

Rencontre de la chaire "Modélisation Mathématique et Biodiversité"

# ÉTUDE DES PATRONS SPATIAUX EUROPÉENS DE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES, UNE ILLUSTRATION DE L'ÉCOLOGIE DU PIXEL



MAUD MOUCHET

UMR 7204 CESCO

Projet EU FP7 VOLANTE

MNHN

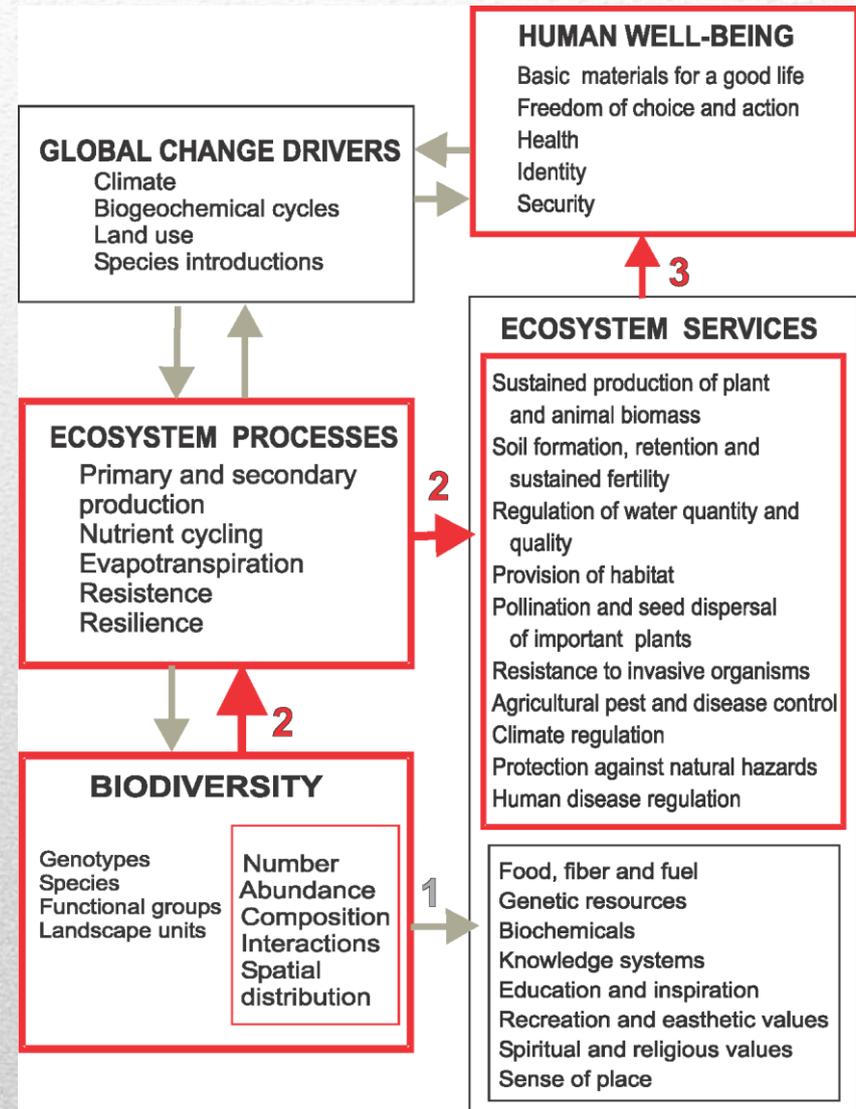
Amphithéâtre Rouelle

7 Mai 2014



# LA NOTION DE SERVICE

- **Le bien-être de l’Homme repose sur les écosystèmes et la biodiversité à travers les services écosystémiques**
- **Qu’est-ce qu’un service écosystémique ?**
  - “Conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that make them up, sustain and fulfill human life”  
(Daily 1997)
  - “Benefits provided by ecosystems that contribute to making human life possible and worth living”  
(Diaz et al 2006, PLOS Biology)
  - “Direct and indirect contributions of ecosystems to human well-being”  
(The Economics of Ecosystems and Biodiversity 2010)



# LA NOTION DE SERVICE

- **Le bien-être de l'Homme repose sur les écosystèmes et la biodiversité à travers les services écosystémiques**

- **Qu'est-ce qu'un service écosystémique ?**

- “Conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that make them up, sustain and fulfill human life”

(Daily 1997)

- “Benefits provided by ecosystems that contribute to making human life possible and worth living”

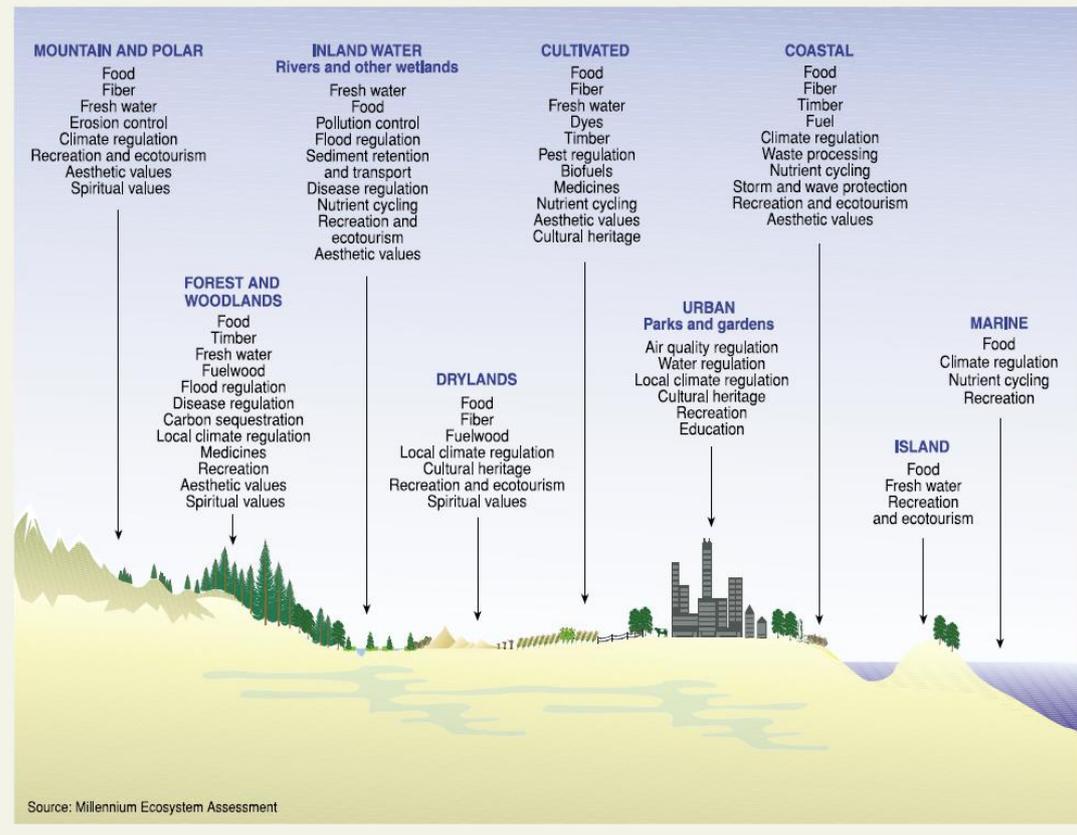
(Diaz et al 2006, PLOS Biology)

- “Direct and indirect contributions of ecosystems to human well-being”

(The Economics of Ecosystems and Biodiversity 2010)

## ECOSYSTEMS AND SOME SERVICES THEY PROVIDE

Different combinations of services are provided to human populations from the various types of ecosystems represented here. Their ability to deliver the services depends on complex biological, chemical, and physical interactions, which are in turn affected by human activities.

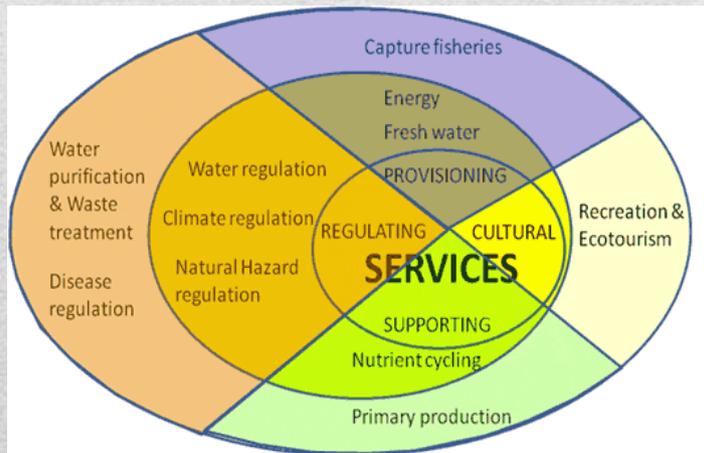


# LA NOTION DE SERVICE

## 4 types de services

*Millennium Ecosystem Assessment (2005)*

*The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010)*



(UNEP 2009)

Catégorie de services	Services rendus	Exemples de service
Approvisionnement	Production de nourriture Produits pharmaceutiques, biochimiques et industriels Energie	<i>milieu terrestre</i> Agriculture, élevage <i>milieu aquatique</i> Pêche, aquaculture
Régulation	Séquestration du carbone Climat Décomposition des déchets et désintoxication Purification de l'air et de l'eau Pollinisation Contrôle des ravageurs et des maladies	<i>milieu terrestre</i> Séquestration du carbone dans la biomasse végétale <i>milieu aquatique</i> Précipitation biologique du carbone sous forme de carbonate
Soutien/habitat	Dispersion et cycle des nutriments Dispersion des graines Production primaire	<i>milieu terrestre</i> Production primaire nette accumulée dans la biomasse végétale <i>milieu aquatique</i> Production primaire nette accumulée dans la biomasse planctonique
Culture	Inspiration culturelle, intellectuelle et spirituelle Loisirs Science	Symbolique spirituelle Pêche récréative

# LA NOTION DE SERVICE

## Nombreuses interrogations

> Valeur intrinsèque de la biodiversité ?

> Comment évaluer ?

> Evaluation monétaire ?

> Prise en compte des infrastructures humaines ?

Catégorie de services	Services rendus	Exemples de service
Approvisionnement	Production de nourriture Produits pharmaceutiques, biochimiques et industriels Energie	<i>milieu terrestre</i> Agriculture, élevage <i>milieu aquatique</i> Pêche, aquaculture
Régulation	Séquestration du carbone Climat Décomposition des déchets et désintoxication Purification de l'air et de l'eau Pollinisation Contrôle des ravageurs et des maladies	<i>milieu terrestre</i> Séquestration du carbone dans la biomasse végétale <i>milieu aquatique</i> Précipitation biologique du carbone sous forme de carbonate
Soutien/habitat	Dispersion et cycle des nutriments Dispersion des graines Production primaire	<i>milieu terrestre</i> Production primaire nette accumulée dans la biomasse végétale <i>milieu aquatique</i> Production primaire nette accumulée dans la biomasse planctonique
Culture	Inspiration culturelle, intellectuelle et spirituelle Loisirs Science	Symbolique spirituelle Pêche récréative

# SERVICE : INTERFACE ENTRE SOCIÉTÉ ET ÉCOLOGIE

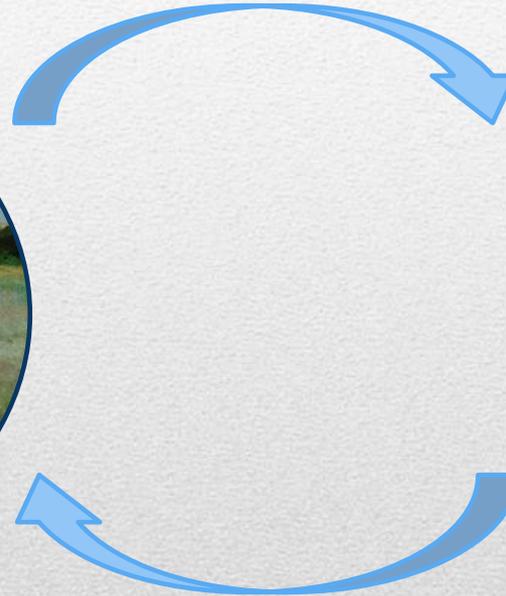


Les Coquelicots,  
Monet (1873)

SYSTÈME SOCIAL

Loisir

*USAGE*



*SERVICE*



© Beemiyoco | SPIPOLL  
collection du 12/10/2012 à  
Melesse (35173)

SYSTÈME ÉCOLOGIQUE

Pollinisation, relation plante-insecte

# SERVICE : INTERFACE ENTRE SOCIÉTÉ ET ECOLOGIE



Les Coquelicots,  
Monet (1873)

Loisir

SYSTEME SOCIAL



Nourriture

USAGES



© Beemiyoco | SPIPOLL  
collection du 12/10/2012 à  
Melesse (35173)

