



Session 3: Le compte de l'infrastructure écosystémique

Le compte de la couverture des terres

Le compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique (Potentiel et intégrité des paysages et rivières, biodiversité)

*Atelier de formation en CECN dans le cadre de la gestion des aires protégées
en Afrique de l'Ouest*



Le Complexe WAP

Cotonou, 25 - 27 avril 2023

Couverture des terres et longueur des rivières

(hectares ou km)

Carbone écosystémique

Stocks et flux
(en tonnes)

Eau écosystémique

Stocks et flux
(in 1000 m³)

Infrastructure écosystémique

Stocks et flux
(unités pondérées, potentiel et intégrité)

Indice composite
Usage soutenable et Santé

Indice composite
Usage soutenable et Santé

Indice composite
Usage soutenable et Santé

Valeur
écologique
unitaire
moyenne
(en UCE)

Capabilité Écosystémique Carbone

Ressources potentielles x valeur UCE
moyenne

Capabilité Écosystémique Eau

Ressources potentielles x valeur UCE
moyenne

Capabilité Écosystémique de l'Infrastructure

Ressources potentielles x valeur
UCE moyenne

Capabilité Écosystémique Totale (en UCE)

Unités Geo/Statistiques

Bilans quantitatifs

Stocks & flux de
base
Land cover
Rivières

Resource
accessible

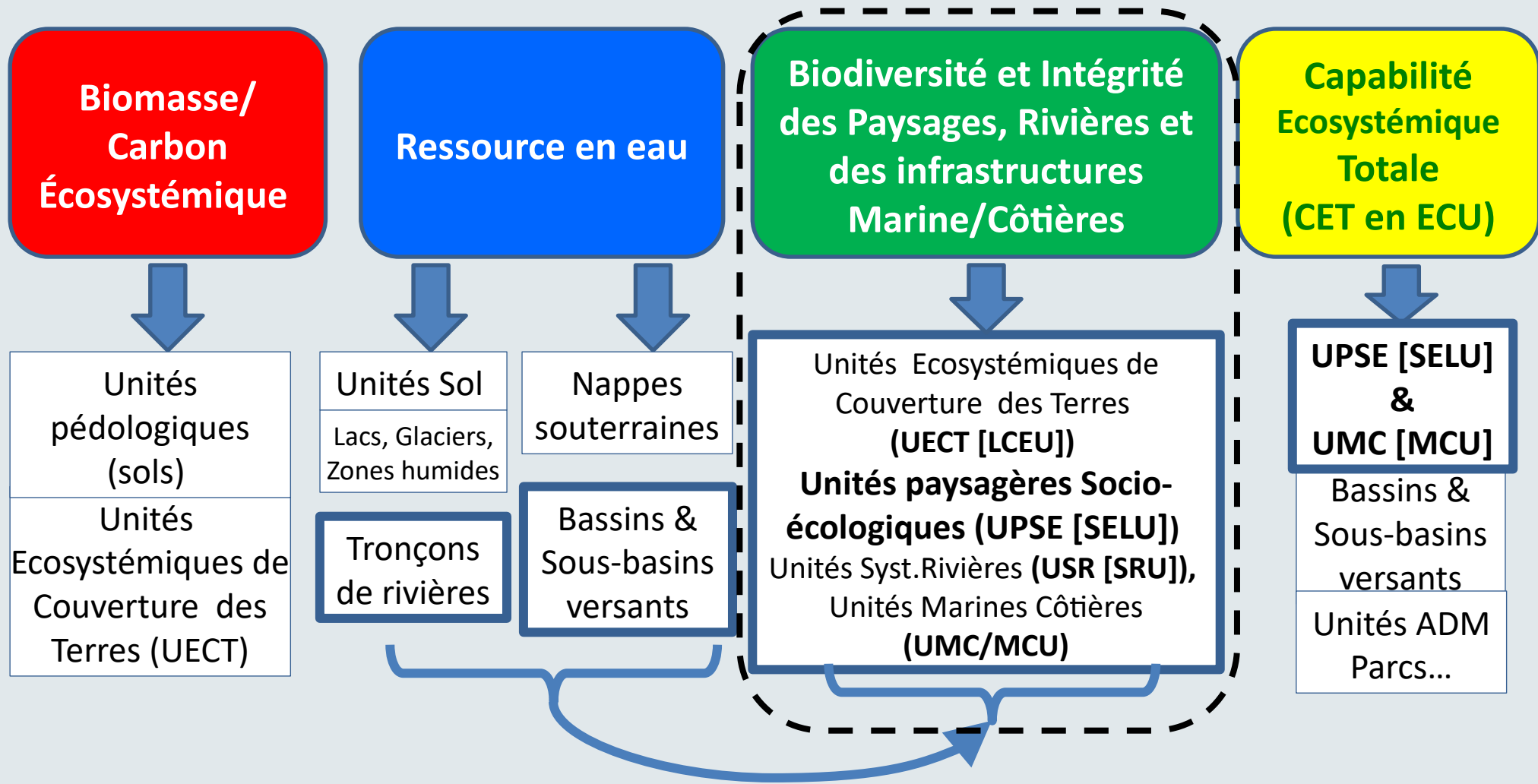
Utilisation
totale

Indices de
Soutenable
de l'utilisation
&
de santé

I. Bilans de base	Stocks de couverture des terres (km²) Formation & consommation de couverture des terres Stocks de rivières (SRMU) Changement des stocks de rivières	Changement net de couverture des terres Changement net du système de rivières
I.1 Bilan de base de la couverture des terres I.2 Bilan de base des rivières		
II. Compte du potentiel accessible de l'infrastructure écosystémique	Stocks de Potentiel Ecosystémique Paysager Stocks de Potentiel Ecosystémique des Rivières Potentiel Total de l'infrastructure Écosystémique	Changement du PEP Changement du PER Changement du PTIE
III. Compte de l'accès global aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique	Accès local de la population au PTIE Accès local au PTIE/ agriculture Accès local au PTIE/ conservation de la Nature Accès par bassin/ services de régulation des eaux Accès régional au PTIE / tourisme Accès planétaire au PTIE/ conservation de la Nature	Changement de l'accès à des services fonctionnels clés fournis par l'infrastructure écosystémique
IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique	Intensité soutenable de l'utilisation de l'infrastructure écosystémique Indice composite de l'état de santé de l'infrastructure écosystémique	Changement annuel de la valeur unitaire interne de l'infrastructure écosystémique

Structure de la CECN :
Compte de l'infrastructure
écosystémique

Les comptes de l'infrastructure écosystémiques sont intégrés par UPSE



Rappel à propos des UPSE [1]

- Les comptes écosystémiques du capital naturel visent à mesurer la capacité des écosystèmes à se maintenir et donc leur potentiel durable à fournir des services. Pour réaliser cette évaluation, la CECN définit des unités fonctionnelles pour lesquelles l'intégration de variables essentielles peut être effectuée de manière significative. Ces unités fonctionnelles sont appelées unités paysagères socio-écologiques (UPSE – en anglais SELU) pour souligner le fait que la CECN s'intéresse à tous les écosystèmes, des plus naturels aux plus anthropisés. Les UPSE jouent le même rôle que les unités institutionnelles (entreprises, ménages, services publics...) dans le Système de comptabilité nationale des Nations unies. Cependant, alors que les unités institutionnelles sont définies par rapport à leurs limites légales, les UPSE sont définies comme des unités géographiques.
- Les **synthèses des comptes CECN** où l'on intègre bilans quantitatifs et évaluation de l'état de santé écosystémique sont effectuées par UPSE.

Rappel à propos des UPSE [2]

- Pour saisir à la fois leur caractère socio-écologique et les relations paysagères incluant le réseau de rivières, les UPSE sont cartographiées en utilisant la combinaison de deux dimensions : le type de paysage dominant et l'appartenance à un bassin versant. Techniquement, les cartes des UPSE peuvent être produites de deux manières :
 - a. En produisant une carte des types de paysages dominants (TPD, en anglais DLT) dérivés de l'analyse de la couverture des terres (en logique floue, avec des cartes lissées) et en la croisant avec les limites des bassins versants. C'est la méthodologie proposée dans le manuel CECN-TDR sur la base d'applications expérimentales préalables à l'Agence européenne pour l'environnement. La méthode a été utilisée pour les comptes du bassin du Rhône.
 - b. En utilisant les petits bassins fluviaux comme limite de base et en leur attribuant un type de paysage dominant par l'analyse statistique de la couverture des terres. C'est la méthodologie utilisée pour ECOSEO-Guyanes et pour AfriKENCA.
- Les résultats des deux méthodologies ne sont pas identiques mais les différences ne sont pas si importantes. Par conséquent, il est proposé pour les applications de niveau 1 d'utiliser celle qui est la plus facile à mettre en œuvre, c'est-à-dire la **méthode b**. Les comptes de niveau 2 et 3 peuvent combiner les deux méthodes.

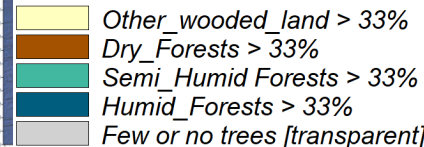
Exemple de caractérisation des UPSE en type paysagers dominants (TPD ; en. DLT)

Les TPD sont ici établis par UPSE en combinant 2 critères :

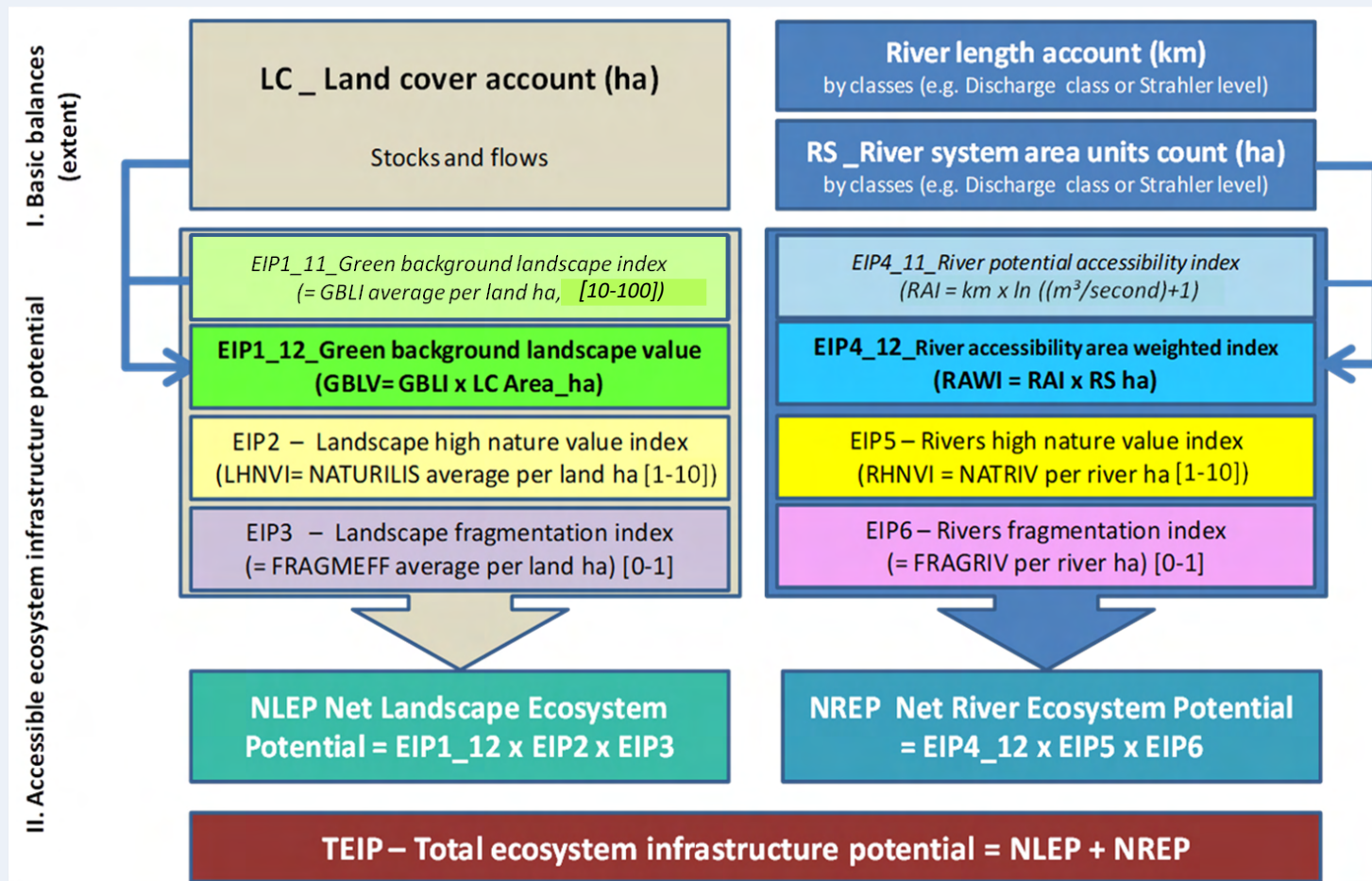
- Couverture des terres caractéristique ou dominante
- « Ombrotypes » de la base ELU de l'USGS regroupés en : sec, semi-humide et humide

**DLT : Types paysagers dominants (TPD)
forêts et autres terres boisées**

DLT_FOREST2019



Le cadre comptable: Comptes de base des étendues [I] et calcul du Potentiel total accessible de l'infrastructure écosystémique [II]



Le cadre comptable: Accès aux services fonctionnels [III]

III. Overall access to ecosystem infrastructure functional services

TEIP – Total ecosystem infrastructure potential = NLEP + NREP

AIP1 – Population's local access to TEIP

AIP2 – Population local access to river services (NREP)

AIP3 – Population's local access to sustainable food

AIP4 – Tourists local access to TEIP

AIP5 – TEIP services potential for local Nature conservation

AIP6 – TEIP services potential for global Nature conservation

AIP99 – Other ecosystem infrastructure functional services

Le cadre comptable : Intensité d'utilisation, Indice de santé écosystémique et Valeur Unitaire Interne moyenne [IV]

