



Prospective écologique pour définir des Solutions fondées sur la Nature (SfN) résilientes au changement climatique

Emmanuel Garbolino

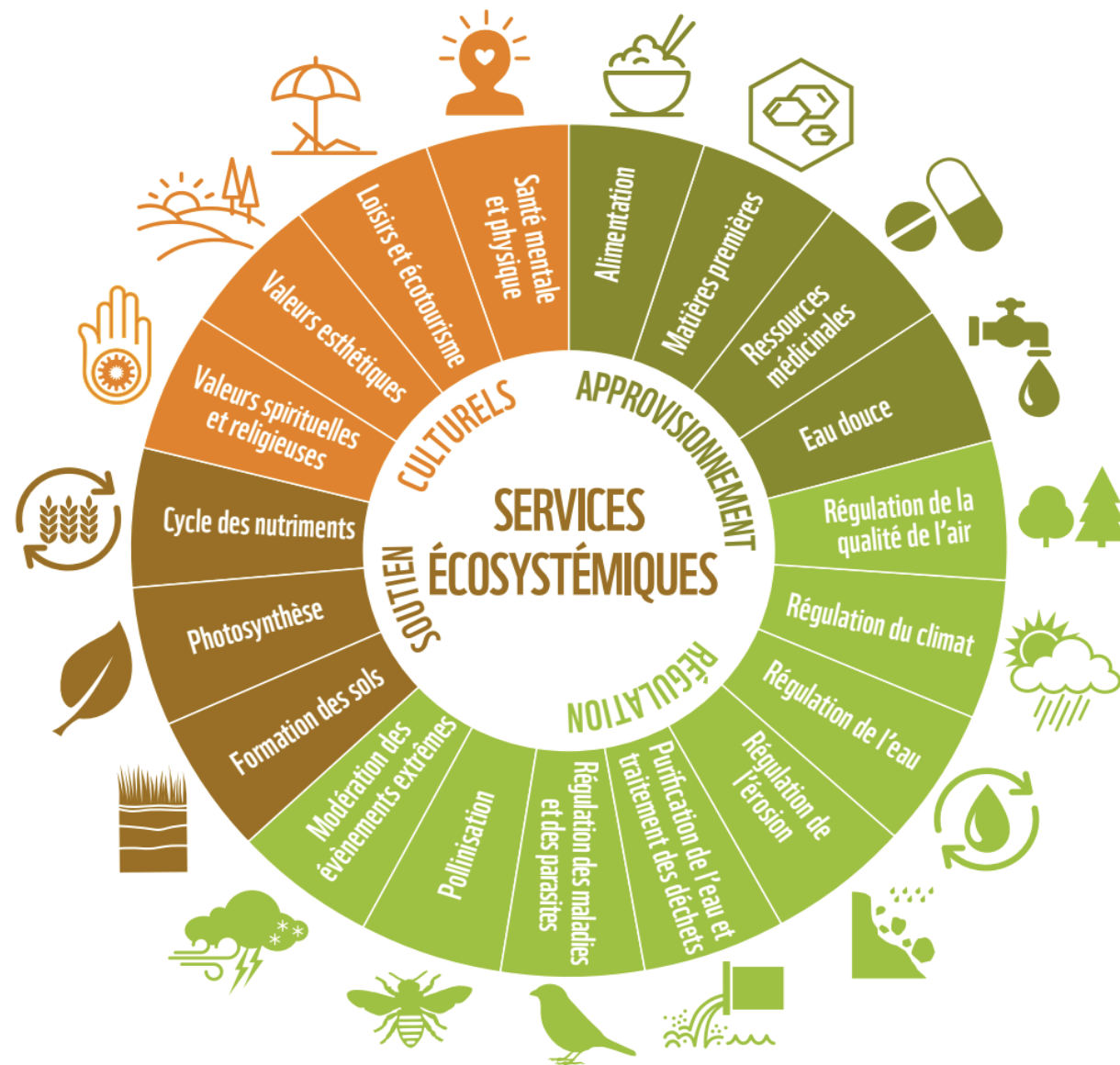


LES BÉNÉFICES APPORTÉS PAR LES ÉCOSYSTÈMES

Notion de services écosystémiques:
“*Ecosystem services*” are all the benefits that humanity derives from ecosystems (Daily, 1997)

« À l'échelle mondiale, la valeur de ces services est estimée à 125.000-140.000 milliards de USD/an »

(OCDE, 2019) (≈ PIB global)





FACTEURS D'ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ

L'érosion de la biodiversité désigne la perte progressive ou rapide de diversité biologique au sein d'un écosystème, d'une région ou de la planète entière. Cette perte englobe **la réduction de la variété et de l'abondance des différentes espèces, ainsi que la diminution de la diversité génétique au sein de ces populations.**

2 types de facteurs:

- Naturels
- Anthropiques -> plus récent mais tout aussi impactants !



