

Les SSP ont-ils nécessairement des sols en mauvaise santé ?

Retour d'expérience de mise en application d'indicateurs (biologiques, écologiques et chimiques) dans le cadre de la méthode TRIADE

B. Pauget¹, N. Manier², N. Pucheux²
¹Tesora, ²Ineris

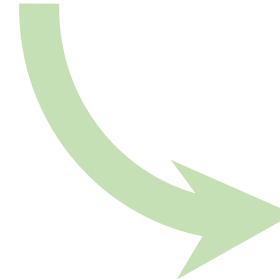


La pollution des sols vs risques environnementaux

Un besoin de renaturation, de création de zones de verdure ...

Des fonciers urbains disponibles mais pour la plupart contaminés

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

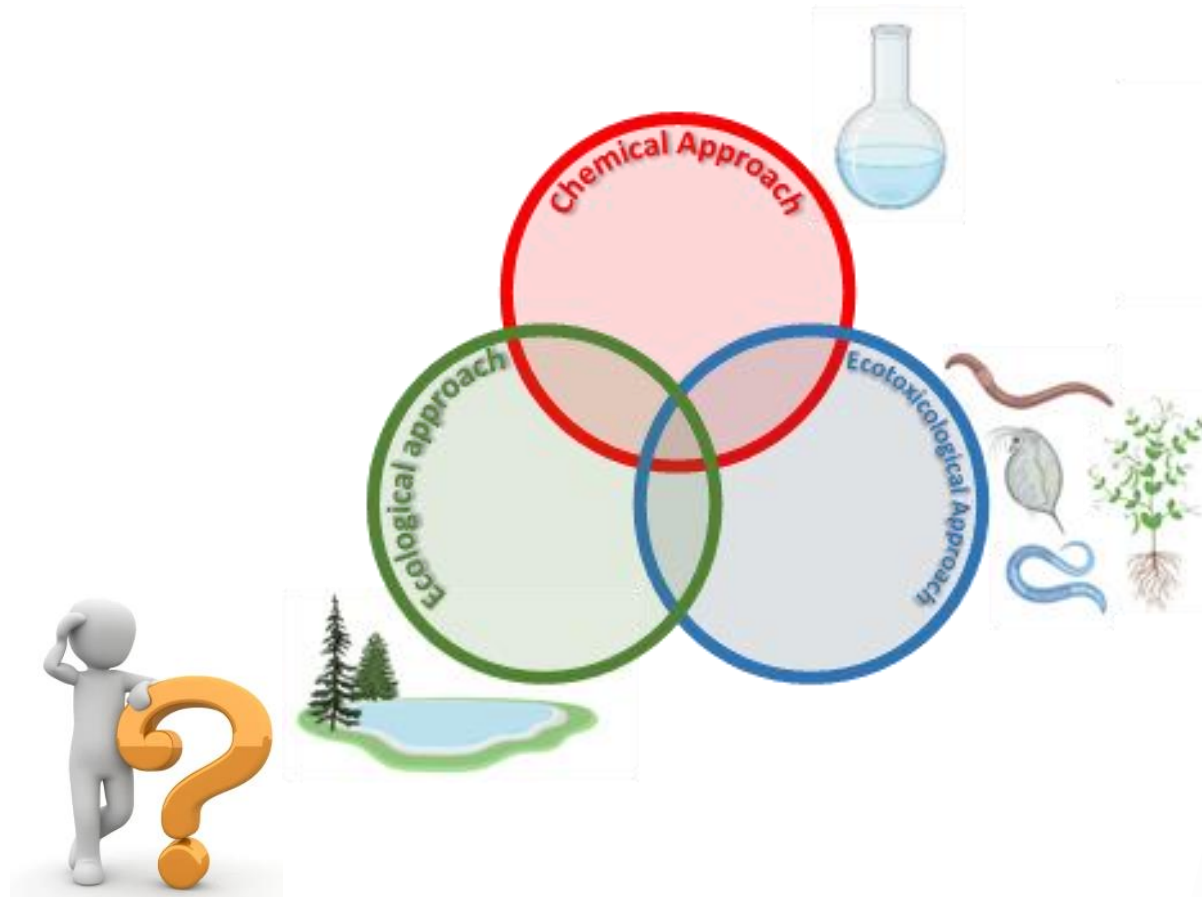


Credit : Ville de Lyon



Friche Burgess-Noiron © PMA - Samuel Coulon

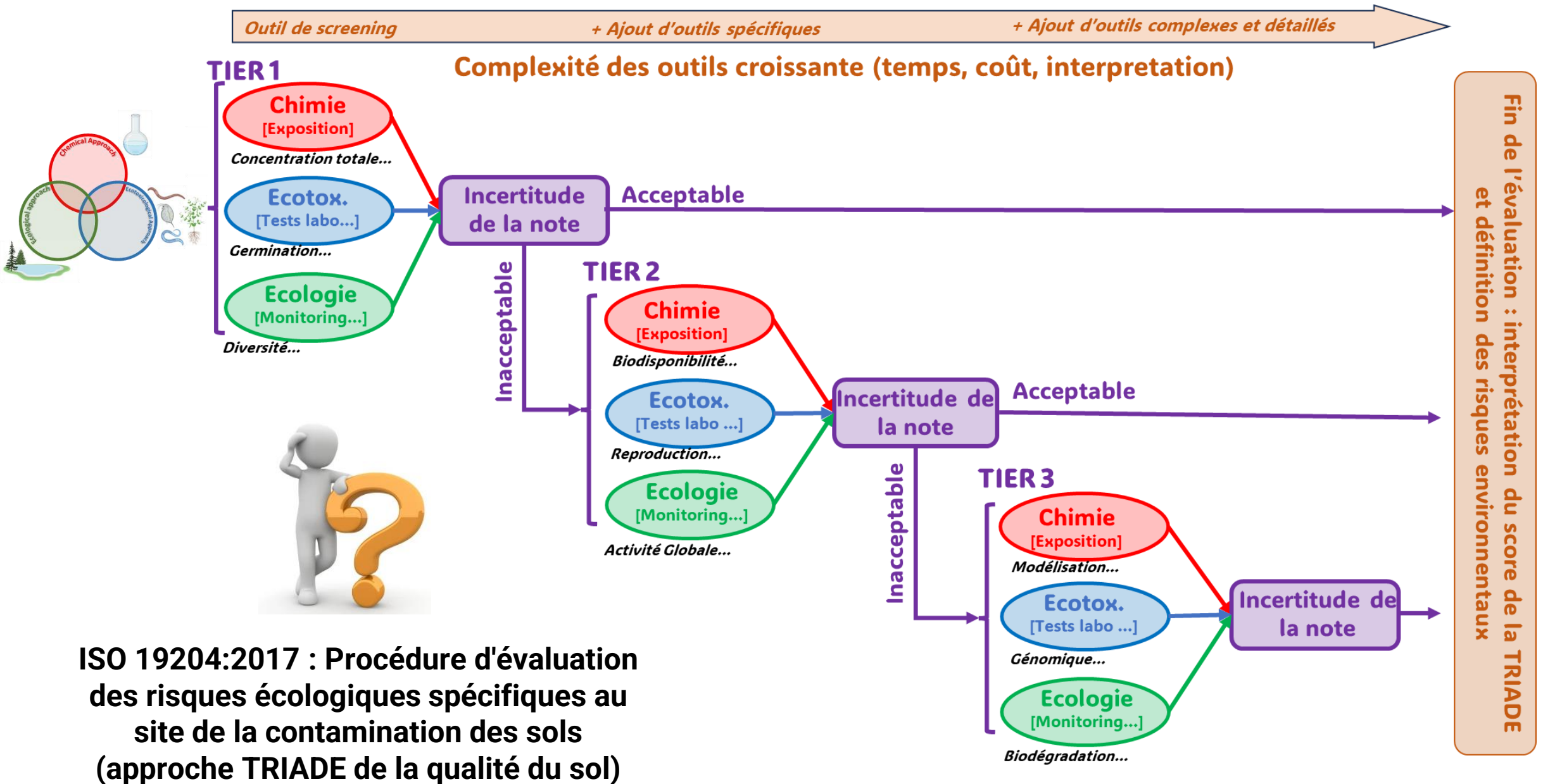
Mais au fait... c'est quoi la TRIADE ?