IV. Table of indexes of intensity of use and ecosystem health

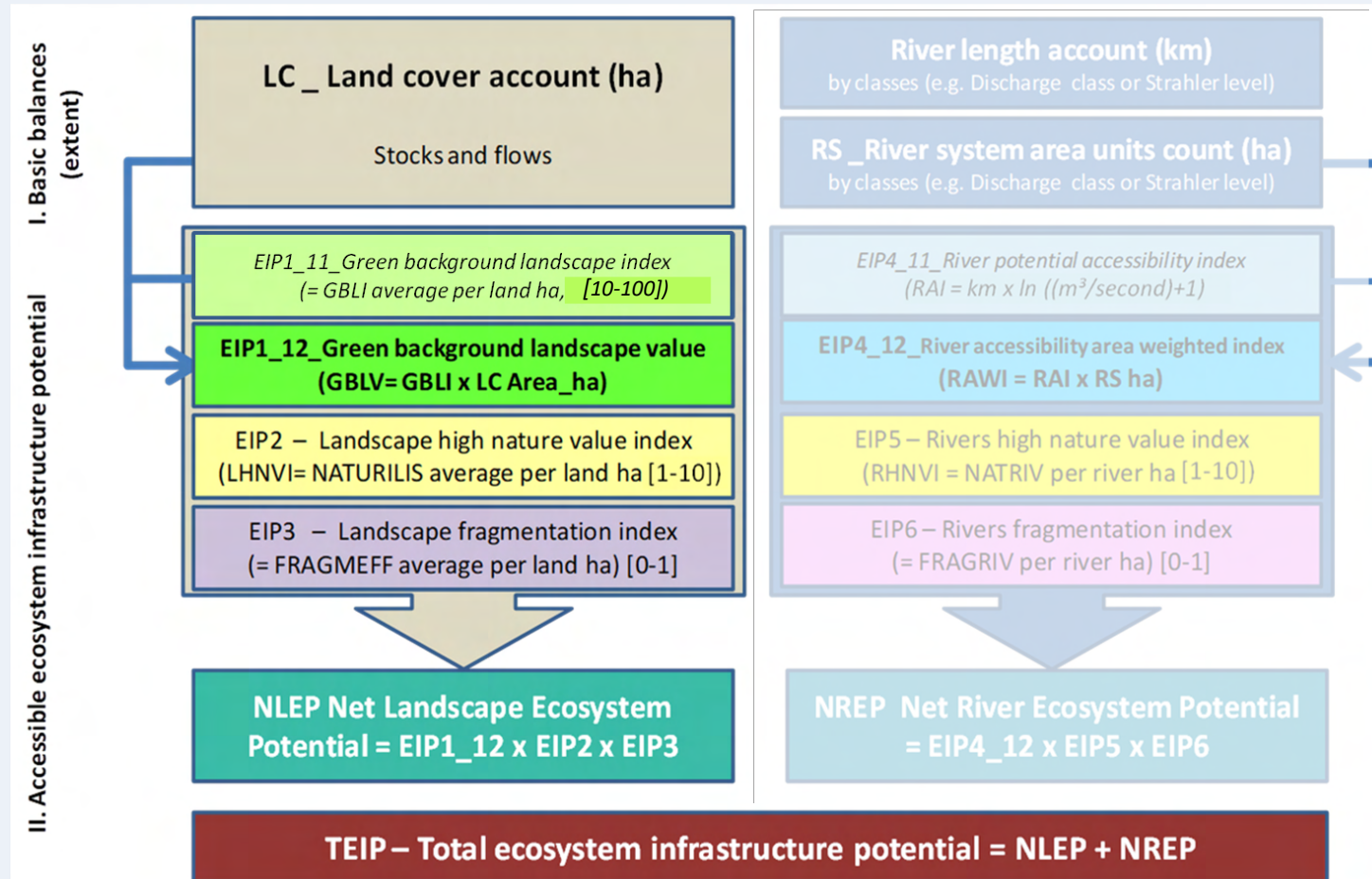
EIU – Ecosystem infrastructure use intensity = TEIP present year /TEIP baseline year

EIH_1	Threatened species diversity
EIH_2	Change in species population
EIH_3	Biotopes health condition/ Vulnerability
EIH_4	Species specialisation index
EIH_5	Other indicator: Extinction risk
EIH_6	Other indicator
EIH_7	Composite index of rivers species diversity, mean value by SELU
EIH_8	Index of change in rivers water quality, mean value by SELU
EIH_9	Index of other rivers health change, mean value by SELU

EIHI – Composite ecosystem infrastructure health index

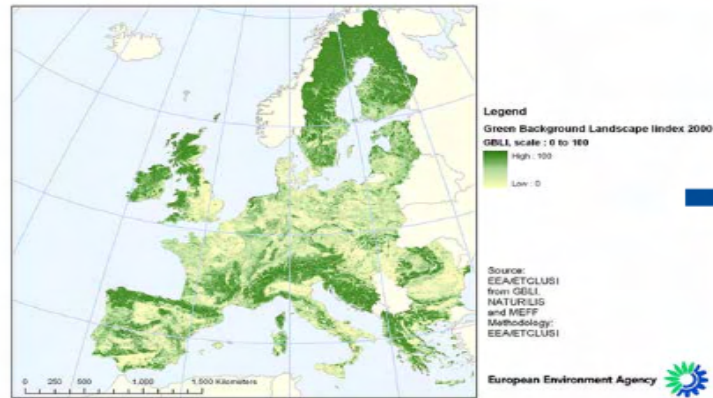
EIIP – Ecosystem infrastructure internal ecological unit value = AVG (EIUS, EIHI)

Le potentiel net écosystémique des paysages [PNEP ; en. : NLEP]

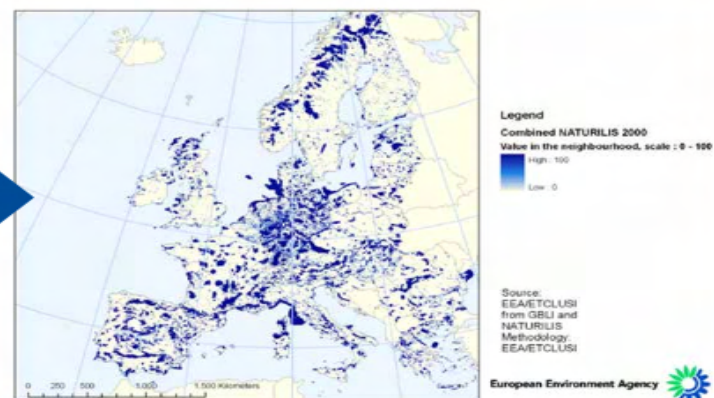


L'origine de NLEP

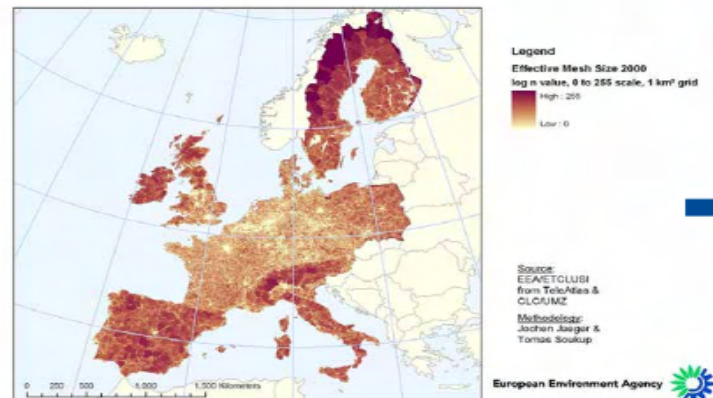
The green background landscape index ...



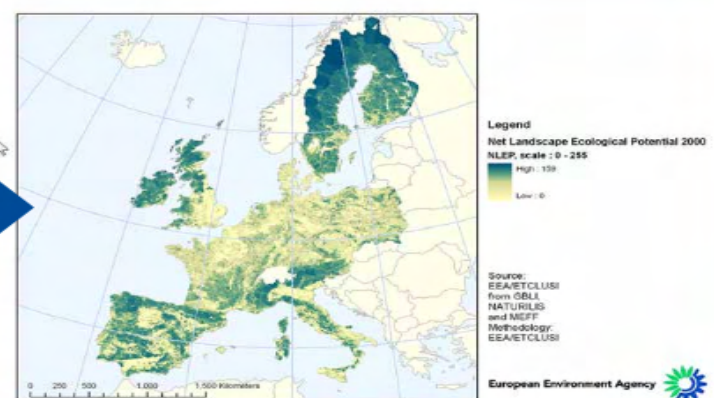
... combined with the nature conservation value index ...



... and combined with landscape fragmentation index ...



... gives the NLEP



L'Indice Fond du Paysage Vert (IFPV, en. GBLI)

IFPV [GBLI] : passage en 2 temps des classes d'occupation des terres à des valeurs paysagères :
Part 1 : **Notation des classes** de land cover et Part2 : **Densité en arbres**

- **Part1 : Notation des classes de land cover en fonction de leur biomasse potentielle et de leur capacité d'autorégulation.** Maximum = 1, les forêts primaires ; minimum = 0.1, les zones urbaines ; par convention les surfaces en eau = 0.5

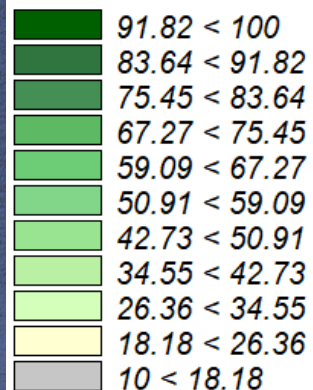
Biotic regulation [R]	GBLI = [P _x]*[R _y]					
	10	20	40	60	80	100
8	16	32	48	64	80	
6	12	24	36	48	60	
4	8	16	24	32	40	
2	4	8	12	16	20	
0	2	4	6	8	10	
Biomass potential [P]						

Exemple de grille d'évaluation combinant biomasse potentielle [P] et capacité de régulation biotique [R] utilisable pour définir une échelle de notation GBLI.

Indice Fond du Paysage Vert (IFPV, en. GBLI) : Notation

Part1 : Notation des classes de land cover en fonction de leur biomasse potentielle et de leur capacité d'autorégulation.

GBLI_2020_PART1



		GBLI = [P _x]*[R _y]					
Biotic regulation [R]	10	20	40	60	80	100	
	8	16	32	48	64	80	
	6	12	24	36	48	60	
	4	8	16	24	32	40	
	2	4	8	12	16	20	
	0	2	4	6	8	10	
		Biomass potential [P]					

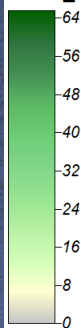
NB : les forêts sont notées sans tenir assez compte de la densité en arbres

Indice Fond du Paysage Vert (IFPV, en. GBLI) :

Densité en arbres

Part2 : Densité en arbres
estimée annuellement a partir
des données du GLAD (U. du
Mayland + USGS + NASA) :
densité 2010 (Potapov et. al.) et
pertes annuelles en arbres
(TreeLossYear, Hansen et. al.)

GLAD_treecover_AF_2020_estimGFCTLY

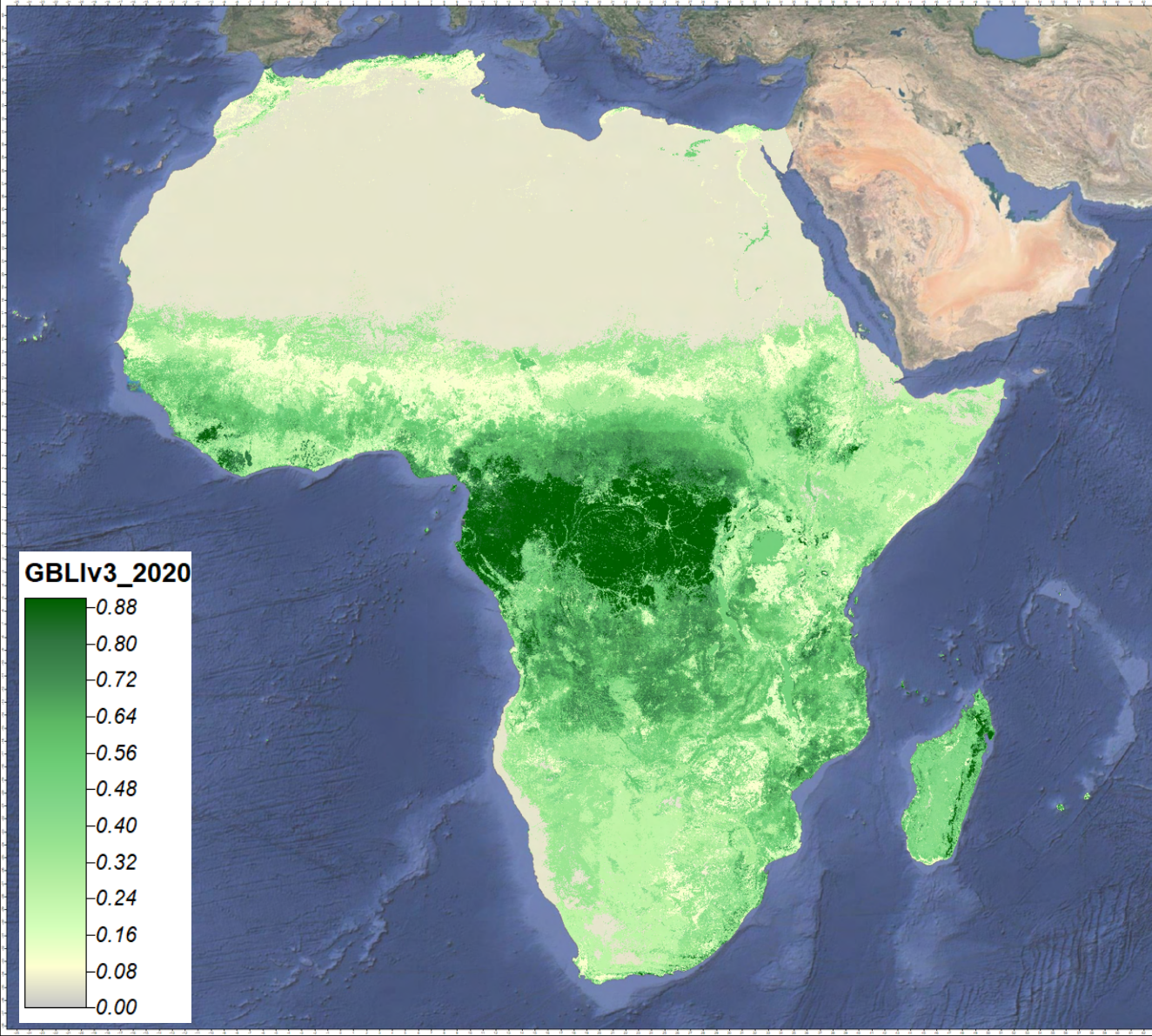


L'Indice Fond du Paysage Vert (IFPV, en. GBLI) : Synthèse

Moyenne des valeurs de Note et de
Densité = $((\text{Note} \times 2) + \text{Densité}) / 3$

- Normalisation à 0-100
correspondant un indice par hectare
GBLI[ha]
- Calcul de GBLV : pour chaque entité
(SELU, Bassins hydro, divisions
administrative, GBLV = GBLI[ha] x
nombre d'hectares
- Les valeurs GBLV sont additives.

