



# Mesure de la biodiversité et évaluation des services écosystémiques des milieux restaurés

## Méthodes et retours d'expérience



ATELIER 7 : VILLE DURABLE

BAPTIST Florence - BIOTOPE



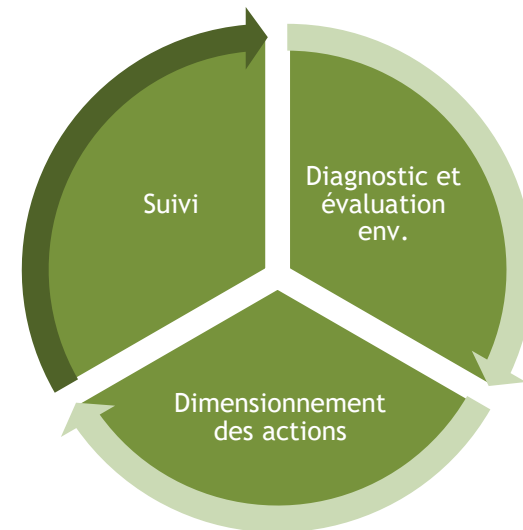
# Objectifs de l'étude



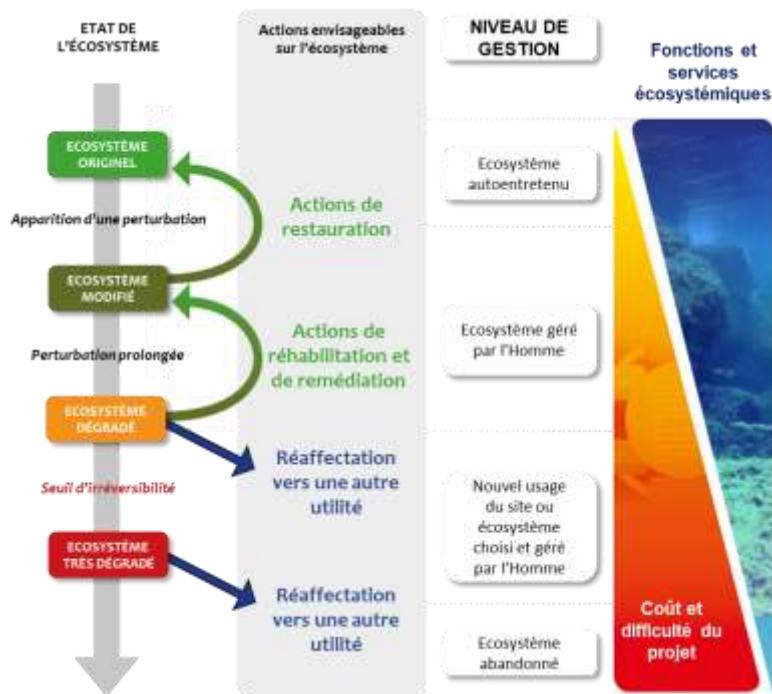
Etablir un état des lieux des méthodes de mesure permettant de suivre l'incidence des actions de restauration sur l'écosystème

- Préciser le cadre réglementaire
- Clarifier l'intérêt du cadre conceptuel offert par les services écosystémiques (SE) pour l'élaboration d'un tableau de bord
- Recenser les indicateurs de mesure de la biodiversité, des fonctions et des SE pertinents dans le contexte des sites dégradés ou pollués

Projet de réaménagement  
urbain



# Quelle approche pour évaluer le succès d'une restauration écologique ?



## Une évaluation efficace de la restauration écologique

- La régénération de l'écosystème endommagé (au travers de ses composantes biotiques et abiotiques)
- La restauration des fonctions écologiques de cet écosystème
- Le rétablissement des SE associés à cet écosystème, en adéquation avec son futur usage

# Quelle approche pour évaluer le succès d'une restauration écologique ?



## Pourquoi restaurer la biodiversité et les fonctions ?

Pour contribuer à la lutte contre l'érosion de la biodiversité et contre le changement climatique



Pour promouvoir une restauration pérenne (auto-entretien)