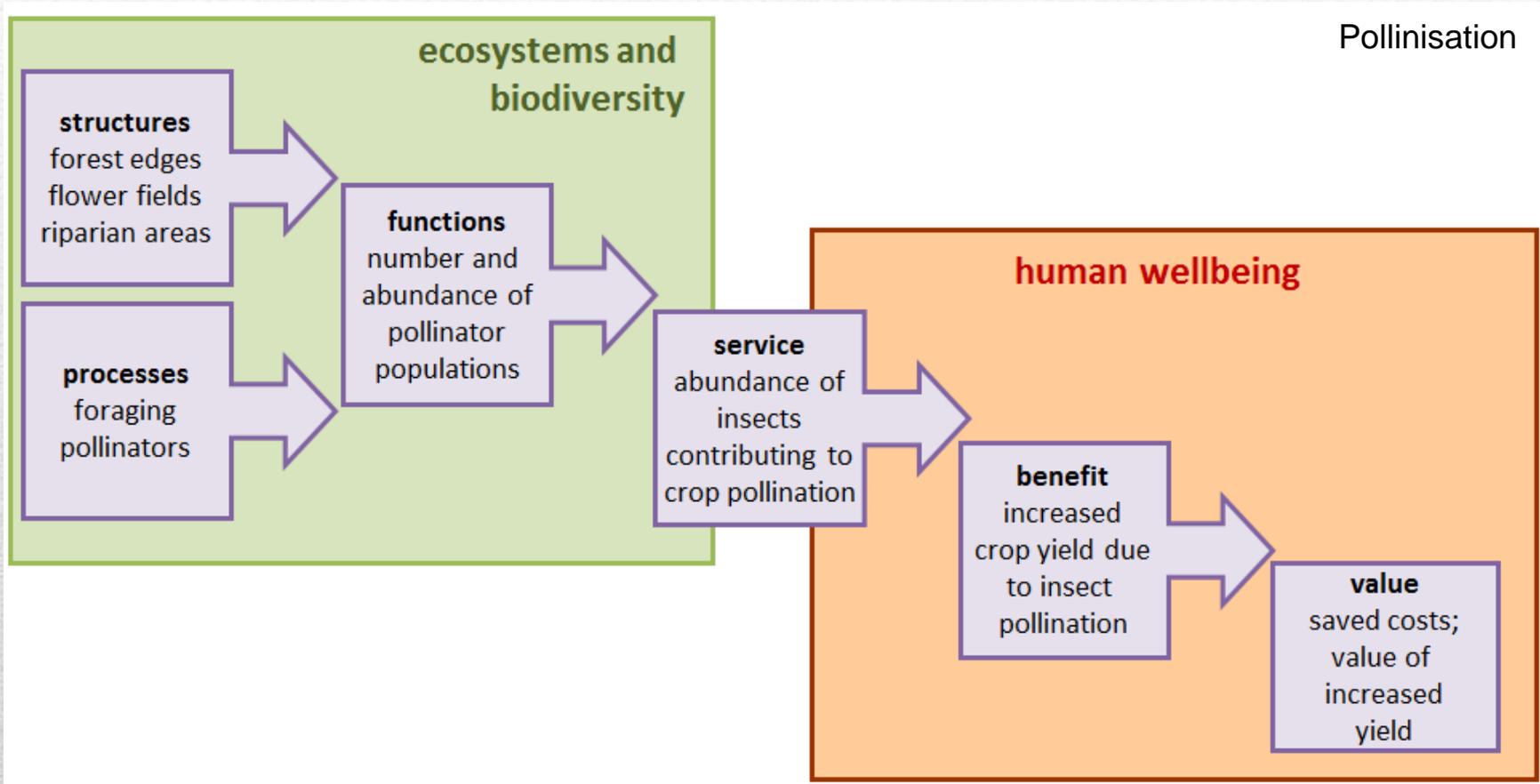
SYSTEME ÉCOLOGIQUE

Pollinisation, relation plante-insecte

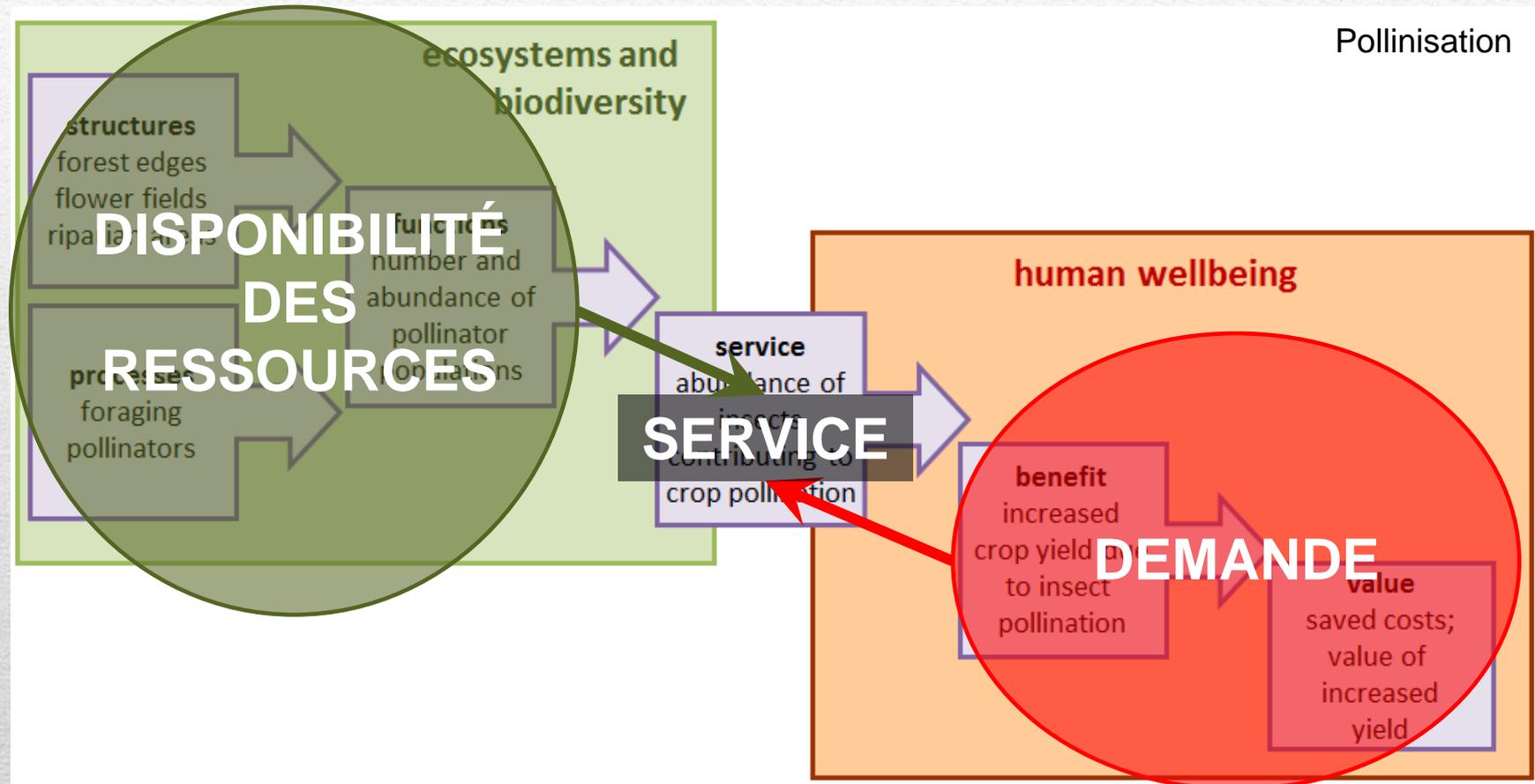
SERVICES



# SERVICE : INTERFACE ENTRE SOCIÉTÉ ET ÉCOLOGIE



# SERVICE : INTERFACE ENTRE SOCIÉTÉ ET ÉCOLOGIE



# SERVICE : INTERFACE ENTRE SOCIÉTÉ ET ÉCOLOGIE

## 4 types de services

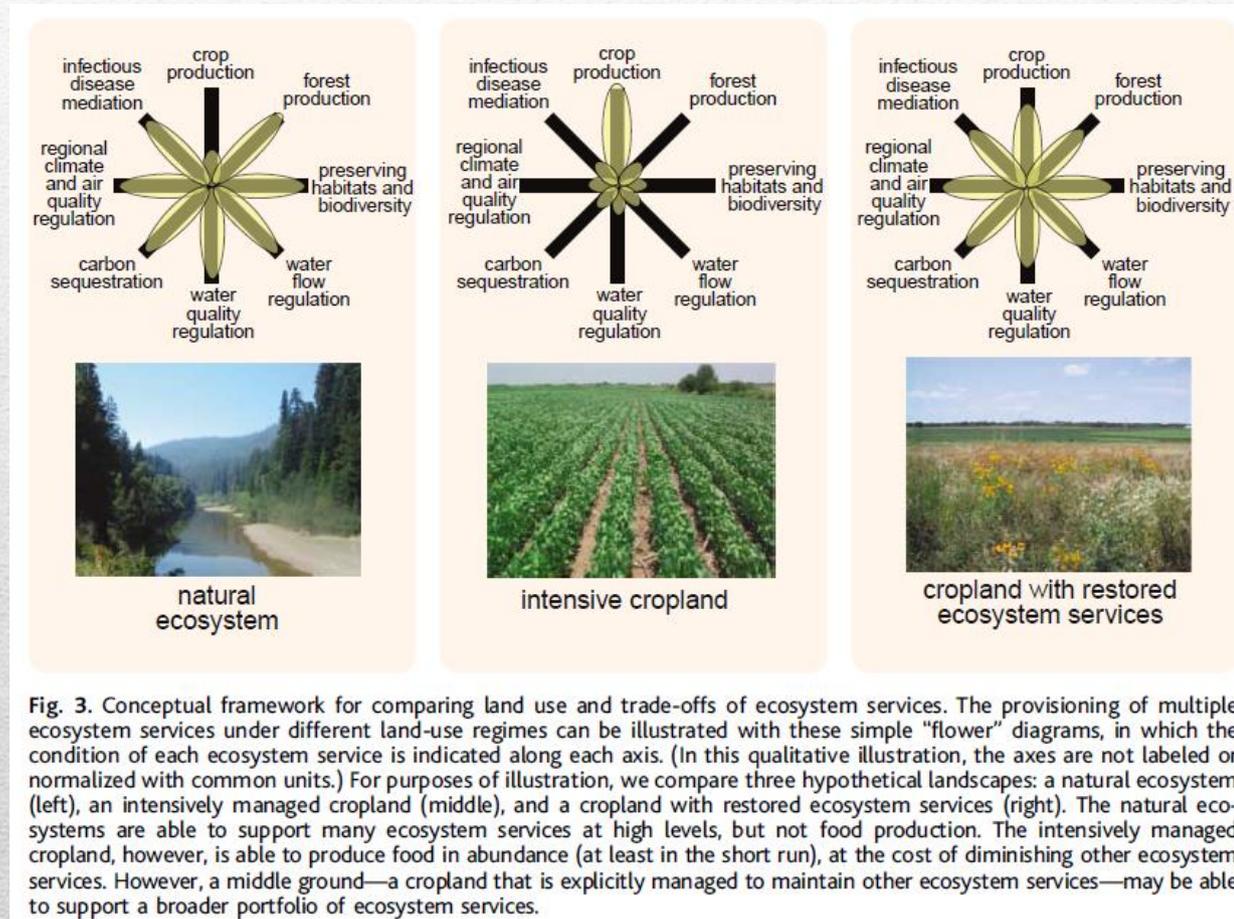
*Millennium Ecosystem Assessment (2005)*

*The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010)*

> ES liés => bouquets d'ES

*“A set of services that appear together repeatedly”*

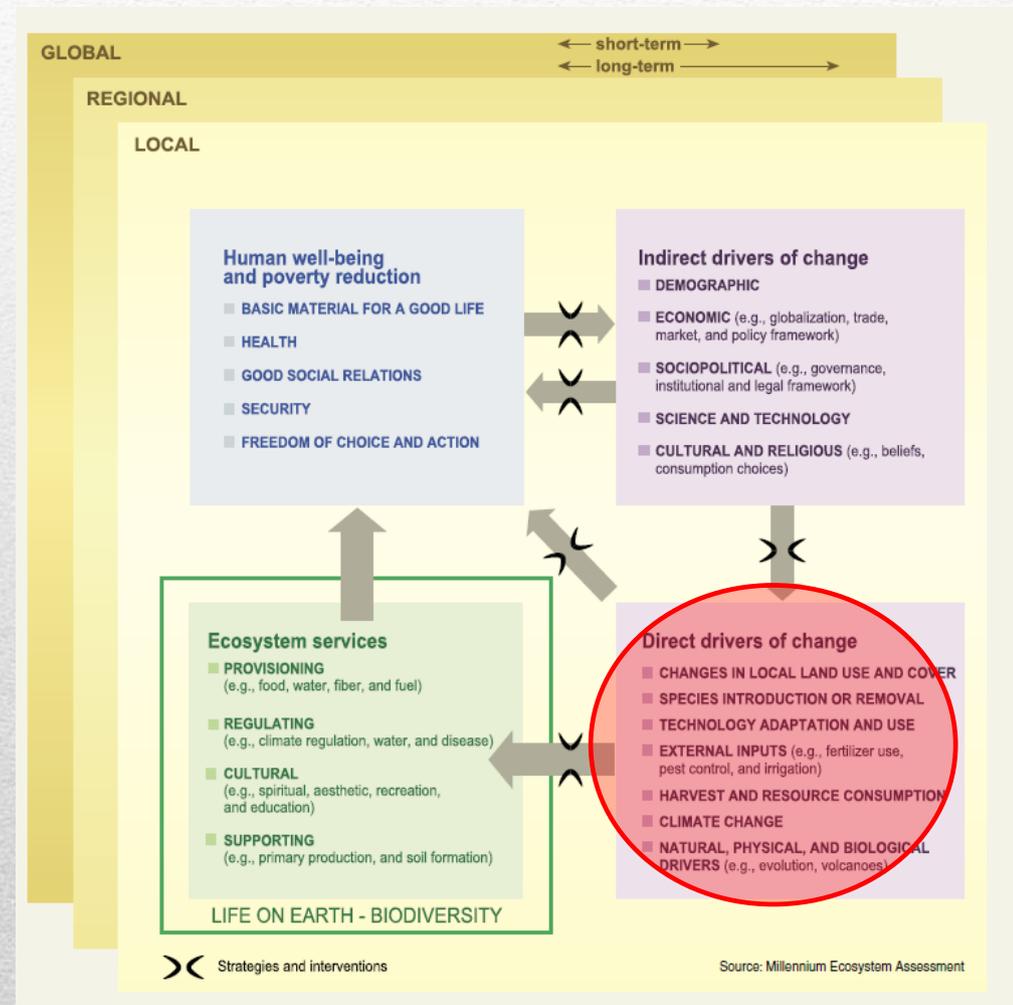
*(Raudsepp-Hearne et al 2010, PNAS)*



*(Foley et al 2005, Science)*

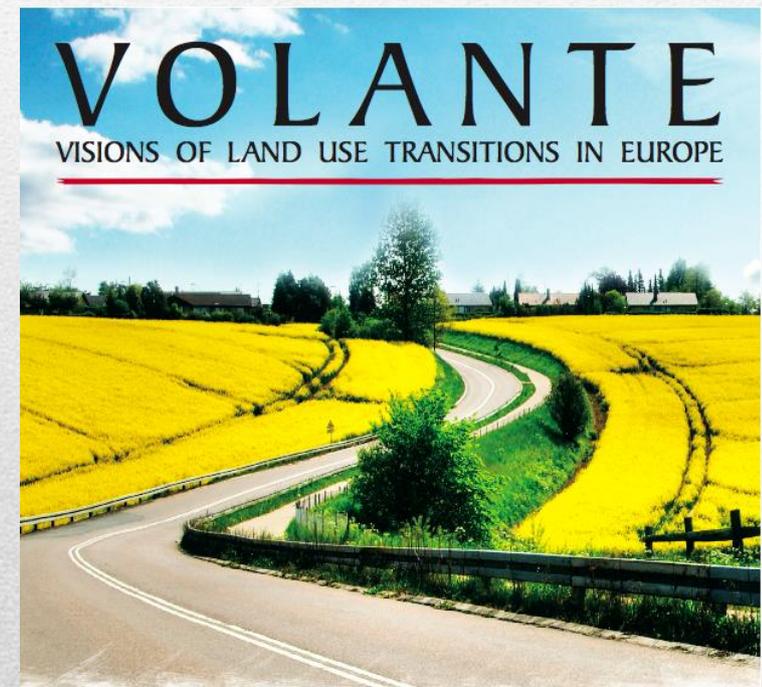
# SERVICE : INTERFACE ENTRE SOCIÉTÉ ET ÉCOLOGIE

- Nombreuses causes de changement
  - Introduction d'espèces
  - Climat
  - Nature/intensité de la demande
  - Occupation du sol
  - .....



