

La base de données nationale CARHYCE et son outil de gestion pour l'hydromorphologie



Frédéric Gob, Nathalie Thommeret, Vincent Tamisier

Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591 CNRS - Paris 1



Clélia Bilodeau

Laboratoire LADYSS UMR 7533 - Université Paris Diderot Paris 7



Karl Kreutzenberger, Gabriel Melun

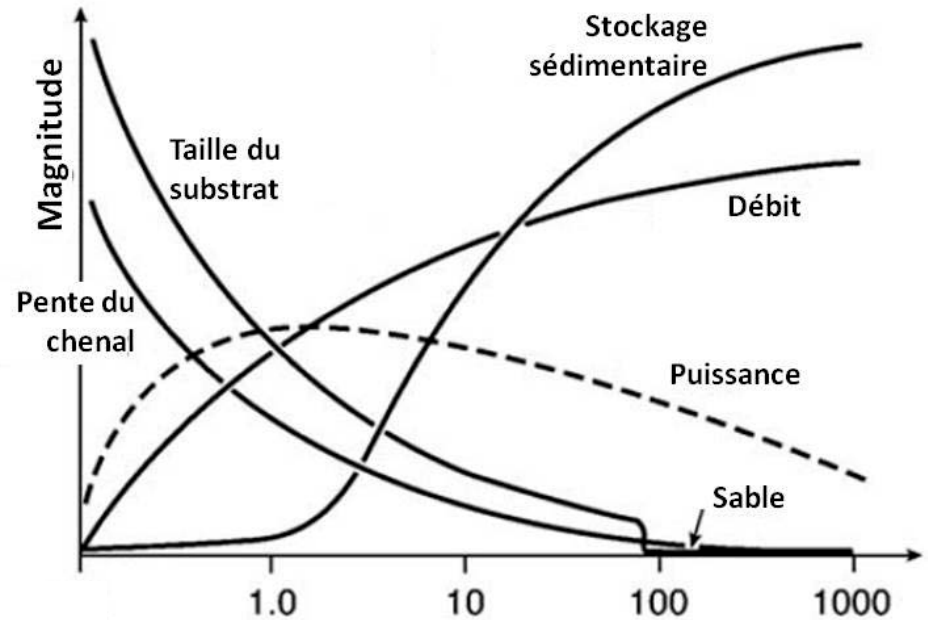
ONEMA



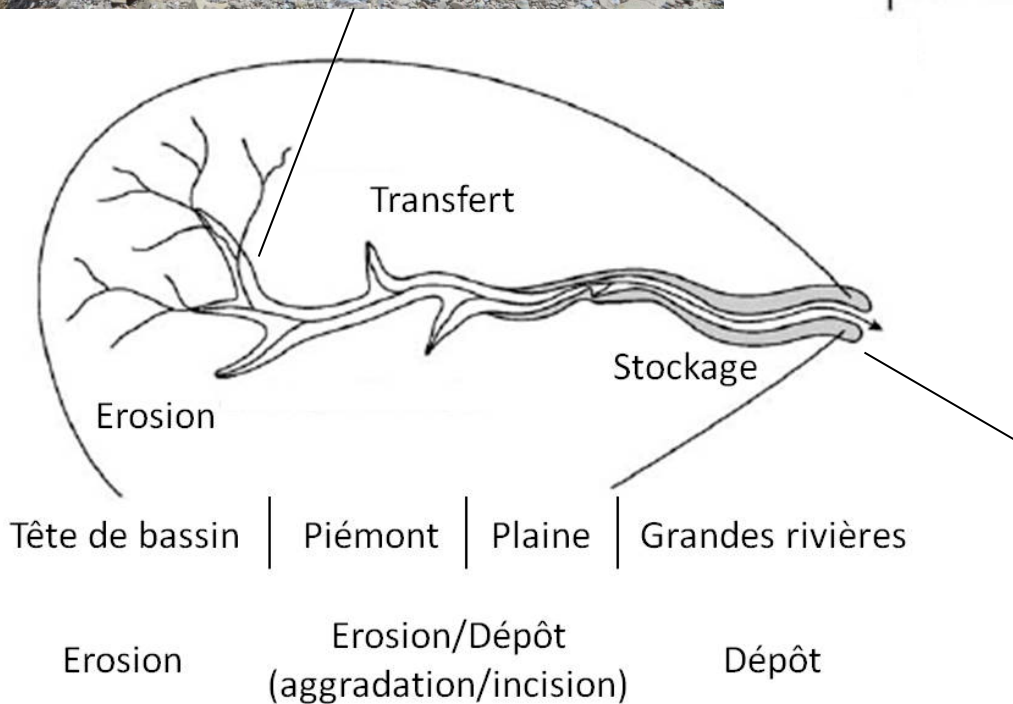
Marie-Bernadette Albert, Jérôme Belliard

IRSTEA

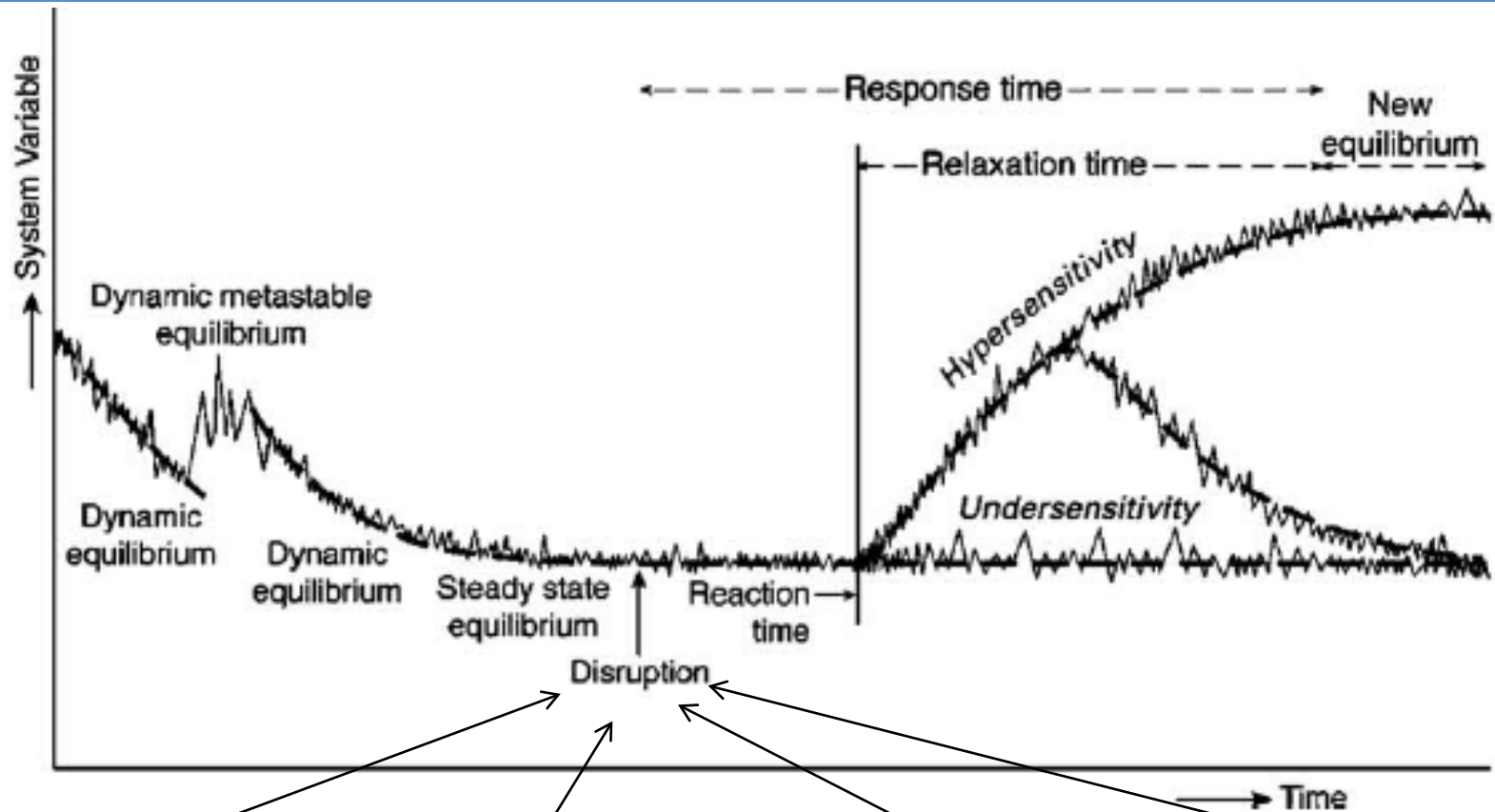
Hydromorphologie



Gregory (2006)



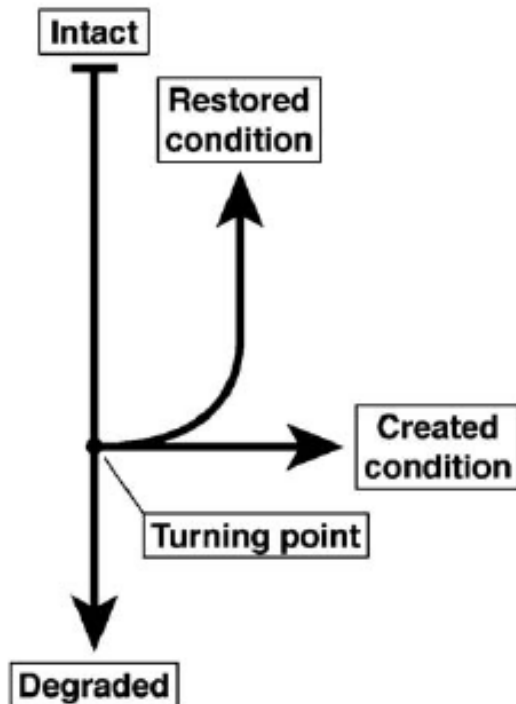
Hydromorphologie



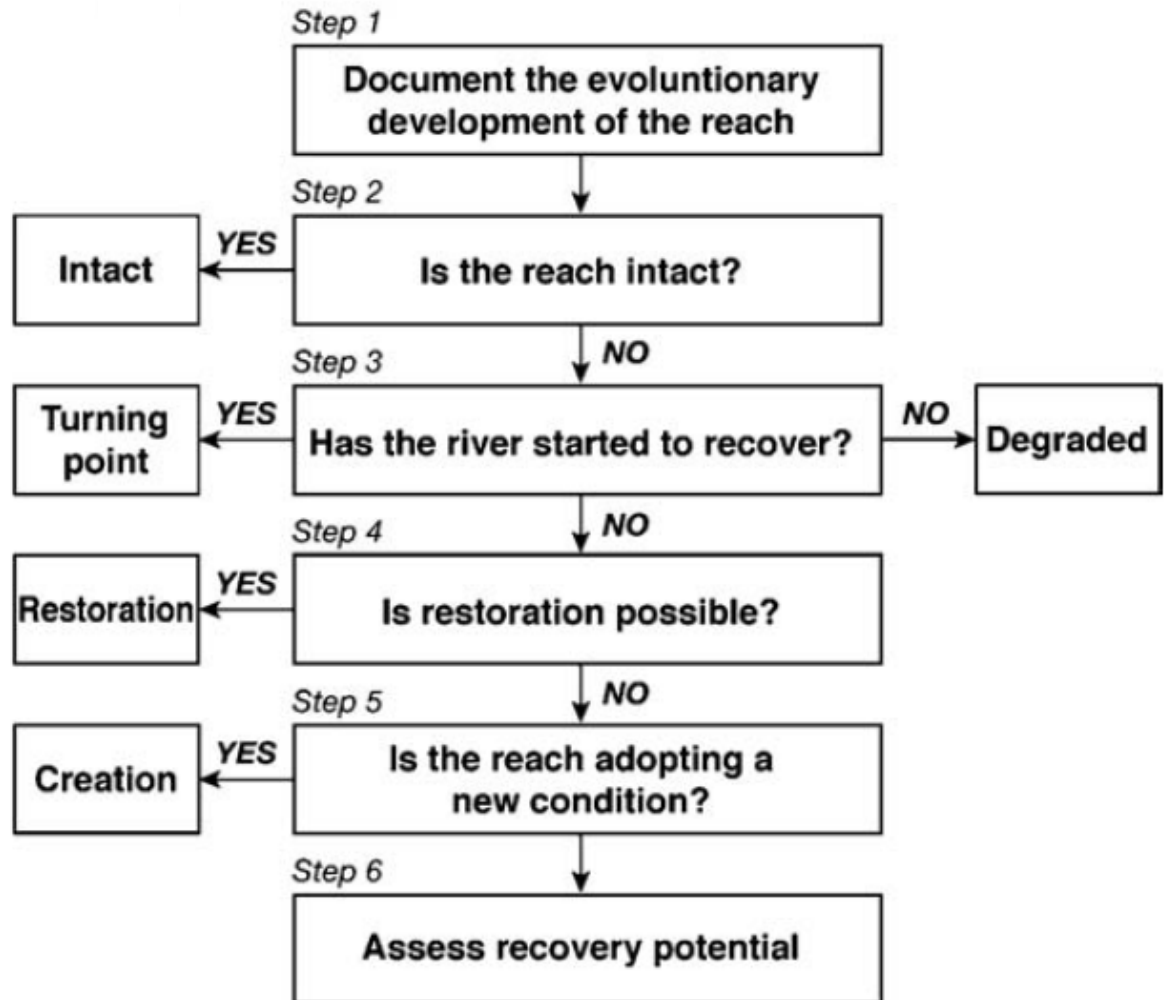
Gregory (2006)



Hydromorphologie



Gregory (2006)
Fryirs and Brierley (2000)



Des outils en hydromorphologie



Evaluer et quantifier l'altération ...

Quels outils ? Quels protocoles de mesure?



...puis restaurer...

Qui, quoi, comment?

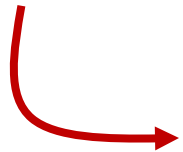


**...et faire un
suivi post-travaux**

**La restauration est -elle un
succès?**

La DCE et l'hydromorphologie

La DCE définit le bon état comme un écart « léger » à **une situation de référence**, correspondant à des milieux non ou très faiblement impactés par l'homme.



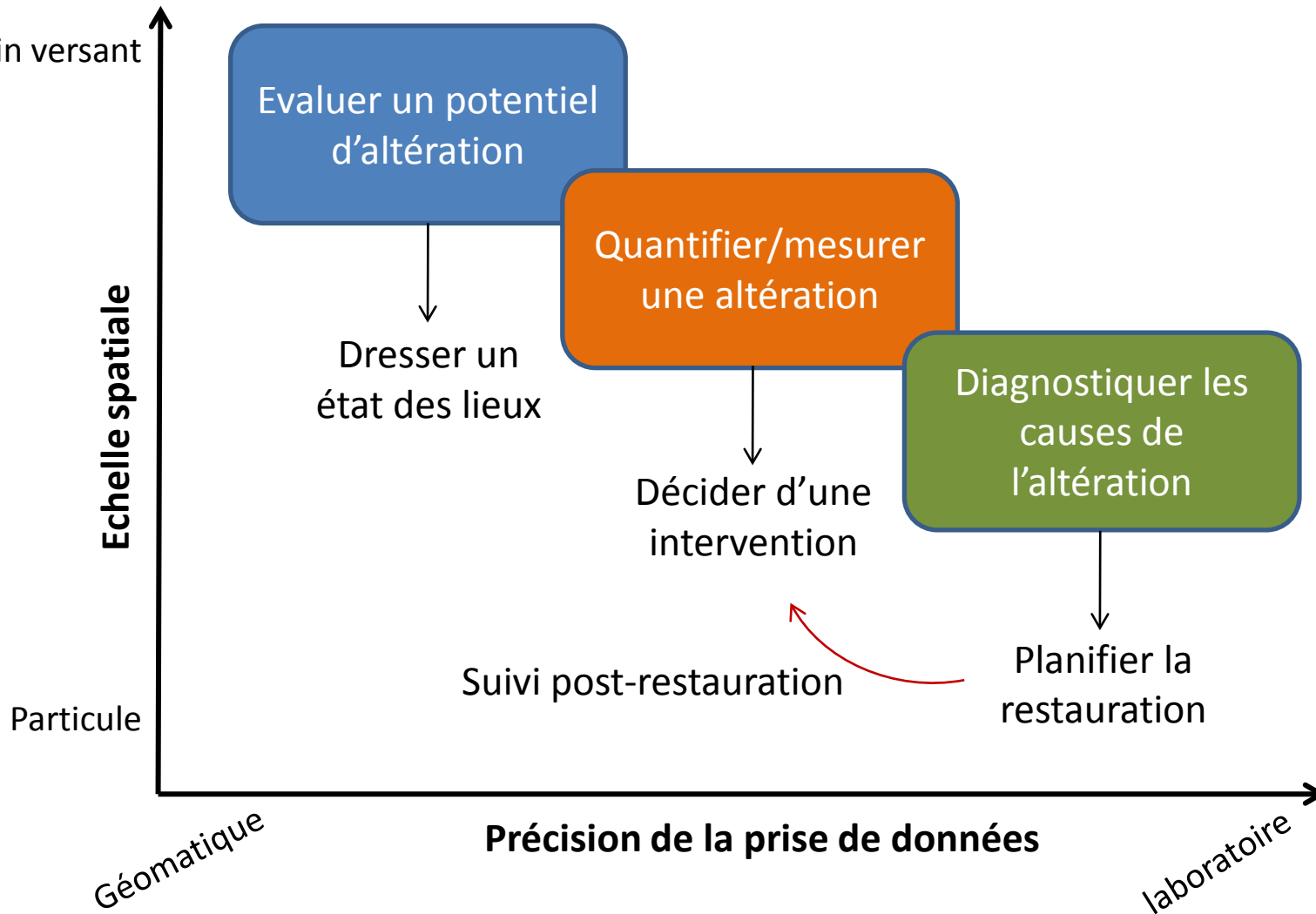
En biologie, une série d'indicateurs références : IPR +, I2M2, etc.

Et en hydromorphologie, est-il possible de définir une référence? Existe-t-il des indicateurs ou des modèles pour quantifier une altération?
Quels sont les outils existants?