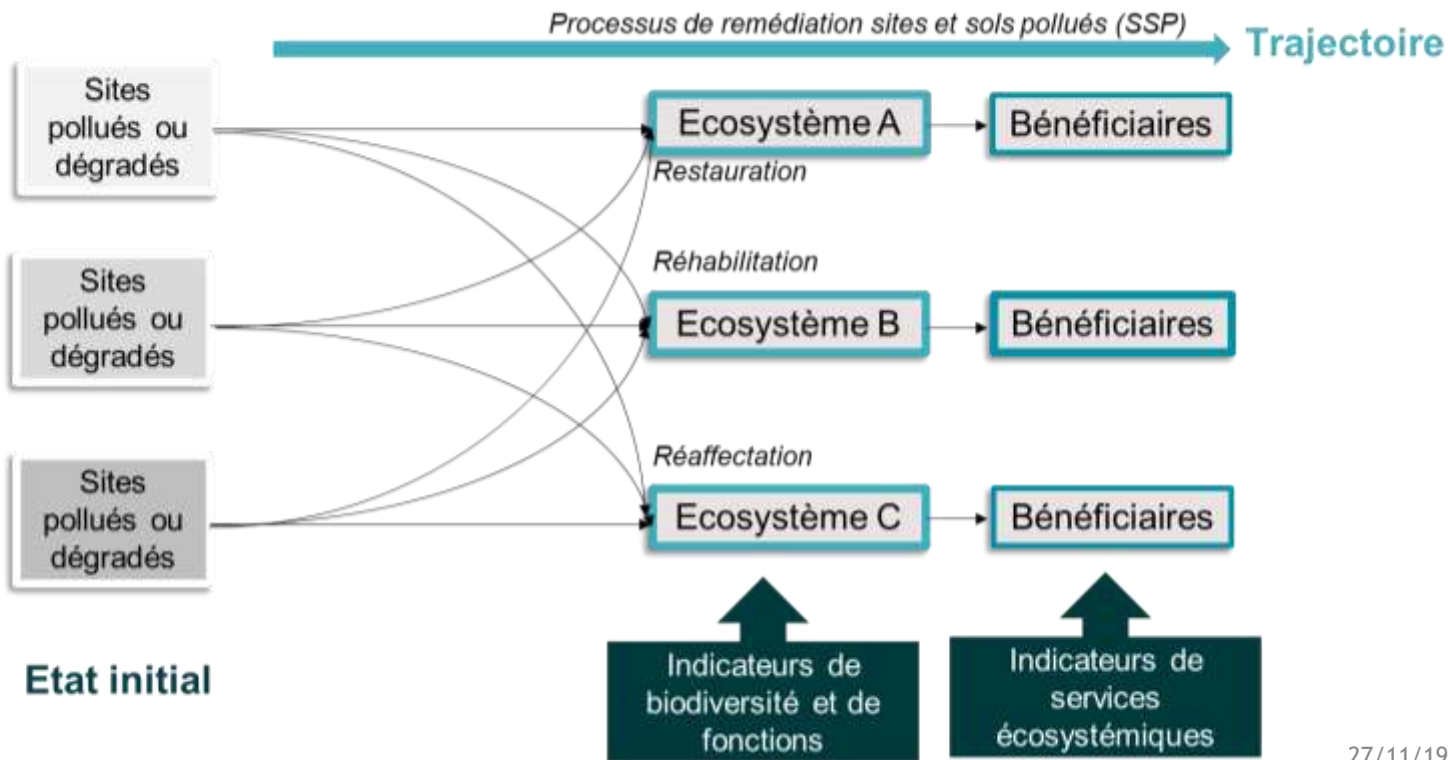
Pour tenir compte du périmètre socio-économique associé au projet qui s'étend au-delà des limites du site

## Pourquoi tenir compte des SE ?

Pour prendre en compte la demande des sociétés en SE et favoriser l'acceptabilité du projet



# Quelle approche pour évaluer le succès d'une restauration écologique ?



# Identification des indicateurs pertinents



Sur la base de la littérature scientifique et de notre expertise

**Plusieurs types d'indicateurs** (*quantitatif, semi-quantitatif*)

- Ind. de fonctions
- Ind. de SE

- Fonctions hydrogéomorphologiques
- Fonctions biogéochimiques
- Fonctions biologiques

