

Analyse à l'échelle régionale de l'impact de l'occupation du sol dans les corridors rivulaires sur l'état écologique des cours d'eau

Thierry TORMOS

Directeur de thèse : Pascal KOSUTH

Thèse soutenue le 6 Décembre 2010

INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

Corridors rivulaires :
« espaces d'interface entre
les milieux aquatique et terrestre »



Préserver la biodiversité

6% des 1,8 millions d'espèces
décrites dans la biosphère

(Strayer, 2006)

**Garantir la qualité de l'eau et
des paysages aquatiques**

Parties intégrantes de
notre qualité de vie

(Bouleau & Barthélémy, 2006)

Bon état écologique d'ici 2015

Directive Cadre Eau (2000)

INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

□ Les corridors rivulaires : espace clé de la restauration

➤ Les corridors rivulaires : des **espaces gérables**

➤ Les **ripisylves** : formations végétales naturelles le long des cours d'eau
=> un **compartiment essentiel** de l'écosystème rivière

Naiman & Decamps, 2005

Maridet, 1995

Postulats des
études locales

- **Facteur de contrôle**
- **Rôle de zone tampon**



Question de recherche :

Est-ce que l'influence positive des ripisylves est statistiquement significative au niveau régional ?

Si oui, quelles emprises spatiales et quels couverts végétaux doit on privilégier ?

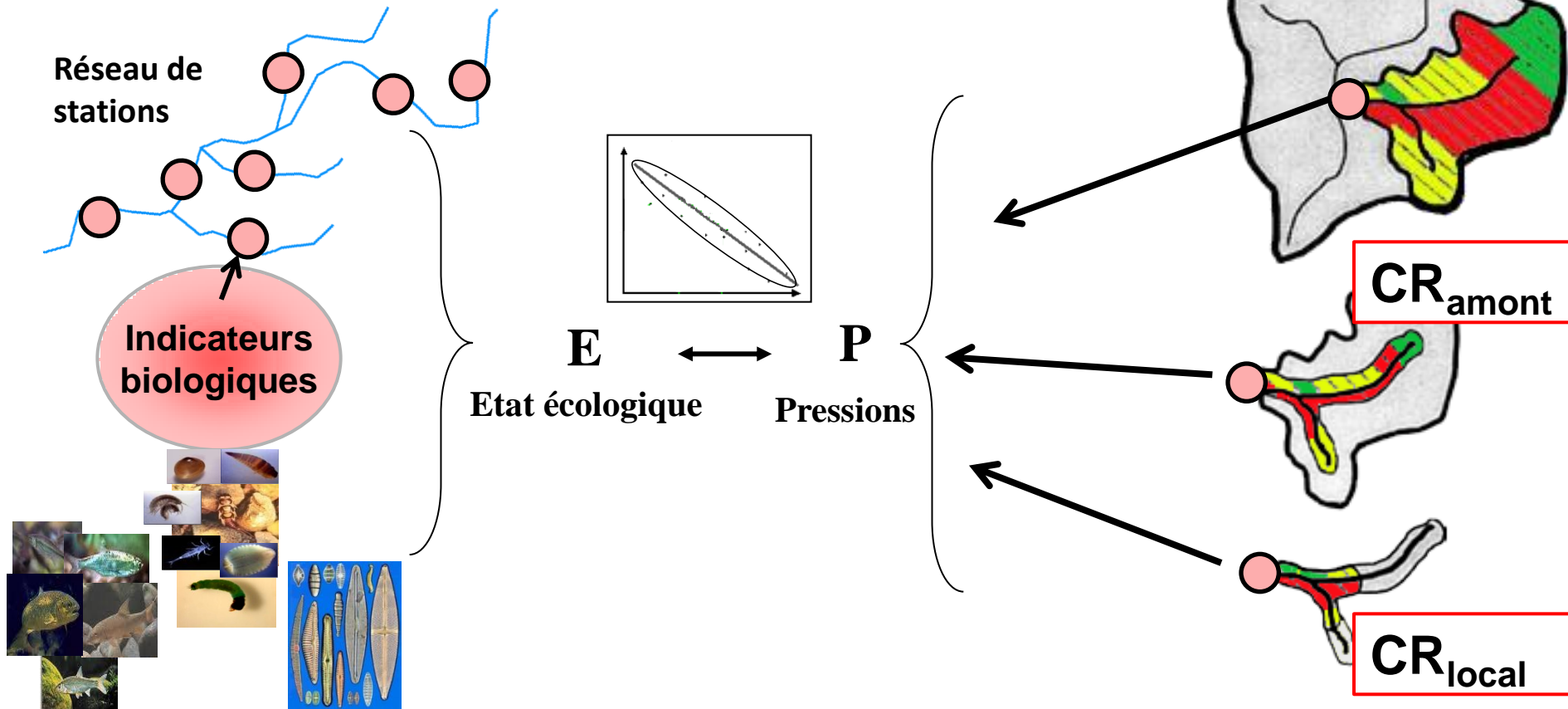
INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

□ Les modèles Pressions / Etats à large échelle

e.g., Allan et al., 1997 ; Sponseller et al., 2001 (aux Etats-unis)

e.g., Wasson et al., 2005, 2010 (en France)



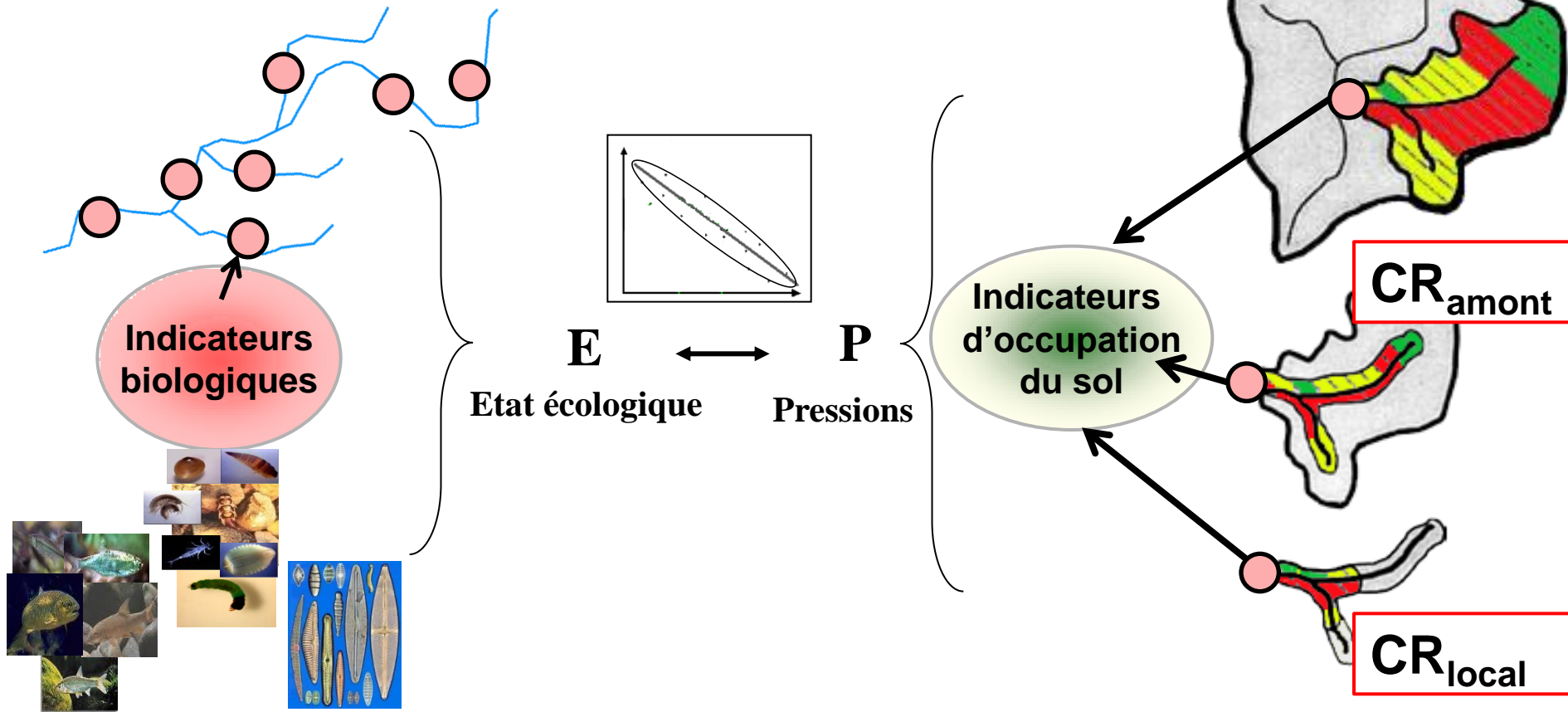
INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

□ Les modèles Pressions / Etats à large échelle

e.g., Allan et al., 1997 ; Sponseller et al., 2001 (aux Etats-unis)

e.g., Wasson et al., 2005, 2010 (en France)



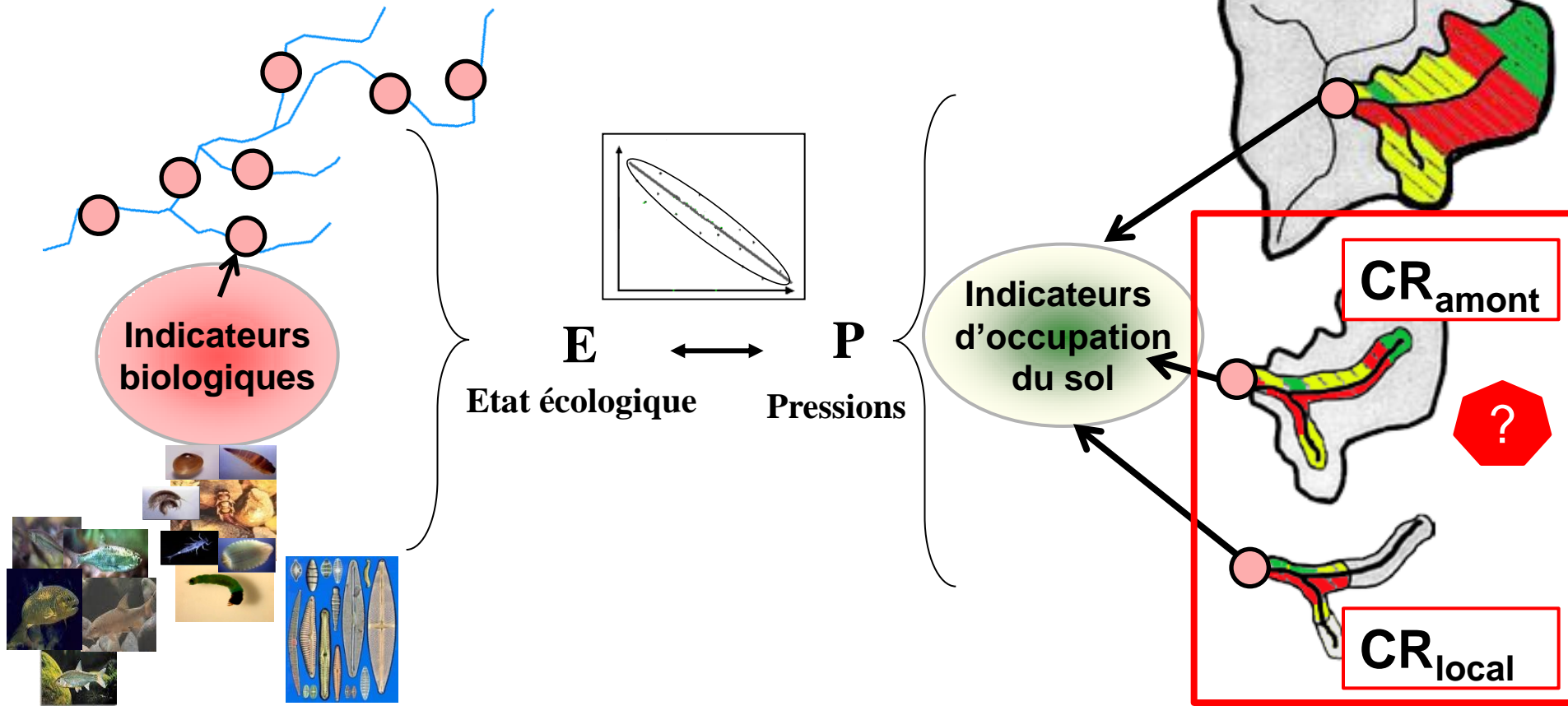
INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

□ Les modèles Pressions / Etats à large échelle

e.g., Allan et al., 1997 ; Sponseller et al., 2001 (aux Etats-unis)

e.g., Wasson et al., 2005, 2010 (en France)

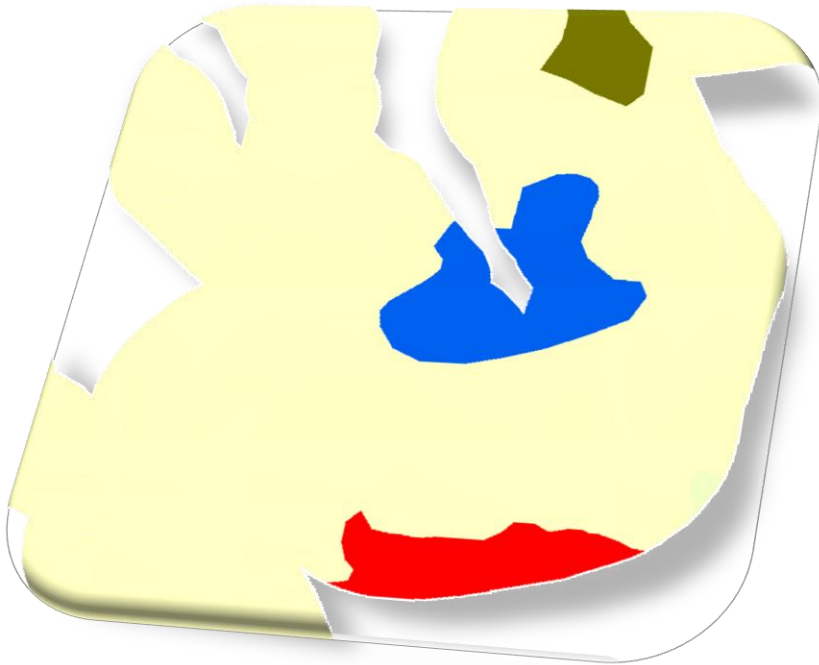


INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- **Problématiques**
- Objectifs et sites d'étude

Difficulté 1 : Résolution spatiale non adaptée à la caractérisation de l'occupation du sol dans les corridors rivulaires

Stewart et al., 2001 ; Frimpong et al., 2005 ; Roy et al., 2007...



CORINE Land Cover (CLC)



Orthophotos

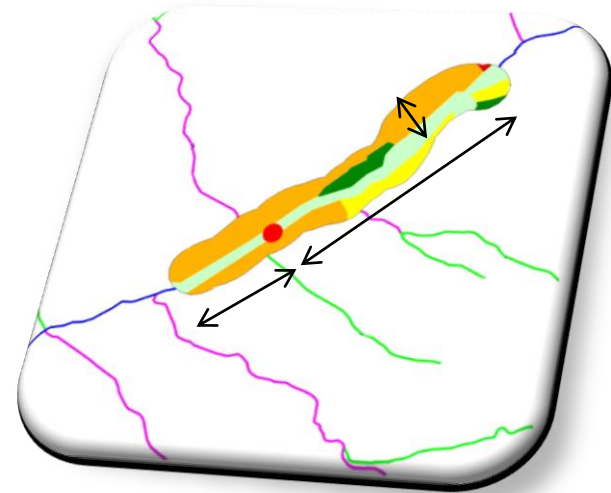
INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

Difficulté 2- la spatialisation des pressions d'occupation du sol dans ces espaces est limitée

Frimpong et al., 2005 ; Van Sickle et Jonhson, 2008...

