

# Le Projet TRIPODE

## Applicabilité et opérationnalité de la norme TRIADE (ISO19204)

B. Pauget<sup>1</sup>, N. Manier<sup>2</sup>, N. Pucheux<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Tesora, <sup>2</sup>Ineris

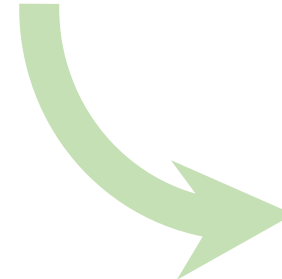


# *La pollution des sols vs risques environnementaux*

**Un besoin de renaturation, de création de zones de verdure ... et une optique ZAN**

**Investissement de terrains urbain pour des activités de renaturation  
Présence potentielle de pollution dans les sols, besoin de caractériser les risques**

**Comment mettre en place une stratégie d'évaluation des Risques Environnementaux (ERE) et quels outils utiliser ?**

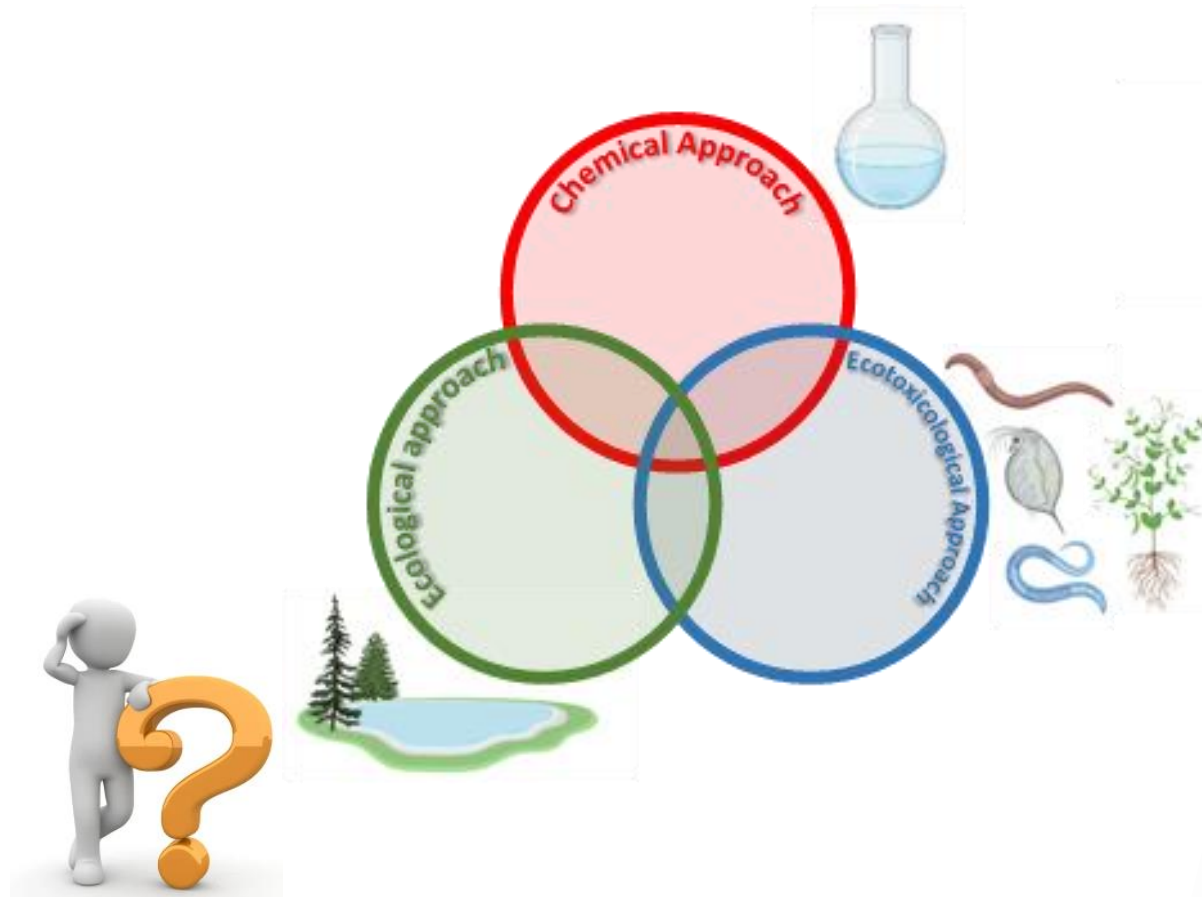


Credit : Ville de Lyon



Friche Burgess-Noirat © PMA - Samuel Coulon

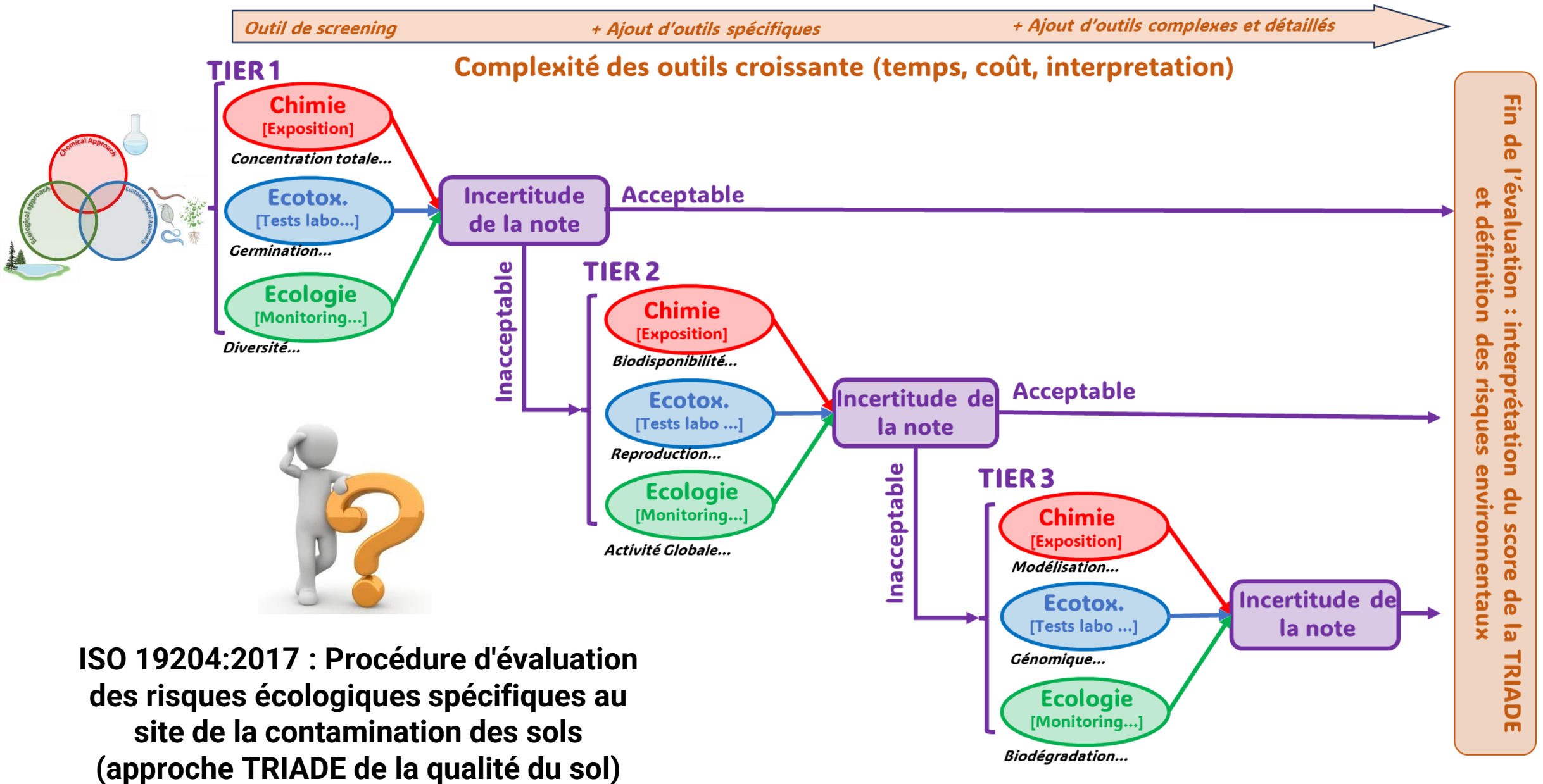
# Mais au fait... c'est quoi la TRIADE ?