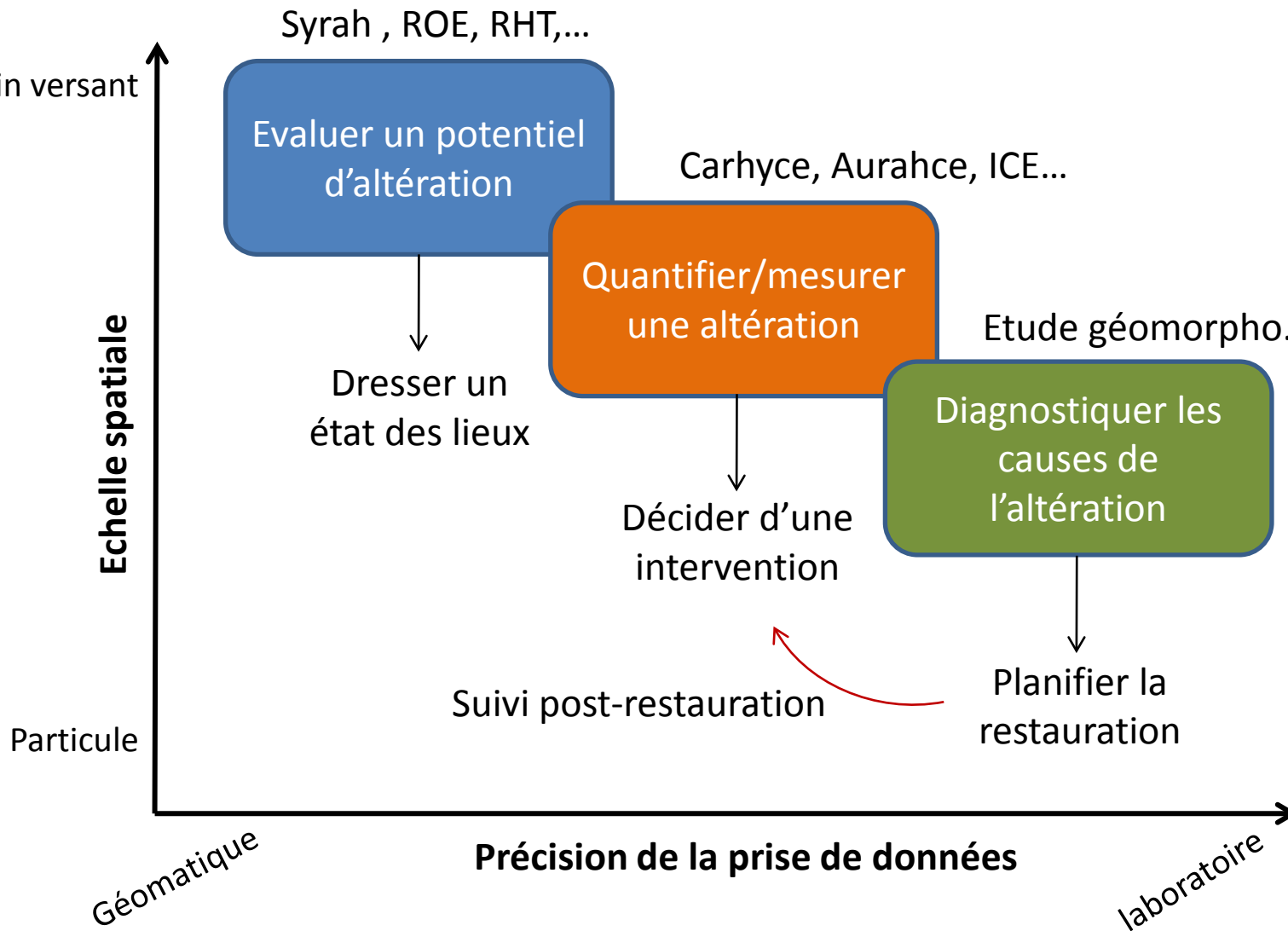
L'hydromorphologie et la DCE en Europe

Pays	Nom du Protocole	Références	Description succincte du protocole et des données	Echelle d'acquisition
Angleterre	RHS (River Habitat Survey)	Raven et al. 1997, 1998, 2002	Collecte systématique sur de nombreuses stations (24000 relevés), données centrées sur l'habitat, l'hydromorphologie n'est traitée que succinctement (un seul transect)	Systématique/ Nationale
Allemagne	LAWA (Länderarbeitsgemein- schaft Wasser)		Acquisition sur le terrain de données qualitatives d'évaluation d'altération morphologique	Systématique/ Nationale
Belgique	WALPHY	Univ. Liège et Namur	Adaptation du protocole QUALPHY (Mesures de terrain qualitatives et quantitatives)	Non systématique/ Régional
Espagne	IHG (Indice HydroGeomorfologico)	Ollero et al. 2007, 2011	Essai à l'échelle régionale d'un protocole et calcul d'un indice hydromorphologique de l'évaluation de la qualité des rivières	Non systématique/ Certaines régions
Italie	MQI (Morphological Quality Index)	Rinaldi et al. 2013	Développement d'indice à partir de données géomatiques + étude de terrain localement. Acquisition non systématique.	Non systématique/ Certaines régions
France	Syrah	Valette et al., 2008 ; Chandesris et al., 2009	Évaluation du potentiel d'altération à partir de données géomatiques de pressions	Systématique/ Nationale

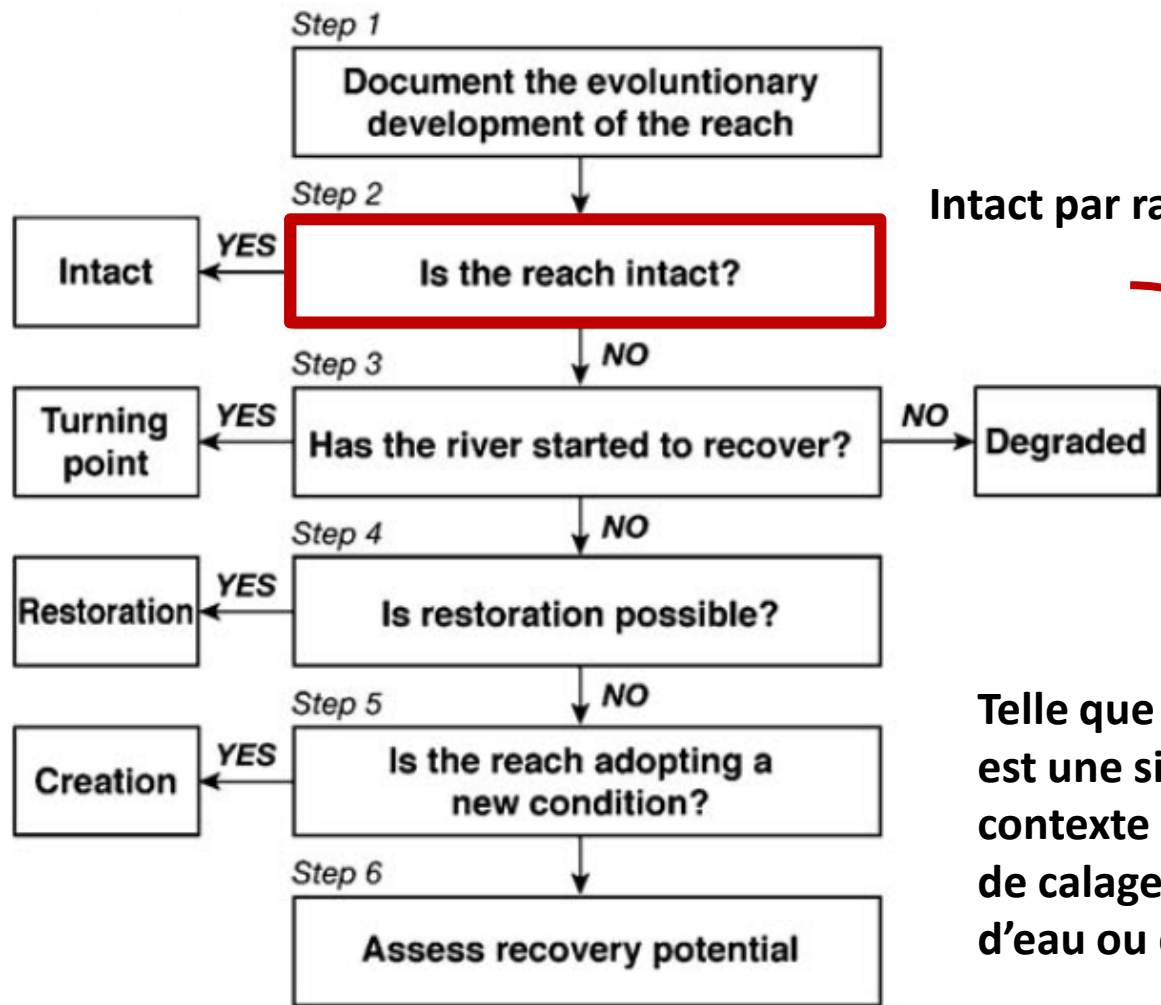
Les outils hydrogéomorphologiques



Les outils hydrogéomorphologiques français



Référence Hydromorphologie

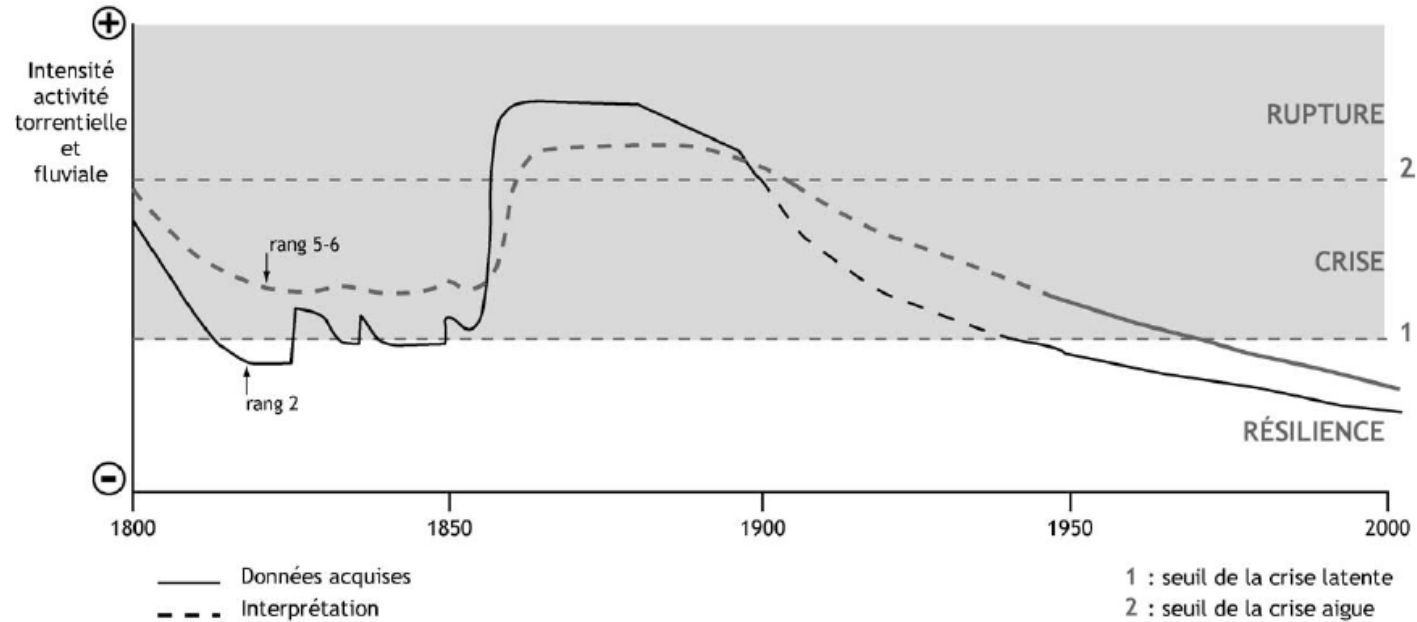


Intact par rapport à quoi?

Telle que définie par la DCE, la référence est une situation repère, variable selon le contexte naturel, qui constitue un point de calage pour évaluer l'état d'une masse d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau

Ref. historique Vs ref. spatiale

Modèle de comportement des torrents du Diois oriental aux XIX^e-XX^e siècles



Roche *et al.* (2005)