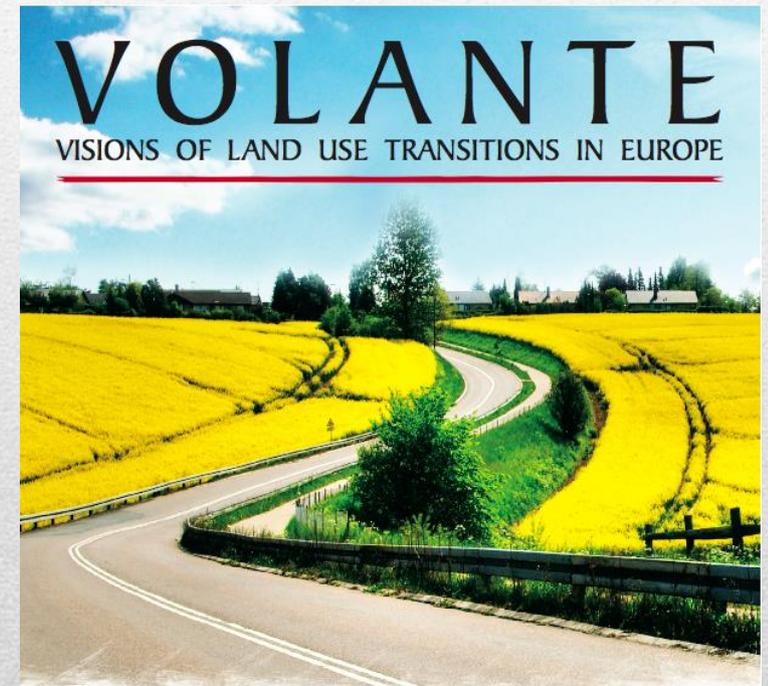
# ETAT DES LIEUX EN EUROPE

- > Déterminants de l'occupation des sols ?
- > Occupation des sols à l'horizon 2050 ?
- > Conséquences sur les services écosystémiques ?



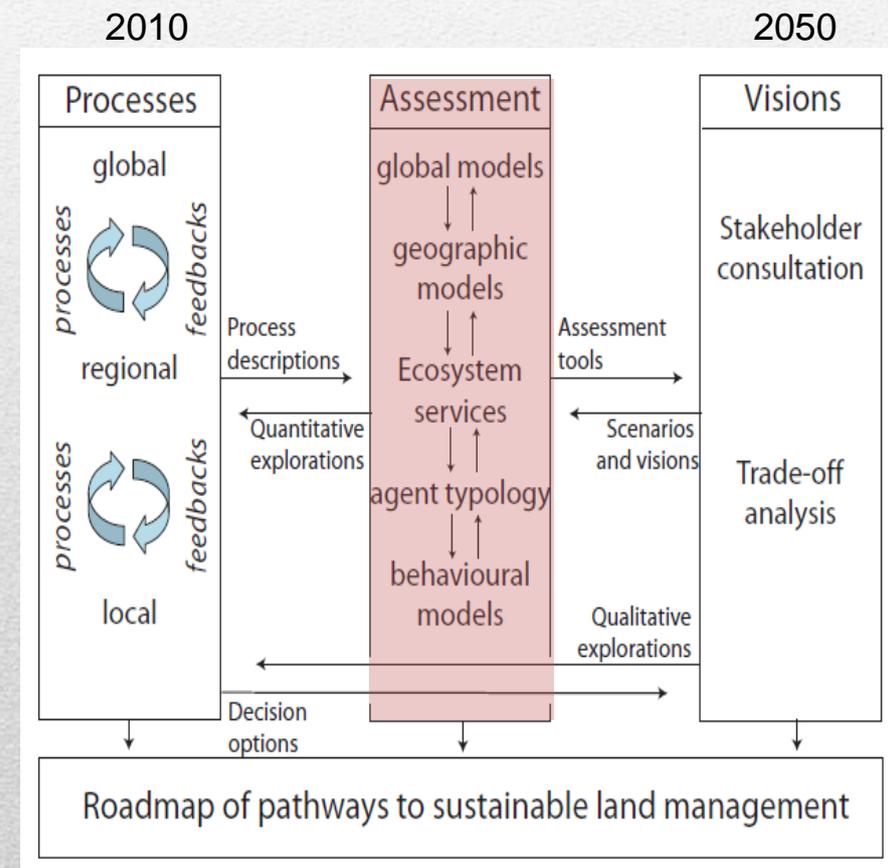
# ETAT DES LIEUX EN EUROPE

> Concrètement, on fait comment ??

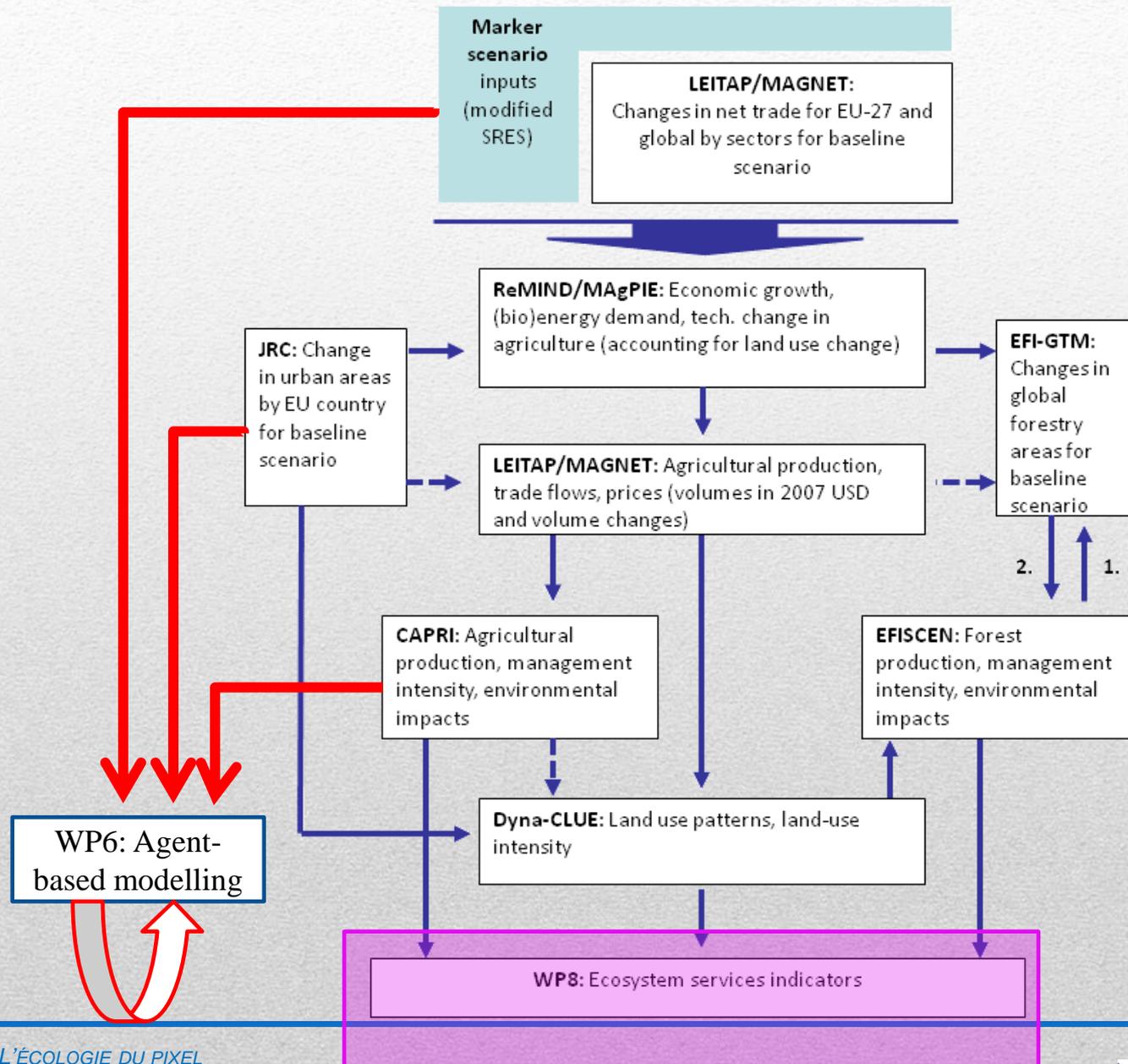


# LA MACHINE VOLANTE

> On modélise la vie d'un pixel !!



# LA MACHINE VOLANTE



# FOCUS SUR LES SERVICES EUROPÉENS

## DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

### ETAPE 1

- **CARTOGRAPHIE DES SERVICES (1 PIXEL = 1 VALEUR D'ES)**
- *e.g.* pollinisation, stockage du carbone, loisir

### ETAPE 2

- **IDENTIFICATION DES COMPROMIS/SYNERGIES ENTRE SERVICES**
- Associations négatives/positives entre services
- Distribution spatiale des bouquets de services

### ETAPE 3

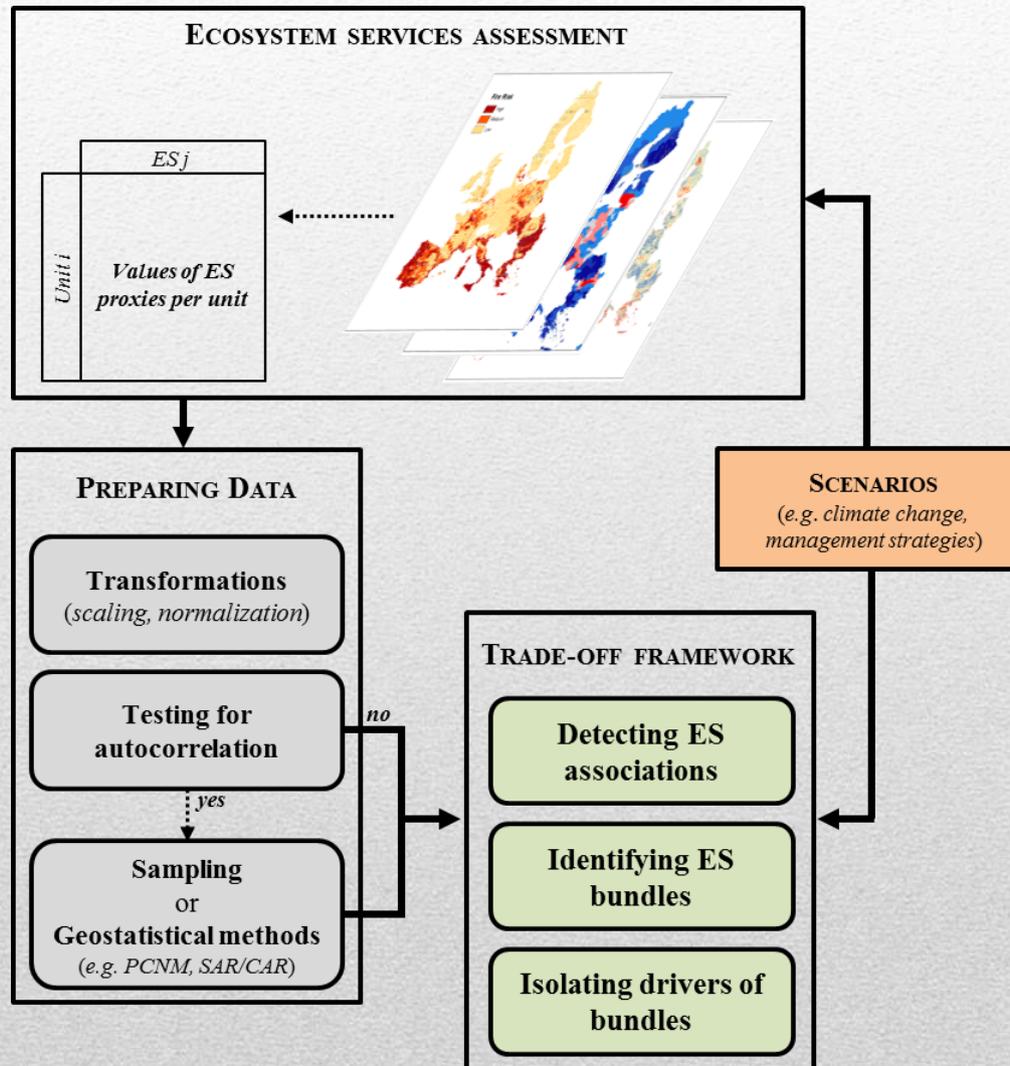
- **IDENTIFICATION DES DÉTERMINANTS DES COMPROMIS/SYNERGIES**
- Biodiversité, intensification de l'utilisation des terres , facteurs socio-économiques ?

### ETAPE 4

- **APPLICATION DES MODÈLES DE SERVICE À PLUSIEURS SCÉNARIOS**
- Carte de prédiction des services
- Evolution future des relations entre services (étapes 2 & 3)

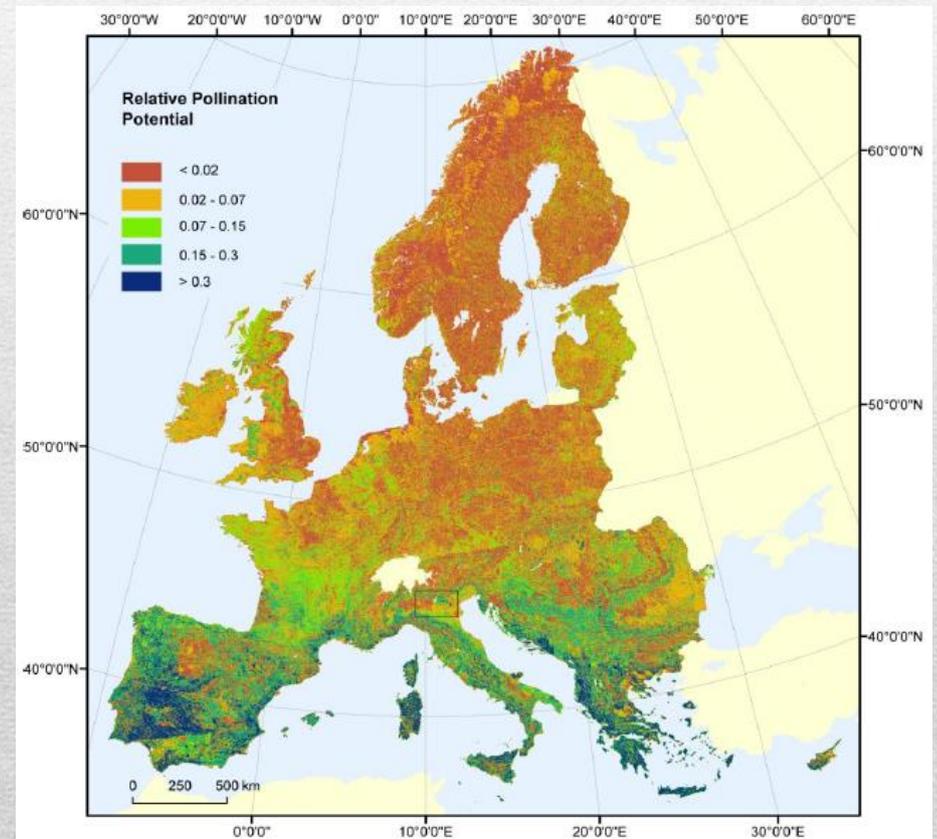
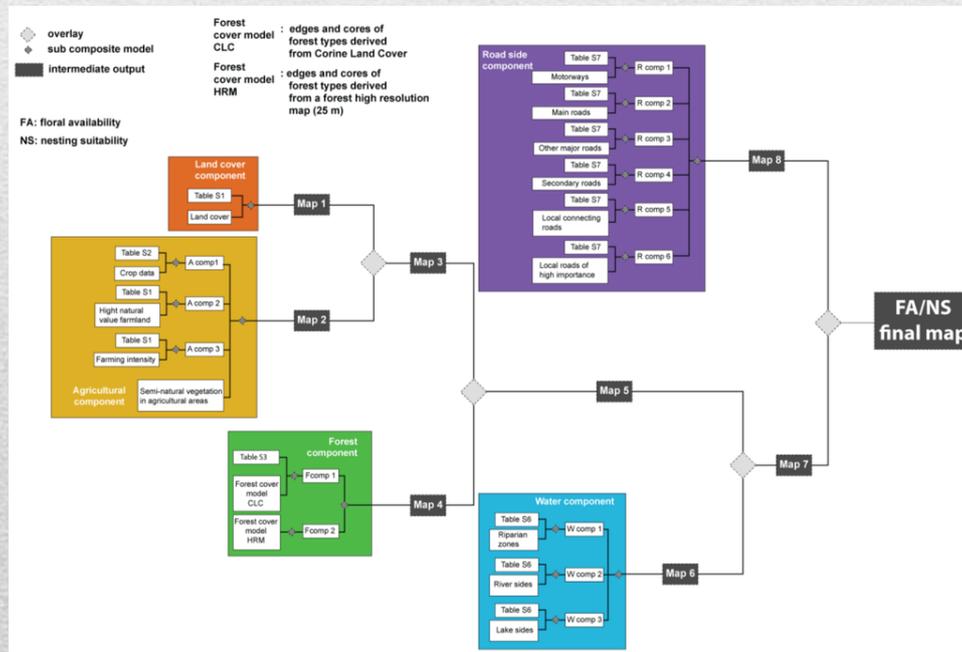
# FOCUS SUR LES SERVICES EUROPÉENS

## DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE



# 1 PIXEL = 1 SERVICE

- Cartographie du service de pollinisation
  - Indicateur : "capacité relative des écosystèmes à soutenir la pollinisation des cultures"

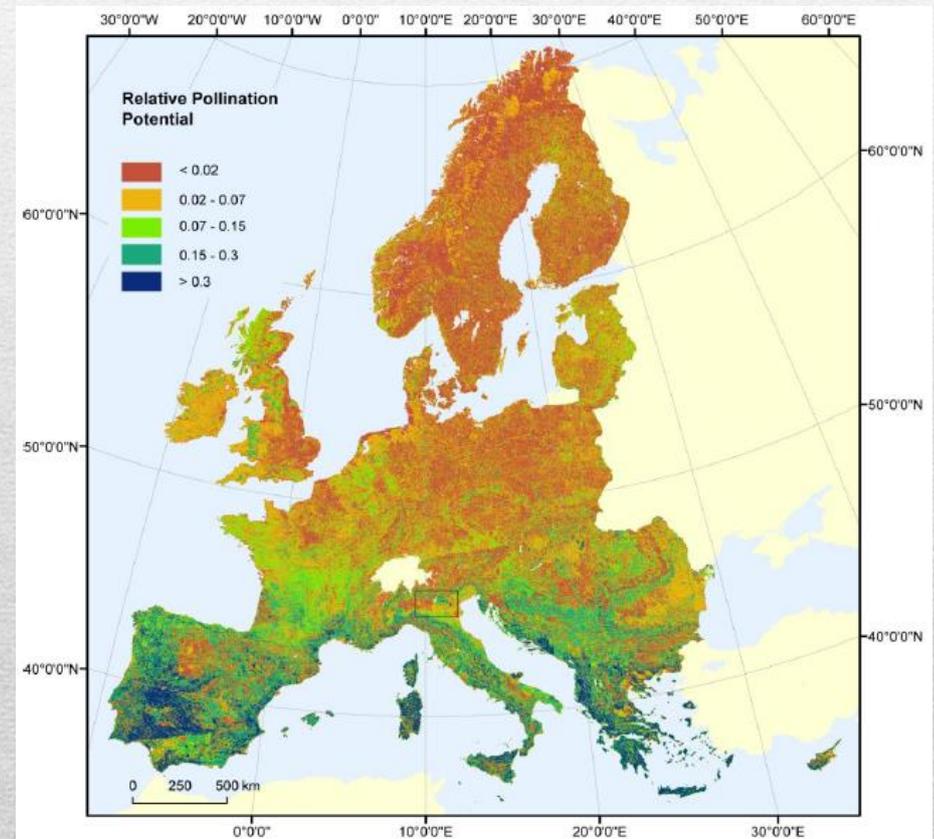
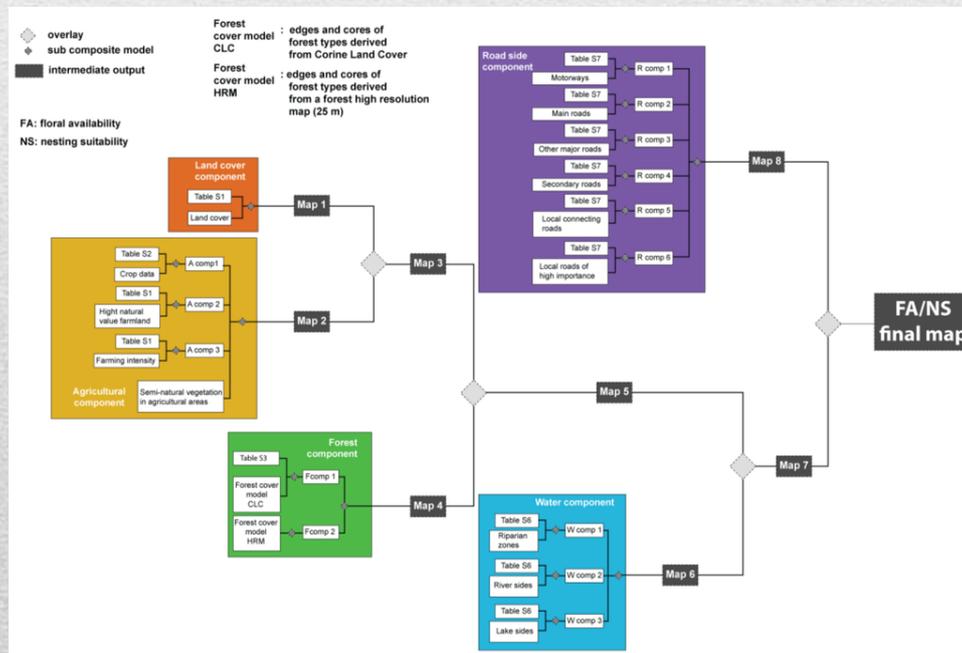


# 1 PIXEL = 1 SERVICE

- Cartographie du service de pollinisation

- Indicateur : "capacité relative des écosystèmes à soutenir la pollinisation des cultures"

=> potentiel

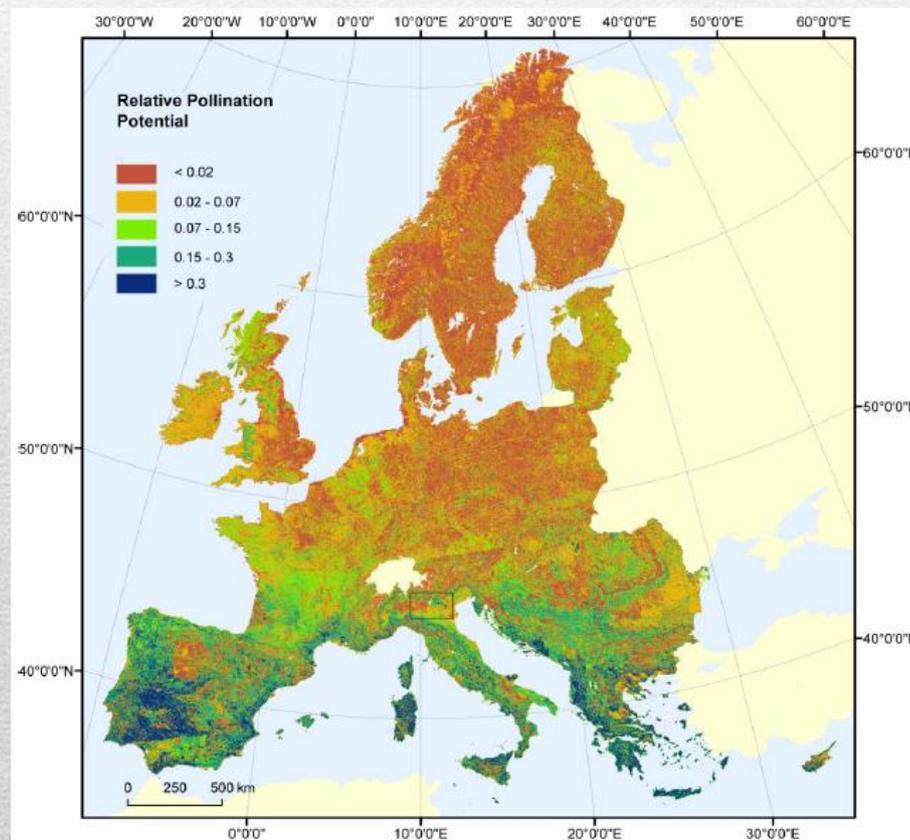
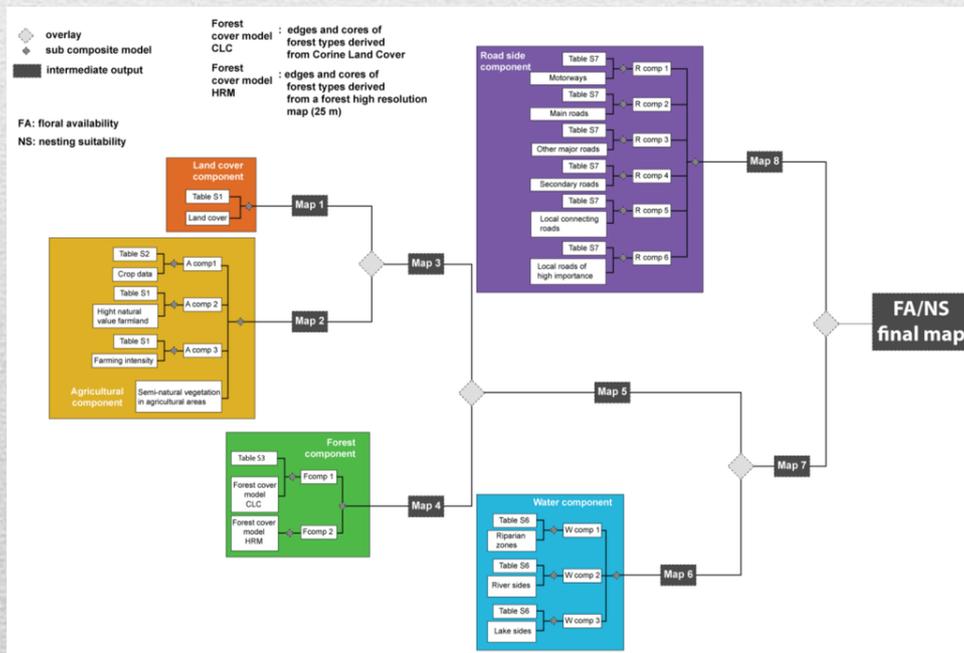


# 1 PIXEL = 1 SERVICE

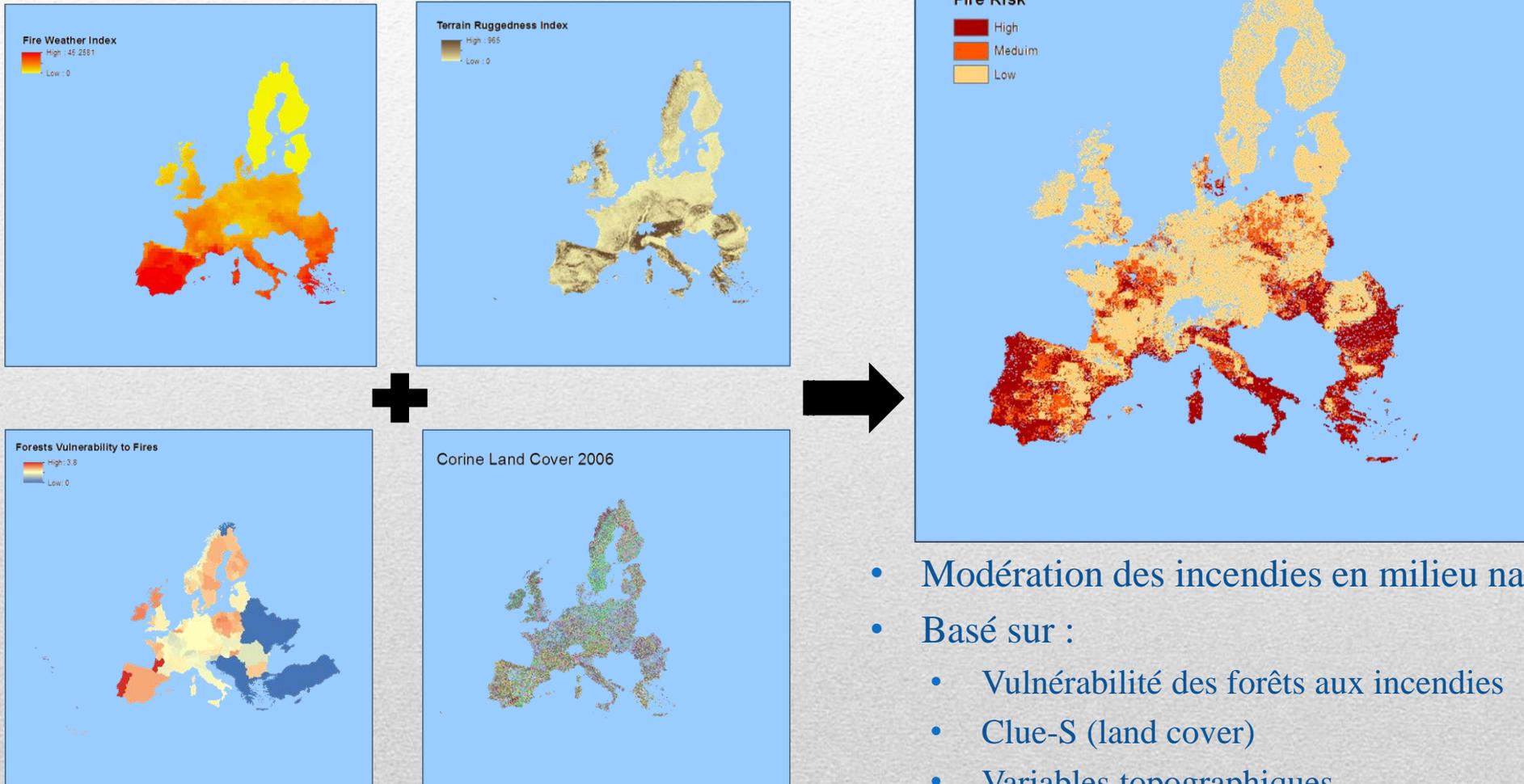
- Cartographie du service de pollinisation
  - Indicateur : "capacité relative des écosystèmes à soutenir la pollinisation des cultures"