**ISO 19204:2017 : Procédure d'évaluation  
des risques écologiques spécifiques au  
site de la contamination des sols  
(approche TRIADE de la qualité du sol)**



# Mais au fait... c'est quoi la TRIADE ?



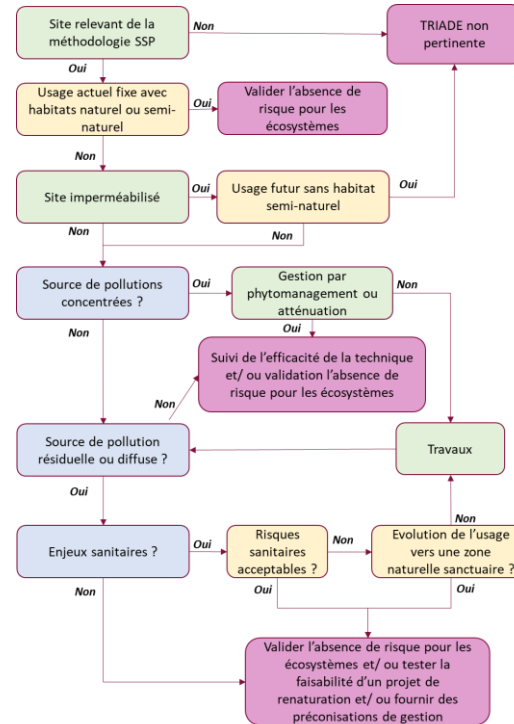
# Pourquoi faire et quand la réaliser ?



