 100 pour s'exprimer sur une échelle plus pratique.

$$IdP_{\text{substance}} = \frac{\text{Concentration totale}_{\text{substance}} \times PET_{\text{substance}}}{100}$$

Les PET déterminés au moment de la rédaction de ce document sont rapportés dans les annexes 1 et 2.

Sont différenciés ensuite l' $IdP_{\text{métaux}}$ et l' IdP_{HAP} calculés selon les formules suivantes :

$$IdP_{\text{métaux}} = 5 \times \sum \frac{IdP_{\text{substance EPT}}}{n_{\text{EPT}}}$$

(Avec n_{EPT} le nombre de métaux considérés).

$$IdP_{\text{HAP}} = 5 \times \sum \frac{IdP_{\text{substance HAP}}}{n_{\text{HAP}}}$$

(Avec n_{HAP} le nombre d'HAP considérés).

Remarque : le facteur 5 utilisé dans le calcul est un facteur d'échelle conçu pour ajuster la plage d'interprétation des résultats, la faisant passer de 1-3 à une plage de 5-15. Cette modification facilite la communication des résultats, en particulier lorsqu'ils se rapprochent des valeurs limites, rendant leur interprétation plus intuitive et accessible. Un exemple de calcul d'IdP est présenté en annexe 3.

Interprétation de l'indice de préoccupation

L'interprétation des IdP calculés se fait en référence à une valeur limite basse et une valeur limite haute (Figure 1). Elles vont permettre à l'utilisateur d'identifier les friches non préoccupantes qui peuvent être valorisées vers un usage écologique et les friches qui présentent des pollutions trop importantes pour que cette action soit réalisée sans l'analyse poussée d'une évaluation des risques pour les écosystèmes.

/ La valeur limite basse (5)
La valeur de l'IdP (EPT et HAP) en dessous de laquelle une friche est considérée comme non préoccupante est de 5. Cette valeur a été retenue car elle correspond à la valeur qui serait obtenue si l'IdP était appliqué sur une friche présentant des concentrations totales acceptables dans un contexte d'évaluation des risques pour les écosystèmes. Cette limite permet d'identifier d'emblée les friches non préoccupantes pour l'environnement.

/ La valeur limite haute (15)
La valeur de l'IdP (EPT et HAP) au-dessus de laquelle une friche est considérée comme préoccupante est de 15. Cette valeur correspond à celle qui serait obtenue pour une friche qui présenterait des concentrations totales ne permettant pas une prise de décision sans recourir à une évaluation des risques pour les écosystèmes. Cette limite permet de dissocier les friches végétalisées pour lesquelles il est nécessaire d'appliquer une ERE de celles pour lesquelles la caractérisation de la concentration biodisponible est susceptible d'encourager une revalorisation vers un usage écologique accéléré.

L'interprétation de l'indice en fonction de ces valeurs limites est représentée dans la Figure 1. On distingue trois types de friches industrielles abritant un écosystème de transition :

/ $\text{IdP}_{\text{métaux}} \text{ et } \text{IdP}_{\text{HAP}} \leq 5$: (état non préoccupant) la friche n'est pas préoccupante pour les écosystèmes, un usage de renaturation ou une valorisation écologique est possible ;

/ $5 \leq \text{IdP}_{\text{métaux}} \text{ et } \text{IdP}_{\text{HAP}} \leq 15$: (état intermédiaire) la friche est susceptible d'être préoccupante pour les écosystèmes en place. Une caractérisation de la biodisponibilité des polluants doit conduire à une meilleure évaluation de l'état de la friche ;

/ $\text{IdP}_{\text{métaux}} \text{ et/ou } \text{IdP}_{\text{HAP}} > 15$: (état préoccupant) la friche est préoccupante et une évaluation des

risques pour les écosystèmes doit être déroulée pour appréhender la compatibilité de la pollution en place avec l'usage de renaturation envisagé. Pour la conduire, il est possible de se référer au « Document d'orientation pour l'évaluation du risque chimique pour les écosystèmes - Impact local des activités humaines sur les milieux naturels et la biodiversité »⁶.