**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 ?



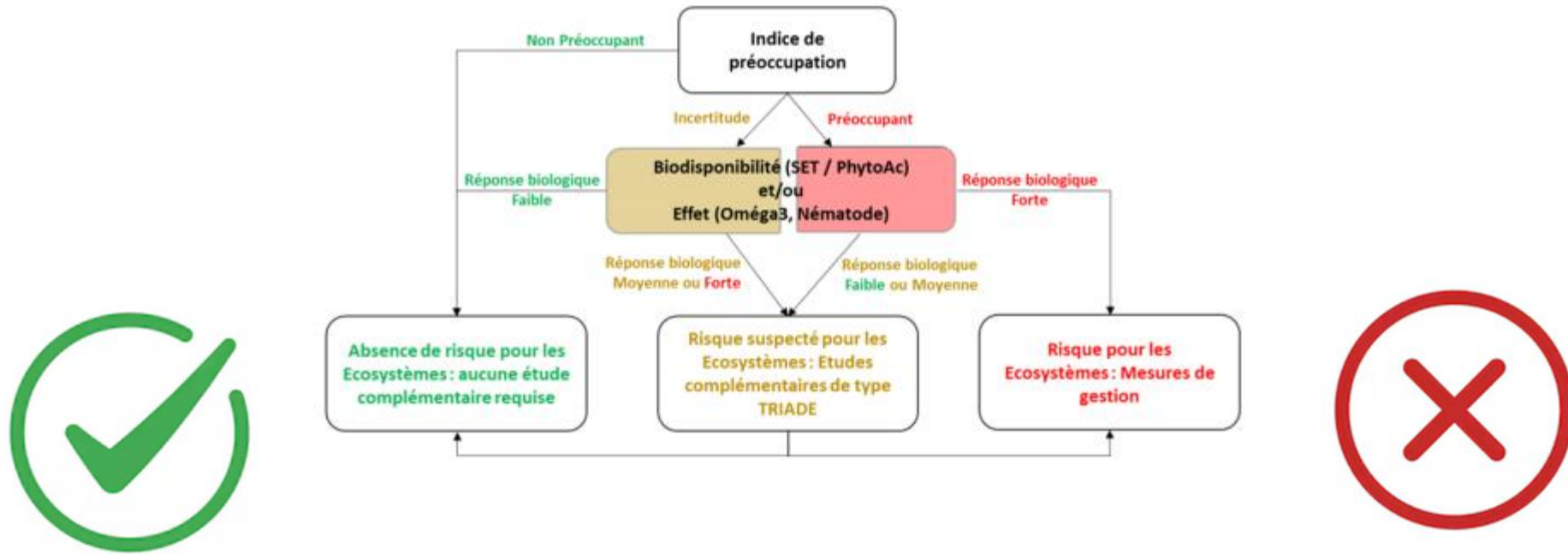
Exemple d'outils et méthodes

Niveau 1 : SCREENING		
Au moins 2 outils représentatifs de 2 fonctions/ services/ niveaux trophiques/ règnes différents		
Exemples d'outils		
<u>LoE Chimie</u> Physico-chimie Concertation Totale ET IdP	<u>LoE Ecotox</u> Toxicité aigue Essai bactérie Et Essai vgx supérieurs	<u>LoE Ecologie</u> Biodiversité Couvert Végétal Et Communauté microbienne

Niveau 2 : ETUDE DETAILLEE		
Au moins 2 outils supplémentaires (au Niveau 1) représentatifs de 2 fonctions/ services/ niveaux trophiques/ règnes différents		
Exemples d'outils		
<u>LoE Chimie</u> Mobilité des polluants Concertations lixiviables Et Indice SET	<u>LoE Ecotox</u> Toxicité chronique végétaux supérieurs Et invertébrés	<u>LoE Ecologie</u> Fonctions Dégradation M. Organique Et Communauté nématofaune

Niveau 3 : ETUDE APPROFONDIE		
Au moins un outil complémentaire à ceux du Niveau 1 et 2 et/ou pouvant répondre à une question spécifique : effet (très) long terme, génotoxicité, neurotoxicité, PE, mécanistique...		
Exemples d'outils		
<u>LoE Chimie</u> Transfert chaine trophique Accumulation chez les micro-mammifères	<u>LoE Ecotox</u> Génomique Essai de stabilité du génome par essai comète	<u>LoE Ecologie</u> Biodiversité globale ADN Environnemental

Pourquoi faire et quand la réaliser ?