46 indicateurs biologiques et physicochimiques dont 11 pour le sol

- Biens produits par les écosystèmes
- Services de régulation
- Services culturels

21 indicateurs

Sensibilité, fiabilité

Compromis entre robustesse scientifique et coût (matériel, temps)

Présence de standard / normes

Annexe pour calibration de certains indicateurs

# Identification des indicateurs pertinents



**Tableau 4 :** Liste des indicateurs associés aux fonctions des zones humides et milieux prairiaux (compartiment souterrain et aérien). Le détail des sous-fonctions et de leur lien avec chaque indicateur est présenté dans le tableau (grille de lecture associée à ce rapport). L'ensemble de ces sous-fonctions sont listées dans le tableau 2. L'annexe 1 précise les protocoles à mettre en place pour certains des indicateurs.

Numéro	Nom de l'indicateur	Zones humides				Interprétation	Pertinence dans le cas d'actions spécifiques	Niveau de sensibilité aux actions de restauration	Coût total (recueil et analyse)	Acquisition des données	Analyse des données et niveau d'expertise requis	Référence et lien vers site web <i>Indicateur standardisé / existence d'une norme</i>
		Prairies non humides	Fonctions hydrologiques	Fonctions biogéochimiques	Fonctions biologiques							
1	Densité et biodiversité des vers de terre	X	X	X	X	<b>Bioindicateur.</b> d'effet, ils rendent compte de l'état des usages de l'écosystème sol. Notamment la présence de vers épigés et anéciques qui participent au fractionnement de la matière organique morte et à son enfouissement et les endogés qui créent une structure du sol grumeleuse participant ainsi à la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol.	Sensibles au changement d'usage (labour du sol, teneur en matière organique) et à la pollution	+++	€	+	++	<a href="https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php">https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php</a> ADEME (2017)  La méthode d'étude des vers de terre est issue de la norme NF EN ISO 23611-1.
2	Indice escargots SET	X	X	X		Cet indicateur apporte des informations relatives à l'exposition aux métaux du sol à des consommateurs de niveau supérieurs. Plus la concentration en métaux est importante, plus la contamination est forte (et inversement). Les valeurs mesurées sont comparées à des concentrations internes de référence	Contamination métallique. Indicateurs d'un risque de transfert d'une pollution du sol vers les organismes supérieurs	NA	€	++	+	<a href="https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php">https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php</a> ADEME (2017)
3	<b>Nématofaune:</b> Indices d'enrichissement (EI), de structure (SI), de maturité (MI), des nématodes phytophages (PPI) et indice des voies de décomposition	X	X	X	X	A partir d'un référentiel (EUSOL*), les différents indices renseignent sur l'état biologique des sols et leur biodiversité. Notamment différentes fonctions du sol : le niveau d'activité biologique globale, la disponibilité des nutriments, la stabilité /niveau de perturbation du sol, le risque lié aux nématodes parasites des cultures et la taille du compartiment microbien.	<b>Bioindicateurs</b> d'effet et d'impact très sensible au changement d'usage. En effet plus l'indice de structure est élevé et plus il est stable et plus les abondances des différents groupes fonctionnels sont élevées et plus l'activité biologique du sol est	+++	€	+++	+++	<a href="https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php">https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php</a> ADEME (2017)  La méthode d'étude de la nématofaune est normalisée (NF EN ISO 23611-4) ainsi que le test <b>écotoxicologique</b> in vitro (NF ISO 10872)