**Valider une absence de risques pour les écosystèmes**

**Suivre l'efficacité d'un traitement**

**Fournir des préconisations de gestion (faisabilité d'une sanctuarisation par ex.)**

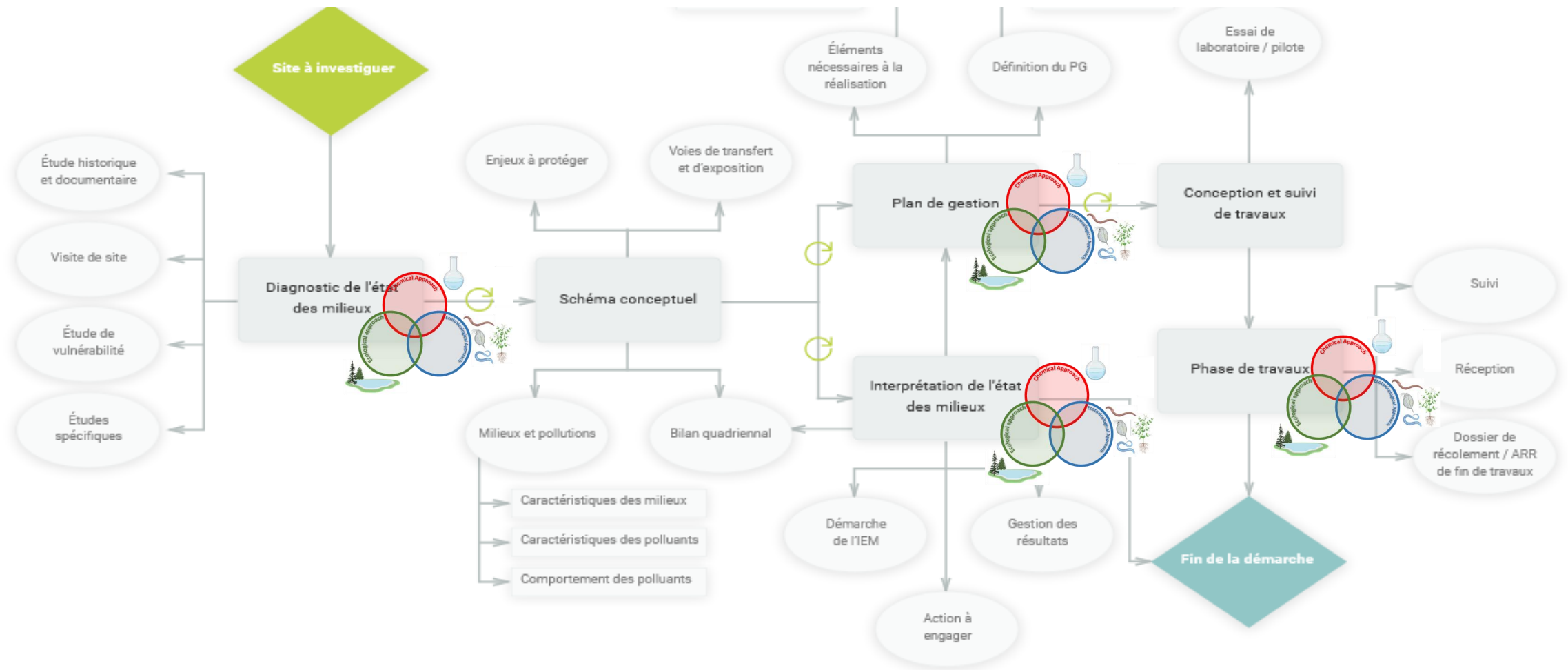


**Evaluation de l'impact ou présence d'une pollution concentrée**

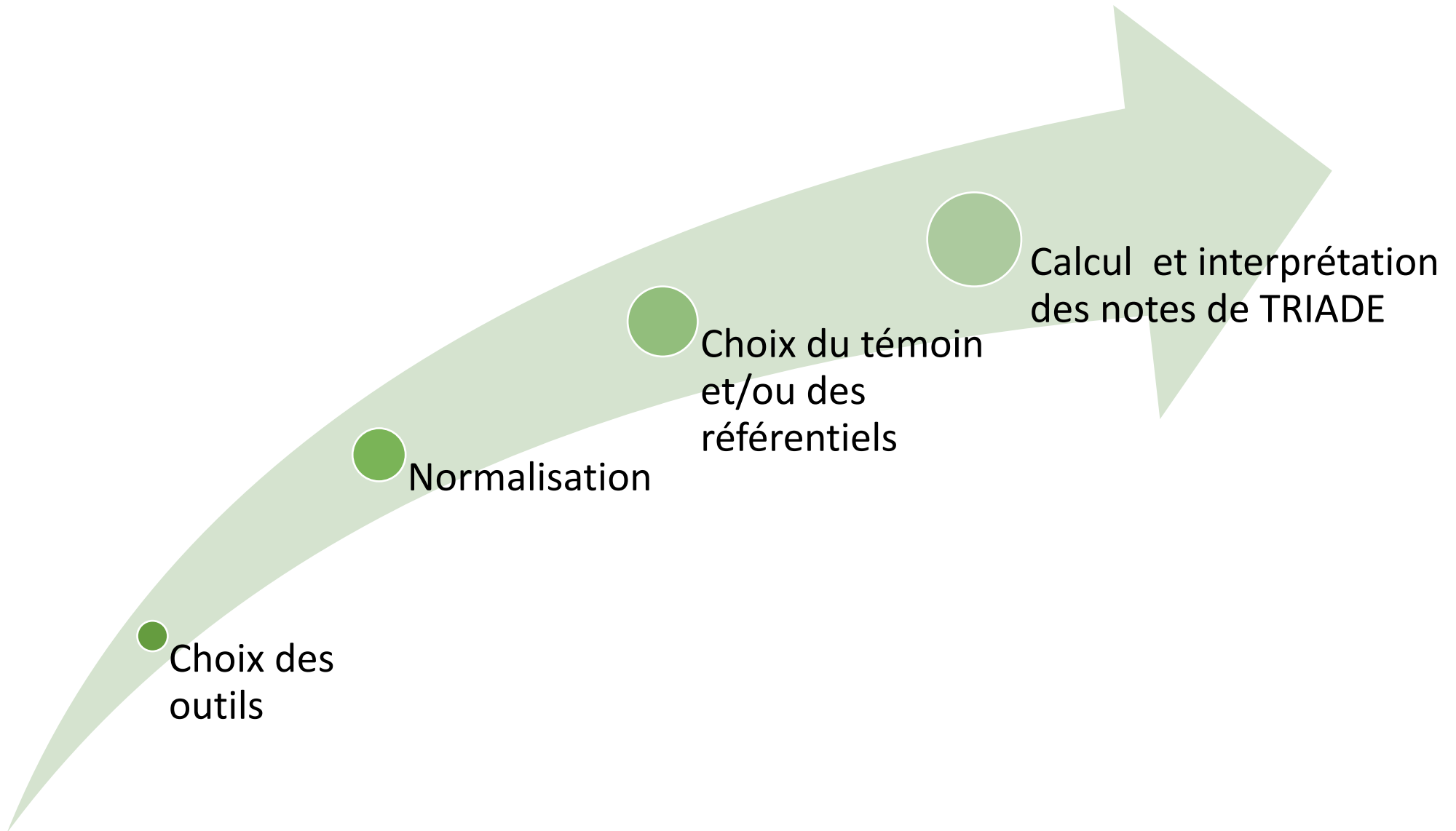
**Des travaux sont requis sur la zone**

**Aucune zone d'intérêt écologique**

# Pourquoi faire et quand la réaliser ?



# *La mise en œuvre*



# La mise en œuvre : Choisir les indicateurs ...

							Adéquation objectifs		Sites	
			Coût	Accessibilité	Interprétation/ Robustesse	Suivi de l'efficacité d'une technique	Risques pour les écosystèmes	Faisabilité d'un projet	L'IO	Mazingabe
Tier 1	LoE Chimie									
	Concentration totale en EPTs dans les sols (analyses labo)	€	+++	+++	+++	+++	+	7,5	6,9	
	Concentration totale en EPTs dans les sols (XRF)	€ / €€	+	+	+++	+++	+	4,4	3,8	
	LoE Ecotoxicologie									
	Inhibition de l'activité deshydrogénase ( <i>A. globiformis</i> )	€€	+++	+++	+++	++	++	6,3	6,6	
	Essai d'évitement chez le ver <i>Eisenia fetida</i>	€	+++	++	+++	++	++	6,3	6,6	
	Toxicité aiguë vis à vis de <i>Eisenia fetida</i>	€	+++	+++	+++	++	++	6,9	7,2	
	LoE Ecologie									
	Détermination des communautés microbiennes	€	+++	+++	++	+++	+++	7,5	7,2	
Tier 2	Détermination de l'ADN environnemental	€€	+++	++	++	+++	+++	6,3	5,9	
	Analyse du couvert végétal du site	€	+++	+++	+++	+++	+++	7,5	7,5	
	LoE Chimie									
	Fraction potentiellement biodisponible des ETP (NaNO <sub>3</sub> )	€€	+	+	+++	+	+	3,1	3,8	
	Fraction des EPT potentiellement biodisponible (CaCl <sub>2</sub> )	€€	+	+	+++	+	+	3,1	3,8	
	Concentration lixiviable à l'eau	€	+++	++	+++	++	+	6,3	6,3	
	Mesure de la bioaccumulation chez l'escargot	€€	++	+++	+++	++	++	5,6	5,9	
	Mesure de la bioaccumulation les végétaux supérieurs	€€	++	+++	+++	++	++	5,6	5,9	
	Mesure de la bioaccumulation les micromamifères	€€€	+	+	+	+++	++	3,8	2,8	
Tier 3	LoE Ecotoxicologie									
	Mortalité, Inhibition de croissance et de reproduction (nématode)	€€	+++	+++	++	+++	+++	6,9	6,6	
	Emergence et croissance des végétaux supérieurs (2 espèces)	€€	+++	++	+++	+++	+++	6,3	6,3	
	Composition en acides gras foliaires des plantes (Indice Omega3)	€€	+++	++	+++	+++	+++	6,3	6,3	
	LoE Ecologie									
	Décomposition de la matière organique (papier filtre)	€	++	++	++	+++	+++	6,3	5,9	
	Echantillonnage des invertébrés du sol (vers de terres)	€	++	++	++	+++	+++	6,3	5,9	
	Diversité trophique de la communauté de nématodes	€	+++	+++	++	+++	+++	7,5	7,2	
	LoE Chimie									
Expression des gènes de la métallothionéine	€€€	+	+	+	++	+	3,1	2,5		
Utilisation de modèles et simulation en colonne	€€€	++	++	+++	+	+	3,8	4,4		
LoE Ecotoxicologie										
Toxicité chronique sur les plantes supérieures	€€	+++	++	+++	+++	+++	6,3	6,3		
Stabilité du génome (essai comète)	€€	+	++	++	+	+	3,8	4,1		
LoE Ecologie										
Décomposition de la matière organique (bait lamina)	€€€	+	+	+	++	+++	3,1	3,1		
Diversité microbiologique : sol et groupes fonctionnels (qPRC)	€€	++	+++	+	++	+++	5,6	5,6		