DÉPENSES DE PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ ET DES PAYSAGES

En France en 2022:

3.5 Mds€/an pour la protection de la biodiversité -> 0,1 % du (PIB) -> 5 % des dépenses totales de protection de l'environnement (64 Md€) (SDES, 2024).

Dans le monde en 2023: 220 Mds\$/an (IPBES, 2026), dont 6.8 Mds\$ pour les SfN.

QUE SONT LES SFN?

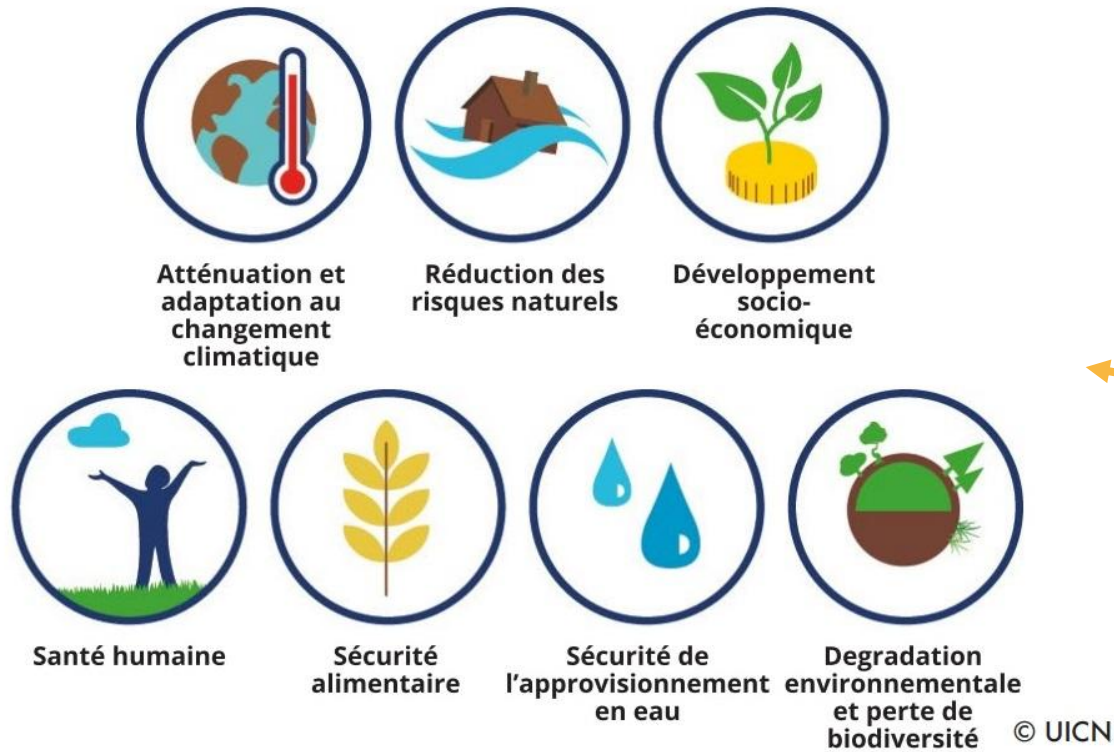
« les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité »

(UICN, 2016)