Valider une absence de risques pour les écosystèmes

Suivre l'efficacité d'un traitement

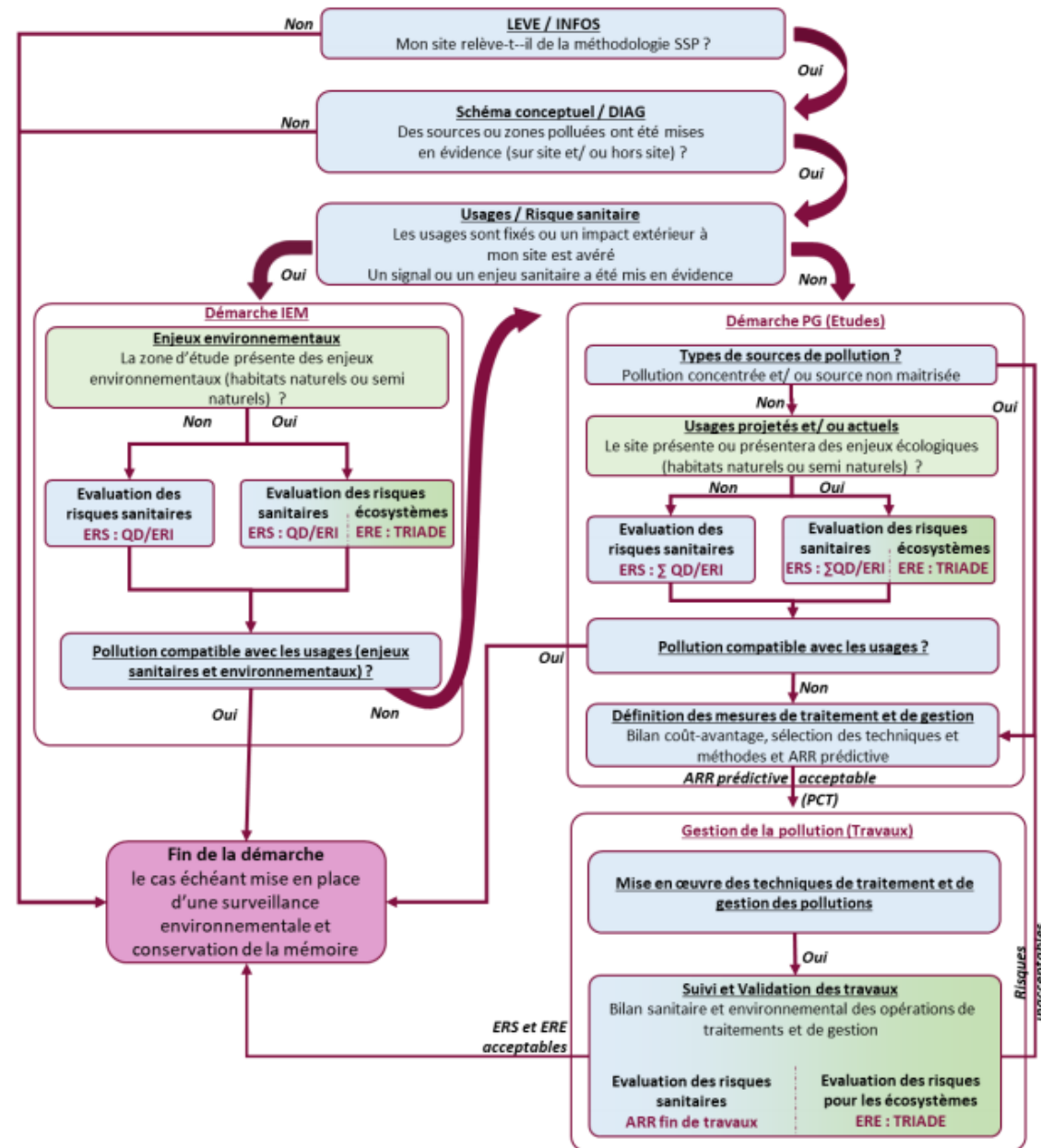
Fournir des préconisations de gestion (faisabilité d'une sanctuarisation par ex.)

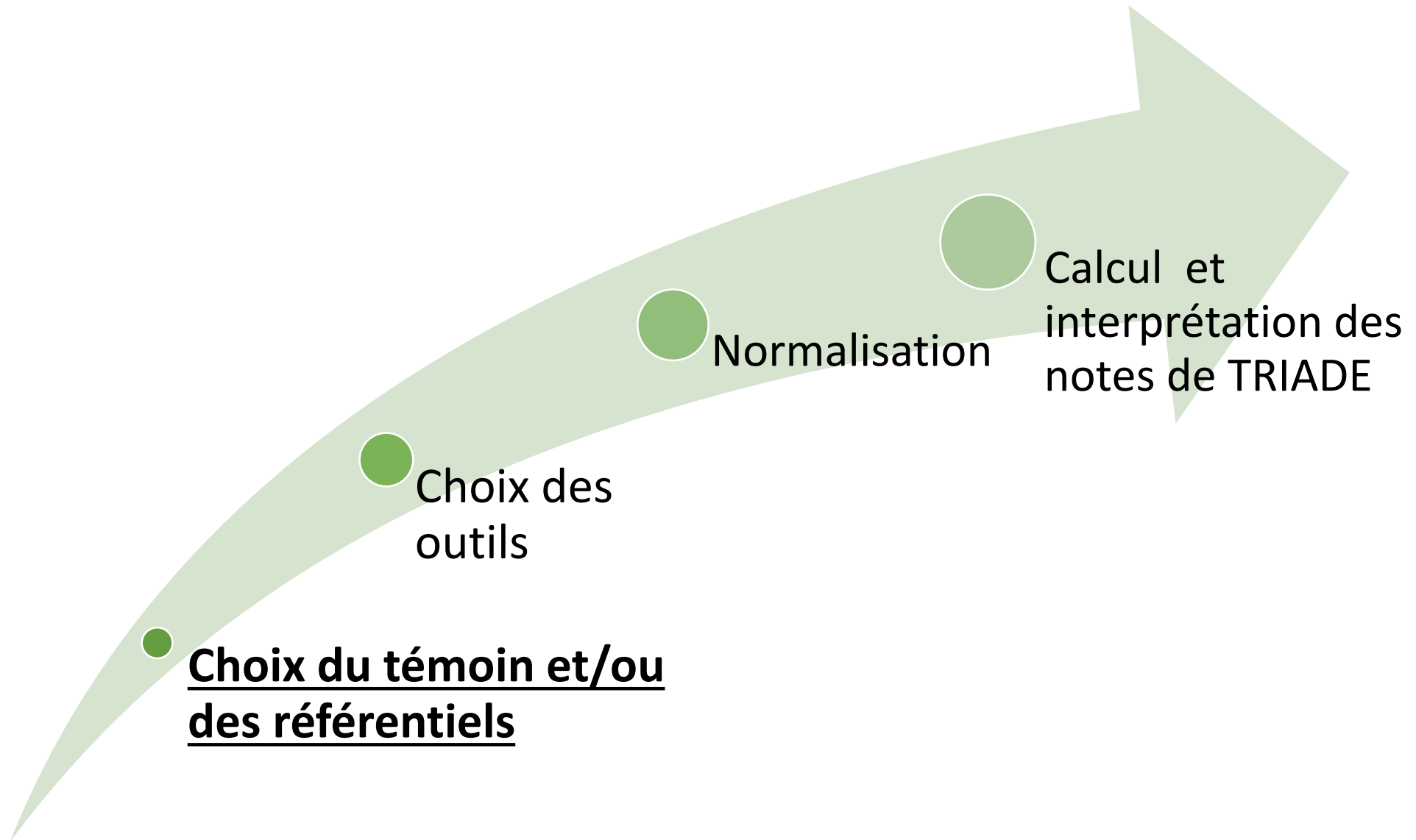
Evaluation de l'impact ou présence d'une pollution concentrée