Sélectionner les indicateurs selon une analyse multicritères :

- Coût
- Robustesse
- Accessibilité
- Interprétation

...

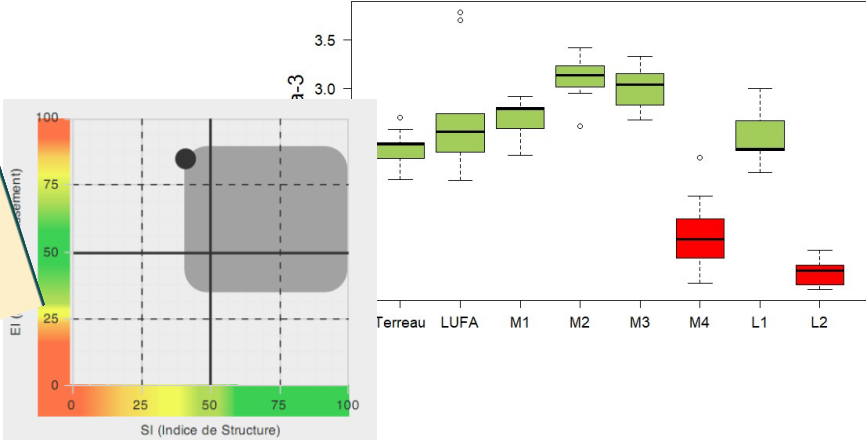
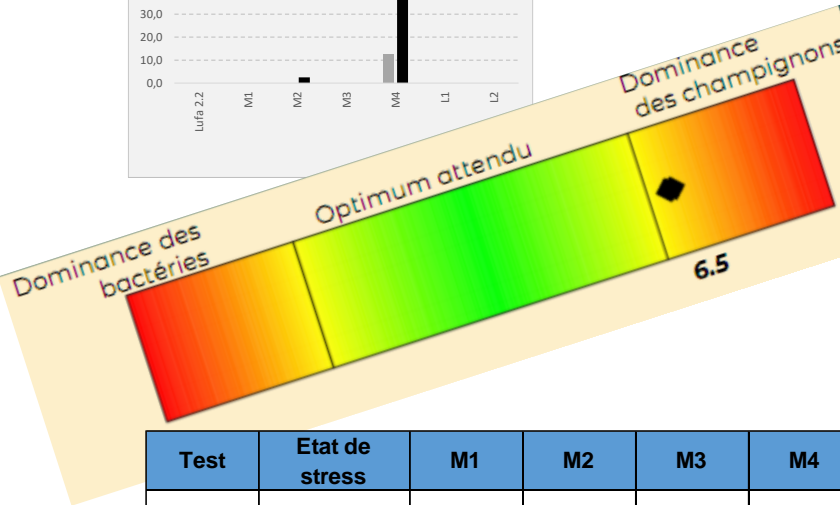
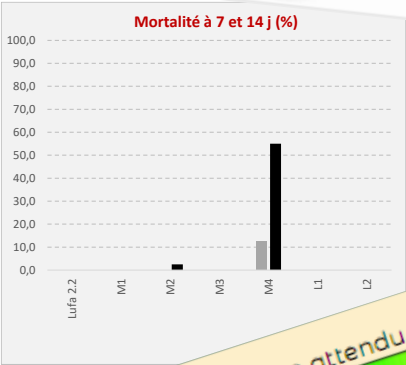
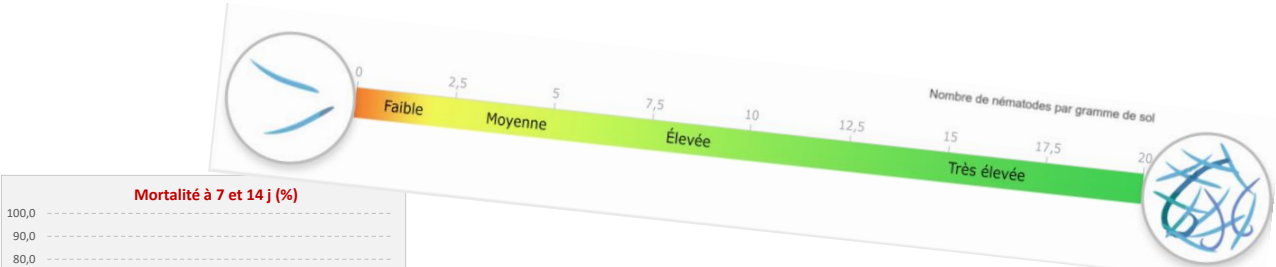
Et en fonction des objectifs de l'étude !