Utilisation d' **une seule emprise spatiale** pour analyser l'effet de l'occupation du sol **quelque soit la catégorie** (dont les limites sont définies *a priori*)



Ce mode de spatialisation « unique » limite la compréhension des relations :

Les différentes catégories d'occupation du sol peuvent avoir des zones d'influence différentes (forêt / urbain par exemple)

INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs , plan, et sites d'étude

□ Objectifs de la thèse

- 1 – Développer des méthodes de cartographie fine de l'OSCR sur de grands territoires

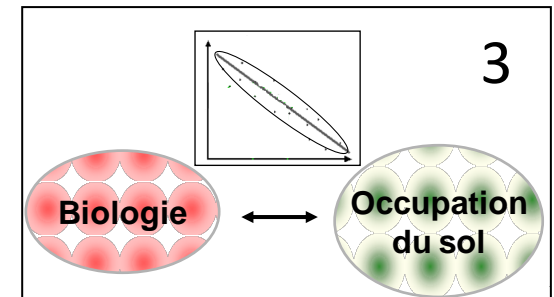
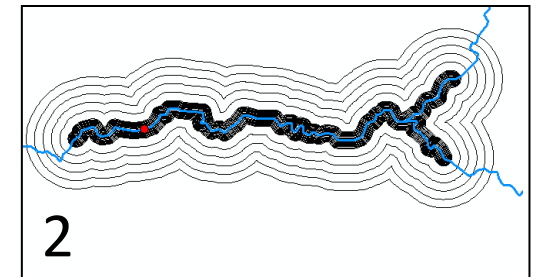
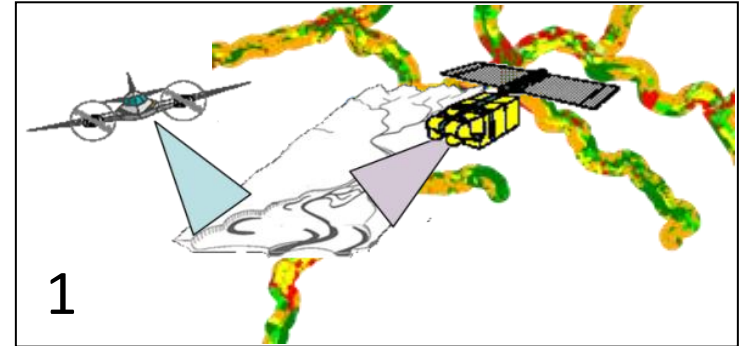
Téledétection à THRS

(THRS : Très Haute Résolution Spatiale < 5m)

- 2. Développer des méthodes de construction d'indicateurs spatialisés du corridor rivulaire (ISCR)

Système d'Information Géographique

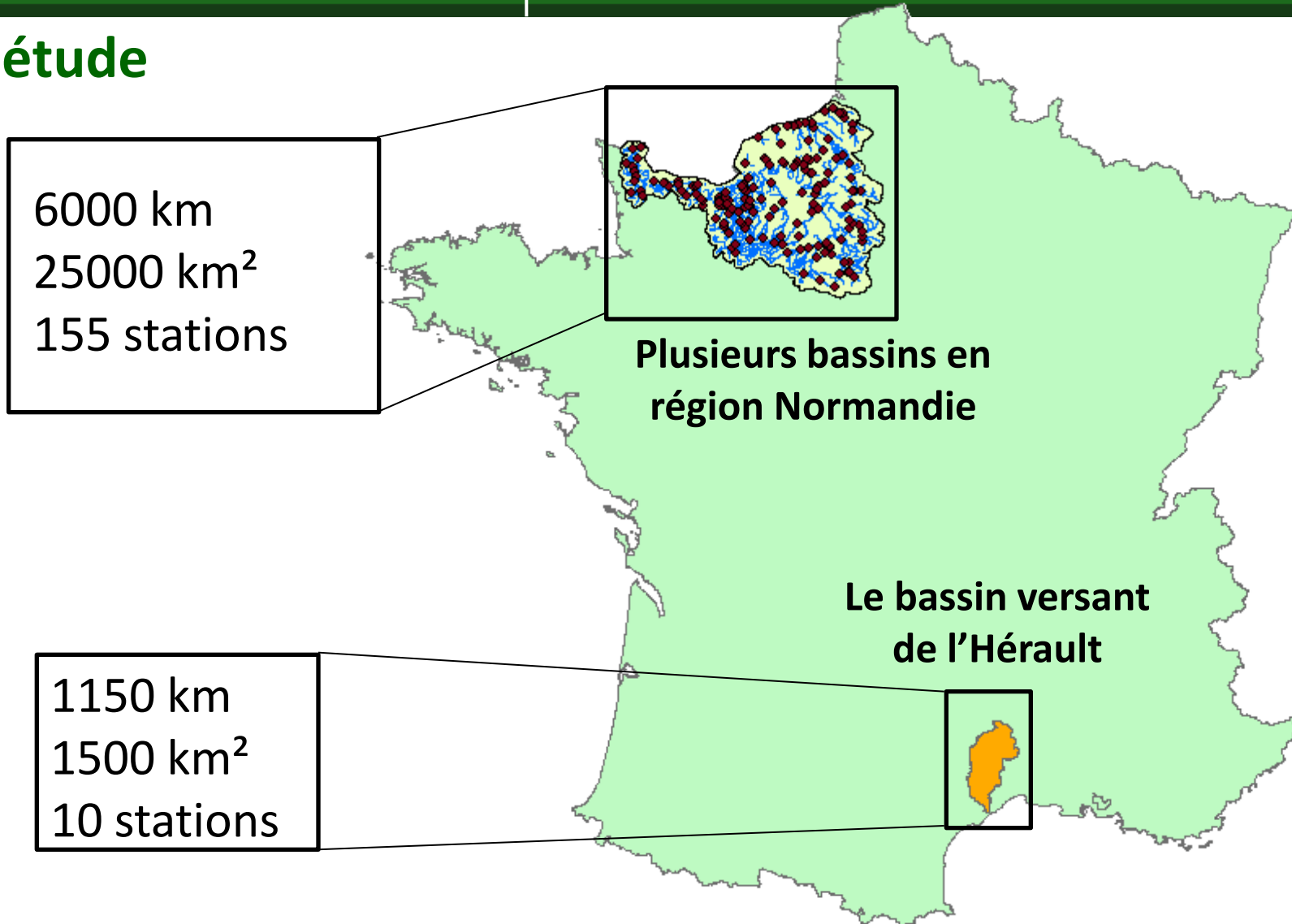
- 3. Tester ces avancées méthodologiques dans les modèles P/E



INTRODUCTION

- Enjeux
- Contexte scientifique
- Problématiques
- Objectifs et sites d'étude

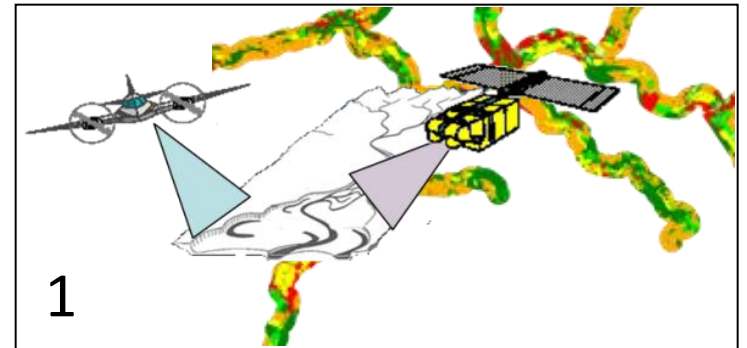
■ Sites d'étude



- Introduction
- **1- Classification de l'OSCR à THRS**
OSCR : Occupation du Sol dans le Corridor Rivulaire
THRS : Très Haute Résolution Spatiale
- **2- Construction des ISCR**
ISCR : Indicateurs Spatialisés du Corridor Rivulaire
- **3- Modélisation P/E**
- **Conclusions & Perspectives**

Plan de la présentation

- Introduction
- **1- Classification de l'OSCR à THRS**
 - Objectifs
 - Procédure de classification
 - Résultats
- 2- Construction des ISCR
- 3- Modélisation P/E
- Conclusions & Perspectives



1- Classification de l'OSCR

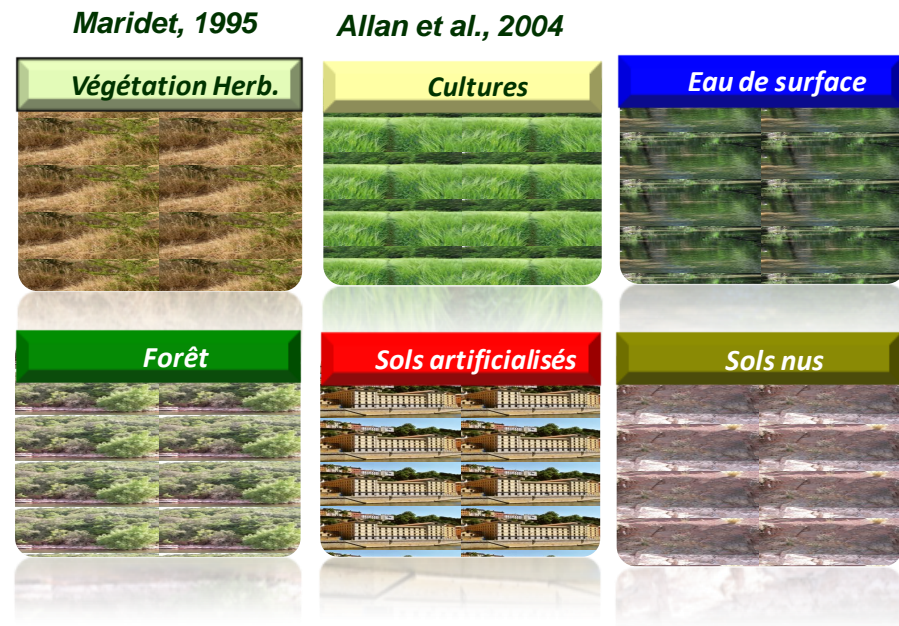
2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

□ Développer une procédure de classification de l'OSCR :

- Fournissant **au minimum** une information sur les principales occupations du sol influençant l'état écologique



- Permettant d'évaluer la qualité du résultat de classification
- Applicable sur l'ensemble du réseau hydrographique français :
 - Reproductible sur des cours d'eau de types différents
 - Un rapport coût/efficacité acceptable

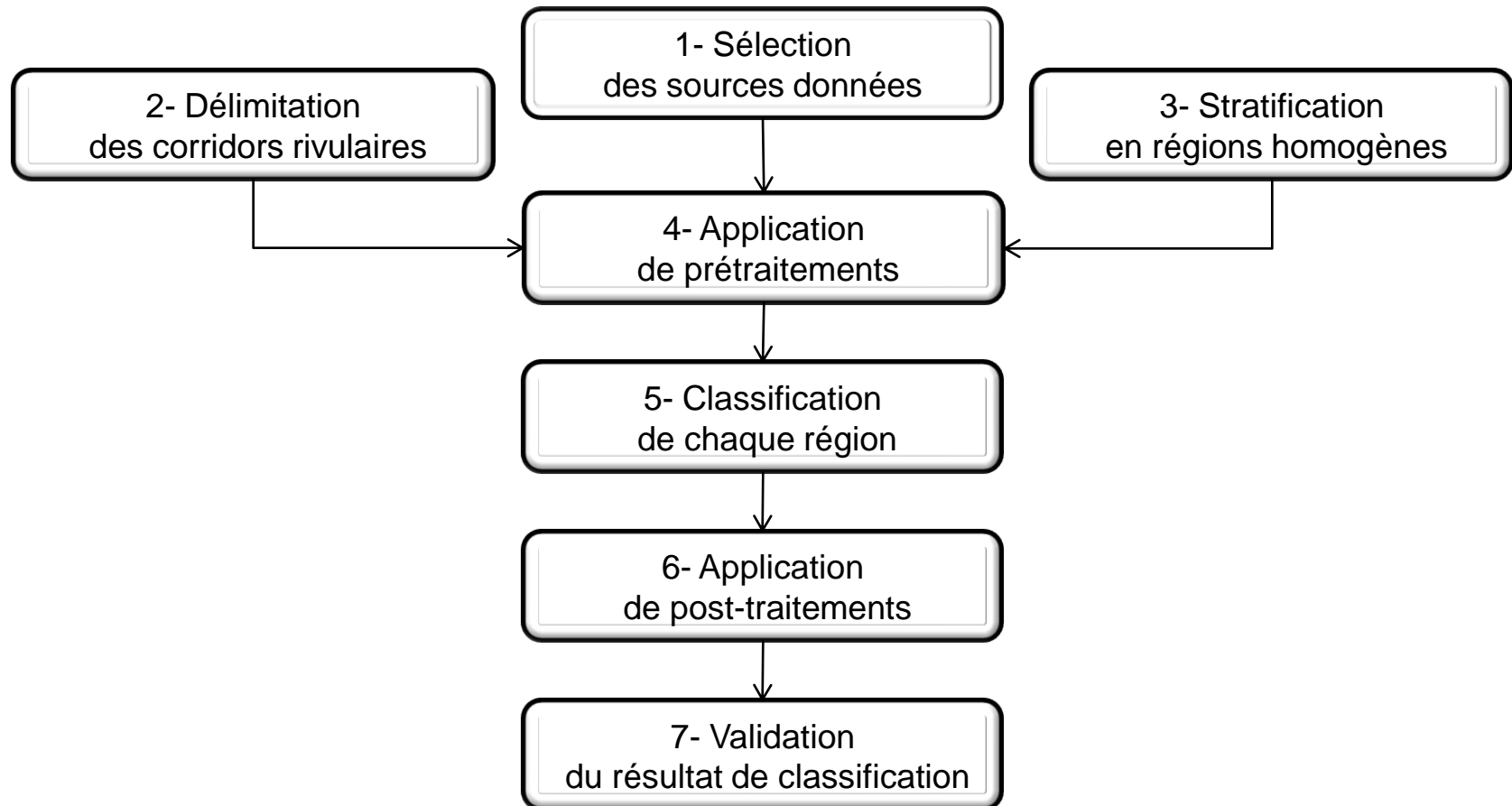
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