# Identification des indicateurs pertinents



++ **Tableau 8 : Liste des indicateurs socio-économiques.**

Numéro	Nom de l'indicateur	Zones humides Prairies non humides	SE ciblé	Bénéficiaires potentiels	Paramètre mesuré (variable)	Interprétation	Niveau de sensibilité aux actions de restauration	Coût total (récolte et analyse)	Accessibilité des données	Analyse des données et niveau d'expertise requis	Référence et lien vers site web  (aucun standard, ni norme n'existent pour les SE)
<b>Biens produits par les écosystèmes</b>											
1	Prélèvement en eau en aval destinée à la consommation humaine	X	Approvisionnement en eau douce	Population locale	Prélèvement en eau provenant d'eaux de sources et de nappes phréatiques non traitées issus de captages situés en aval du site et destiné à la consommation humaine (en m <sup>3</sup> par an)	La valeur de l'indicateur est corrélée positivement avec celle du SE. Plus le prélèvement est important, plus le service d'approvisionnement en eau douce fourni aux populations situées en aval du site est élevé.	+++	€	++	+	Indicateur proche : CGDD (2015)
2	Prélèvement en eau en aval destinée à l'agriculture ou à l'industrie	X	Approvisionnement en eau douce	Agriculteurs, éleveurs et industries	Prélèvement en eau provenant d'eaux de sources et de nappes phréatiques non traitées issus de captages situés en aval du site et destiné à l'agriculture ou à l'industrie (en m <sup>3</sup> par an)	Les milieux humides peuvent potentiellement jouer un rôle important dans l'approvisionnement en eau douce pour les besoins agricoles ou industriels (en lien avec les fonctions de soutien d'étiage, recharge de nappe etc.). L'existence de ces SE dépendent néanmoins de la qualité chimique des eaux.	+++	€	++	+	<a href="http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/498/1328/prelevements-eau-usage.html">http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/498/1328/prelevements-eau-usage.html</a>
3	Prélèvement en eau in situ destinée à l'agriculture ou l'industrie	X	Approvisionnement en eau douce	Agriculteurs, éleveurs et industries	Prélèvement en eau provenant d'eaux de surface situées sur le site et destiné à l'agriculture ou à l'industrie (en m <sup>3</sup> par an)	Les milieux humides peuvent potentiellement jouer un rôle important dans l'approvisionnement en eau douce pour les besoins agricoles ou industriels (en lien avec les fonctions de soutien d'étiage, recharge de nappe etc.). L'existence de ces SE dépendent	+++	€	++	+	<a href="http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/498/1328/prelevements-eau-usage.html">http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/498/1328/prelevements-eau-usage.html</a>



# Elaboration d'un tableau de bord

## Trois questions

1

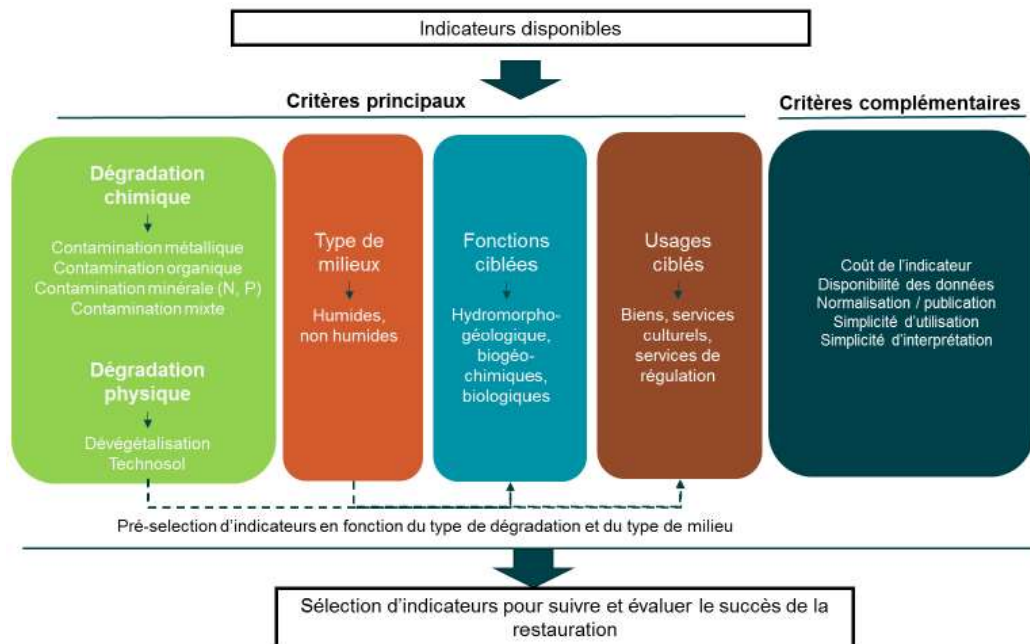
Quel est le type de dégradation observé sur le site - physique ou chimique ?

