

Soutenance de thèse - 7 décembre 2017

Lucie Bezombes

**Développement d'un cadre méthodologique
d'évaluation de l'équivalence écologique :
application dans le contexte de la séquence
« Eviter Réduire Compenser » en France**



Jury composé de :

Nathalie Frascaria-Lacoste - Rapporteur

John Thompson - Rapporteur

Sandra Lavorel - Examinatrice

Baptiste Regnery – Examineur

Agnès Barillier – Invitée

Stéphanie Gaucherand – Co-Encadrante

Thomas Spiegelberger - Directeur de thèse

Christian Kerbiriou - Codirecteur de thèse

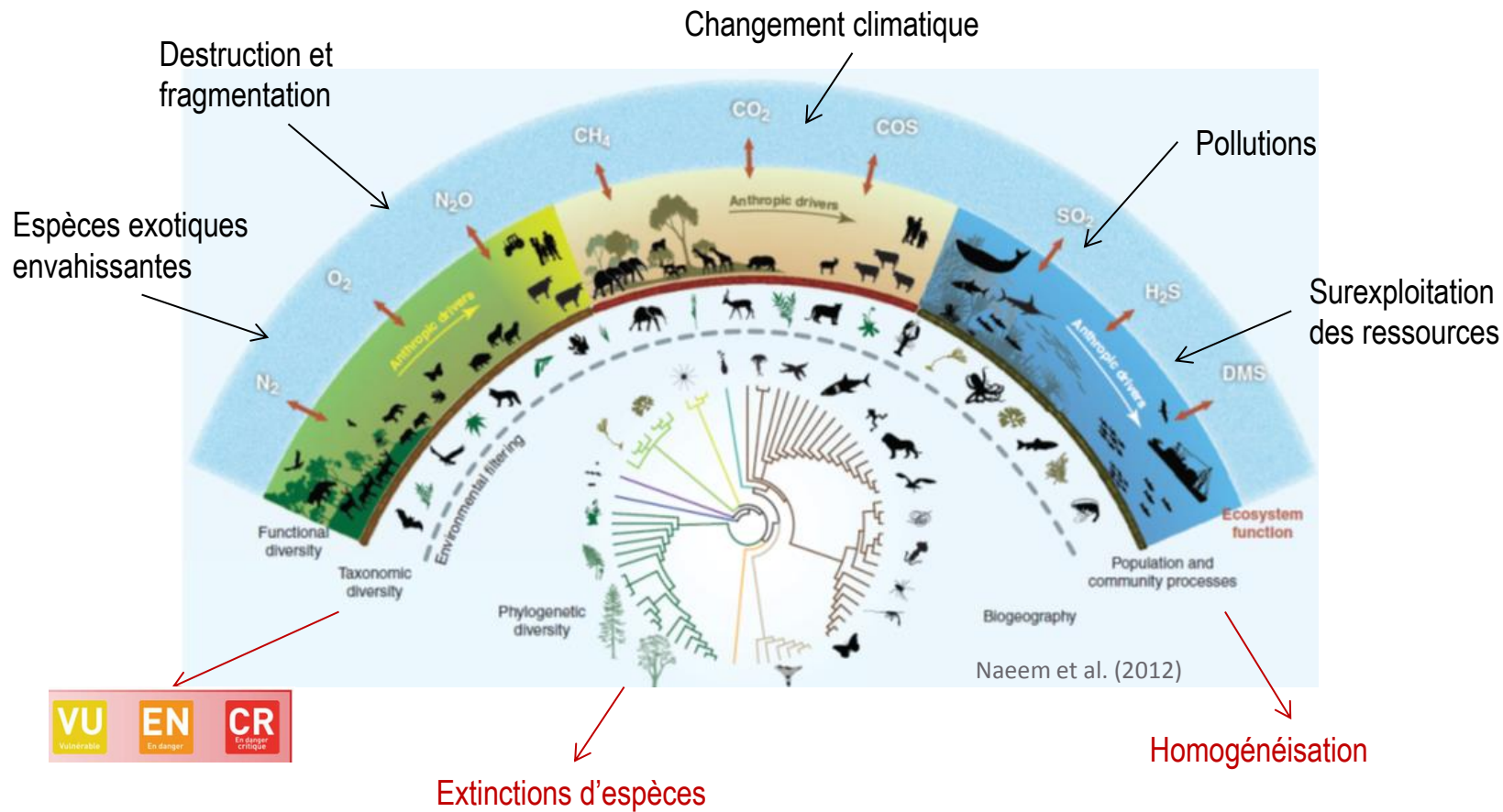


**Muséum
national
d'Histoire
naturelle**



INTRODUCTION

La biodiversité et son érosion (1/6)



Evolution de la protection de la biodiversité (2/6)



APPROCHE

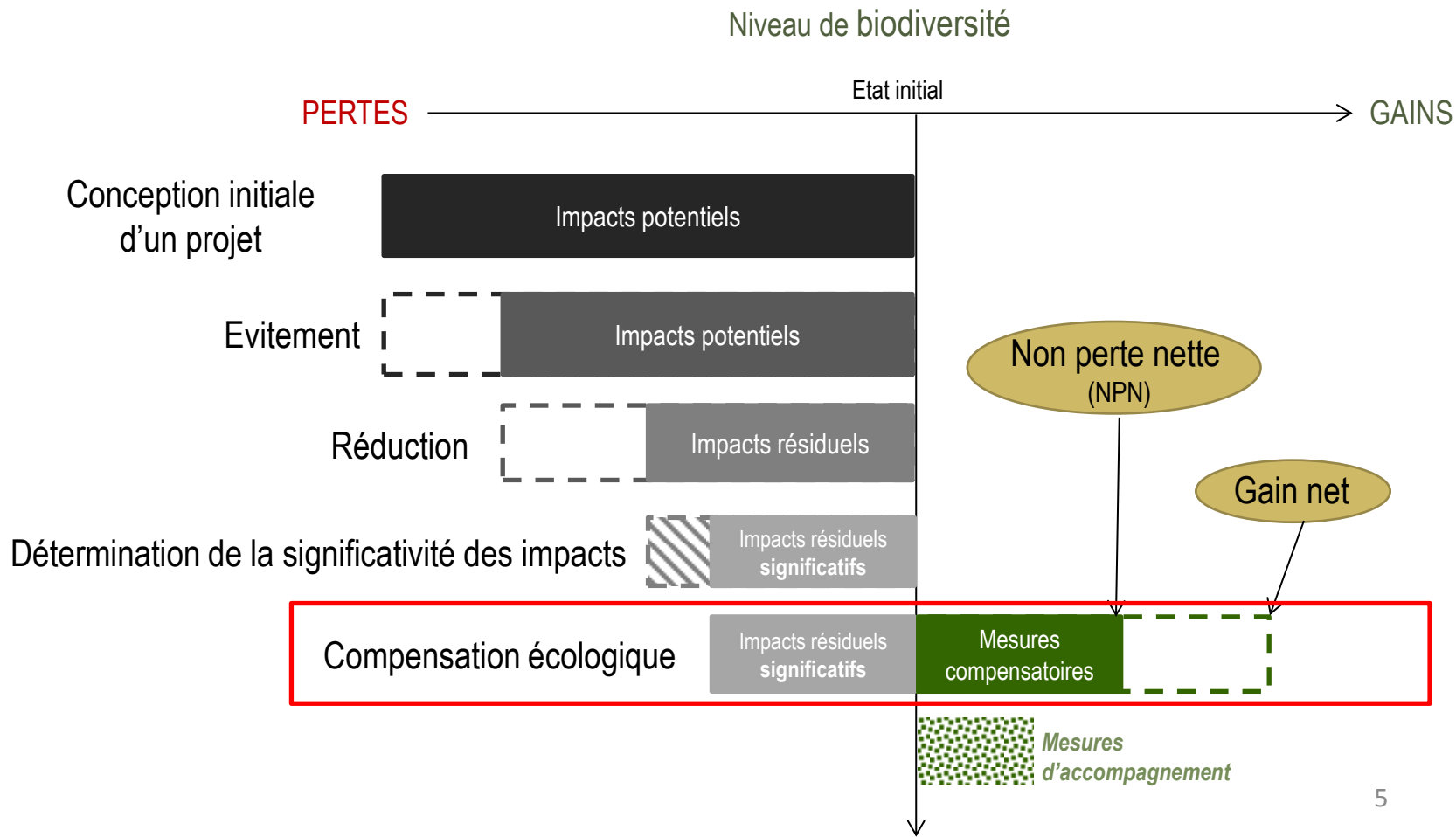
GOVERNANCE

Séquence Eviter, Réduire, Compenser

1976 – 2016
Etudes d'impacts
Projets d'aménagements



Principe de la séquence « Eviter, Réduire, Compenser » (3/6)



Focus sur la compensation écologique (4/6)

A la demande : projet par projet

Par l'offre : recours à des sites
naturels de compensation

IBGH INITIATIVE BIODIVERSITÉ
COMBÉ MADAME



Mesures
compensatoires
(MC)

Actions « **en nature** » (*Like for Like*)



Marion Chataigner

En France, **règlementation spécifique** pour :



Espèces protégées



Zones humides



Milieux forestiers



Réseau Natura 2000

Pour **atteindre la NPN** elles doivent être :

Additionnelles

Proximité du site impacté

Pérennes

Equivalentes

Bull *et al.* (2013)

L'équivalence écologique (5/6)

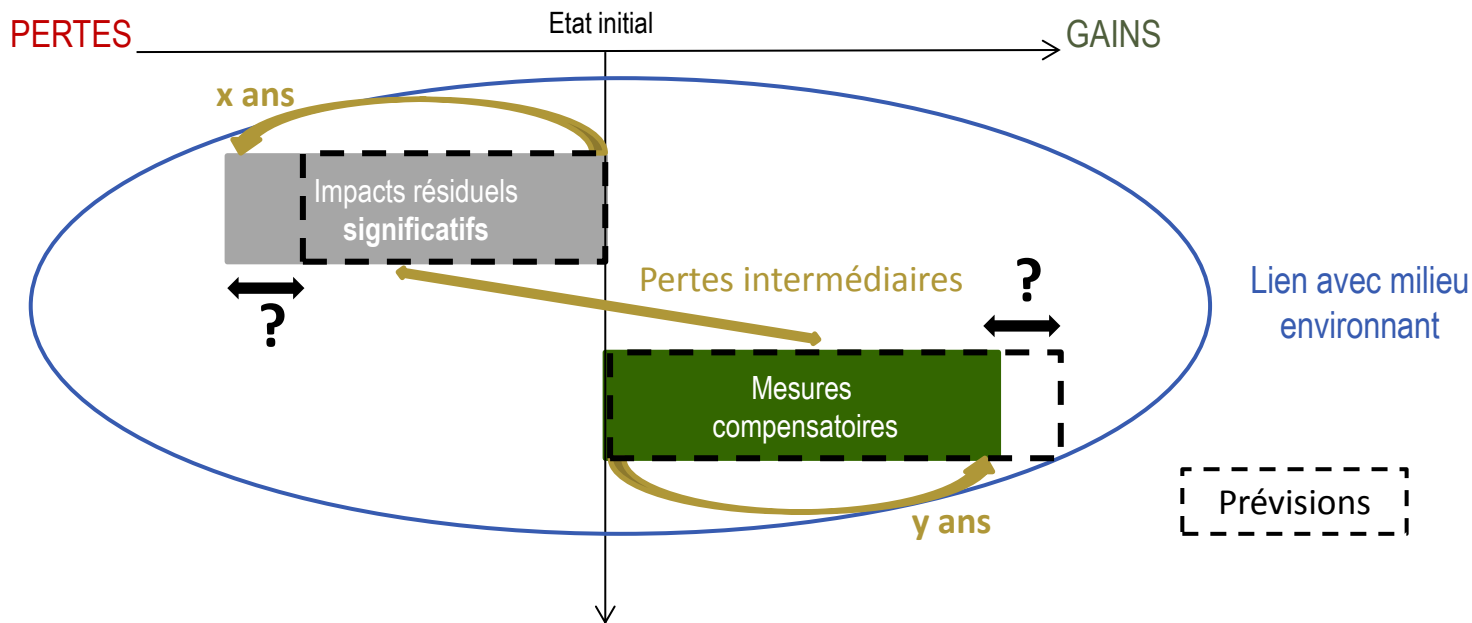
- Ecologique
- Spatiale
- Temporelle
- Incertitudes

GAINS = PERTES

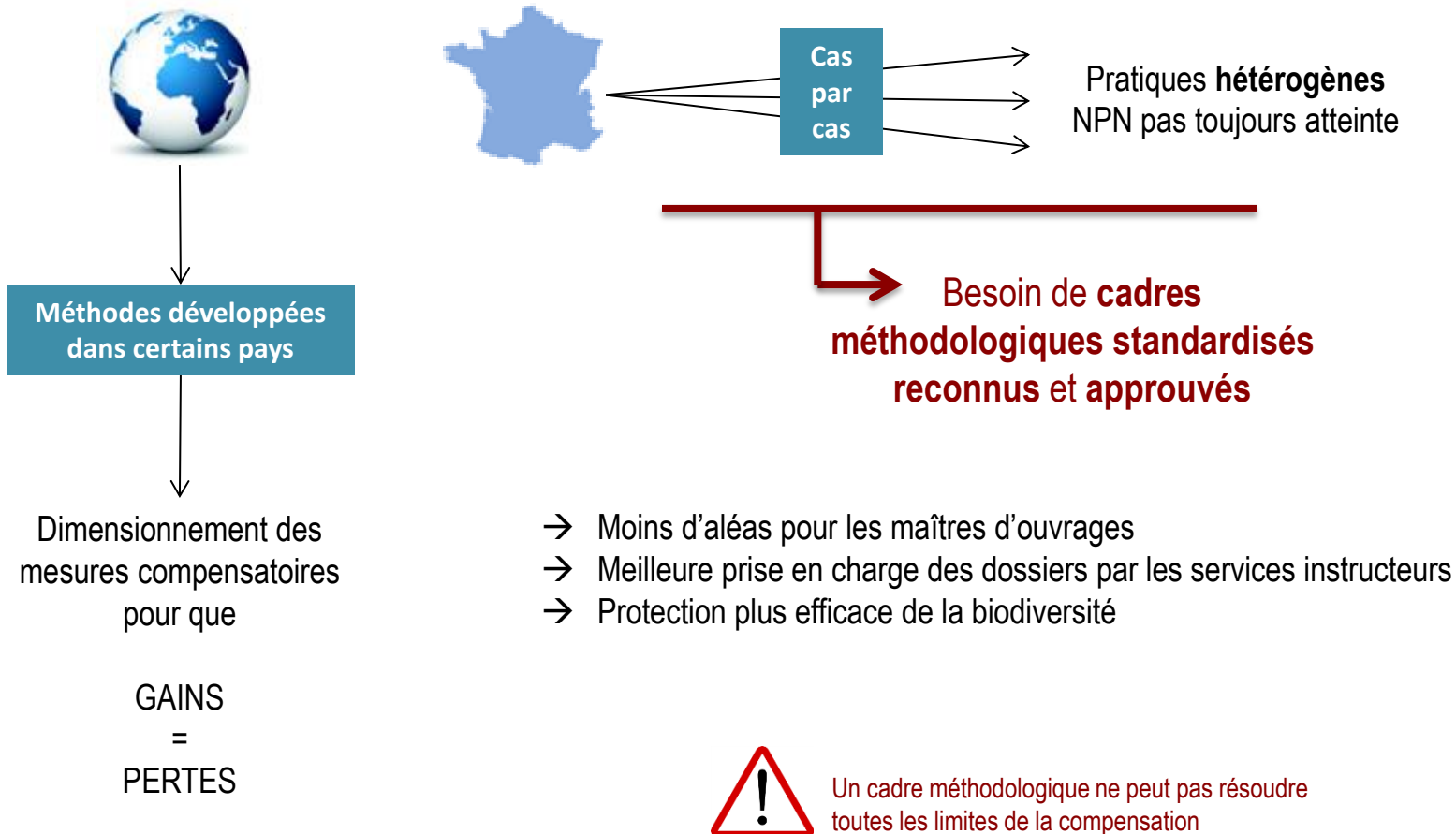
→ Ensemble de critères, de méthodes et de processus participatifs
 → **Evaluer et comparer** les pertes et les gains écologiques
 → Concevoir et dimensionner les MC
 → Prise en compte des **dimensions écologique, spatiale, temporelle**



Niveau de Biodiversité?



Evaluation de l'équivalence écologique (6/6)





OBJECTIF ET DÉMARCHE

Combiner exhaustivité, bases scientifiques et opérationnalité (1/2)



Exhaustivité (EXH)

Quétier & Lavorel (2011)

Toutes les dimensions
de l'équivalence

Bases scientifiques (BSC)

Maron *et al.* (2016)

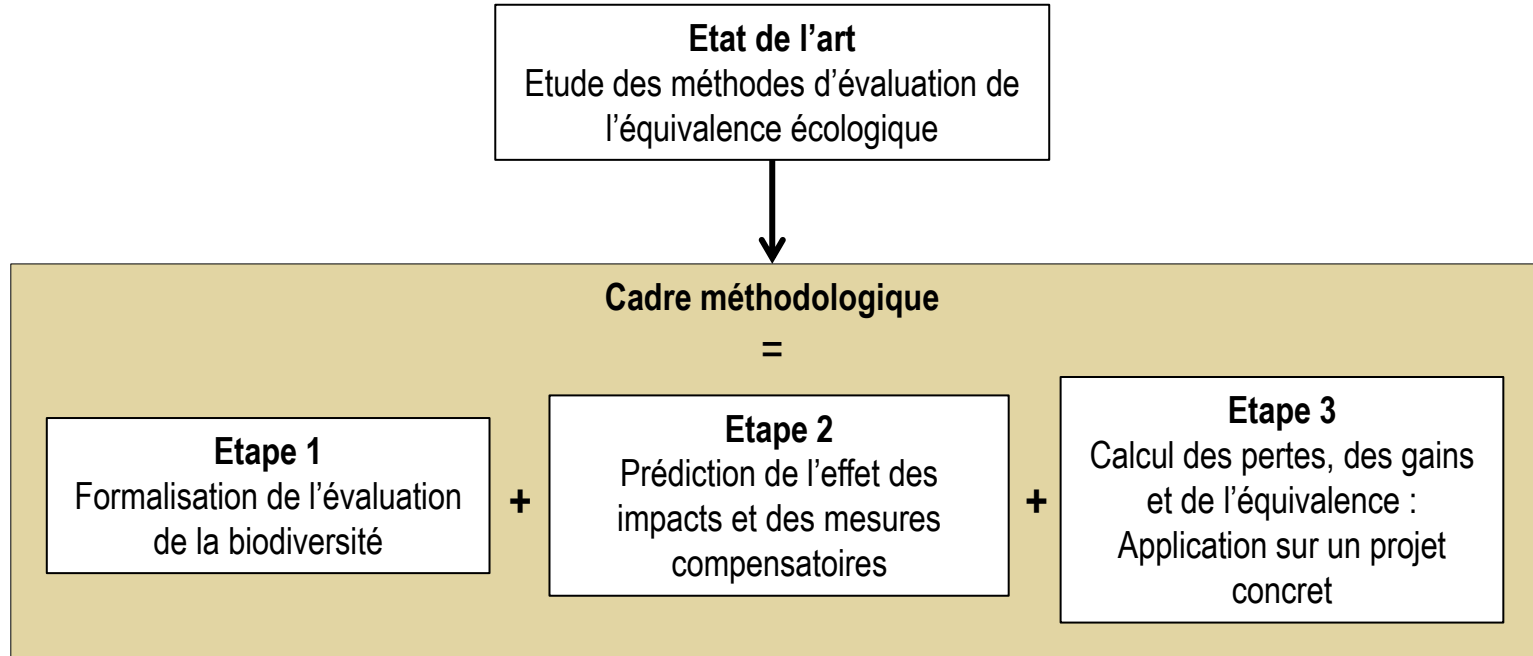
- Principes de l'écologie
- Rigueur
- Transparence
- Reproductibilité

- Acteurs impliqués dans la compensation
- Cohérence avec compétences techniques
- Temps et coûts raisonnables

Opérationnalité (OP)

Laycock *et al.* (2013)

Etapes de la construction du cadre méthodologique (2/2)



- Ecologique
- Spatiale

- Temporelle
- Incertitudes




ETUDE DE MÉTHODES D'ÉVALUATION DE L'ÉQUIVALENCE ÉCOLOGIQUE

Article publié dans la revue *Environmental Management* (1/5)

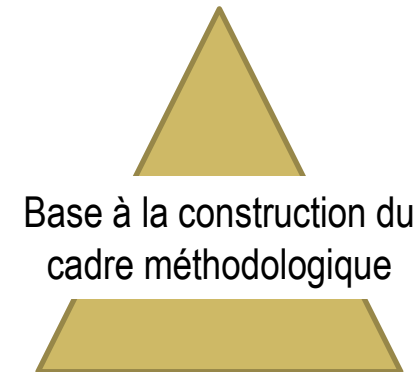
Environmental Management
DOI 10.1007/s00267-017-0877-5



Ecological Equivalence Assessment Methods: What Trade-Offs between Operationality, Scientific Basis and Comprehensiveness?