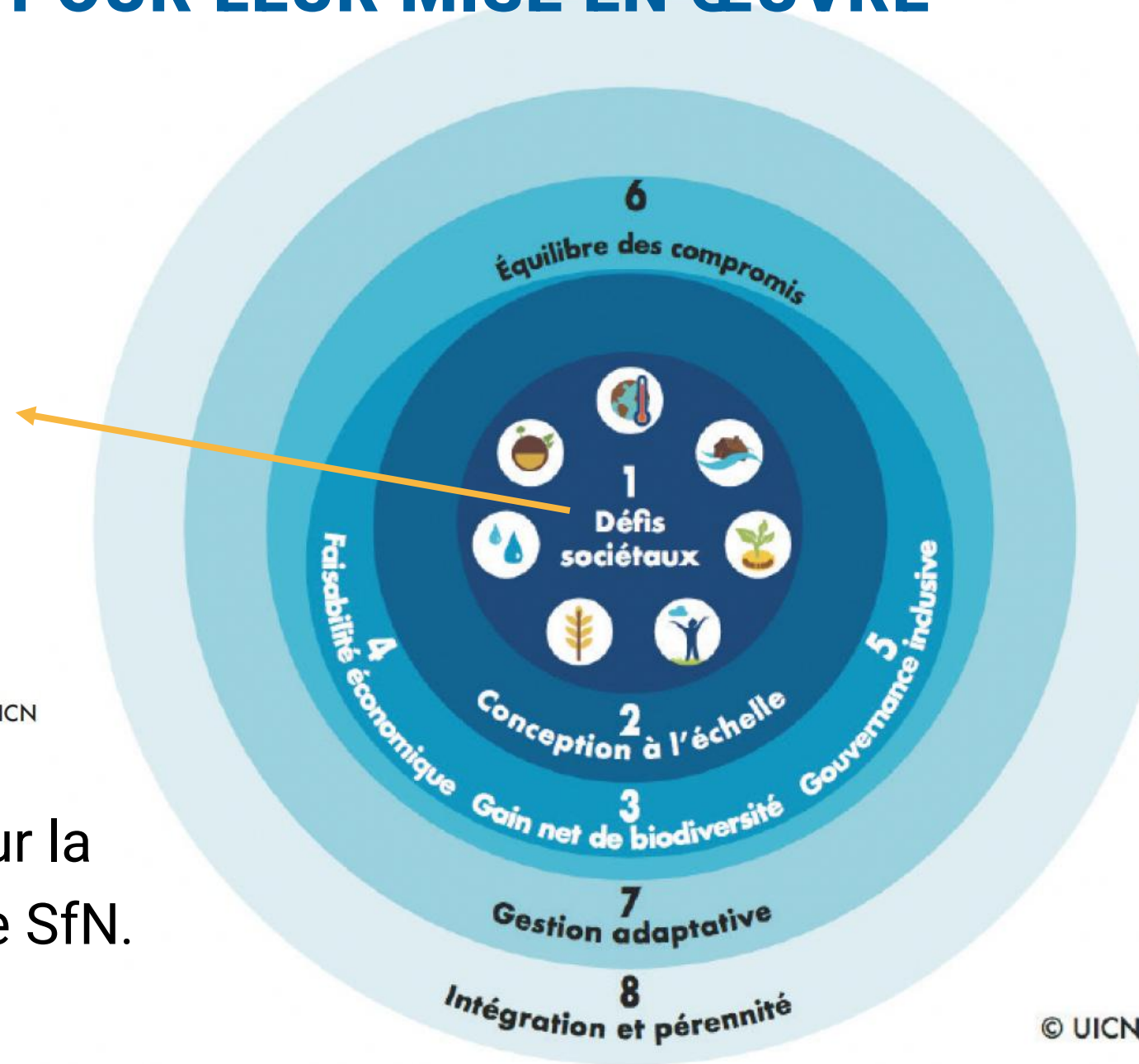
- 3 types d'actions:
 - + **Préservation d'écosystèmes fonctionnels** et en bon état écologique ;
 - + **Amélioration de la gestion d'écosystèmes** pour une utilisation durable par les activités humaines ;
 - + **Restauration d'écosystèmes dégradés** ou la création d'écosystèmes.