1900

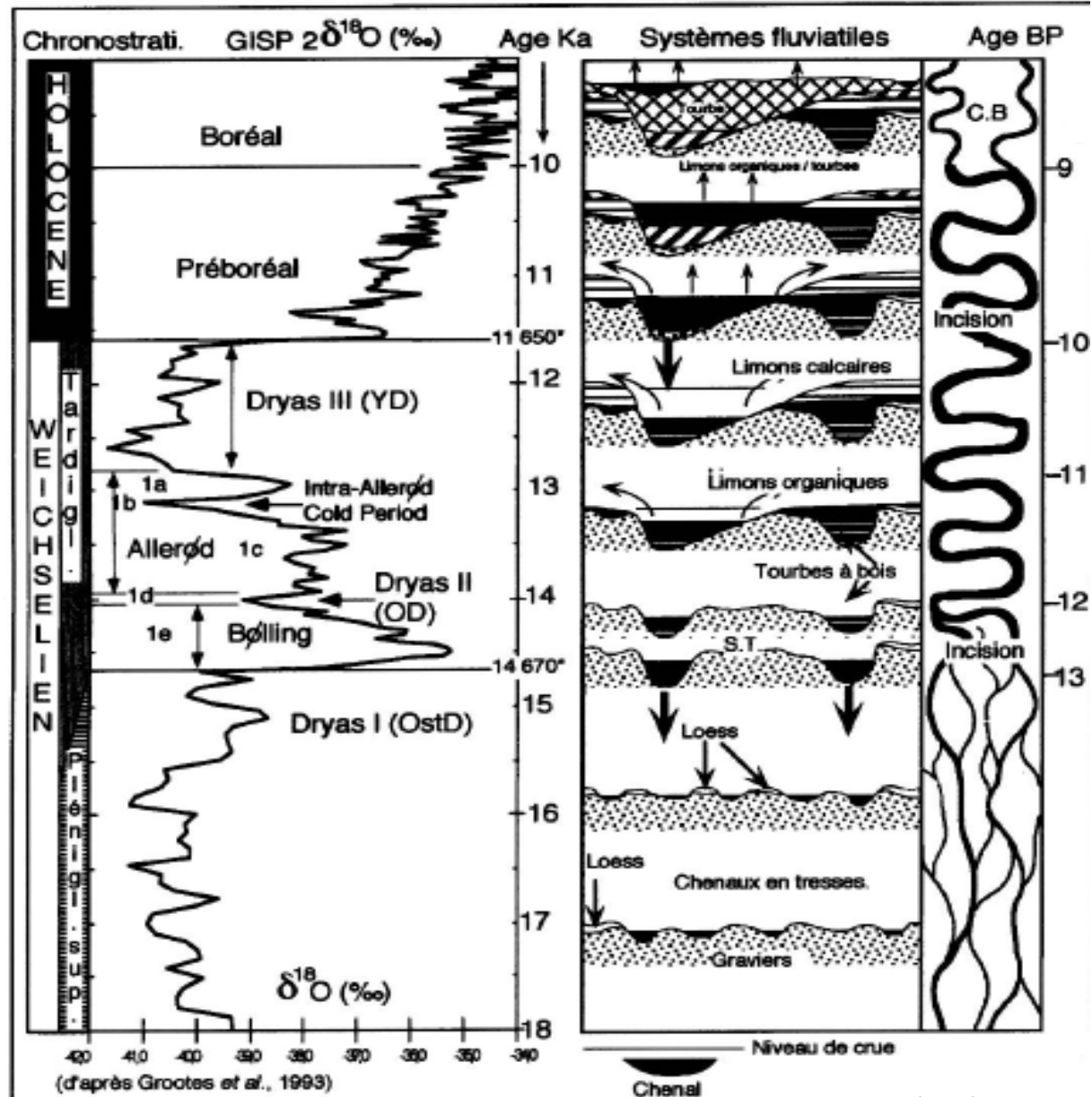


1930-40



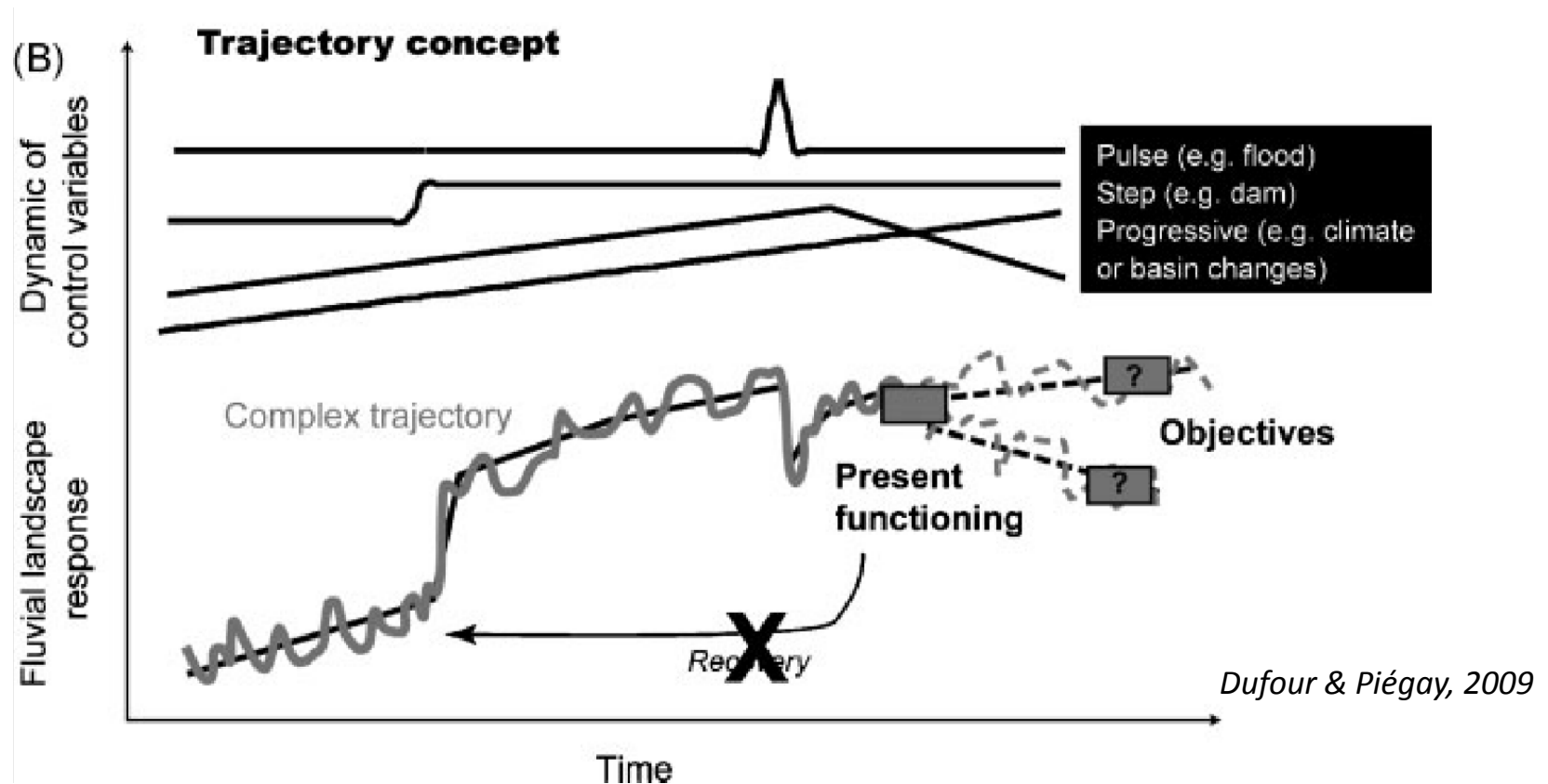
2003

Ref. historique Vs ref. spatiale



Evolution des fonds de vallée de la Somme au Tardiglaciaire et à l'Holocène

Ref. historique Vs ref. spatiale

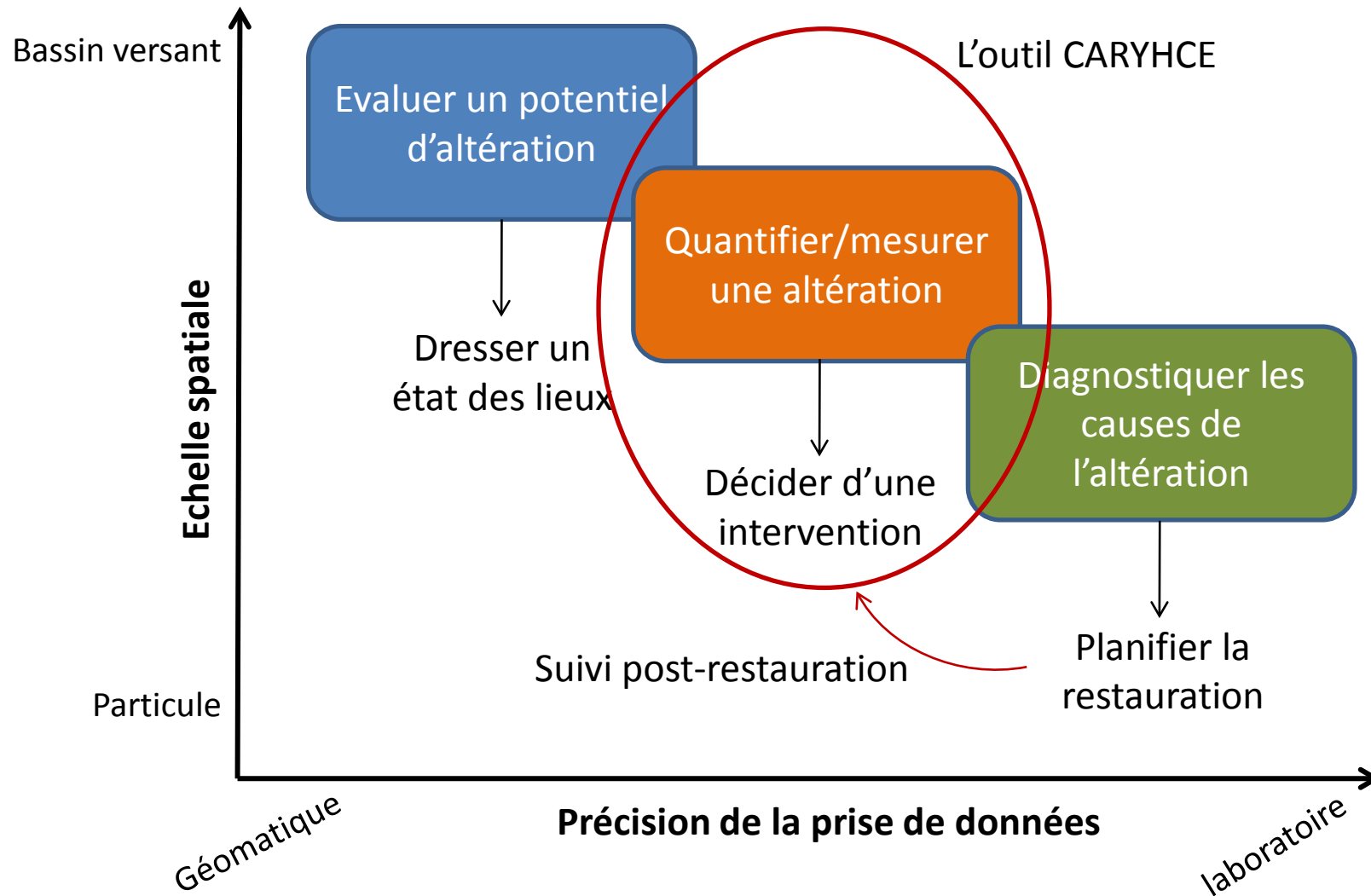


Pour prendre en compte ce concept de trajectoire on considère :

- définition statistique de la référence (> nb de tronçons de rivière),
- intégration de la variabilité naturelle, à la fois locale et temporelle.

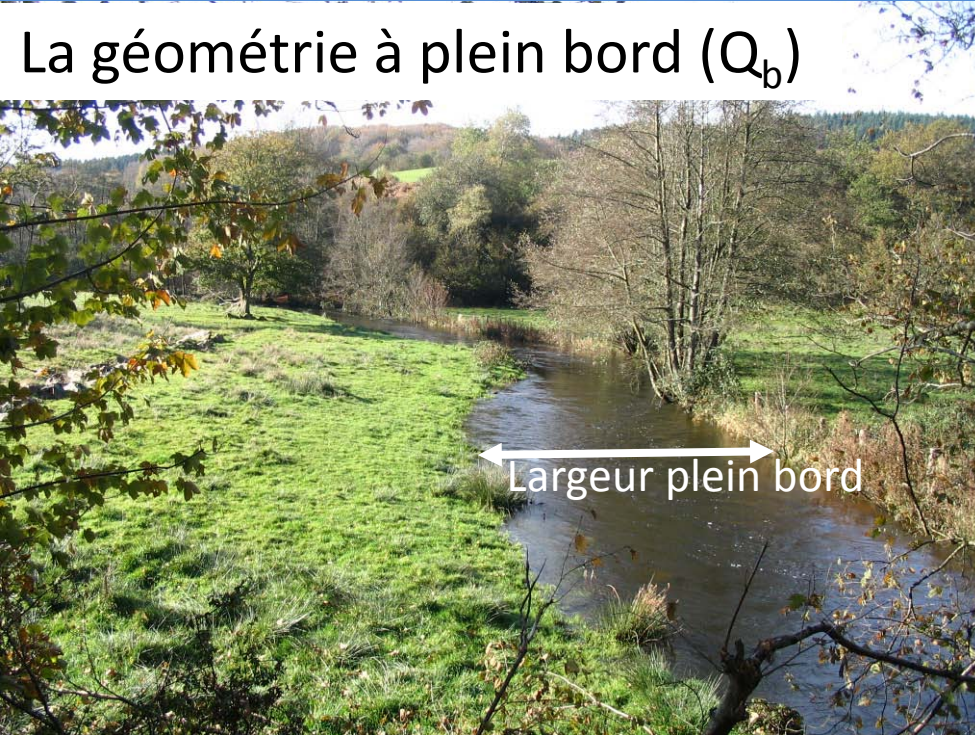
La référence est à la fois **spatiale** et **dynamique**

LA BD et l'outil CARHYCE



Le principe de Carhyce

La géométrie à plein bord (Q_b)



« La capacité d'écoulement du lit mineur juste avant de déborder dans la plaine d'inondation » (*Wolman et Leopold, 1957*)

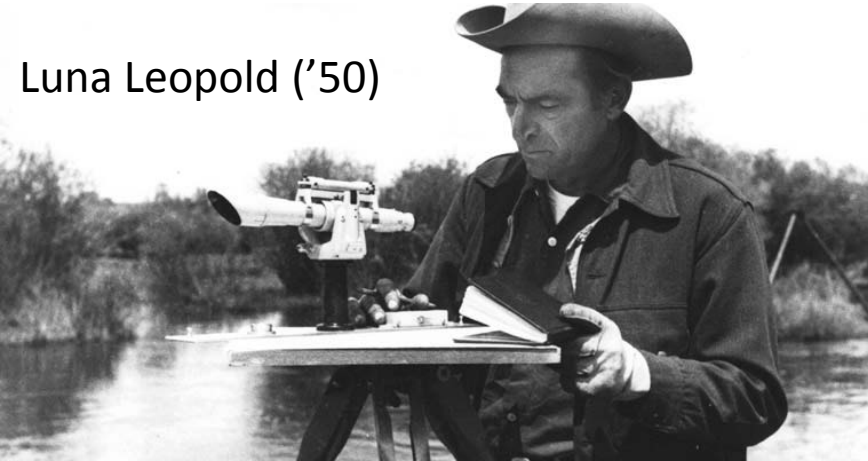
➔ **Auto-ajustement** de la géométrie du lit en fonction des caractéristiques hydro –géomorphologiques du bassin versant



Le principe de Carhyce

Le principe : **les relations de géométrie hydraulique**

Luna Leopold ('50)



moviespictures.org

$$y = aQ^b$$

- **y** une dimension du tronçon (largeur, profondeur) → variable de réponse
- **Q** le débit liquide (ou la surface du bassin versant) → variable de contrôle
- **a** et **b** des constantes

Hypothèse:

Ecart au modèle = indice d'altération

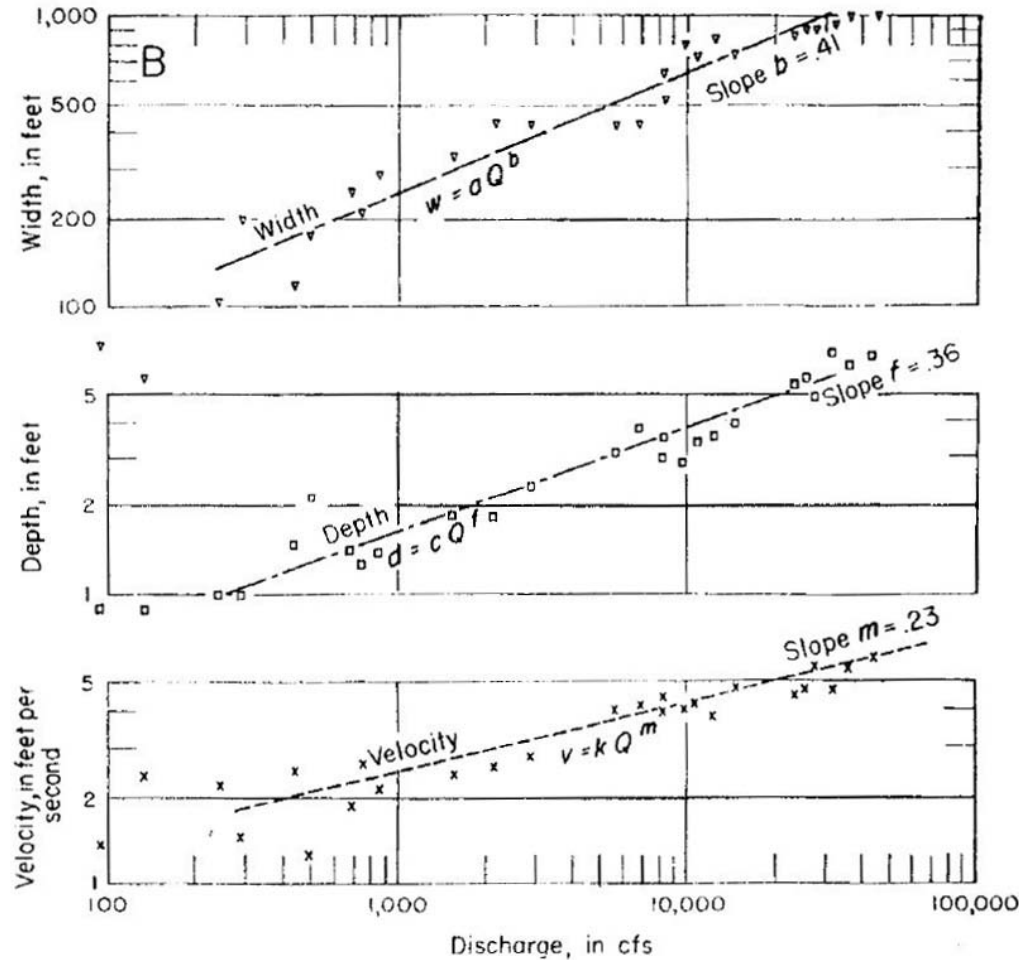
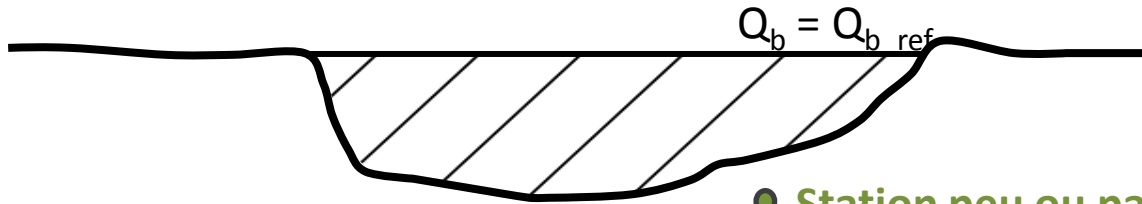
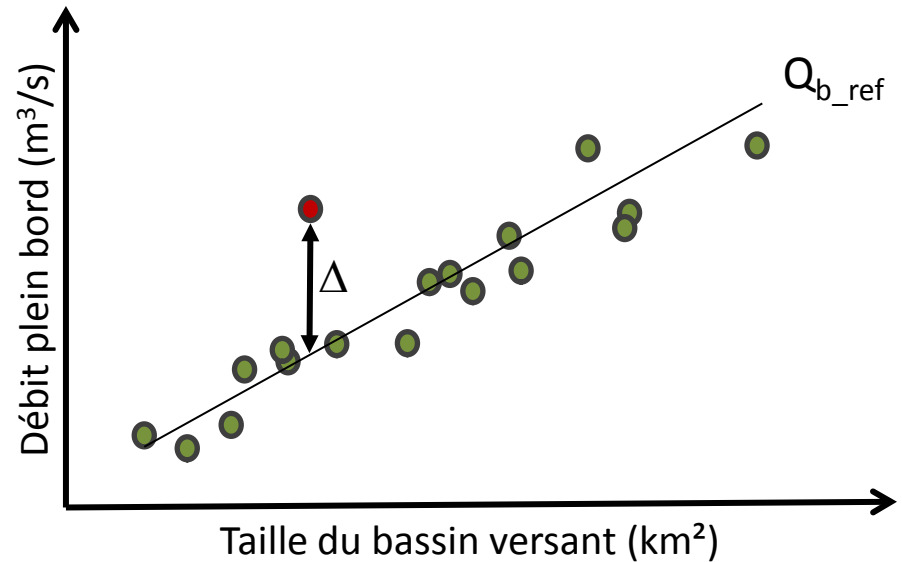


Figure : Exemple de graphique montrant la relation entre variable de contrôle (ici le débit) et variable de réponse (ici, de haut en bas, largeur, profondeur, et vitesse) (Leopold & Maddock, 1953).

Le principe de Carhyce

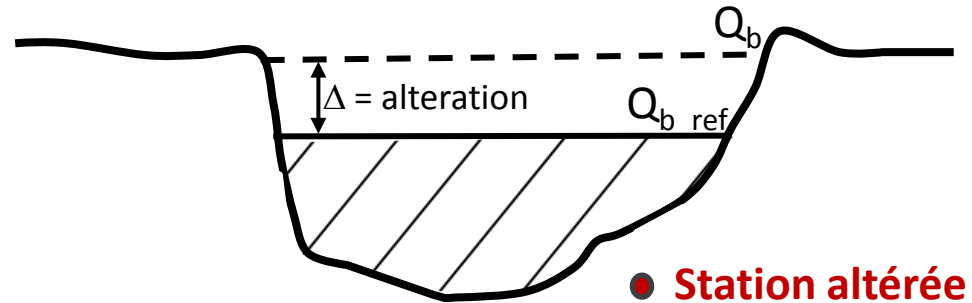
L'écart à la droite de référence (Δ) permet de quantifier l'altération



● Station peu ou pas altérée

Q_b = débit plein bord mesuré (n stations)

Q_{b_ref} = débit plein bord de référence
(ajusté sur un grand nombre de stations
dites de référence)

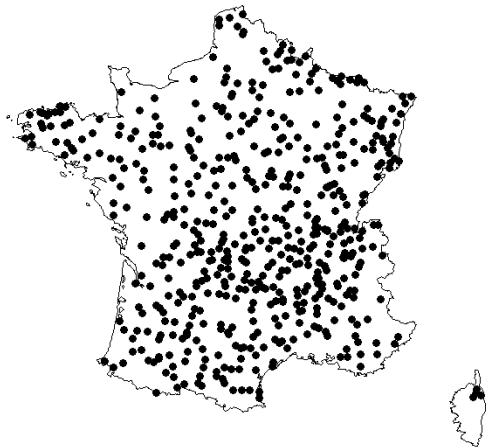


● Station altérée

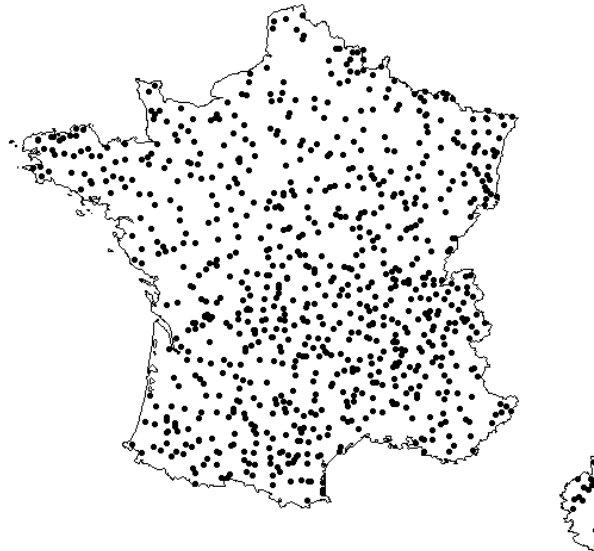
Base de données CARHYCE

→ **Le protocole de terrain standardisé CARHYCE appliqué sur l'ensemble du territoire**
(Réseau de contrôle et de surveillance (RCS) et réseau de référence pérenne (RRP) → ~1500 stations)