Lucie Bezombes ^{1,2} · Stéphanie Gaucherand¹ · Christian Kerbirou³ · Marie-Eve Reinert⁴ · Thomas Spiegelberger¹

Received: 5 August 2016 / Accepted: 25 April 2017
© Springer Science+Business Media New York 2017



Axes d'étude et méthode (2/5)

Axe 1 Démarche commune

- Guides d'utilisation
- Manuels techniques
- Publications scientifiques







Axe 2 Points de divergence dans prise en compte des dimensions de l'équivalence

Bibliographie

- 27 experts contactés
- 20 réponses (au moins 1/méthode)

Questionnaire

Axe 3 Compromis entre EXH, BSC et OP

	6		1
	2		1
	2		1

Opérationnalité	Exhaustivité
Définition des indicateurs	Dimensions prises en compte
Rapidité d'implémentation	Biodiversité prise en compte
Disponibilité des données	Type de données utilisées
Echangeabilité	Nombre d'indicateurs

Bases Scientifiques
Définition des indicateurs de biodiversité
Métriques des indicateurs de biodiversité
Prise en compte de la dimension spatiale
Prise en compte des incertitudes

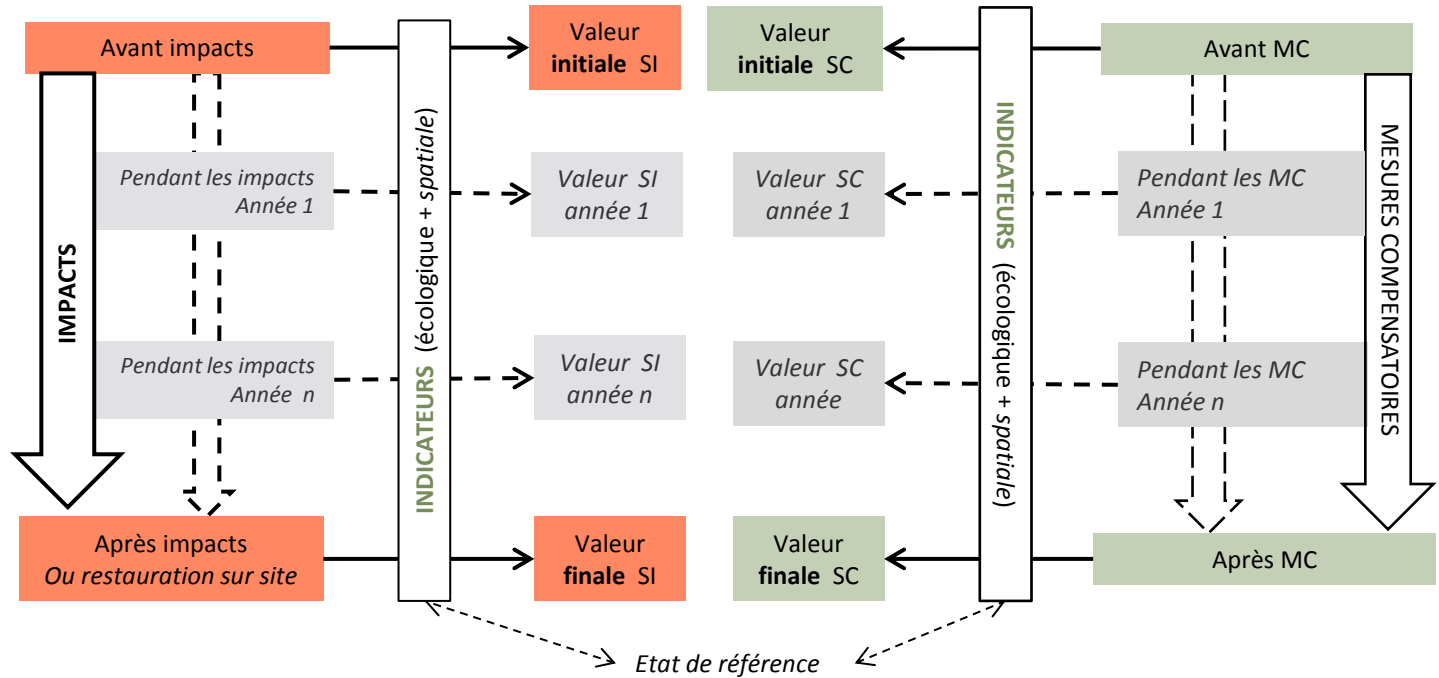
→ Critères sur lesquels baser le cadre méthodologique ?

ACP à partir des notes des modalités

Structure commune (3/5)

Site impacté (SI)

Site Compensatoire (SC)



(UC) **Unité de compensation (SI)** = Valeur (SI) * Surface (SI)

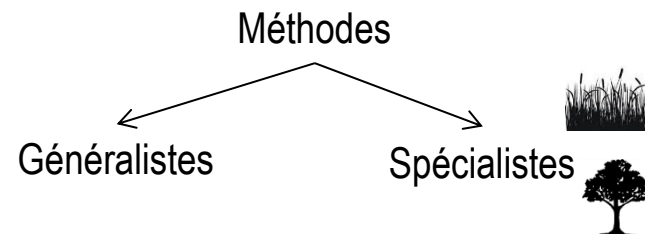
(UC) **Unité de compensation (SC)** = Valeur (SI) * **Surface (SC)**

Pertes = (UC Finale – UC Initiale)
Pertes = \sum (UC à l'année n)

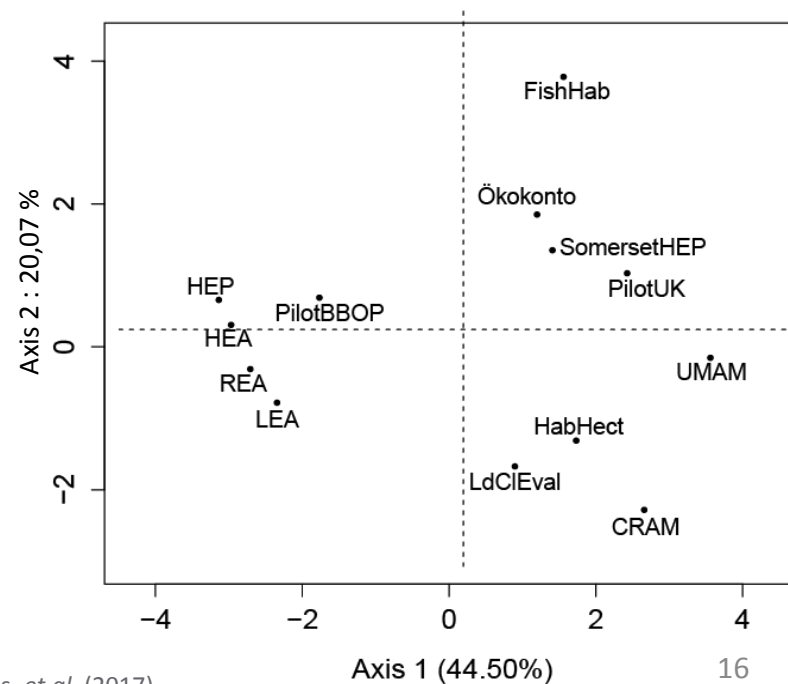
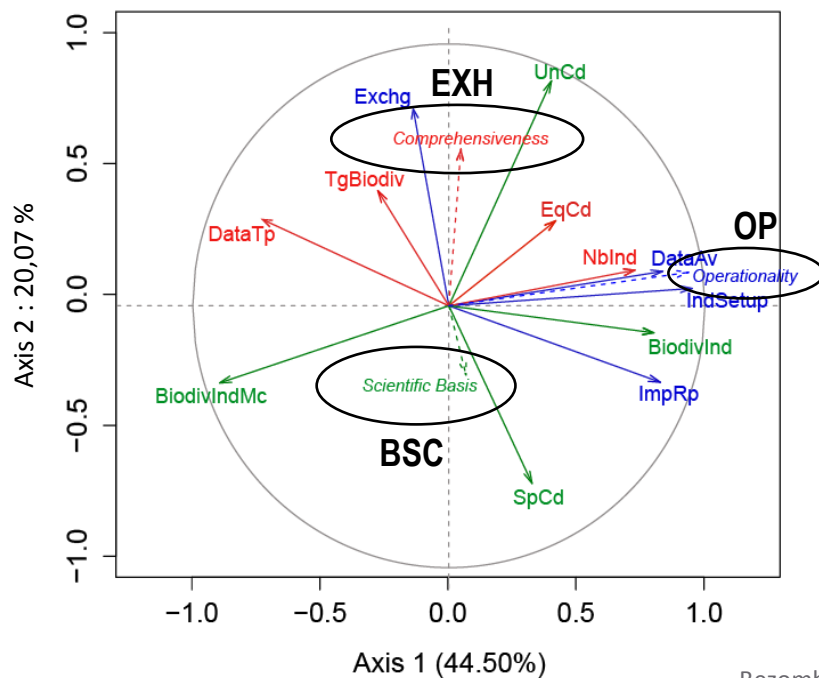
Gains = (UC Finale – UC Initiale)
Gains = \sum (UC à l'année n)

Ratios multiplicateurs

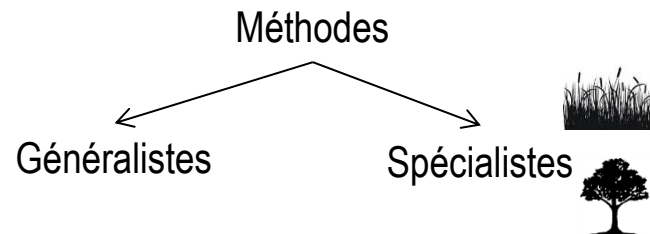
Divergences et compromis (4/5)



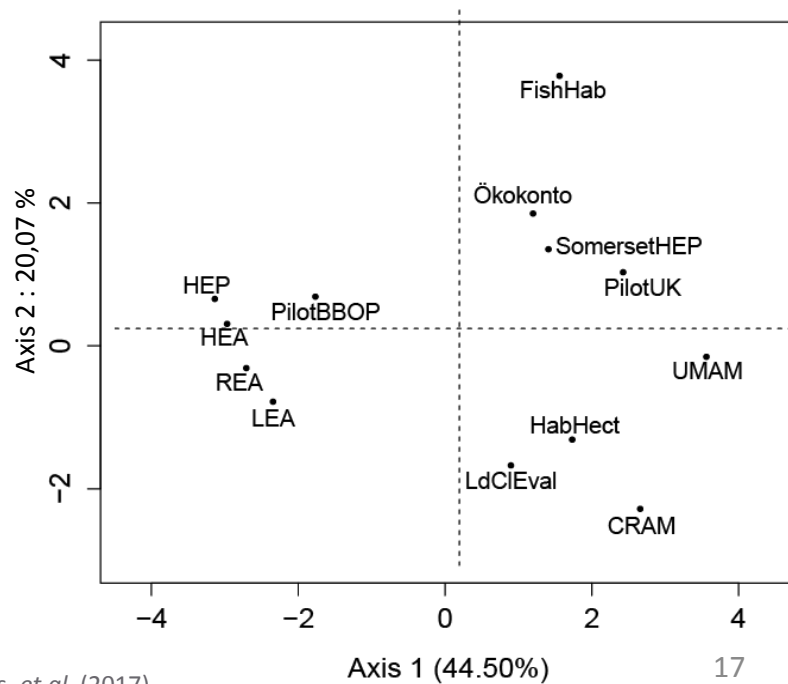
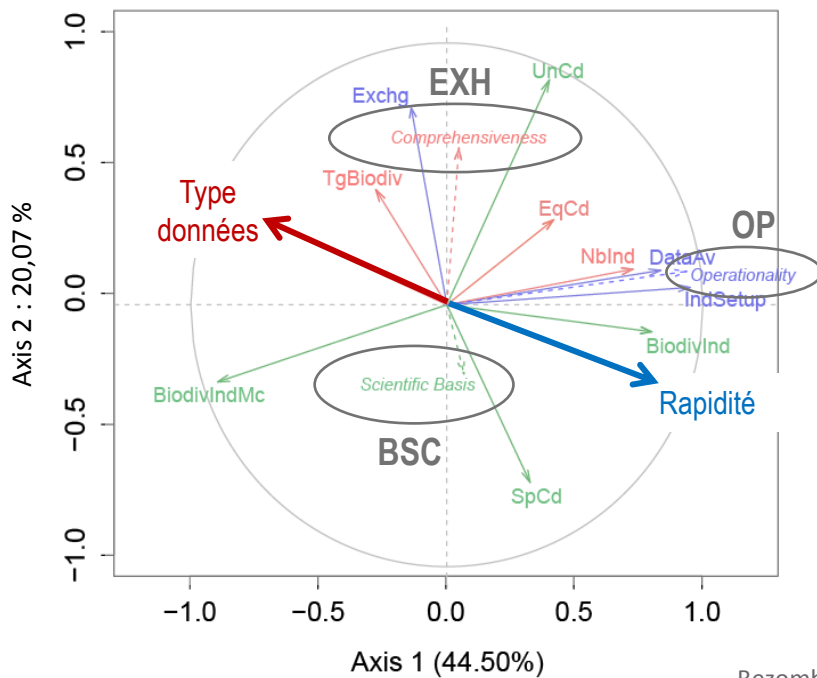
- Résultats ACP



Divergence et compromis (4/5)

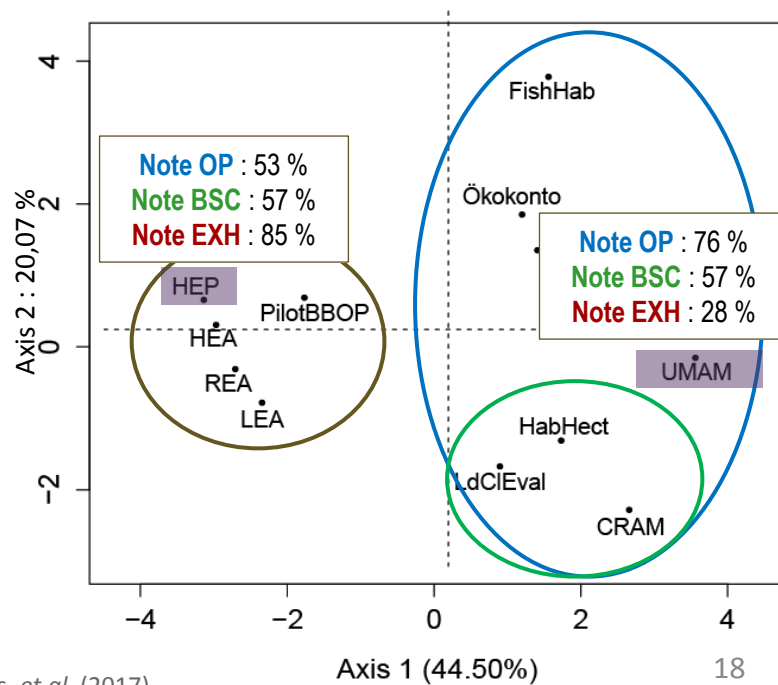
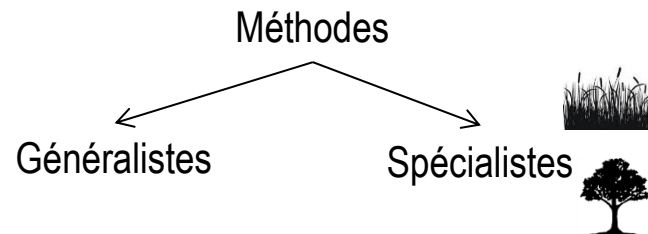
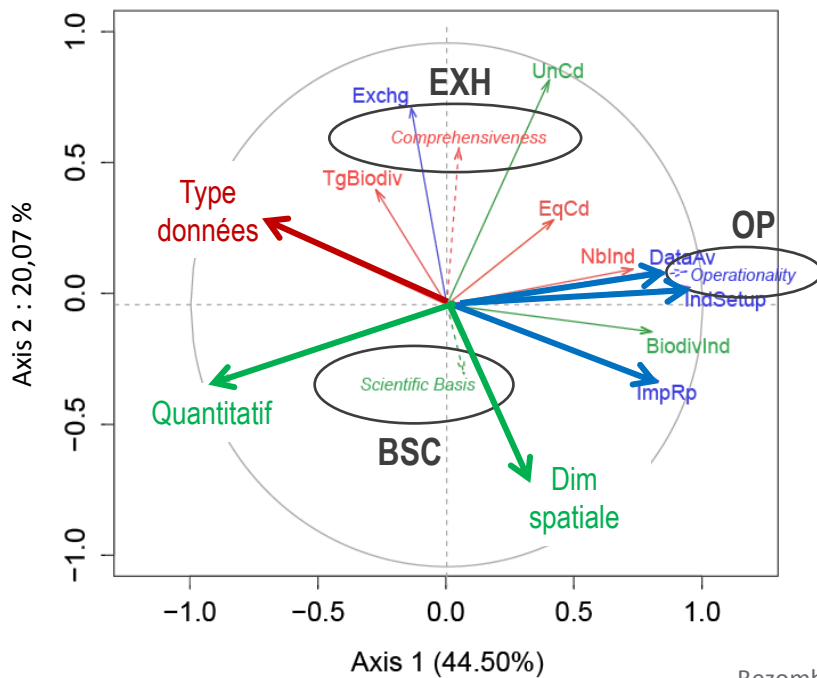