Les indices de Haute valeur naturelle
[NATURILIS 1-6] et de Fragmentation
[FRAGMEFF 0.1-1] pondèrent GBLV
pour calculer NLEP/PENP, le potentiel
des paysages terrestres



NATURILIS, l'Indice de Haute Valeur Naturelle des paysages

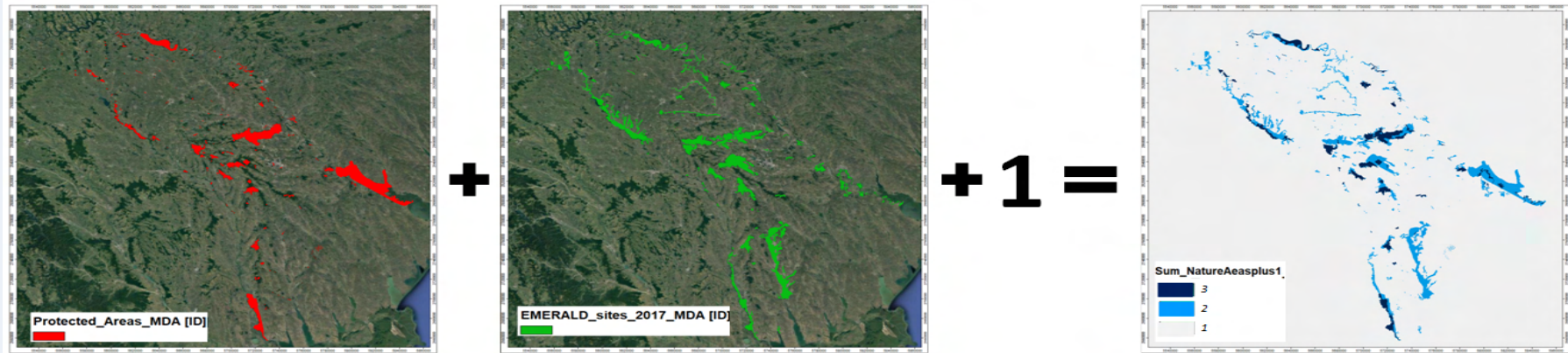
Objectif : prendre en compte les zones ayant une haute valeur naturelle car leur dégradation impacte davantage la Capacité écosystémique totale (p. ex. coupe d'arbres dans un parc naturel). Ici, du point de vue de l'infrastructure et aussi dans le compte du carbone car il s'agit d'une ressource qui n'est en principe pas accessible.

Estimation de NATURILIS à partir des meilleures connaissances disponibles : désignations officielles, scientifiques...

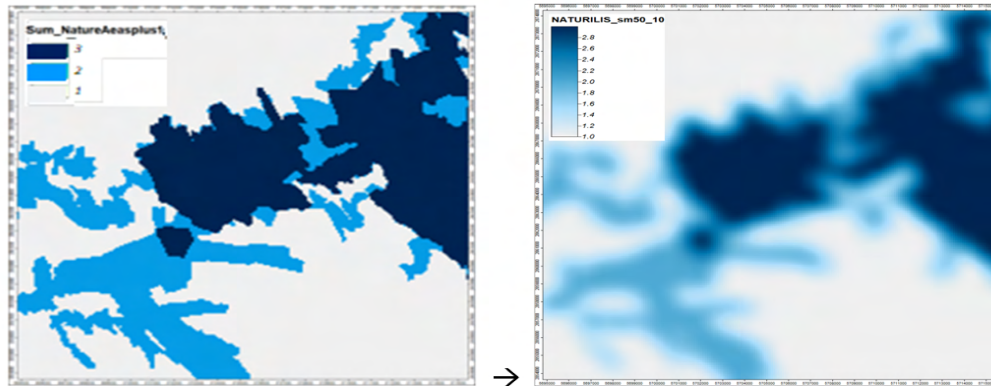
	<i>Désigné</i>	<i>Pas désigné</i>
<i>Vert</i>	<i>par ex. parcs et réserves naturelles</i>	<i>par ex. forêts, broussailles et herbages ordinaires</i>
<i>Moins vert</i>	<i>par ex. habitats protégés au sein de territoires agricoles</i>	<i>par ex. zones urbaines</i>

Illustration de IFPV/GBLI ajusté par NATURILIS

NATURILIS, l'Indice de Haute Valeur Naturelle / Exemple de calcul



Cumul des protections et désignations



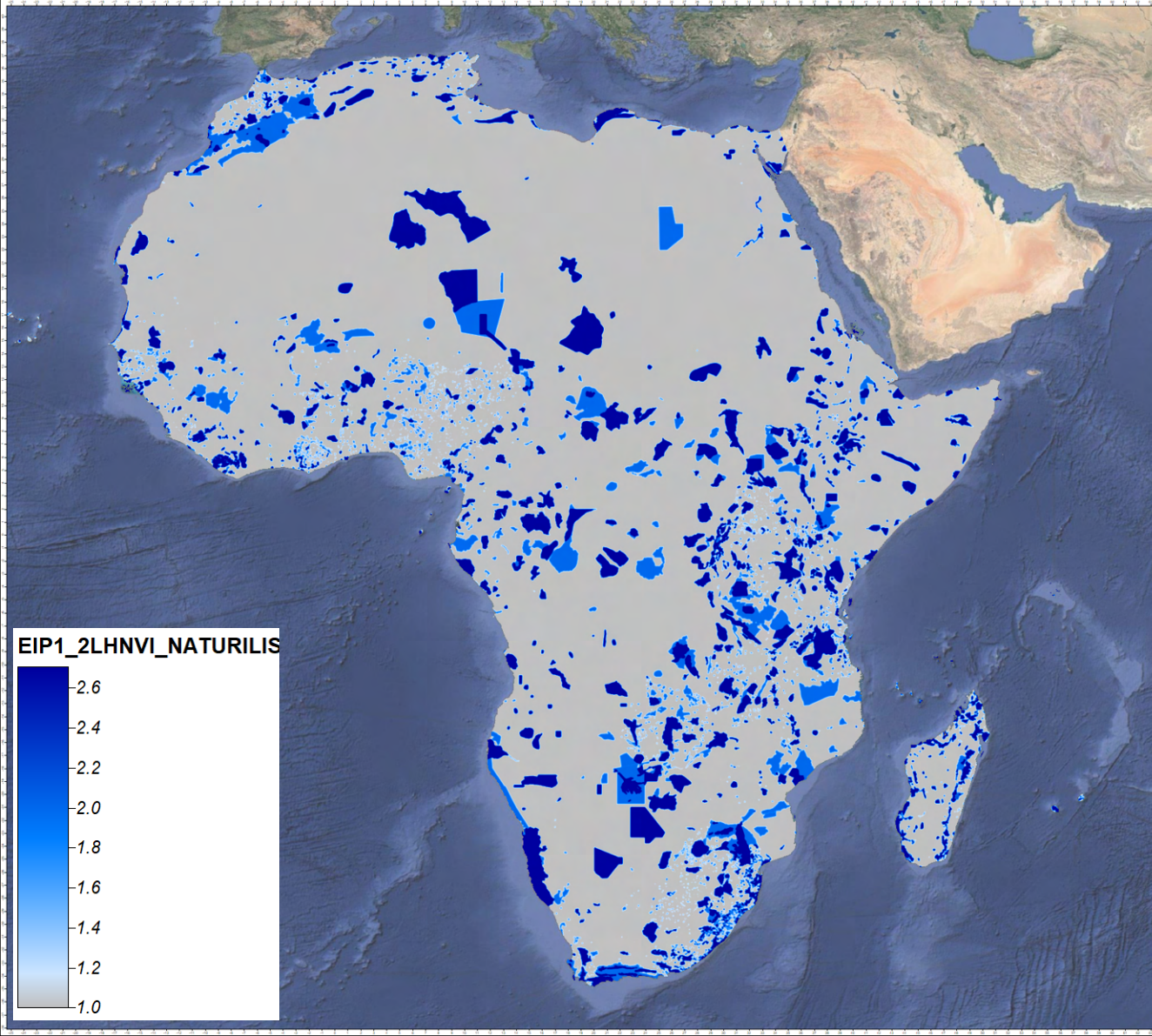
...et lissage gaussien (valeurs dans le voisinage...)

Le cadre comptable: Accès aux services fonctionnels [III]

Données utilisées pour
NATURILIS AfriKENCA
(niveau 1) :

- WDPA : World Database of Protected areas du WCMC
- KBA : Key Biodiversity Areas de l'UICN

Pour les comptes ENCA du
Bassin du Rhône, utilisation
de la base de donnée



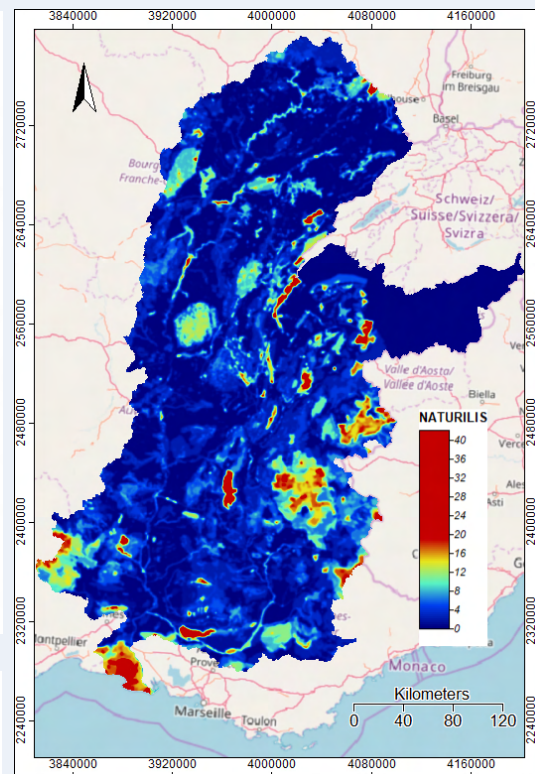
NATURILIS pour les comptes ENCA du Bassin du Rhône (niveau 2)

Pour les comptes ENCA du Bassin du Rhône, utilisation de la base de donnée Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN, 2018, 16 fichiers) du MNHN de Paris → indice pondéré et normalisé à <6

Table 5.2. Protection scores. Abbreviations are in French: **APB**: Arrêtés de protection de biotope, **RB**: Réserves biologiques, **RIPN**: Réserves intégrales de parc national, **RNCFS**: Réserves nationales de chasse et faune sauvage, **RNR**: Réserves naturelles régionales, **CEN**: Sites acquis des Conservatoires d'espaces naturels, **SCL**: Sites du Conservatoire du Littoral, **RNN**: Réserves naturelles nationales, **PN**: Parcs nationaux, **ZICO**: Zone d'importance pour la conservation des oiseaux, **SIC**: Sites classés au titre de la Directive Habitats **ZPS**: Zones de Protection Spéciale, **RAMSAR**: RAMSAR sites. **ZNIEFF1**: Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique de type 1 (secteurs de grand intérêt biologique ou écologique), **ZNIEFF2**: Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique de type 2 (grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes).

Protection level	Name code	Protection score
Strong protection	APB, RB, RIPN, RNCFS, RNR, CEN, SCL, RNN	10
National parks	PN	6
European status	ZICO, SIC et ZPS	3
RAMSAR	RAMSAR	3
Natural area of ecological interest	ZNIEFF1 et ZNIEFF2	2
Others	Zones de gestion (MAB) et autres territoires	1

Source: Argüello Velazquez J. [2019]: Implementing Ecosystem Natural Capital Accounting Methodology to the Rhone watershed : the proof-of-concept. Biodiversity. Université de Lyon, [2019]. English.
<https://www.theses.fr/2019LYSEN040>



MEFF, l'indice de maille effective pour mesurer la fragmentation du paysage

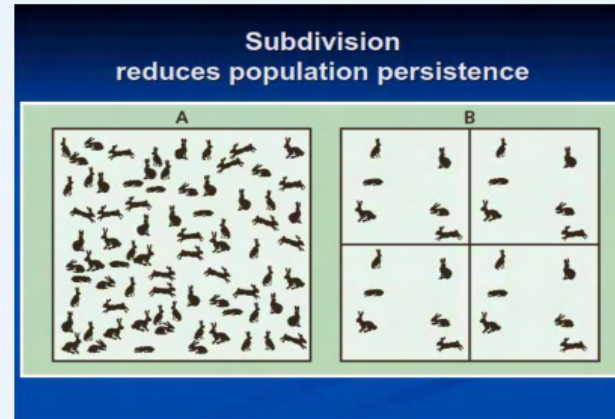
Box 7.08 Calculation of effective mesh size – an illustration

Effective Mesh Size (Meff) measures the probability that two individuals will encounter each other (e.g. gene flow) in a given area A, knowing that it maybe fragmented (in the example, into A1, A2 and A3). The probability of this encounter is multiplied by the total surface of the area to give a Meff value.

The Effective Mesh Density (Seff) equals $1/\text{Meff}$

The Seff value rises when fragmentation increases. In the example, it would be $1/1.5 = 0.667$ per km² for area A.

Source: Jochen Jaeger, Calgary, 2008



How to measure the degree of landscape fragmentation?

- Serious problems with earlier methods
- New method: **effective mesh size, m_{eff}**
- Probability that two randomly chosen points in the landscape will be in the same patch:



Jaeger (2000),
Landscape Ecology 15

- m_{eff} is now included in the program FRAGSTATS (available from the [www](http://www.umces.edu/fragstats/))

An example



$$p_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{A_1}{A_{\text{total}}} \right)^2$$

$$p_2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{16} = p_3$$

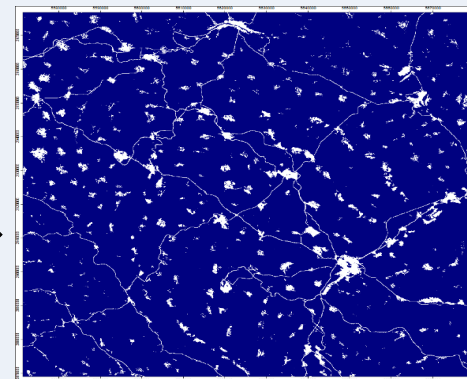
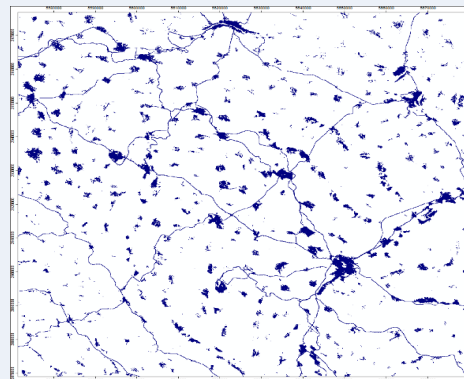
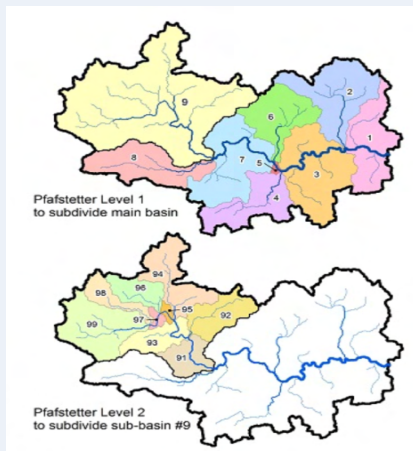
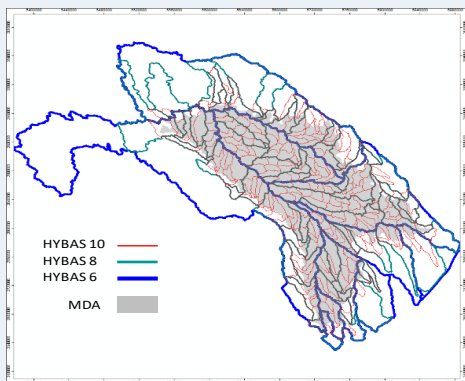
$$p = p_1 + p_2 + p_3 = \frac{3}{8} = 0.375$$

$$m_{\text{eff}} = A_{\text{total}} * p = \frac{\sum_{i=1}^n A_i^2}{A_{\text{total}}} = 1.5 \text{ km}^2$$