Des travaux sont requis sur la zone

Aucune zone d'intérêt écologique

Une démarche qui s'inscrit dans la gestion des SSP

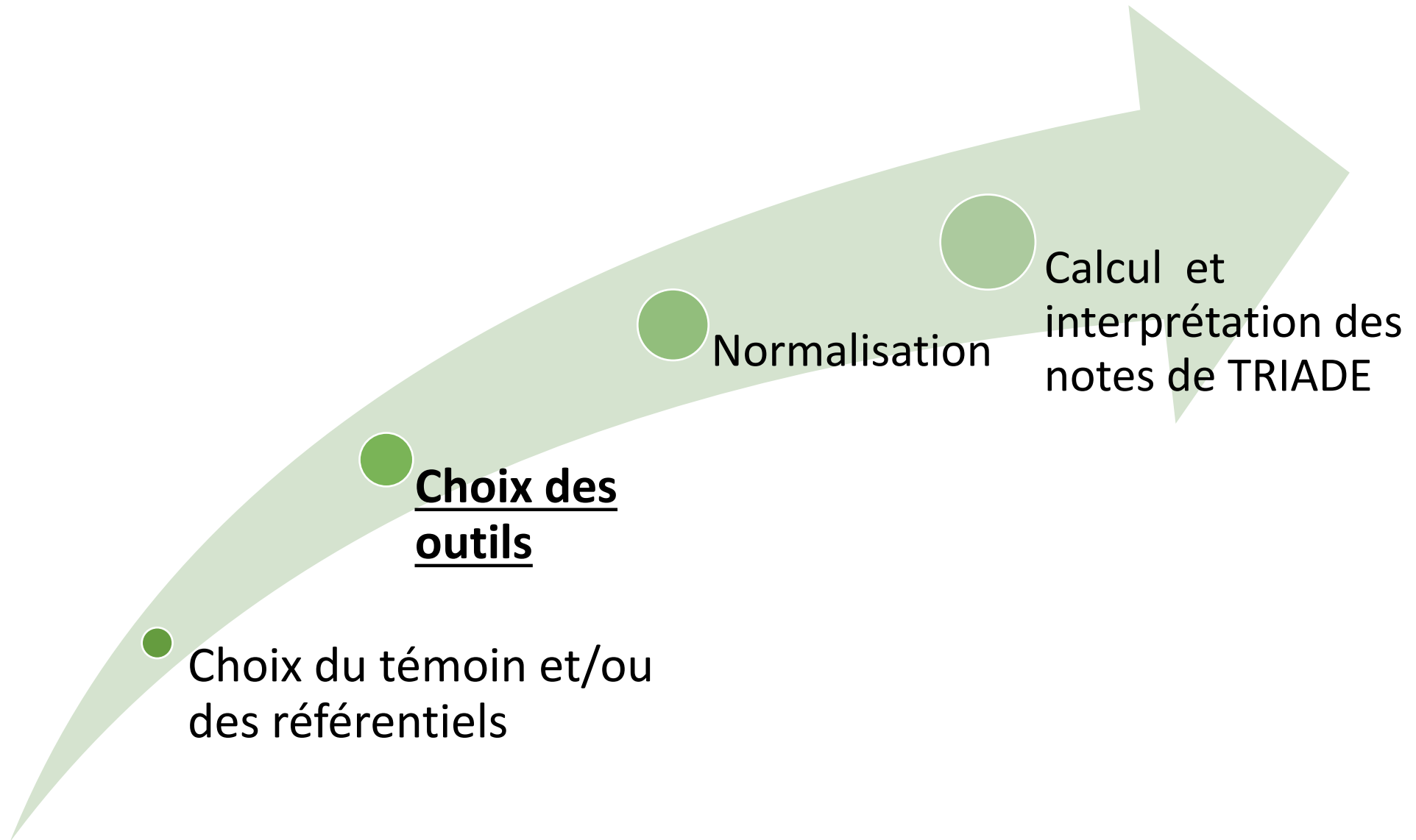




La mise en œuvre : le choix du témoin, un nœud gordien ?

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 ?			



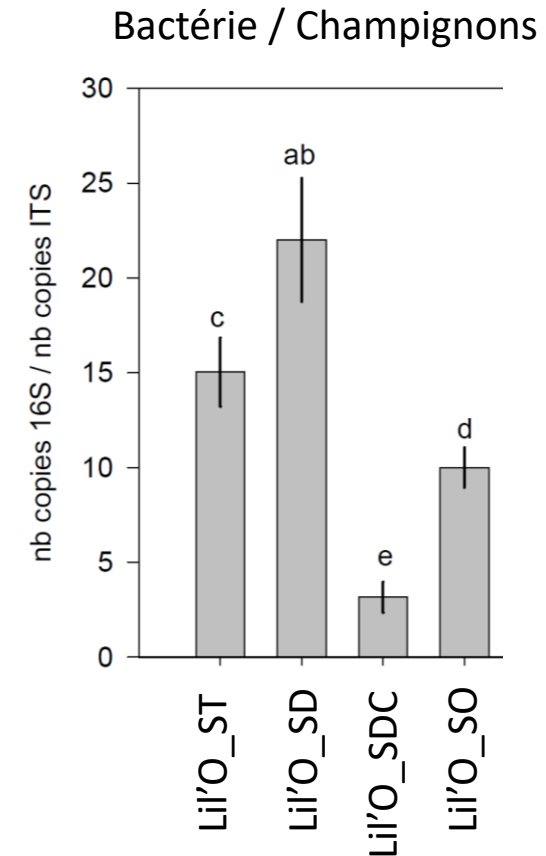
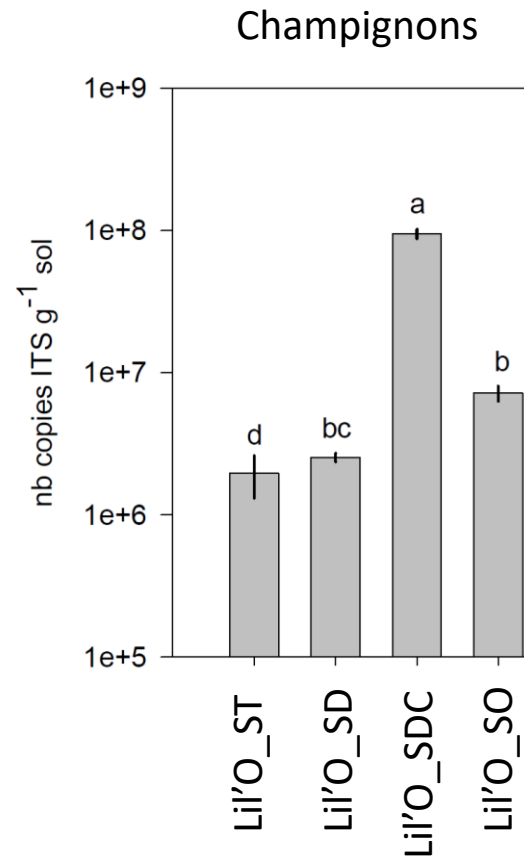
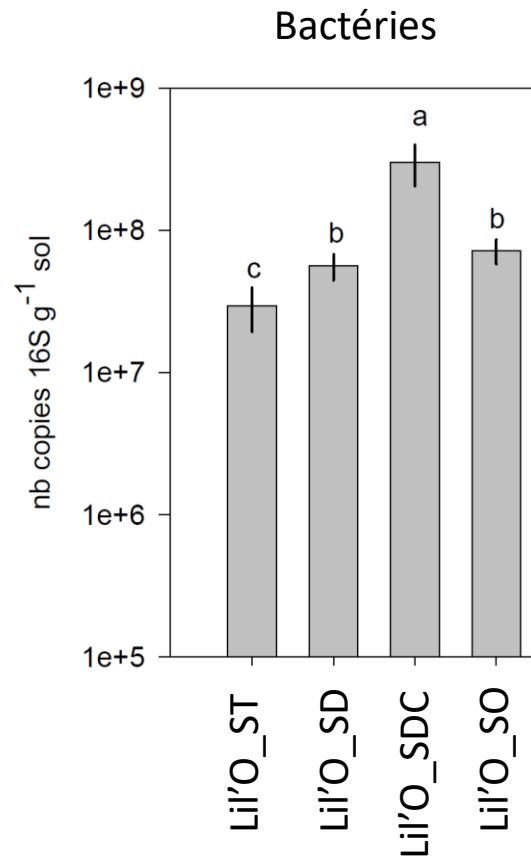
Le choix des indicateurs : de nombreux outils et méthodes