Janvier 2012 : 534 stations



Mars 2013 : 855 stations



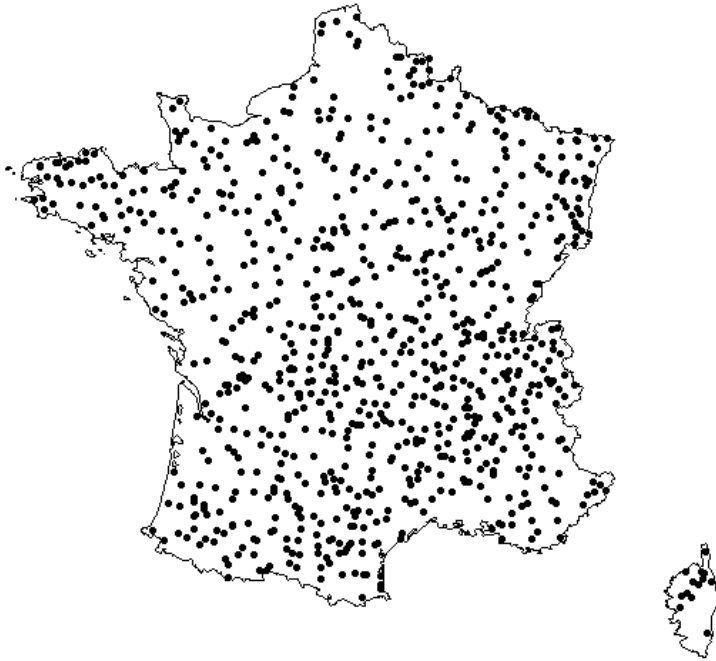
Janvier 2014 : 991 stations



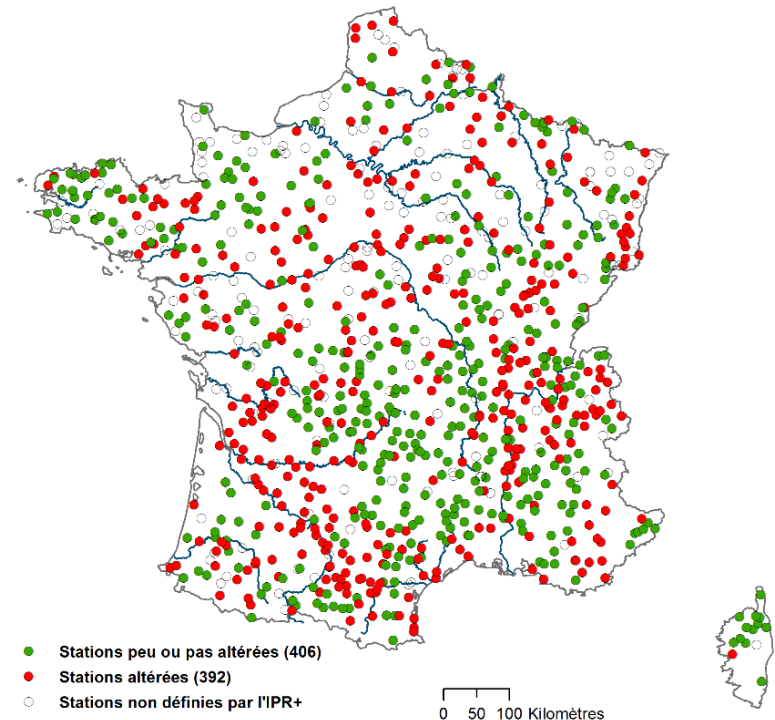
Les références en hydromorphologie

Pour définir des références spatiales et dynamiques :

Un grand jeu de données
homogènes



Leur niveau d'altération
(expertise de terrain)



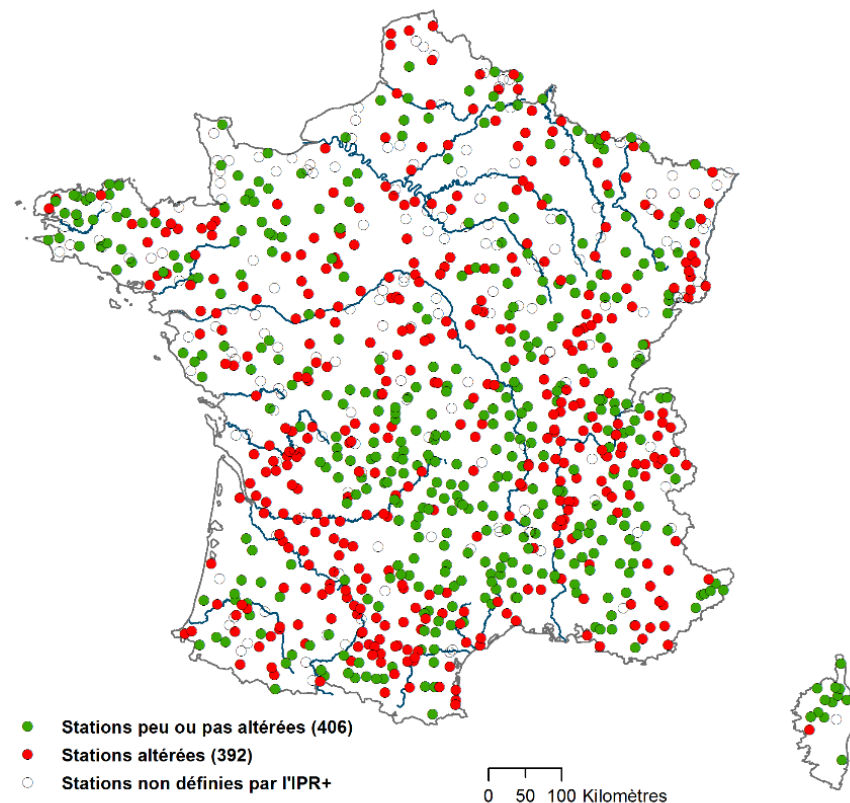
Modèles de référence permettant l'évaluation et la quantification de
n'importe quel tronçon de cours d'eau

Identification de stations peu altérées

→ Références: milieux non ou très peu altérés

Variable d'altération IPR+

- Modification du régime des débits
- Recalibrage
- Rectification
- Altération transport solide

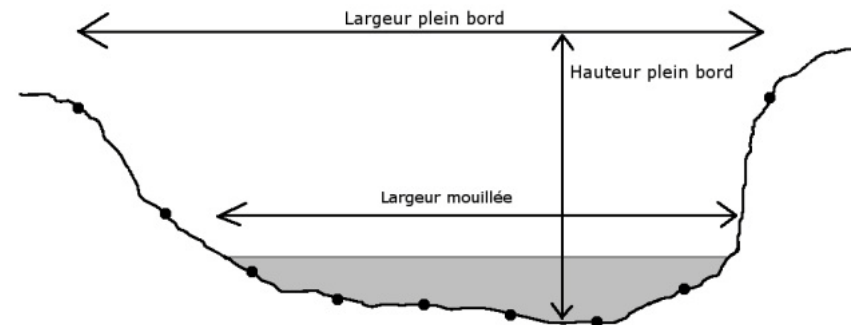
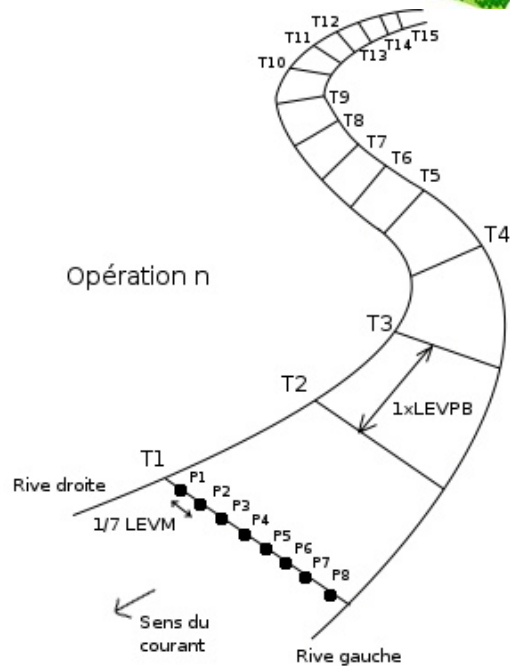


	Recalibrage	Rectification	Modification débits	Altération transport solide
Non altérés (406)	Non	Non	Nul/Faible	Nul/Faible
Altérés (392)	Oui / Intermédiaire	Oui / Intermédiaire	-	-

Le protocole CARHYCE

Protocole standardisé → données homogènes sur toute la France

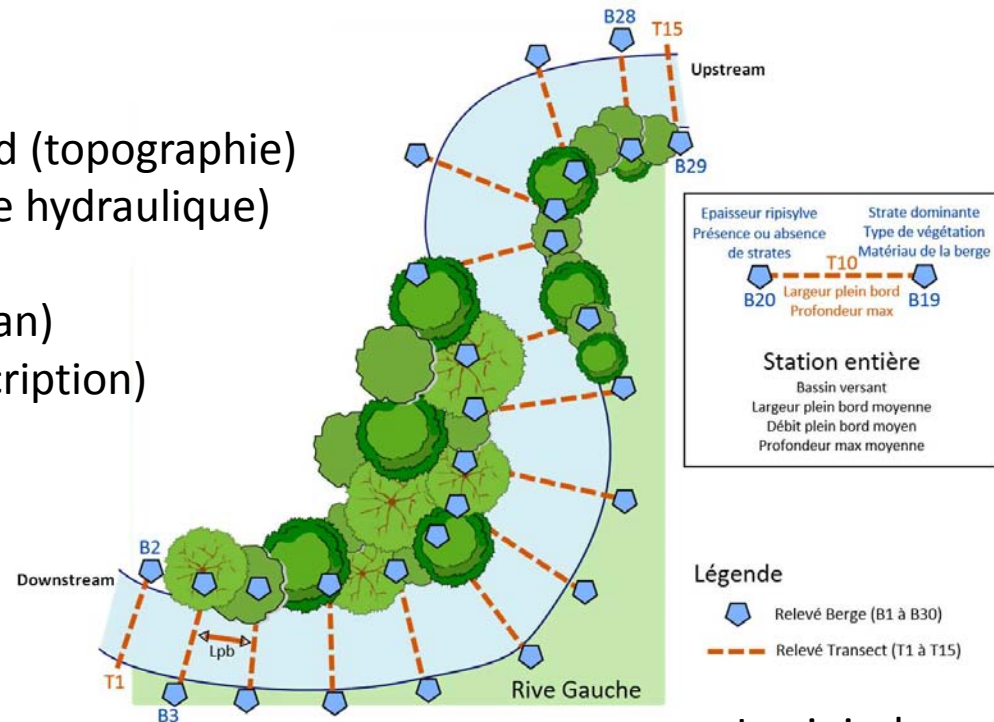
Une station → 15 transects topographique espacé d'une largeur plein bord



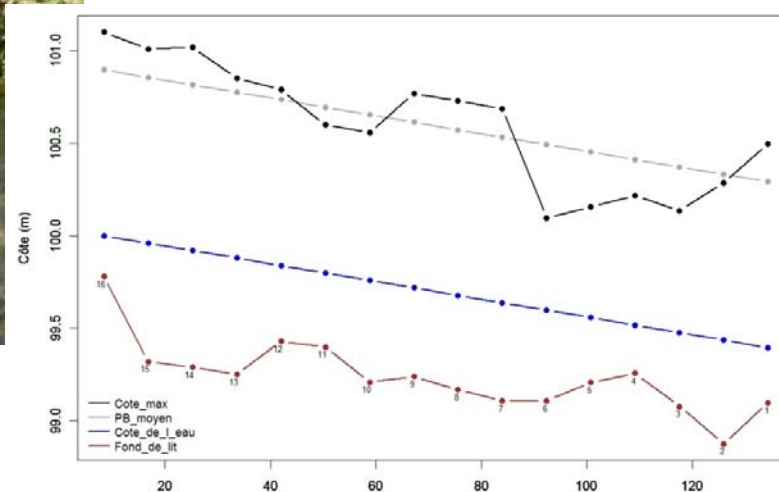
Le protocole CARHYCE

Mesures sur la station :

- La géométrie du lit à plein bord (topographie)
- Le débit (relation de géométrie hydraulique)
- La pente
- La granulométrie du lit (Wolman)
- La végétation des berges (description)



La granulométrie du substrat



Le profil en long

La ripisylve

La base de données CARHYCE

→ Saisie des données



Acquisition
des données

Données acquises
•Largeur Plein Bord
•Hauteur Plein Bord
•PROF de chaque point
•PENTE_LIGNE_EAU
•DEBIT_MESURE
•Granulométrie
•Description des berges
•Description de la ripisylve

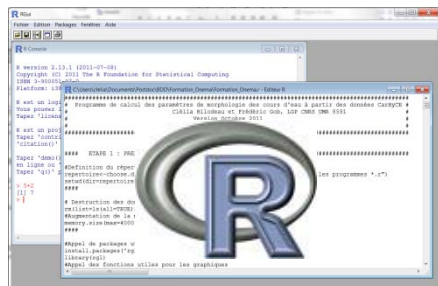
Saisie des données
sur l'application

ID_TRANSECT	CODE_TRANSECT	NUM_TRANSECT	LPB	L MOULLEE	HPB	DEBIT_TRANSECT	REMARQUES	CODE_MM	FACHES	SIMPLIFIE	CODE
1	01001122001001_1	1	9.65	5	1.3	2	Granulo au pied	1			
2	01001122001001_2	2	10.6	4.2	1.5	2	Granulo mesur	3			7
3	01001122001001_3	3	12.4	5.4	1.57	2	En aval de l'affluent en RD	3			7
4	01001122001001_4	4	7	4.7	1.1	2	A l'aval de l'affluent en RD	4			6
5	01001122001001_5	5	7.25	3.7	1.32	1	Granulo mesur	4			8
6	01001122001001_6	6	7.8	4.6	1.4	2	Granulo mesur	4			8
7	01001122001001_7	7	10.2	5.6	1.53	2	Granulo mesur	1			
8	01001122001001_8	8	7.75	4.1	1.17	2	Granulo mesur	3			7
9	01001122001001_9	9	8.9	4.2	1.2	2	Granulo mesur	4			8
10	01001122001001_10	10	9.5	6.7	0.98	2	Proximité d'une habitation en rive gauche	4			8
11	01001122001001_11	11	10.65	5	1.3	2	Granulo	1			
12	01001122001001_12	12	9	5.7	1.1	2	Granulo ? à main	4			8
13	01001122001001_13	13	8.7	5.9	1.09	2	Granulo mesur	1			
14	01001122001001_14	14	8.05	5.9	1.05	2	Granulo au pied	1			
15	01001122001001_15	15	7.4	4.8	1.18	2	Granulo mesur	3			
16	01006000001001_16	1	14	7.1	2.8	1	Granulométrie mesur	2			6
17	01006000001001_17	2	15.2	8.65	3	2	Granulométrie au bathyscopie	2			6
18	01006000001001_18	3	16.15	9.6	2.6	2	granulométrie mesur	2			6
19	01006000001001_19	4	16	8	3.2	2	Granulométrie au bathyscopie	2			6
20	01006000001001_20	5	14.3	8.1	2.6	2	Granulométrie au bathyscopie et au pied	2			6
21	01006000001001_21	6	14.75	7.65	3	2		2			6
22	01006000001001_22	7	14.2	7.7	2.78	2		3			7
23	01006000001001_23	8	17.45	10.45	2.85	2		4			8
24	01006000001001_24	9	16.4	10.7	2.75	2		1			3
25	01006000001001_25	10	10.6	8.6	3	2	Granulométrie au bathyscopie	1			3