- Résultats ACP



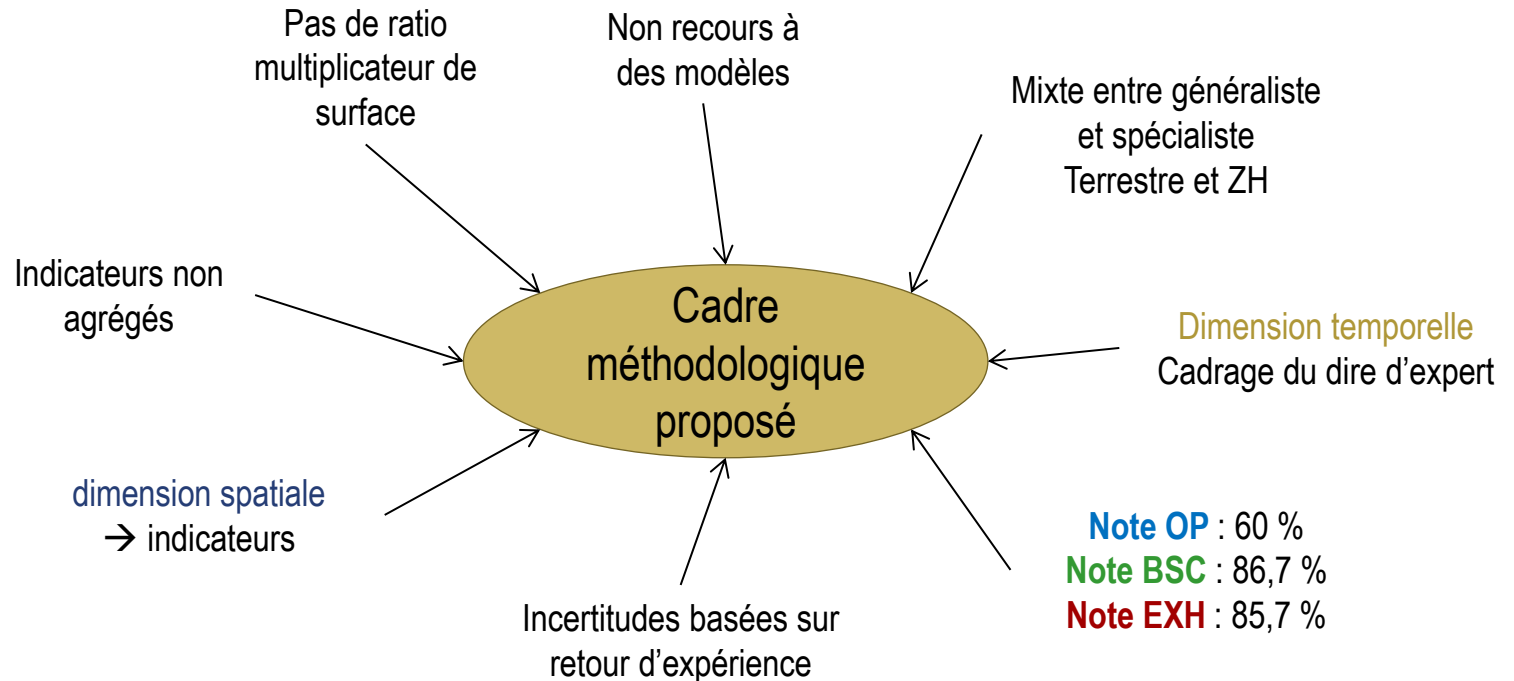
Divergence et compromis (4/5)

- Résultats ACP



Caractéristiques retenues pour le cadre méthodologique (5/5)

- Basées sur la structure commune, avec des ajustements





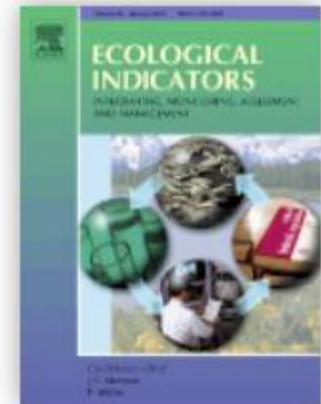
ETAPE 1

FORMALISER L'ÉVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ

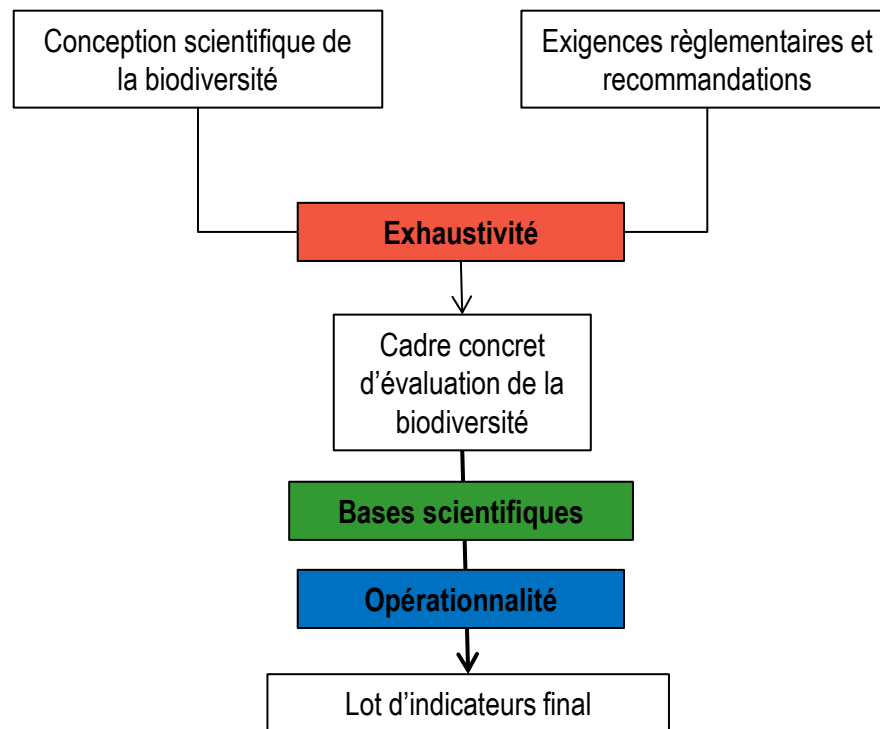
Article en révision à la revue *Ecological Indicators*

From conceptual vision to practical evaluation of biodiversity for ecological equivalence assessment in the context of biodiversity offsets

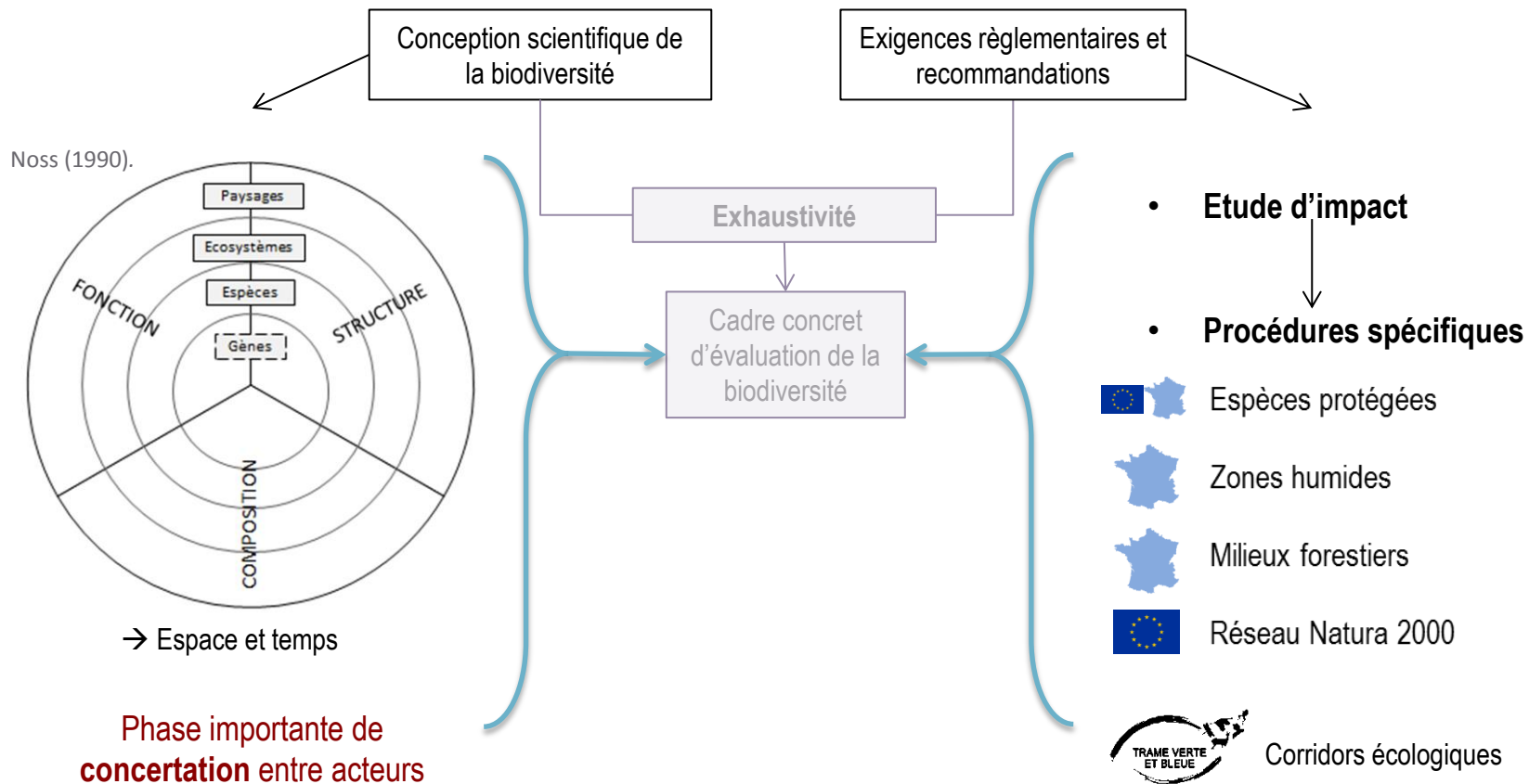
Lucie Bezombes (1, 2), Thomas Spiegelberger (1), Stéphanie Gaucherand (1),
Véronique Gouraud (2) Christian Kerbiriou (3, 4)



Démarche générale suivie pour formaliser l'évaluation de la biodiversité (1/5)

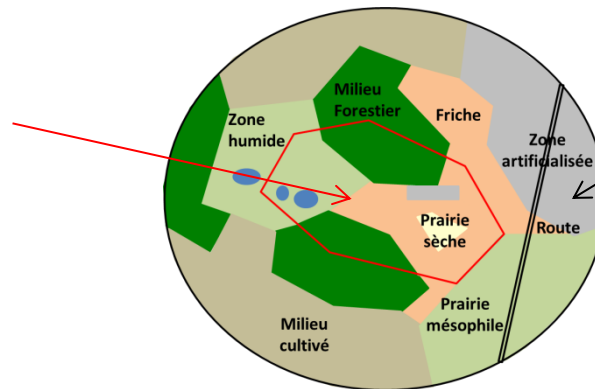


Comment évaluer la biodiversité ? (2/5)



Cadre concret d'évaluation de la biodiversité : échelles (3/5)

Périmètre Site
PS



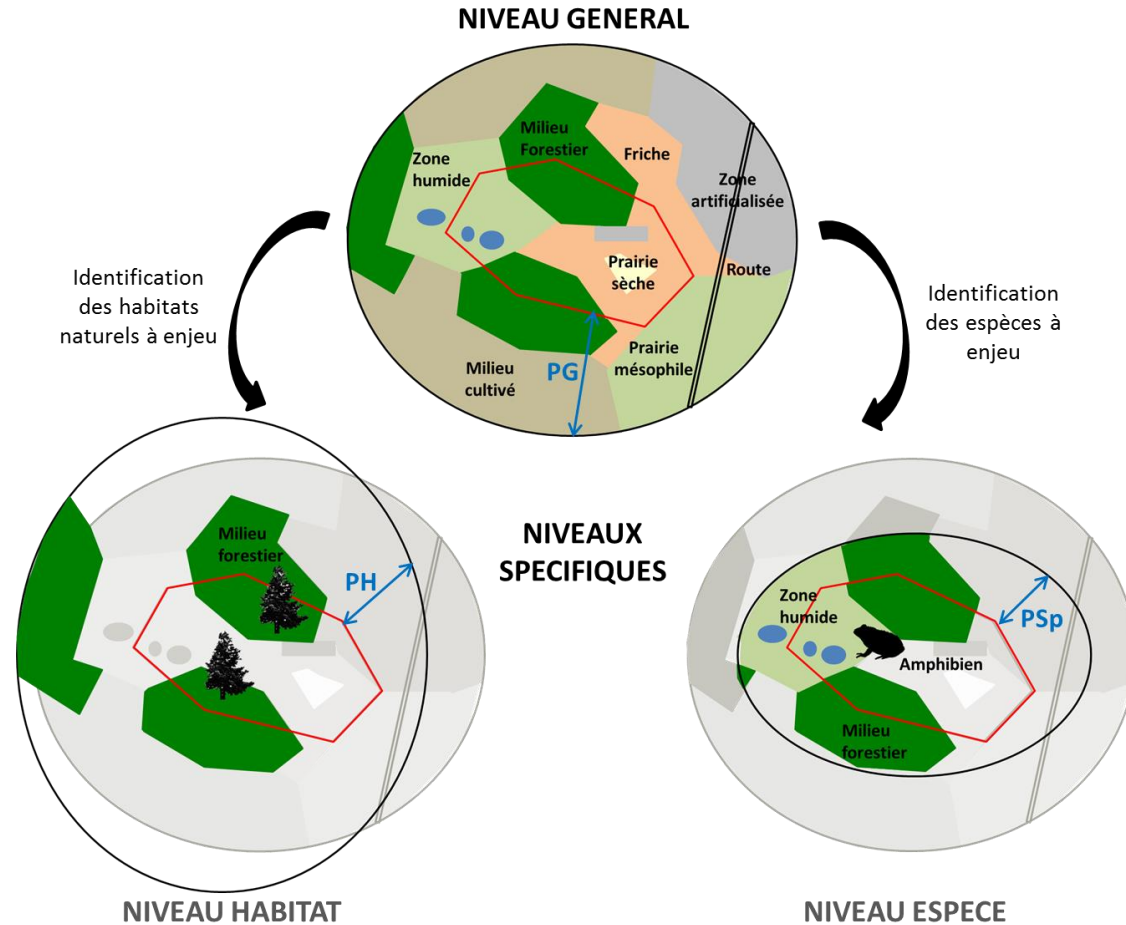
Périmètre Elargi
PE



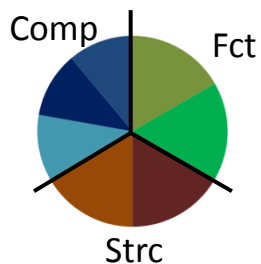
Petit Rhinolophe



Cadre concret d'évaluation de la biodiversité : niveaux (3/5)

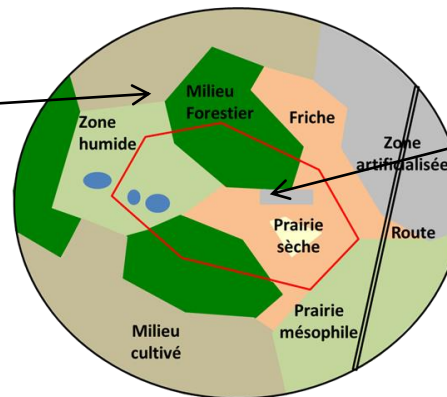


Cadre concret d'évaluation de la biodiversité : critères (4/5)



Connectivité
Représentativité
Patrimonialité
Pressions

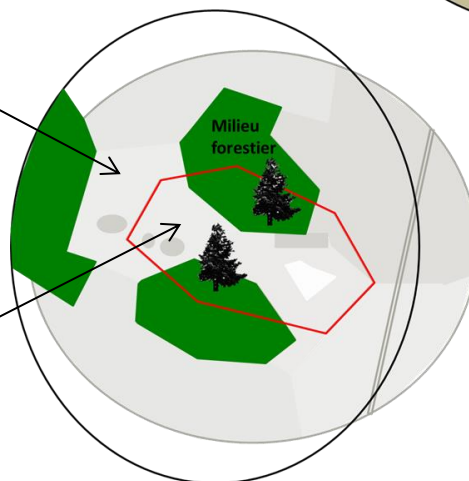
NIVEAU GENERAL



Diversité
Patrimonialité
Fonctionnalités
Pressions

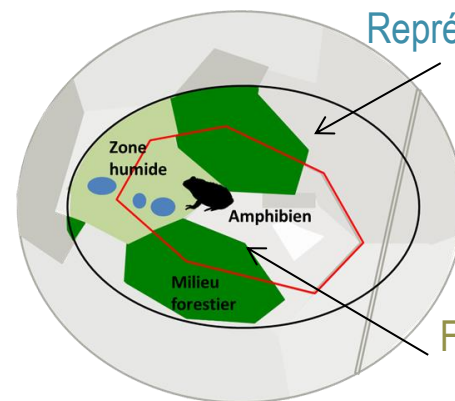
Connectivité
Représentativité

Diversité
Structure
Fonctionnalités
Pressions



NIVEAU HABITAT

NIVEAUX SPECIFIQUES



NIVEAU ESPECE

Représentativité
Connectivité

Fonctionnalités
Pressions

Sélection d'indicateurs (5/5)

PROSPECTION

Indicateurs de
biodiversité

Sources :
Littérature scientifique (~50)
Autres méthodes (IQE)

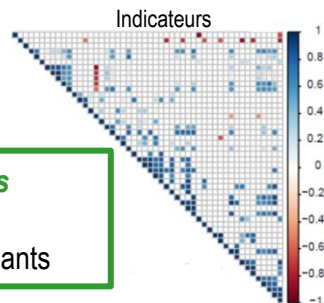
Métriques :
Quantitatives

Présélection : **170** indicateurs
NG : 86
NH : 57
NSp : 27

SELECTION

NG : 86
NH+NSp : 84

Analyse des corrélations
8 sites d'étude
Supprimer indicateurs redondants



Contraintes opérationnelles
Temps de collecte des données
Type de compétences nécessaires
Coût des données collectées



Sélection finale :
107 indicateurs
NG : 41
NH : 43
NSp : 23



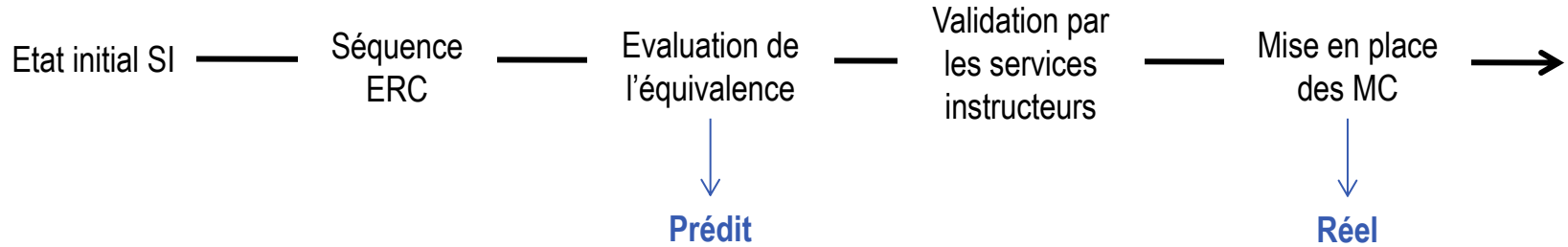
Nombre maximal



ETAPE 2

PRÉDIRE L'EFFET DES IMPACTS ET DES MESURES COMPENSATOIRES

Pourquoi et comment prédire l'effet des impacts et des MC ? (1/4)



Avant impacts / MC



Après impacts / MC

Dimension temporelle

Prédiction à dire d'expert (opérationnalité)

Apport : Cadrage scientifique

Incertitudes

Décalage entre effets prédits et effets réels ?