category of organisms	Test title	Standard reference	Endpoint	Trial level (proposals)	
bacteria	Contact test for solid samples using the dehydrogenase activity of <i>Arthrobacter globiformis</i>	EN ISO 18187	enzyme activity (acute)	TIER 1	
primary producer	Determination of the effects of pollutants on soil flora — Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth	EN ISO 11269-1	root growth	TIER 1	
primary producer	Effects of pollutants on mycorrhizal fungi — Spore germination test	ISO/TS 10832	germination	TIER 1	
primary producer	Determination of the effects of pollutants on soil flora — Screening test for emergence of lettuce seedlings (<i>Lactuca sativa</i> L.)	ISO 17126	germination	TIER 1	
primary producer	Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants	ISO 18763	germination	TIER 1	
primary producer	Determination of the effects of pollutants on soil flora - Part 2: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants	EN ISO 11269-2	germination and early growth	TIER 2	
primary producer	Determination of the effects of pollutants on soil flora — Leaf fatty acid composition of plants used to assess soil quality	AFNOR XP X31-233 / ISO 21479:2019	physiology	TIER 2	
primary producer	Chronic toxicity in higher plants	EN ISO 22030	growth	TIER 3	
primary producer	Assessment of genotoxic effects on higher plants — <i>Vicia faba</i> micronucleus test	ISO 29200	genotoxicity	TIER 2 / TIER 3	
invertebrates	Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour — Part 1: Test with earthworms (<i>Eisenia fetida</i> and <i>Eisenia andrei</i>)	ISO 17512-1	behavior (acute)	TIER 1	I
invertebrates	Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour — Part 2: Test with collembolans (<i>Folsomia candida</i>)	EN ISO 17512-2	behavior (acute)	TIER 1	R
invertebrates	Effects of pollutants on earthworms — Part 1: Determination of acute toxicity to <i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i>	EN ISO 11268-1	mortality (acute)	TIER 1	I
invertebrates	Effects of pollutants on insect larvae (<i>Oxythya funesta</i>) - Determination of acute toxicity	EN ISO 20963	mortality (acute)	TIER 1/TIER 2	R
invertebrates	Determination of the toxic effect of sediment and soil samples on growth, fertility and reproduction of <i>Caenorhabditis elegans</i> (Nematoda)	EN ISO 10872	growth and reproduction (chronic)	TIER 2	
invertebrates	Effects of pollutants on juvenile land snails (<i>Helicidae</i>) — Determination of the effects on growth by soil contamination	EN ISO 15952	growth (chronic)	TIER 2	
invertebrates	Inhibition of reproduction of Collembola (<i>Folsomia candida</i>) by soil contaminants	ISO 11267	reproduction (chronic)	TIER 2	
invertebrates	Effects of pollutants on earthworms — Part 2: Determination of effects on reproduction of <i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i> and other earthworm species	EN ISO 11268-2	reproduction (chronic)	TIER 2	
invertebrates	Effects of contaminants on Enchytraeidae (<i>Enchytraeus</i> sp.) — Determination of effects on reproduction	EN ISO 16387	reproduction (chronic)	TIER 2	
invertebrates	Test for measuring the inhibition of reproduction in oribatid mites (<i>Oribates nitens</i>) exposed to contaminants in soil	ISO 23266	reproduction (chronic)	TIER 2 / TIER 3	
invertebrates	Embryotoxicity assays to land snails	-	embryo (chronic)	TIER 3	B
invertebrates	Inhibition of reproduction of the soil mite (<i>Hypoaspis aculeifer</i>) by soil contaminants	ISO 21285	reproduction (chronic)	TIER 3	
Biomarkers	Genomic stability with comet assay (caelomacystor and homocystor)	-		TIER 2	C
Biomarkers	Genomic stability with modified comet assay (FPG/h-OGG1) (caelomacystor and homocystor)	-		TIER 3	C
Biomarkers	Cytogenomic stability with micronuclei (MN) (caelomacystor and homocystor)			TIER 2	L
Biomarkers	Genomic stability with RAPD-HRS (homocystor and embryar)	-		TIER 3	L
Biomarkers	Phagocytosis assay (caelomacystor and homocystor)	-		TIER 3	B
Biomarkers	Lysozyme integrity (caelomacystor and homocystor)	-		TIER 3	R
Biomarkers	lipid peroxidation	-		TIER 3	C
Biomarkers	enzymatic activities	-		TIER 3	R
Biomarkers	AchE activity	-		TIER 3	C
Biomarkers	Sexual maturation index	-		TIER 3	L
Biomarkers	Transcriptomic effects	-		TIER 3	C