□ Une procédure en 7 étapes



1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

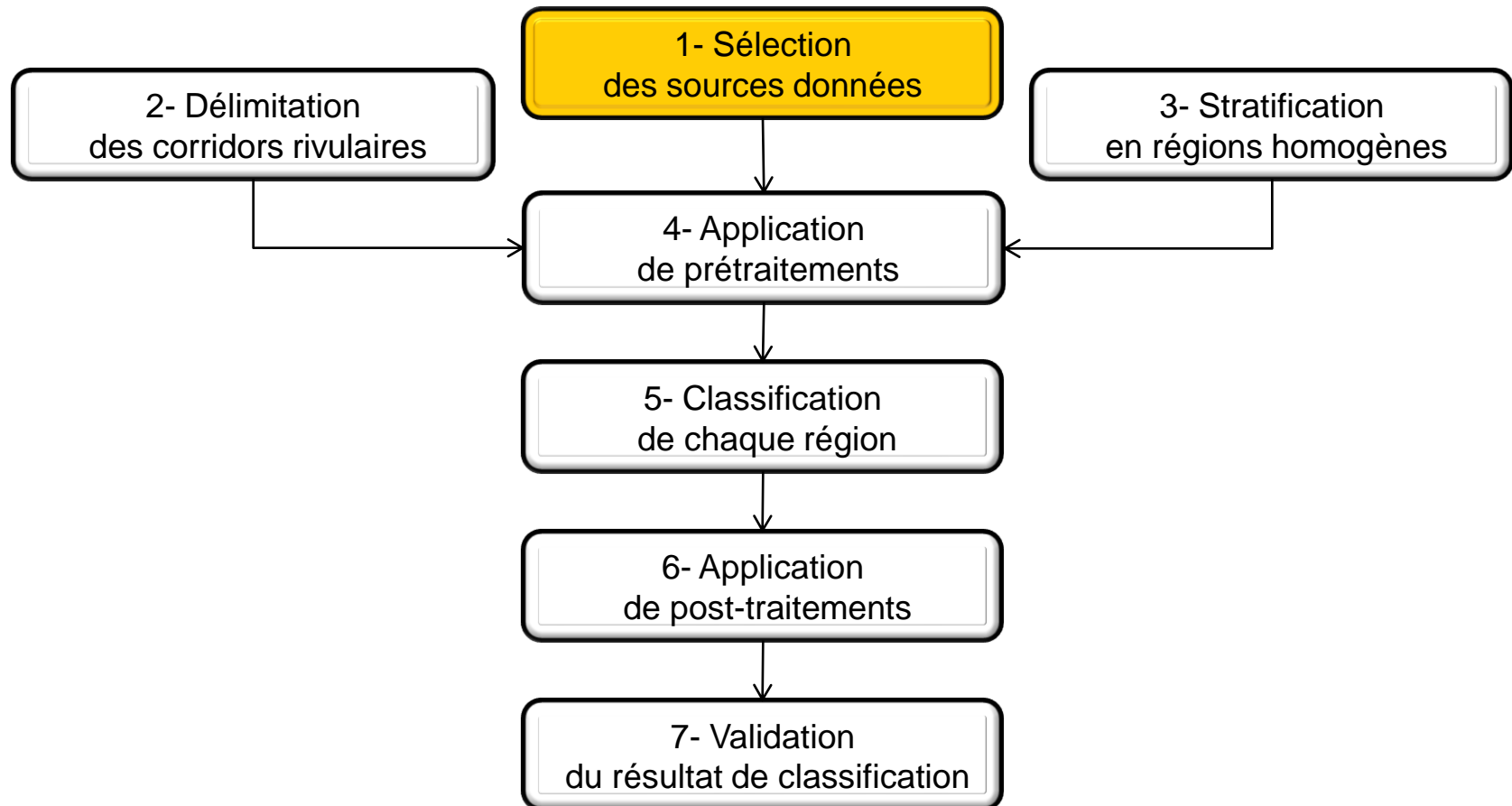
3- Modélisation P/E

○ Objectifs

○ Procédure de classification

○ Résultats

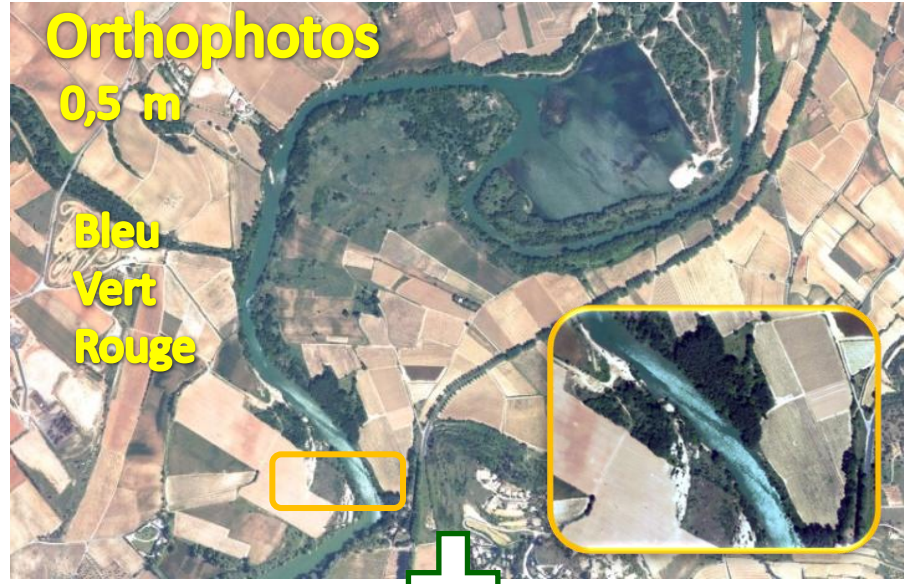
□ Une procédure en 7 étapes



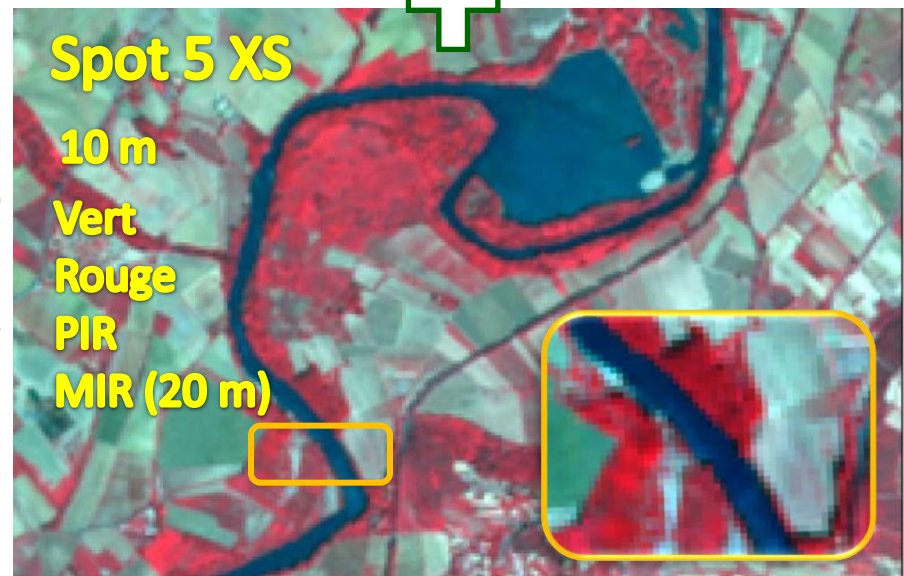
Les données images :

Müller, 1997

- 1 - **Très Haute Résolution spatiale** (< 5 m)
- 2- **Information spectrale dans l'Infra-Rouge**



BD ORTHO IGN®

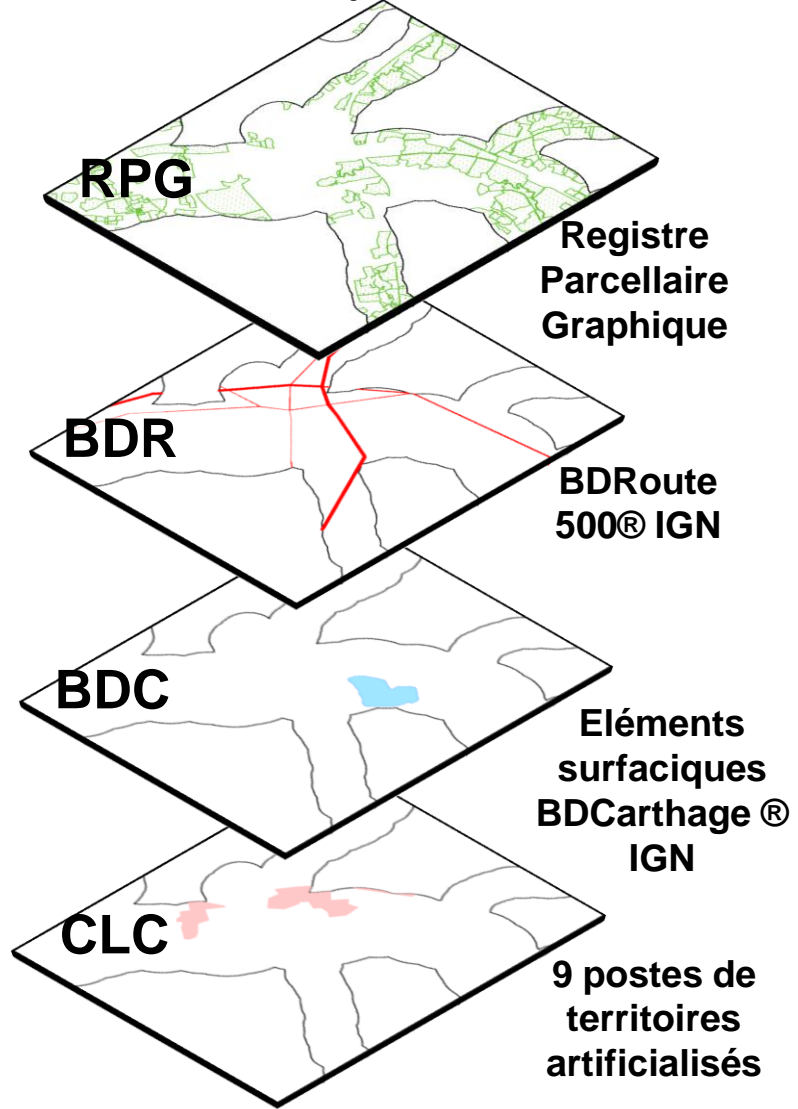


Spotimage ©



Les données externes :

- Faciliter l'extraction de certaines classes
- Réduire les temps de traitements
- Apporter une information pertinente dans l'étude des relations P/E



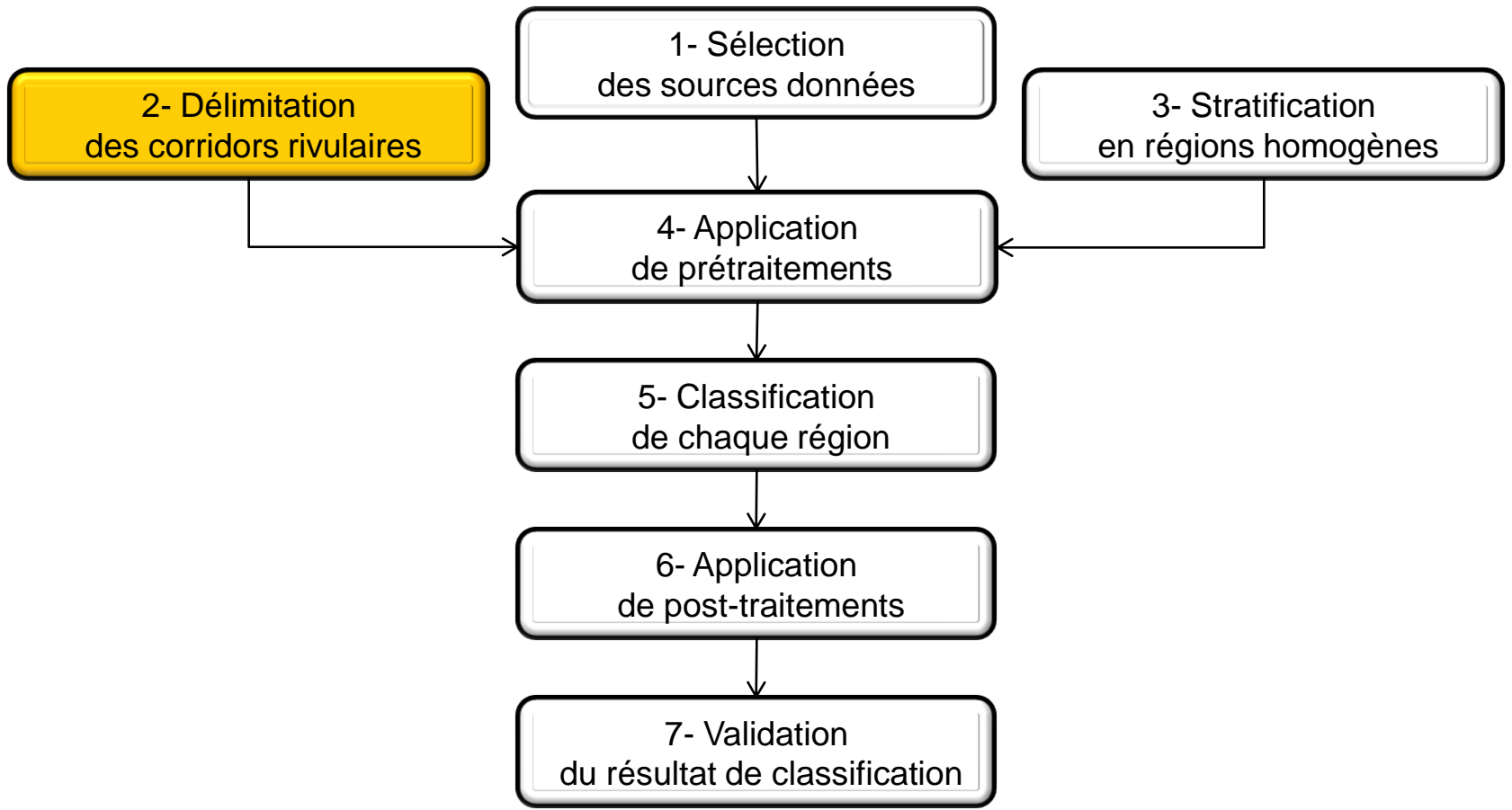
1- Classification de l'OSCR

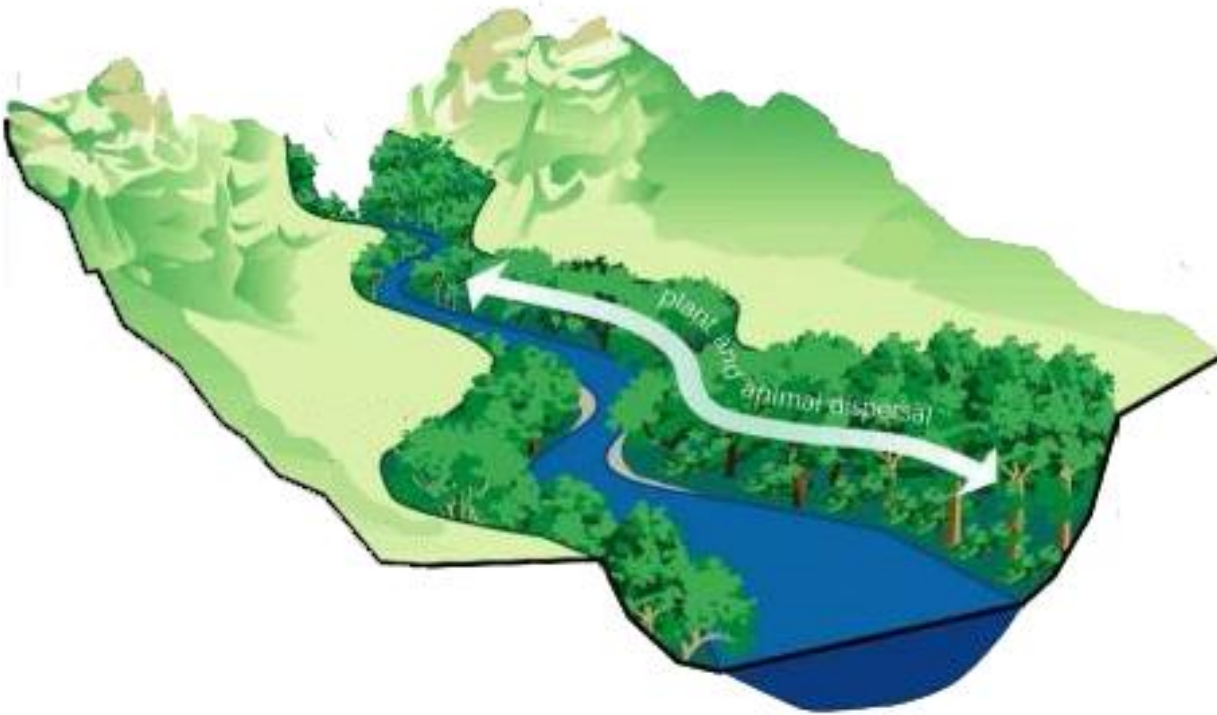
2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

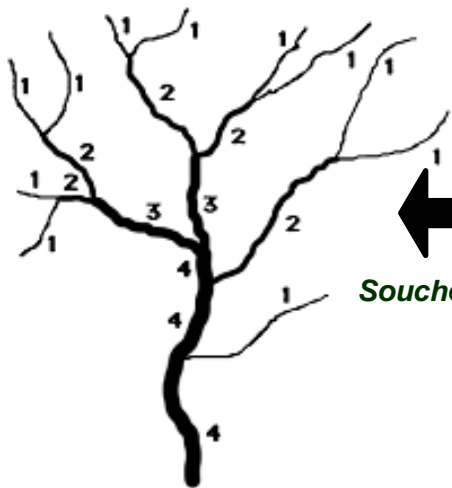
□ Une procédure en 7 étapes





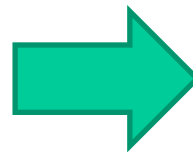
La largeur des corridors rivulaires dépend tout naturellement de la largeur du lit majeur

Rang de Strahler



Souchon et al, 2002

La largeur
du lit majeur



Rang	Largeur buffer
1,2,3	400
4,5	800
6	1200
7	2400

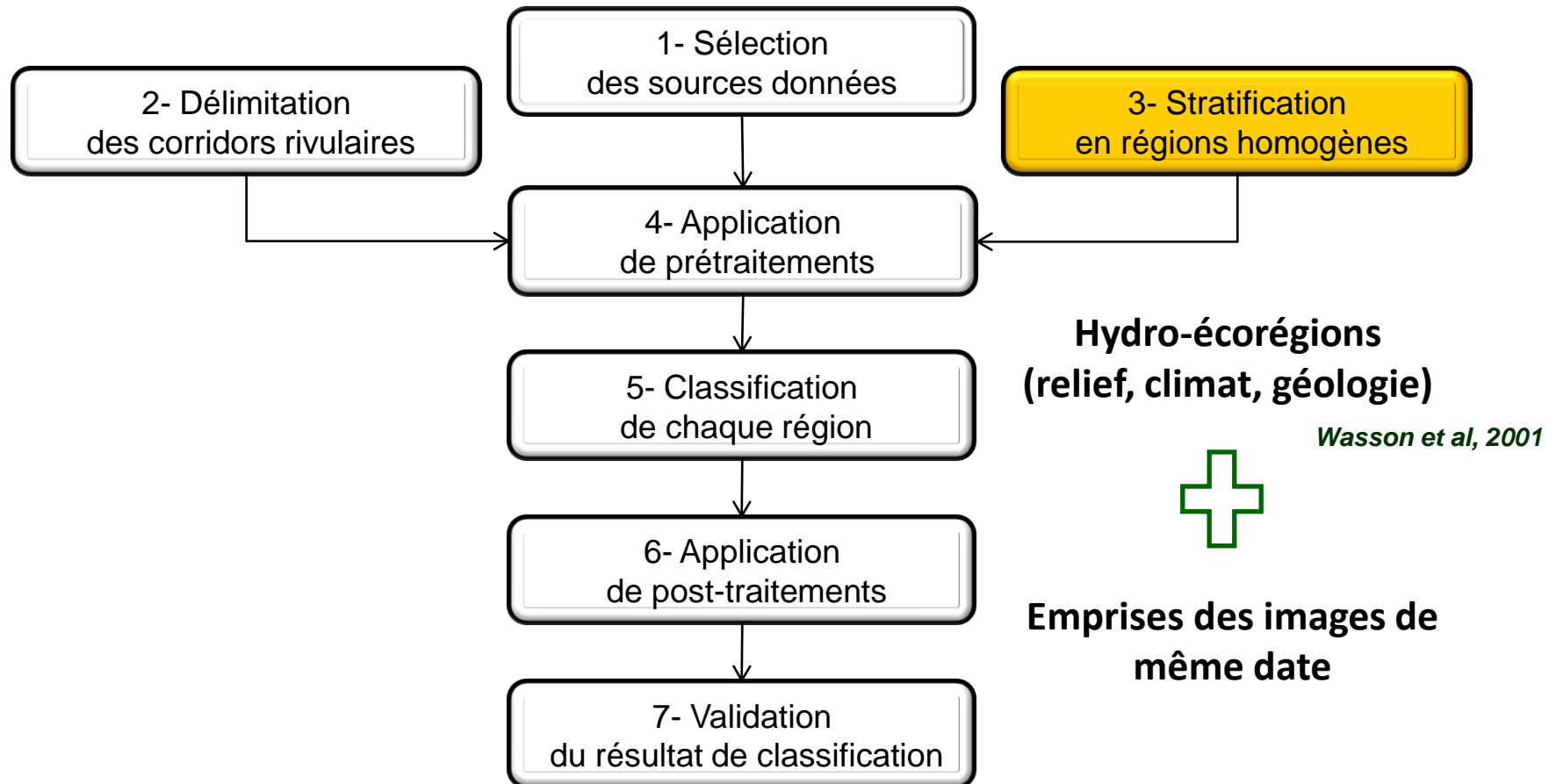
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