FRAG_MEFF, un calcul simplifié / Principe du calcul

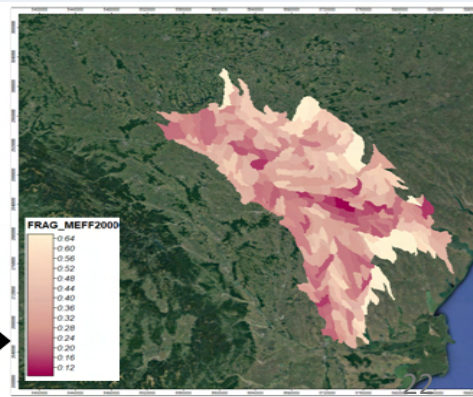
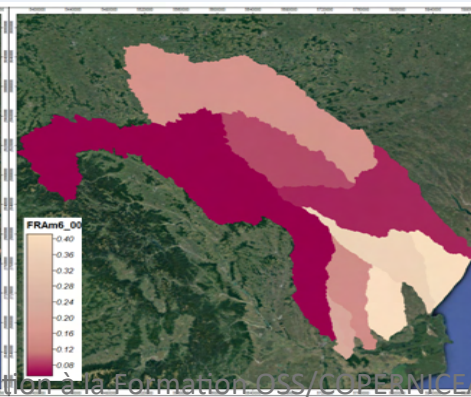
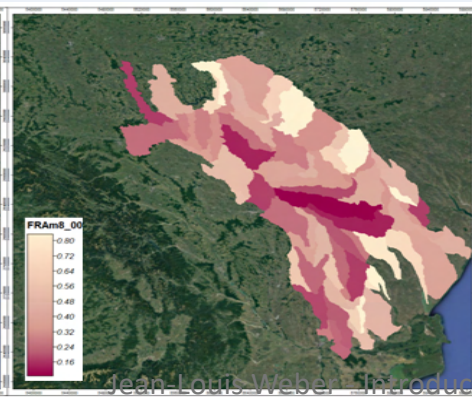
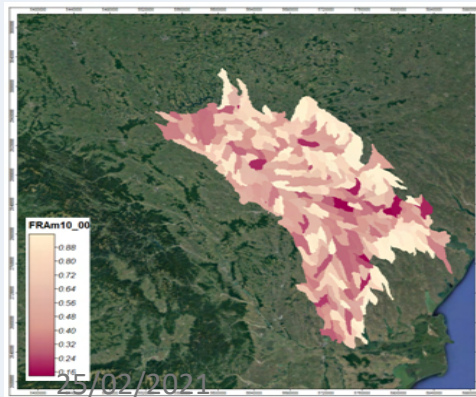
	TOT_area	Mesh_area	(Mesh_area)^2	SUM((Mesh_area)^2) / (TOT_area)^2
A	5	5	25	1
B	5	4	16	0.68
		1	1	
C	5	3	9	0.44
		1	1	
		1	1	
D	5	2	4	0.36
		2	4	
		1	1	

FRAG_MEFF: Calcul simplifié de la fragmentation à trois horizons spatiaux = 3 niveaux de bassins



Bassins emboîté et codes Pfafstetter

Fragmentation par transport et urbain



(FRAm10_00

+

FRAm8_00

+ FRAm6_00)

/ 3

=

FRAG_MEFF2000

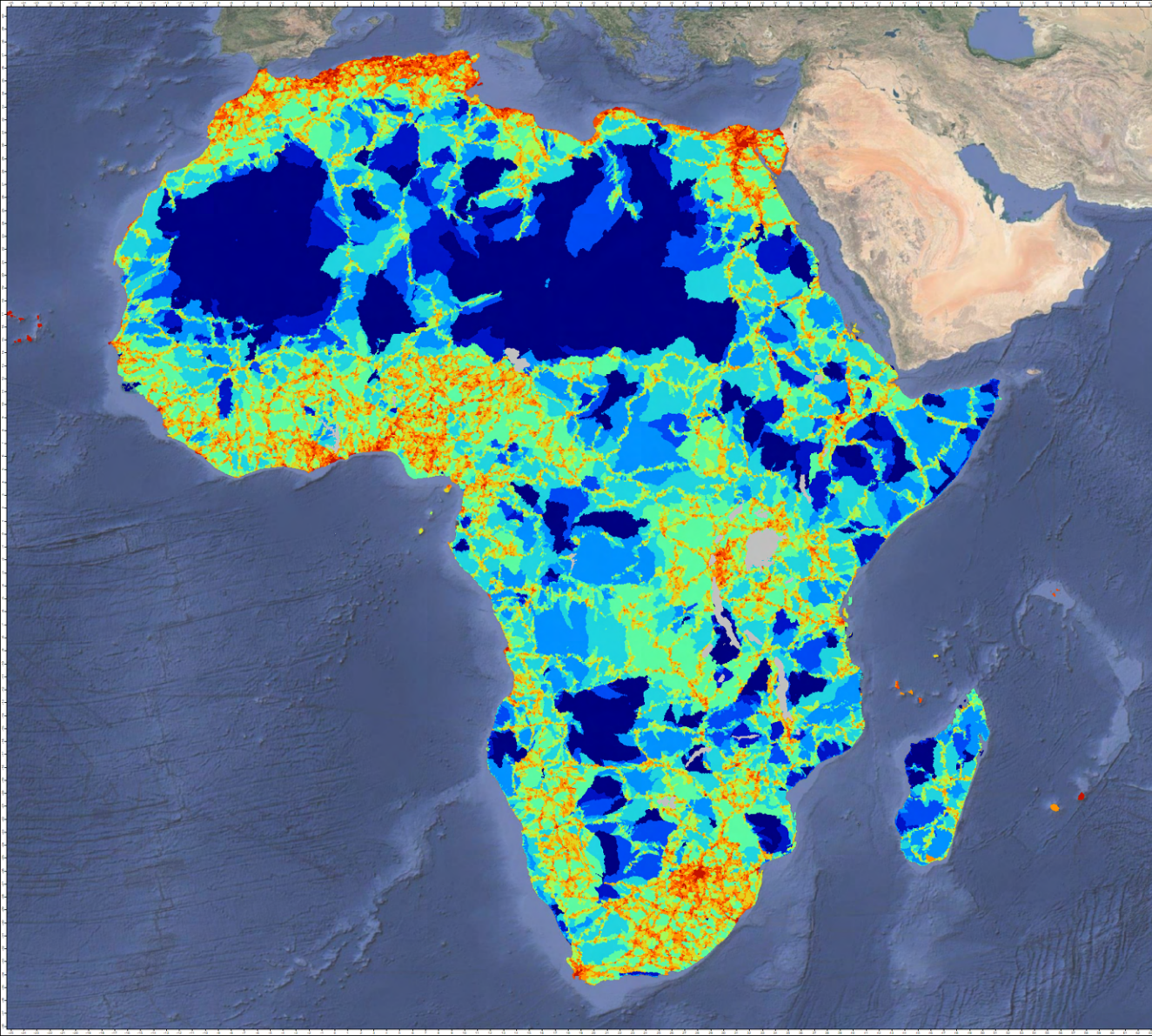
FRAG_MEFF AfriKENCA

(niveau 1)

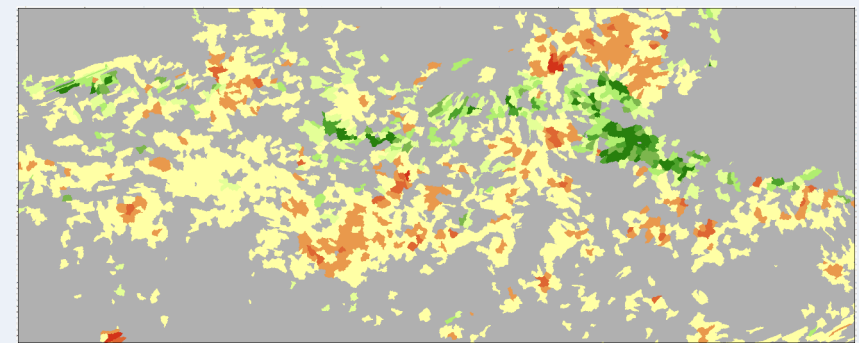
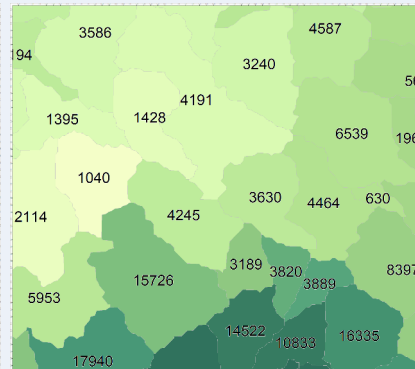
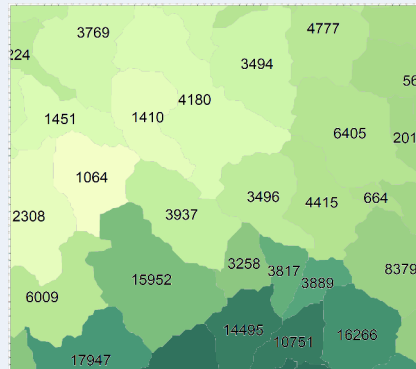
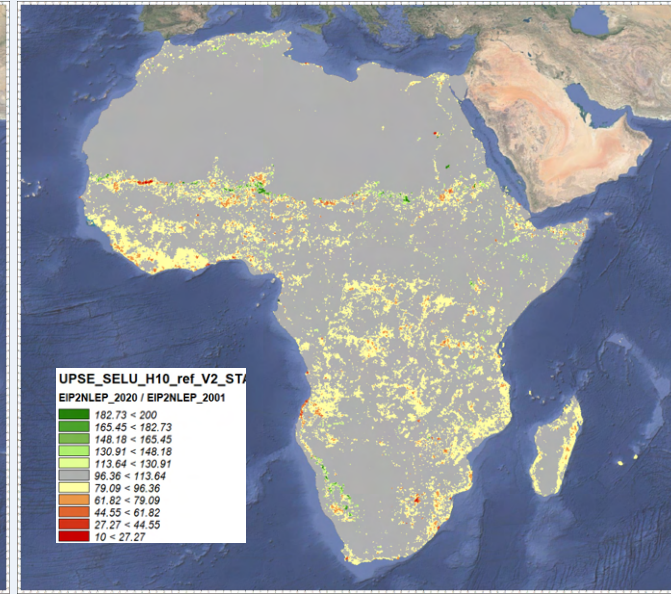
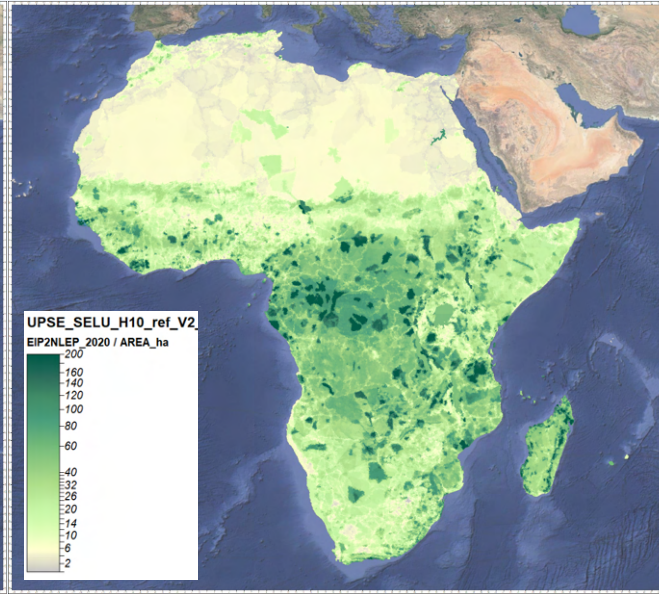
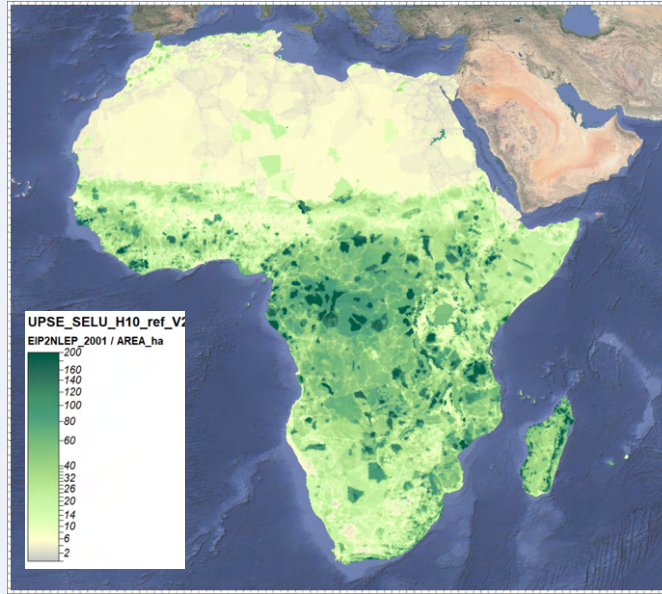
- Fragmentation des paysages à trois horizons spatiaux = 3 niveaux de bassins
- Calcul possible par polygones seulement ; agrégation par UPSE/SELU
- Données utilisées :
 - Bassins : HydroSHEDS
 - Routes principales et voies ferrées : OSM

Améliorations souhaitables :

- Distinction espaces naturels / espaces anthropisés (moins impactés)
- Prise en compte des impacts de la micro-fragmentation :
- Espaces naturels : négatif (bruit, fréquentation...)
 - Espaces cultivés : positif ?
 - Prise en compte des nouvelles routes (l'OSM est statique)