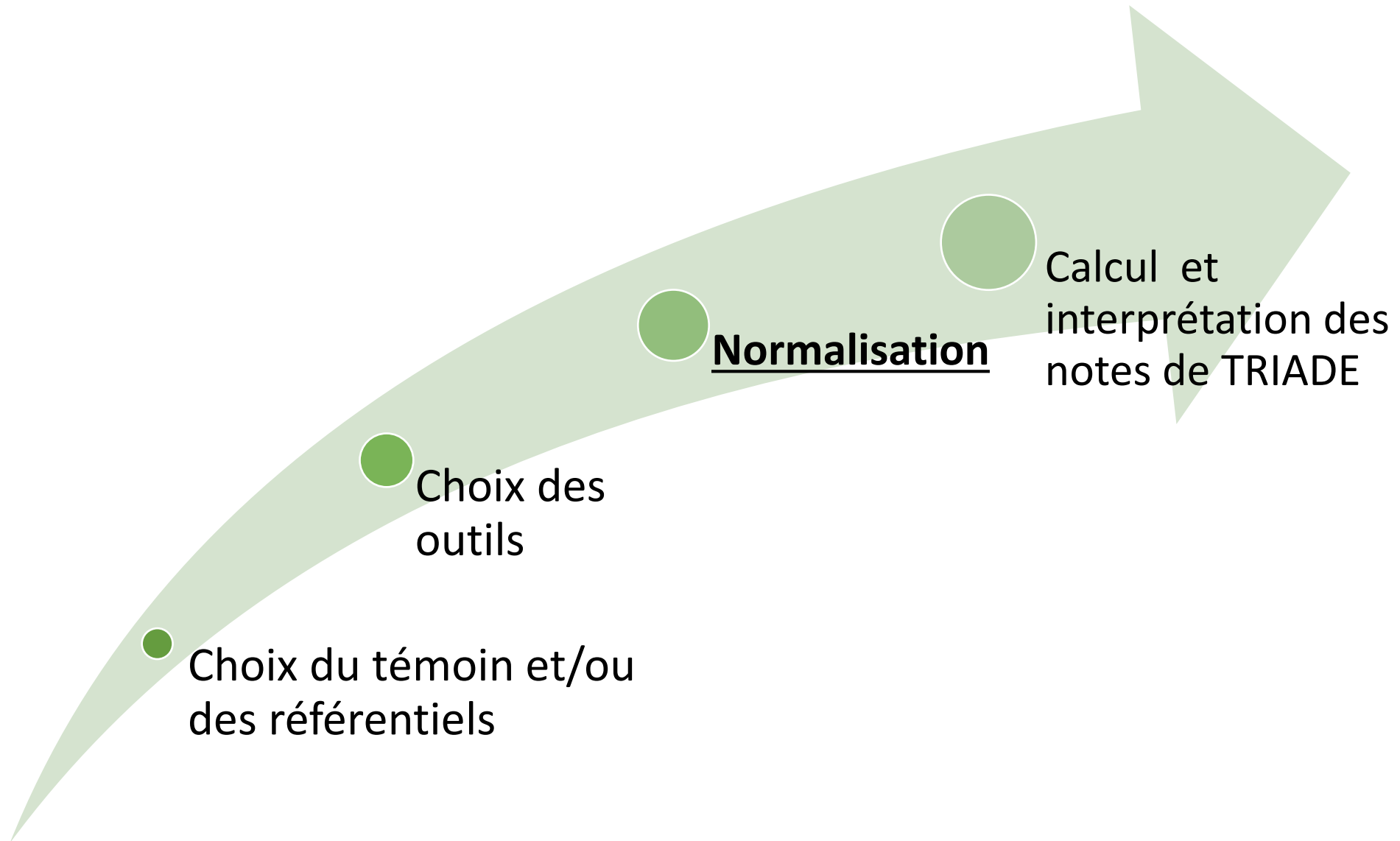
Le choix des indicateurs : une sélection multi-critères

		Coût	Accessibilité	Interprétation/Robustesse	Suivi de l'efficacité d'une technique	Raques pour les écosystèmes	Faisabilité d'un projet	L'IO	Mazngabe
Niveau 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
	Indice de préoccupation	€	+++	++	+	+++	++	6,9	5,9
	LoE Ecotoxicologie								
	Inhibition de l'activité deshydrogénase (<i>A. globiformis</i>)	€€	+++	+++	+++	++	++	6,3	6,6
	Inhibition de la croissance racinaire	€	+++	+++	+++	++	++	6,9	7,2
	Essai d'évitement chez le ver <i>Eisenia fetida</i>	€	++	++	++	++	++	5,6	5,6
	Toxicité aiguë vis à vis de <i>Eisenia fetida</i>	€	+++	+++	+++	++	++	6,9	7,2
	LoE Ecologie								
Niveau 2	Détermination des communautés microbiennes	€	+++	+++	++	+++	+++	7,5	7,2
	Analyse du couvert végétal du site	€	+++	+++	+++	+++	+++	7,5	7,5
	LoE Chimie								
	Fraction potentiellement biodisponible des ETP (NaNO ₃)	€€	+	+	+++	+	+	3,1	3,8
	Fraction des EPT potentiellement biodisponible (CaCl ₂)	€€	+	+	+++	+	+	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
	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
Niveau 3	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

Le choix des indicateurs : des réponses facilement interprétables !



Nécessité de mettre en œuvre des outils normalisés disposant d'un référentiel d'interprétation