Base de données CARHYCE

Le programme R CARHYCE

→ Intégration de la base CARHYCE dans un programme R



1. Reconstitution des profils en long et en travers
2. Calculs de paramètres hydromorphologiques

LMEV

LEVPB

LPB

HPB

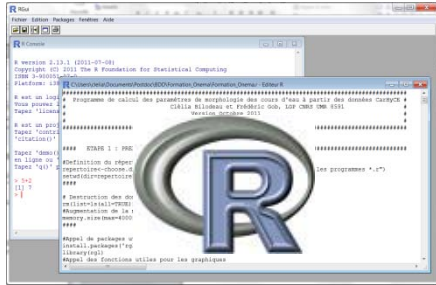
PROF

PENTE_LIGNE_EAU

DEBIT_MESURE

Le programme R CARHYCE

→ Intégration de la base CARHYCE dans un programme R



1. Reconstitution des profils en long et en travers

LMEV

LEVPB

LPB

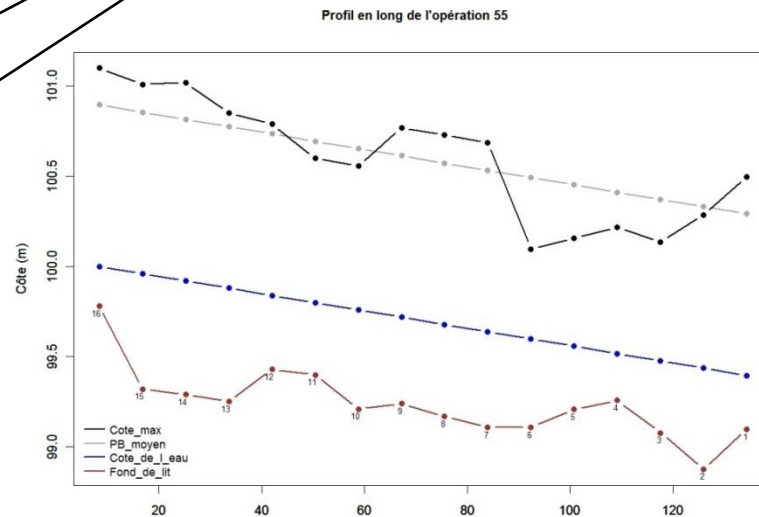
HPB

PROF

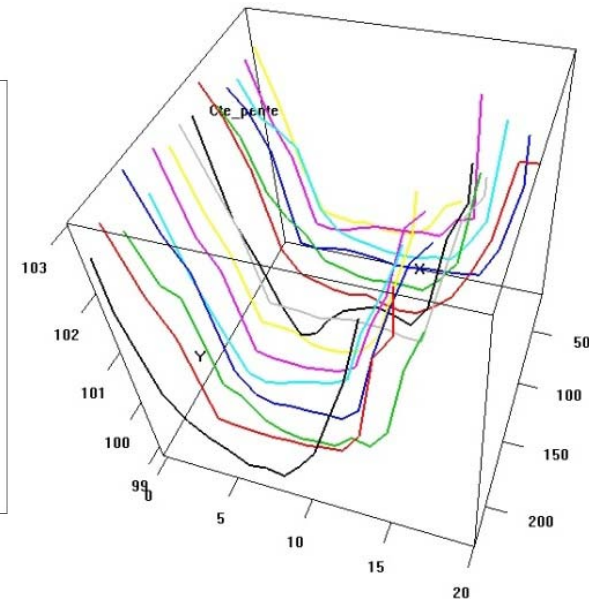
PENTE_LIGNE_EAU

DEBIT_MESURE

-Coordonnées X, Y, Z: profils



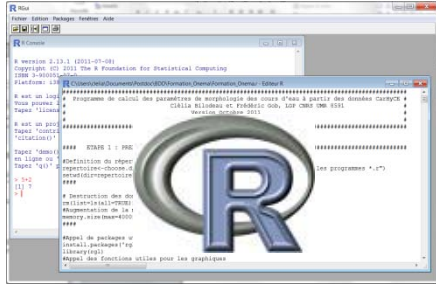
Profil en long



Profils en travers

Le programme R CARHYCE

→ Intégration de la base CARHYCE dans un programme R



1. Reconstitution des profils en long et en travers
2. Calculs de paramètres hydromorphologiques

LMEV

LEVPB

LPB

HPB

PROF

PENTE_LIGNE_EAU

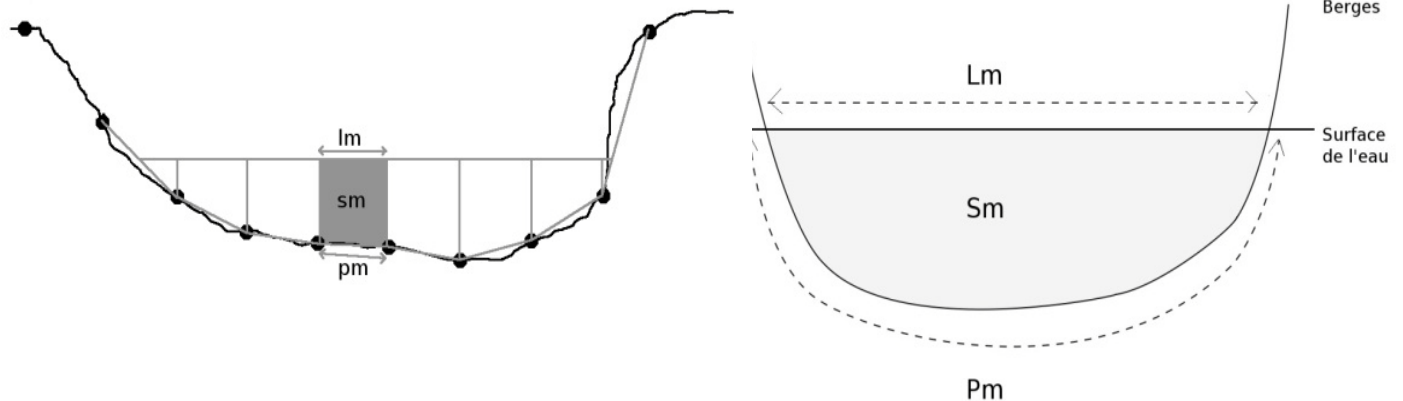
DEBIT_MESURE

-Coordonnées X, Y, Z: profils

-Surface, largeur, et périmètre mouillés (S_m , L_m , P_m)

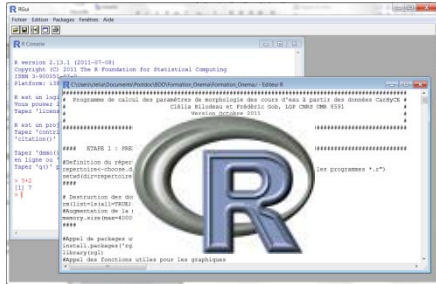
-la hauteur d'eau maximale et moyenne H_{max} et H_{moy}

-le rayon hydraulique $R_h (=S_m/P_m)$



Le programme R CARHYCE

→ Intégration de la base CARHYCE dans un programme R



1. Reconstitution des profils en long et en travers
2. Calculs de paramètres hydromorphologiques

LMEVLEVPB

LPB

HPB

PROF

PENTE LIGNE EAU

DEBIT MEASURE

- Coordonnées X, Y, Z: profils

-Surface, largeur, et périmètre mouillés (S_m , L_m , P_m)

-la hauteur d'eau maximale et moyenne H_{max} et H_{moy}

-le rayon hydraulique R_h

- le coefficient de rugosité K

Coefficient de rugosité à Q1 (Manning-Strickler)

$$K = \text{DEBIT MESURE} / S_m \cdot Q_1 \cdot R_h \cdot Q_1^{2/3} \cdot (\text{PENTE LIGNE EAU})^{1/2}$$

Régime uniforme: $K \text{ à } Q_1 = K \text{ à } Q_b$

Régime uniforme si :

- la pente du lit est constante,
- la géométrie de la section mouillée est pratiquement constante,
- la rugosité est constante,
- le débit est constant (écoulement stationnaire).

Le programme R CARHYCE

→ Intégration de la base CARHYCE dans un programme R



1. Reconstitution des profils en long et en travers
2. Calculs de paramètres hydromorphologiques

LMEV

LEVPB

LPB

HPB

PROF

PENTE_LIGNE_EAU

DEBIT_MESURE

-Coordonnées X, Y, Z: profils

-Surface, largeur, et périmètre mouillés (Sm, Lm, Pm)

-la hauteur d'eau maximale et moyenne Hmax et Hmoy

-le rayon hydraulique Rh

-le coefficient de rugosité K

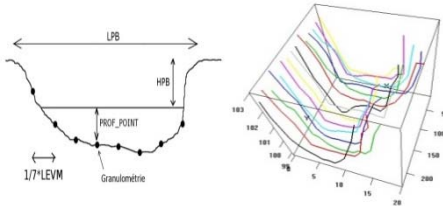
-le débit à pleins bords Qb

Débit pleins bords (Manning-Strickler)

$$Q_b = K * (S_m_{Q_b} * R_h_{Q_b}^{2/3} * (PENTE_LIGNE_EAU)^{1/2})$$

Etapes principales de l'outil CARHYCE

À l'échelle du tronçon



Protocole de mesure terrain standardisé

Reconstitution de la morphologie

Pressions anthropiques

Échelle du bassin

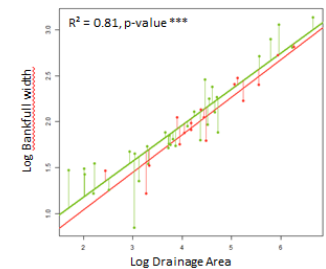
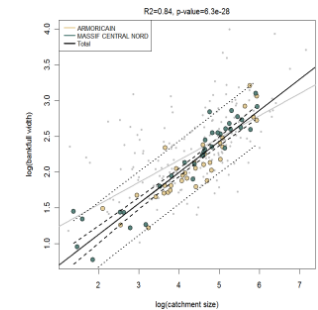
Surface du bassin

Hydro-éco-région
Wasson et al., 2002

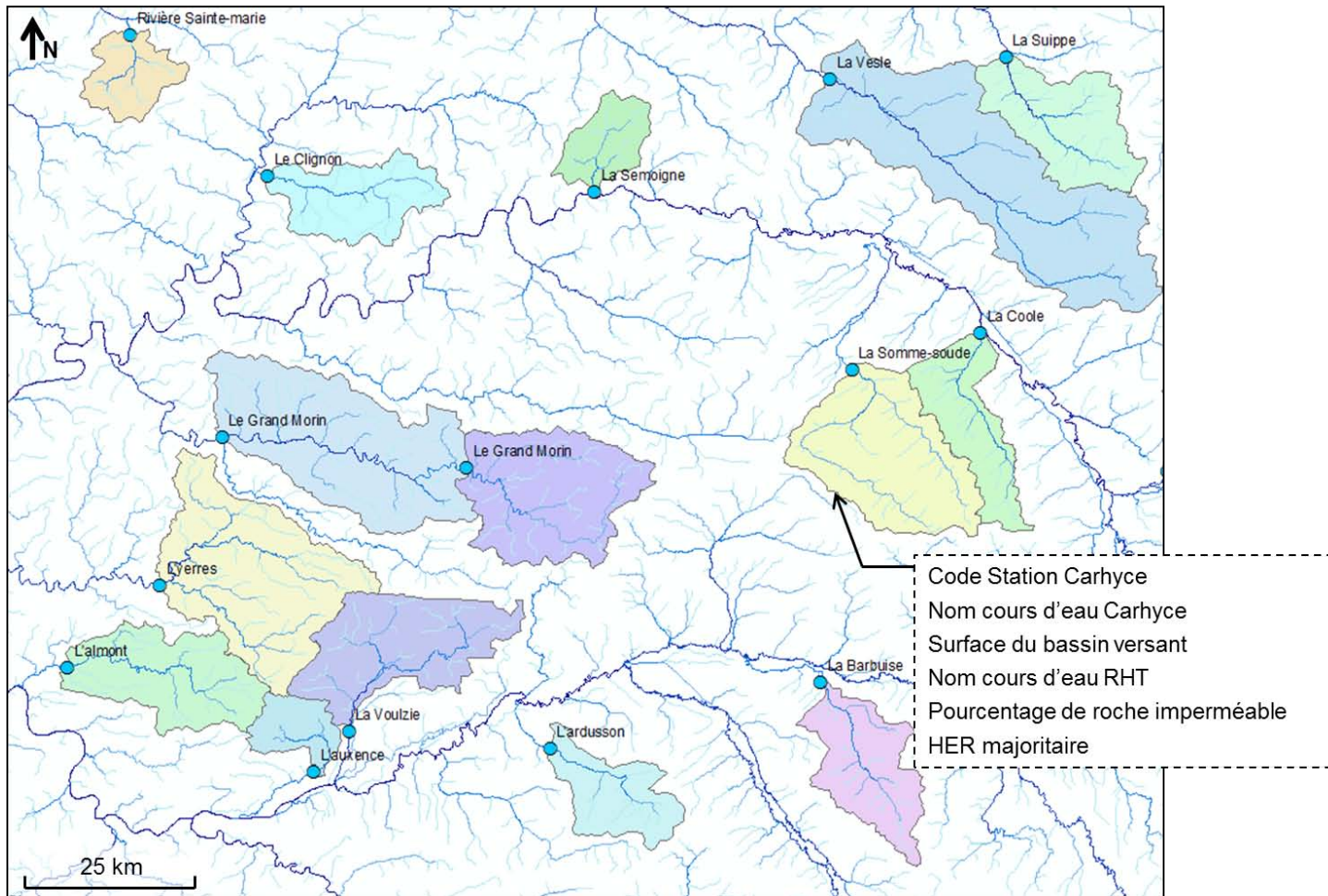
Modèles de référence régionaux par paramètre

Écart aux modèles par paramètre

Indicateur de l'altération hydromorphologique



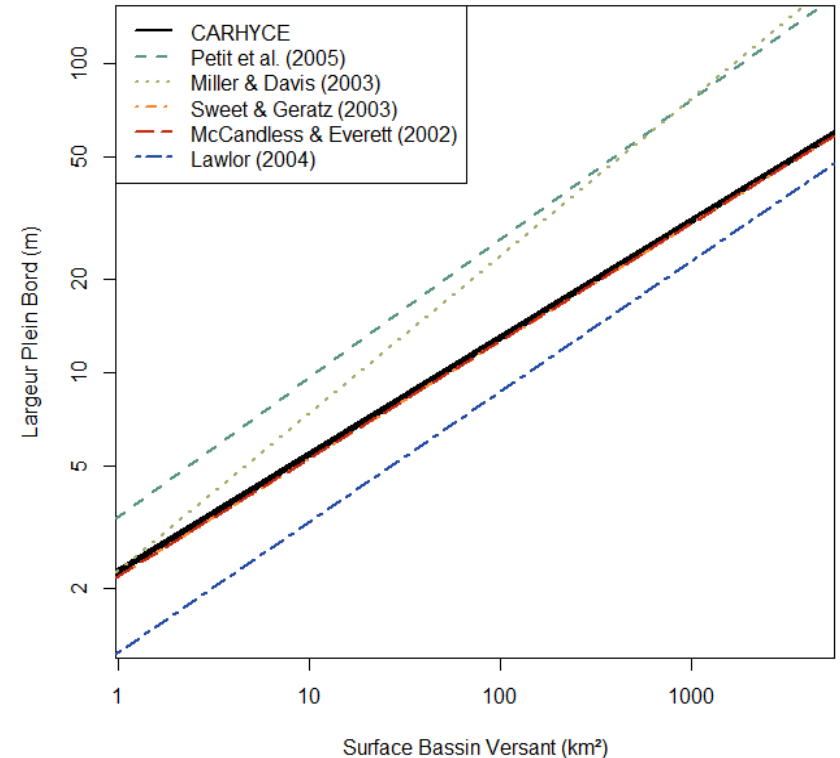
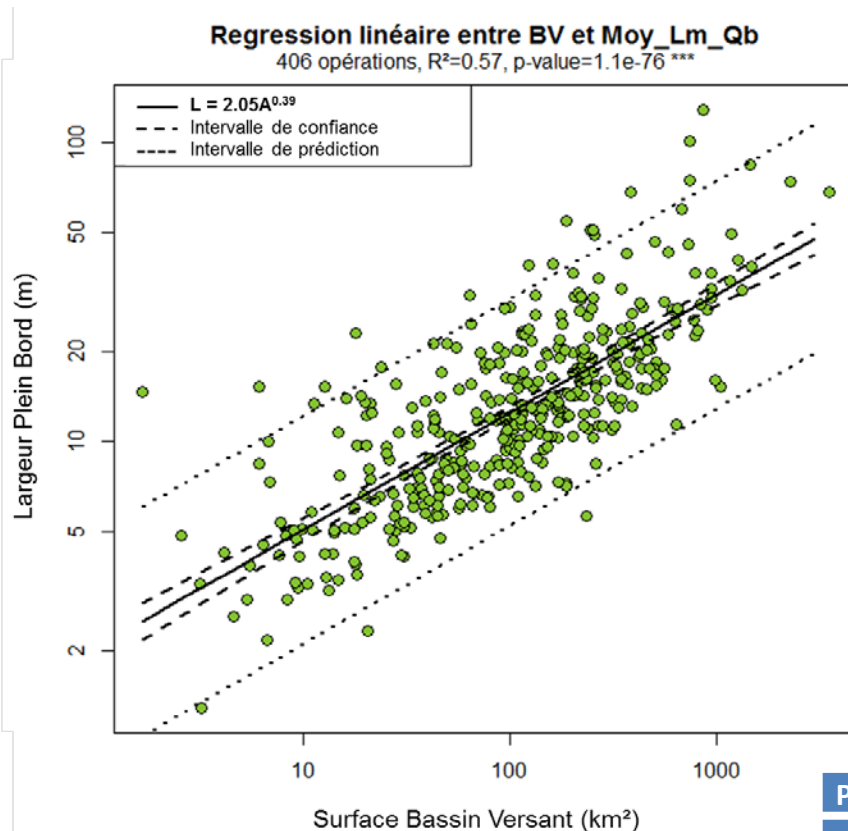
Géo-carhyce



A partir d'un SIG une certain nombre de données sont extraites à l'échelle du bassin et introduite dans la BD CARHYCE (Taille du BV, géologie, etc.)

Modèles de référence

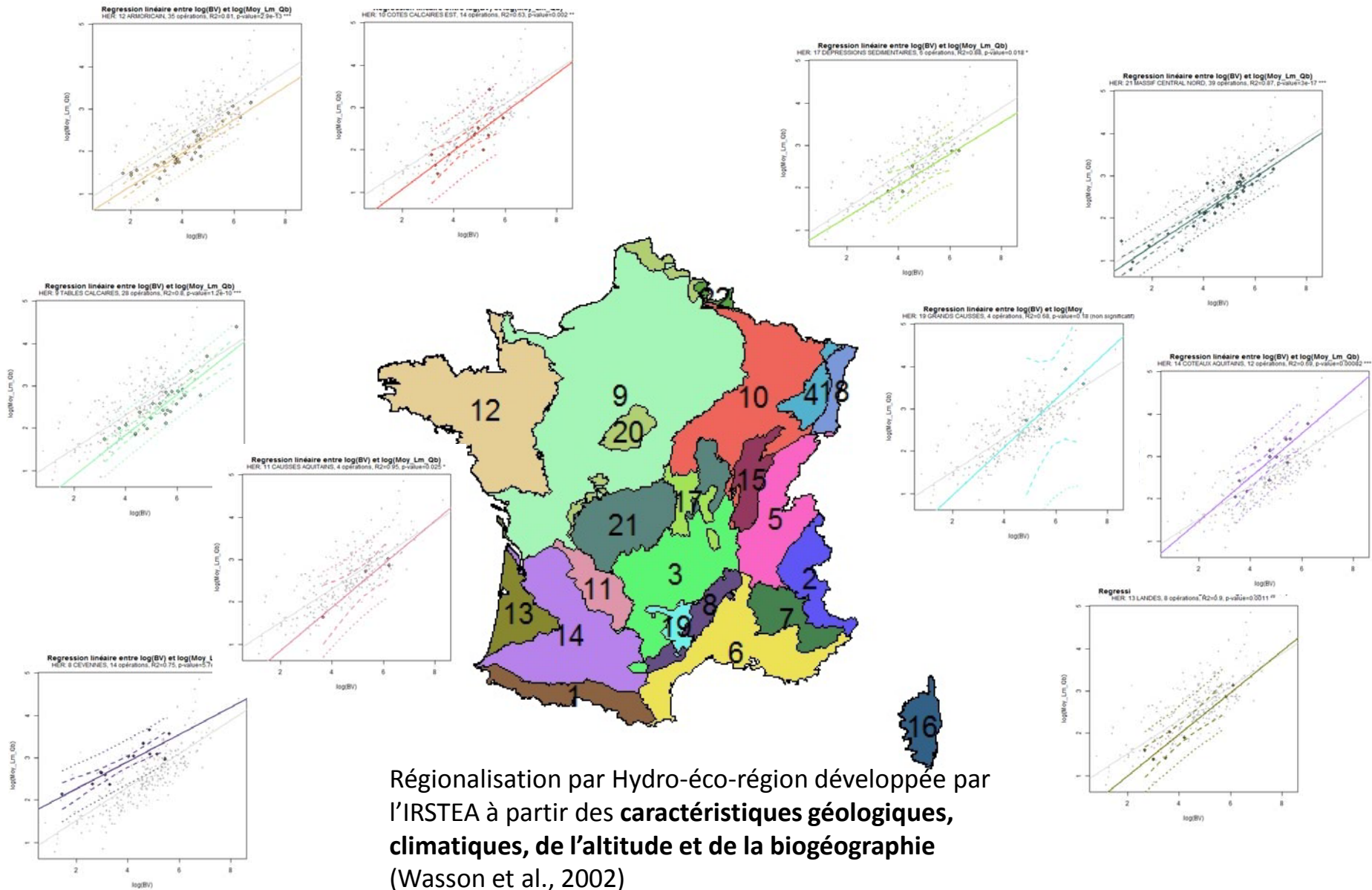
A l'échelle nationale : **312 stations non altérées**