8 CRITÈRES NÉCESSAIRES POUR LEUR MISE EN ŒUVRE

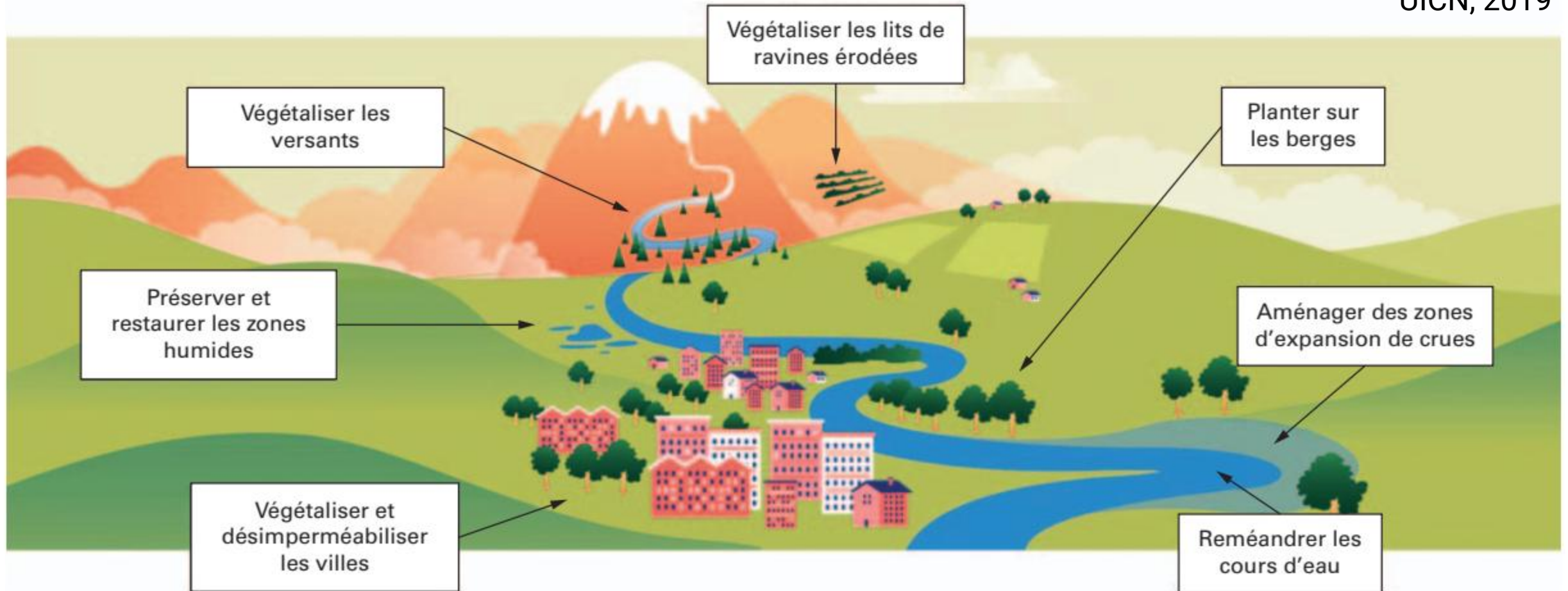


Rôle de l'ingénierie écologique pour la définition, la réalisation et le suivi de SfN.