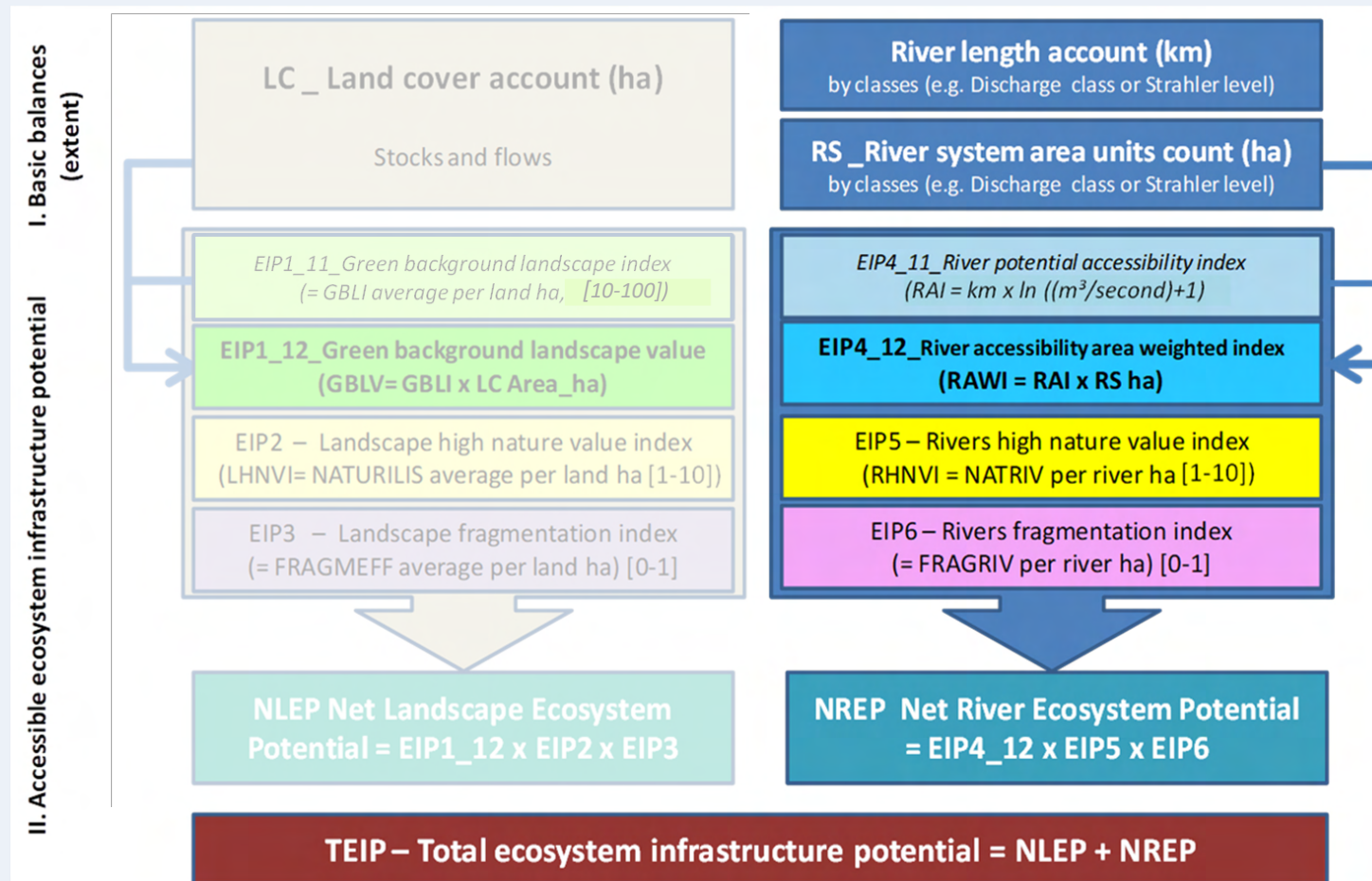


PENP/NLEP 2001 et 2020 par UPSE/SELU



Changements NLEP-PENP entre 2001 et 2020 (UPSE), ratio en %

Le potentiel net écosystémique des rivières [RNEP ; en. : NREP]



Calcul du potentiel quantitatif des rivières : l'indice pondéré d'accessibilité aux rivières (IPAR ; en. RAWI)

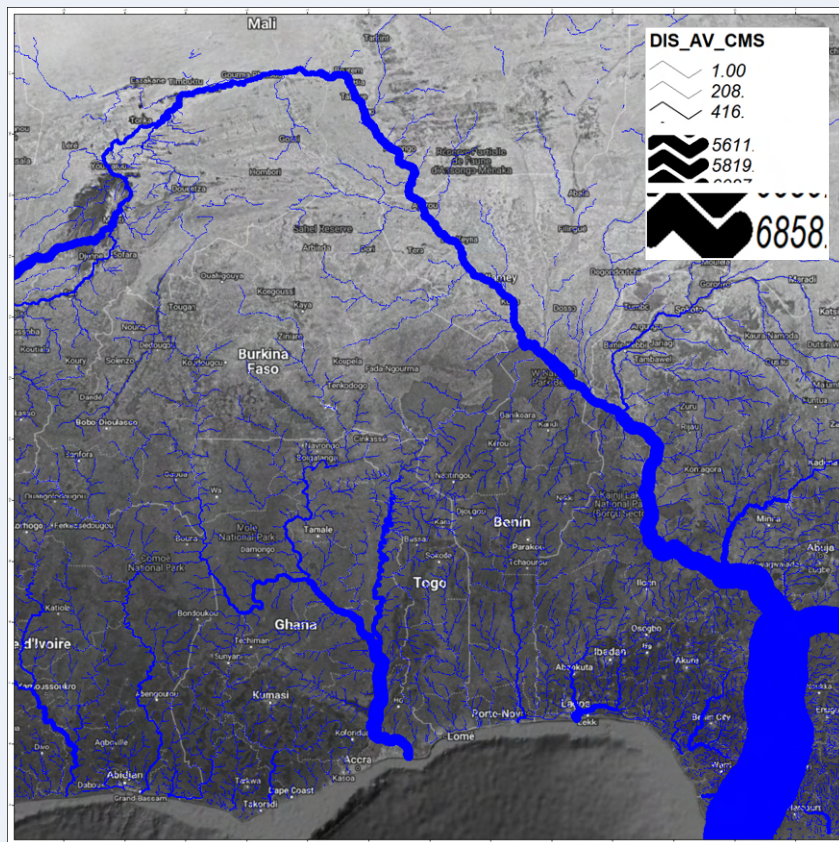
Le potentiel des rivières est calculé à partir de la base de données HydroSHEDS/ HydroRivers qui fournit longueurs et débits par tronçons de rivières (biefs ; en. river reaches). C'est la même base de données qui est utilisée pour le compte de l'eau. Toutefois la perspective est différente. Alors que le compte de l'eau mesure la ressource qui peut être exploitée (souvent après transport) le compte des rivières s'intéresse à l'eau accessible par l'écosystème, donc sur place. Par ailleurs du point de vue de l'écosystème la ressource n'est pas proportionnelle au débit de la rivière, mais elle est fonction de sa présence. Une moyenne rivière a une plus grande valeur qu'un petit ruisseau, mais une grande rivière n'apporte pas beaucoup plus qu'une moyenne, une très grande pas plus qu'une grande... Or les écoulements se cumulent et conduisent à des écarts de débits variant de moins de 1 m³s à des centaines voire des milliers de m³s.

Pour rendre compte de l'importance de la présence de la rivière dans le territoire et de de l'intérêt relatif des très gros débits, le potentiel des rivières est mesuré avec une formule adaptée de celle utilisée dans le compte de l'eau pour la mesure du stock d'eau des rivières en unités standard de mesure des rivières. 1 USMR = 1 km x 1m³ x seconde⁻¹ . Dans le compte de l'infrastructure écosystémique, l'unité d'accessibilité aux rivières devient 1 IPAR = 1km x ln((1m³ x seconde⁻¹)+1). La pondération des rivières passe de 1 à 1000 à 1 à 7

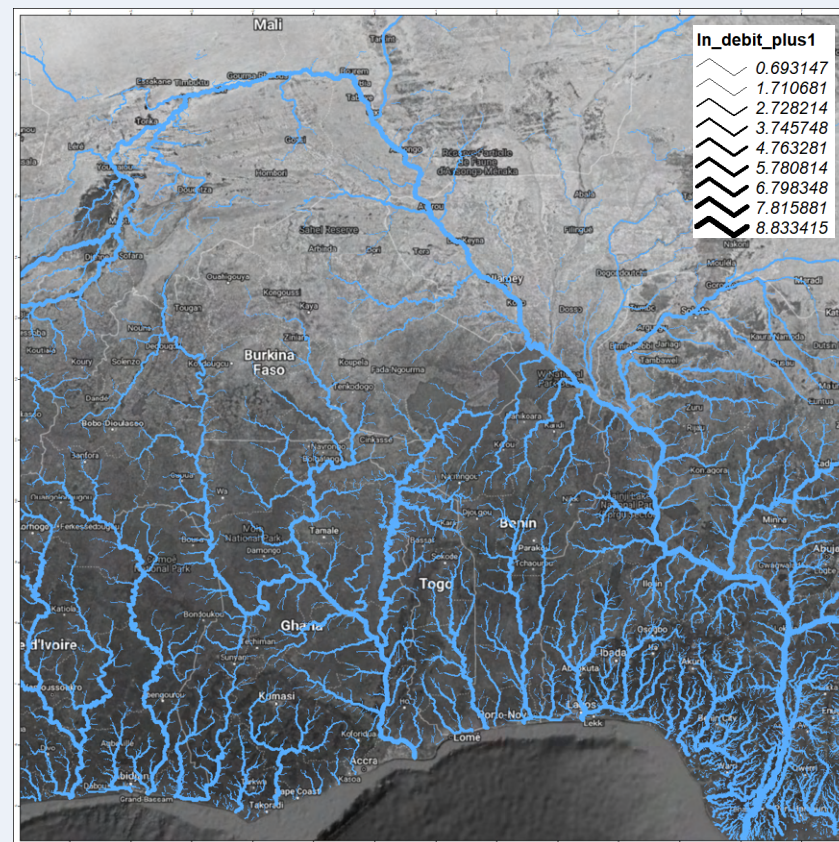
Débit	1	10	100	1000
ln(Débit+1)	0.693147	2.397895	4.615121	6.908755

*Rappel :
ln : logarithme naturel ou népérien
ln(e) = 1
e = 2.718*

Illustration du traitement du débit des rivières dans le compte de l'eau [à gauche] et dans le compte de l'infrastructure écosystémique/ rivières [à droite] – Source HydroSHEDS

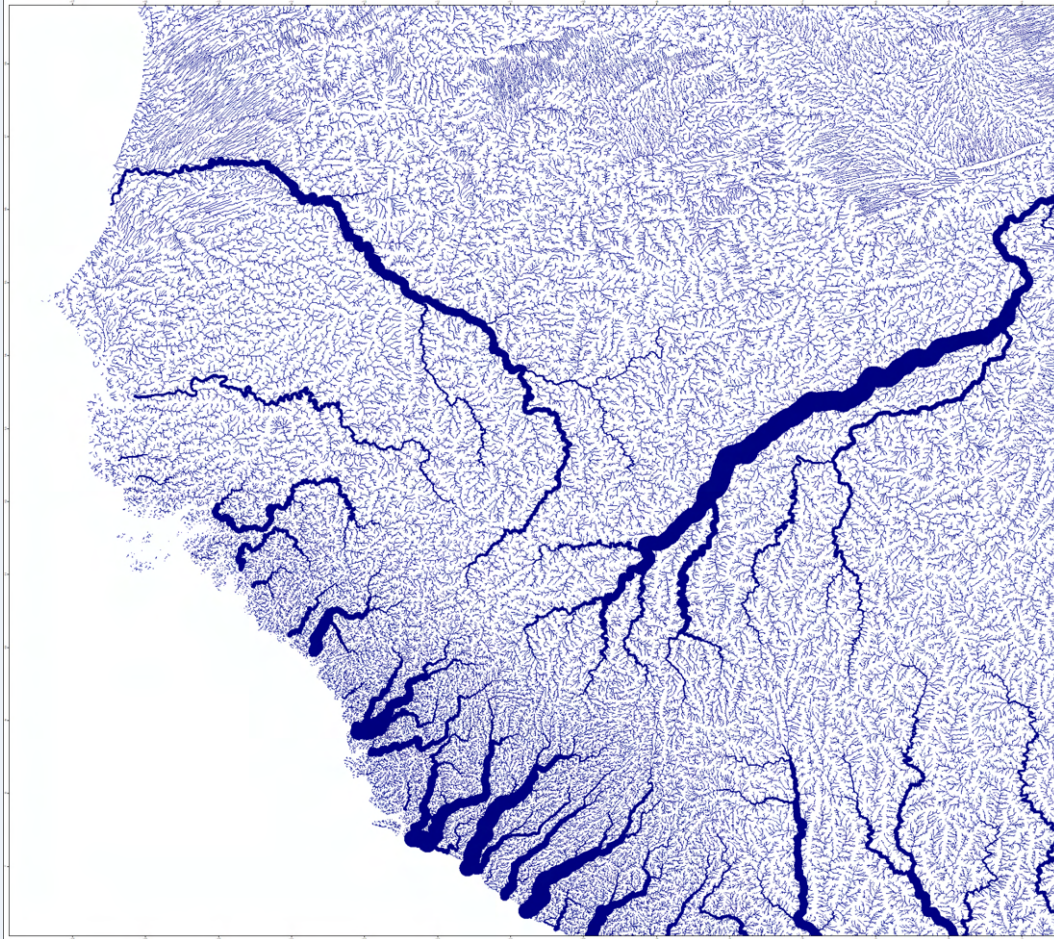


Compte de l'eau : débit des rivières en m³/seconde : de moins de 1 à 7000 = débit exploitable



Compte de l'accessibilité aux rivières : ln du débit des rivières en m³/seconde : de moins de 1 à 9 = accessibilité locale

Les rivières d'HydroSHEDS/HydroRIVERS



Avantages :

- Correspond aux critères de la modélisation hydrographique
- **Fournit les données de débit et de longueur requises pour la CECN (débits moyens de long terme)**
- Cohérence avec les bassins versants cartographiés avec la même source (MNT Shuttle Radar Topography Mission SRTM de la NASA)

Inconvénients :

- Tracés théoriques souvent imprécis

Opportunités:

- Nouvelle version d'HydroSHEDS basée sur un nouveau MNT plus précis
- Utiliser une base hydro nationale

<https://www.hydrosheds.org/>

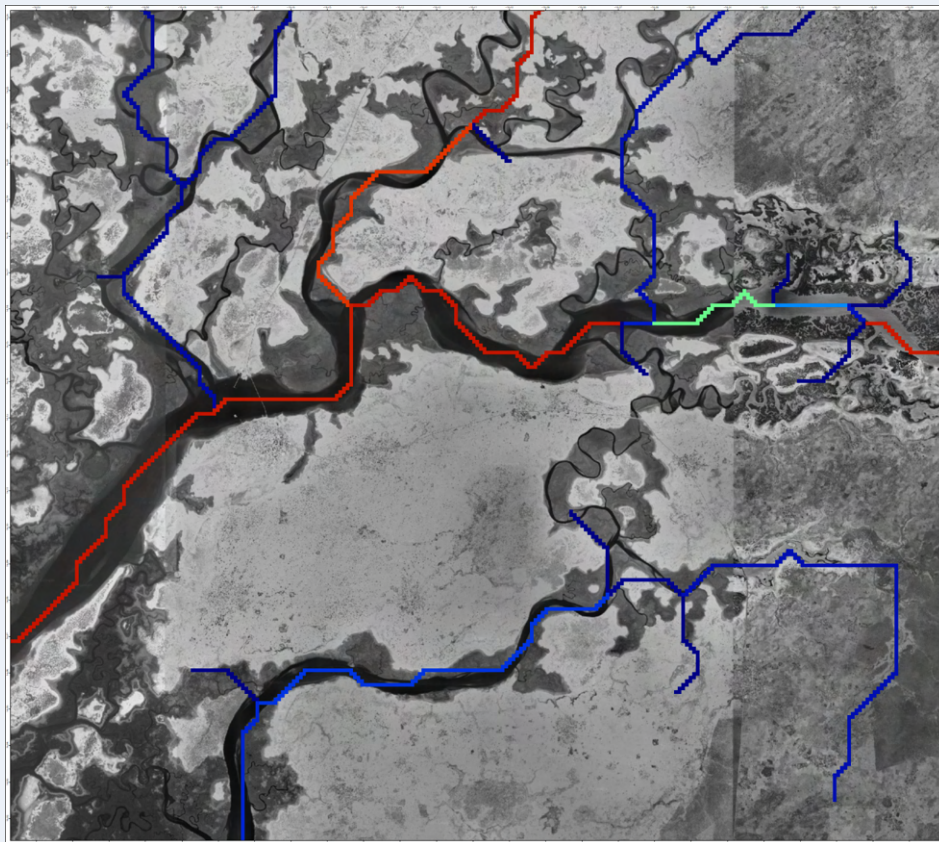
Calcul de l'indice pondéré d'accessibilité aux rivières (IPAR ; en. RAWI)

	fid	Reach_ID	Next_down	Length_km	Log_Q_avg	strahler	Q_avg_m3s	RainADJ2000	RainADJ2015
1	1	20440980	20441321	1.152	-1.40894	1	0.039	0.828201	0.819587
2	2	20440981	20441321	8.506	-0.93181	1	0.117001	0.828201	0.819587
3	3	20441321	20442769	1.678	-0.78781	2	0.163001	0.828201	0.819587
4	4	20441322	20442769	2.42	-1.23657	1	0.058	0.828201	0.819587
5	5	20441418	20443777	16.766	-0.59346	1	0.255	0.828201	0.819587
6	6	20441419	20443777	16.482	-0.5986	1	0.252	0.828201	0.819587
7	7	20442769	20443006	6.423	-0.54516	2	0.284997	0.828201	0.819587