Attribution d'un taux d'incertitude

Retour d'expérience

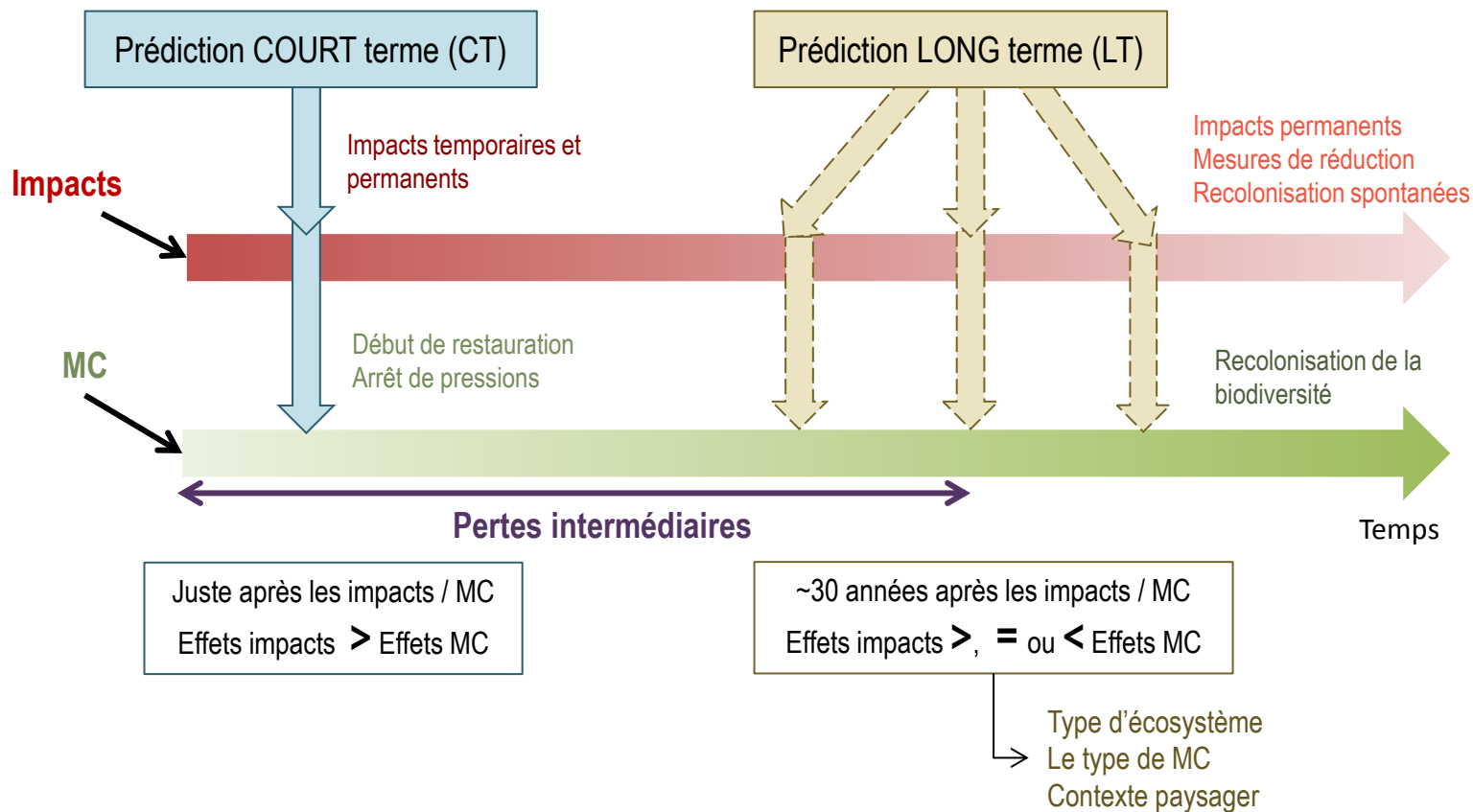
Article en révision dans la revue

Conservation Biology

**Success of biodiversity offsets:
more feedbacks are necessary to
reduce uncertainties**

Lucie Bezombes (1, 2), Christian Kerbiriou
(3, 4), Thomas Spiegelberger (1)

Pas de temps de la prédiction (2/4)

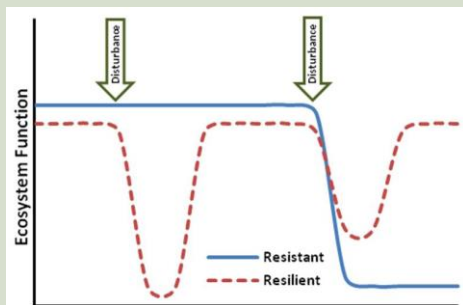


Cadrage de la prédiction (3/4)

3 éléments principaux à prendre en compte (issus de la bibliographie) :

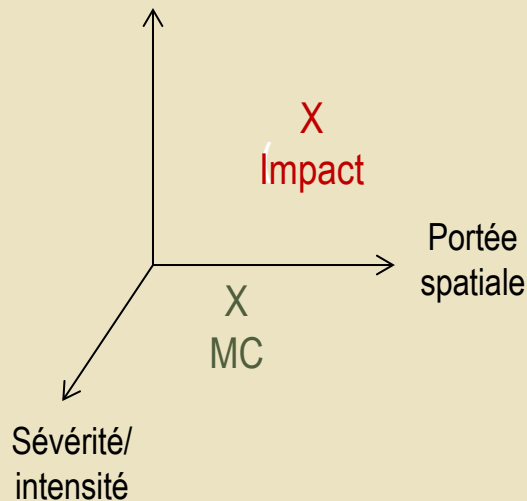
Dynamique de l'écosystème

- Successions rapides / lentes
- Equilibre stable / instable
- Etat de conservation Bensettiti et al. (2012)
- Résistance / résilience



Type de perturbation

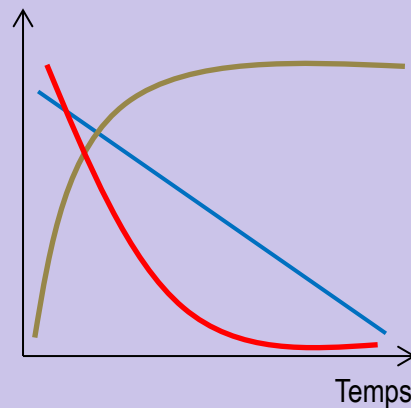
Fréquence/
durée



Krohn et al. (2009).

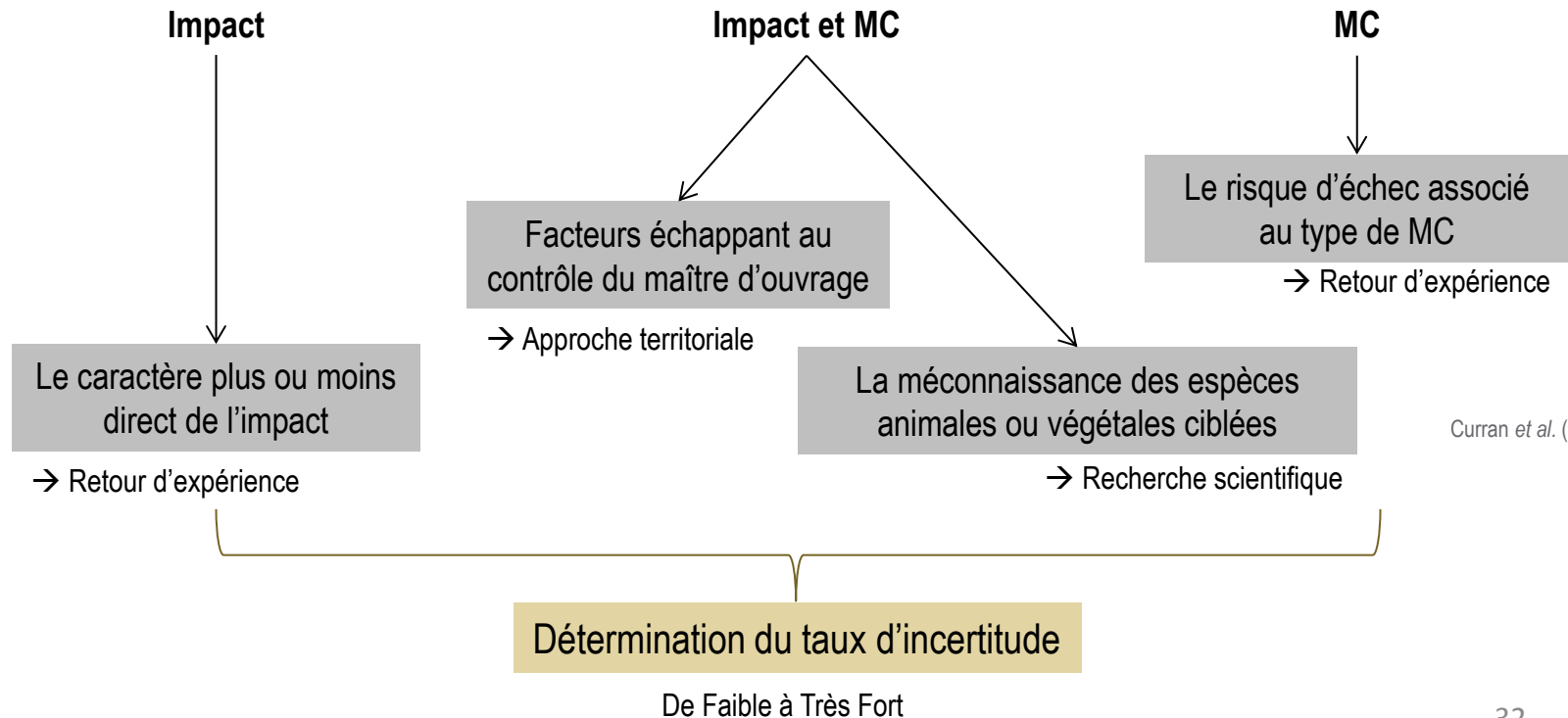
Réponse de l'indicateur

Indicateur
considéré



Intégration des incertitudes à la prédiction (4/4)

3 sources d'incertitudes identifiées lors de la prédiction



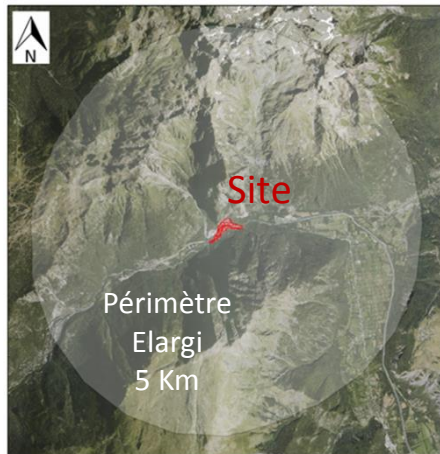


ETAPE 3

CALCUL DES PERTES, DES GAINS ET DE L'ÉQUIVALENCE :

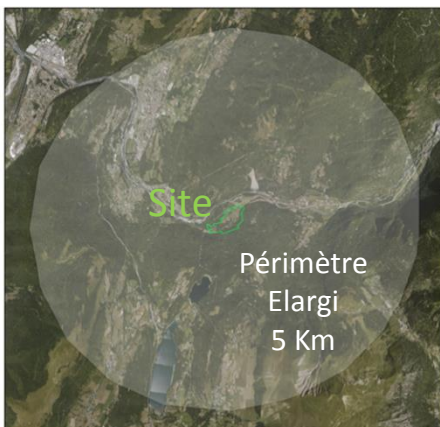
APPLICATION SUR UN CAS CONCRET

Présentation du projet concret (1/5)



Site impacté 13,37 ha

- Construction d'ouvrages hydroélectriques (2012)
- Destruction d'habitats terrestres
- Dossier de dérogation espèces protégées
- Plan de renaturation



Site compensatoire 45,13 ha



La vallée de la Romanche vue du ciel (Isère)
EDF © Michelique - CHRISTOPHE HORET

Calcul des pertes, des gains et de l'équivalence (2/5)

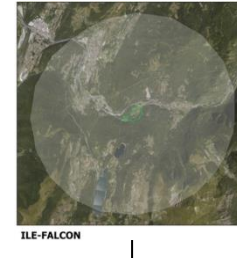


Etat initial SI

Prédiction valeur indicateurs après impacts

Calcul **pertes et gains** en ABSOLU et en RELATIF

Calcul de l'**équivalence**, pour chaque indicateur :
Valeur (impacts) + Valeur (MC)

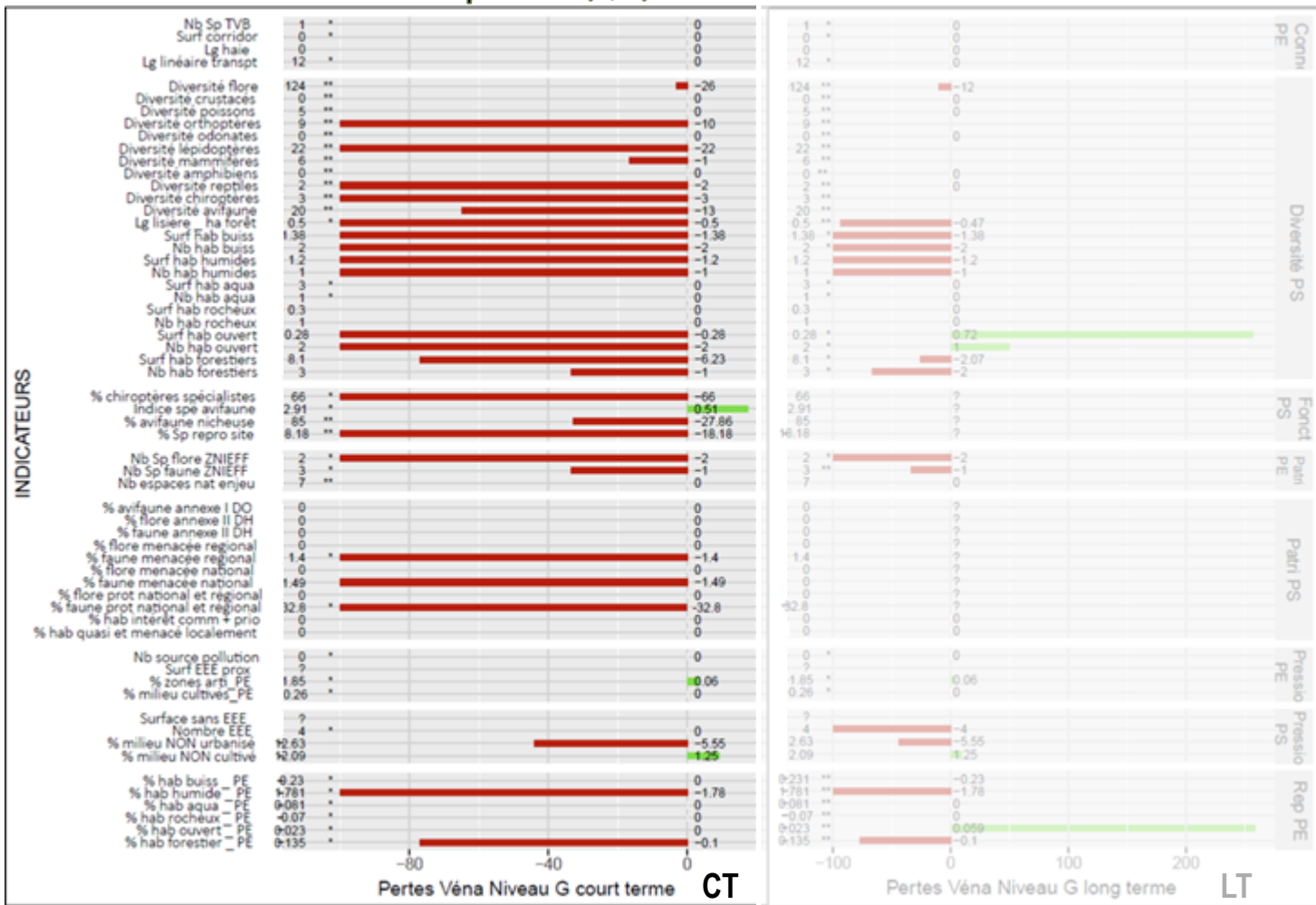


Etat initial SC

Prédiction valeur indicateurs après MC

Pertes sur le site impacté (3/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