# La mise en œuvre : ... et leur normalisation

Absence d'effet  
(Ex. Aucune mortalité)



Effet total  
(Ex. 100% de mortalité)



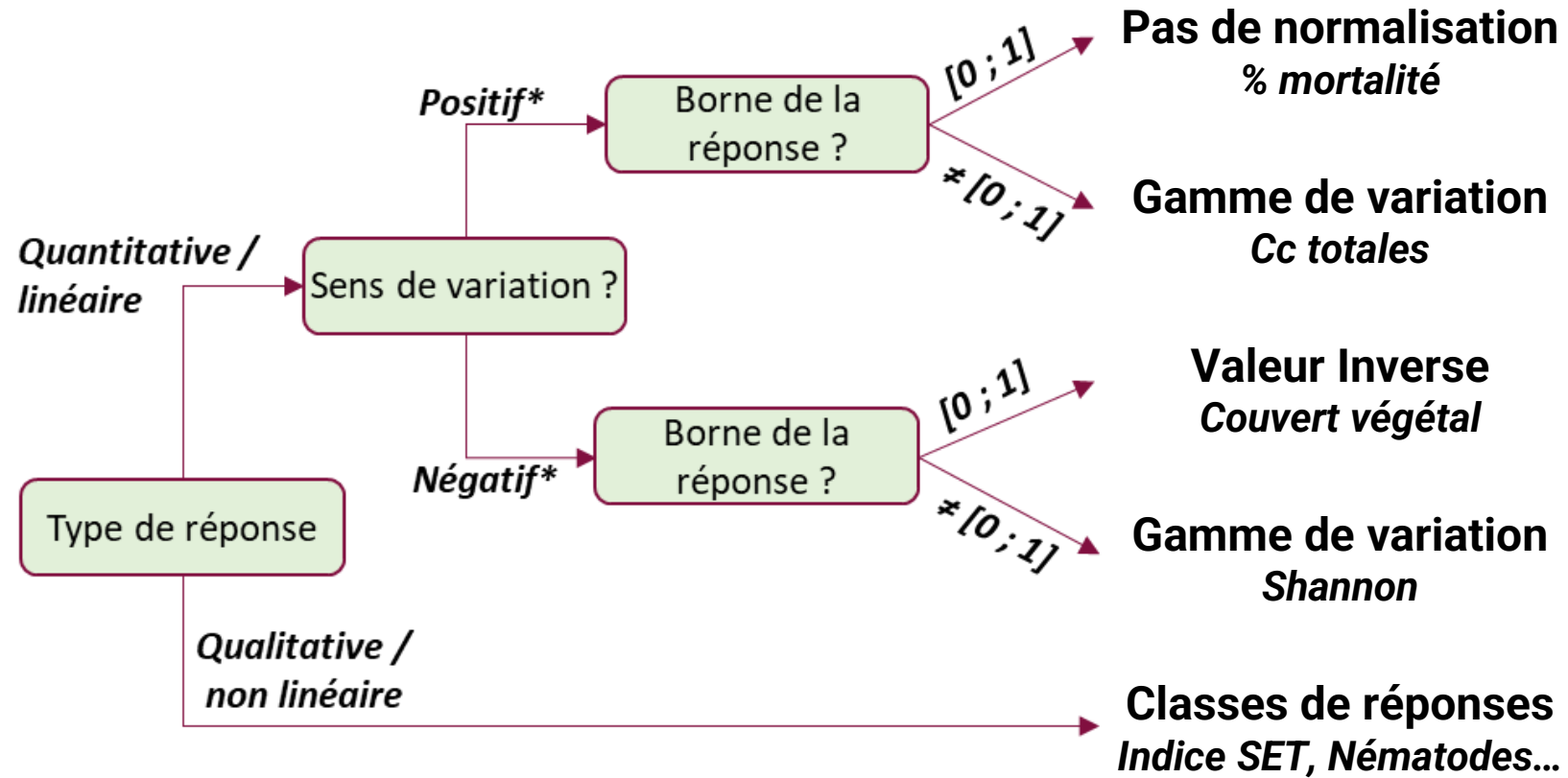
Test	Etat de stress	M1	M2	M3	M4	L1	L2
Indice Oméga-3	Bonifié						
	Nul à faible						
	Moyen						
	Fort						
	Très fort						
brut							
		5	3				
		0,5	<0,4				
		10	13				
		30	16				
Mercure (Hg)		0,2	0,1				
Nickel (Ni)		8	8				
Plomb (Pb)		120	60				
Zinc (Zn)		140	90				

# La mise en œuvre : ... et leur normalisation

Absence d'effet  
(Ex. Aucune mortalité)



## Différentes méthodes selon les types de réponses



Effet total  
(Ex. 100% de mortalité)