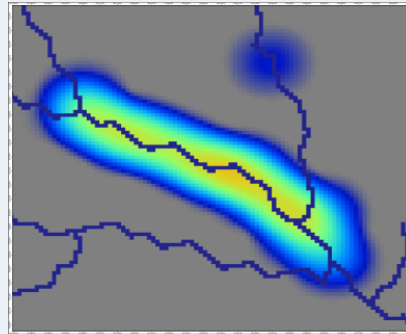
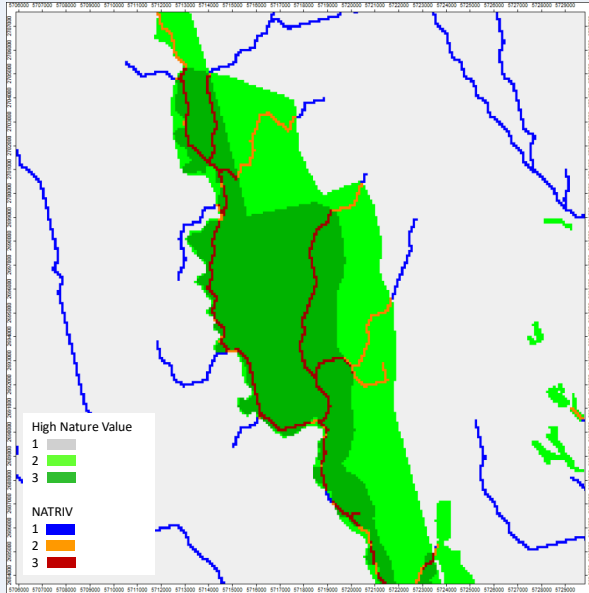
Les principaux traitements de données sont :

- L'annualisation des débits moyen de Long Terme d'HydroRivers à partir données Météo Copernicus C3S. Méthode simplifiée basée sur les précipitations moyennes par bassin versant de niveau 4. Les ajustements sont calculés en moyenne mobile sur 3 ans.
- Prise en compte de l'occurrence moyenne des surfaces en eau produite par le JRC
- La spatialisation des rivières en rastérisant les données à 100m – ce qui revient a utiliser un buffer fixe et permet d'intégrer RAWI et GBLI dans une même grille.

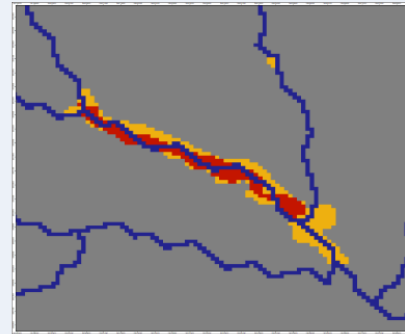
Illustration : RAWI Long Terme rasterisé à 100m



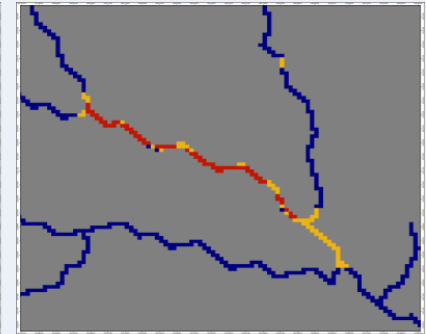
NATRIV : pour les RIVIÈRES, c'est l'équivalent de NATURILIS... mais sans lissage



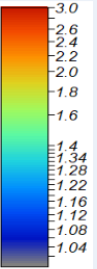
NATURILIS sm 10_50



Sum_NatureAreasplus1

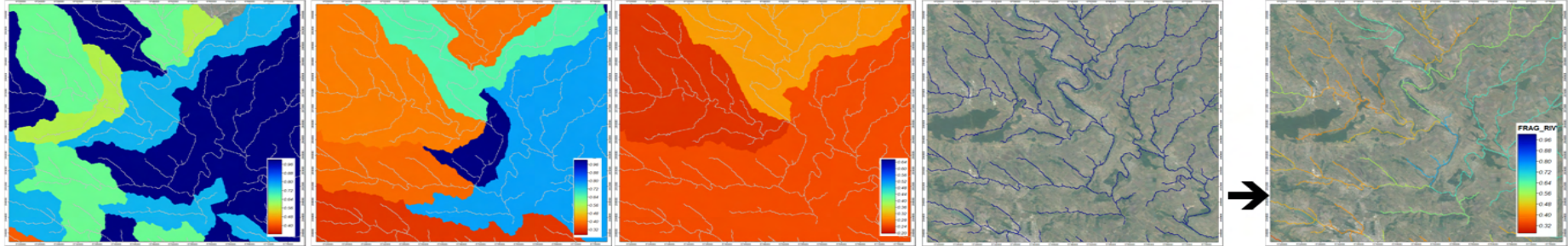


NATRIV



Les mêmes données sont utilisées pour NATURILIS et NATRIV, mais dans le second cas, elles ne sont pas lissées. En effet, le lissage gaussien diminue le poids des éléments linéaires. Le biais est corrigé avec NATRIV.

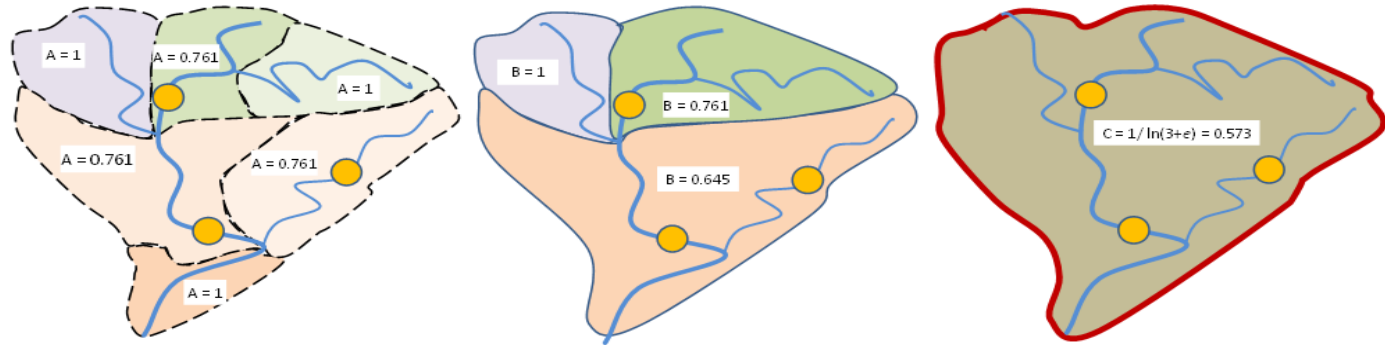
FRAGRIV: fragmentation des systèmes de rivières, indice pour 3 niveaux de bassins pour prendre en compte les effets locaux, à moyenne et à petite échelles



$$((\text{FRAGR_H10} + \text{FRAGR_H8} + \text{FRAGR_H6}) / 3) \times \text{RiversMDA_1_ND} = \text{FRAGR_RIV}$$



FRAGRIV: calcul de la fragmentation des bassins versants



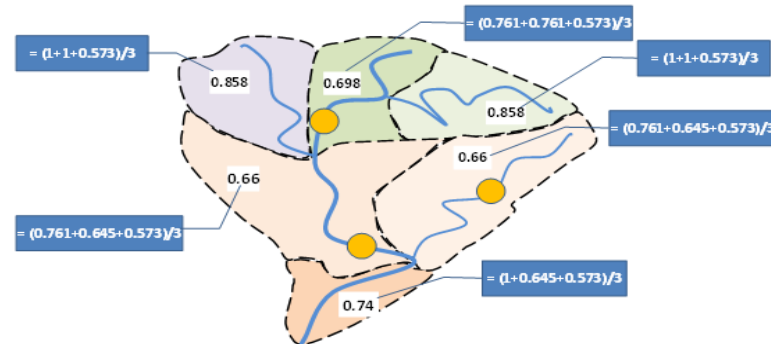
Calcul de l'indice pour les bassins A (par ex. HYBAS10), B (HYBAS8) et C (HYBAS6) avec respectivement les formules

$$A = 1 / \ln(a+e) \quad \text{where } a \text{ is the number of dams in HYBAS}_{10}$$

$$B = 1 / \ln(b+e) \quad \text{where } b \text{ is the number of dams in HYBAS}_{8}$$

$$C = 1 / \ln(c+e) \quad \text{where } c \text{ is the number of dams in HYBAS}_{6}$$

$$\text{FRAG_RIV} [A] = (A + B + C) / 3$$



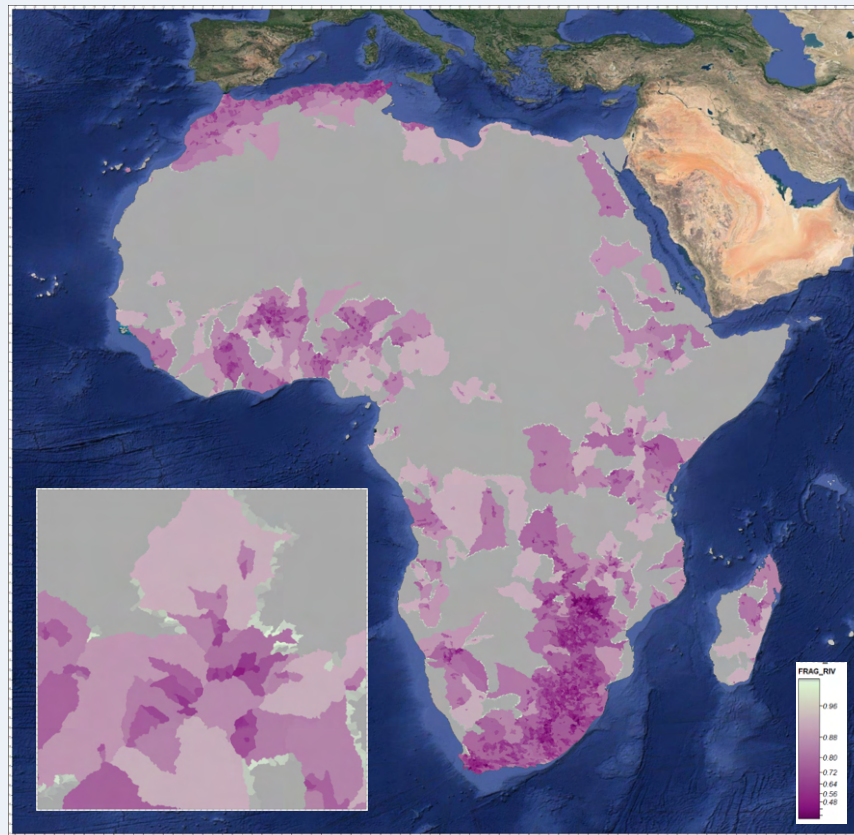
Rappel :

\ln : logarithme naturel ou népérien

$\ln(e) = 1$

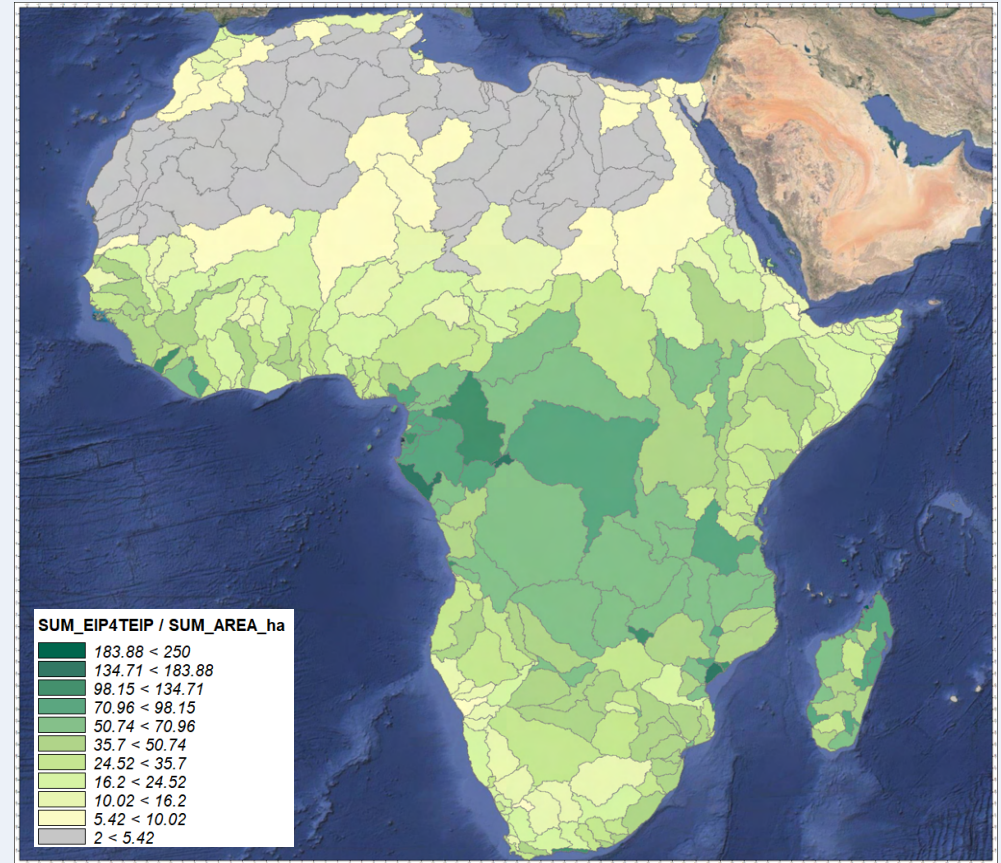
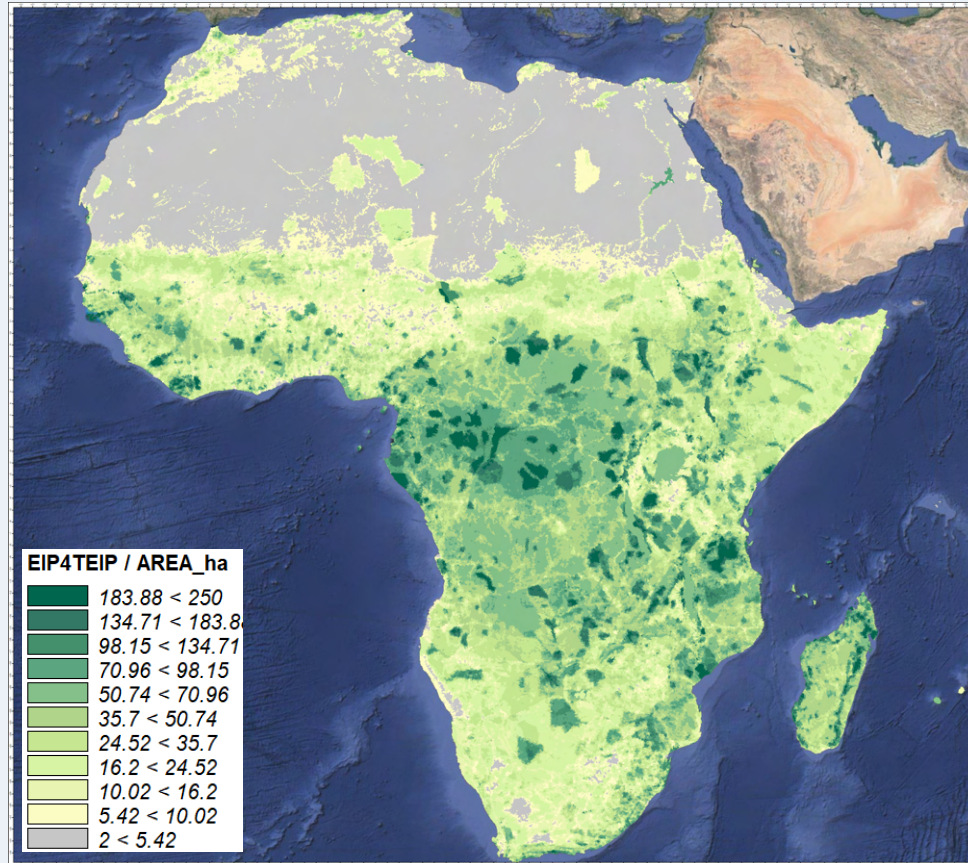
$e = 2.718$