□ Une procédure en 7 étapes



1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

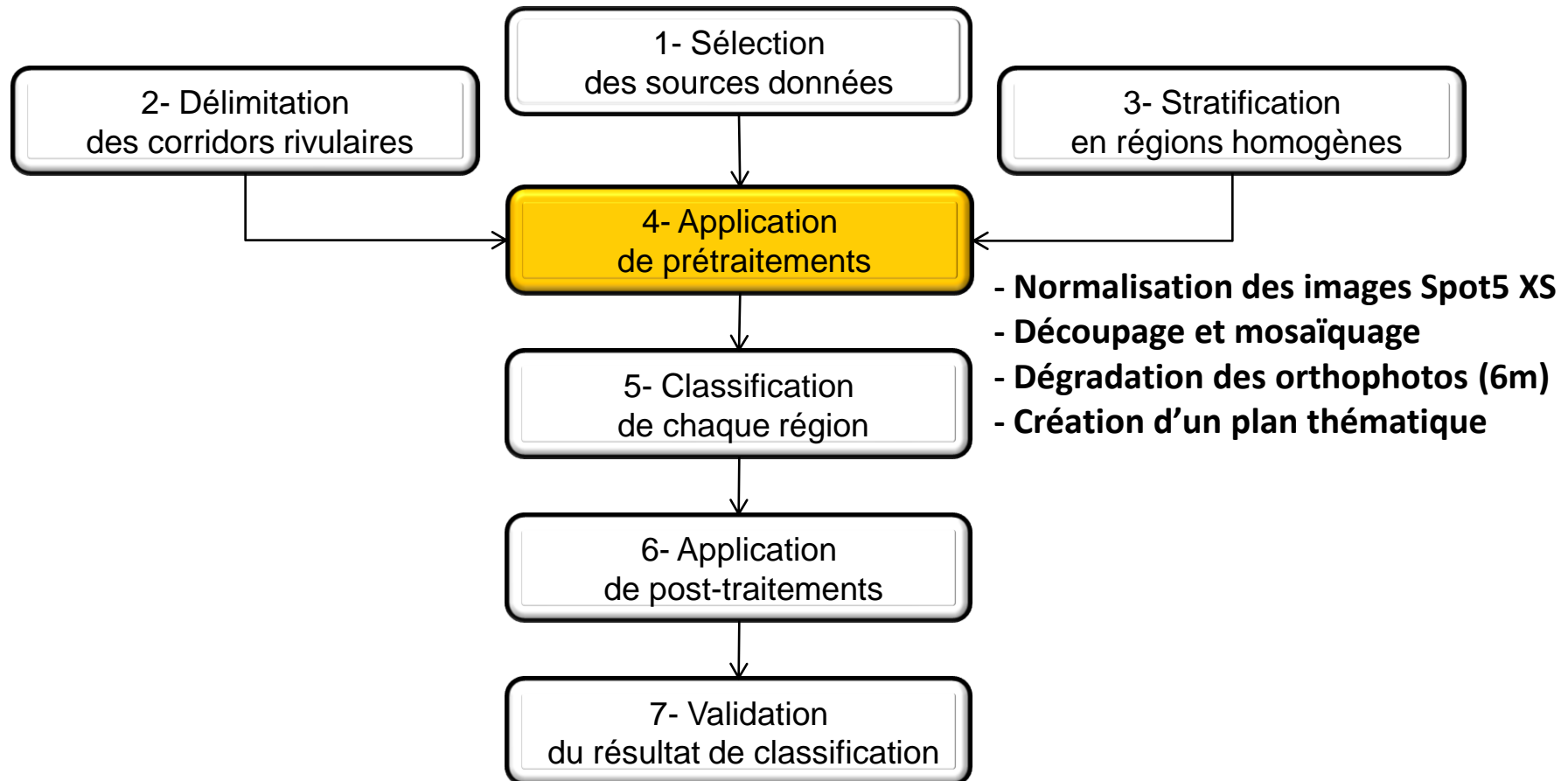
3- Modélisation P/E

○ Objectifs

○ Procédure de classification

○ Résultats

□ Une procédure en 7 étapes



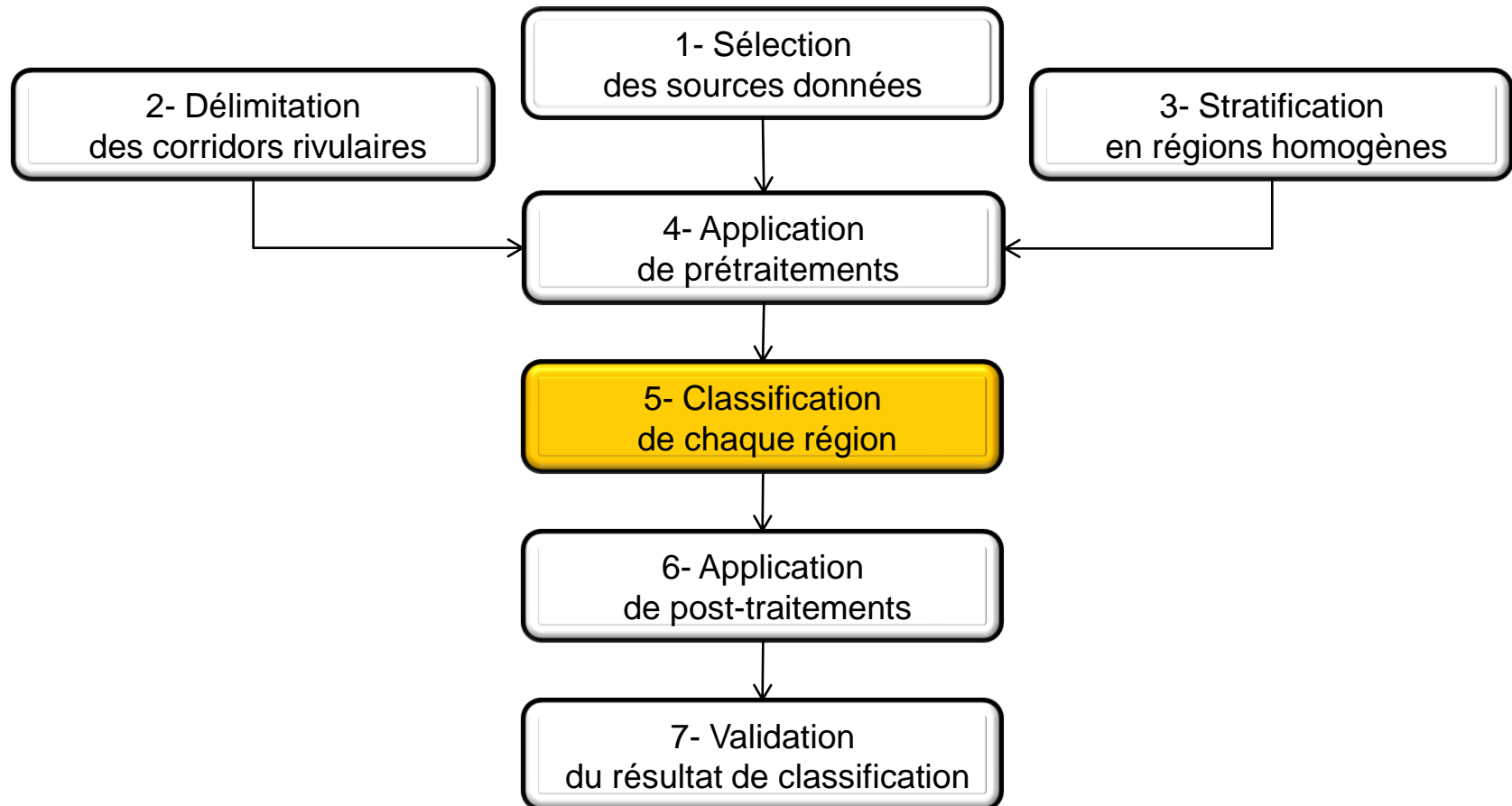
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

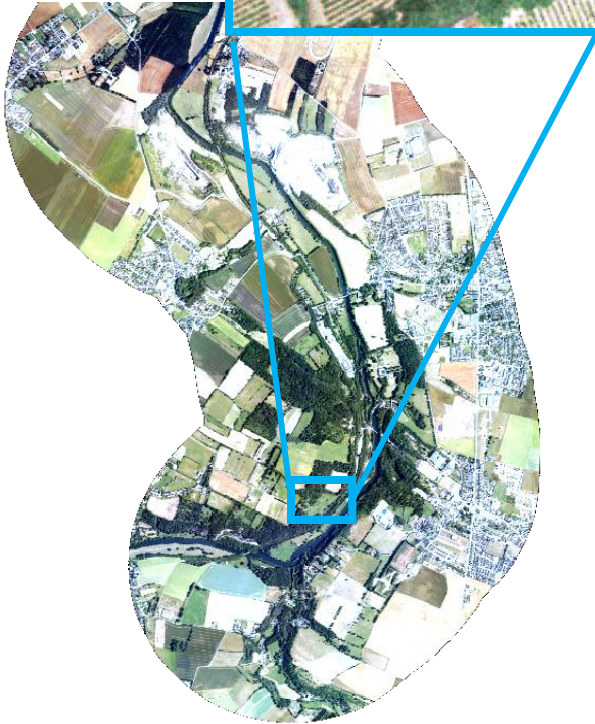
3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

□ Une procédure en 7 étapes



➤ Choix de l'approche : pixel ou objet ?



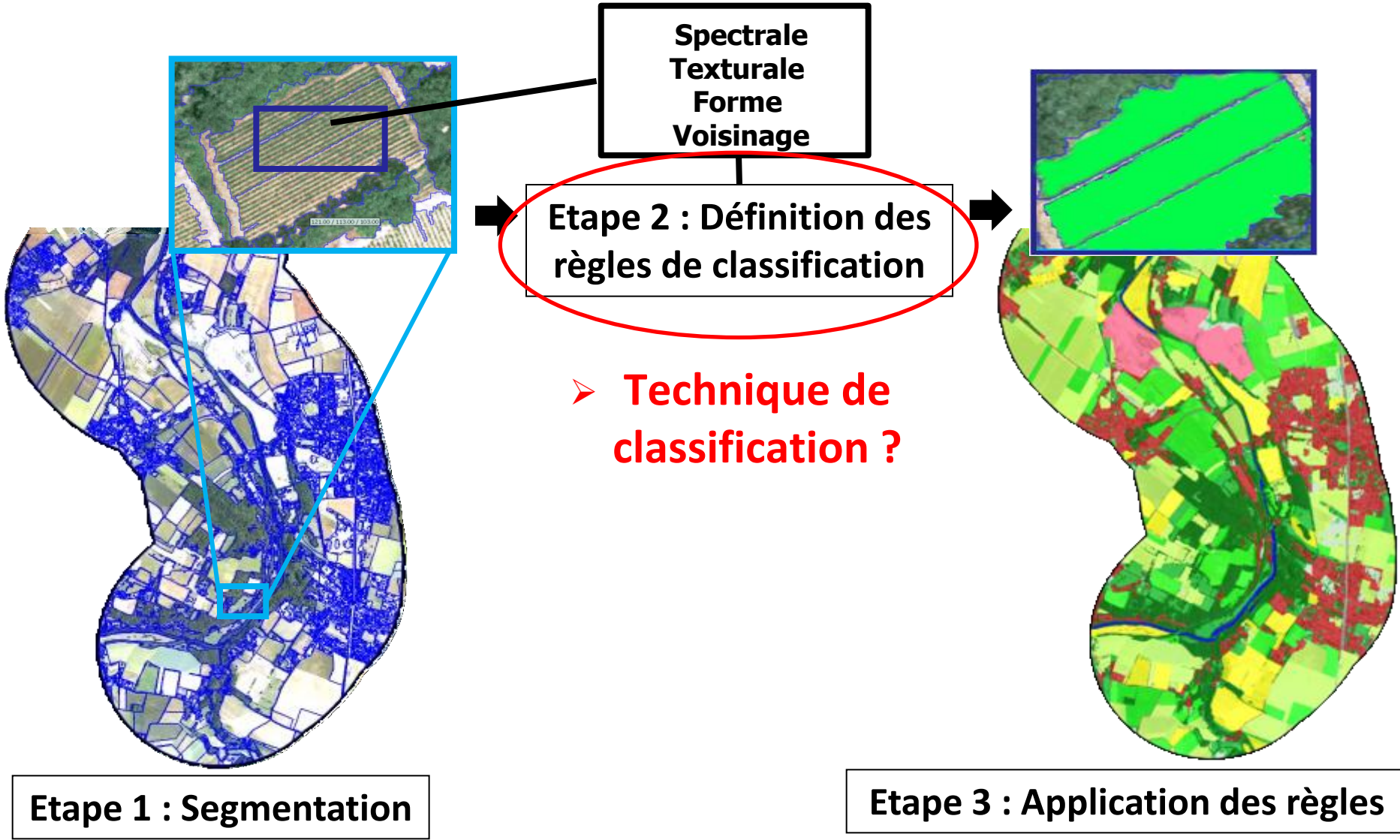
Avec la THRS, l'information des images est très riche, détaillée et hétérogène

=> **Approche par pixel est limitée**

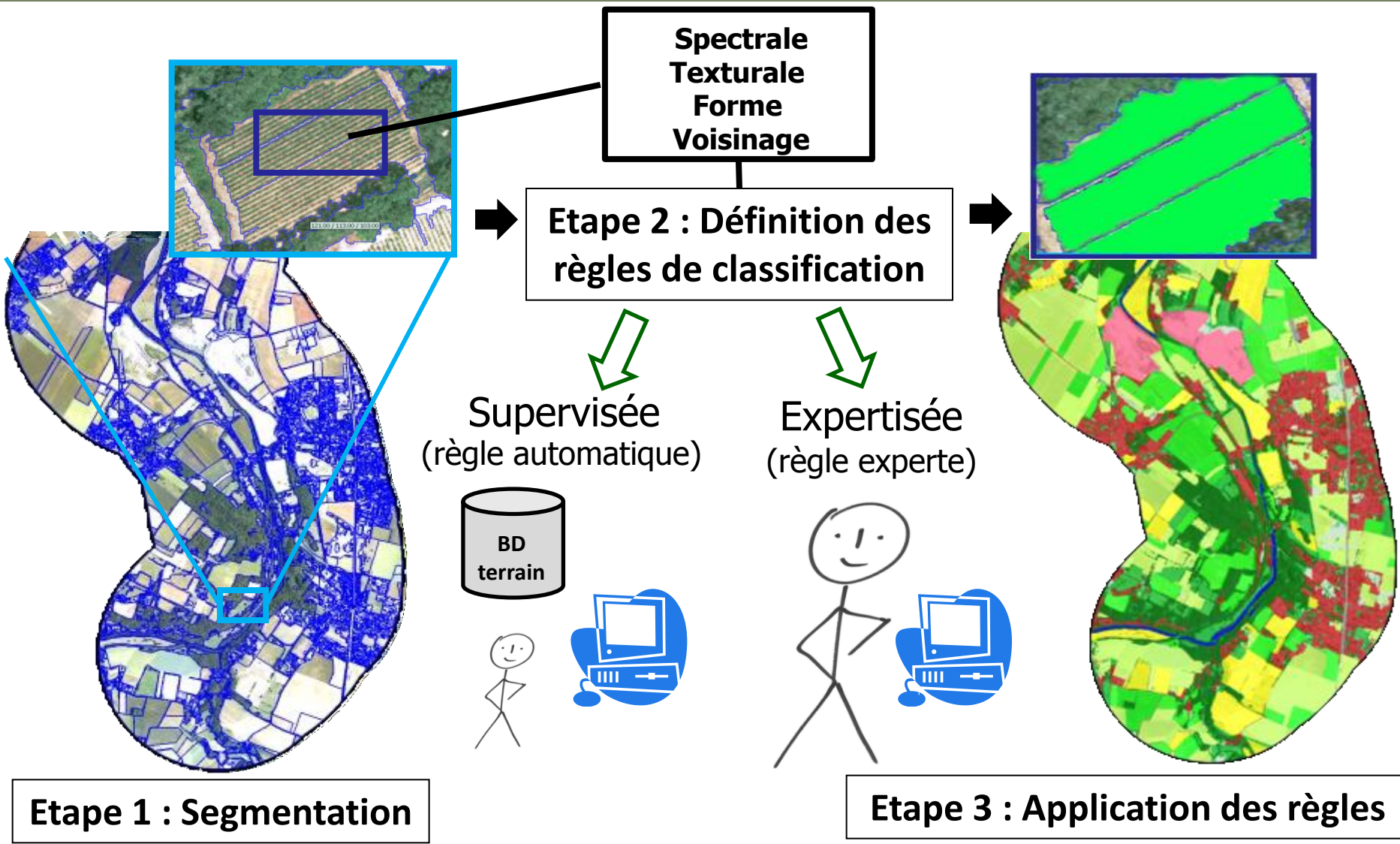
Müller et al, 1993

Lennartz, 2004

- Choix de l'approche : pixel ou objet ?
- Choix de la technique de classification ?