La caractérisation de la biodisponibilité peut permettre à une friche de changer de statut et de passer d'un état intermédiaire à un état non préoccupant. Le choix des outils pour mesurer cette biodisponibilité des polluants dans le sol n'est pas fixée dans la méthode proposée dans ce document ou dans le rapport du projet Tipomo⁷ qui encadre la construction de l'indice. La consultation de ce dernier offre toutefois de nombreuses pistes puisque quatre techniques allant de l'extraction chimique (extraction des éléments traces au CaCl₂ et Techniques d'extraction non exhaustives -Tenax) à la mesure de la fraction accumulée dans les tissus d'organismes exposés (Indice CMT⁸ végétaux et mesure de la bioaccumulation dans les vers de terre) ont été utilisées en plus de l'observation des effets de la fraction biodisponible sur des modèles vivants (batterie de bioessais réalisés en laboratoire). Les cas appliqués qui y sont présentés permettent également de s'appuyer sur des exemples d'interprétation de résultats attendus sur des friches en « état intermédiaire ». Une liste non exhaustive de techniques normalisées de caractérisation de la biodisponibilité est présentée en annexe 4.

Développements possibles

La démarche de l'IdP proposée est plutôt facile à appliquer et repose sur les principes scientifiques du domaine de l'ERE. Son application en deux temps permet de différencier des friches préoccupantes (IdP supérieur à 15) et non préoccupantes (IdP inférieur à 5) puis de faire un dernier tri pour les friches dont les valeurs d'IdP sont intermédiaires selon le critère de la biodisponibilité des substances contaminantes. Toutefois, des pistes d'amélioration ont été identifiées.

Tout d'abord, le recours au jugement d'expert est obligatoire lorsque les IdP ont des valeurs intermédiaires et que les données de biodisponibilités sont générées. Le recul sur la méthode n'est pas suffisant pour pouvoir proposer des valeurs seuil de concentrations biodisponibles. Une expertise en ERE est demandée pour sélectionner les outils les plus appropriés au contexte ainsi que pour en interpréter les résultats et il est considéré que cela peut être perçu comme un frein à son opérationnalité.

Un autre aspect qui pourrait être amélioré concerne son domaine d'application : il faudrait étendre le nombre de substances prises en compte (pour l'instant seuls 5 ETP et 16 HAP sont couverts par la méthode). Une première étape pourrait être d'identifier les groupes de substances les plus pertinentes dans ce contexte de sols contaminés abritant un écosystème de transition ou encore d'établir une méthode pour adapter l'IdP à d'autres contextes de pollution.

Annexes

Annexe 1 : Potentiel écotoxique des EPT

Substance	Potentiel écotoxicologique
Arsenic	10
Cadmium	150
Cuivre	2
Plomb	1
Zinc	1

Tableau 1 /
Potentiel écotoxicologique des EPT considérés

Annexe 2 : Potentiel écotoxique des HAP

Substance	Potentiel écotoxicologique
Acenaphthène	200
Acenaphthylène	1000
Anthracène	500
Benzo(a)anthracène	900
Benzo(a)pyrène	1000
Benzo(b)fluoranthène	200
Benzo(k)fluoranthène	200
Benzo(ghi)perylène	300
Chrysène	100
Dibenzo(ah)anthracène	900
Fluoranthène	30
Fluorène	100
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	400
Naphthalène	200
Phenanthrène	50
Pyrène	100

Tableau 2 /
Potentiel écotoxique des HAP

Annexe 3 : calcul et interprétation de l'Indice de préoccupation

Le tableau qui suit présente un exemple de concentrations totales qu'il est possible de mesurer dans une friche abandonnée présentant un couvert végétal important ainsi que les IdP qui peuvent y être calculés.

Substance	EPT ou HAP	Concentration totale en mg/kg (ps)	Indice de préoccupation
Arsenic	EPT	130	13,00
Cadmium	EPT	1,4	2,10
Cuivre	EPT	130	2,60
Plomb	EPT	230	2,30
Zinc	EPT	620	6,20
Indice de préoccupation EPT			26,20
Acenaphthène	HAP	0,05	0,10
Acenaphthylène	HAP	0,05	0,50
Anthracène	HAP	0,05	0,25
Benzo(a)anthracène	HAP	0,05	0,48
Benzo(a)pyrène	HAP	0,05	0,50
Benzo(b)fluoranthène	HAP	0,06	0,12
Benzo(k)fluoranthène	HAP	0,05	0,10
Benzo(ghi)perylène	HAP	0,05	0,15
Chrysène	HAP	0,06	0,06
Dibenzo(ah)anthracène	HAP	0,05	0,45
Fluoranthène	HAP	0,08	0,02
Fluorène	HAP	0,05	0,05
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	HAP	0,05	0,20
Naphthalène	HAP	0,05	0,10
Phenanthrène	HAP	0,06	0,03
Pyrène	HAP	0,07	0,07
Indice de préoccupation HAP			0,99