Publications	Contexte géographique	Nb stations	R ²
Petit et al., 2005	Ardennes	38	0.92
Miller & Davis, 2003	Appalachian Plateau, USA	18	0.88
Sweet & Geratz, 2003	Coastal Plain, USA	24	0.95
McCandless & Everett, 2002	Piedmont, USA	23	0.83
Lawlor, 2004	Montana, USA	41	0.67
CARHYCE	France	312	0.59

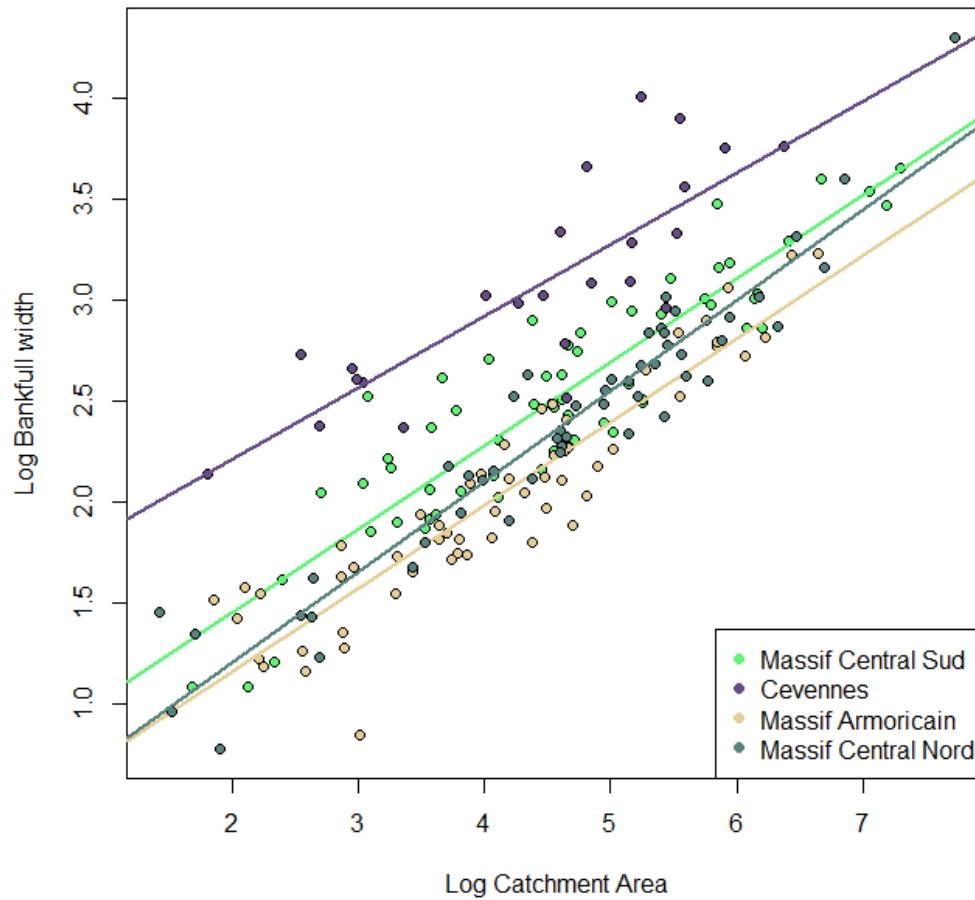
Modèles de référence

A l'échelle régionale : 22 régions

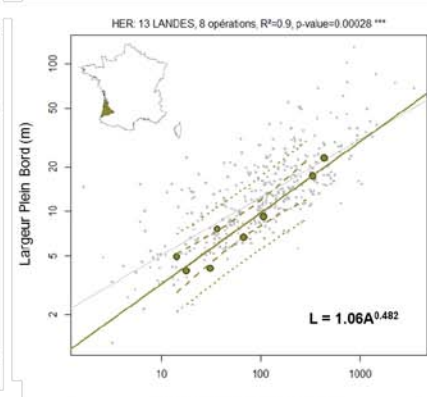
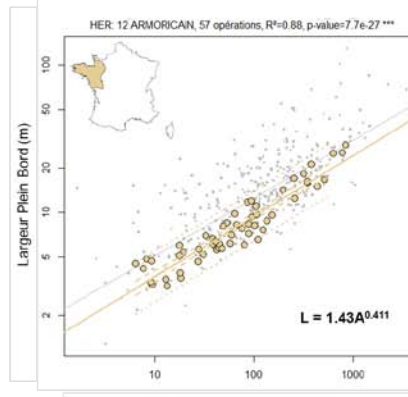
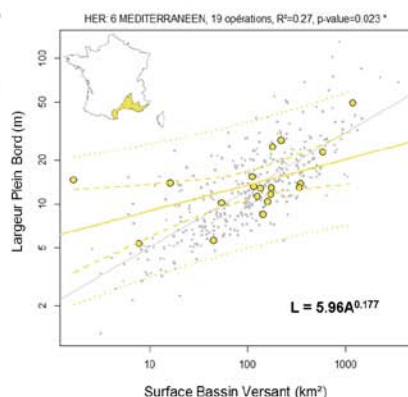
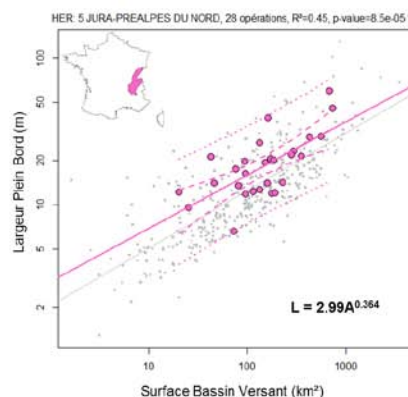
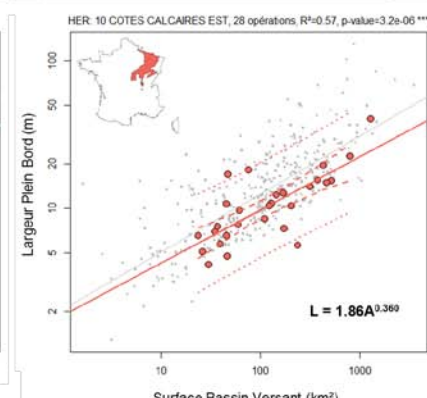
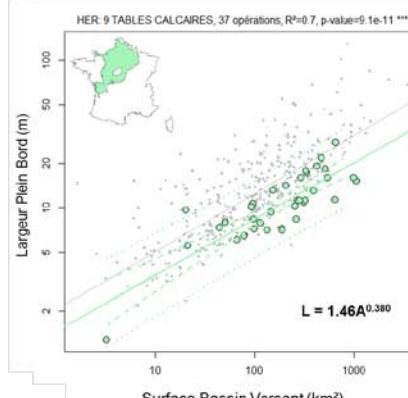
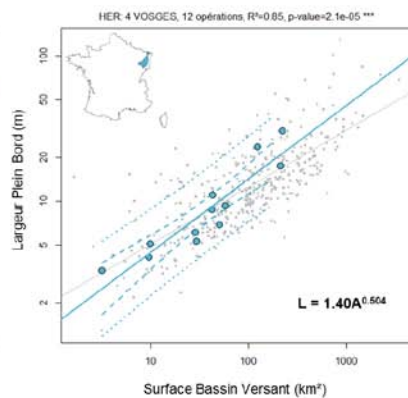
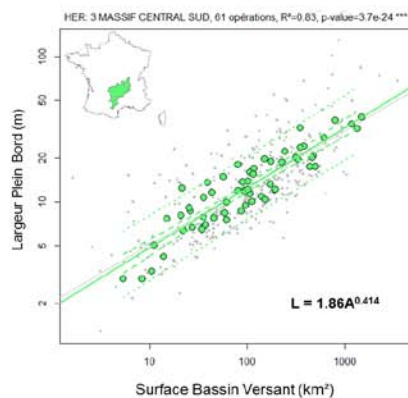
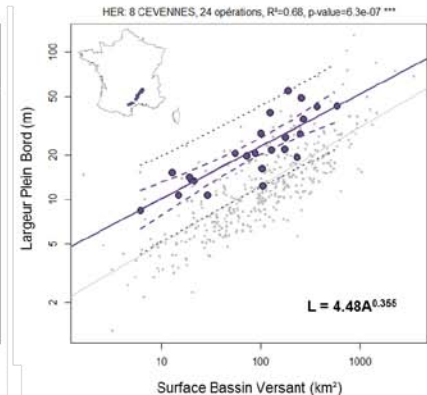
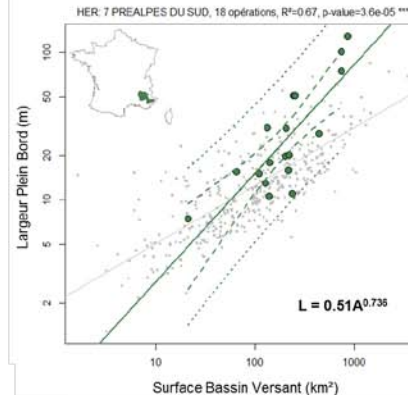
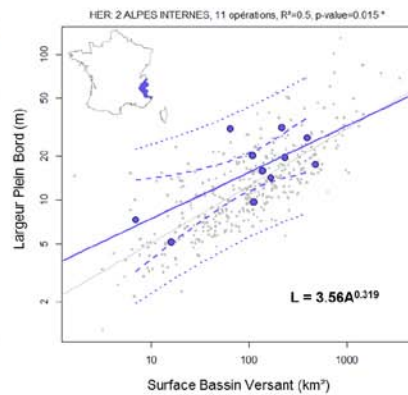
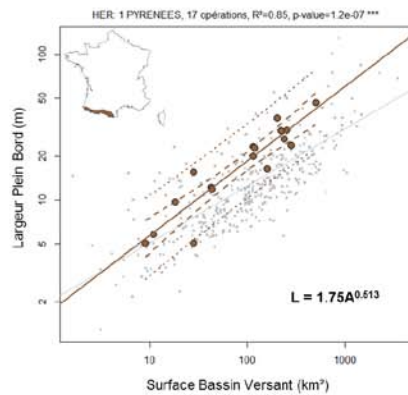


Régionalisation par Hydro-éco-région développée par l'IRSTEA à partir des **caractéristiques géologiques, climatiques, de l'altitude et de la biogéographie** (Wasson et al., 2002)

Modèles de référence régionaux



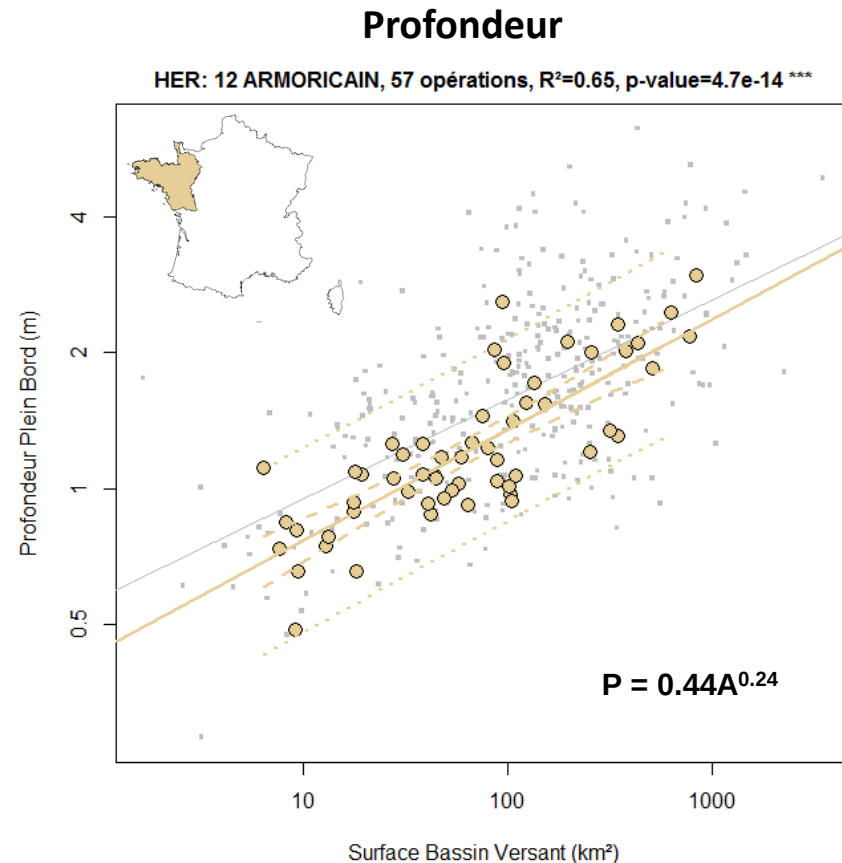
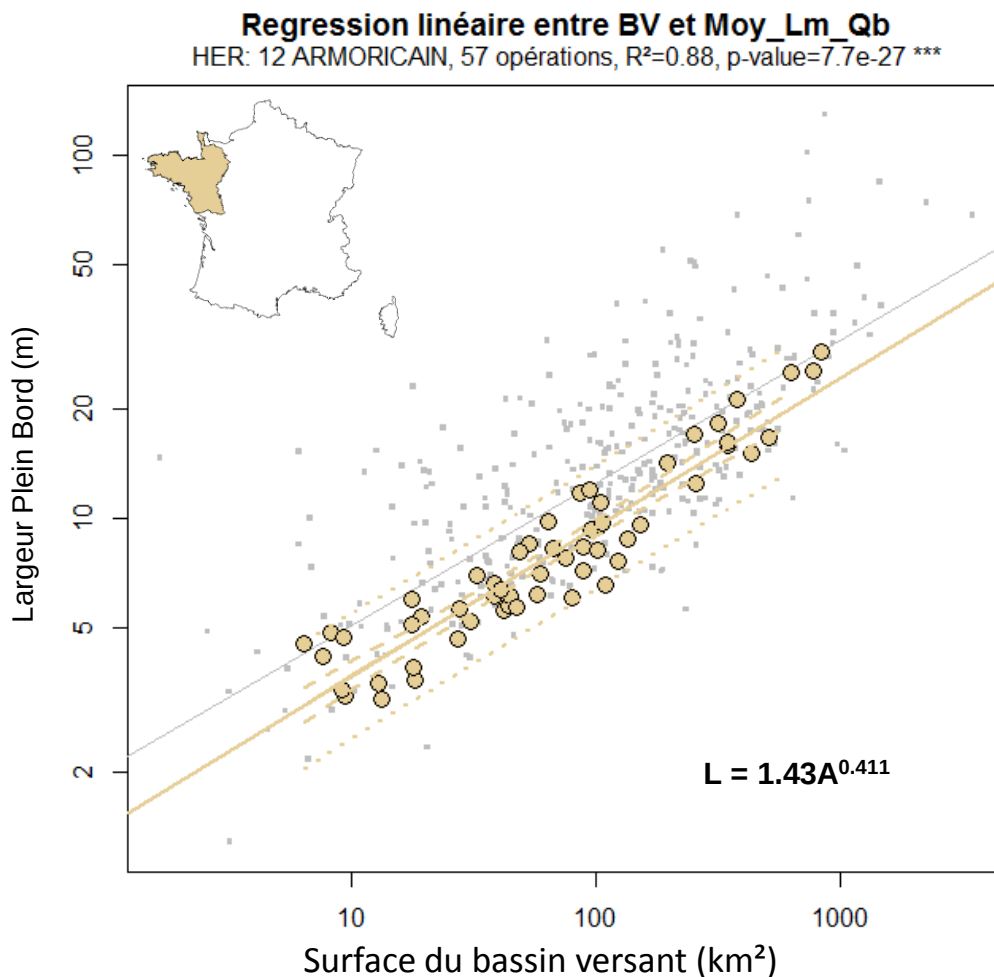
Modèles de référence régionalisés



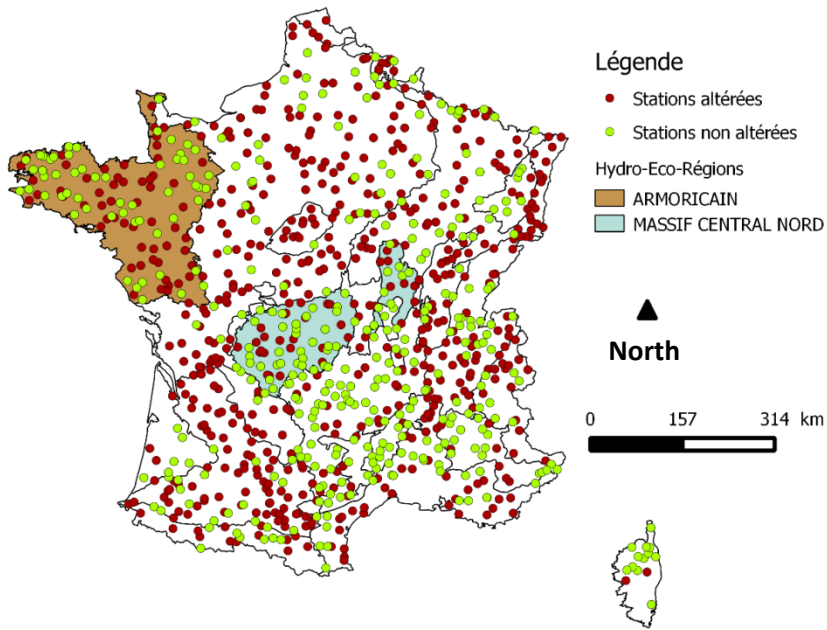
Modèles de référence régionalisés

→ Un exemple d'hydro-éco-région

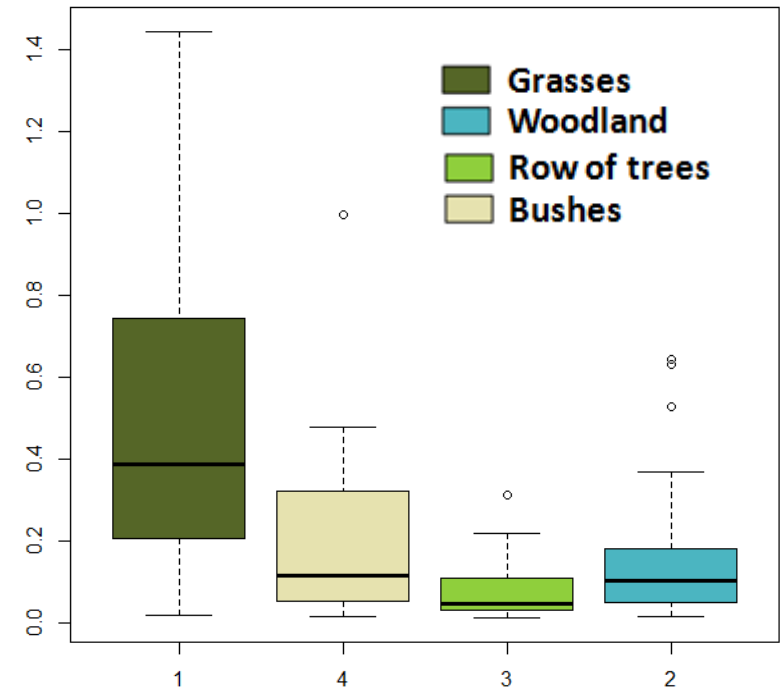
HER Massif Armoricain : 57 stations non altérées