2

Quel est le type d'écosystème visé par la restauration ?

3

Quelles sont les fonctions et futurs usages ciblés spécifiquement par la restauration ?



# Elaboration d'un tableau de bord



## Trois questions

1

Quel est le type de dégradation observé sur le site - physique ou chimique ?

2

Quel est le type d'écosystème visé par la restauration ?

3

Quelles sont les fonctions et futurs usages ciblés spécifiquement par la restauration ?

1	Type de dégradation
Si dégradation physique, veuillez préciser la nature de cette dégradation :	
<input type="checkbox"/> Dévégétalisation des sols (sols mis à nu)	
<input type="checkbox"/> Présence d'un technosol	
Si dégradation chimique, veuillez préciser la nature de cette dégradation :	
<input type="checkbox"/> Contamination métallique (présence de métaux dans les sols)	
<input type="checkbox"/> Contamination organique	
<input type="checkbox"/> Contamination minérale (N, P) / sols eutrophisés	

2	Ecosystèmes visés par la restauration
<input checked="" type="checkbox"/> Milieux humides	Type de zone humide : <input checked="" type="checkbox"/> Zone humide de type alluvial
	<input type="checkbox"/> Zone humide en tête de bassin versant connectée au réseau hydrographique
	<input type="checkbox"/> Autres types de zones humides (étendue d'eau, zones humides de plateau, zones humides dépressionnaires etc.)
<input type="checkbox"/> Milieux non humides	

# Elaboration d'un tableau de bord



## Trois questions

1

Quel est le type de dégradation observé sur le site - physique ou chimique ?

2

Quel est le type d'écosystème visé par la restauration ?

3

Quelles sont les fonctions et futurs usages ciblés spécifiquement par la restauration ?

3 Les usages sur le site et dans l'environnement du site

Usage agricole ou apicole

Usage industriel (Prélèvement en eau)

Site touristique

Site ouvert au public (accessible librement)

**Si vous avez coché " Site ouvert au public", veuillez préciser le(s) type(s) d'usages :**

Le site accueille des visiteurs

Le site est le support d'activités de recherche

Le site est utilisé à des fins pédagogiques

Les chasseurs pratiquent leur activité sur le site

Les pêcheurs (de loisir) pratiquent leur activité sur le site

Des ressources médicinales y sont prélevées

Des habitants vivent à proximité du site (moins de 10 km)

Usages à l'extérieur du site

**Si vous avez coché "Usages à l'extérieur du site", veuillez préciser si :**

Des agriculteurs sont présents à proximité directe du site (2 km max)

Des agriculteurs, éleveurs, industries ou des habitants sont présents en aval du site

# Elaboration d'un tableau de bord



### 4 Les fonctions ciblées par la restauration écologique

Sélectez les réponses données ci-dessus, certaines fonctions ont été automatiquement cochées. Si ces fonctions ne sont pas prioritaires, il est possible de les décocher manuellement.

Pour les fonctions non cochées, il est possible d'aller affiner l'analyse et de les cocher manuellement en fonction des enjeux de la restauration mise en œuvre.

**Fonctions hydrogéomorphologiques**

<input checked="" type="checkbox"/> Ralentissement des eaux de ruissellement	Densité et biodiversité des vers de terre ( 1 ) ; Propriétés physico-chimiques du sol ( 21 ) ; Taux d'infiltration de l'eau dans les sols ( 25 ) ; Capacité de rétention d'eau du sol et réserve utile ( 30 ) ; Indice de qualité du sol ( 34 ) ; Structure de la végétation ( 35 )	<input checked="" type="checkbox"/> Rétention des sédiments (liés aux écoulements d'eau)	Capacité de rétention d'eau du sol ( 30 ) ; Indice de la qualité des sols (de la végétation)
<input checked="" type="checkbox"/> Stabilisation des sols (protection contre l'érosion)	Densité et biodiversité des vers de terre ( 1 ) ; Propriétés physico-chimiques du sol ( 21 ) ; Capacité de rétention d'eau du sol et réserve utile ( 30 ) ; Indice de qualité du sol ( 34 ) ; Structure de la végétation ( 35 )	<input checked="" type="checkbox"/> Recharge des nappes	Pédomètre ( 8 ) ; Taux d'infiltration des sols ( 21 ) ; Capacité de réserve utile ( 30 ) ; Structure ( 35 )
<input checked="" type="checkbox"/> Rétention des écoulements	Capacité de rétention d'eau du sol et réserve utile ( 30 ) ; Indice de la qualité des sols ( 34 ) ; Structure de la végétation ( 35 )	<input checked="" type="checkbox"/> Soutien d'étiage	Pédomètre ( 8 ) ; Capacité de réserve utile ( 30 ) ; Structure de la végétation ( 35 )