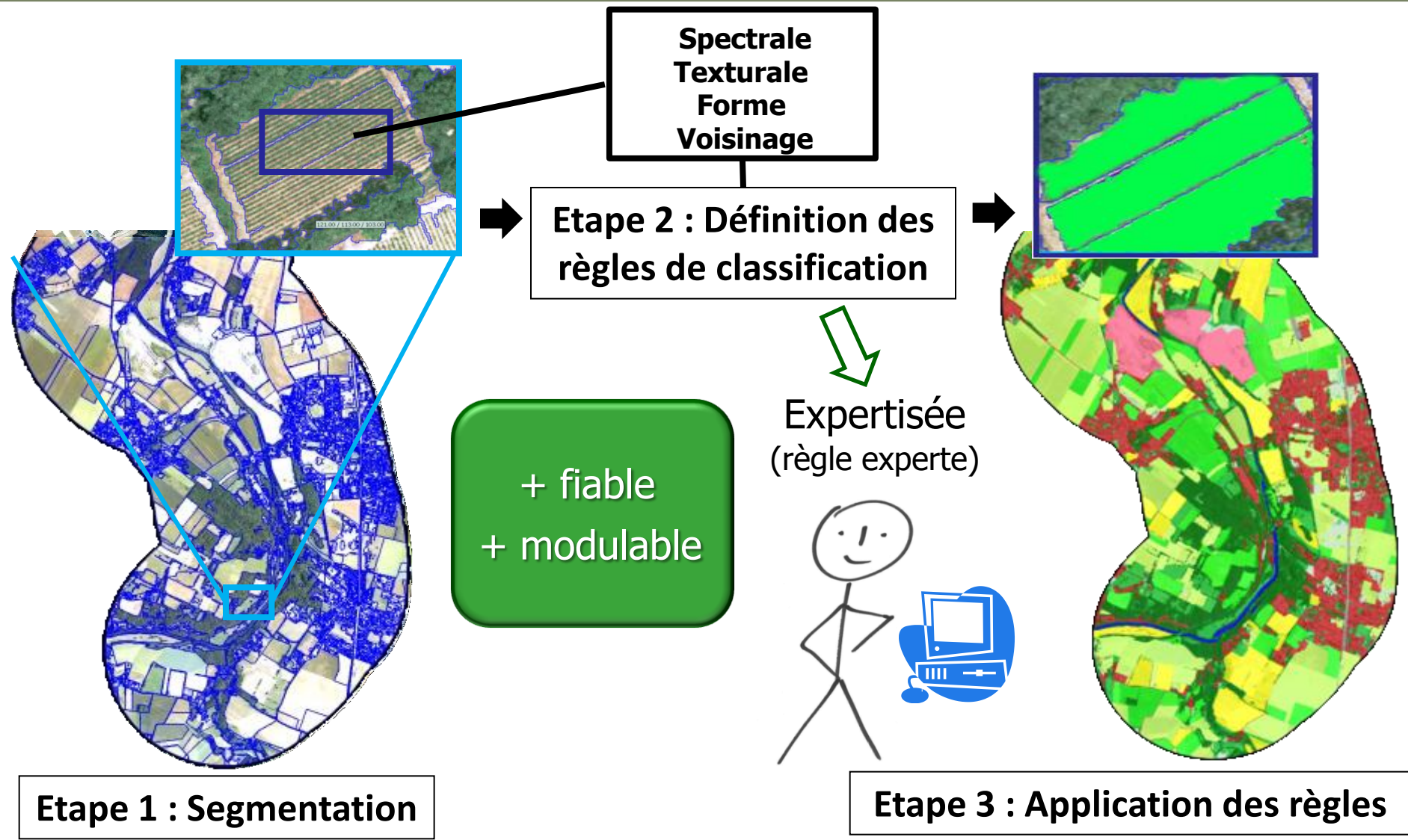
- Choix de l'approche : pixel ou objet ?
- Choix de la technique de classification ?



- Choix de l'approche : pixel ou objet ?
- Choix de la technique de classification ?

OBJET

EXPERTISEE



➤ 2 problématiques de classification

1-Comment intégrer l'information des données externes dans le processus de classification ?

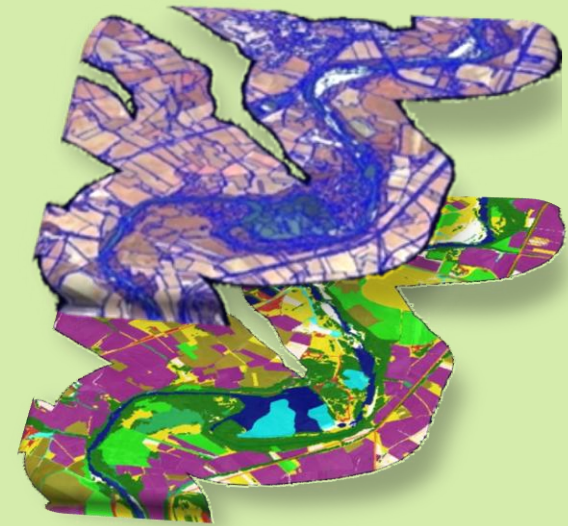
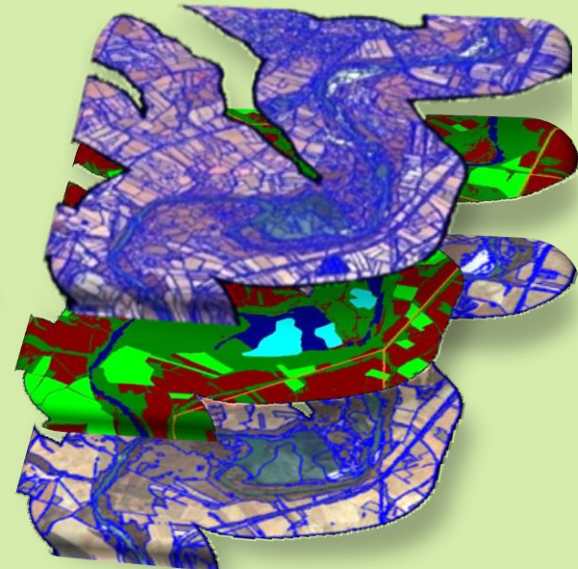
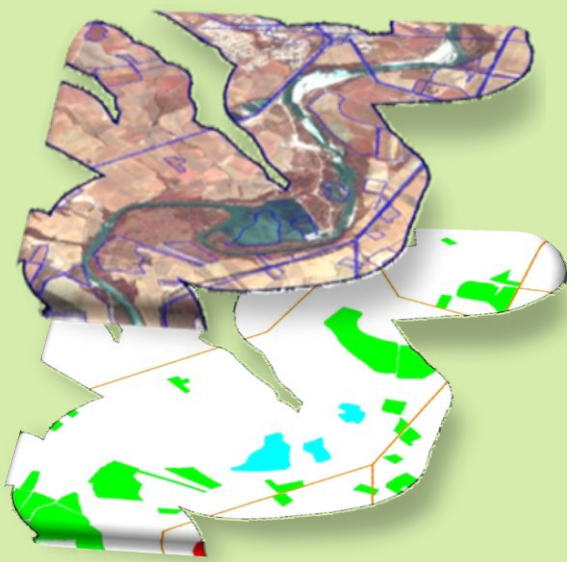
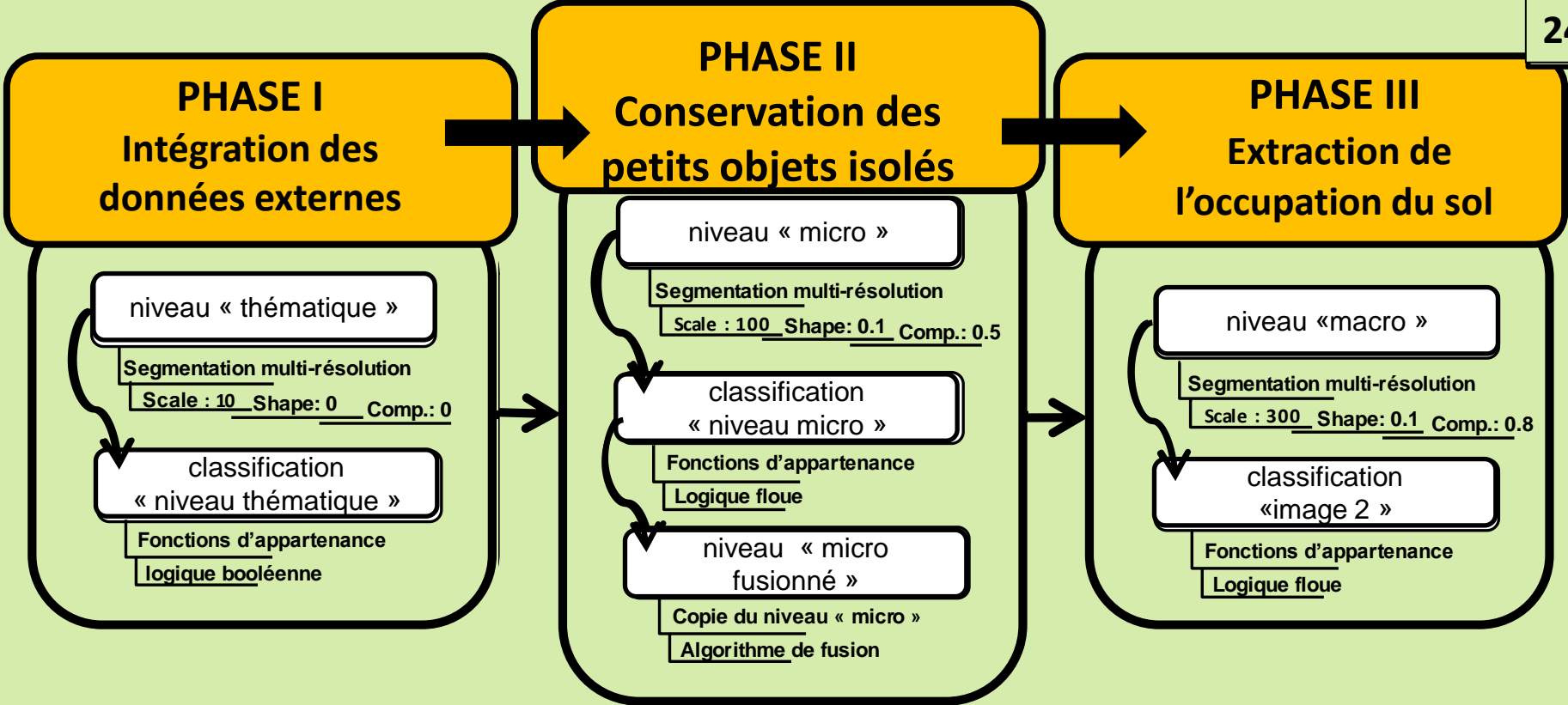


2- Comment délimiter les différentes tailles d'objets dans ces espaces ?