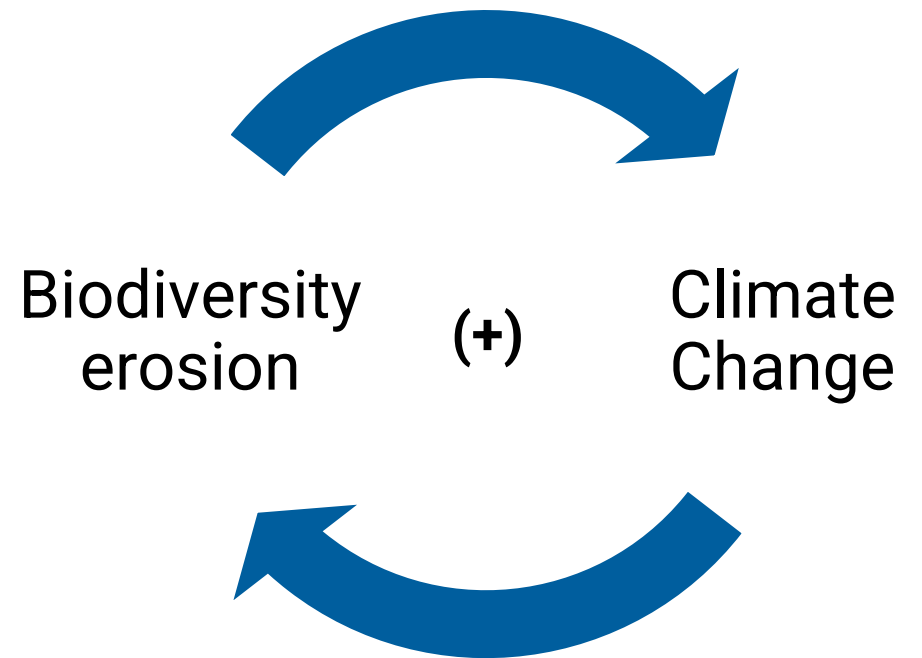
QUELQUES EXEMPLES DE SFN

UICN, 2019



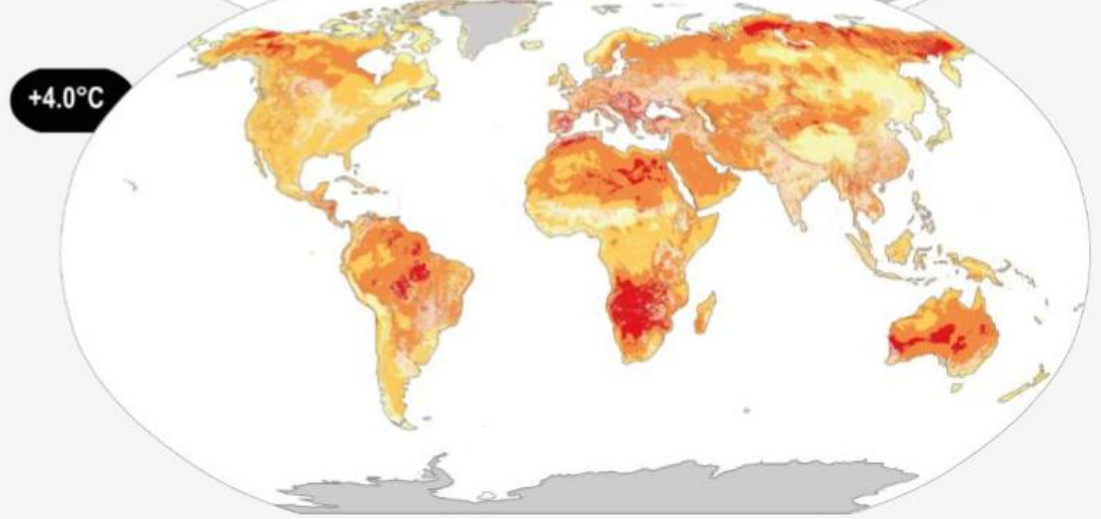
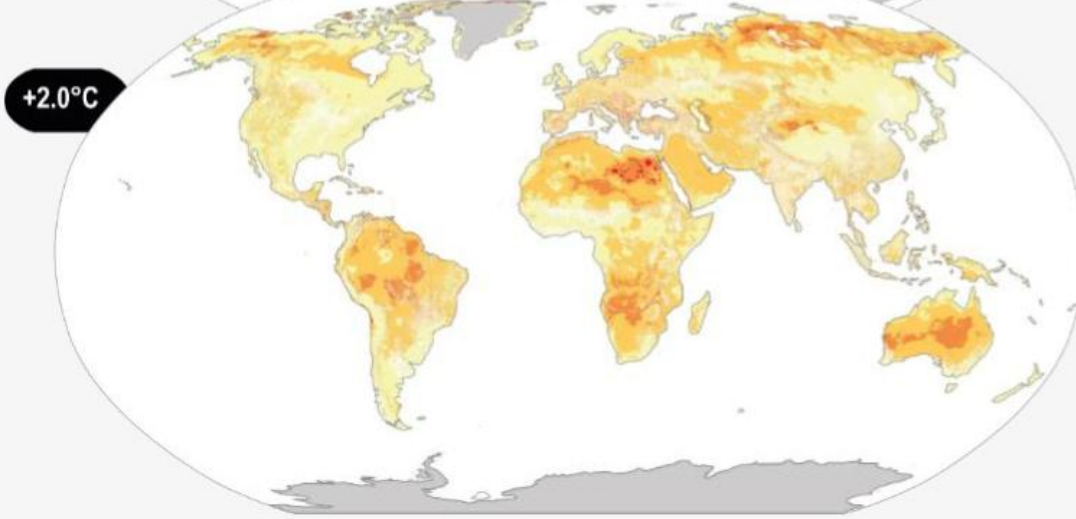
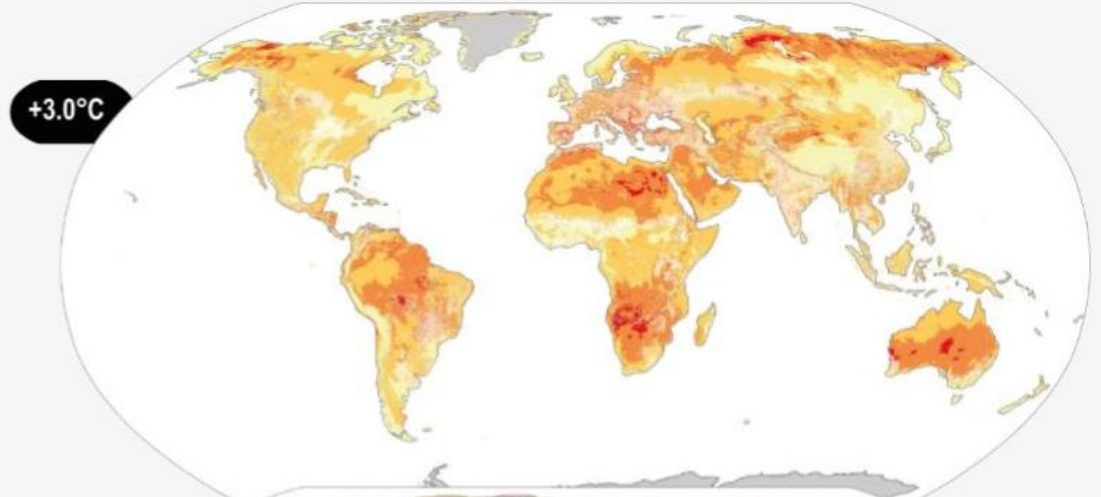
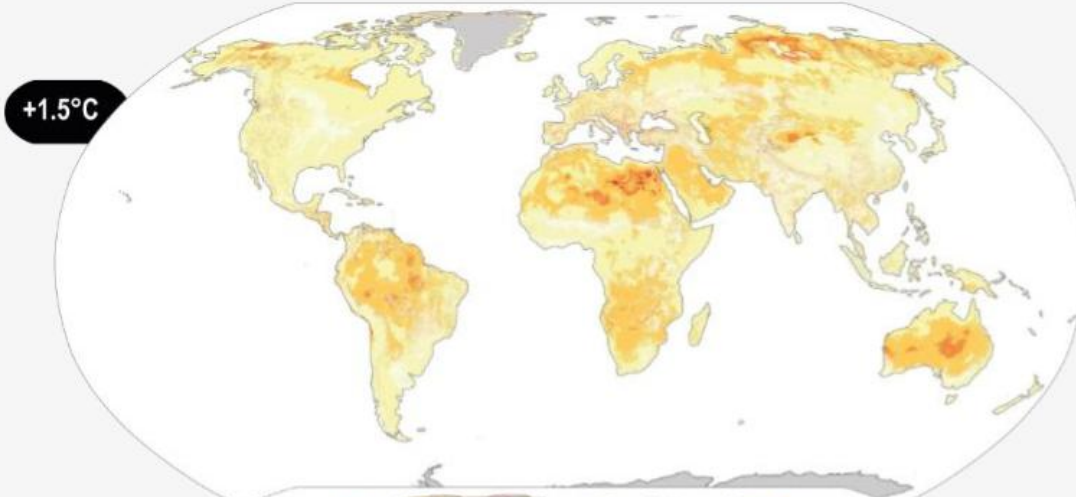
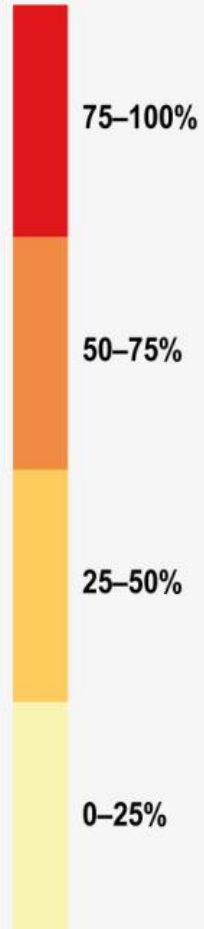
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ