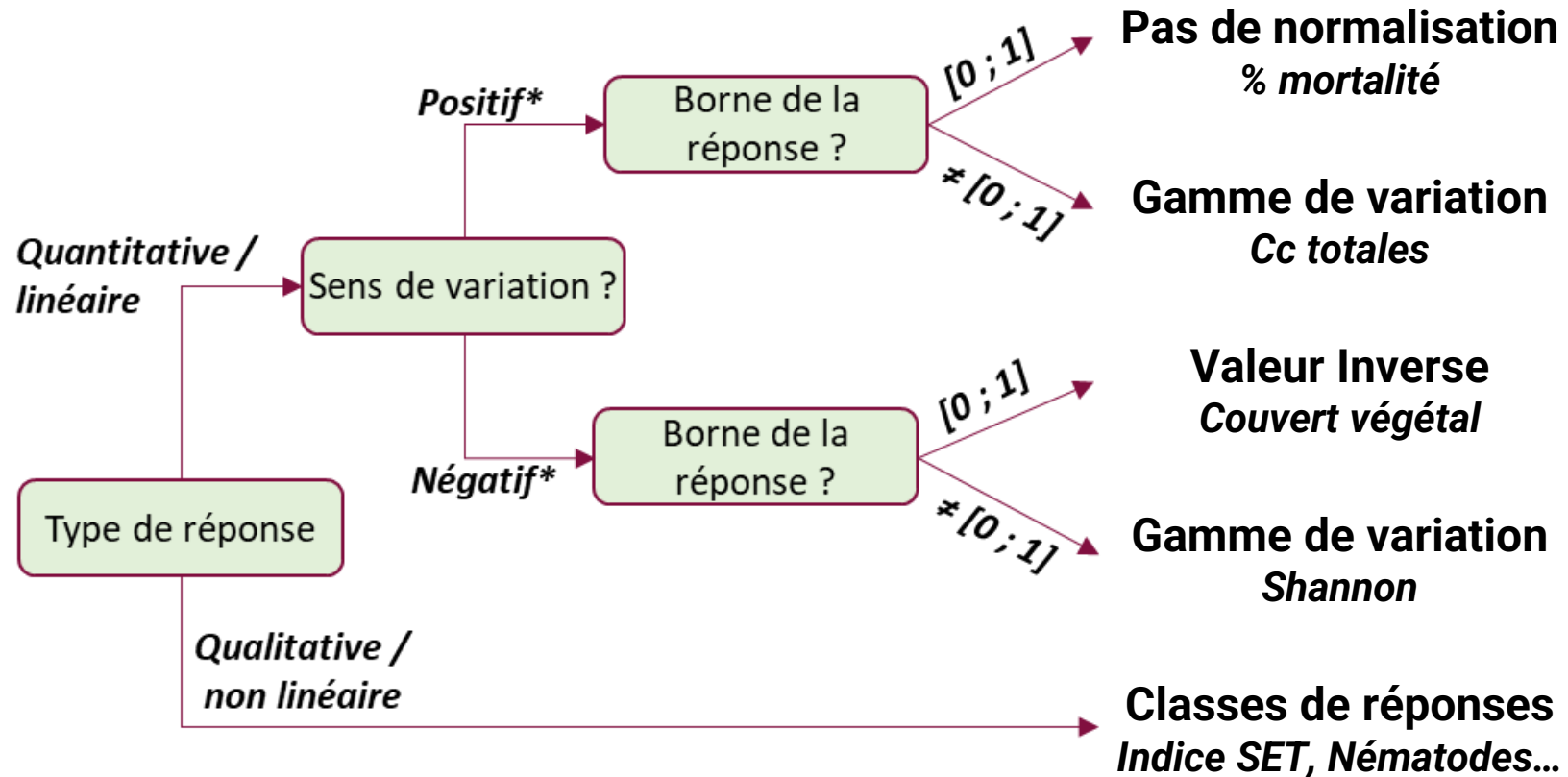
Normalisation des outils et méthodes

Absence d'effet
(Ex. Aucune mortalité)



Effet total
(Ex. 100% de mortalité)

Différentes méthodes selon les types de réponses



Normalisation des outils et méthodes

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

0



% 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

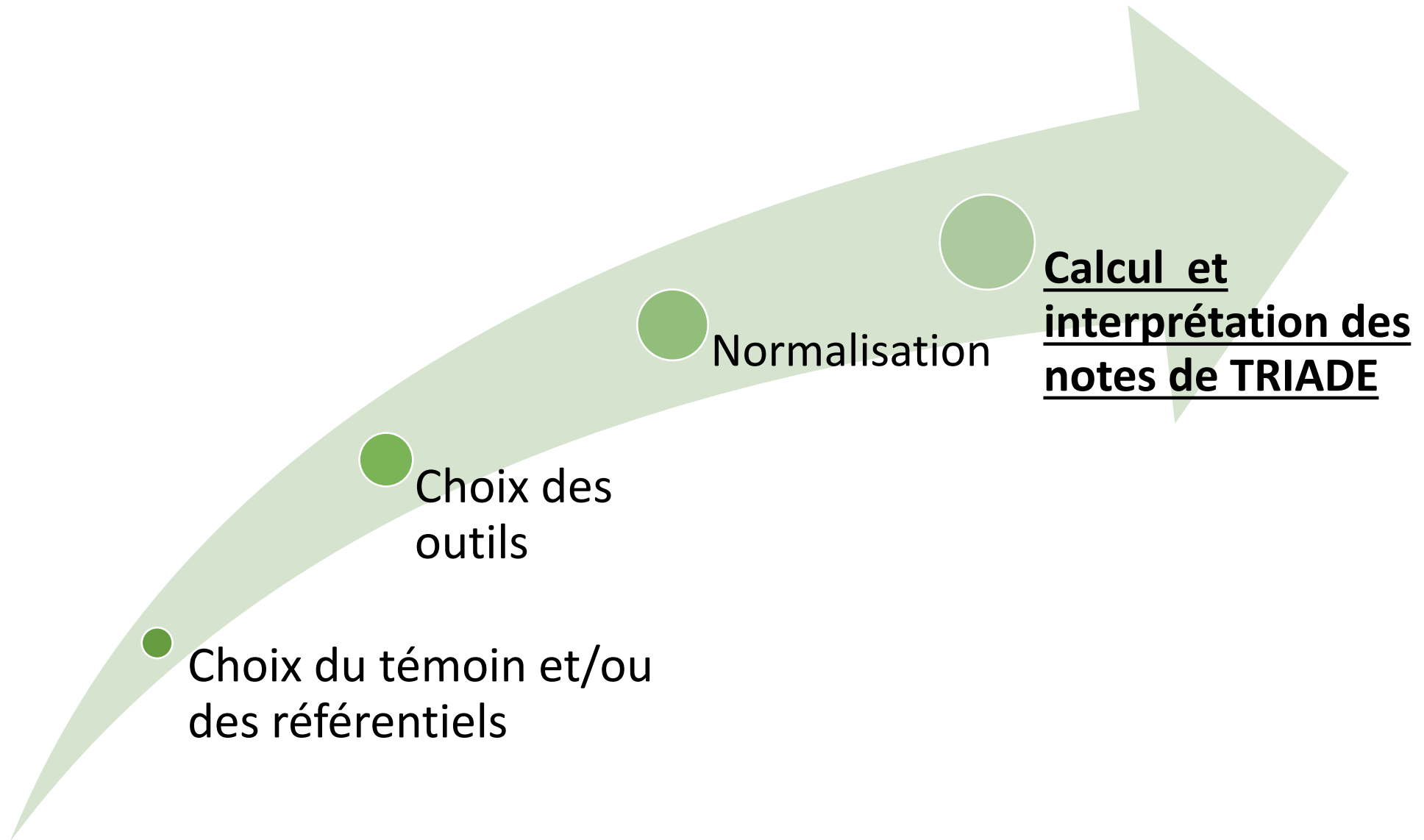


Valeurs continue (de 0 à $+\infty$).