=> potentiel

=> lié aux cultures



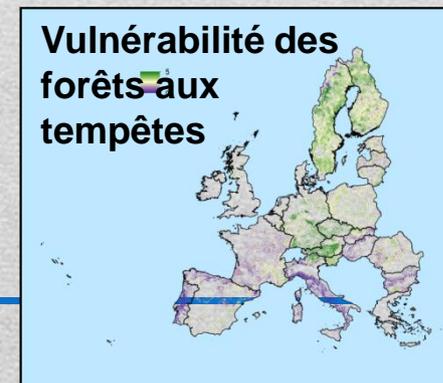
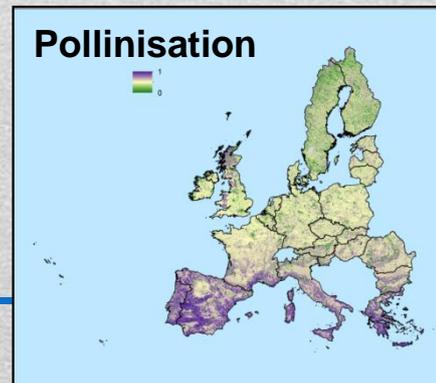
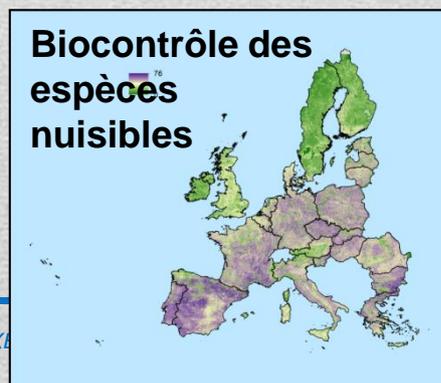
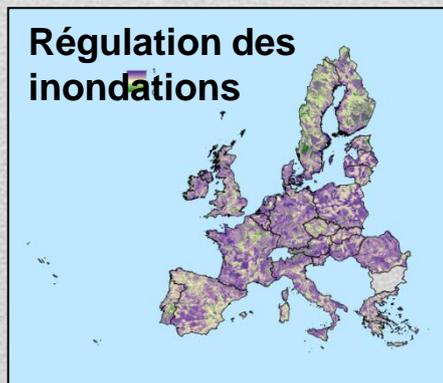
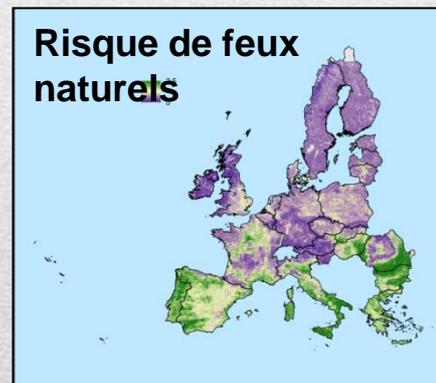
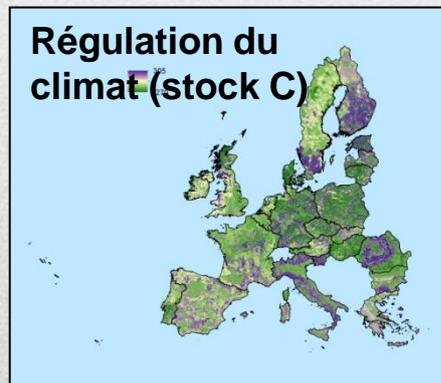
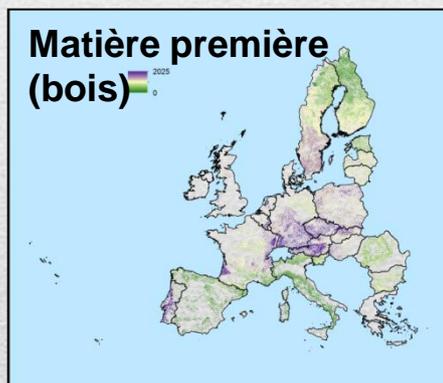
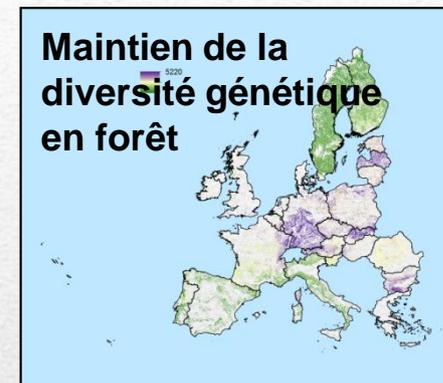
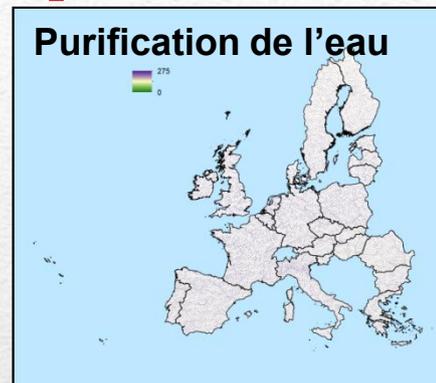
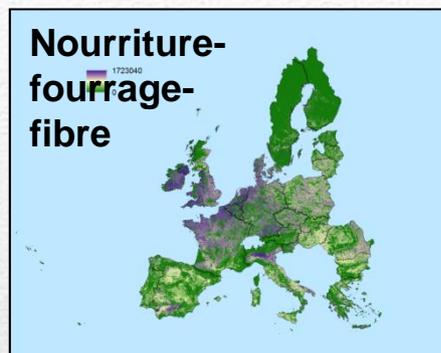
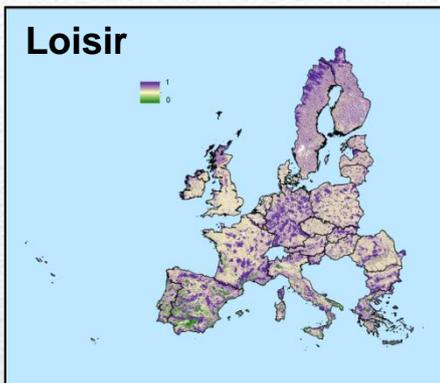
# 1 PIXEL = 2 SERVICES



- Modération des incendies en milieu naturel
- Basé sur :
  - Vulnérabilité des forêts aux incendies
  - Clue-S (land cover)
  - Variables topographiques
  - Fire Weather Index
- Random Forest

# 1 PIXEL = PLUSIEURS SERVICES

Résolution : 1 pixel = 1km<sup>2</sup>



# ASSOCIATIONS ENTRE SERVICES

- Détection de l'association entre ES
- > Congruence spatiale entre paire de services

	Cseq	WP	Fire	BC	Flood	Poll	Leis	Wind	DW	WS	Alien	FFF
Cseq	1	0.33	0.56	0.44	0.56	0.66	0.79	0.89	0.89	0.80	0.73	0.24
WP		1	0.37	0.61	0.45	0.40	0.44	0.09	0.10	0.09	0.66	0.28
Fire			1	0.37	0.53	0.42	0.67	0.51	0.69	0.78	0.75	0.47
BC				1	0.51	0.59	0.49	0.51	0.50	0.36	0.73	0.57
Flood					1	0.54	0.61	0.61	0.64	0.57	0.73	0.50
Poll						1	0.73	0.71	0.74	0.61	0.76	0.25
Leis							1	0.92	0.91	0.92	0.78	0.19
Wind								1	0.60	0.40	0.81	0.03
DW									1	0.67	0.78	0.05
WS										1	0.78	0.04
Alien											1	0.58
FFF												1

## Congruence spatiale entre ES 2 à 2

Fraction de cellules congruentes par rapport à la plus petite surface provision d'ES. Plus le rapport est fort, plus les 2 ES se superposent.

Matière première  
(NUTS2)



Maintien de la diversité génétique  
(NUTS2)



# ASSOCIATIONS ENTRE SERVICES

- Détection de l'association entre ES
- > Congruence spatiale entre paire de services

	Cseq	WP	Fire	BC	Flood	Poll	Leis	Wind	DW	WS	Alien	FFF
Cseq	1	0.33	0.56	0.44	0.56	0.66	0.79	0.89	0.89	0.80	0.73	0.24
WP		1	0.37	0.61	0.45	0.40	0.44	0.09	0.10	0.09	0.66	0.28
Fire			1	0.37	0.53	0.42	0.67	0.51	0.69	0.78	0.75	0.47
BC				1	0.51	0.59	0.49	0.51	0.50	0.36	0.73	0.57
Flood					1	0.54	0.61	0.61	0.64	0.57	0.73	0.50
Poll						1	0.73	0.71	0.74	0.61	0.76	0.25
Leis							1	0.92	0.91	0.92	0.78	0.19
Wind								1	0.60	0.40	0.81	0.03
DW									1	0.67	0.78	0.05
WS										1	0.78	0.04
Alien											1	0.58
FFF												1

## Congruence spatiale entre ES 2 à 2

Fraction de cellules congruentes par rapport à la plus petite surface provision d'ES. Plus le rapport est fort, plus les 2 ES se superposent.

Matière première  
(NUTS2)



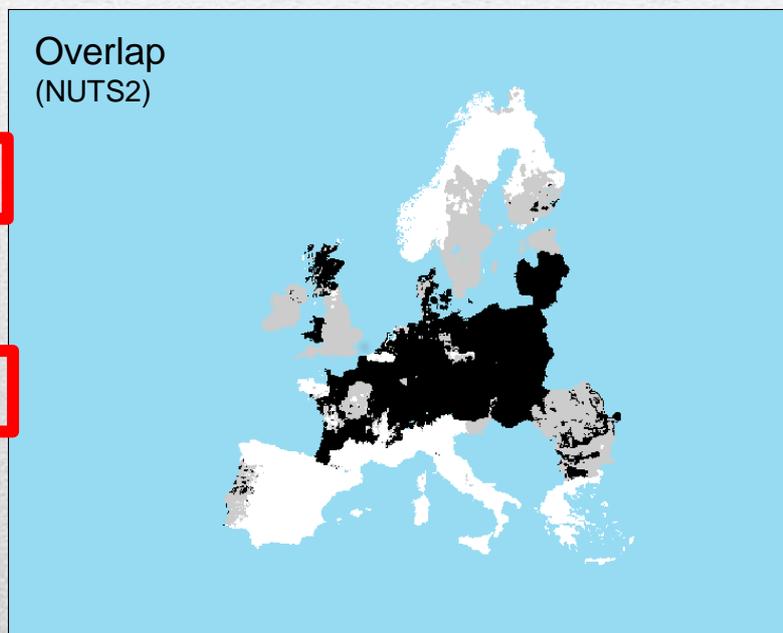
Maintien de la diversité génétique  
(NUTS2)



# ASSOCIATIONS ENTRE SERVICES

- Détection de l'association entre ES
- > Congruence spatiale entre paire de services

	Cseq	WP	Fire	BC	Flood	Poll	Leis	Wind	DW	WS	Alien	FFF
Cseq	1	0.33	0.56	0.44	0.56	0.66	0.79	0.89	0.89	0.80	0.73	0.24
WP		1	0.37	0.61	0.45	0.40	0.44	0.09	0.10	0.09	0.66	0.28
Fire			1	0.57	0.55	0.42	0.67	0.51	0.89	0.78	0.73	0.47
BC				1	0.51	0.59	0.49	0.51	0.50	0.36	0.73	0.57
Flood					1	0.54	0.61	0.61	0.64	0.57	0.73	0.50
Poll						1	0.78	0.71	0.71	0.81	0.73	0.28
Leis							1	0.92	0.91	0.92	0.78	0.19
Wind								1	0.80	0.40	0.81	0.05
DW									1	0.67	0.78	0.05
WS										1	0.78	0.04
Alien											1	0.58
FFF												1



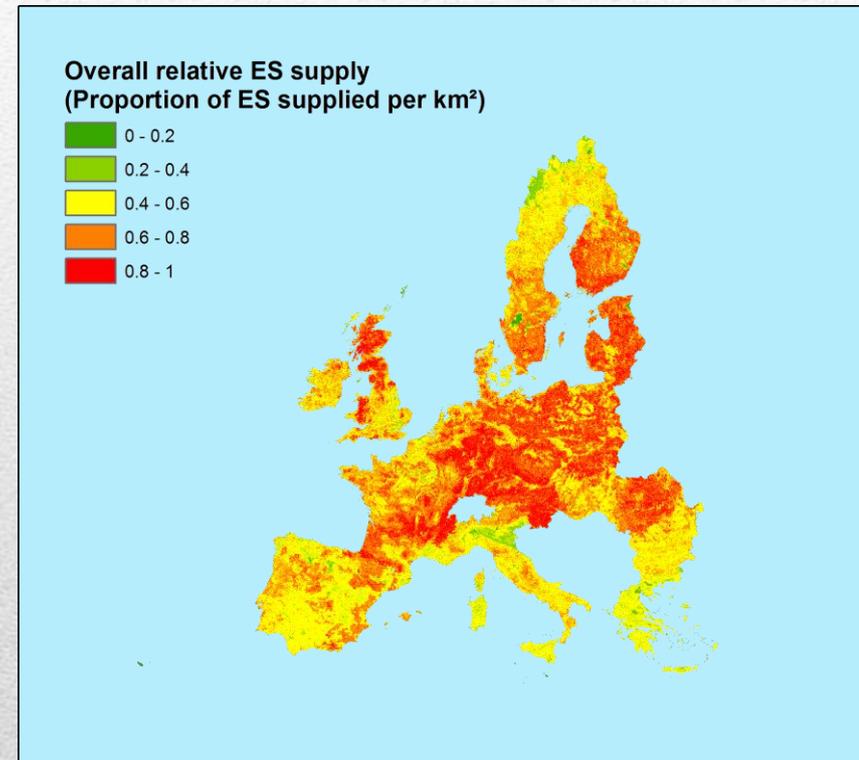
## Congruence spatiale entre ES 2 à 2

Fraction de cellules congruentes par rapport à la plus petite surface provision d'ES. Plus le rapport est fort, plus les 2 ES se superposent.