# La mise en œuvre : ... et leur normalisation (Exemple)

**Absence d'effet**  
(Ex. *Aucune mortalité*)



**% de mortalité (de 0 à 100%)**

**Conservation de la note sans modification !  
De 0 à 1**



**5 classes (Absence/  
ZI faible/ Modéré/ ZI  
Fort / Fort)**

**Attribution d'une note par classe:  
5 classes : 0/ 0,25/ 0,5/ 0,75/ 1**

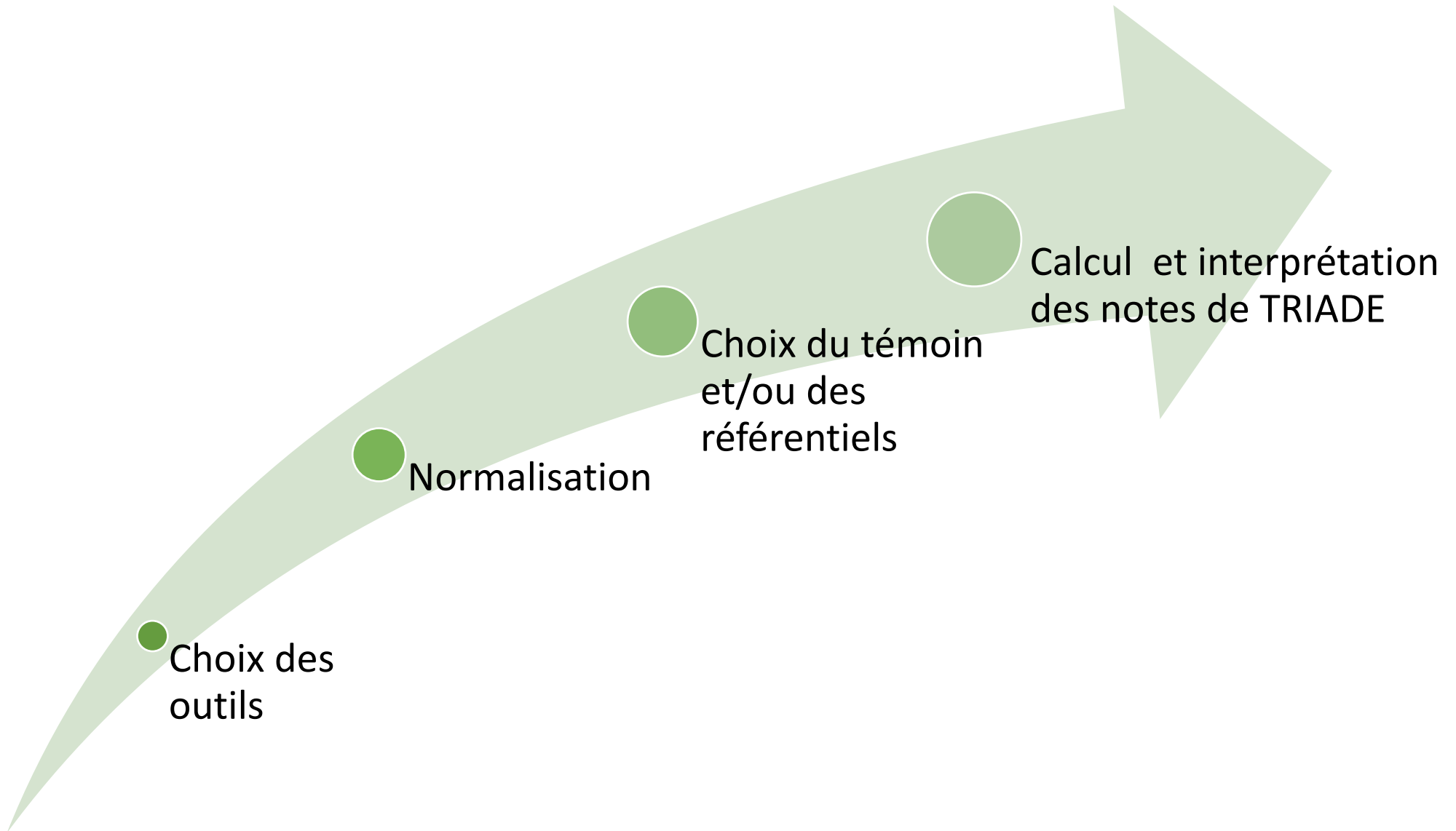


**Valeurs continue (de 0  
à  $+\infty$ ).**

**Choix de borne :  $[FPG - 3 \cdot FPG[$**   
➤ 0 si  $< FPG$ ,  
➤ De 0 à 1 si  $[FPG - 3 \cdot FPG[$   
➤ 1 si  $> 3 \cdot FPG$
