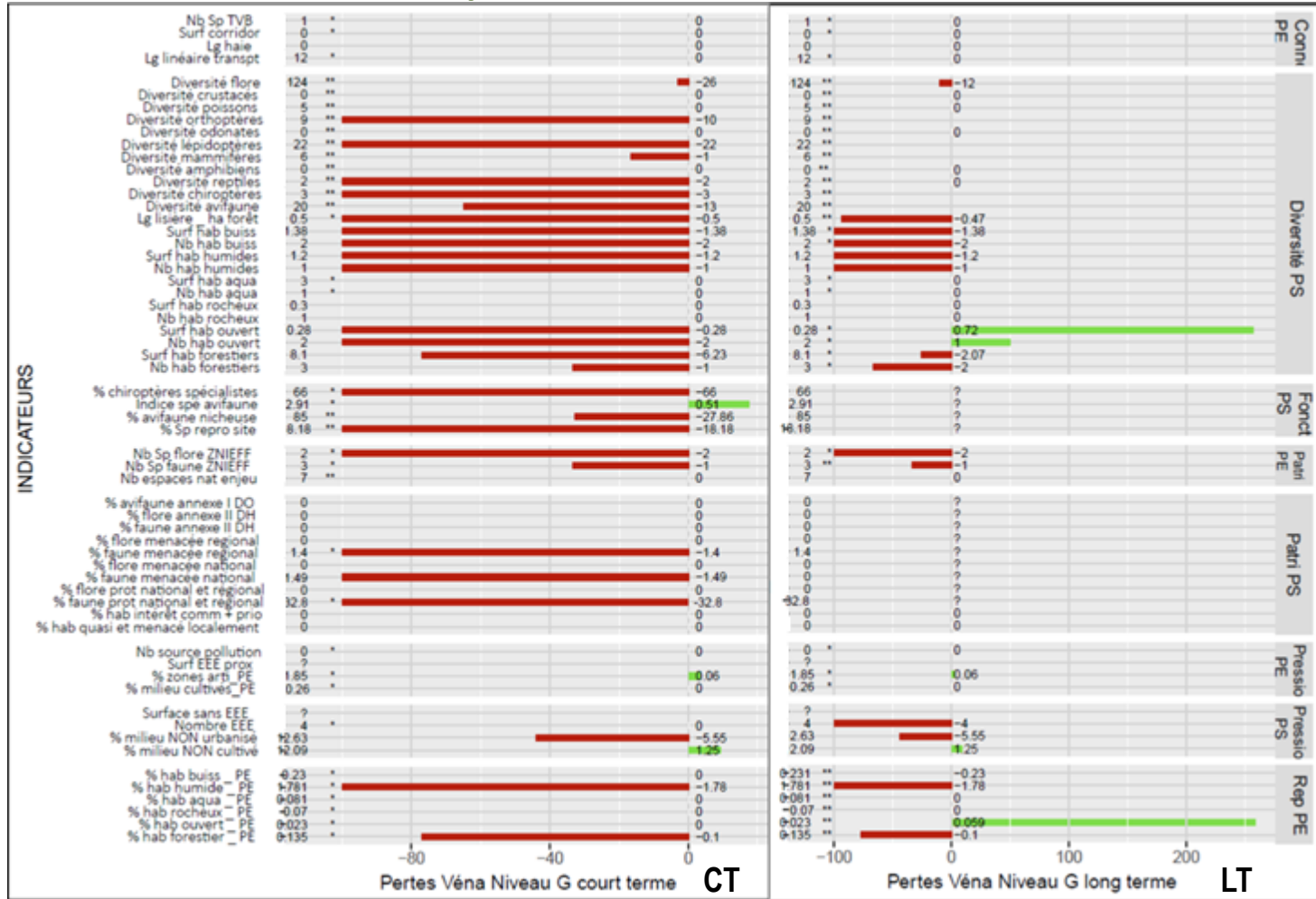
Patrimonialité

Pression

Représentativité

Pertes sur le site impacté (3/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

Patrimonialité

Pression

Représentativité

Pertes sur le site impacté (3/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

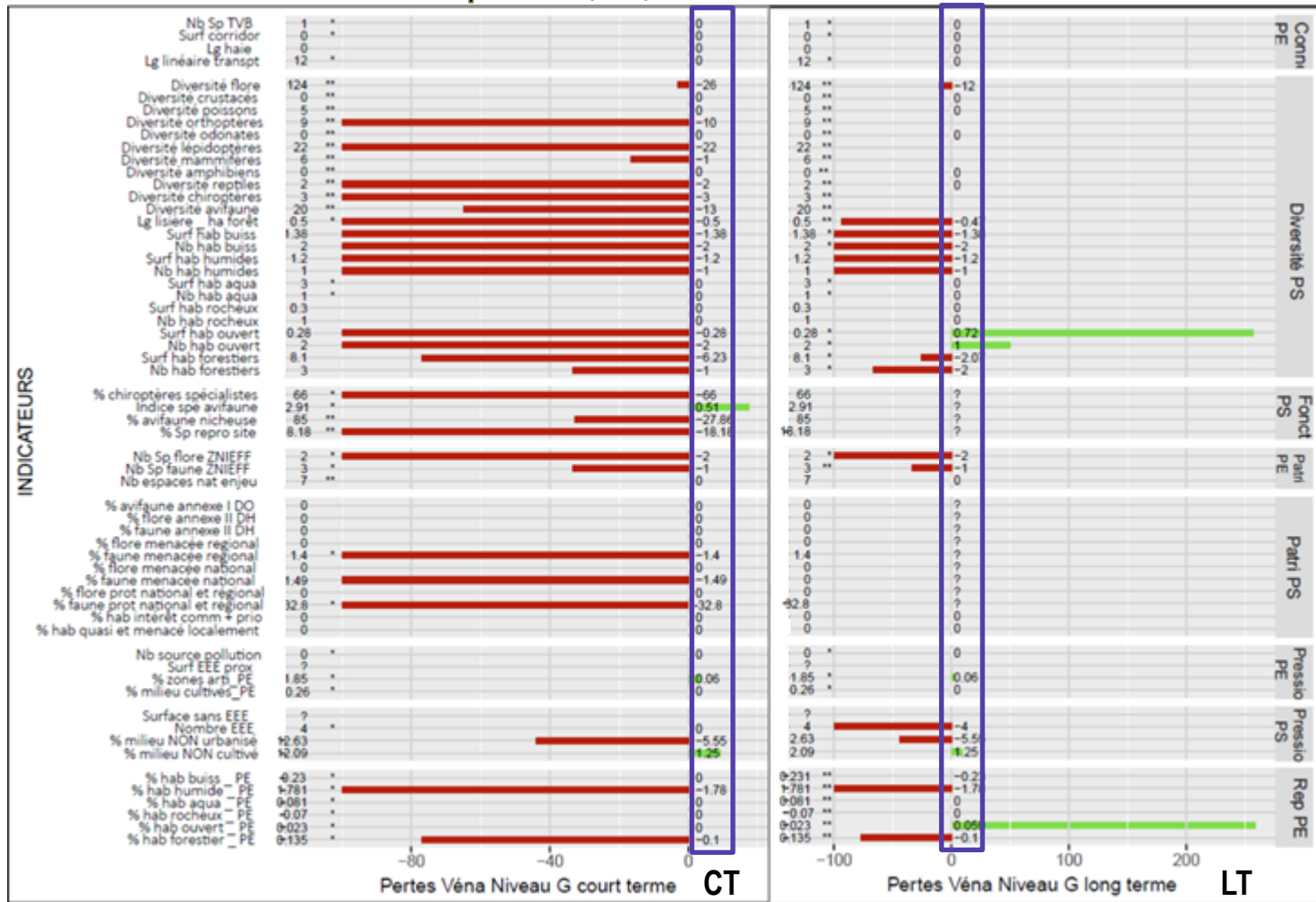
Patrimoine

Pression

Représentativité

Pertes sur le site impacté (3/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

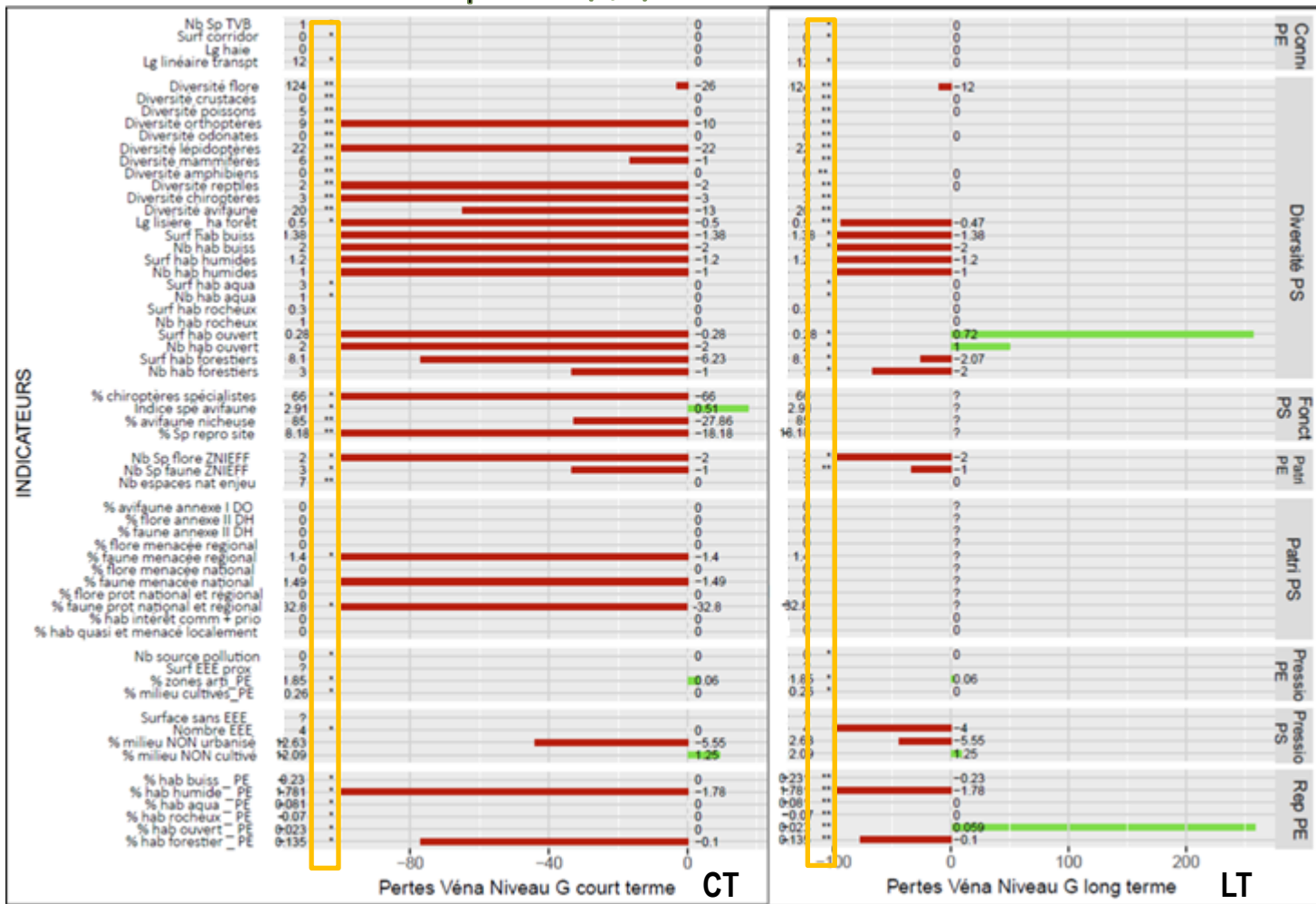
Patrimonialité

Pression

Représentativité

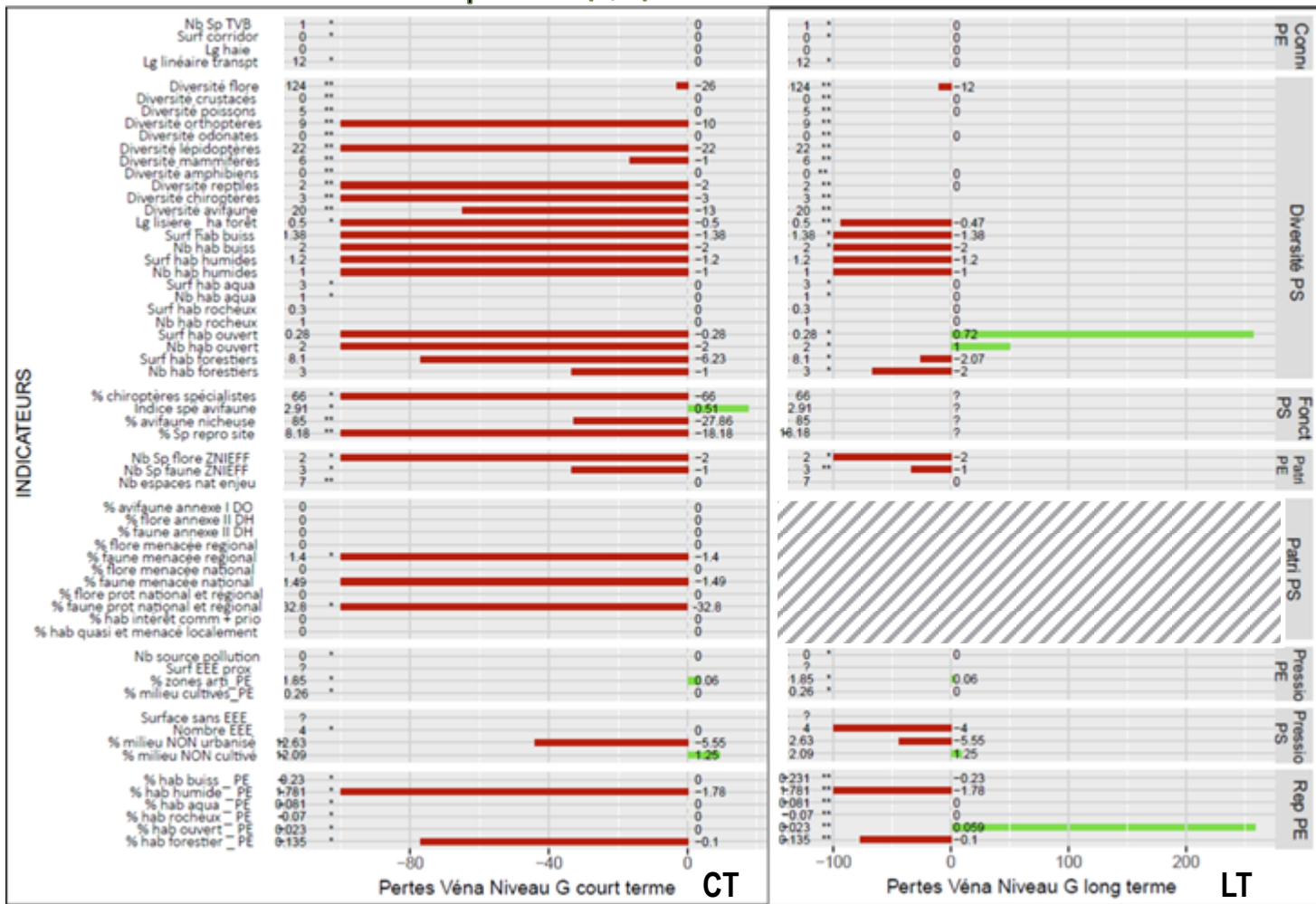
Pertes sur le site impacté (3/5)

Niveau Général



Pertes sur le site impacté (3/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

Patrimonialité

Pression

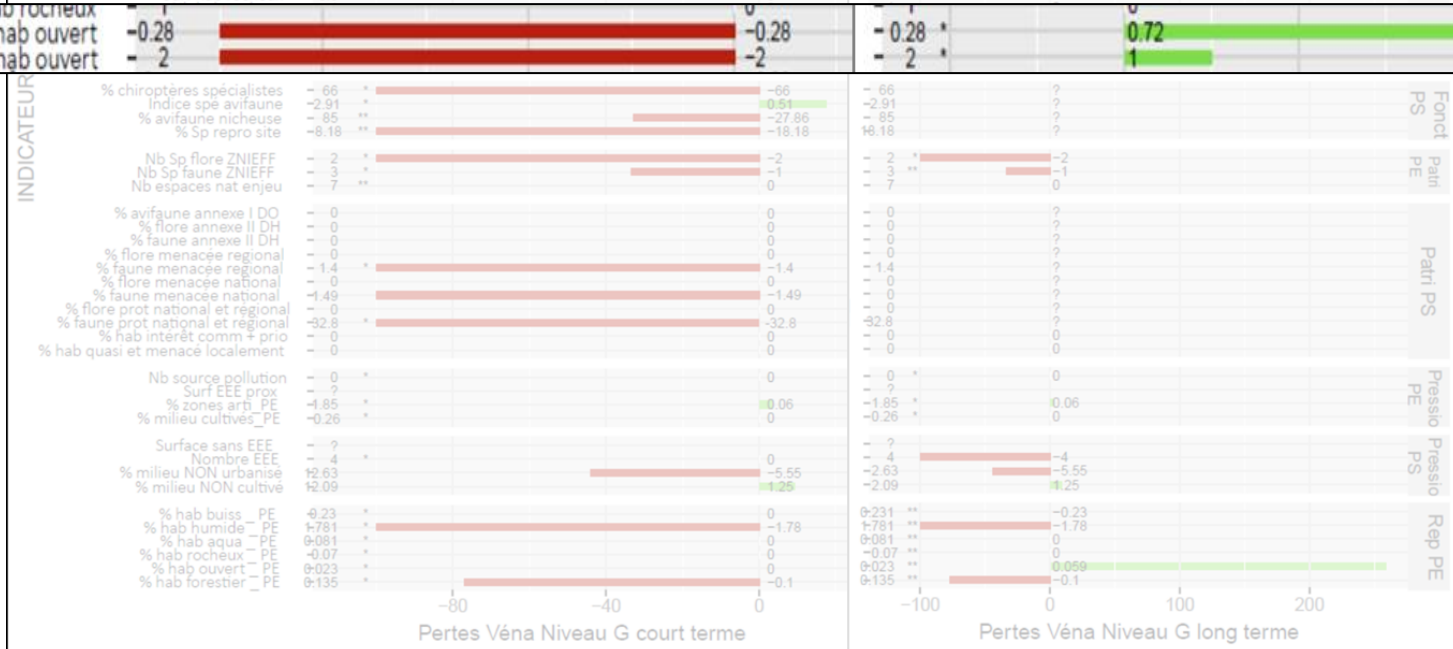
Représentativité

Pertes sur le site impacté (3/5)

Général

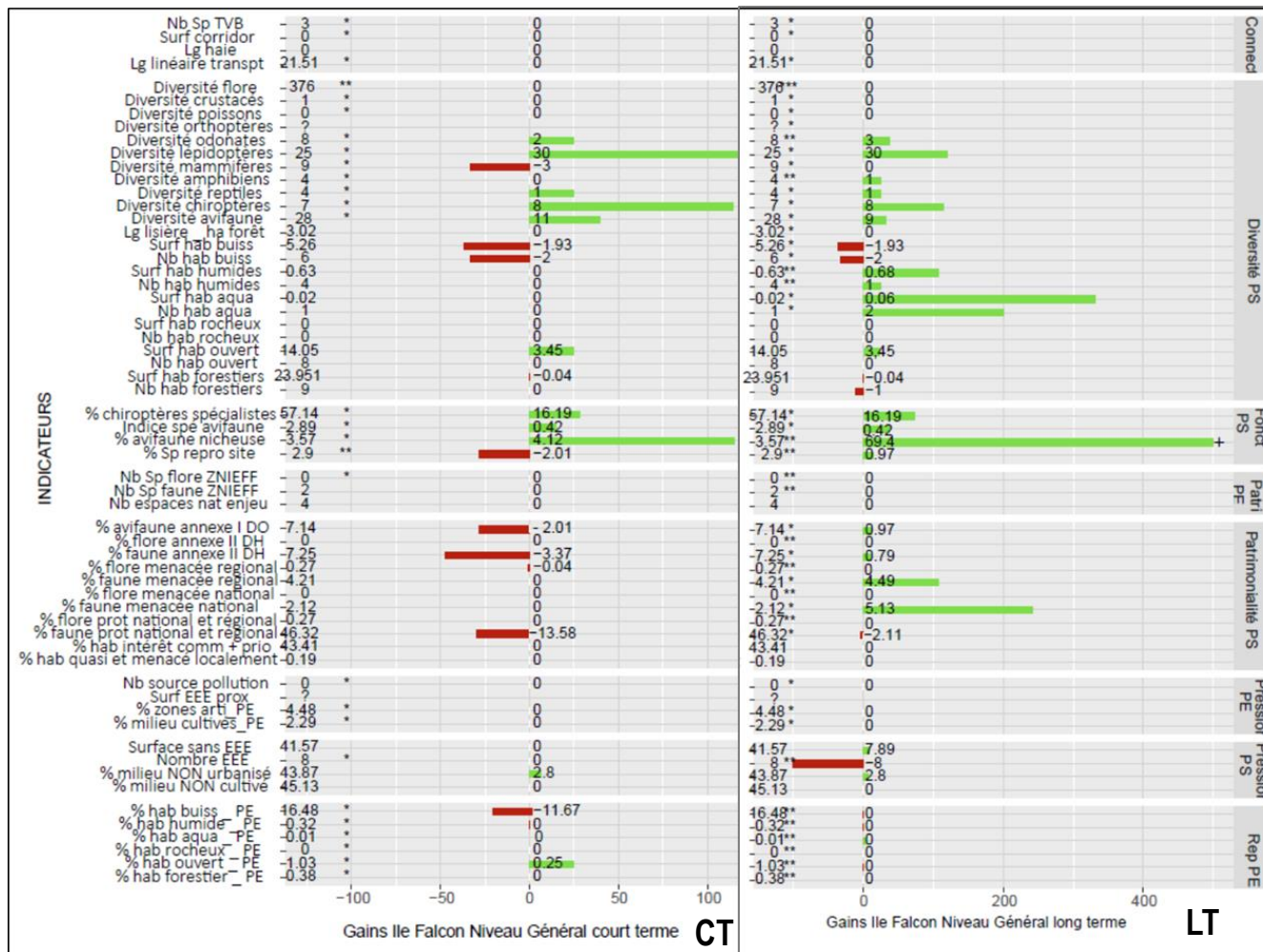


Niveau



Gains sur le site compensatoire (4/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