**Fonctions biogéochimiques**

### 5 Les services écosystémiques ciblés par la restauration écologique

Sélectez les réponses données ci-dessus, certains services ont été automatiquement cochés. Si ces services ne sont pas prioritaires, il est possible de les décocher manuellement.

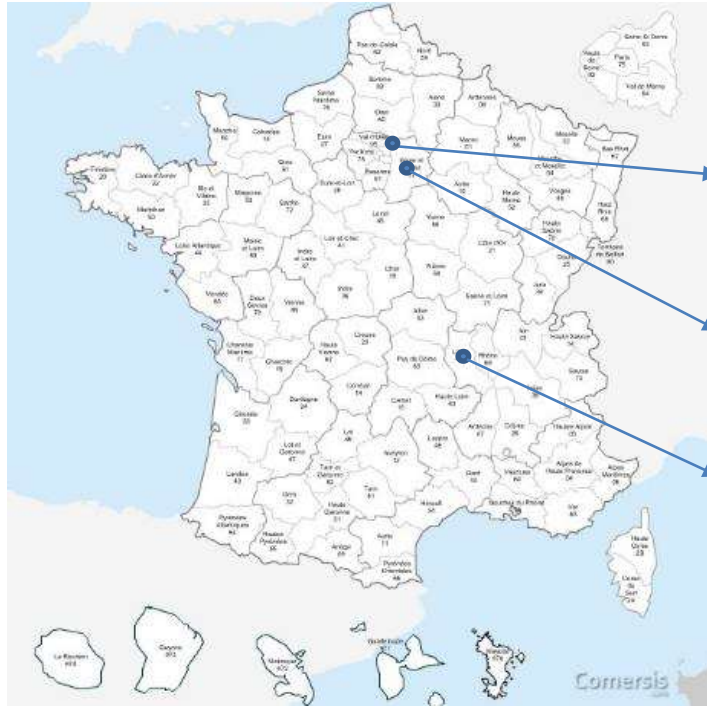
Pour les services non cochés, il est possible d'aller affiner l'analyse et de les cocher manuellement en fonction des enjeux de la restauration mise en œuvre.

**Biens produits par les écosystèmes**

<input checked="" type="checkbox"/> Approvisionnement en eau douce (point de prélèvement sur site ou en aval)	Prélèvement en eau en sol agricole à la collaboration humaine ( 1 ) ; Prélèvement en eau en sol agricole ou à l'industrie ( 2 ) ; Prélèvement en eau rivières destinée à l'agriculture ou industrie ( 3 )	<input checked="" type="checkbox"/> Produits de l'agriculture et de l'élevage	Production de fourrage et de produits issus de cultures vivrières ( 4 ) ; Production de dérivés issus de l'élevage ( 5 )
<input checked="" type="checkbox"/> Ressources médicinales	Production de ressources médicinales ( 6 )	<input checked="" type="checkbox"/> Produits de la cueillette	Production de dérivés issus de la cueillette ( 8 )
<input checked="" type="checkbox"/> Produits de la ruche	Production de produits de la ruche ( 9 )		

**Services culturels**

# Test du prototype sur trois sites tests



**(1) SUEZ - Site de Villeneuve-sur-Verberie - Installation de stockage des déchets - Restauration du site tout au long de la durée d'exploitation du site.**

**(2) SNCF - Site de Vaires-sur-Marne - Stockage de déchets et décharge sauvage - Restauration d'un bassin de rétention des crues.**