Tableau 3 /
Démonstration du calcul d'IdP

L'indice de préoccupation pour les cinq métaux est de 26,2 ce qui est très supérieur à la valeur limite haute (15). La friche présente une contamination du sol préoccupante en métaux. L'interprétation de cet indice conduit l'évaluateur à ne pas la recommander pour une revalorisation facilitée telle qu'un usage de renaturation. Une évaluation des risques pour les écosystèmes classique est nécessaire pour appréhender convenablement la situation. L'indice de préoccupation pour les HAP à une valeur de 0,99 bien inférieure à la valeur limite basse (5). Sur le seul critère des HAP, il aurait été possible de recommander la friche pour une revalorisation facilitée vers un usage compatible avec une gestion de la biodiversité. L'interprétation des deux scores permet de comprendre que la pollution en place sur la friche est préoccupante et qu'il n'est pas permis de se prononcer sur le risque que ce sol représente pour les écosystèmes sans faire une évaluation des risques. L'outil met également en évidence que si des solutions de gestion de la pollution devaient être mise en place, un effort particulier devrait concerner la contamination en arsenic et en zinc, ceux-ci étant les plus gros contributeurs du score IdP constaté.

Annexe 4 : Les outils pour caractériser la fraction biodisponible d'une pollution dans le sol

Catégorie d'outil	Type ou nom d'outil	Norme
Extraction par solvants (EPT et organométalliques)	Extraction des éléments traces (DTPA)	NF ISO 14870
	Extraction des éléments traces (EDTA)	NF X31-120
	Extraction des éléments traces (HNO ₃)	NF ISO 17586
	Extraction des éléments traces (CaCl₂)	NEN 5704
	Extraction des éléments traces (NaNO ₃)	VSB0 (norme suisse)
	Extraction des éléments traces (NH ₄ NO ₃)	NF ISO 19730
Extraction par agent adsorbant (organiques)	Techniques d'extraction non exhaustives (Tenax)	XP ISO/TS 16751
	Techniques d'extraction non exhaustives (Cyclodextrine)	XP ISO/TS 16751
Lixiviation	Lixiviation rapport liquide/solide 2L/kg	NF EN ISO 21268-1
	Lixiviation rapport liquide/solide 10L/kg	NF EN ISO 21268-2
	Lixiviation par percolation	NF EN ISO 21268-3
Échantillonneurs passifs	DMT (Donnan Membrane Technique)	-
	DGT (Diffusive Gradient in Thin film, Gradient de Diffusion en couches minces)	-
	SPMD (Semi Permeable Membrane Device)	-
Bioindicateurs d'accumulation	Indice SET escargots (Somme des excès de transfert)	ISO/DIS 24032
	Indice CMT végétaux (Charge Métallique Totale)	-
	Bioaccumulation vers de terre	Essai n°317 OCDE Ligne directrice de l'OCDE 207

Les techniques en gras ont été utilisées dans le cadre du projet Tipomo⁹.

¹ Ineris (2022). Document d'orientation pour l'évaluation du risque chimique pour les écosystèmes - Impact local des activités humaines sur les milieux naturels et la biodiversité, Ineris.

² Norme NF ISO 19 204 : Procédure d'évaluation des risques écologiques spécifiques au site de la contamination des sols (approche triade).

^{3,7,9} Nicolas PUCHEUX (Ineris), Nicolas MANIER (Ineris), Olivier FAURE (École des Mines de Saint-Étienne, UMR 5600 EVS) -2021 – Identification de friches polluées éligibles à une reconversion écologique - étude Tipomo, étude des transferts, indices de préoccupation : outils pour la valorisation des friches urbaines moyennement contaminées. 103p.

⁴ Fonctions écologiques des sols : Phénomènes propres à l'écosystème qui résultent de la combinaison de l'état des écosystèmes, des structures et des processus écologiques et qui se déroulent avec ou sans la présence de l'Homme. Il s'agit notamment des fonctions de base et d'entretien de la fonctionnalité des écosystèmes (cycle des nutriments, formation des sols, production primaire, etc.).

⁵ Biodisponibilité et bioaccessibilité des polluants dans le cas des sols pollués : état des connaissances et pistes de recherche, RECORD, 2012, 259p.

⁶ Ineris (2022). Document d'orientation pour l'évaluation du risque chimique pour les écosystèmes - Impact local des activités humaines sur les milieux naturels et la biodiversité, Ineris.

⁸ L'indice CMT est un bio-indicateur d'accumulation dans les végétaux qui caractérise les transferts sol-plante dans trois catégories : « aucun transfert anormal », « transfert faible à modéré » et enfin « transfert élevé ».