- Changement climatique produit des effets au niveau global sur l'érosion de la biodiversité (physiologie des espèces, taux de mortalité, intensification des aléas naturels majeurs, vecteurs de maladies, EEE ...)
- Erosion de la Biodiversité intensifie la dynamique du changement climatique...



Projected loss of terrestrial and freshwater biodiversity

Percentage of biodiversity loss



DES EFFETS DÉJÀ VISIBLES DU CC SUR LES TRAVAUX DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

- A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests (Allen *et al.*, 2010).
- Single-year planting is now high-risk; extreme events (severe drought, heatwaves and floods) can cause 100% mortality. *“A critical evaluation of current ecological restoration practices and changes to those practices are needed to attain global restoration targets”* (Svejcar *et al.*, 2022)
- *“The current status quo in forest restoration research publications does not emphasize a thorough consideration of how climate change may impact the success or efficacy of forest restoration.”* (Pita *et al.*, 2024)



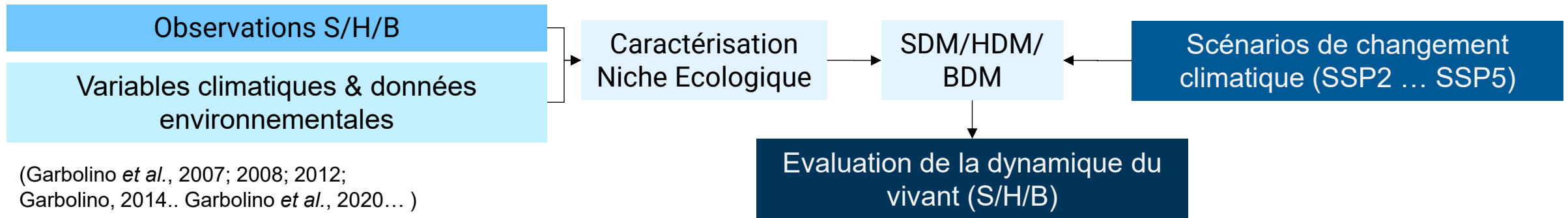
LE CHANGEMENT CLIMATIQUE NOUS AMÈNE VERS DES SITUATIONS INÉDITES, POUR LESQUELLES NOUS MANQUONS DE RETOUR D'EXPÉRIENCE...