Le role de la ripisylve



Rapport LP/BV



Typologie :



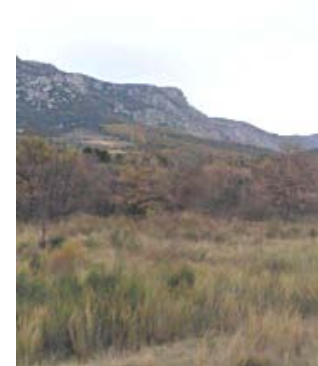
Rangée
d'arbres



Forêt
alluviale



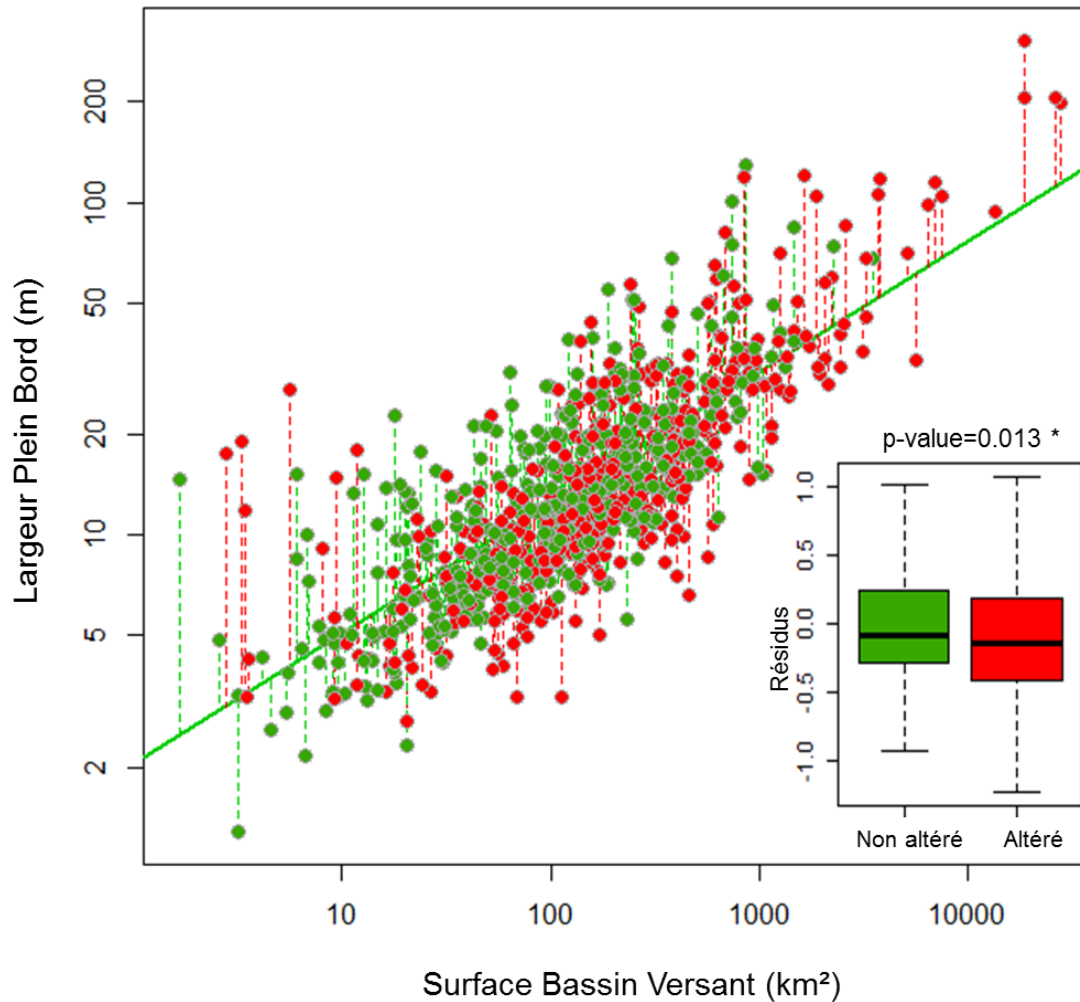
Pelouse



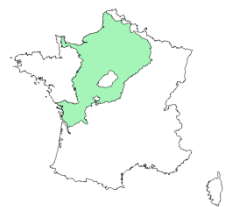
Bouissons

Ecart au modèle de référence

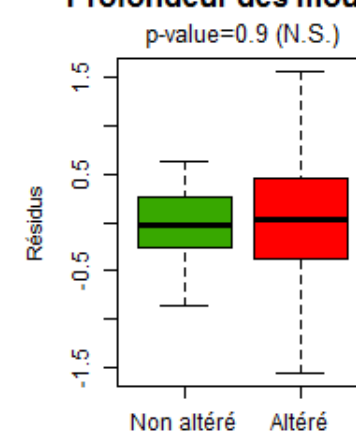
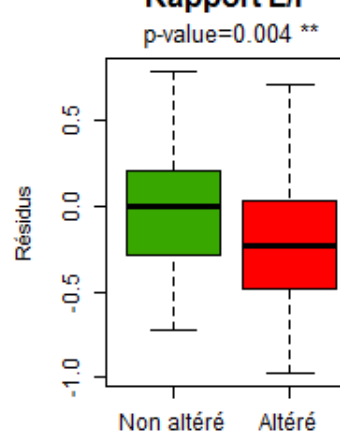
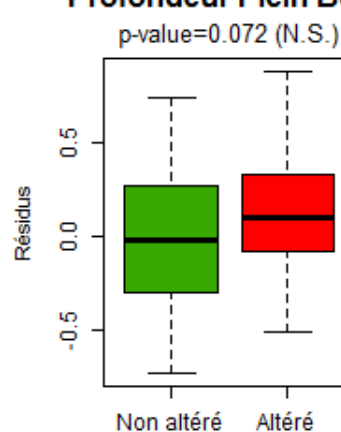
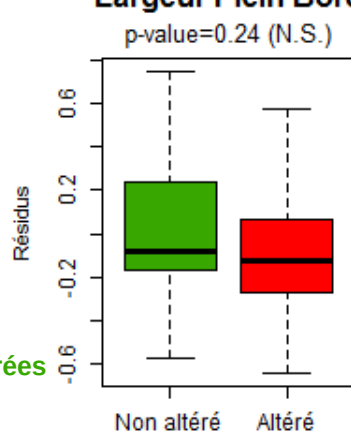
→ Différence entre les valeurs prédites et les valeurs observées



HER 9 Tables Calcaires



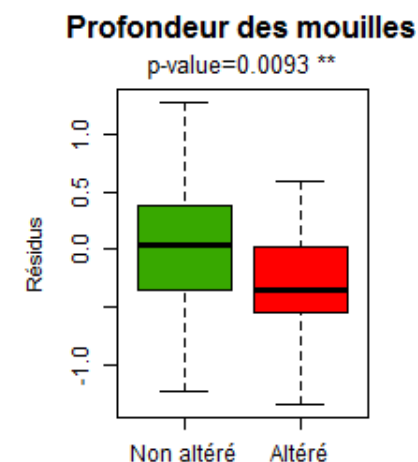
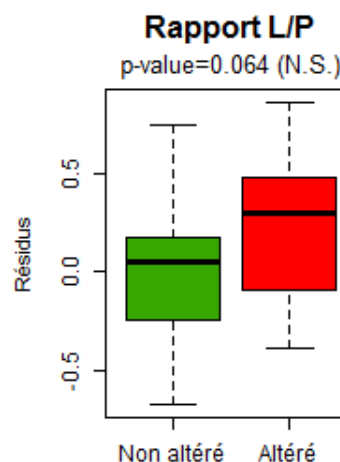
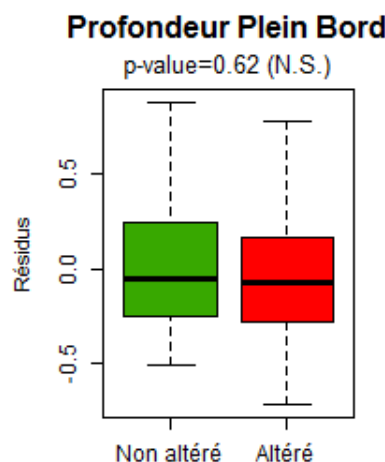
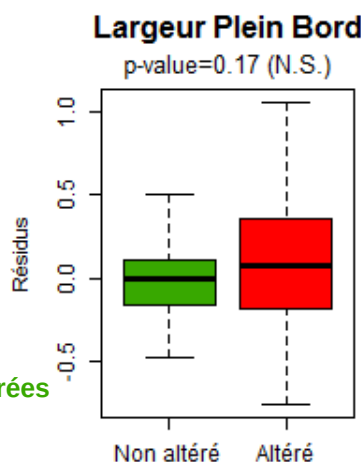
37 stations non altérées
71 stations altérées



HER 10 Cotes Calcaires Est



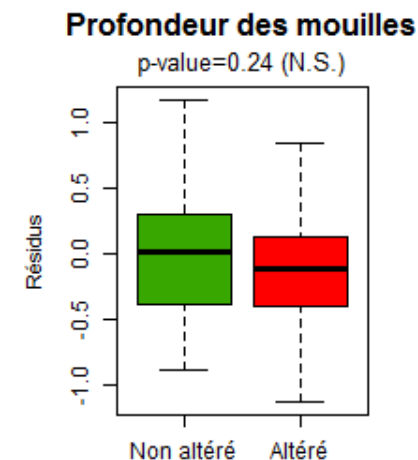
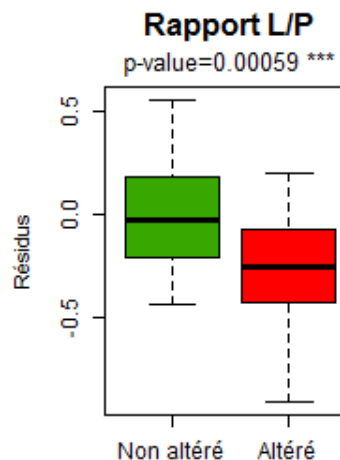
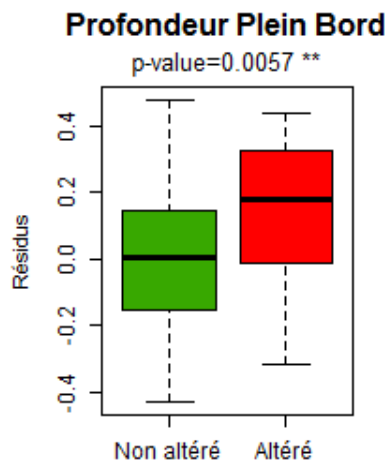
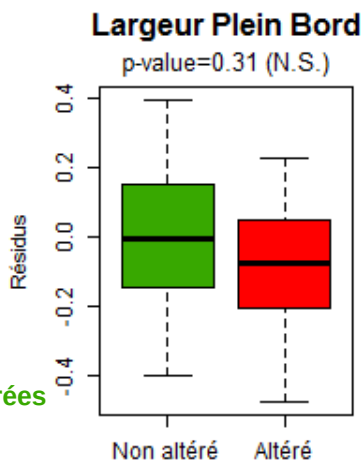
28 stations non altérées
30 stations altérées



HER 12 Armoricaïn

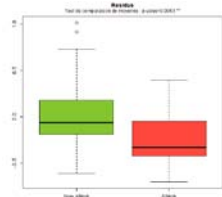


57 stations non altérées
30 stations altérées



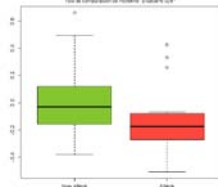
Vers un indicateur d'altération

→ Analyse discriminante



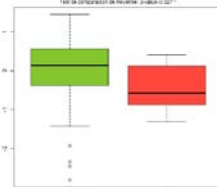
Log(Ratio L/P)

+



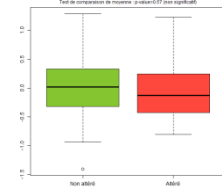
Log(Largeur PB)

+



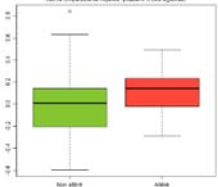
Log(D50)

+



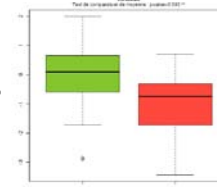
Log(Prof mouilles)

+



Log(Profondeur PB)

+



Log(Débit PB)

Intégration des résidus de
plusieurs modèles pour créer un
seul paramètre décrivant
l'altération hydromorphologique

Probabilité pour une station donnée
d'être altérée ou non

798 stations (406 non altérés - 392 altérés), 22 régions, 8 paramètres :

Taux de bon classement entre 60 et 75 %

Construction d'un outil de gestion

ID OPERATION : 97

Station : L'Oisilly à Champgenêteux

Débit mesurée : 0.0315

Largeur Plein Bord: 3.4 m

Hauteur Max Plein Bord: 0.49 m

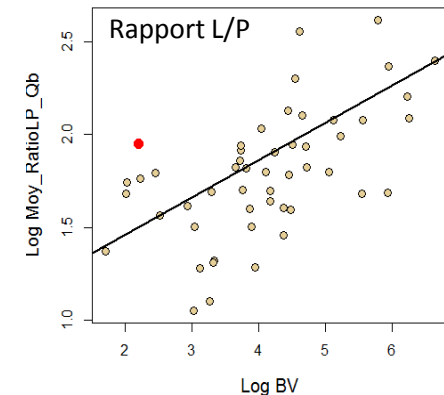
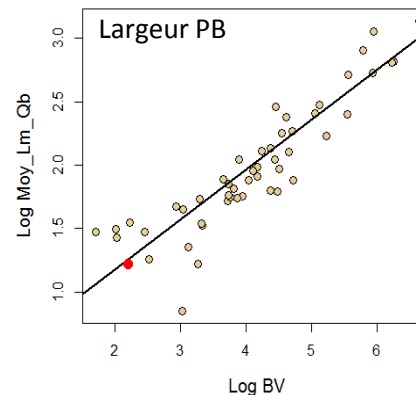
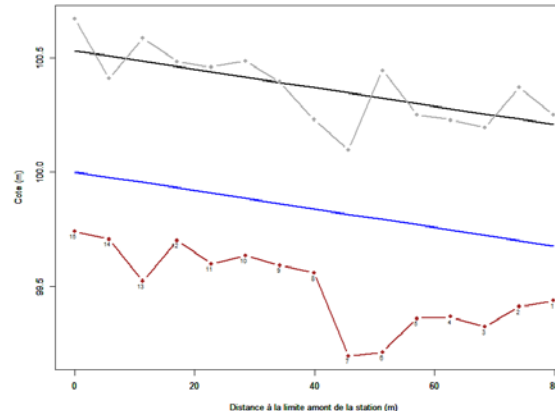
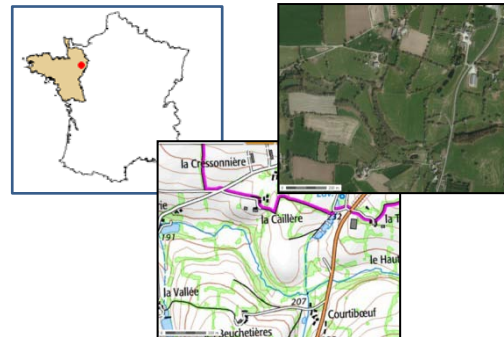
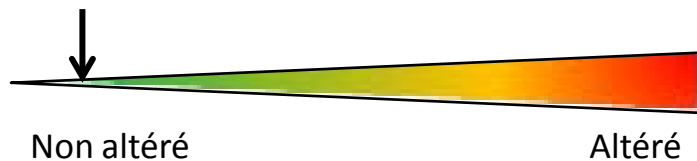
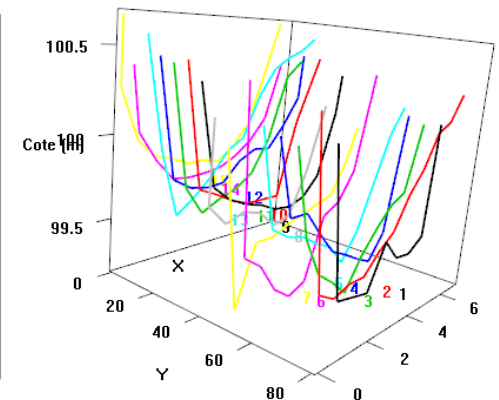
Rapport L/P : 7.05

D_{50} : 62 mm

...

Probabilité d'appartenance à la classe « **Non Altérées** » : 92 %

Probabilité d'appartenance à la classe « **Altéré** » : 8 %

Comment utiliser les indicateurs CARHYCE ?

→ Ou comment ne pas s'enfermer dans l'indicateur ?

Qu'est ce qu'on peut faire avec CARHYCE ?