**(3) Industeel Loire - ArcelorMittal (Châteauneuf) - Dépôt de déchets métallurgiques (contamination multimétallique : Cr, Pb, Zn, Ni, Mo ...)**

# Test du prototype sur trois sites tests



- Grille pertinente pour évaluer l'atteinte des objectifs de restauration mais également pour identifier les points d'amélioration au cours du processus de restauration
- Limites :
  - Difficulté d'utiliser des données qui n'ont pas été relevées dans l'objectif de réaliser un suivi / bilan de la restauration
  - Difficulté à prendre en compte la spécificité et la complexité de chaque site au travers d'un outil se voulant générique
  - Manque de recul quant à l'interprétation des bioindicateurs de la composante sol (par ex., selon quelle référence ?)



# Conclusion



- Pertinence de la grille de lecture pour orienter l'utilisateur vers certains indicateurs spécifiques
- Importance de définir les objectifs du projet de restauration au préalable avec suivi par tableau de bord et protocoles stricts
- Extension de l'outil aux milieux urbains spécifiquement avec information plus précise sur le niveau d'opérationnalité de l'indicateur
- Améliorer l'ergonomie et la structure du tableau de bord en partenariat avec les utilisateurs finaux







# Merci de votre attention



*Plus d'infos sur le site de RECORD :  
<https://www.record-net.org/catalogue/209>*

## Contacts :

Florence BAPTIST : [fbaptist@biotope.fr](mailto:fbaptist@biotope.fr)

Jennifer HELLAL : [j.hellal@brgm.fr](mailto:j.hellal@brgm.fr)

Elsa LIMASSET : [e.limasset@brgm.fr](mailto:e.limasset@brgm.fr)

Thomas BINET: [thomasbinet@vertigolab.eu](mailto:thomasbinet@vertigolab.eu)



## Ce qu'il faut retenir



### Résultat / point clé des travaux :

- Sélection et test d'indicateurs permettant de suivre de manière efficace la restauration des sites et sols pollués
- Construction d'un outil d'aide à la sélection de ces indicateurs tenant compte des caractéristiques du site à restaurer et des fonctions et SE à restaurer
- Importance de définir la nature et la fréquence des relevés écologiques et socio-économiques en amont de la restauration pour en assurer son efficacité



### Piste de recherche prioritaire :

- Déclinaison du cadre d'analyse à d'autres contextes (friches urbaines, jardins ouvriers etc.)
- Amélioration de la connaissance sur la diversité des sols et sur la construction d'indicateurs dédiés et évaluation du niveau d'opérationnalité des indicateurs proposés

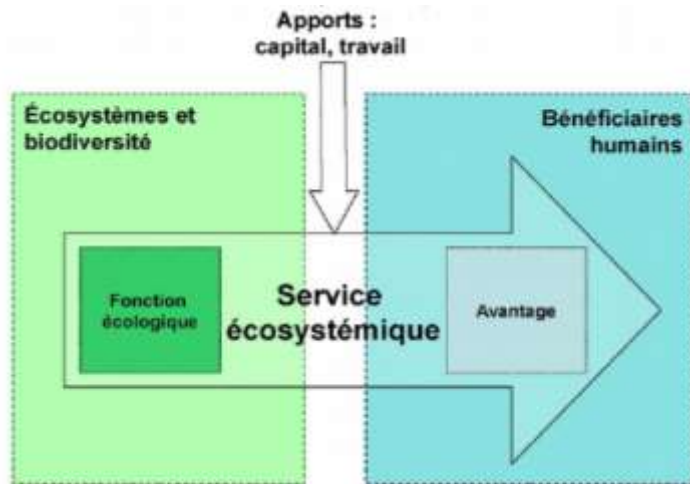


# Annexes



# Quelle approche pour évaluer le succès d'une restauration écologique

## De quoi parle t'on ?



- ⦿ **Fonctions écologiques**  
Phénomènes propres à l'écosystème qui résultent de la combinaison des structures et des processus écologiques et qui se déroulent avec ou sans la présence de l'Homme.
- ⦿ **Services écosystémiques (SE)**  
Avantages socio-économiques retirés par l'homme de son utilisation durable des fonctions écologiques des écosystèmes