FRAGRIV: fragmentation des systèmes de rivières, indice pour 3 niveaux de bassins

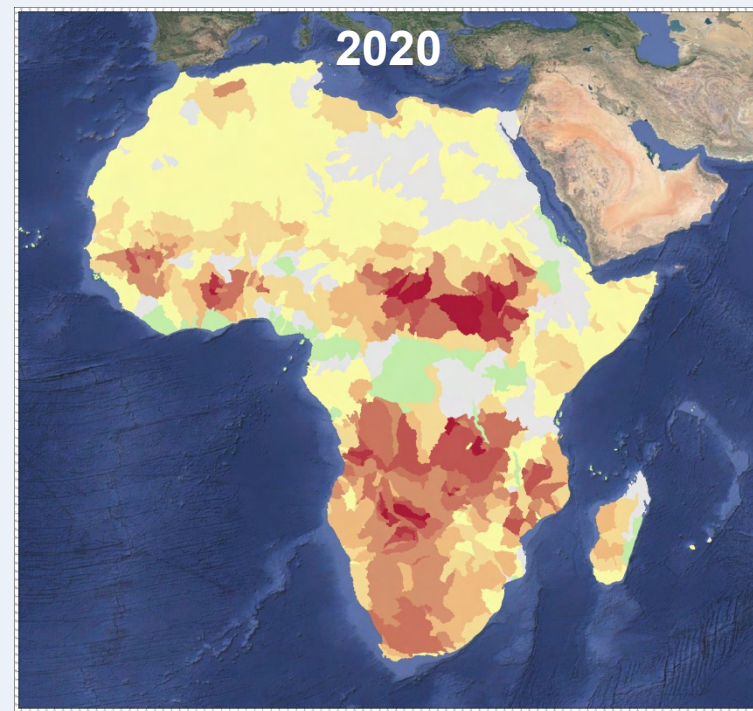
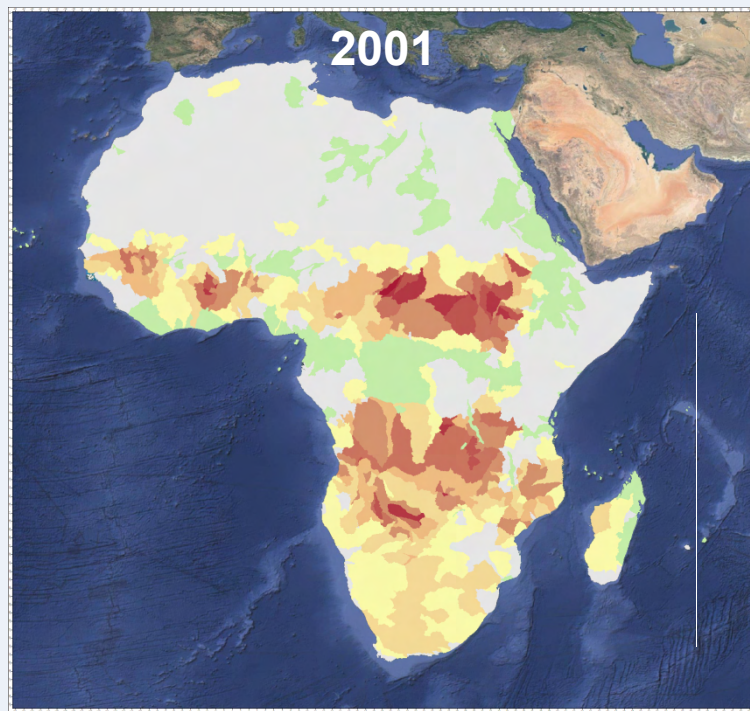


***FRAG_RIV** est l'Indice de fragmentation des rivières des bassins versants par les barrages.*

PTEI, le potentiel total de l'infrastructure écosystémique est l'addition de PENP (paysages) et PENR (rivières). Ici par UPSE et bassins versants de niveau H04/H05



Indicateur comptable EHI : Indice de santé des écosystèmes 2001 et 2020 (valeurs par bassins versants de niveau 5)

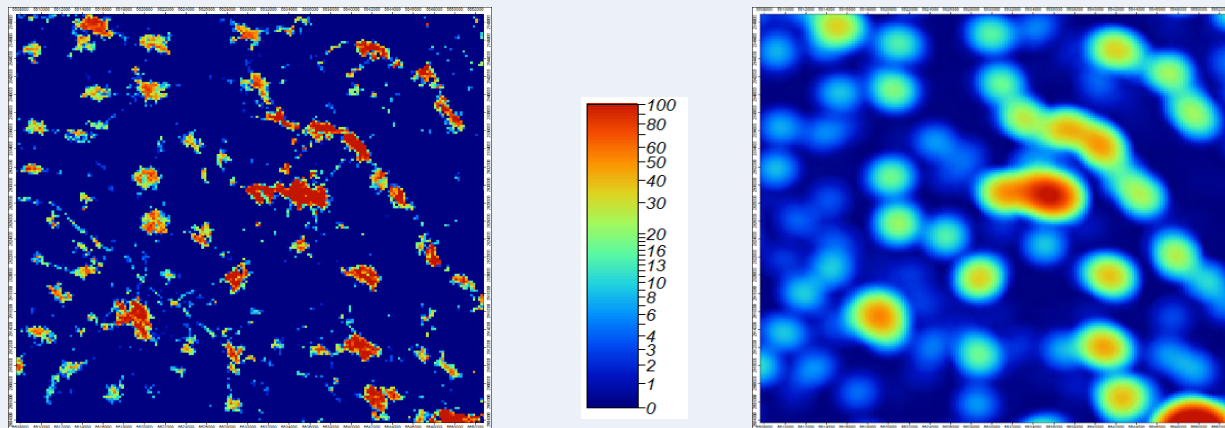


L'indicateur EHI de la CECN résulte d'un diagnostic basé sur les données actuellement disponibles à l'échelle continentale Pour AfriKENCA, il inclut les tendances de la biodiversité (estimées à partir de LBII/PREDICT), la vulnérabilité aux feux récurrents (données COPENICUS C3S), la santé environnementale des populations (estimée par l'indicateur FAO d'accès des populations rurales à l'eau potable). Les comptes nationaux et locaux permettront d'enrichir les variables utilisées pour le diagnostic d'état de santé des écosystèmes.

Tableau III : Accessibilité de la population aux services fonctionnels

Les ressources matérielles (services d'approvisionnement, produits agricoles, forestiers et des pêcheries) se transportent. Les services fonctionnels intangibles (accès à la nature, protection contre les crues...) dépendent de la localisation des bénéficiaires.

L'accessibilité aux services dans le voisinage peut s'estimer selon des modèles plus ou moins complexes. Une solution rapide est le lissage gaussien qui transforme des valeurs « exactes » en valeurs « floues » qui décroissent en fonction du carré de la distance par rapport au pixel observé. Cette distance est paramétrable.



Effet du lissage. Population par pixels de 250m, avec rayon de lissage de 2,5 km

Nb : les totaux des valeurs strictes et des valeurs lissées sont identiques pour une zones pas trop petite

Tableau IV des indices d'intensité d'utilisation soutenable [ISUIE] et de santé de l'infrastructure écosystémique [EHI]

[A] IUSIE

Comme les services fonctionnels des infrastructures ou paysages écosystémiques sont intangibles et ne se mesurent pas simplement en unités biophysiques simples et additives (comme c'est le cas du biocarbone et de l'eau), il n'est pas possible de définir une production et une consommation totales de services et donc de déterminer directement si leur utilisation est soutenable. Cette évaluation se fait donc de manière indirecte, sur la base du changement du potentiel de l'infrastructure à fournir ces services, de l'état du capital naturel. Le principe consiste à choisir une année de base des comptes et à calculer IUSIE comme ratio (PTIE année courante) / (PTIE année de base). Cette année de base théorique a une valeur de IUSIE de 1.

- **IUSIE 1990** est égal par convention à 1.
- **$IUSIE_{2020} = TEP_{2020} / TEP_{1990}$** ➔

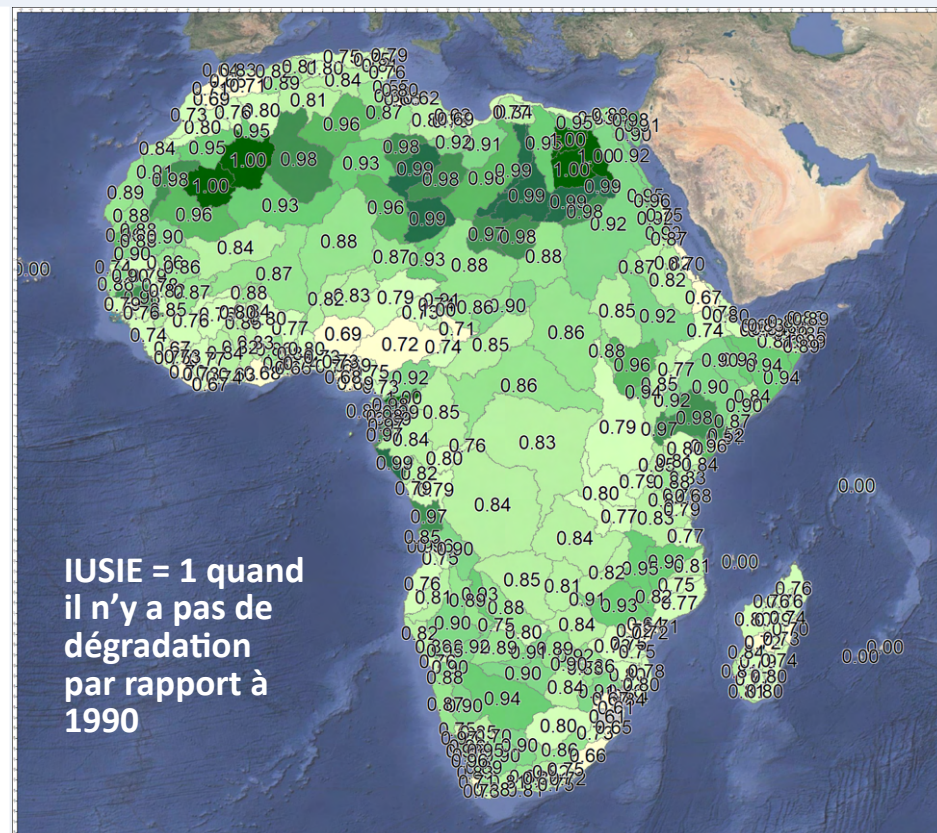
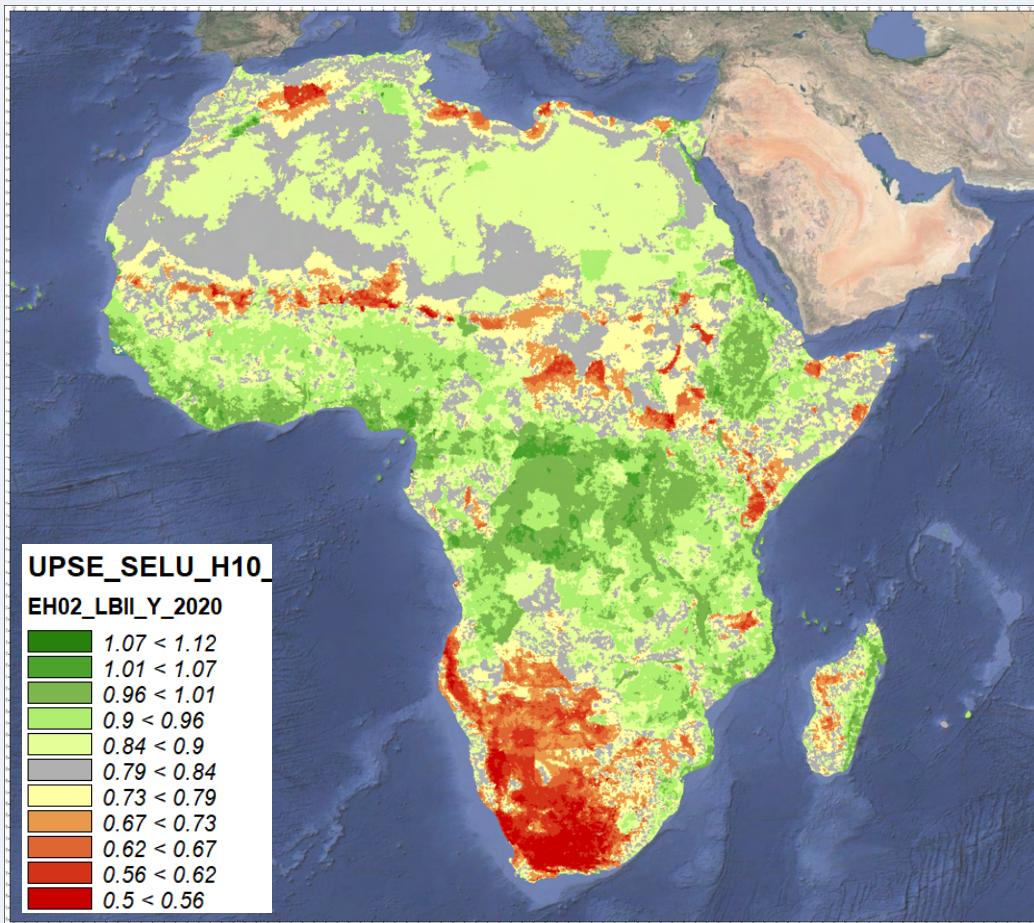


Tableau de calcul de l'indice de changement de l'état de santé de l'infrastructure écosystémiques : ISIE (en. : EIH ou EHI)

- Diagnostics basés sur des variables considérées comme révélant des symptômes de mauvais état de santé (perte de résilience): vulnérabilité des systèmes vis-à-vis de l'érosion, des feux, impacts des pollutions, dégradation de la biodiversité, état de santé de la faune et de la flore, état de santé des populations...
- Suppose la combinaison de données et de jugements d'experts et des méthodes de type arbres de décision, par ex. **réseaux bayésiens** (modèles graphiques probabilistes utilisés pour le diagnostic médical et industriel et l'analyse de risques)
- Les variables de **biodiversité des espèces** sont très importantes pour les diagnostics de santé des écosystèmes ; les données des bases de données internationales ne fournissent pas directement l'information nécessaire aux comptes. Un travail spécifique est nécessaire, en particulier aux échelles nationales et locales, impliquant biologistes, agences d'environnement, statisticiens et comptable.
- Pour AfrikENCA, l'indicateur LBII, Land Biodiversity Intactness Index produit par PREDICT récemment et en cours de développement est utilisé par défaut pour **évaluer la tendance de la biodiversité**.