Patrimonialité

Pression

Représentativité

Gains sur le site compensatoire (4/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

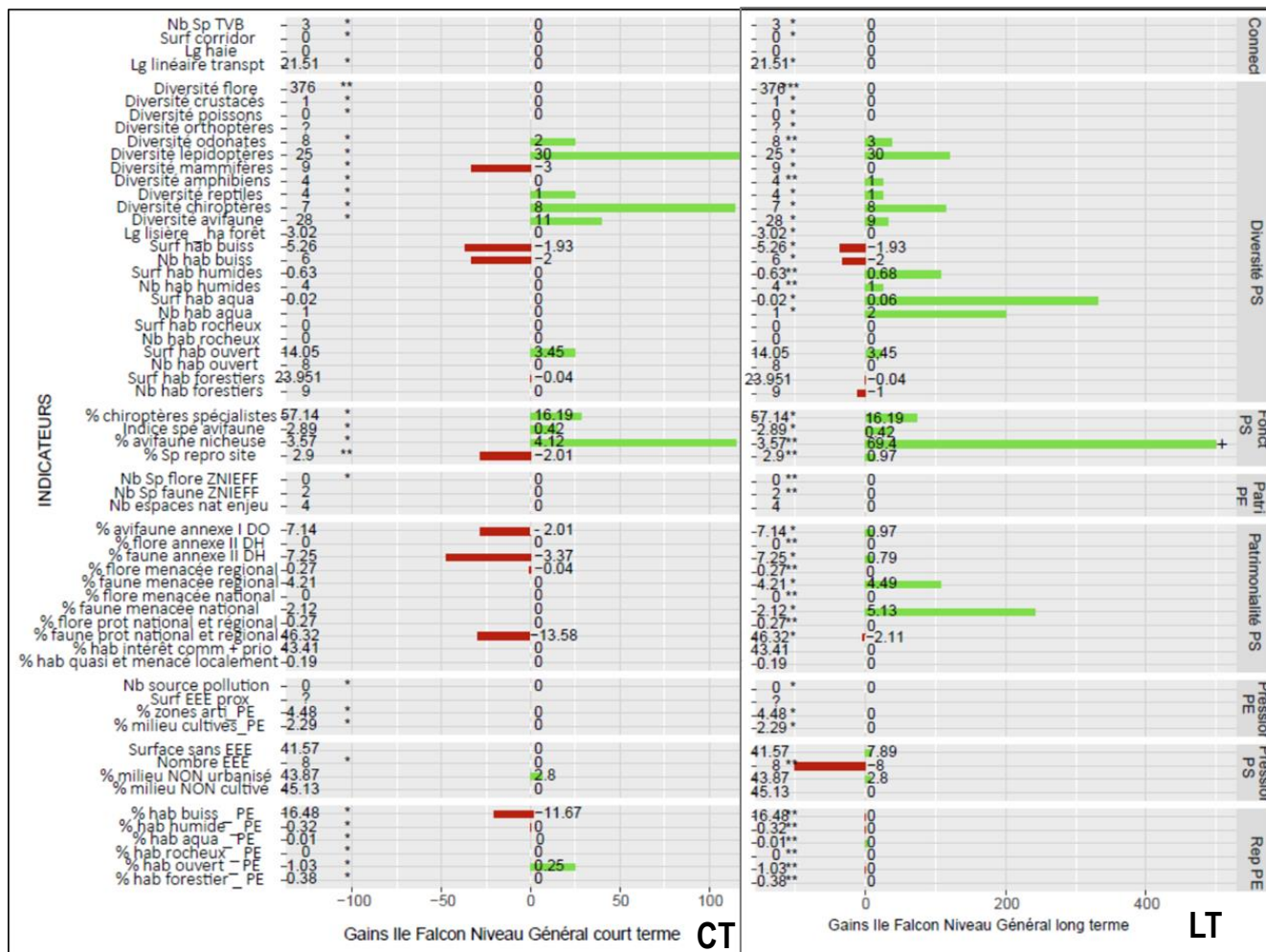
Patrimonialité

Pression

Représentativité

Gains sur le site compensatoire (4/5)

Niveau Général



Connectivité

Diversité

Fonctionnalité

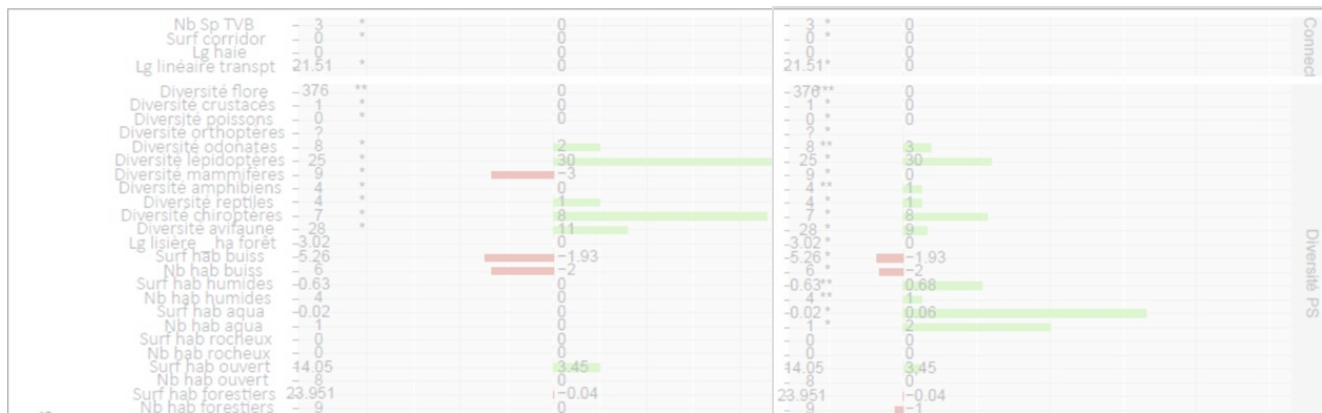
Patrimoine

Pression

Représentativité

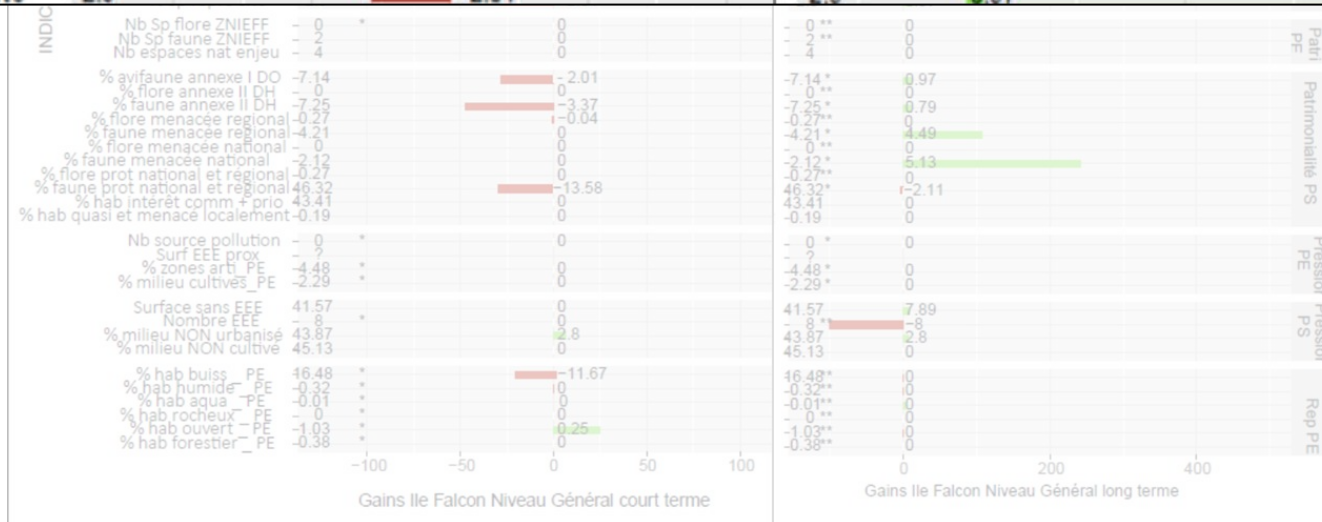
Gains sur le site compensatoire (4/5)

Général



INDIC

Niveau

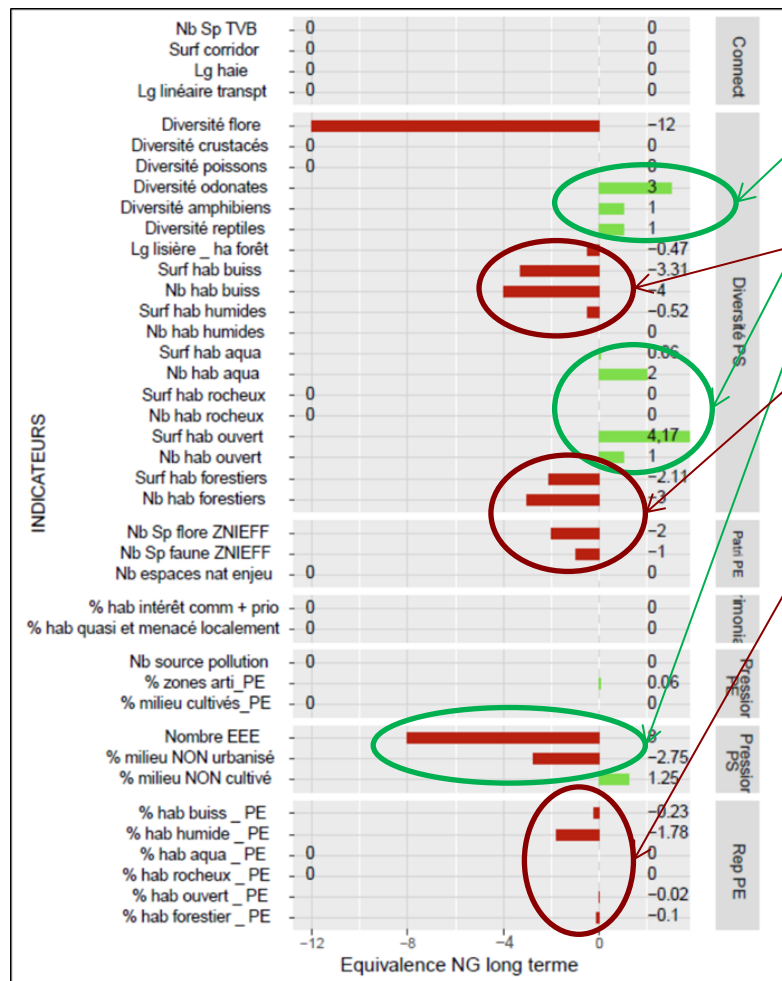


Gains Ile Falcon Niveau Général court terme

Gains Ile Falcon Niveau Général long terme

Equivalence LT entre pertes et gains (5/5)

Niveau Général



GAINS NETS

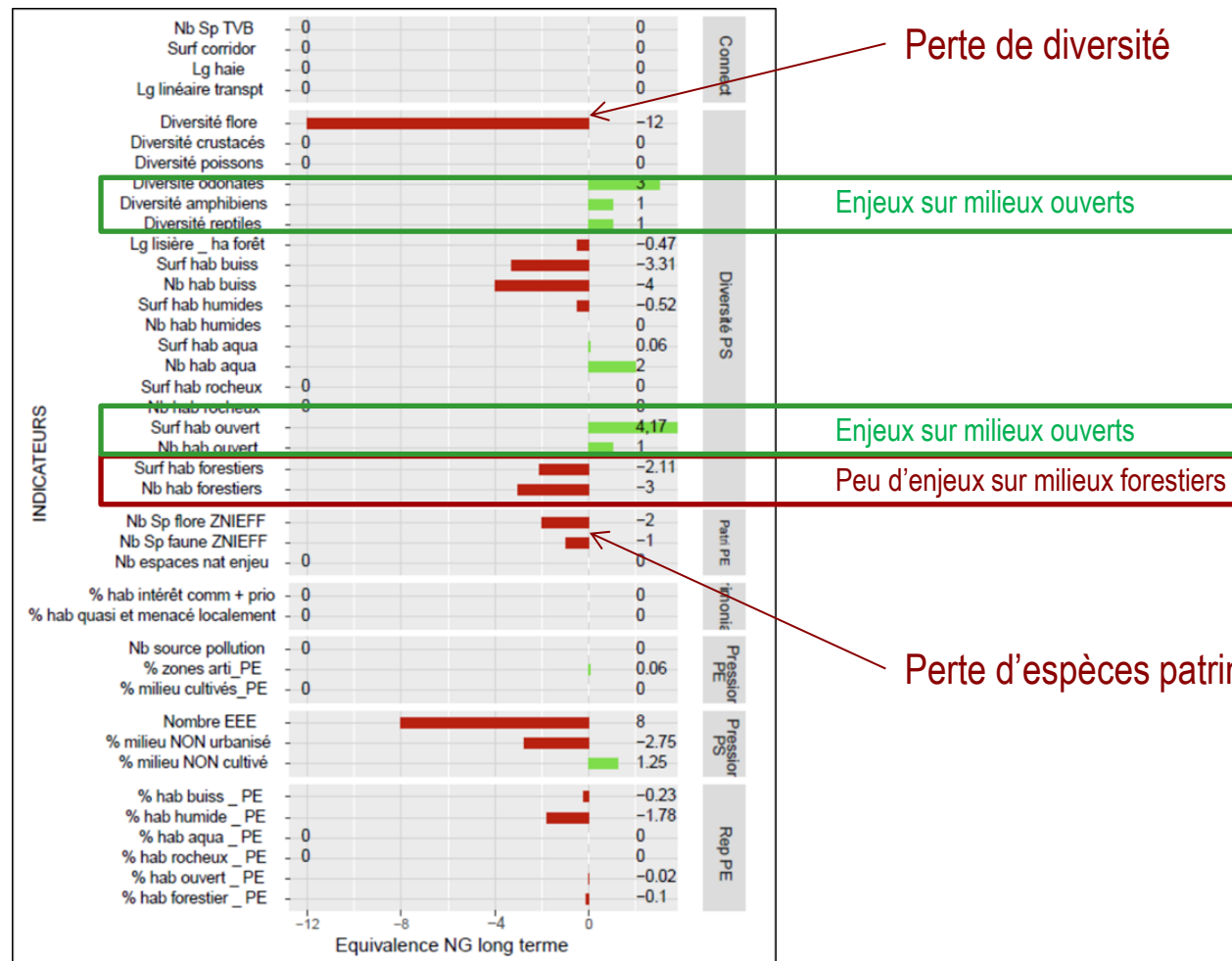
PERTES NETTES

Hiérarchisation des enjeux de biodiversité afin de déterminer si l'équivalence est globalement atteinte

En amont du projet et en concertation entre les acteurs

Equivalence LT entre pertes et gains (5/5)