**Effet total**  
(Ex. *100% de mortalité*)

# *La mise en œuvre*

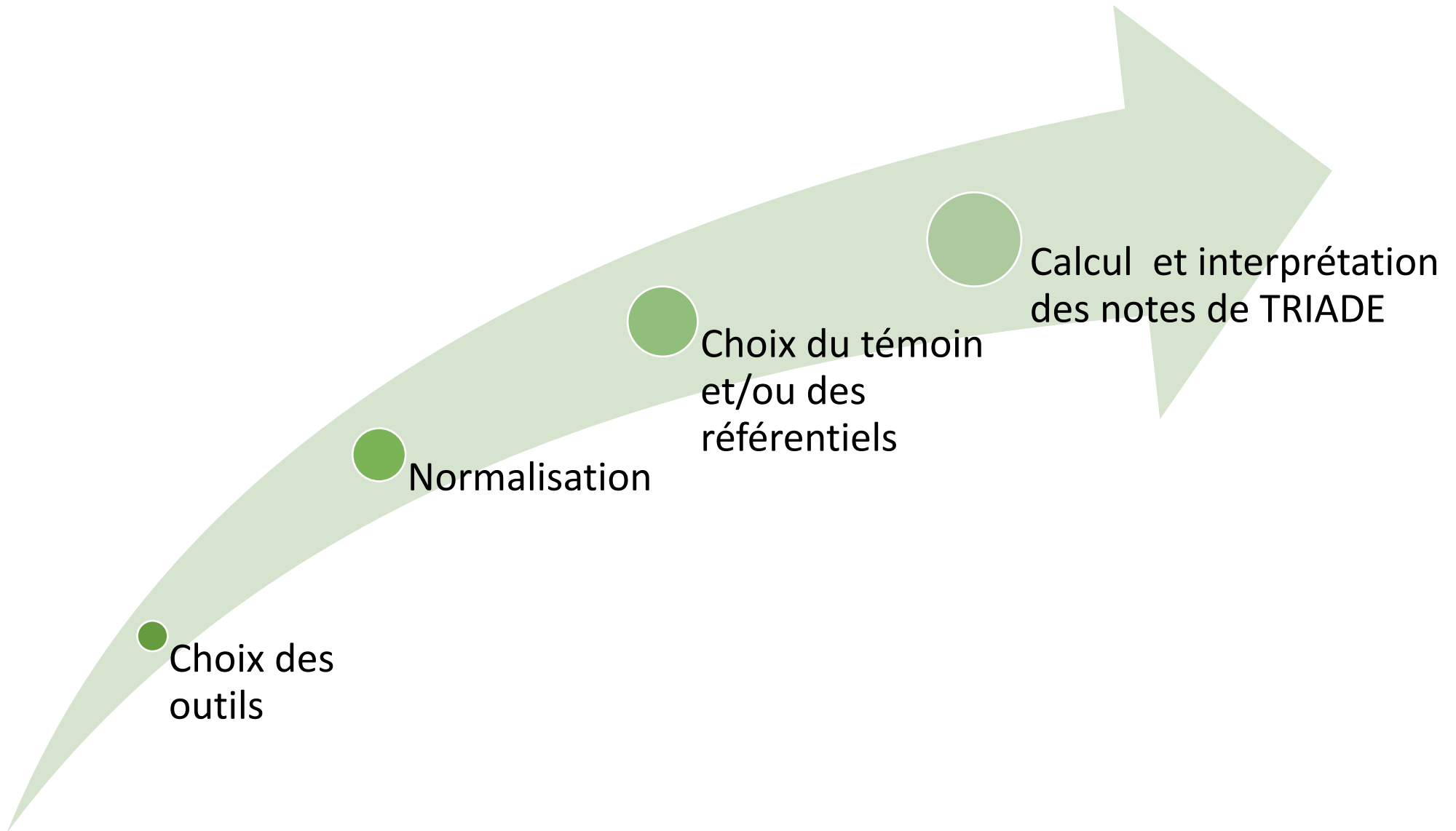


# La mise en œuvre : le choix du témoin, un nœud gordien ?

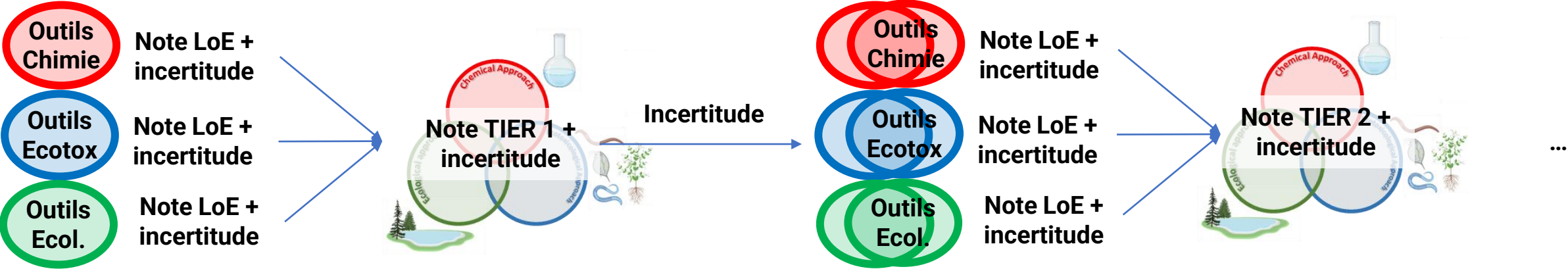
**De la théorie... « Le témoin idéal est identique au site testé, la seule différence étant l'absence du facteur de stress » à une réalité complexe...**

	SITE TEMOIN	SOL de REFERENCE	REFERENTIEL
Comparaison entre sites ?			
Accessibilité ?		 (?)	
Fiabilité (vrai témoin?)		 (?)	
Coût ?			
Utilisable pour tous les outils ?			

# *La mise en œuvre*



# La mise en œuvre : Calcul et Interprétation



## Exemple d'interprétation

Adapté et traduit de Jensen et Mesman, 2006

Ecart type	Note Triade (RI : Risque intégré)	Conclusion (usages)	
		Acceptable	Innacceptable
< 0,4	$0 < RI < 0,25$	Naturel, Agricole, Résidentiel, Industriel	-
	$0,26 < RI < 0,50$	Agricole, Résidentiel, Industriel	Naturel
	$0,51 < RI < 0,75$	Résidentiel, Industriel	Naturel, Agricole
	$0,76 < RI < 1$	Industriel	Naturel, Agricole, Résidentiel
> 0,4	$0 < RI < 0,25$	Agricole, Résidentiel, Industriel	Naturel
	$0,26 < RI < 0,50$	Industriel	Naturel, Agricole, Résidentiel
	$0,51 < RI < 1$	Industriel	Naturel, Agricole, Résidentiel

# Mise en application de la TRIADE en un exemple



**Un site en Natura2000**

**Une forte végétation présente... mais une pollution diffuse identifiée (Pb notamment)**

**Existe-t-il un risque pour les écosystèmes ?**

**Est-ce que mon site présente un écosystème fonctionnel ?**

# Mise en application de la TRIADE en un exemple

Une sélection des indicateurs, une normalisation de leur note et un calcul de la TRIADE

SITE POINTE									
LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie			
Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	
TIER 1	Concentration totale (Pb)	120	0,7	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3
	IdP (Métaux)	4,45	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	62%	0,38
	Total TIER	0.48	+/- 0.5	Total TIER	0.00	+/- 0	Total TIER	0.34	+/- 0.1

SITE TEMOIN									
LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie			
Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	
TIER 1	Concentration totale (Pb)	60	0,1	Déshydrogénase	20,8	0,5	Couvert végétal	90%	0,1
	IdP (Métaux)	2,72	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	66%	0,34
	Total TIER	0.05	+/- 0.07	Total TIER	0.32	+/- 0.35	Total TIER	0.24	+/- 0.17

# Mise en application de la TRIADE en un exemple

Une sélection des indicateurs, une normalisation de leur note et un calcul de la TRIADE  
Un passage en TIER 2

	SITE POINTE								
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie		
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note
TIER 1	<del>Concentration totale (Pb)</del>	<del>120</del>	<del>3,7</del>	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3
	IdP (Métaux)	4,45	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	62%	0,38
	Total TIER	0,48	+/- 0,5	Total TIER	0,00	+/- 0	Total TIER	0,34	+/- 0,1
TIER 2	Lixiviation (Pb)	0,26	0,17	Crois./Repro (C. elegans)	0	0	Nématofaune	Bio. réduite	0,63
	Indice SET	Abs. De risque	0	Croiss. végétaux (2 sp)	24,15	0,5	Qualité microbiologique	Etat Satis.	0
				Indice Oméga 3	0,97	0			
	Total TIER	0,06	+/- 0,1	Total TIER	0,16	+/- 0,22	Total TIER	0,38	+/- 0,26

	SITE TEMOIN								
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie		
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note
TIER 1	Concentration totale (Pb)	60	0,1	Déshydrogénase	20,8	0,5	Couvert végétal	90%	0,1
	IdP (Métaux)	2,72	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	66%	0,34
	Total TIER	0,05	+/- 0,07	Total TIER	0,32	+/- 0,35	Total TIER	0,24	+/- 0,17
TIER 2	Lixiviation (Pb)	<LQ	0	Crois./Repro (C. elegans)	4,7	0	Nématofaune	Etat limité	0,42
	Indice SET	Abs. R	0	Croiss. végétaux (2 sp)	14,5	0,5	Qualité microbiologique	Etat Satis.	0
				Indice Oméga 3	0,44	1			
	Total TIER	0,03	+/- 0,05	Total TIER	0,56	+/- 0,42	Total TIER	0,25	+/- 0,2

# Mise en application de la TRIADE en un exemple

Une sélection des indicateurs, une normalisation de leur note et un calcul de la TRIADE

Un passage en TIER 2

Une conclusion

	SITE POINTE											
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie			TRIADE		
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Note	Incertitude	
TIER 1	<del>Concentration totale (Pb)</del>	<del>123</del>	<del>0,7</del>	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3	0,22	0,16	
	IdP (Métaux)	4,45	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	62%	0,38			
	Total TIER	0,48	+/- 0,5	Total TIER	0,00	+/- 0	Total TIER	0,34	+/- 0,1			
TIER 2	Lixiviation (Pb)	0,26	0,17	Crois./Repro (C. elegans)	0	0	Nématofaune	Bio. réduite	0,63			L'usage naturel est acceptable sous reserve de la mise en place d'un suivi environnemental.
	Indice SET	Abs. De risque	0	Croiss. végétaux (2 sp)	24,15	0,5	Qualité µbiologique	Etat Satis.	0			
				Indice Oméga 3	0,97	0						
	Total TIER	0,06	+/- 0,1	Total TIER	0,16	+/- 0,22	Total TIER	0,38	+/- 0,26			