Santé : EHI02 Biodiversité : LBII [Local Biodiversity Intactness Index]



Jean-Louis Weber, Atelier PAPBio IUCN VITO, Cotonou, 25-27 avril 2023

Pour AfrikENCA, on utilise l'Indice d'intégrité de la biodiversité locale (Local Biodiversity Intactness Index, LBII):

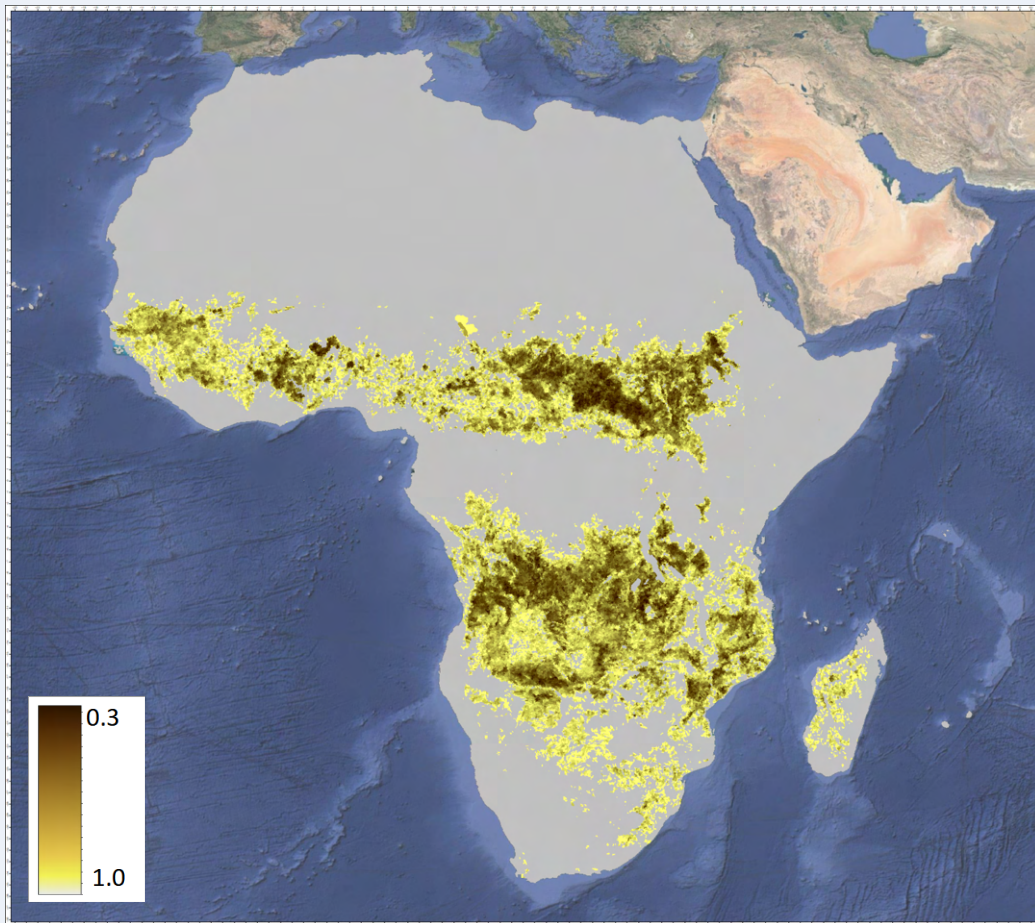
<https://www.predicts.org.uk/pages/policy.html>

Cet indice combine un certain nombre de variables sur les espèces et compare la situation actuelle avec une situation ancienne, soit climacique, soit en référence à l'année 1900. Des données annuelles sont annoncées dans la littérature mais ne sont pas actuellement disponibles en ligne.

Les valeurs LBII indiquent une tendance: 100 = stable, plus que 100 = gain, moins que 100 = perte

Pour annualiser LBII, on a fait l'hypothèse que la moitié du changement intervient dans la période 1990-2020. Le "demi-changement" est interpolé de manière linéaire entre ces dates.

Santé écosystémique: EHI03 vulnérabilité aux feux récurrents

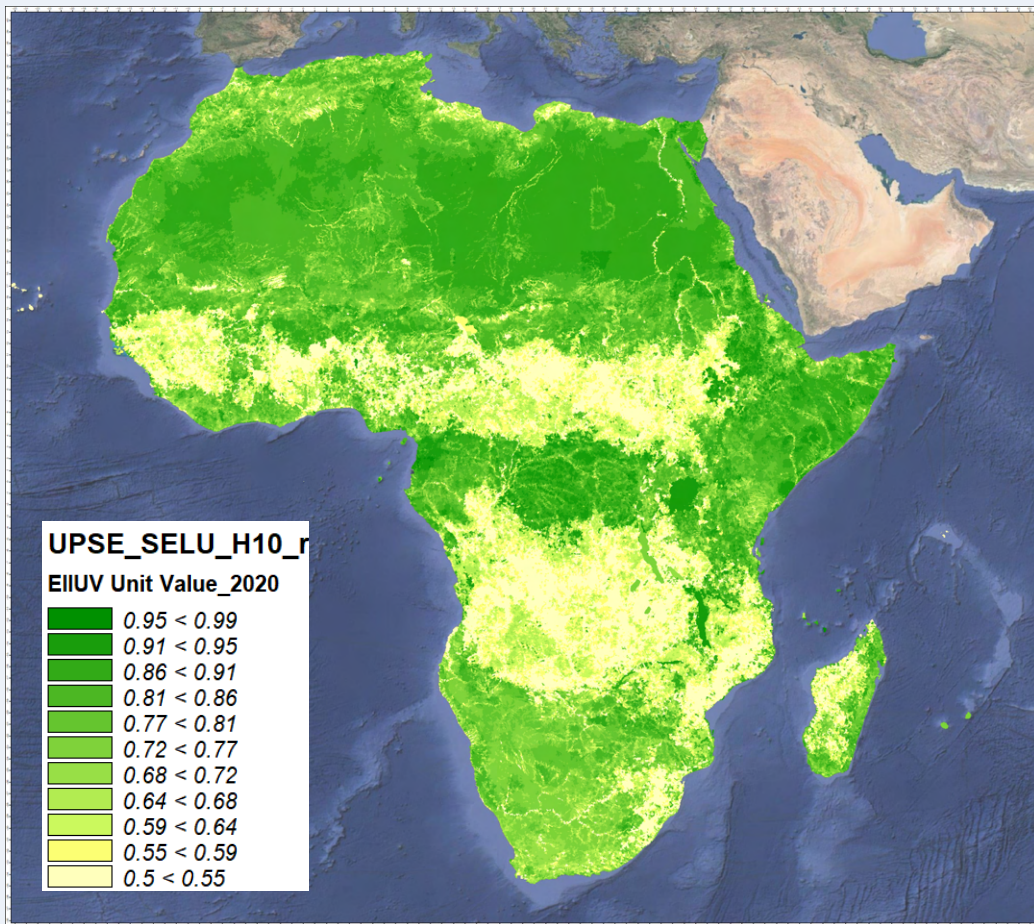


L'indicateur de vulnérabilité aux feux est estimé à partir des données Copernicus C3S sur les cicatrices des feux.

Les données sont traitées en moyennes mobiles sur 3 ans, la répétition étant considérée comme le problème de santé (feux récurrents)...

Les pertes de biocarbone par les feux sont estimées quant à elles annuellement et enregistrées dans le compte du carbone écosystémique

VUIIE : Valeur unitaire interne de l'infrastructure écosystémique



- VUIIE est le produit de EISUI (l'indice d'utilisation soutenable) et de ISIE (l'indice de l'état de santé)
- VUIIE exprime la situation de l'infrastructure par rapport à une année de référence ; c'est une valeur relative, calculée pour chaque socio-écosystème indépendamment de sa performance en biomasse et en eau.
- VUIIE est la composante "infrastructure" qui sera combinée dans le compte de la Capacité écosystémique totale [CET] avec les indices équivalents du compte carbone et du compte eau pour calculer la valeur écologique moyenne de chaque UPSE. Cette unité composite est appelée Unité de capacité écosystémique (UCE, en anglais ECU).
- Le potentiel quantitatif calculé pour chaque composant est multiplié par le « prix » moyen en UCE pour calculer la Capacité Écosystémique Infrastructure [CEI], la Capacité Écosystémique Carbone [CEC] et la Capacité Écosystémique Eau [CEW]. L'addition de CEI+CEC+CEW = CET.

Synthèse du compte de l'infrastructure écosystémique selon le cadre comptable standard de la CECN-TDR

Nom	Code	Nom_court	Input OU Formule
<i>Superficie totale de la zone</i>	<i>Area_ha</i>	<i>Area_ha</i>	<i>Area_ha</i>
I. Compte de base (étendue)			
I.1 Compte de la couverture des terres (Land cover accounts, LC, unité = ha)	BE1_1LC	BE1_1LCArea_ha	BE1_1LC = Area_ha
I.21 Compte de l'Étendue des systèmes de rivières en km (ESR; en. RSE, unité = km)	BE1_21RSE	BE1_21RSE_km	BE1_21RSE
I.22 Compte de l'Étendue des systèmes de rivières en ha (ESR; en. RSE, unité = ha)	BE1_22RSE	BE1_22RSE_pixelha	BE1_22RSE
II. Potentiel accessible de l'infrastructure écosystémique			
Indice de fond vert du paysage (= GBLI_IFVP moyenne par ha)	EIP1_11	EIP1_11GBLI[0_1]	EIP1_1GBLI[0_1](MEAN)
Valeur totale du paysage vert (T-IFVP ou GBLV = GBLI_IFVP x Area_ha)	EIP1_12	EIP1_12GBLV(SUM)	EIP1_2 = EIP_11 x EB1_1LC
Indice de haute valeur naturelle des paysages (NATURILIS, moyenne par ha)	EIP1_2	EIP1_2LHNVI[1_6]	EIP1_2LHNVI[1_6](MEAN)
Indice de fragmentation du paysage (= FRAG_MEFF_IFVP moyenne par ha)	EIP1_3	EIP1_3FRAGMEFF[1_0]	EIP1_3FRAGMEFF[1_0](MEAN)
Indice pondéré d'accessibilité aux rivières (IPAR; en. RAWI = somme RAWI_ESR pixels_ha)	EIP1_4	EIP1_4RAWI_SUM	EIP1_4RAWI_SUM of river pixels
Indice de haute valeur naturelle des rivières (= NATRIV = moyenne des ha-rivière)	EIP1_5	EIP1_5NATRIV[1_6]	EIP1_5RHNVI[1_6](MEAN)
Indice de fragmentation des rivières (FRAGRIV = moyenne des ha-rivière)	EIP1_6	EIP1_6FRAGRIV[1_0]	EIP1_6FRAGRIV[1_0](MEAN)
Potentiel écosystémique net paysager (PENP; en. NLEP)	EIP2	EIP2NLEP	EIP2 = EIP1_12 x EIP1_2 x EIP1_3
Potentiel écosystémique net des rivières (PENR; en. NREP)	EIP3	EIP3NREP	EIP3 = EIP1_4 x EIP1_5 x EIP1_6
Potentiel total de l'infrastructure écosystémique (PTIE; en. TEIP)	EIP4	EIP4TEIP	EIP4 = EIP2 + EIP3
III. Accès aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique			
Accès local de la population au PTIE	EIP5_1	EIP5_1LAIP1_TEIP	EIP5_1 = EIP4 x ad_3
Accès local de la population aux services intangibles de rivières (au PENR)	EIP5_2	EIP5_2LAIP2_RIV	EIP5_2 = EIP3 x ad_3
Accès local de la population à une alimentation durable	EIP5_3	EIP5_3LAIP3_FSP	EIP5_3 = sqrt(ad_4 x EIP4)/(ad_3+1)
Accès local des touristes au PTIE	EIP5_4	EIP5_4LAIP4_Tourism	EIP5_4 = EIP4 x ad_12
Service du PTIE pour la conservation de la nature au niveau local/national	EIP5_5	EIP5_5NATPROtect	EIP5_4 = EIP4 /EB1_1LC x ad_21
Service du PTIE pour la conservation de la nature au niveau international	EIP5_6	EIP5_6INTERPROtect	EIP5_4 = EIP4 /EB1_1LC x ad_22
IV. Table of indexes of intensity of use and ecosystem health			
TEIP_PTEI de l'année de base	EIP6_2000	EIP6_2000 [TEIP_baseyear]	EIP6_2000 [TEIP_baseyear]
Indice d'utilisation soutenable de l'infrastructure écosystémique (IUSIE; en. EISUI)	EISUI	EISUI	EIP6/ EIP4
État de santé des biotopes/ Vulnérabilité	EH13	EH13_BiotVulner	EH13 = ad_6
Indice d'intégrité de la biodiversité locale (Local Biodiversity Intactness Index)	EH14	EH14_LBII	EH14 = ad_13
Autres indicateurs biodiversité: par ex. Risque d'extinction	EH15	EH15_ExtinctionRisk	EH15 = ad_7
Impact des feux	EH17	EH17_BurntImpact	ad_8 / EB1_1LC
Pollution des rivières	EH18	EH18_RIV_poll	EH18 = ad_9
Autres indicateurs d'état de santé	EH19	EH19_Other_p.m.	EH19 = 1 par défaut
Indice de santé de l'infrastructure écosystémique	EHI	EHI - EcoHealth index	EHI = product (EH13:EH18)
Valeur Unitaire Interne de l'Infrastructure Écosystémique (VUIIE; en. EIIUV)	EIIUV	EIIUV Unit Value	EIIUV = EISUI*EHI

Comme les autres comptes CECN, les tableaux du compte de l'infrastructure sont structurés et les équations entre les lignes comptables sont fournies avec la trousse de démarrage rapide.

Les comptes peuvent être mis en œuvre avec un SIG (SAGA Gis, Qgis, ArcGis ...) et un tableur (LibreOffice, MSExcel...) ou (mieux...) avec Sys4ENCA qui automatise les calculs.



Merci de votre attention !

Jean-Louis Weber
Consultant VITO

jlweber45@gmail.com

<http://www.ecosystemaccounting.net/>