- Outil pour détecter la présence d'une perturbation physique éventuelle
- Quantifier cette perturbation (écart à une référence)
- Travailler sur les liens entre la perturbation et les communautés biologiques
- Proposer un cadre pour la restauration

Mises en garde pour l'utilisation

- Permet d'identifier une perturbation mais ne permet pas, seul, d'en définir les causes : besoin d'une étude complémentaire sur les processus aux échelles locales et du bassin pour un retour à l'équilibre de la rivière
- Propose un référentiel statistique sur l'hydromorphologie actuelle des cours d'eau qui ne doit pas être considéré comme l'état « naturel »

CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF

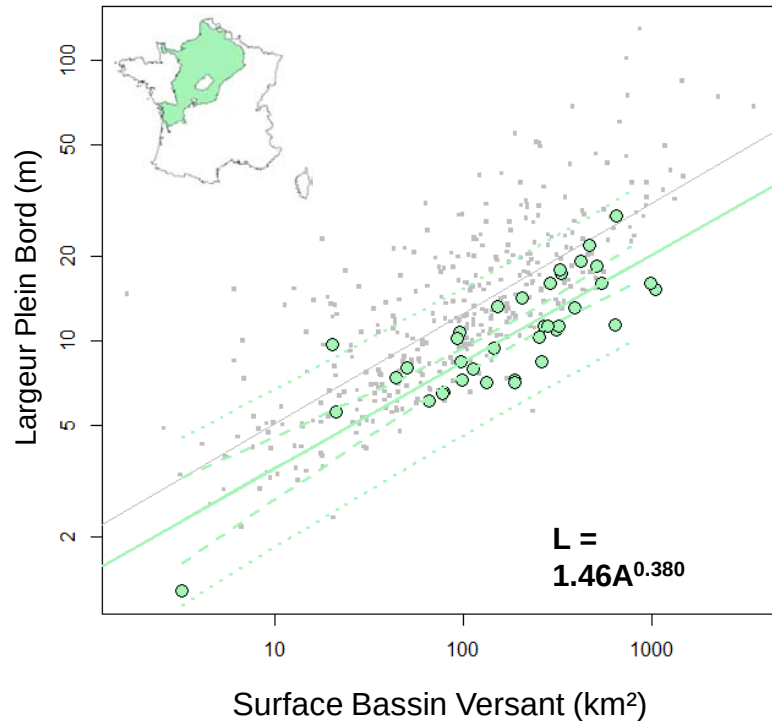
La Bièvre à Fresnes :



CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF

Regression linéaire entre BV et Moy_Lm_Qb

HER: 9 TABLES CALCAIRES, 37 opérations, $R^2=0.7$, $p\text{-value}=9.1\text{e-}11$ ***



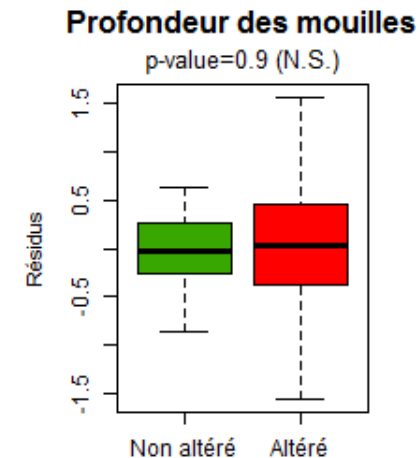
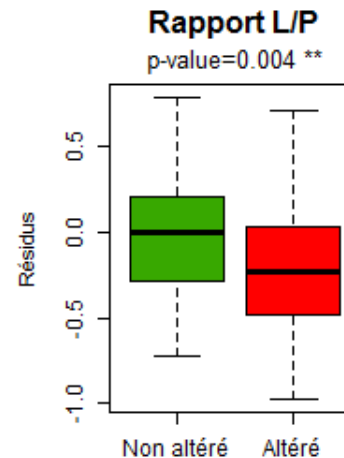
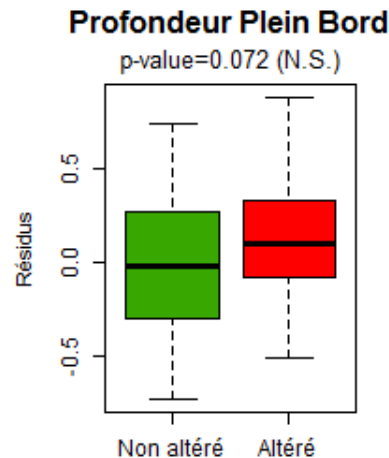
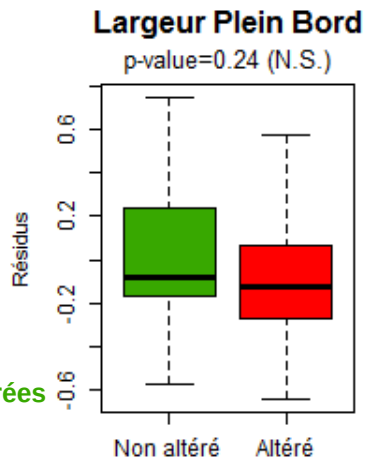
HER	Nb de stations (non altérées – altérées)	Variables les plus discriminantes	Taux de bon classem ent
Tables Calcaires	108 (37-71)	-Rapport L/P -Profondeur moy des mouilles	65% (0 : 69% 1 : 63%)

Mais moins de 5 % des BV sont urbanisés

HER 9 Tables
Calcaires

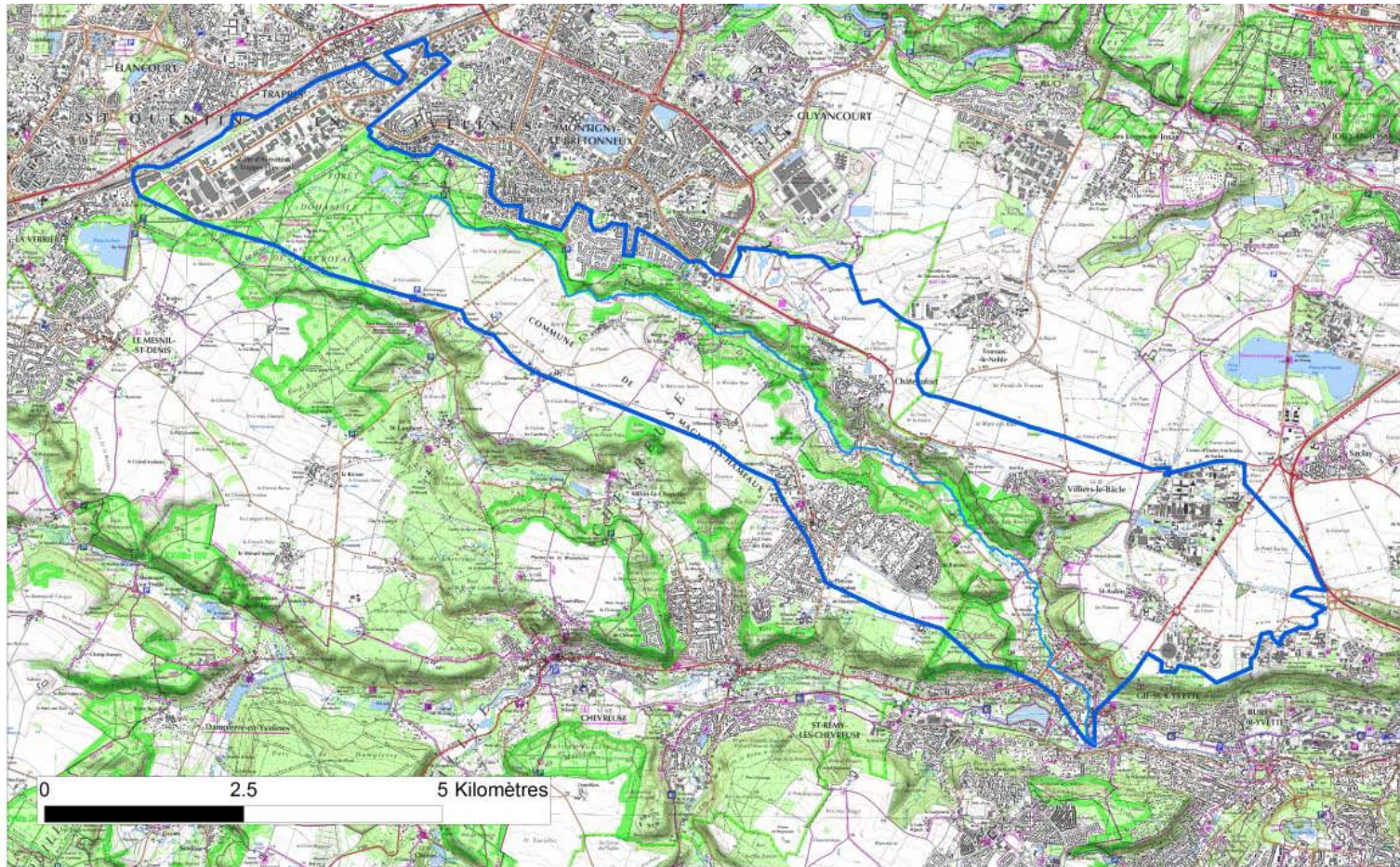


37 stations non altérées
71 stations altérées



CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF

La Mérantaise (SO de Paris – BV de l'Orge), thèse en cours de **Marion Jugie**



CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF

1700

Construction des moulins et
détournement du cours

1800

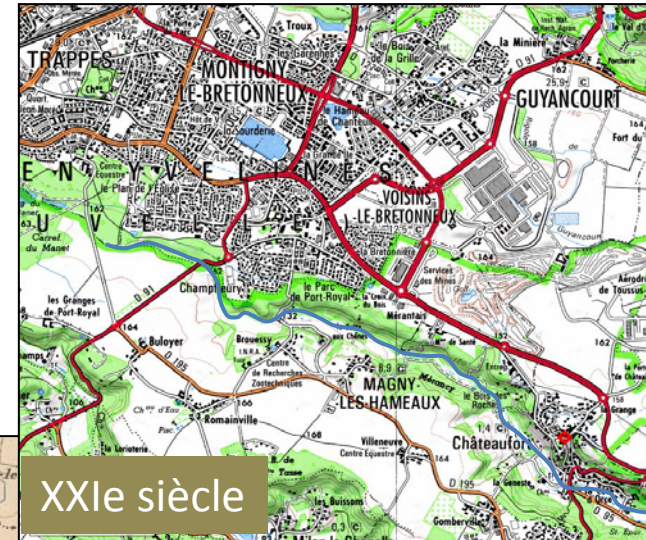
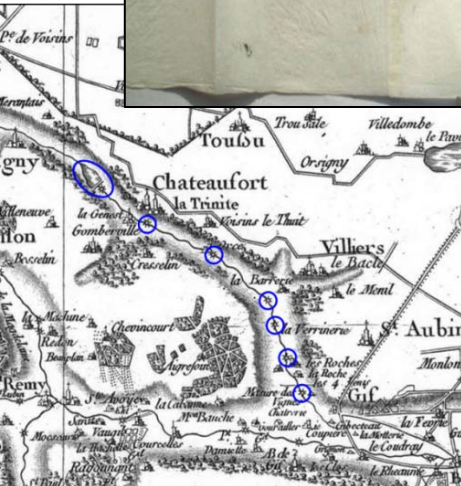
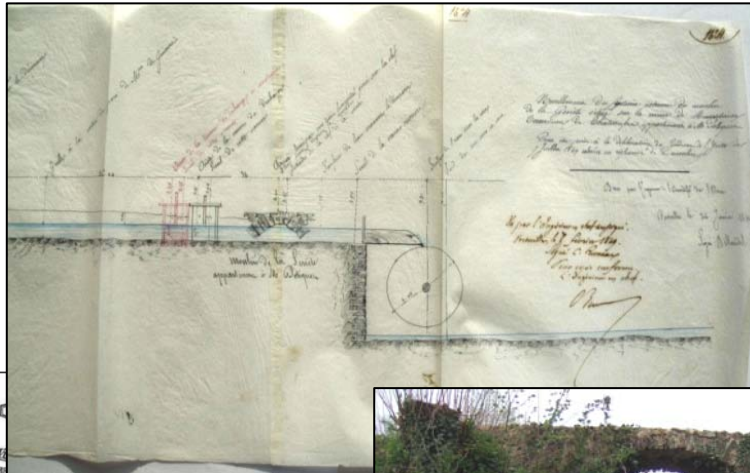
1900

Abandon des
usages et des
aménagements

2000

Urbanisation
du BV

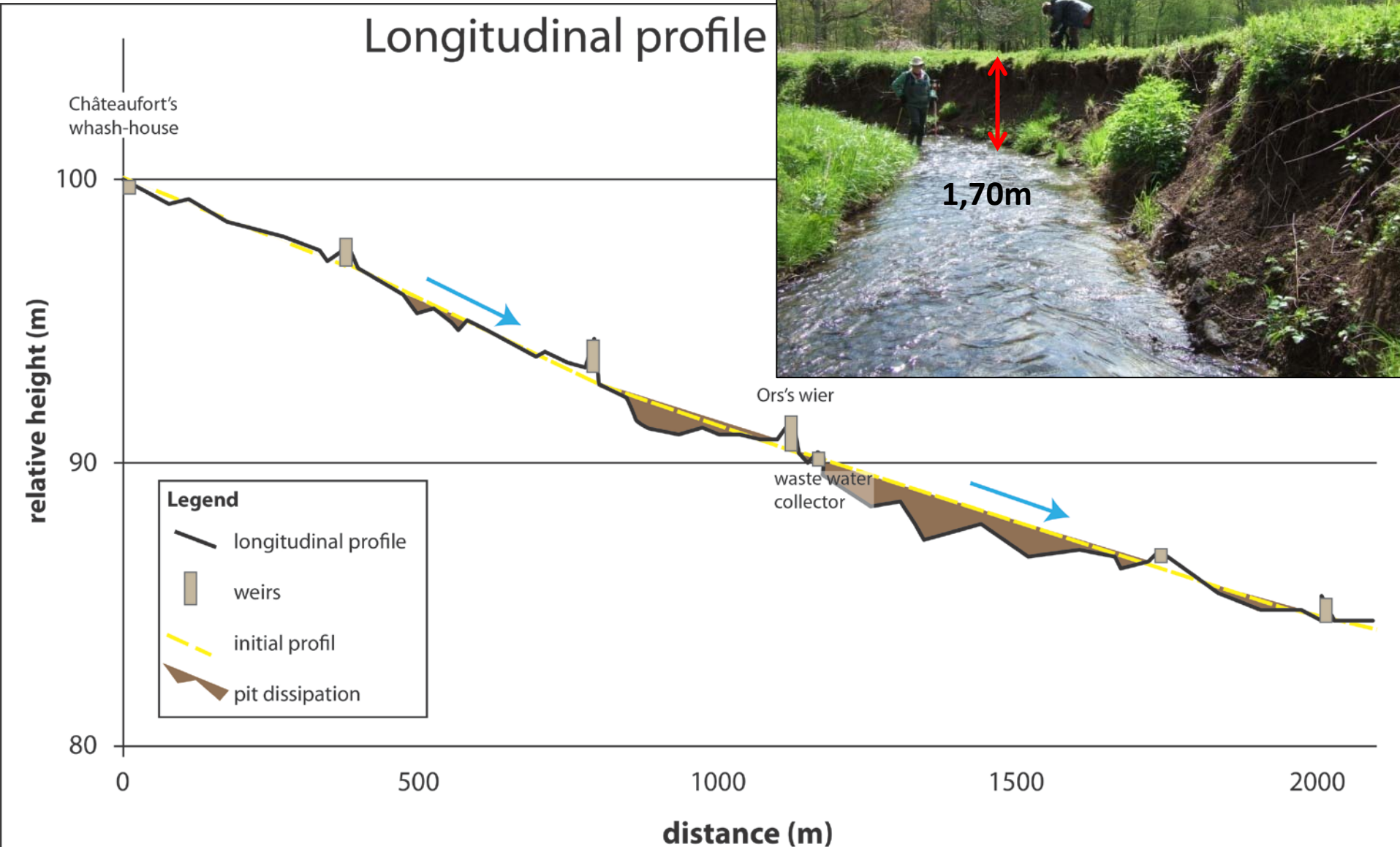
Restauration
écologique



XIXe siècle

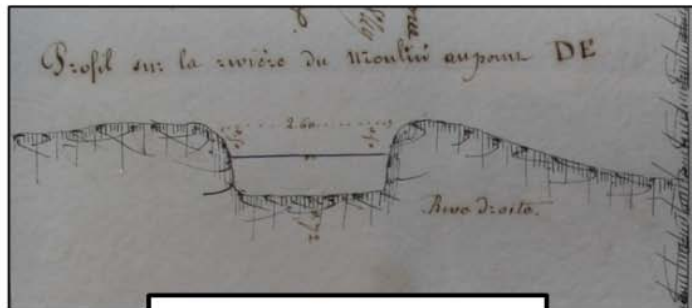
XXIe siècle

CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF



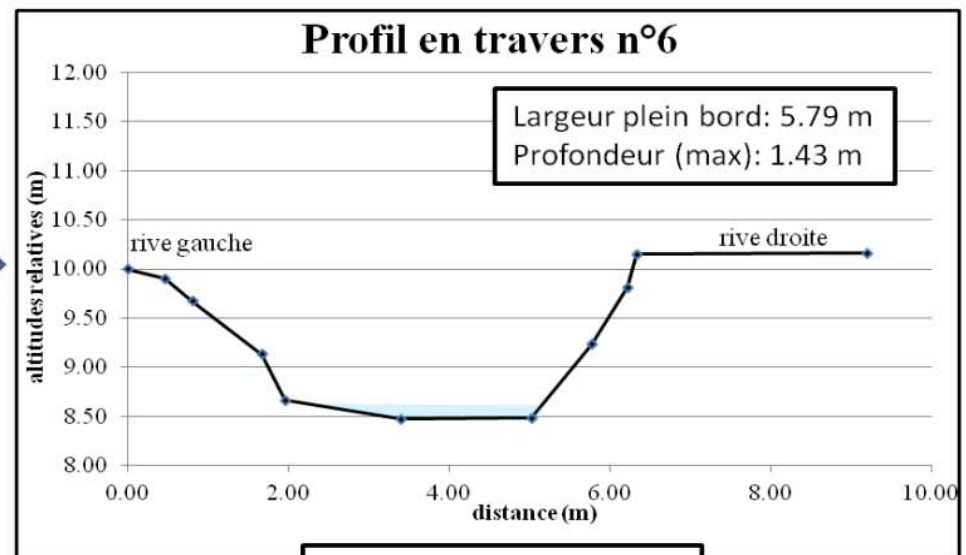
CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF

- L' Incision du lit est forte et très Récente
- Ajustement du lit toujours en cours : Dynamique latérale assez forte



Profil de la rivière en 1849

Largeur plein bord: 2.60 m
Profondeur (max): 0.72 m



Profil de la rivière en 2012

CARHYCE et les petites rivières urbaines d'IDF

Instantaneous rainfall - discharge from September to November 2013