Baatz and Schäpe, 2000



= > methode de segmentation-classification en trois phases



1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

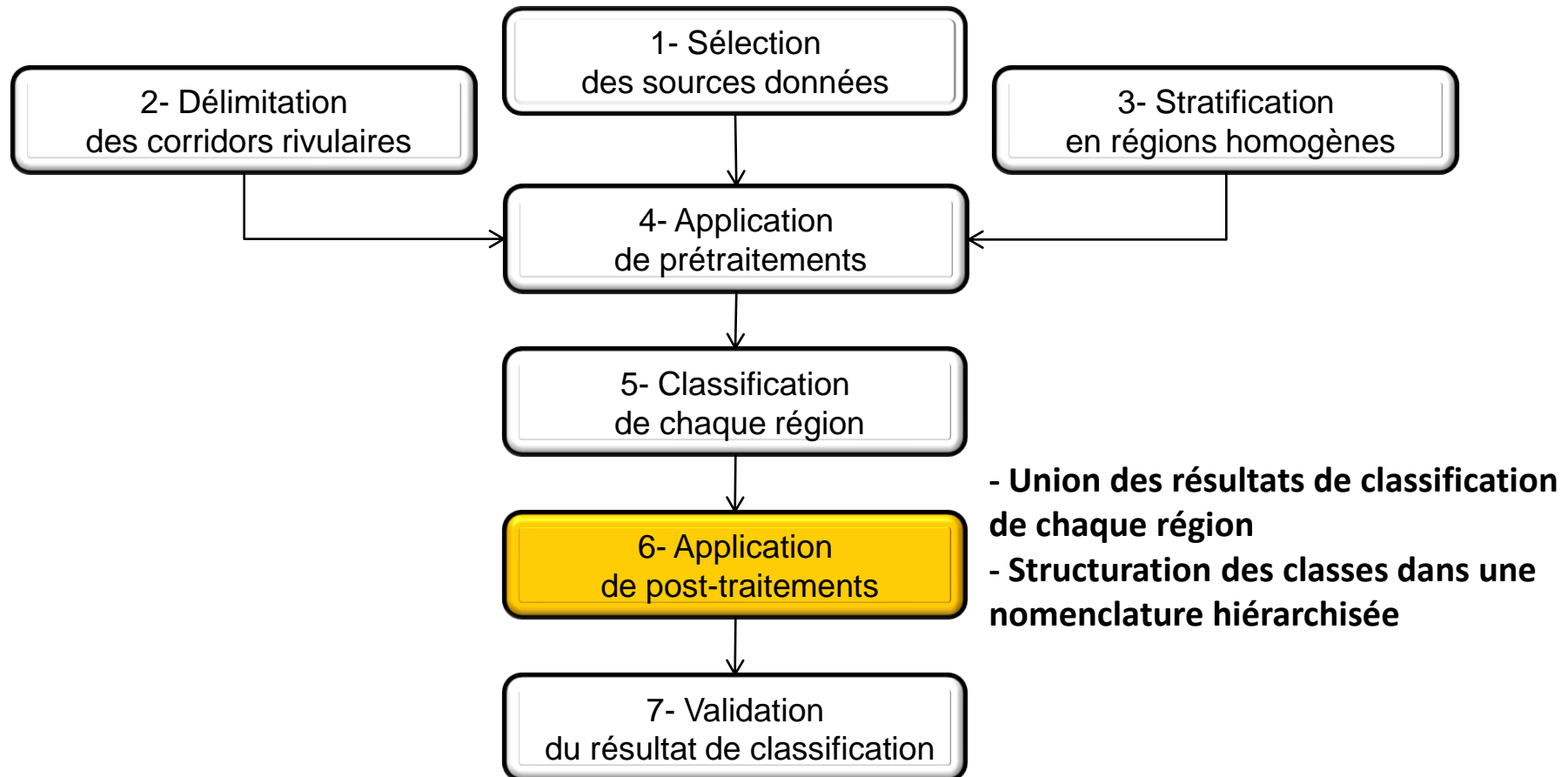
3- Modélisation P/E

- Objectifs

- Procédure de classification

- Résultats

□ Une procédure en 7 étapes



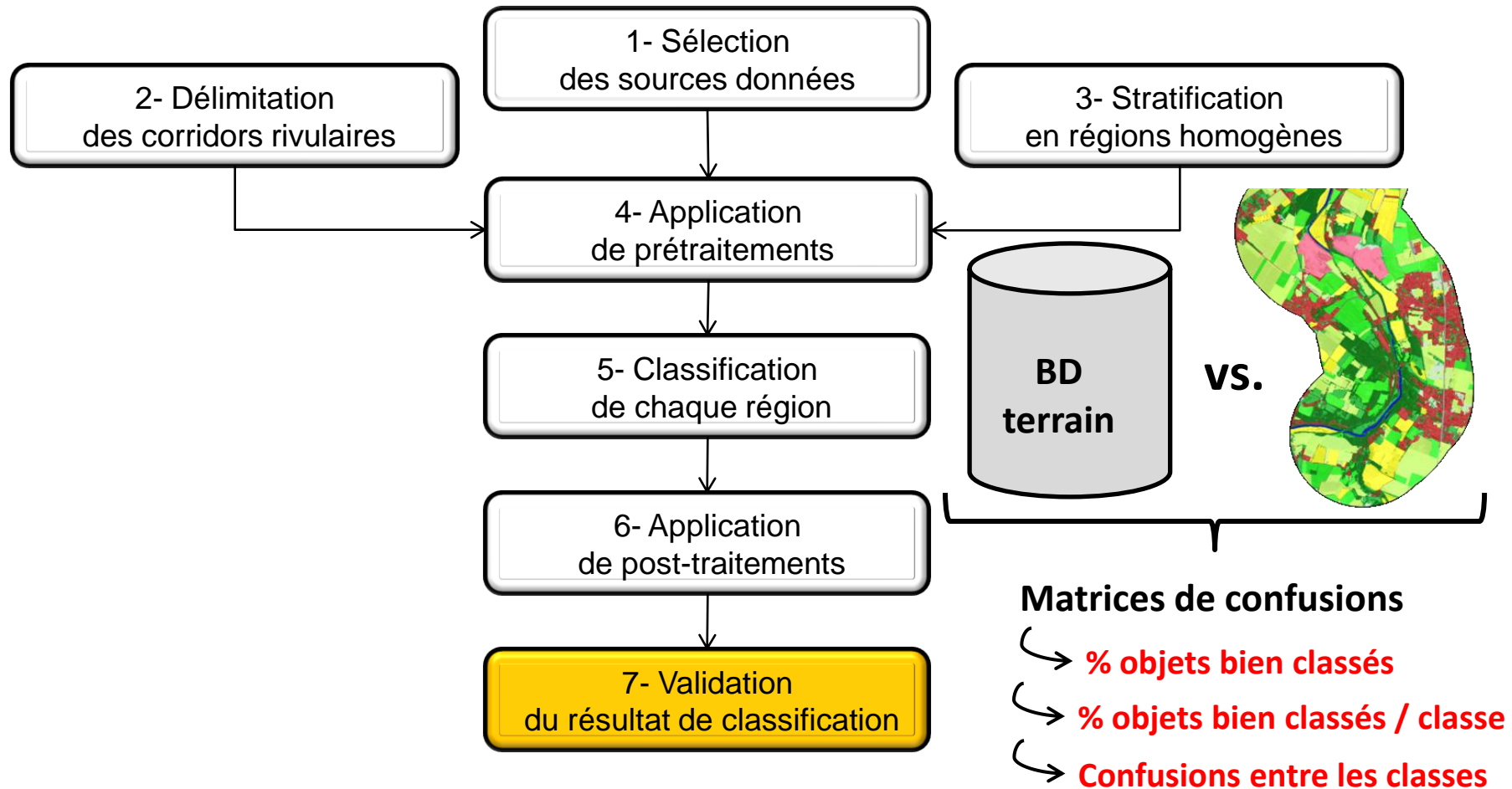
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

□ Une procédure en 7 étapes



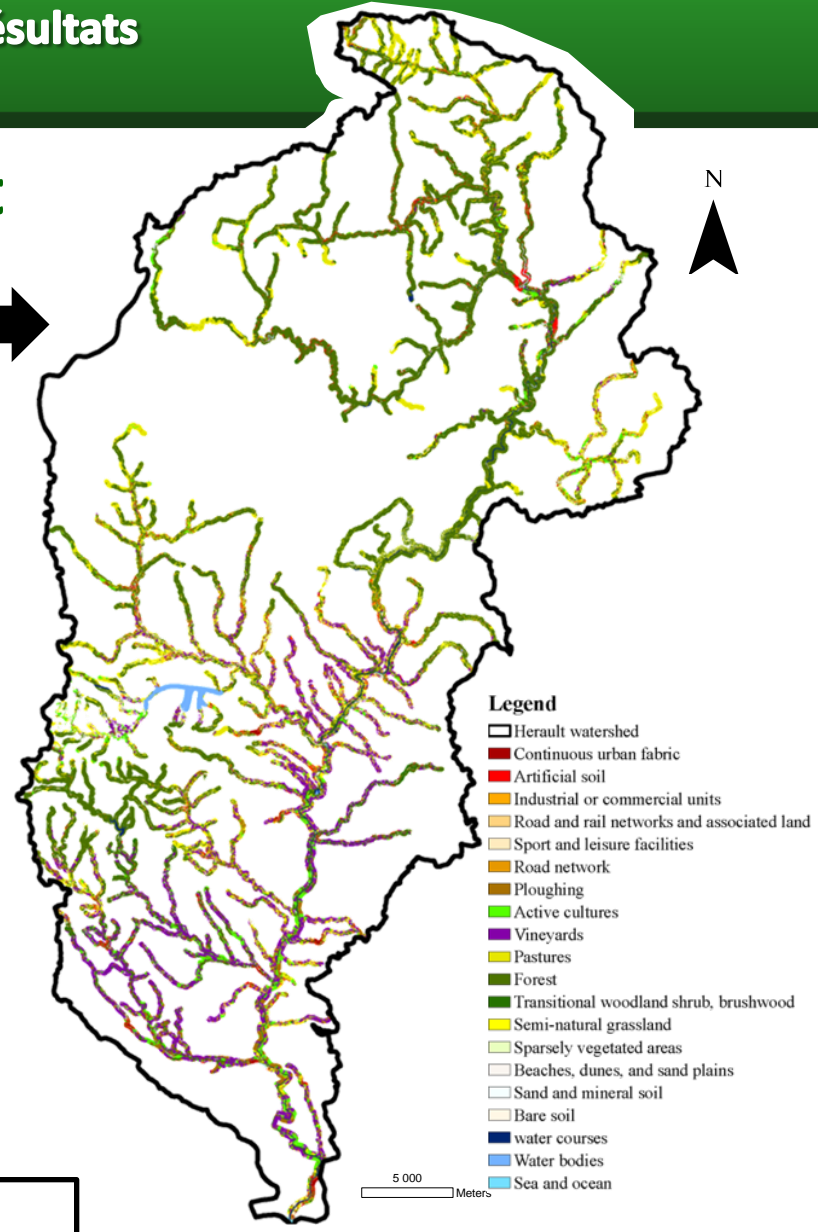
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Procédure de classification
- Résultats

□ Résultats sur le BV de l'Hérault



□ Applicable sur de grands territoires

- 1500 Km de réseau
- 560 Km² de corridor rivulaire

□ Efficace

- Typologie détaillée (nomenclature hiérarchisée)
- Précision globale de 89 % (typologie à 6 classes)

□ Reproductible

- 3 paysages différents (3 hydro-écorégions)
- Toutes les tailles de cours d'eau

□ A coût de données réduit

- Données vecteur existantes
- Données déjà disponibles (pour les gestionnaires)

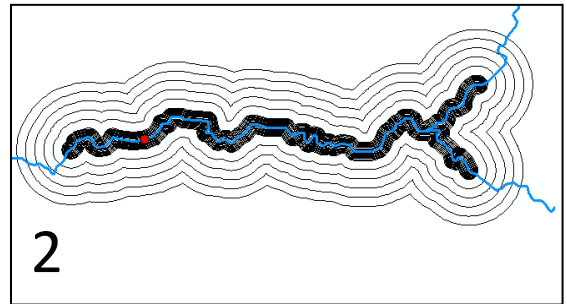
□ Portable

- Intégration d'autres sources d'information

Publication : *International Journal of Remote Sensing (IJRS)*

Plan de la présentation

- Introduction
- 1- Classification THRS de l'OSCR
- **2- Construction des ISCR**
 - Cadre conceptuel & objectifs
 - Exemples d'indicateurs & Spatialisation multiple
 - Méthode de construction
 - Résultats
- 3- Modélisation P/E
- Conclusions & Perspectives



1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel & objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- Méthode de construction
- Résultats



➤ Enjeux de recherche :

=> utiliser l'information d'occupation du sol dans les modèles P/E

➤ Enjeux opérationnels :

=> exploiter cette information pour aider les gestionnaires dans l'élaboration des stratégies de restauration dans ces espaces



**Indicateurs Spatialisés
du Corridor Rivulaire
(ISCR)**

1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

○ Cadre conceptuel & objectifs

○ Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple

○ Méthode de construction

○ Résultats

□ Principes et concepts

Forman et Gordon (1981)

Burel et Baudry (1999)

Un indicateur synthétise pour :

une « **catégorie d'occupation donnée** »

une « **structure spatiale** »

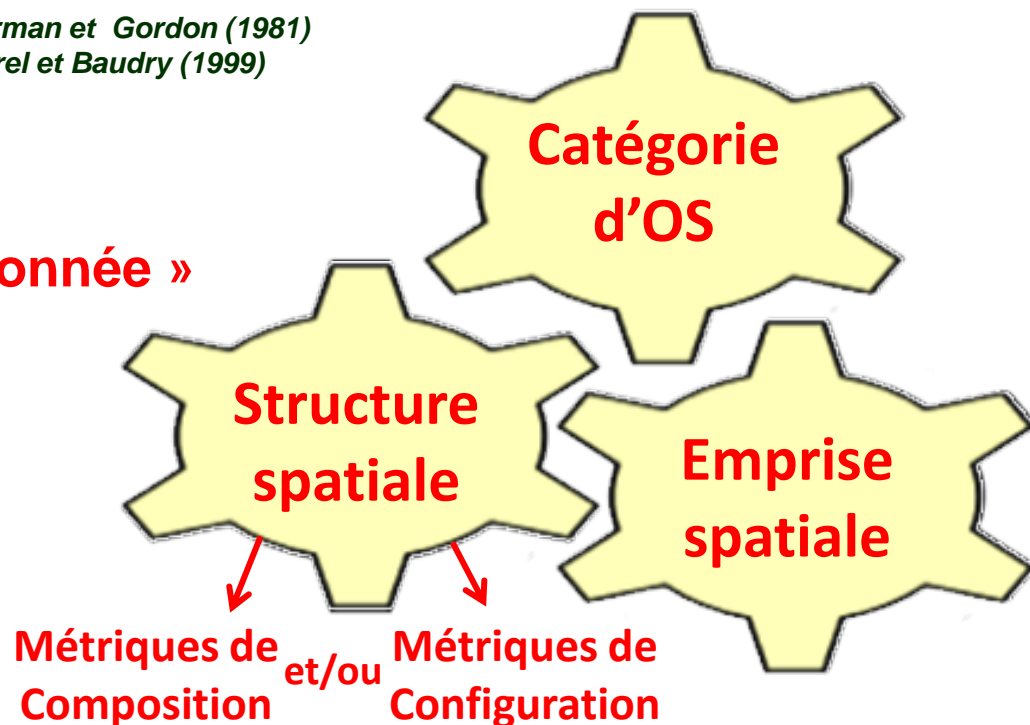
dans un « **espace délimité** »

□ Objectifs

A partir de ces indicateurs :

1- traduire les mécanismes d'impacts de l'Occupation du Sol (OS) sur l'état écologique dans les corridors rivulaires

2- concevoir une méthode permettant d'améliorer la spatialisation de l'information d'OS dans ces espaces



1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- **Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple**
- Méthode de construction
- Résultats

□ 1- Comment traduire les mécanismes d'impacts :

- Exemple des indicateurs sur la végétation arborée au contact du cours d'eau

Fonctions

**Fonctionnalité globale
(habitat, trophie, ...)**

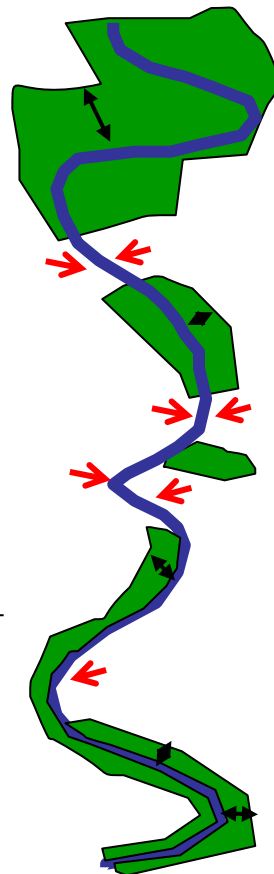
Maridet, 1995

**Régulation thermique
(maintien des eaux fraîches)**

Barton, 1985

**Filtration des
pollutions diffuses**

Weller et al., 1998

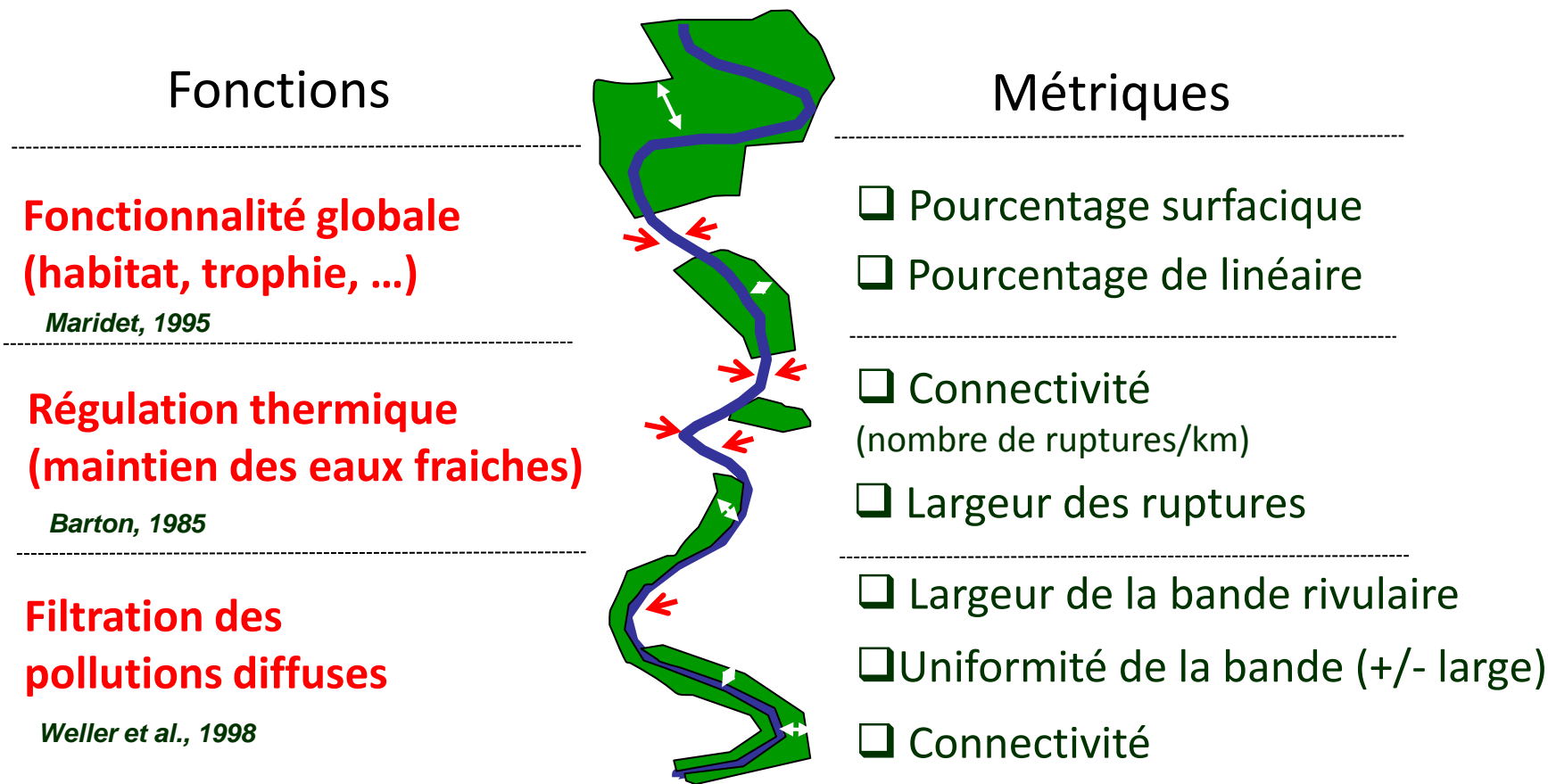


- 1- Classification de l'OSCR
- 2- Construction des ISCR
- 3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- Méthode de construction
- Résultats