SITE TEMOIN									
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie		
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note
TIER 1	Concentration totale (Pb)	60	0,1	Déshydrogénase	20,8	0,5	Couvert végétal	90%	0,1
	IdP (Métaux)	2,72	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	66%	0,34
	Total TIER	0,05	+/- 0,07	Total TIER	0,32	+/- 0,35	Total TIER	0,24	+/- 0,17
TIER 2	Lixiviation (Pb)	<LQ	0	Crois./Repro (C. elegans)	4,7	0	Nématofaune	Etat limité	0,42
	Indice SET	Abs. R	0	Croiss. végétaux (2 sp)	14,5	0,5	Qualité microbiologique	Etat Satis.	0
				Indice Oméga 3	0,44	1			
	Total TIER	0,03	+/- 0,05	Total TIER	0,56	+/- 0,42	Total TIER	0,25	+/- 0,2

# Mise en application de la TRIADE en un exemple

Une sélection des indicateurs, une normalisation de leur note et un calcul de la TRIADE

Un passage en TIER 2

Une conclusion

	SITE POINTE										
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie			TRIADE	
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Note	Incertitude
TIER 1	<del>Concentration totale (Pb)</del>	<del>120</del>	<del>3,7</del>	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3	0,22	0,16
	IdP (Métaux)	4,45	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	62%	0,38		
	Total TIER	0,48	+/- 0,5	Total TIER	0,00	+/- 0	Total TIER	0,34	+/- 0,1		
TIER 2	Lixiviation (Pb)	0,26	0,17	Crois./Repro (C. elegans)	0	0	Nématofaune	Bio. réduite	0,63		
	Indice SET	Abs. De risque	0	Croiss. végétaux (2 sp)	24,15	0,5	Qualité µbiologique	Etat Satis.	0		
				Indice Oméga 3	0,97	0					
		Total TIER	0,06	+/- 0,1	Total TIER	0,16	+/- 0,22	Total TIER	0,38		+/- 0,26
Bien qu'une pollution diffuse en Pb ait été mise en évidence, le site ne présente pas de risque environnemental.											
L'usage naturel est acceptable sous réserve de la mise en place d'un suivi environnemental.											

	SITE TEMOIN								
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie		
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note
TIER 1	Concentration totale (Pb)	60	0,1	Déshydrogénase	20,8	0,5	Couvert végétal	90%	0,1
	IdP (Métaux)	2,72	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	66%	0,34
	Total TIER	0,05	+/- 0,07	Total TIER	0,32	+/- 0,35	Total TIER	0,24	+/- 0,17
TIER 2	Lixiviation (Pb)	<LQ	0	Crois./Repro (C. elegans)	4,7	0	Nématofaune	Etat limité	0,42
	Indice SET	Abs. R	0	Croiss. végétaux (2 sp)	14,5	0,5	Qualité microbiologique	Etat Satis.	0
				Indice Oméga 3	0,44	1			
	Total TIER	0,03	+/- 0,05	Total TIER	0,56	+/- 0,42	Total TIER	0,25	+/- 0,2

## Mise en application de la TRIADE en un exemple

## Une sélection des indicateurs, une normalisation de leur note et un calcul de la TRIADE

## Un passage en TIER 2

## Une conclusion

	SITE POINTE										
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie			TRIADÉ	
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Note	Incertitude
TIER 1	Conc. métaux totaux (Pb)	1,88	0,7	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3	0,22	0,16
	IdP (Métaux)	4,45	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	62%	0,38		
	Total TIER	0,48	+/- 0,5	Total TIER	0,00	+/- 0	Total TIER	0,34	+/- 0,1		
TIER 2	Lixiviation (Pb)	0,26	0,17	Crois./Repro (C. elegans)	0	0	Nématofaune	Bio. réduite	0,63	Bien qu'une pollution diffuse en Pb ait été mise en évidence, le site ne présente pas de risque environnemental.	
	Indice SET	Abs. De risque	0	Croiss. végétaux (2 sp)	24,15	0,5	Qualité microbiologique	Etat Satis.	0		
				Indice Oméga 3	0,97	0					
	Total TIER	0,06	+/- 0,1	Total TIER	0,16	+/- 0,22	Total TIER	0,38	+/- 0,26		L'usage naturel est acceptable sous réserve de la mise en place d'un suivi environnemental.

	SITE TEMOIN										
	LoE Chimie			LoE Ecotox			LoE Ecologie			TRIADÉ	
	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Indicateur	Valeur	Note	Note	Incertitude
TIER 1	Concentration totale (Pb)	60	0,1	Déshydrogénase	20,8	0,5	Couvert végétal	90%	0,1	0,21	0,15
	IdP (Métaux)	2,72	0	Mortalité (E. fetida)	0	0	Dégradation MO	66%	0,34		
	Total TIER	0,05	+/- 0,07	Total TIER	0,32	+/- 0,35	Total TIER	0,24	+/- 0,17		
TIER 2	Lixiviation (Pb)	<LQ	0	Crois./Repro (C. elegans)	4,7	0	Nématofaune	Etat limité	0,42	Le site ne présente pas de risque environnemental. L'usage naturel est acceptable. La variabilité est observée pour la LoE Ecotox est engendrée par un déficit en phosphore et en azote dans les sols.	
	Indice SET	Abs. R	0	Croiss. végétaux (2 sp)	14,5	0,5	Qualité microbiologique	Etat Satis.	0		
				<del>Indice Couv. Vég. 0</del>	<del>0,44</del>	<del>1</del>					
	Total TIER	0,03	+/- 0,05	Total TIER	0,32	+/- 0,29	Total TIER	0,25	+/- 0,2		



**La TRIADE : une méthode utilisable pour caractériser les risques environnementaux**



**Un outil intégratif qui s'inscrit dans la dynamique de préservation des sols**



**Un outil d'aide à la décision pour les zones d'intérêt écologiques et les projets de renaturation ou de sanctuarisation**

**Merci de votre attention !**

## **Projet TRIPODE**

[benjamin.pauget@tesora.fr](mailto:benjamin.pauget@tesora.fr), [nicolas.manier@ineris.fr](mailto:nicolas.manier@ineris.fr), [nicolas.pucheux@ineris.fr](mailto:nicolas.pucheux@ineris.fr)