# 1 PIXEL = PLUSIEURS SERVICES

## > Europe globalement multifonctionnelle

(i.e. fourniture simultanée de plusieurs services dans un même pixel)

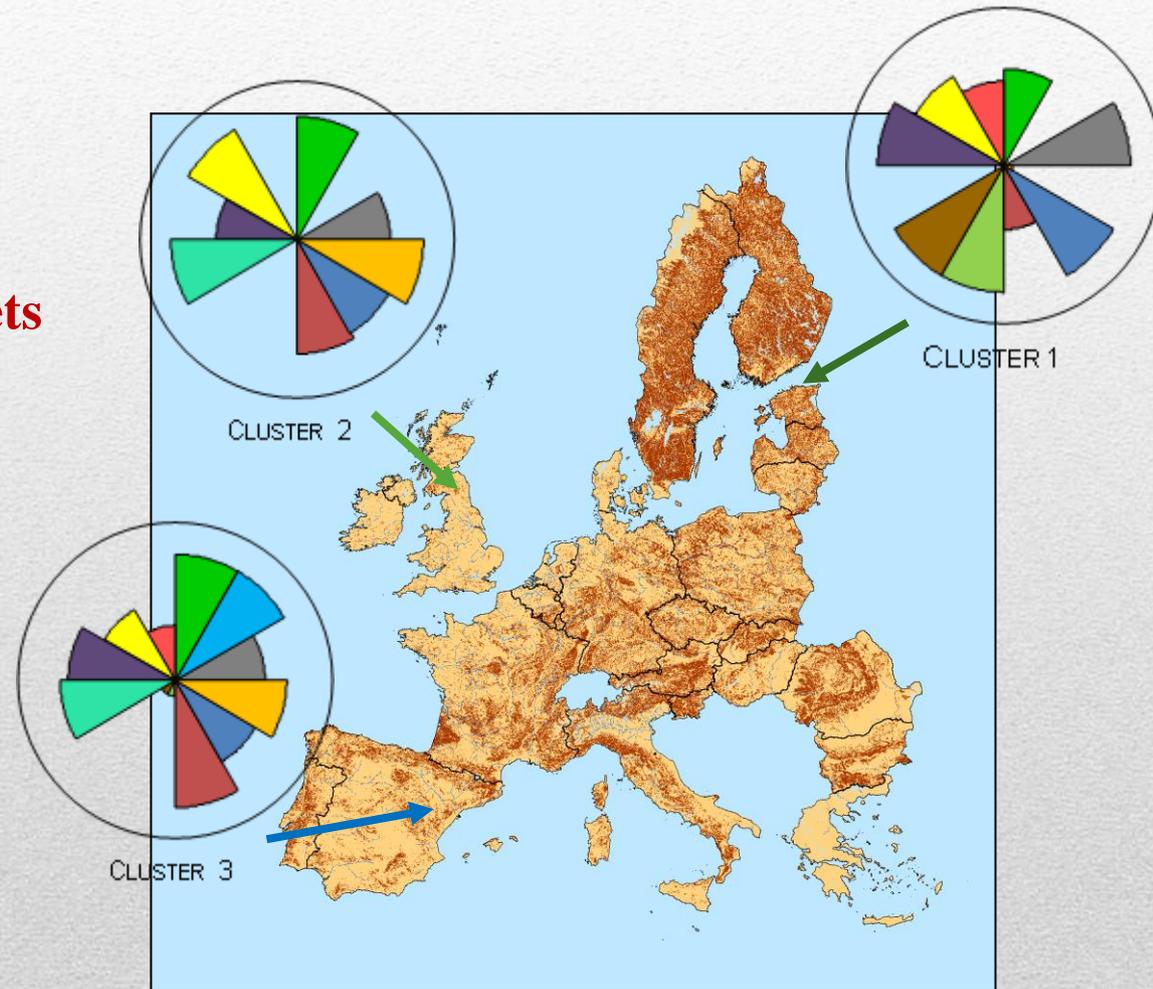


**Provision multi-ES en Europe.** Nombre d'ES fournis parmi les 11 ES étudiés au sein du projet VOLANTE.

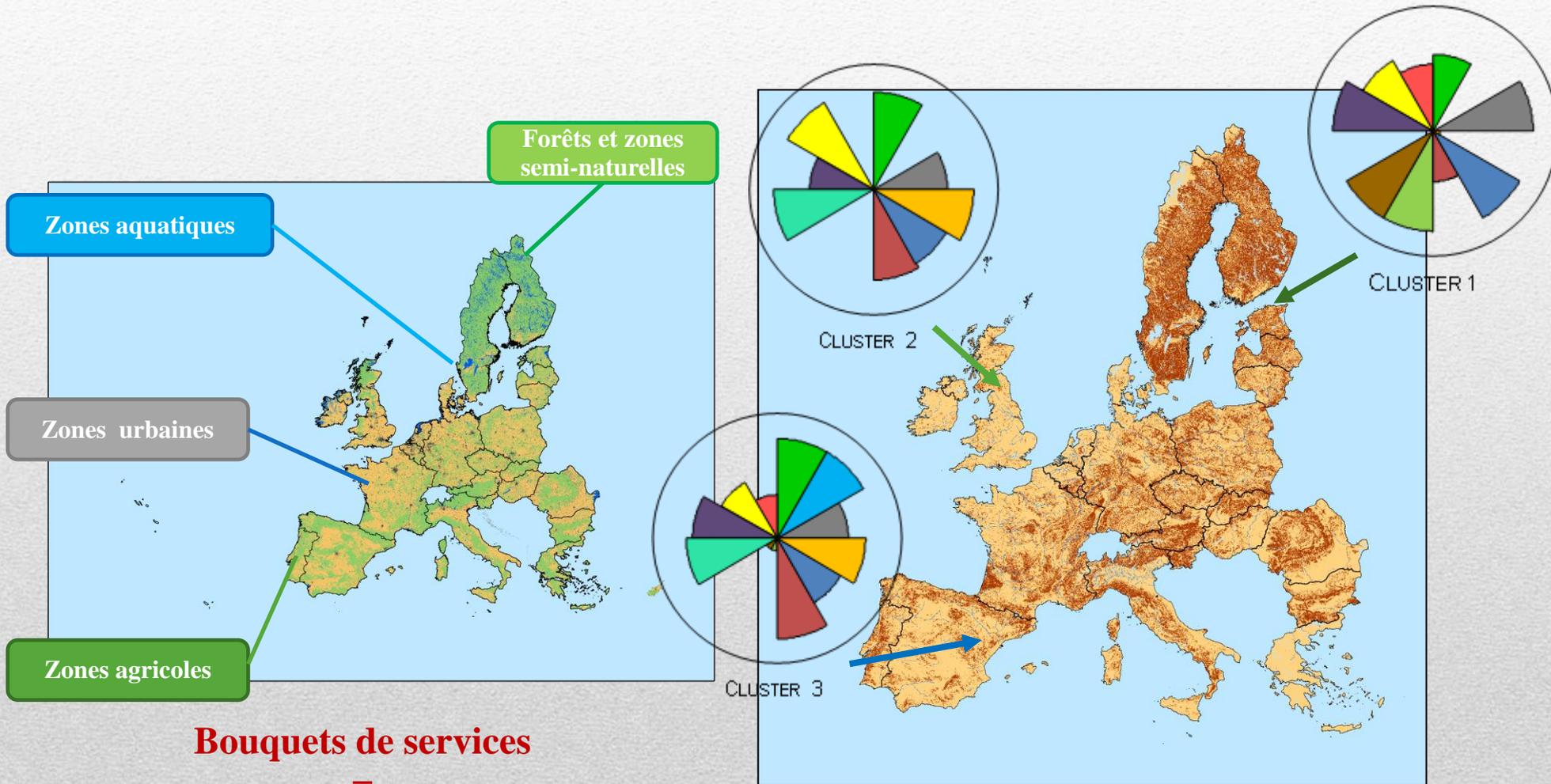
# DES BOUQUETS DE PIXELS

- **Ségrégation spatiale des bouquets de services écosystémiques**

- *Méthode : Carte auto-adaptative*



# DES BOUQUETS DE PIXELS



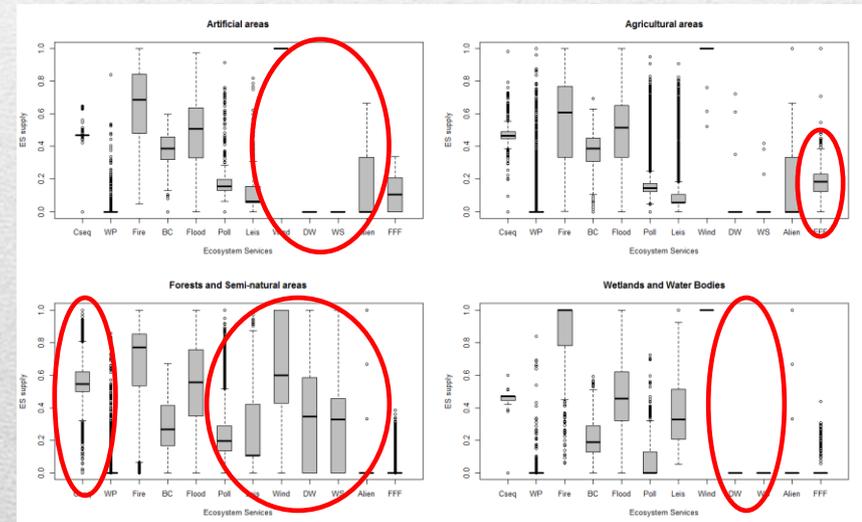
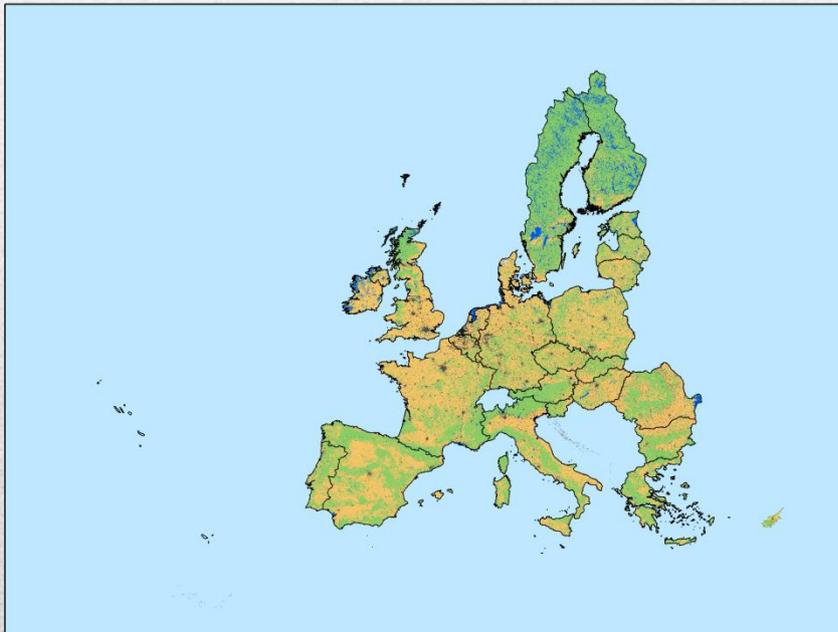
**Bouquets de services**

=

**grands types de *land use land cover***

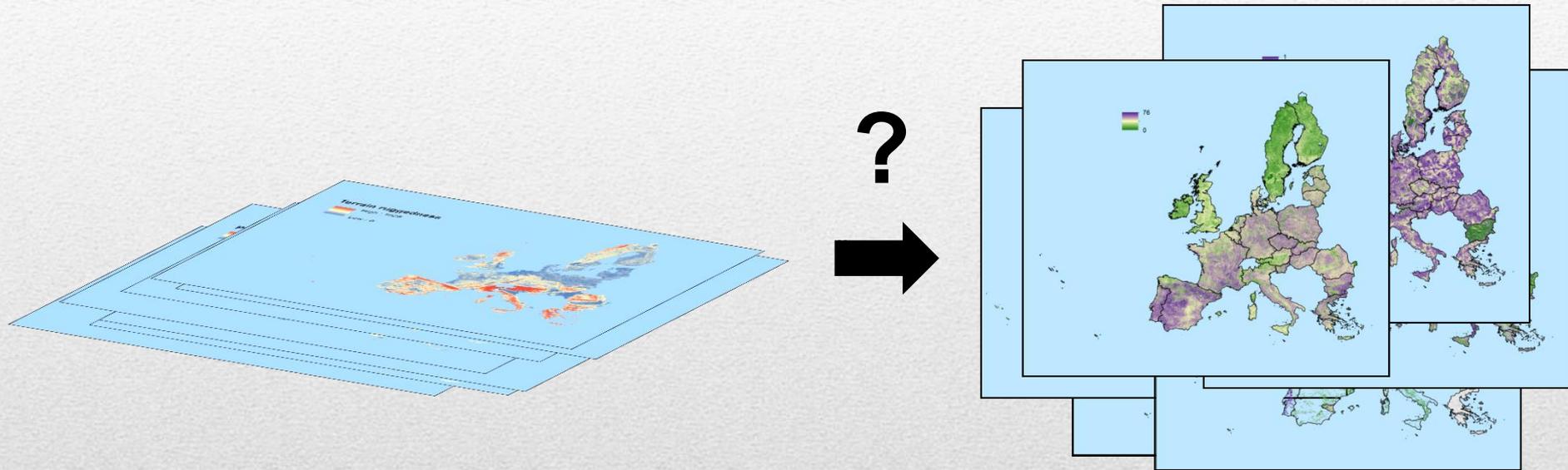
- |        |      |      |         |         |        |
|--------|------|------|---------|---------|--------|
| ■ Cseq | ■ WP | ■ BC | ■ Fire  | ■ Poll  | ■ Leis |
| ■ Wind | ■ DW | ■ WS | ■ Alien | ■ Flood | ■ FFF  |

# DIS-MOI OÙ TU VIS, JE TE DIRAI QUELS SERVICES TU AURAS...



La provision relative des services diffère entre les types de LULC

# QUEL(S) FACTEUR(S) INFLUENCE(NET) LA CONGRUENCE SPATIALE DES ES ?



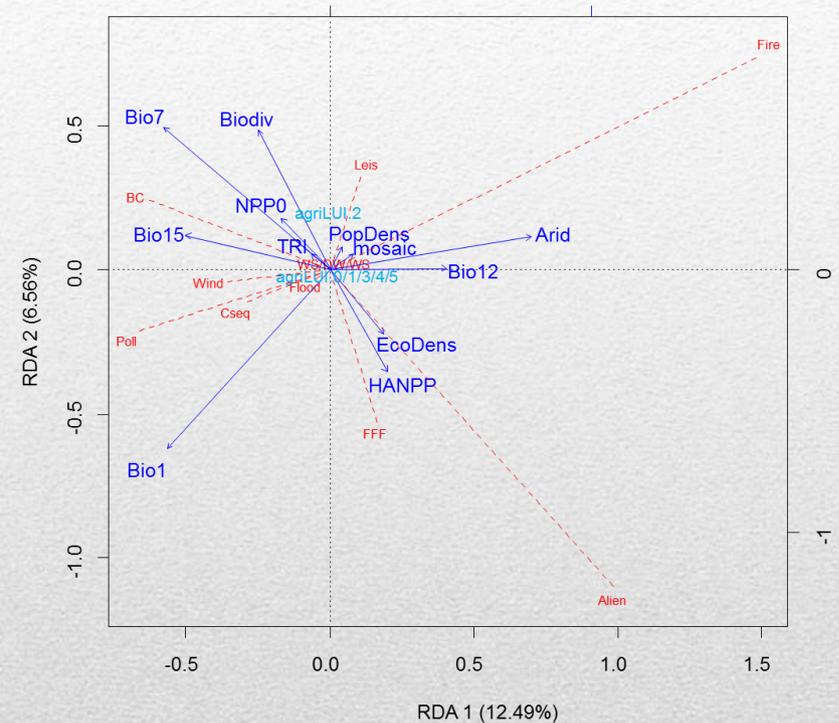
- Déterminants potentiels :
- Occupation du sol (Clue)
- Topographie
- Biodiversité (richesse spécifique en vertébrés terrestres)
- Climat (aridité, température, pluviométrie)
- Productivité primaire (+ HANPP)
- Humain (densité de population, économique, urbanisation)

# QUEL(S) FACTEUR(S) INFLUENCE(NET) LA CONGRUENCE SPATIALE DES ES ?

	ArA	AgA	FSN	WWB
R <sup>2</sup>	0.269	0.243	0.196	0.283
agriLUI	14.57	403.28	52.55	11.72
Arid	-	30.56	523.16	-
Bio1	27.75	1721.61	1574.65	33.19
Bio12	-	74.85	459.75	11.21
Bio15	5.70	106.29	560.89	-
Bio7	30.67	985.88	32.28	121.81
Biodiv	8.30	334.25	129.77	11.31
EcoDens	4.86	47.52	19.76	7.11
HANPP	4.00	85.05	440.36	13.86
LCC	-	-	-	133.55
mosaic	10.85	12.98	-	-
NPP0	3.47	272.52	118.25	3.97
PopDens	2.60	57.52	5.00	-
TRI	3.07	30.98	208.51	3.64

## Sélection des déterminants potentiels par type d'occupation de sol.

R<sup>2</sup> du modèle choisi en fin de procédure. Statistique F pour chaque variable dans le modèle choisi.