COMMENT DÉFINIR DES SOLUTIONS ROBUSTES ?

Parce que le changement climatique induit des incertitudes et des situations inédites pour les activités humaines et les territoires, l'expertise doit être consolidée par des techniques de modélisation prospective pour la prise de décision.

(E. Garbolino, 2023, Webinaire TTI1.5)

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MÉTHODE PROSPECTIVE



Domaines concernés:

- **Urbanisme** (espaces verts-IV, Trames Vertes & Bleues, SfN, ICU etc.)
- **Aléas naturels** (incendies, stabilités des pentes, érosion etc.)
- **Santé** (ICU, Vecteurs de maladies, Pollinoses etc.)
- **Ressources et espaces naturels** (EEE, Ravageurs)
- **Agriculture & élevage**
- **Forêts et sylviculture**
- **Mesures ERC(A)**

Différentes échelles spatiales (du global à la parcelle) **et temporelles** (actuel, 2030, 2040, 2050... 2100)

Climat à la Loupe : Modéliser l'Avenir de la Biodiversité

Garbolino et al., 2025

Le Défi : Le Manque de Données Climatiques Détaillées



Modèles Climatiques Standards (1 km)

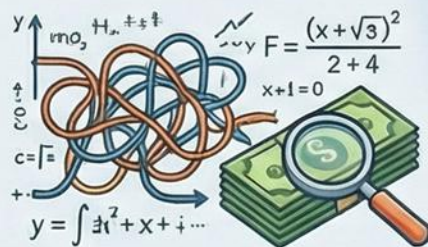
Les modèles climatiques standards sont trop larges.

Leur résolution de 1km masque les microclimats essentiels à la survie des espèces.



La topographie locale est un facteur crucial.

Pentes et vallées créent des refuges climatiques que les modèles globaux ignorent.



Les méthodes de pointe sont complexes et coûteuses.

Le "machine learning" est puissant mais demande beaucoup de ressources et d'expertise.

La Solution : Une Méthode Efficace et des Résultats Robustes



Une méthode simple : la régression linéaire multiple (RLM).

Utilise des prédicteurs géographiques (altitude, etc.) pour affiner les données de 1km à 30m.

%

L'altitude est le facteur prédictif dominant.

Elle explique à elle seule 76% de la variance des températures minimales.

	Température Maximale	Température Minimale	Précipitations
Corrélation (R)	0.954	0.960	0.911
Erreur Moyenne (RMSE)	0.22°C	0.18°C	2.22 mm

Des résultats très précis, même pour le futur.

L'erreur moyenne est inférieure à 0.25°C pour la température, une performance stable pour les scénarios de 2050.



Application à des mesures de gestion de SfN

Le changement climatique peut affecter ces opérations et limiter, voire remettre en question, les objectifs écologiques à atteindre -> conséquences économiques directes et indirectes pour les porteurs de projets et les parties-prenantes associées (Garbolino *et al.*, 2021).

Espèces présentes dans des parcelles de compensation écologique (abd = abondance [1-6])		actuel
<i>Castanea sativa</i> Châtaignier – abd 3		95
<i>Erica scoparia</i> Bruyère – abd 3		95
<i>Pinus pinaster</i> Pin maritime – abd 2		97
<i>Populus tremula</i> Tremble – abd 3		92
<i>Quercus petraea</i> Chêne sessile – abd 5		95
<i>Salix caprea</i> Saule marsault – abd 4		95

- Diminution des surfaces liées aux bois mésophiles au profit de la colonisation d'espèces plus xérophiles et augmentation du risque d'IF.

Application à des mesures de gestion de SfN

Le changement climatique peut affecter ces opérations et limiter, voire remettre en question, les objectifs écologiques à atteindre -> conséquences économiques directes et indirectes pour les porteurs de projets et les parties-prenantes associées (Garbolino *et al.*, 2021).