Niveau Général



Perte de diversité

Enjeux sur milieux ouverts

Enjeux sur milieux ouverts

Peu d'enjeux sur milieux forestiers

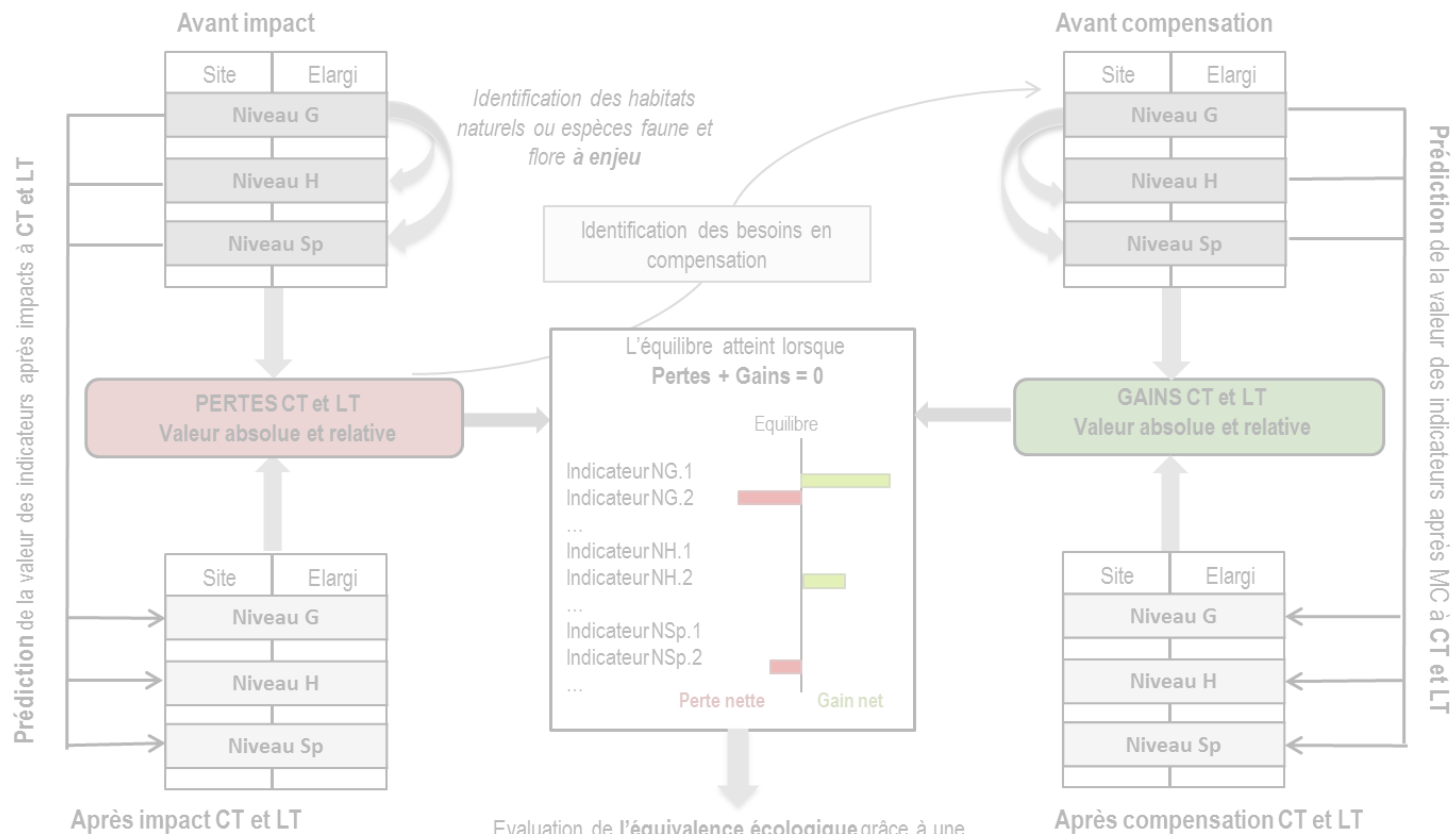
Perte d'espèces patrimoniales



DISCUSSION

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

Etat initial réel

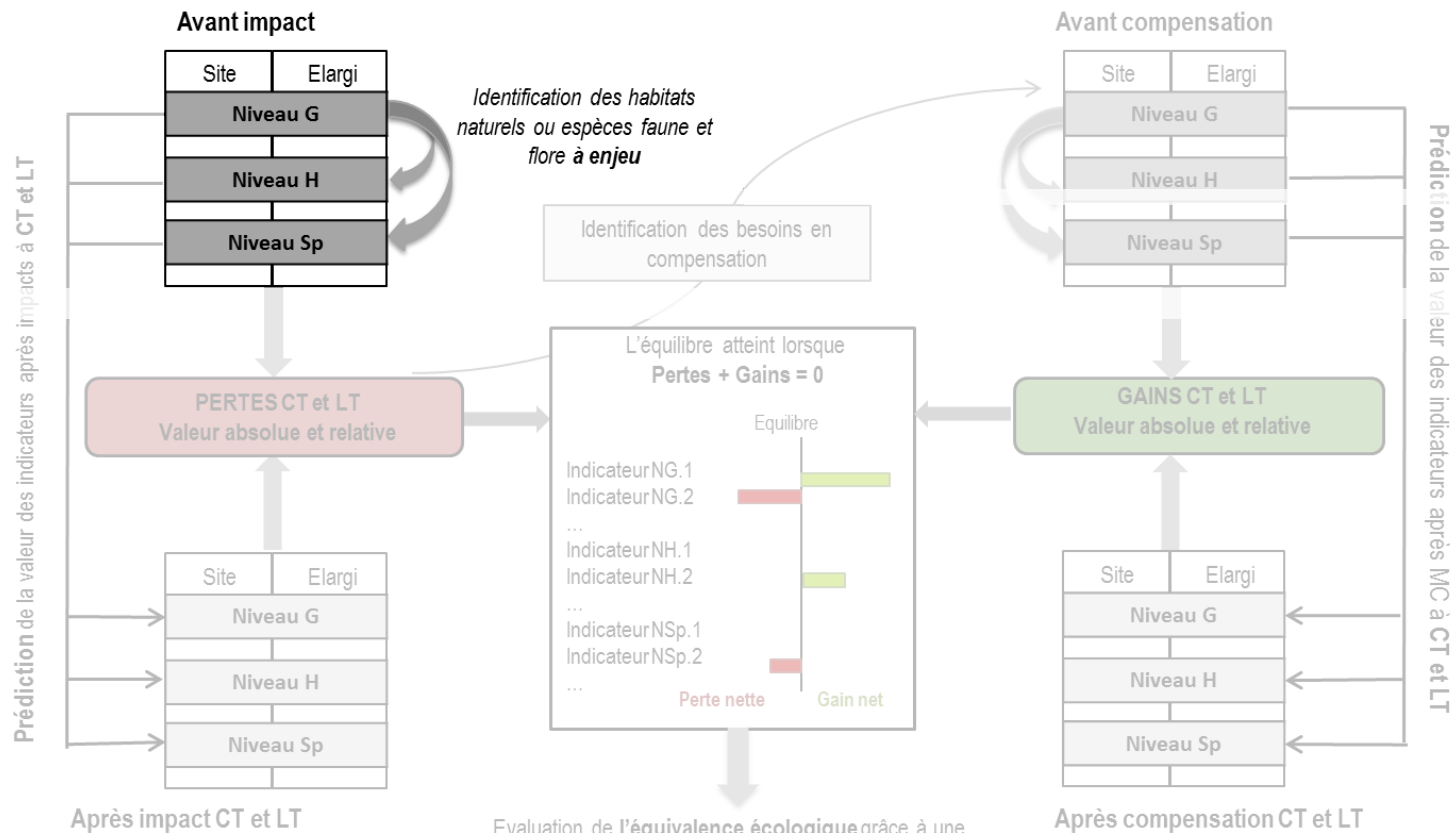


Etat futur prédit

Evaluation de l'équivalence écologique grâce à une hiérarchisation préalablement définie des indicateurs

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

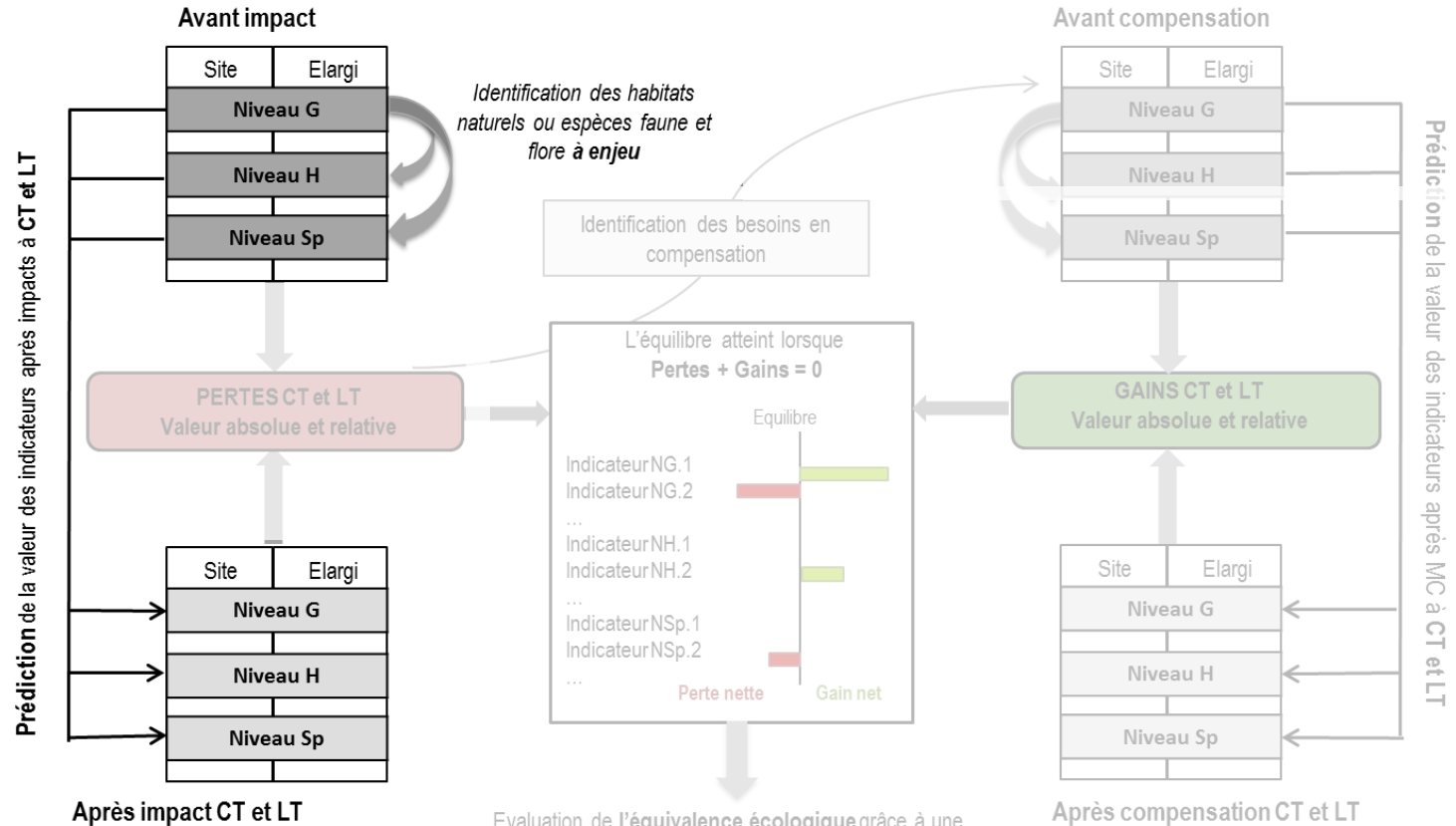
Etat initial réel



Etat futur prédit

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

Etat initial réel

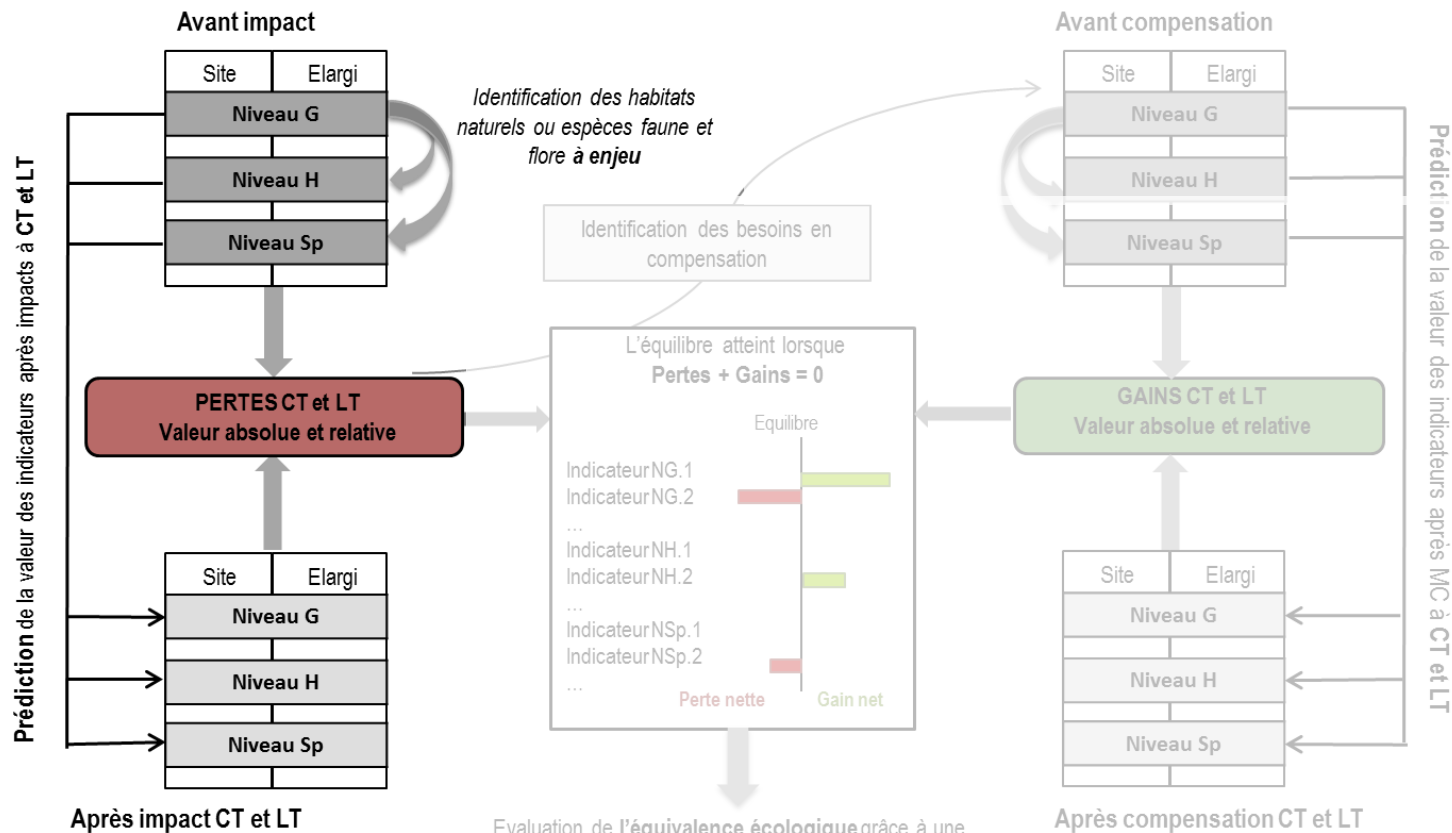


Evaluation de l'équivalence écologique grâce à une hiérarchisation préalablement définie des indicateurs

Etat futur prédit

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

Etat initial réel

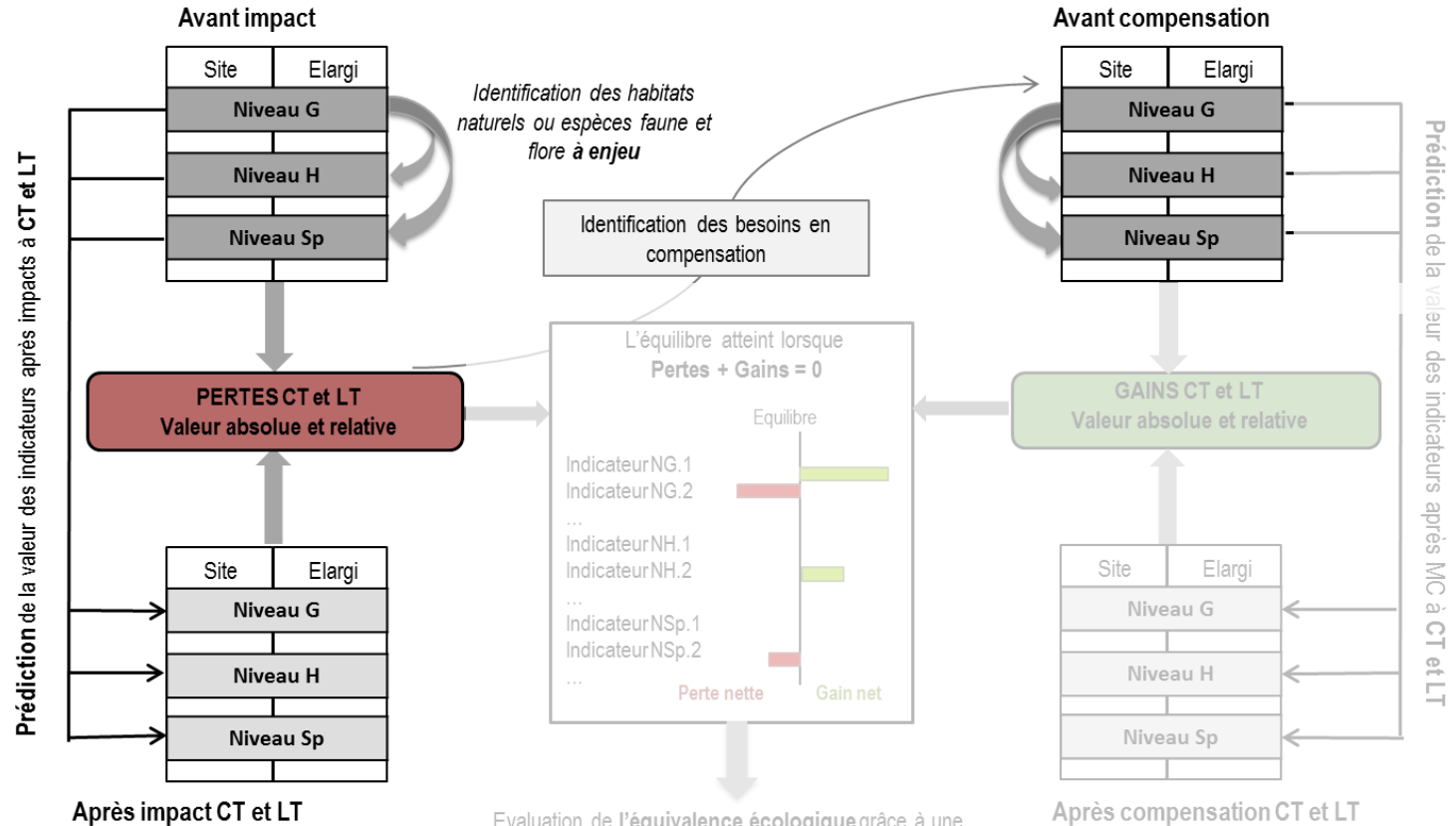


Evaluation de l'équivalence écologique grâce à une hiérarchisation préalablement définie des indicateurs

Etat futur prédit

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

Etat initial réel

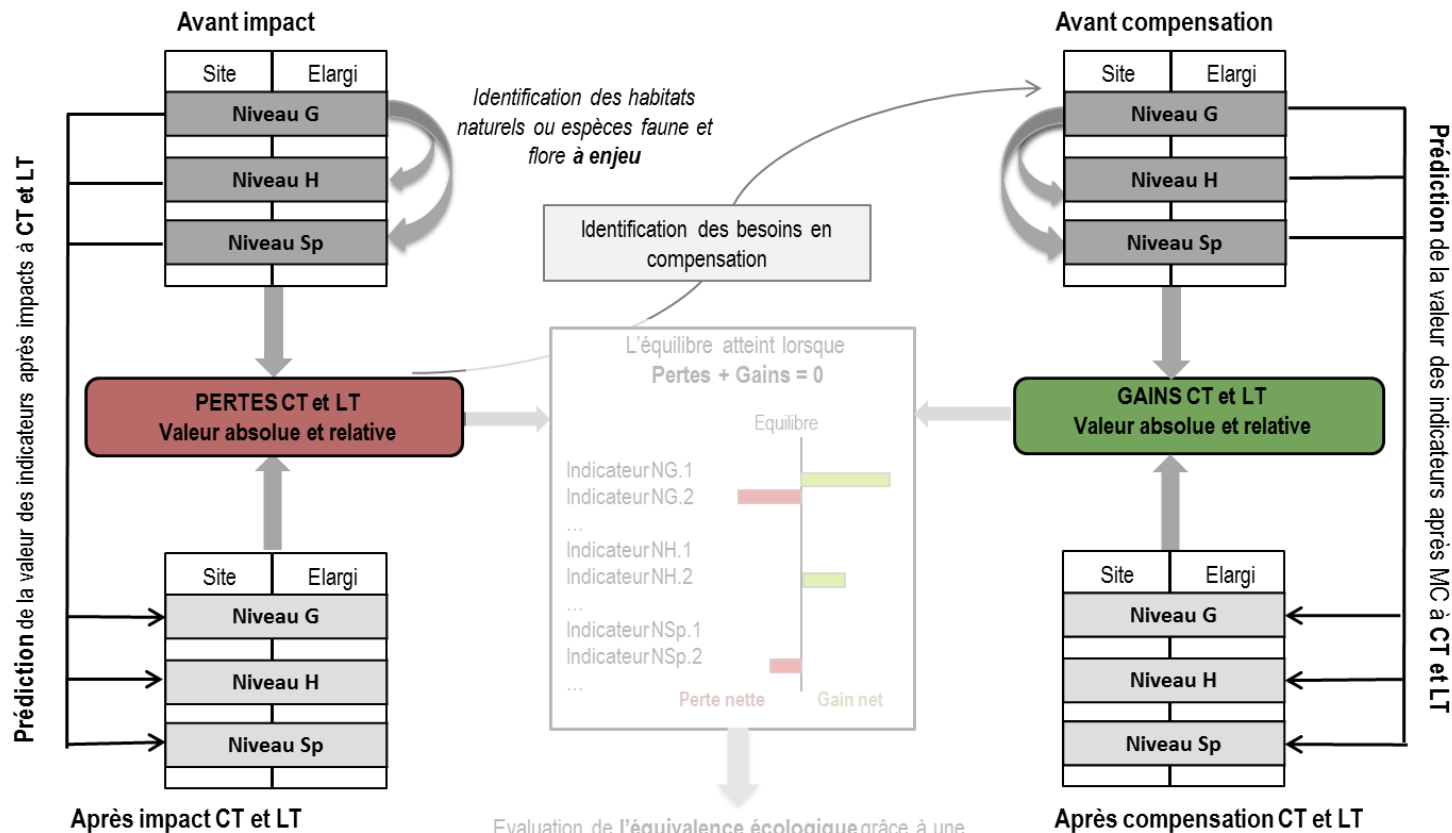


Evaluation de l'équivalence écologique grâce à une hiérarchisation préalablement définie des indicateurs