RDA illustrant les relations entre déterminants et ES dans les zones agricoles.

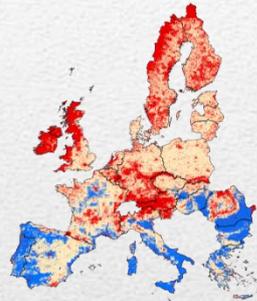
**Pb => déterminants des ES = caractéristiques des types d'occupation des sols**

# DES PIXELS TRÈS (PEU) SERVIABLES

Cartographie des hotspots/coldspots de fourniture de service

Hotspot : valeur du pixel élevée

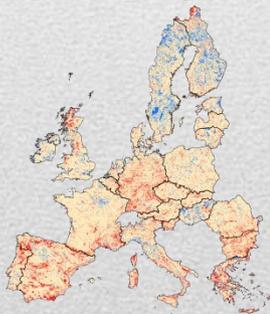
Coldspot : valeur du pixel faible



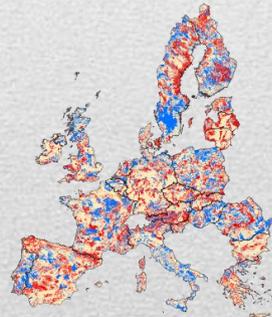
Modération des risques d'incendie



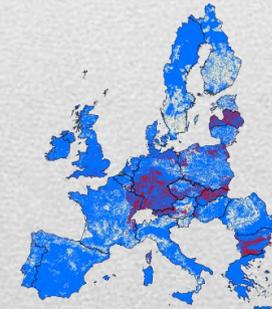
Pollinisation



Nombre d'ES fournis par pixel



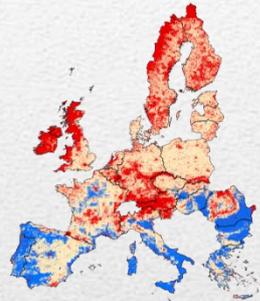
Modération des risques d'inondation



Maintien de la diversité génétique en forêt

# DES PIXELS TRÈS (PEU) SERVIABLES

## Congruence des hotspots ?



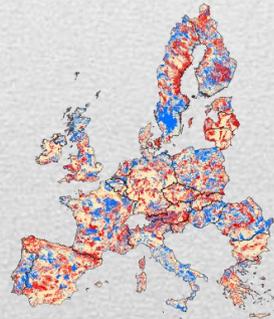
Modération des risques d'incendie



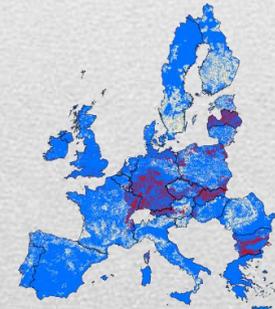
Pollinisation



Nombre d'ES fournis par pixel



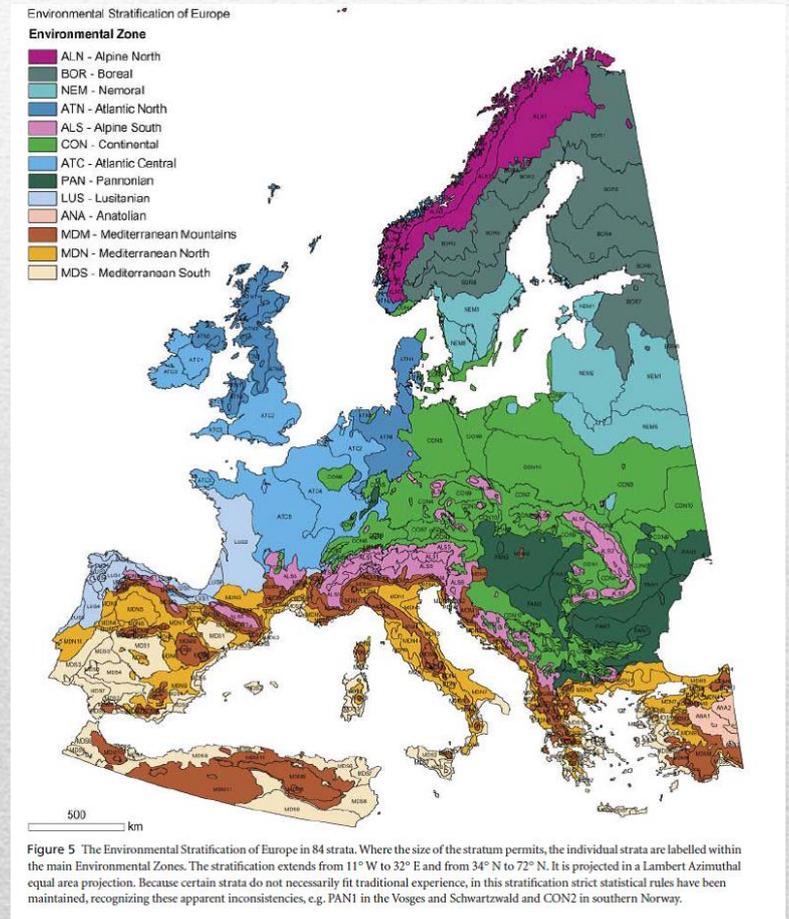
Modération des risques d'inondation



Maintien de la diversité génétique en forêt

# DES PIXELS TRÈS (PEU) SERVIABLES

- Hotspots principalement localisés en :
  - Terres arables non irrigués (bioctrl, FFF)
  - Praires pâturées (pur. eau, feu, bioctrl, FFF)
  - Végétation (semi-)naturelle (poll, loisir, multi-ES)
  - Forêts (tous les ES sauf FFF)
- Ecorégion continentale (tous ES)
- Atlantique centrale (pur. eau, tempêtes, FFF)
- Nord Méditerranée (bioctrl, pur. eau, poll, tempêtes, multi-ES)
- Sud Méditerranée (bioctrl, poll, multi-ES)



(Metzger et al 2005, GEB)

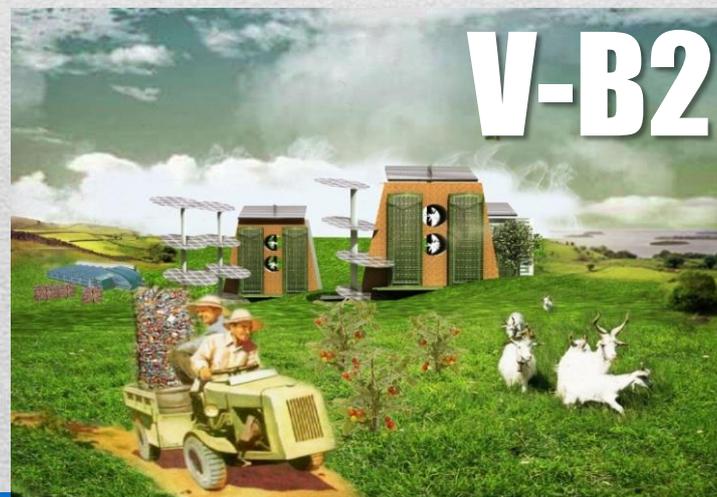
# LE FUTUR SELON VOLANTE (SRES MODIFIÉS)

## Global



## Economie

## Environnement



# LE FUTUR SELON VOLANTE (SRES MODIFIÉS)

## Global

**WVA1**

9 milliards d'humains en 2010,  
Libéralisation des échanges  
Fortes demandes pour le bétail  
Faible régulation de l'occupation des sols => perte de surfaces forestières et de biodiversité  
Niveaux d'émission faibles à moyens, impacts climatiques moyens

**W-B1**

9 milliards d'humains en 2050,  
Libéralisation des échanges  
Alimentation durable  
Régulation de l'occupation des sols au niveau global pour le climat, la conservation des forêts et de la biodiversité  
Niveaux d'émission faibles, impacts climatiques moyens

## Economie

**WVA1**

15 milliards d'humains en 2010,  
Business as usual  
Fortes demandes pour le bétail  
Faible régulation de l'occupation des sols => perte de surfaces forestières et de biodiversité  
Niveaux d'émission faibles à moyens, impacts climatiques moyens

## Environnement

**W-B2**

10 milliards d'humains en 2050,  
Echanges commerciaux régionaux  
Fortes demandes pour le bétail  
Régulation de l'occupation des sols au niveau régional pour le climat, la conservation des forêts et de la biodiversité  
Niveaux d'émission faibles à moyens, impacts climatiques moyens

# LE FUTUR SELON VOLANTE (SRES MODIFIÉS)

## Global

### V-A1



### V-B1



1. Protection de la nature
2. Régulation de la qualité de l'eau (diminution des apports azotés)
3. Amélioration des techniques agricoles/ rendements
4. Economie verte et bioénergie
5. Paiement pour stockage C
6. PES
7. Augmentation des emplois ruraux via CAP
8. Compaction des zones urbaines
9. Limitation des effets climatiques et adaptation
10. Régulation du climat via l'agriculture
11. Forte régionalisation du commerce

**Economie**

**Environnement**



# LE FUTUR SELON VOLANTE (SRES MODIFIÉS)

Global



Evolution du pixel d'ici  
2040 ??

Economie

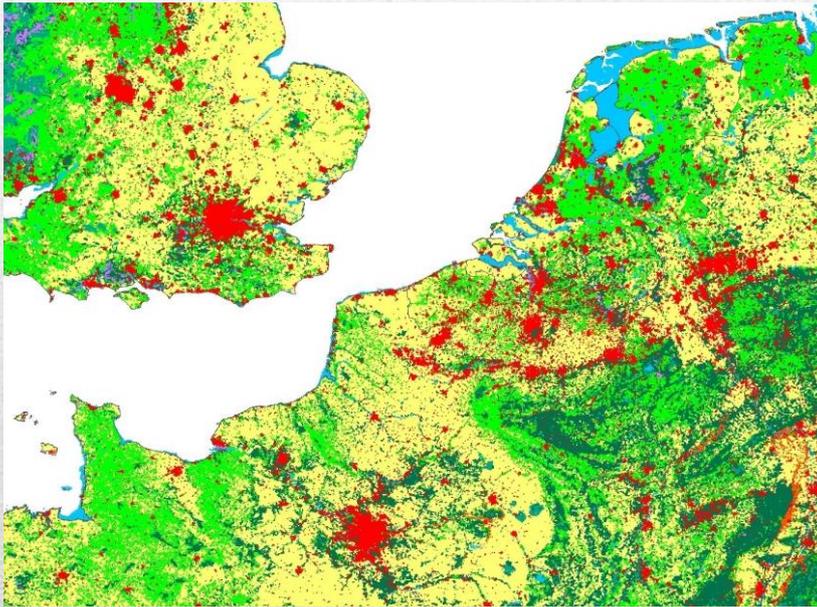
Environnement



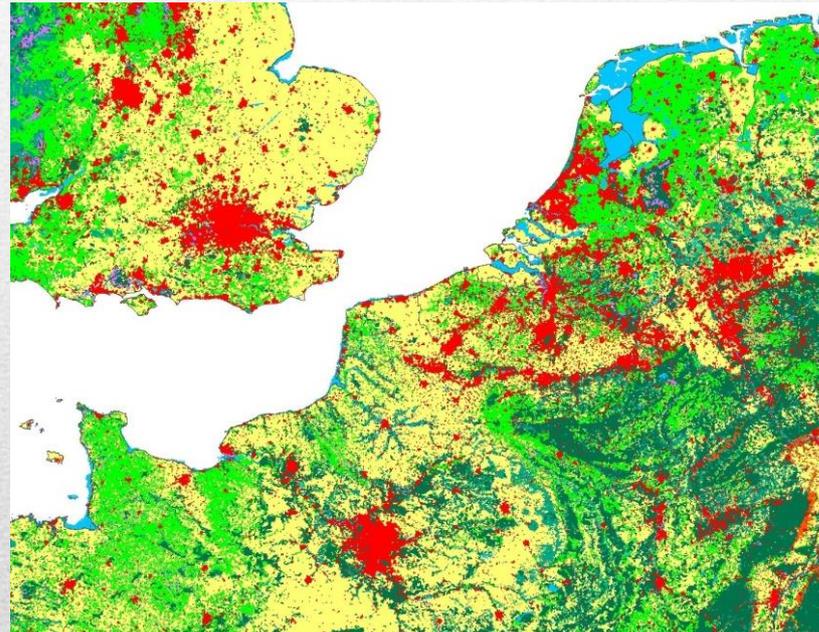
Local

# OÙ ACHETER SA MAISON EN 2040 ?

2005



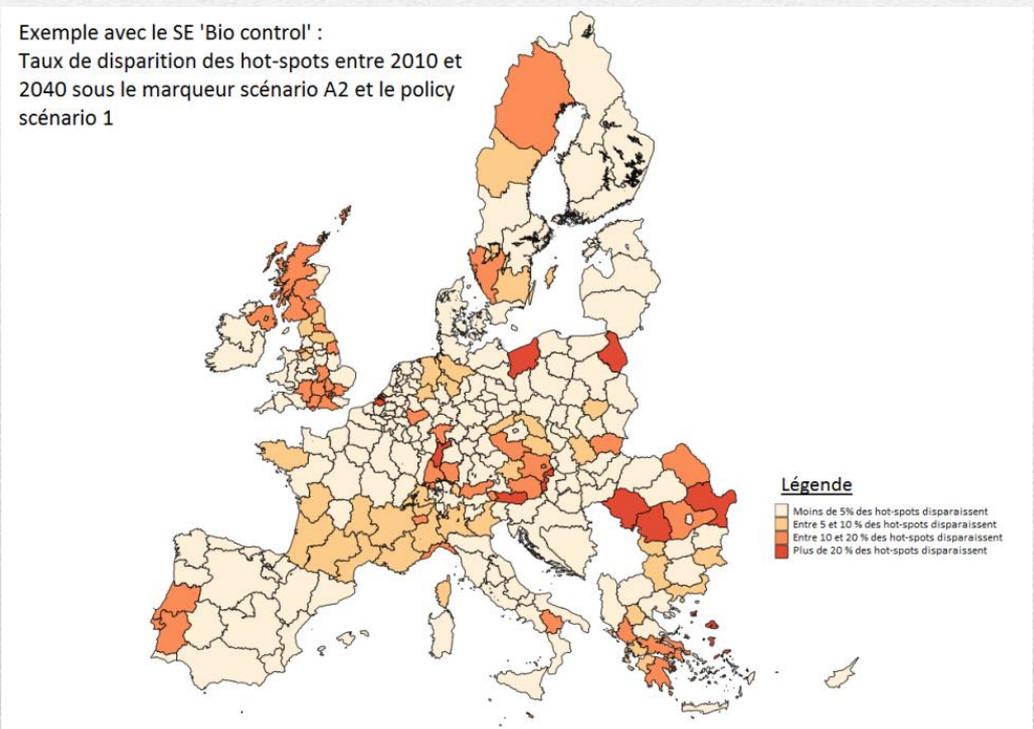
2040 (A2)