❑ 1- Comment traduire les mécanismes d'impacts :

➤ Exemple des indicateurs sur la végétation arborée au contact du cours d'eau



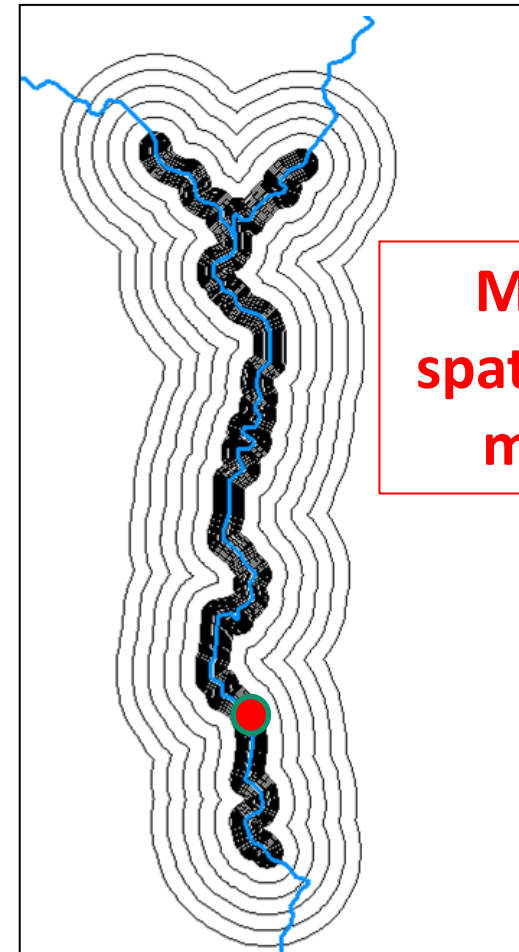
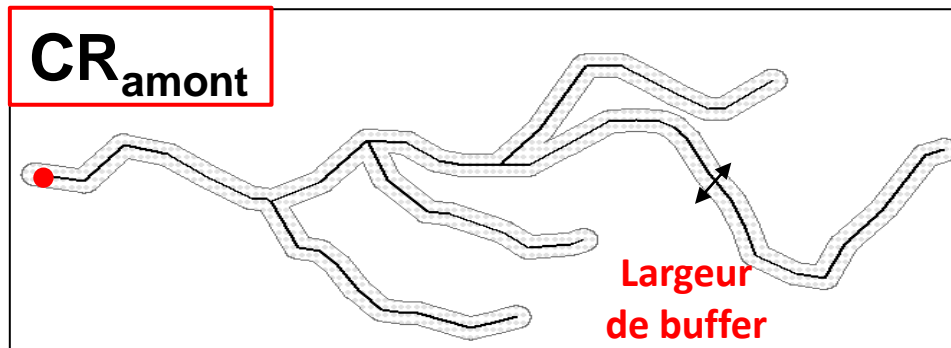
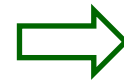
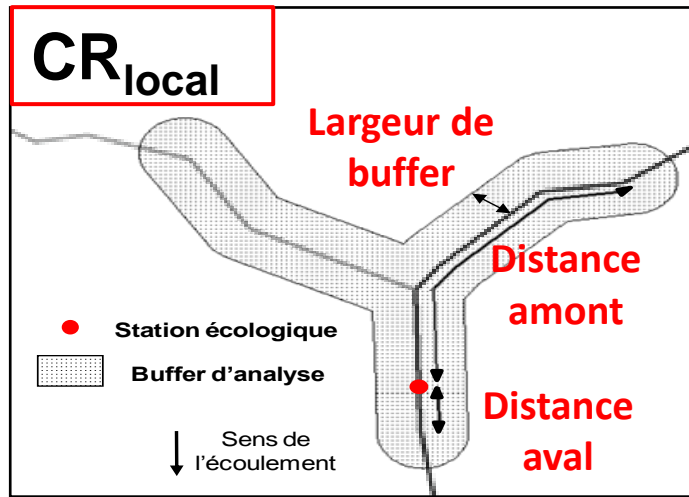
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- Méthode de construction
- Résultats

□ 2- Comment améliorer la spatialisation de l'OSCR :



Mode de spatialisation multiple

- 1- Classification de l'OSCR
- 2- Construction des ISCR
- 3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- **Méthode de construction**
- Résultats

□ Méthode de construction

1 - Délimitation des emprises spatiales

↓ ↪ Segmentation dynamique

2- Découpage de la donnée d'OSCR

↓ ↪ Opérateurs topologiques

3- Calcul des métriques

↓ ↪ Opérateurs dimensionnelles (mode vecteur)
 ↪ Fonctions incrémentales et zonale (Mode raster)

4- Représentation cartographique

44 postes (donnée CLC)

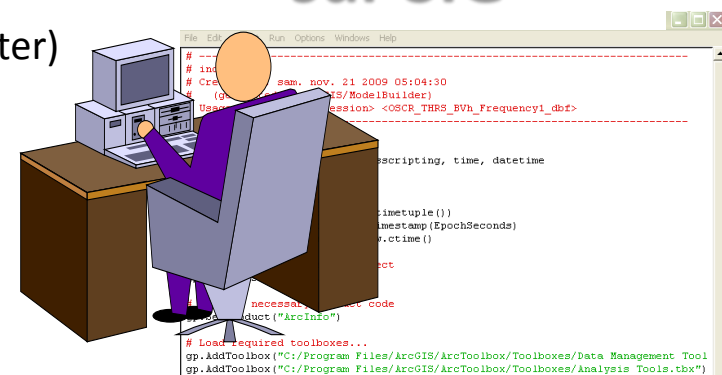
165 emprises

10 métriques



72600 / stat.

**Automatisation
sur SIG**



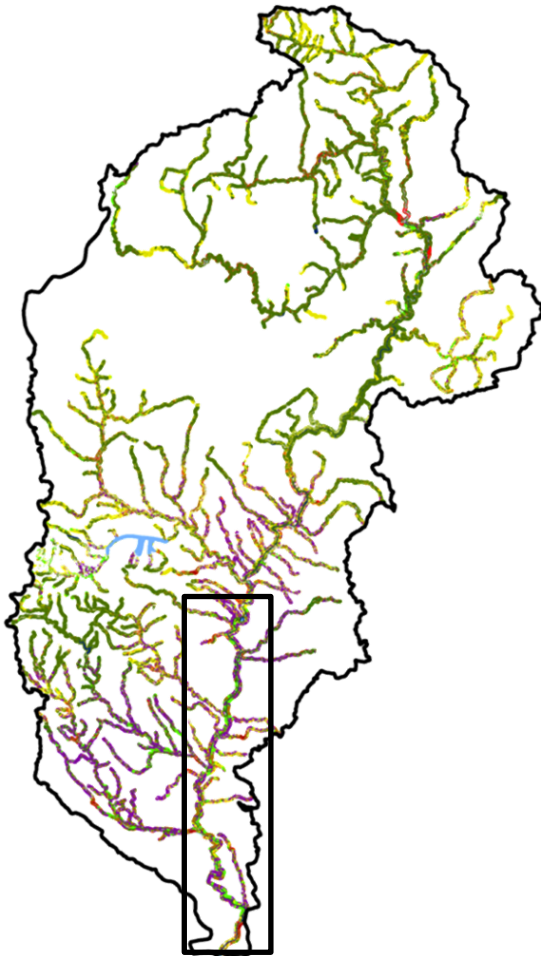
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- Méthode de construction
- **Résultats**

□ Résultats sur le bassin de l'Hérault



- **Sur le cours principal de l'Hérault (80 km)**
 - 1 – Calcul de tous les indicateurs
 - 2 – Analyse de l'influence de la largeur de l'emprise sur les indicateurs surfaciques
 - 3 – Analyse de l'impact de la résolution

Publication : *Physics and chemistry of the earth*

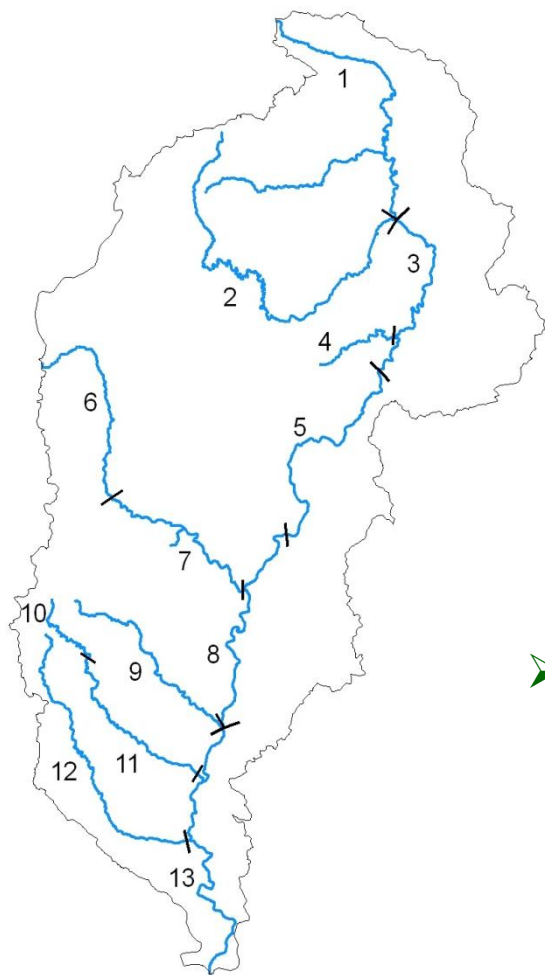
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- Méthode de construction
- **Résultats**

□ Résultats sur le bassin de l'Hérault



➤ Sur le cours principal de l'Hérault (80 km)

1 – Calcul de tous les indicateurs

2 – Analyse de l'influence de la largeur de l'emprise sur les indicateurs surfaciques

3 – Analyse de l'impact de la résolution

Publication : *Physics and chemistry of the earth*

➤ Sur les 13 masses d'eau de l'Hérault

Représentations cartographiques des indicateurs

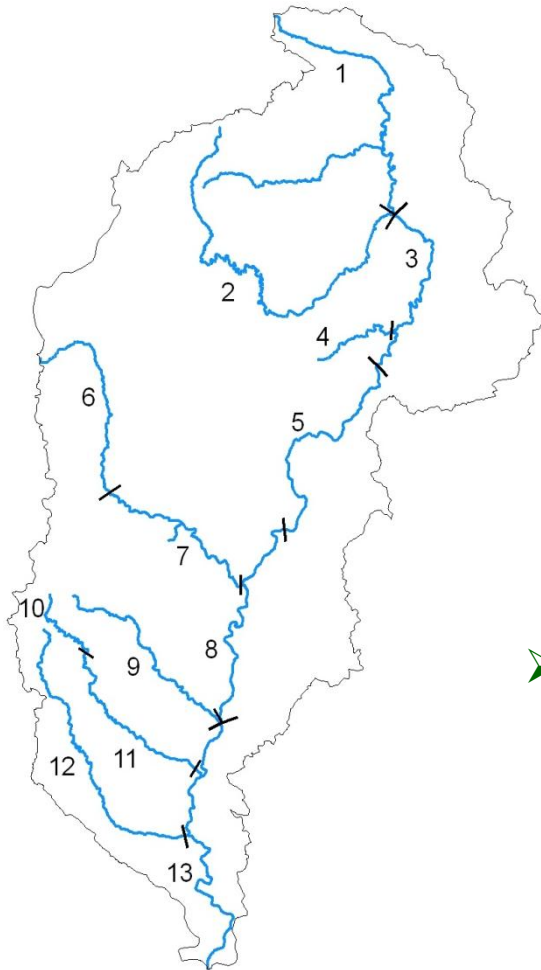
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Cadre conceptuel et objectifs
- Ex. d'indicateurs & Spatialisation multiple
- Méthode de construction
- **Résultats**

□ Résultats sur le bassin de l'Hérault



➤ Sur le cours principal de l'Hérault (80 km)

1 – Calcul de tous les indicateurs

2 – Analyse de l'influence de la largeur de l'emprise sur les indicateurs surfaciques

3 – Analyse de l'impact de la résolution

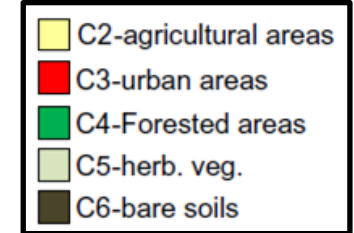
Publication : *Physics and chemistry of the earth*

➤ Sur les 13 masses d'eaux de l'Hérault

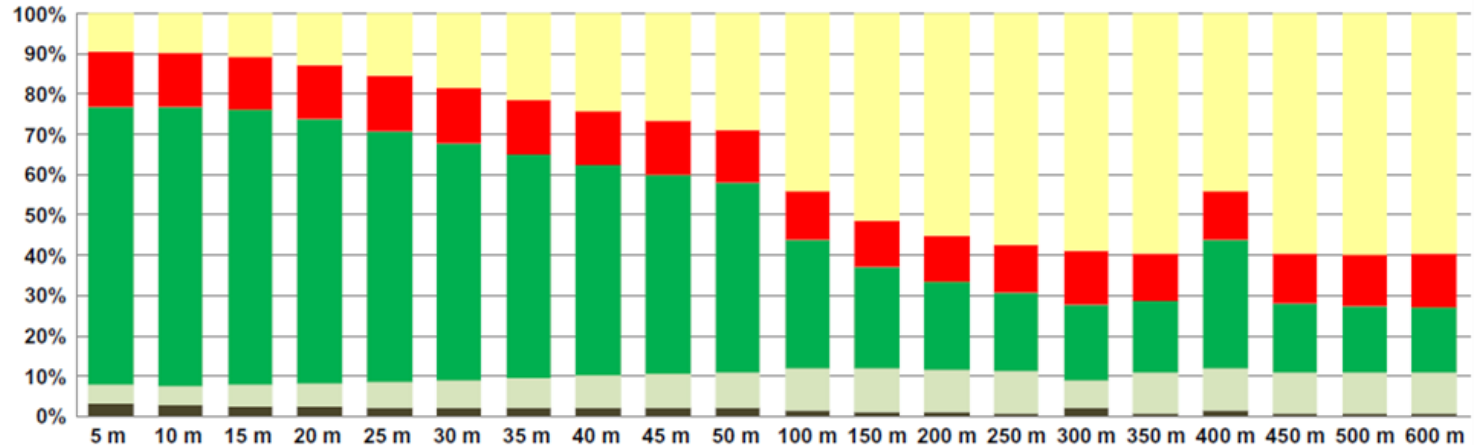
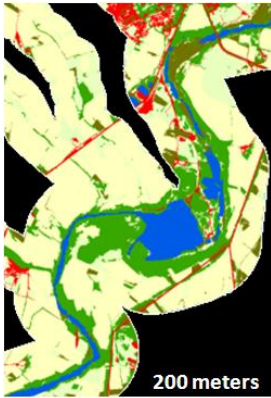
Représentations cartographiques des indicateurs

Application sur le cours principal de l'Hérault (80 km)

- Analyse de l'influence de la largeur de l'emprise spatiale sur les indicateurs surfaciques