Espèces présentes dans des parcelles de compensation écologique (abd = abondance [1-6])	actuel	2050 RCP 4.5	Diff actuel & 2050 RCP 4.5	2050 RCP 8.5	Diff actuel & 2050 RCP 8.5
<i>Castanea sativa</i> Châtaignier – abd 3	95	81	-14	73	-22
<i>Erica scoparia</i> Bruyère – abd 3	95	97	3	97	3
<i>Pinus pinaster</i> Pin maritime – abd 2	97	100	3	100	3
<i>Populus tremula</i> Tremble – abd 3	92	35	-57	35	-57
<i>Quercus petraea</i> Chêne sessile – abd 5	95	65	-30	59	-35
<i>Salix caprea</i> Saule marsault – abd 4	95	57	-38	51	-43

- Diminution des surfaces liées aux bois mésophiles au profit de la colonisation d'espèces plus xérophiles et augmentation du risque d'IF.

Espèces présentes dans des parcelles de compensation écologique

(abd = abondance [1-6])

actuel

<i>Anguis fragilis</i> Orvet fragile	97
<i>Emberiza citronella</i> Bruant jaune	97
<i>Nyctalus noctula</i> Noctule commune	97
<i>Passer montanus</i> Moineau friquet	97
<i>Pipistrellus kuhlii</i> Pipistrelle de Kuhl	100
<i>Sylvia communis</i> Fauvette grise	100

- **Herpétofaune** : Orvet fragile (*Anguis fragilis*) -> migration difficile compte tenu de son mode de déplacement -> le plus vulnérable au changement climatique.
- **Avifaune & Chiroptères** : pouvant migrer vers d'autres zones bioclimatiques.



- **Projet Européen GE.CO** : Gestion Ecologique des Conflits et contraintes d'usage – France-Italie
- **Evolution des milieux et des espèces constitutives de zones de restauration écologique. Définition de mesures de gestion de la biodiversité prenant en compte le Changement Climatique.**

Interreg  Cofinancé par l'Union Européenne Cofinanziato dall'Unione Europea

France – Italia ALCOTRA

Espèces présentes dans des parcelles de compensation écologique (abd = abondance [1-6])	actuel	2050 RCP 4.5	Diff actuel & 2050 RCP 4.5	2050 RCP 8.5	Diff actuel & 2050 RCP 8.5
<i>Anguis fragilis</i> Orvet fragile	97	69	-28	61	-36
<i>Emberiza citronella</i> Bruant jaune	97	56	-42	47	-50
<i>Nyctalus noctula</i> Noctule commune	97	56	-42	50	-47
<i>Passer montanus</i> Moineau friquet	97	75	-22	72	-25
<i>Pipistrellus kuhlii</i> Pipistrelle de Kuhl	100	97	-3	94	-6
<i>Sylvia communis</i> Fauvette grise	100	72	-28	67	-33

- **Herpétofaune** : Orvet fragile (*Anguis fragilis*) -> migration difficile compte tenu de son mode de déplacement -> le plus vulnérable au changement climatique.
- **Avifaune & Chiroptères** : pouvant migrer vers d'autres zones bioclimatiques.



- **Projet Européen GE.CO** : Gestion Ecologique des Conflits et contraintes d'usage – France-Italie
- **Evolution des milieux et des espèces constitutives de zones de restauration écologique. Définition de mesures de gestion de la biodiversité prenant en compte le Changement Climatique.**



QUESTIONS AUXQUELLES LES RESPONSABLES DOIVENT RÉPONDRE

D'après ces résultats, que doivent faire les décideurs ?

Faut-il couper certains arbres susceptibles de provoquer des incendies de forêt ?

Planter davantage d'arbres mésophiles ou laisser coloniser des espèces plus xérophiles ?

Devons-nous maintenir ou créer une zone humide supplémentaire ?

Transférer les espèces qui ne seront pas bien adaptées ? Si oui, dans quelles zones ?

Quel type de plantes devons-nous utiliser pour créer des infrastructures vertes ?

EN GUISE DE CONCLUSION

Le changement climatique apporte souvent de grandes incertitudes sur le devenir de la biodiversité et des services écosystémiques.

De nombreux services écosystémiques sont / seront altérés -> conséquences économiques (double matérialité) et sanitaires majeures.

Des solutions pour limiter ces impacts et s'adapter sont connues (ex: SfN) et doivent être mises en œuvre selon les contextes locaux.

La conservation et la restauration de la biodiversité est un de ces moyens.

Pour favoriser le développement de solutions/décisions robustes, la modélisation prospective en écologie et aménagement du territoire est un moyen pertinent.

Mais trop peu de décisions reposent sur ces approches en prospective...



**Merci pour votre
attention**

emmanuel.garbolino@minesparis.psl.eu