Changements d'occupation des sols très localisés  
=> accroissement des mégalopoles (Londres, Paris, etc) et des forêts

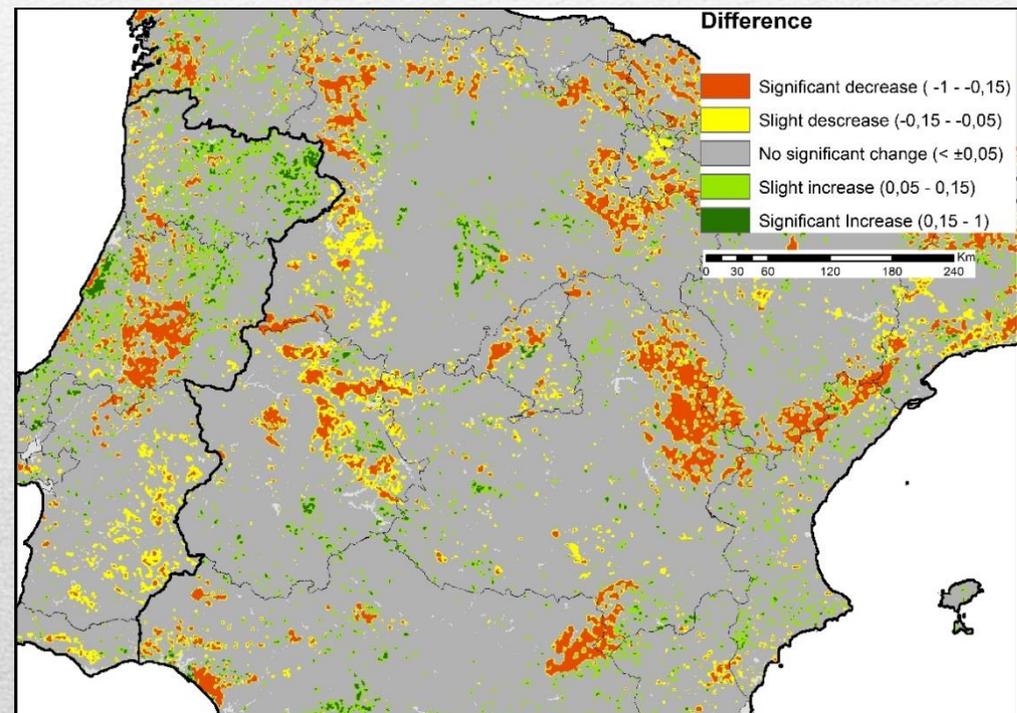
# OÙ ACHETER SA MAISON EN 2040 ?

- Travail en cours...
- A première vue, peu de variation entre 2010 et 2040



# OÙ ACHETER SA MAISON EN 2040 ?

- Travail en cours...
- A première vue, peu de variation entre 2010 et 2040



Pollinisation - Différence entre 2010 et 2040 (A2 VPS5)

# EN CONCLUSION

- **Les conclusions dépendent entièrement des ES choisis**
  - Europe multifonctionnelle MAIS plusieurs ES de production (nourriture/fourrage/fibre, matières premières)
  - Communication aux parties prenantes
- Patrons spatiaux de fourniture d'ES => reflet des gradients biogéographiques et climatiques
- Synergies et antagonismes surtout liés à la congruence/ségrégation spatiale des ES
  - Processus écologiques liant les ES non pris en compte
  - Liés aux types d'occupation des sols
    - Exemple: le maintien de la diversité génétique et l'approvisionnement en matière premières sont spatialement congruents car ils occupent en forêts

# EN CONCLUSION

- **Les conclusions dépendent entièrement des ES choisis**
  - Europe multifonctionnelle MAIS plusieurs ES de production (nourriture/fourrage/fibre, matières premières)
  - Communication aux parties prenantes
- **Patrons spatiaux d'ES => reflet des gradients biogéographiques et climatiques**
- Synergies et antagonismes surtout liés à la congruence/ségrégation spatiale des ES
  - Processus écologiques liant les ES non pris en compte
  - Liés aux types d'occupation des sols
    - Exemple: le maintien de la diversité génétique et l'approvisionnement en matière premières sont spatialement congruents car ils occupent en fortis

# EN CONCLUSION

- **Les conclusions dépendent entièrement des ES choisis**
  - Europe multifonctionnelle MAIS plusieurs ES de production (nourriture/fourrage/fibre, matières premières)
  - Communication aux parties prenantes
- **Patrons spatiaux d'ES => reflet des gradients biogéographiques et climatiques**
- **Synergies et antagonismes surtout liés à la congruence/ségrégation spatiale des ES**
  - Processus écologiques liant les ES non pris en compte
  - Liés aux types d'occupation des sols
    - Exemple: le maintien de la diversité génétique et l'approvisionnement en matières premières spatialement congruents car ils se trouvent en forêt uniquement

# EN CONCLUSION

- **Les conclusions dépendent entièrement des ES choisis**
  - Europe multifonctionnelle MAIS plusieurs ES de production (nourriture/fourrage/fibre, matières premières)
  - Communication aux parties prenantes
- **Patrons spatiaux d'ES => reflet des gradients biogéographiques et climatiques**
- **Synergies et antagonismes surtout liés à la congruence/ségrégation spatiale des ES**
  - Processus écologiques liant les ES non pris en compte
  - Liés aux types d'occupation des sols
    - Exemple: le maintien de la diversité génétique et l'approvisionnement en matières premières spatialement congruents car ils se trouvent en forêt uniquement
- **Peu de différence entre les scénarios**

# EN CONCLUSION

- **Plusieurs (nombreuses !) difficultés**
  - Eviter le raisonnement circulaire
  - Gestion des nombreux NA et 0
  - Définir un indice synthétique "multi-ES"
  - Définir des seuils de fourniture/absence d'ES
  - Estimation de potentiels au lieu de valeurs mesurées sur le terrain
  - Pas de variation saisonnière
  - Estimation de la demande
  - Estimation au niveau du pixel => unité paysagère artificielle
  - Analyser des patrons spatiaux => l'autocorrélation spatiale, un biais ou un résultat ?

*Merci pour votre  
attention*

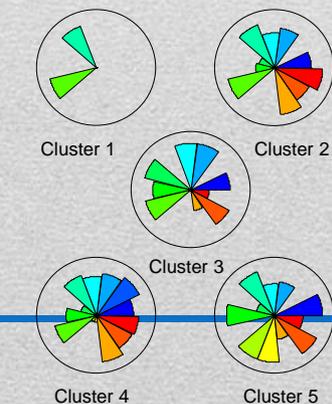
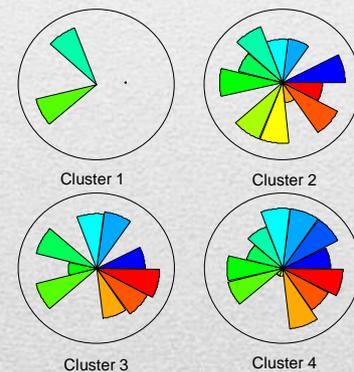
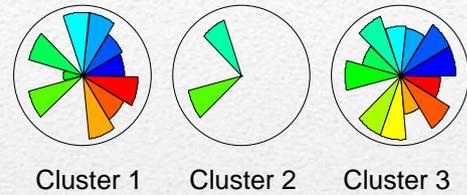
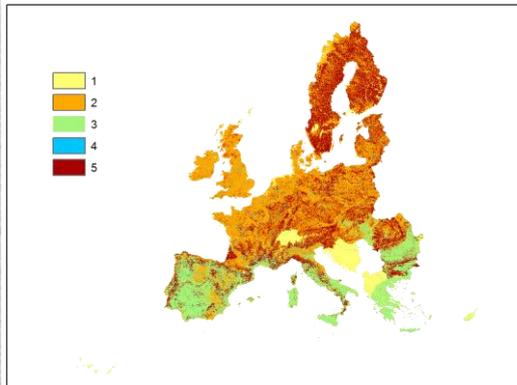
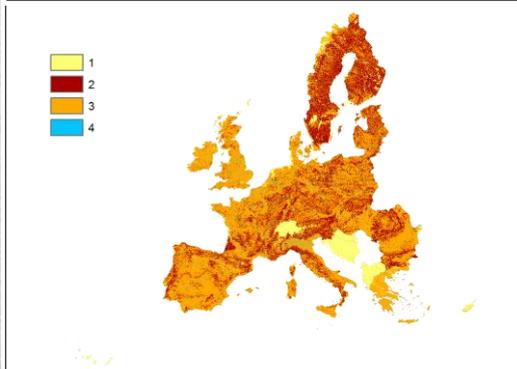
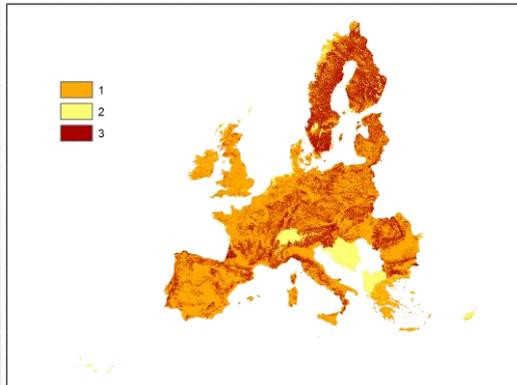
# VOLANTE marker scenario

Quantitative scenario settings in VOLANTE											
Item	Sub-Item	Spatial level	Model	V-A1		V-A2		V-B1		V-B2	
				2020	2040	2020	2040	2020	2040	2020	2040
<b>Demography (Population)</b>		Global	ReMIND/MAGPIE	7.6 billion	8.5 billion	8.2 billion	10.3 billion	7.6 billion	8.5 billion	7.7 billion	8.9 billion
<b>Economic growth (GDP)</b>		Global	ReMIND/MAGPIE	x US\$ per capita (global average)	x US\$ per capita (global average)	x US\$ per capita (global average)	x US\$ per capita (global average)				
		EU-27/ Country	LEITAP/MAGNET	x% growth rate (EU-27)	x% growth rate (EU-27)	x% growth rate (EU-27)	x% growth rate (EU-27)				
<b>Trade</b>		Global	ReMIND/MAGPIE	Trade liberalisation	Trade liberalisation	Continuous trade patterns	Continuous trade patterns	Trade liberalisation	Trade liberalisation	Highly regionally self-sufficient	Highly regionally self-sufficient
		Global/ EU-27/ Country	LEITAP/MAGNET	x% tariff reduction	x% tariff reduction	x% tariff reduction	x% tariff reduction				
			EFI-GTM	x% tariff reduction	x% tariff reduction	x% tariff reduction	x% tariff reduction				
<b>Agricultural productivity</b>		Global	ReMIND/MAGPIE								
		Global/ EU-27/ Country	LEITAP/MAGNET								
		Country/Nuts	CAPRI								
<b>Consumer behaviour and food demand</b>	Calorie share of animal products	Global	ReMIND/MAGPIE	Increasing demand per capita for calories & livestock products (linked to income growth)	Increasing demand per capita for calories & livestock products (linked to income growth)	Increasing demand per capita for calories & livestock products (linked to income growth)	Increasing demand per capita for calories & livestock products (linked to income growth)	Equal per capita consumption around the world, sustainable diet ("contraction and convergence"); Regional animal share +7% to -20% compared to A1/A2/B2	Equal per capita consumption around the world, sustainable diet ("contraction and convergence"); Regional animal share +11% to -33% compared to A1/A2/B2	Increasing demand per capita for calories & livestock products (linked to income growth)	Increasing demand per capita for calories & livestock products (linked to income growth)
	Demand for animal products	Global	LEITAP/MAGNET	linked to income growth	reduced according to numbers from ReMIND/MAGPIE	reduced according to numbers from ReMIND/MAGPIE	linked to income growth	linked to income growth			
<b>Climate Change</b>	Climate impacts on crop yields and forest NPP	Global/ EU-27/ Country	ReMIND/MAGPIE/ LPJmL		Medium level of emissions (CC: ca. +3C in 2100); medium climate impacts		High level of emissions (CC: GMT ca. +4C in 2100); medium climate impacts		Low Level of Emissions (CC: ca. +2C in 2100); medium climate impacts		Not represented in AR4 Assumed low to medium level of emissions; medium climate

# SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES - VOLANTE

	Ecosystem service	Proxy	Code	Description	Unit	Source
Cultural	Leisure	Recreation potential index	Leis	Potential provided by ecosystems related to the presence of certain ecosystems (i.e. forest, coastline), certain ecosystem characteristics (i.e. naturalness) and their accessibility	Adimensional continuous index	JRC
Provisioning	Food-feed-fibre	Energy content	FFF	Energy content of agricultural production	MJ/ha	JRC
	Raw material	Wood supply	WS	Round wood and harvest residues from thinning and final felling	m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> forest/yr	EFI
Regulating and maintenance	Climate regulation	Carbon sequestration	Cseq	Amount of carbon that is sequestered from land use, land use change and forestry	C/km <sup>2</sup> /yr	IVM VU/EFI
	Water purification	Nitrogen retention capacity	WP	Amount of nitrogen retained in water bodies	Ton of nitrogen removed/km/yr	JRC
	Moderation of extreme events	Fire risk index	Fire	Estimated on the vegetation vulnerability to wildfires, climatic conditions and topography	Probability	LECA/EFI
		Relative water retention	Flood	Related to flood regulation. Based on the variability of the peak discharge at the outlet of a catchment in dependence of land use and soil distribution	Adimensional continuous index	IVM VU
		Wind disturbance risk in forests	Wind	Based on the vulnerability of forest to wind disturbance (see annex D in this deliverable)	Adimensional index	EFI
	Biological control mechanisms	Species providing natural control of invertebrate and rodent pests	BC	Based on the overlaid distributions of species providing pest control	Number of species	LECA
	Pollination	Relative pollination potential provided by wild bees	Poll	Related to the availability of floral resources, bee flight ranges and the availability of nesting sites	Adimensional continuous index	JRC
	Maintenance of genetic diversity	Dead wood	DW	Indicator for biodiversity in forests Related to the resource availability and species richness	Mg dry matter/km <sup>2</sup> forest	EFI
Dis-service	Invasive species	Alien threat score	Alien	Based on the ecological impact and the invasive potential of species	Scores	LECA

# IDENTIFYING ES BUNDLES



- 3 basic groups:
- (semi-)natural and agricultural areas (cluster 1)
- Cluster : low provision of ES (biased by the availability of ES estimates in these regions)
- regions dominated by forest services (cluster 3)
- A fourth group related to water bodies driven by the provision of water purification (cluster 4) and Mediterranean areas stand out as we look deeper into clusters