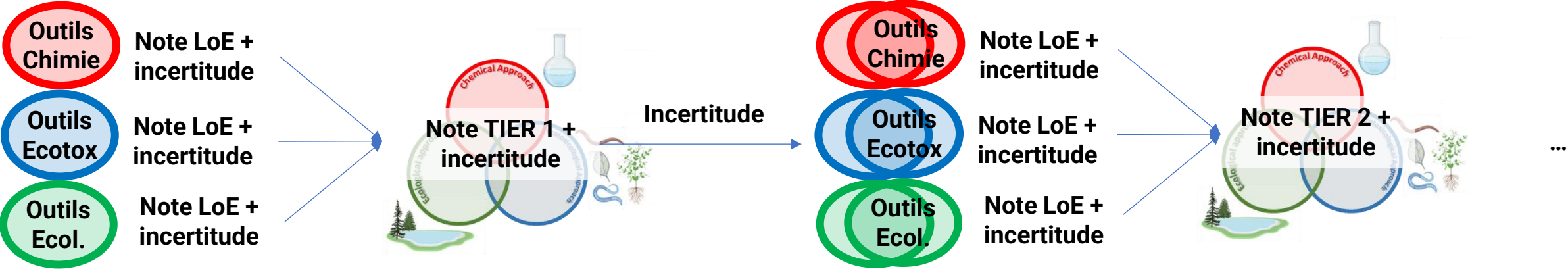
Choix de borne : $[FPG - 3 \cdot FPG[$
➤ 0 si $< FPG$,
➤ De 0 à 1 si $[FPG - 3 \cdot FPG[$
➤ 1 si $> 3 \cdot FPG$

Effet total
(Ex. *100% de mortalité*)

1



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 : les indicateurs

Tier 1	LoE chimie	Détermination de la concentration totale en EPTs dans les sols
	LoE écotoxicologie	Essai d'inhibition de l'activité deshydrogénase cher <i>Arthrobacter globiformis</i> – NF EN ISO 18187 Détermination de l'inhibition de la croissance racinaire (ISO 11269-1 :2012) Détermination de la toxicité aiguë vis à vis de <i>Eisenia fetida</i> - NF EN ISO 11268-1
	LoE écologie	Analyse du couvert végétal du site
Tier 2	LoE chimie	Analyse des teneurs en EPTs extractibles à l'eau (ISDI) Analyse de la fraction potentiellement biodisponible (ISO 17402, e.g. extraction CaCl ₂) Mesure de la bioaccumulation chez l'escargot (indice SET, ISO 24032)
	LoE écotoxicologie	Essais de mortalité, d'inhibition de la croissance et de la reproduction chez le nématode (<i>C. elegans</i>) – NF ISO 10872 Test d'inhibition de l'émergence et de la croissance des végétaux supérieurs (2 espèces) - ISO 11269-2 Indice Omega 3 (ISO 21479, Détermination des effets des polluants sur la flore du sol — Composition en acides gras foliaires des plantes utilisées pour évaluer la qualité du sol)
	LoE écologie	Evaluation de l'activité biologique des organismes du sol : essai d'estimation de la décomposition de la matière organique dans un sol contaminé – NF ISO 23265 Recensement de la diversité trophique de la communauté de nématodes

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	Concentration totale (Pb)	120	3,7	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
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	Concentration totale (Pb)	120	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		
	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	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	
	Concentration totale (Pb)	60	0,1	Déshydrogénase	20,8	0,5	Couvert végétal	90%	0,1	
TIER 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	Concentration totale (Pb)	120	3,7	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3	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.
	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	
	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	
	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. Lixiv. Total (Pb)	1,99	0,7	Déshydrogénase	12,4	0	Couvert végétal	70%	0,3	Bien qu'une pollution diffuse en Pb ait été mise en évidence, le site ne présente pas de risque environnemental.	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 réserve 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			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	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.	
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 C. elegans	0,44	1					
	Total TIER	0,03	+/- 0,05	Total TIER	0,32	+/- 0,29	Total TIER	0,25	+/- 0,2		

Mise en application de la TRIADE en un exemple

Usage actuel ou futur souhaité

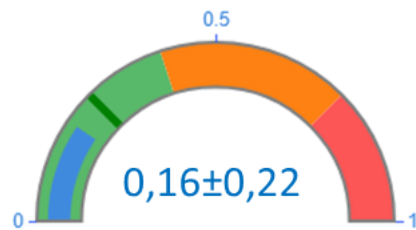
Naturel

LoE
Chimie



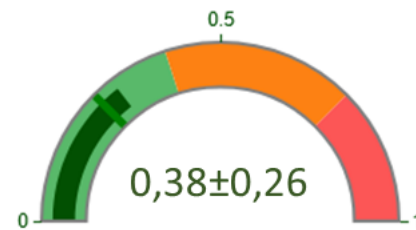
Cc Lixiviables (H2O)

LoE
Ecotoxicologie



Croissance (2 sp.)

LoE
Ecologie

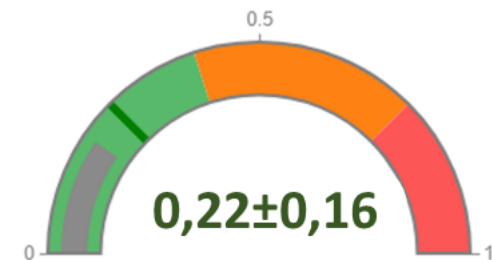


Diversité Nématodes

Décomposition MO

Couvert Végétal

Indice TRIADE



Les risques environnementaux sont compatibles avec l'usage futur ou actuel. Les risques pour les écosystèmes sont acceptables.



Nécessité d'intégrer des mesures de biodisponibilité, d'écotoxicité et de la qualité écologique des sols



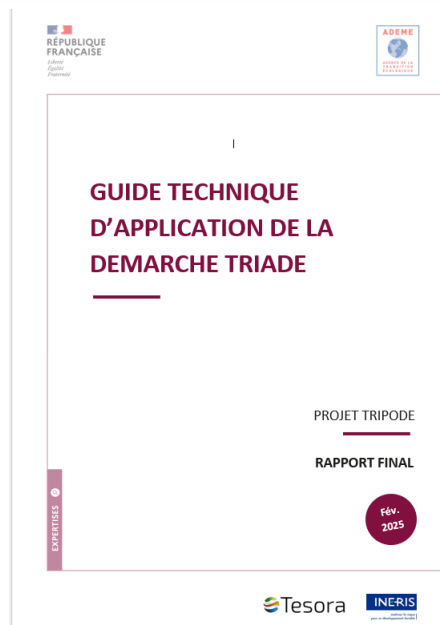
Un outil intégratif qui s'inscrit dans la dynamique de préservation des sols



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 !

benjamin.pauget@tesora.fr, nicolas.manier@ineris.fr, nicolas.pucheux@ineris.fr



<https://librairie.ademe.fr/urbanisme-territoires-et-sols/7947-demarche-triade-guide-technique-d-application.html>