Etat futur prédit

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

Etat initial réel

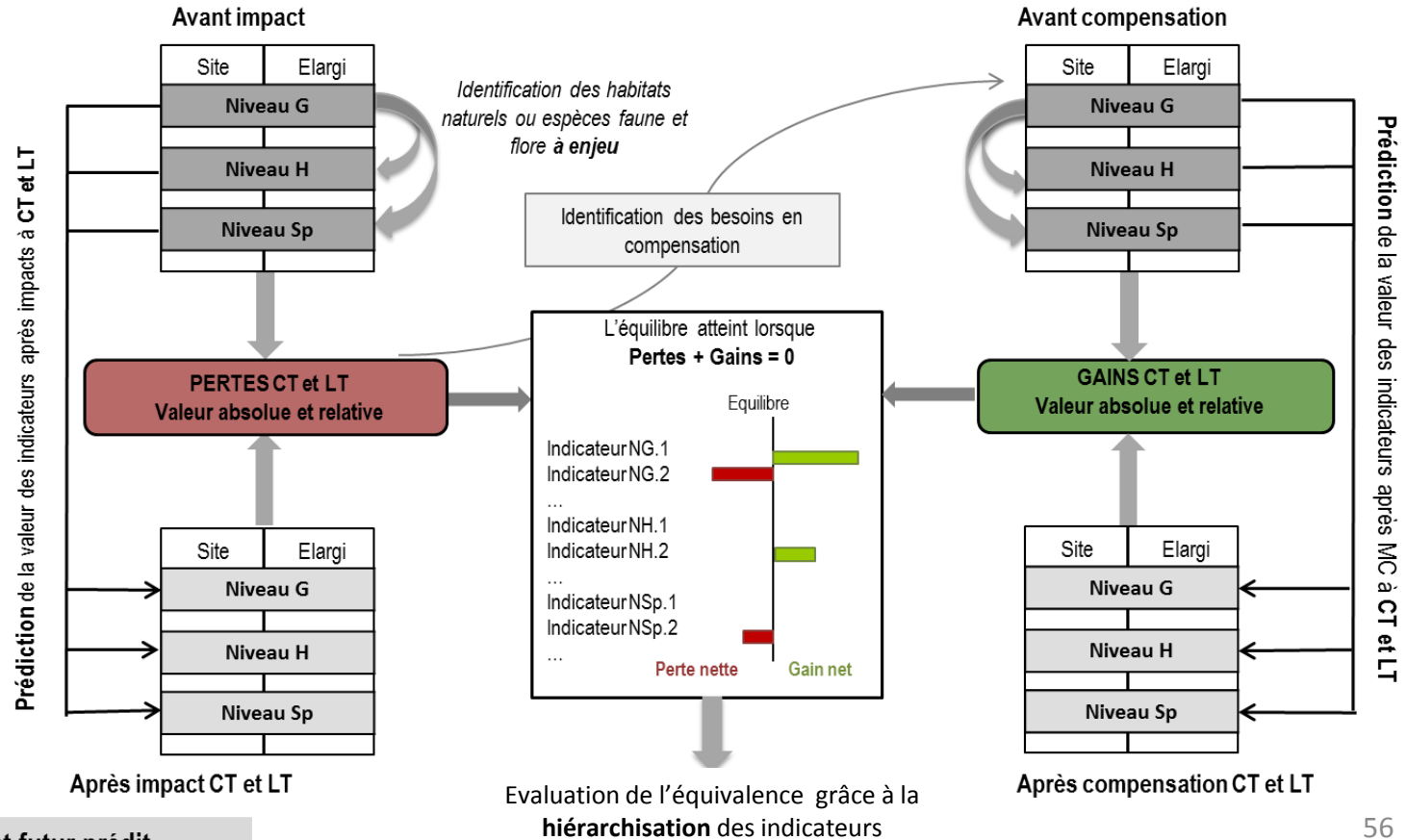


Evaluation de l'équivalence écologique grâce à une hiérarchisation préalablement définie des indicateurs

Etat futur prédit

Synthèse : utilisation du cadre méthodologique (1/4)

Etat initial réel



Plus value du cadre méthodologique (2/4)

Evaluation biodiversité
adaptable et généralisable



Cadre
Méthodologique

Approche **innovante**

Prise en compte de **toutes les dimensions de l'équivalence** (EXH) d'un point de vue **scientifique** (BSC) et **pratique** (OP)



Evaluation **efficace**
Structuration du déroulement de
l'évaluation de l'équivalence

Approche **transparente**
Choix justifiés, lisibles et visualisables

Base objective d'aide à la décision

Transfert d'information des experts aux
décideurs facilité

Meilleure **concertation** entre acteurs

Atteinte de l'équivalence **non
conditionnée uniquement par la
surface** du site compensatoire



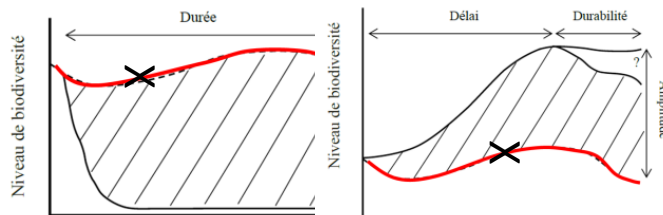
Limites du cadre méthodologique et perspectives (3/4)

LIMITES



Biodiversité à enjeux (espèces et habitats protégés)

Estimation simple des pertes intermédiaires
Comment les réduire ?



Regnery (2013)

Cadre méthodologique adapté projet par projet
→ impacts cumulés ?

PERSPECTIVES



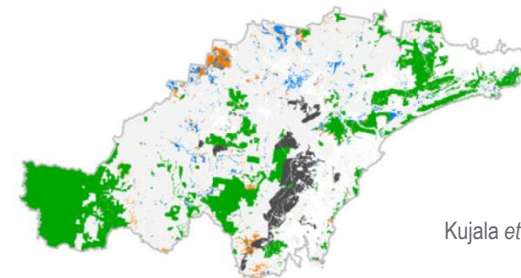
Biodiversité ordinaire et fonctionnalités
Like for Unlike ?

Définition de la biodiversité
« **non compensable** »



DREAL Bourgogne-FC

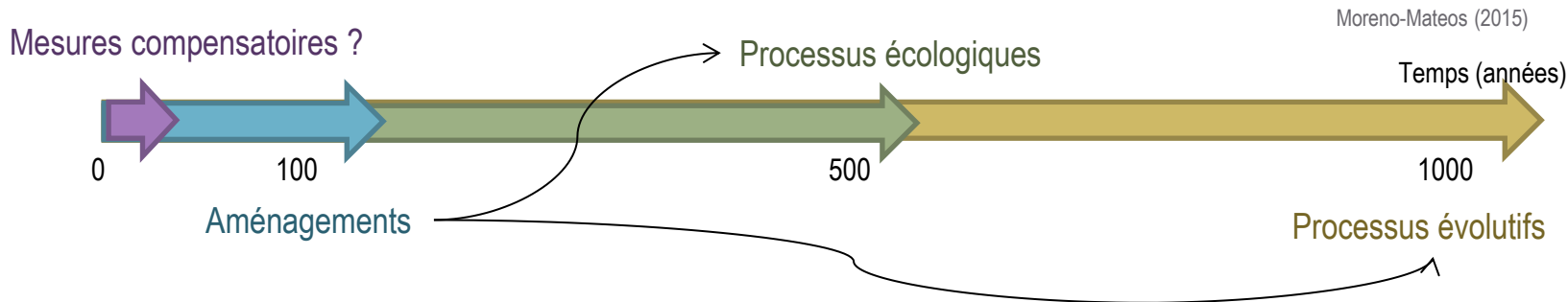
Intégration d'un **scénario de référence** sans
impacts ou MC dans le calcul des pertes et gains



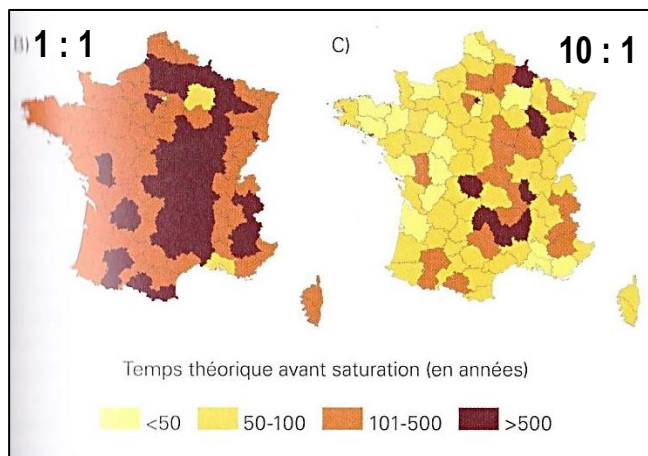
Kujala *et al.* (2015)

Réflexions sur la capacité de la compensation écologique à préserver la biodiversité (4/4)

- Les questions de temporalités



- La finitude de l'espace



Regnery (2017)

- Anticipation et pérennisation des MC
- Quota d'artificialisation ?
- Plus d'évitement
- Revoir la définition légale de l'utilité publique majeure des projets



Collègues d'IRSTEA

CESCO

SPN

Groupe de Partage Opérationnel



Equipe BIOCENOSE

EIFER

Groupes P76 et P78

CIH

UP Alpes



ANNEXES

Challenge	Critères	Modalités	Note
Opérationnalité Op)	Sélection des indicateurs (IndSetup)	L'utilisateur choisi les indicateurs	1
		Les indicateurs sont prédéfinis sans système de notation	2
		Les indicateurs sont prédéfinis avec système de notation	3
	Disponibilité des données (DataAv)	Les données coûteuses et sont longues à collecter	1
		Les données sont longues à récolter mais peu coûteuses	2
		Les données sont peu coûteuses ou gratuites et rapides à collecter	3
		Des bases de données spécifiques à la compensation existent	4
	Rapidité d'implémentation (ImpRp)	Plus d'un an	1
		Entre 6 mois et 1 an	2
		Entre 1 semaine et 1 mois	3
		Moins d'une semaine	4
	Echangeabilité (Exchg)	L'EAM n'autorise que la compensation en « like for like »	1
L'EAM autorise la compensation en « like for unlike » lorsque le « like for like » n'est pas pertinent		2	
L'EAM est spécifiquement adaptée pour la compensation en « like for unlike » lorsque le « like for like » n'est pas pertinent		3	

Bases scientifiques (ScBs)	Définition des indicateurs de biodiversité (BiodivInd)	Le choix des indicateurs de biodiversité est guidé mais réalisé par l'utilisateur	1
		Les indicateurs de biodiversité sont définis dans la méthode et basés sur un dire d'expert	2
		Les indicateurs de biodiversité sont définis dans la méthode et basés sur de la documentation scientifique	3
	Type de métriques (BiodivIndMc)	Qualitatif	1
		Quantitatif discret seulement ou combiné avec du qualitatif	2
		Quantitatif continu seulement ou combiné avec du quantitatif discret	3
		Combinaison de qualitative et quantitative	4
	Prise en compte de la dimension spatiale (SpCd)	La dimension spatiale est prise en compte au cas par cas	1
		Un ratio est utilisé pour ajuster la surface du site compensatoire	2
		Des indicateurs intègrent la dimension spatiale (ex, connectivité)	3
	Prise en compte des incertitudes (UnCd)	Les incertitudes sont prises en compte au cas par cas	1
		Un ratio basé sur le dire d'expert est utilisé pour ajuster la surface du site compensatoire	2
Des indicateurs intègrent cette dimension directement		3	
Un ratio basé sur des retours d'expérience est utilisé pour ajuster la surface du site compensatoire		4	

Exhaustivité (Comp)	Nombre de dimensions prises en compte (EqCd)	Seulement la dimension écologique	1
		Dimension écologique + 1 autre	2
		Dimension écologique + 2 autres	3
		Dimension écologique + 3 autres	4
	Composantes de biodiversité ciblées (TgBiodiv)	Habitats naturels ou espèces et/ou fonctions	1
		Habitats naturels et espèces	2
		Habitats naturels, espèces et fonctions	3
	Type de données utilisées (DataTp)	Données issues de la littérature ou des SIG + de visites de terrain	1
		Données issues de la littérature ou des SIG + de visites de terrain + d'inventaires et/ou de suivis	2
		Données issues de la littérature ou des SIG + de visites de terrain + d'inventaires et/ou de suivis + de modélisation	3
	Nombre d'indicateurs (NbInd)	1 indicateur (ou proxy composé d'indicateurs agrégés)	1
		Plusieurs indicateurs pour 1 composante de biodiversité (ex, une espèce)	2
Plusieurs indicateurs pour plusieurs composantes de biodiversité (ex, une espèce)		3	

Les critères utilisés – définition

Diversité : Variété d'espèces et d'habitats. *Ex : Nombre d'espèces d'avifaune* Magurran 2005

Patrimonialité : Présence d'espèces protégées par la réglementation et d'espèces menacées sur liste rouge UICN
Ex : Proportion surfacique d'habitat d'intérêt communautaire Butchart et al. 2005; Delzons et al. 2013

Représentativité : Proportion d'espèces ou d'habitats dans le périmètre du site par rapport à leur présence dans le périmètre élargi *Ex Proportion surfacique de ZH dans PS / PE* Bodin et al. 2006; Arroyo-Rodriguez et al. 2009

Connectivité : Organisation du paysage au regard des continuités écologiques ou des éléments fragmentant, de manière générale ou pour une espèce particulière *Ex : Longueur de linéaire de haie* Taylor et al. 1993; Fahrig 2003

Structure : Organisation physique des végétaux d'un habitat *Ex Hauteur des strates de végétation* Noss 1990

Fonctionnalités : Processus écologiques permettant le fonctionnement et le maintien des écosystèmes en termes de capacité de reproduction des espèces, spécialisation des communautés, qualité du sol, dynamique de la végétation *Ex Surface d'habitat favorable* Holling 1973; Clavel et al. 2011; Pereira et al. 2013

Pressions : Perturbations naturelles ou anthropiques impactant la biodiversité *Ex Surface de zone imperméabilisée* Vitousek et al. 1997; Spangenberg 2007; Serranito et al. 2016

Caractéristiques des perturbations

Fréquence (durée)	Sévérité (intensité)	Portée spatiale
<p>Temporaire courte durée : la perturbation a des effets qui durent au maximum quelques années</p> <p><i>Impacts</i> : chantier, stockage d'engins</p> <p><i>MC</i> : Ouverture de milieux</p>	<p>Modification peu intense de l'écosystème : action sur quelques compartiments de l'écosystème (sol, flore, faune, hydrologie...)</p> <p><i>Impacts</i> : passage d'engins</p> <p><i>MC</i> : semi, plantation, gîte pour reptiles</p>	<p>Ponctuel de faible surface : la perturbation concerne une emprise au sol ponctuelle sur une surface allant jusqu'à quelques hectares</p> <p><i>Impacts</i> : bâtiments, parking, central hydroélectrique</p> <p><i>MC</i> : Création d'une mare</p>
<p>Temporaire longue durée : la perturbation a des effets qui durent de quelques années à quelques dizaines d'années</p> <p><i>Impacts</i> : carrière, stockage de déchets</p> <p><i>MC</i> : plantation, gîtes pour reptiles</p>	<p>Modification intense de l'écosystème : action sur plusieurs compartiments de l'écosystème (sol, flore, faune, hydrologie...)</p> <p><i>Impacts</i> : défrichement</p> <p><i>MC</i> : décompactations du sol, création de mare</p>	<p>Ponctuel de surface importante : la perturbation concerne une emprise au sol ponctuelle sur une surface allant au-delà de quelques hectares</p> <p><i>Impacts</i> : aéroport, retenue d'eau</p> <p><i>MC</i> : ouverture de milieux sur une dizaine d'ha</p>
<p>Permanent : la perturbation a des effets qui durent au-delà de quelques dizaines d'années</p> <p><i>Impacts</i> : bâtiment, retenue d'eau</p> <p><i>MC</i> : arrêt d'une activité agricole, restauration hydraulique (ZH)</p>	<p>Modification très intense de l'écosystème : action sur tous les compartiments de l'écosystème (sol, flore, faune, hydrologie...)</p> <p><i>Impacts</i> : destruction totale par imperméabilisation</p> <p><i>MC</i> : reméandrage rivière, décaissement et plantation</p>	<p>Linéaire (peu importe la surface) : la perturbation concerne une emprise au sol linéaire influençant les connectivités</p> <p><i>Impacts</i> : ligne grande vitesse, autoroute</p> <p><i>MC</i> : plantation de haie, reméandrage d'un tronçon de rivière</p>

Méthode de calcul des pertes, des gains et de l'équivalence



Pertes



Gains

2 manières de calculer les pertes et les gains

ABSOLU

RELATIF

Valeur après – Valeur avant
(Impacts ou MC)

Valeur après – Valeur avant
Valeur avant * 100

→ Donne la perte ou le gain selon la **métrique** de l'indicateur (surface, nombre d'espèces, % etc...)

→ Donne un **% de perte** ou de **gain** (si la valeur de l'indicateur passe de 10 à 5, la perte est de 50%)

Calcul de l'équivalence

Pour chaque indicateur : *Valeur absolue (Impacts)* + *Valeur absolue (MC)*

→ **Équilibre** ou **perte / gain net**



Calculs à COURT et LONG terme