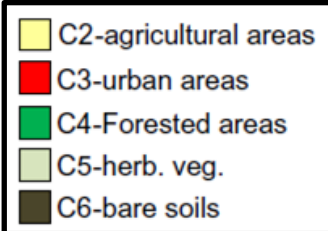
THRS



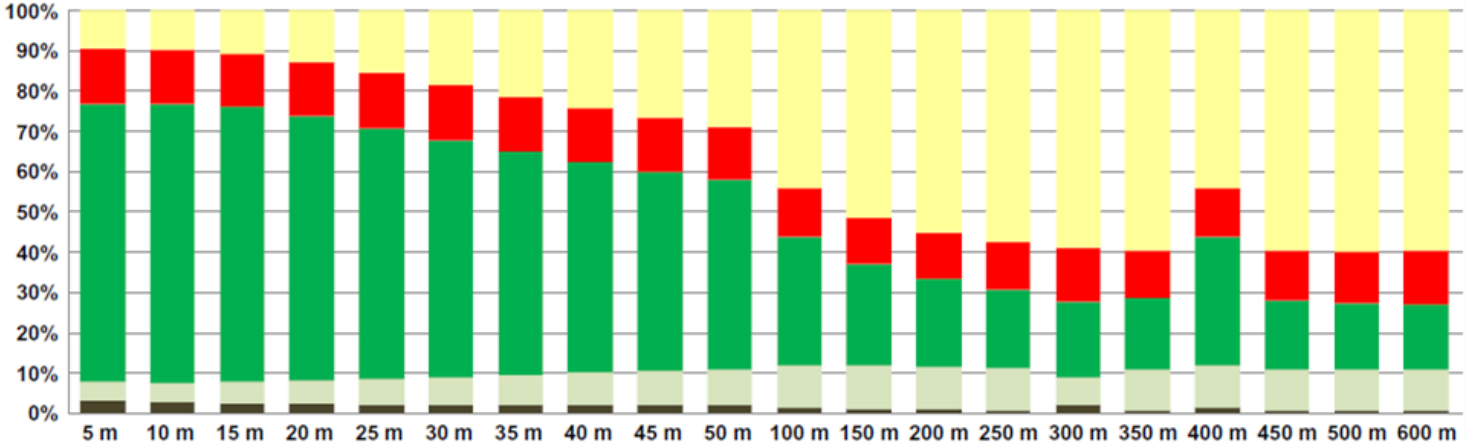
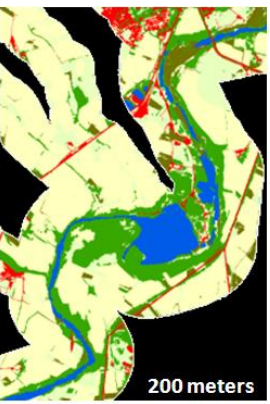
=> intérêt d'analyser l'information sur plusieurs emprises spatiales

Application sur le cours principal de l'Hérault (80 km)

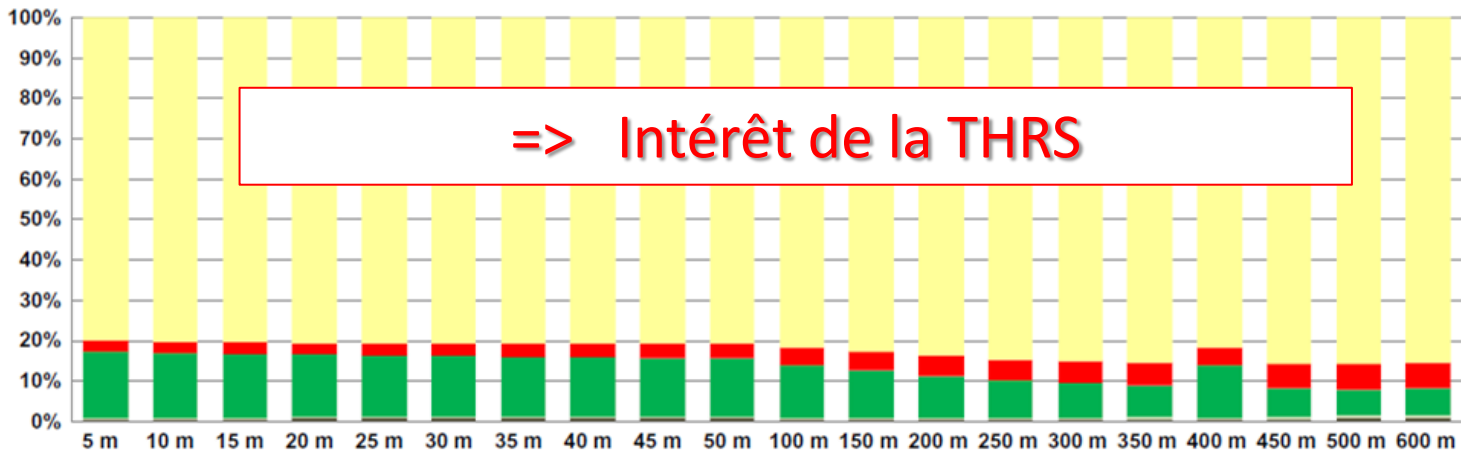
➤ Analyse de l'influence de la résolution de la donnée d'occupation du sol



THRS



CLC



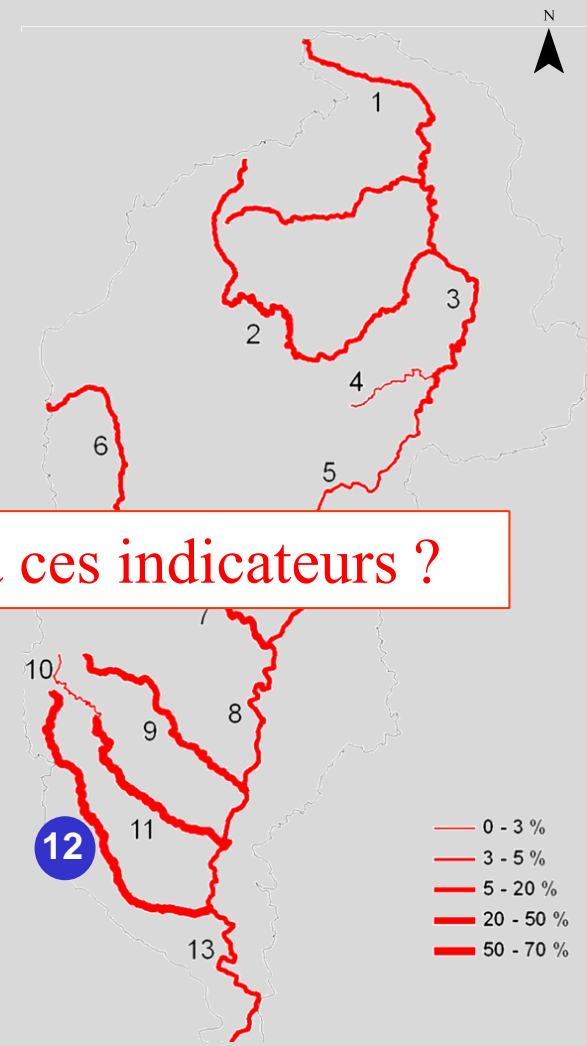
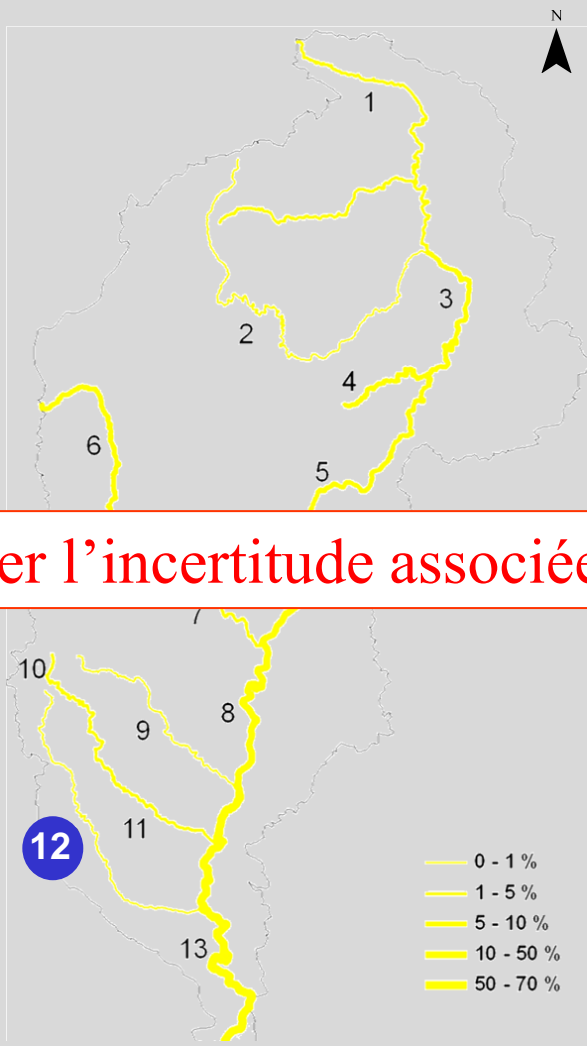
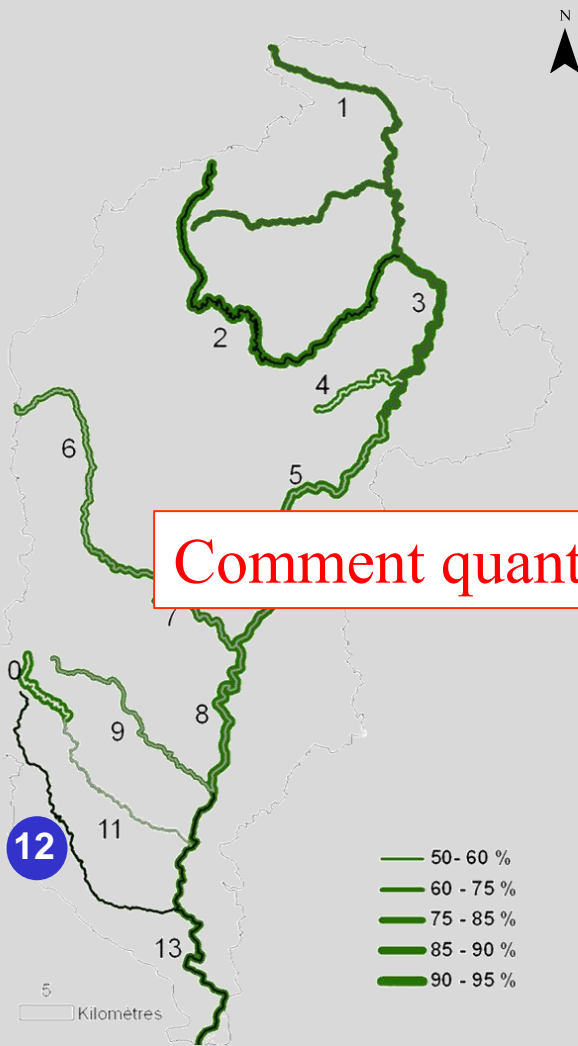
=> Intérêt de la THRS

Représentations cartographiques des indicateurs

Métrique : **% linéaire**
Catégorie d'OS : **Forêt**
Emprise spatiale: **Contact**

Métrique : **% surfacique**
Catégorie d'OS : **Cultures**
Emprise spatiale: **Lit majeur**

Métrique : **% surfacique**
Catégorie d'OS : **Urbain**
Emprise spatiale: **Lit majeur**



Comment quantifier l'incertitude associée à ces indicateurs ?

12

12

12

1- Classification de l'OSCR

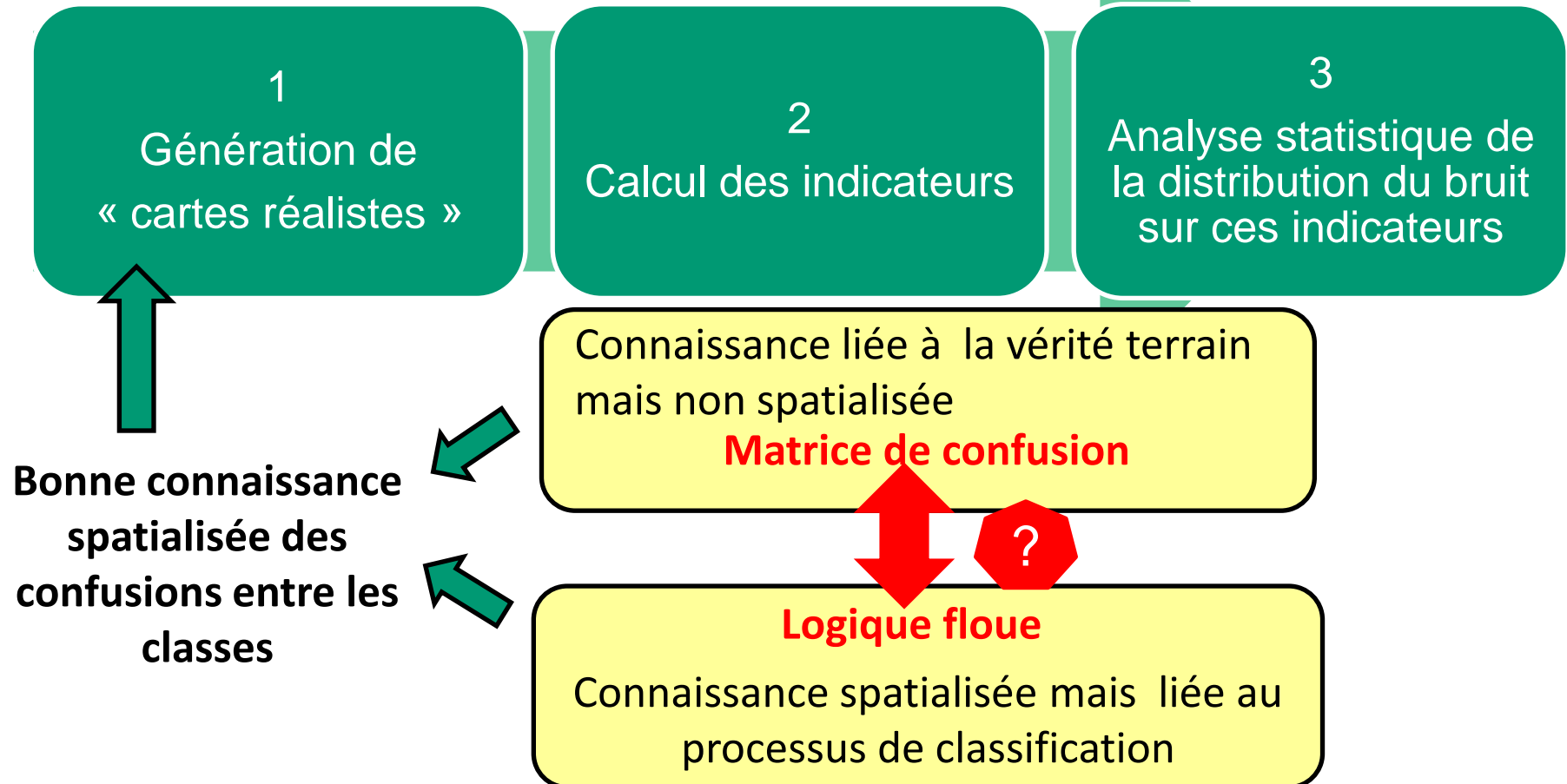
2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Cadre conceptuel
- Méthode de construction
- Résultats

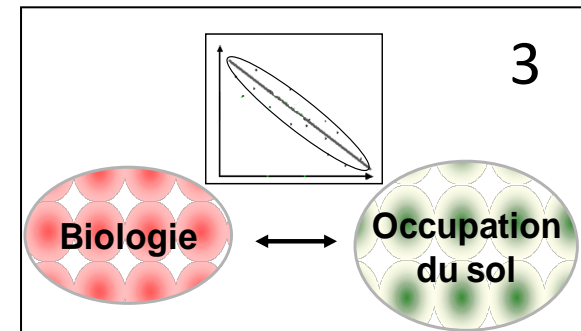
□ Une question ouverte : quantification de l'incertitude ?

Une méthode : tirage de monte-carlo



PLAN DE LA PRESENTATION

- Introduction
- 1- Classification de l'OSCR
- 2-- Construction des ISCR
- **3- Modélisation P/E**
 - Objectifs
 - Données & combinatoire
 - Démarche présentée & méthode
 - Résultats
- Conclusions & Perspectives



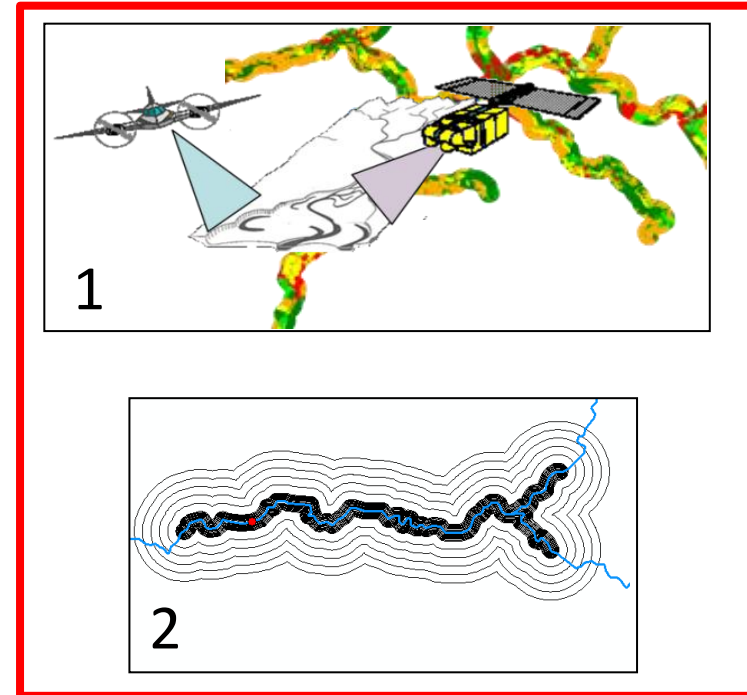
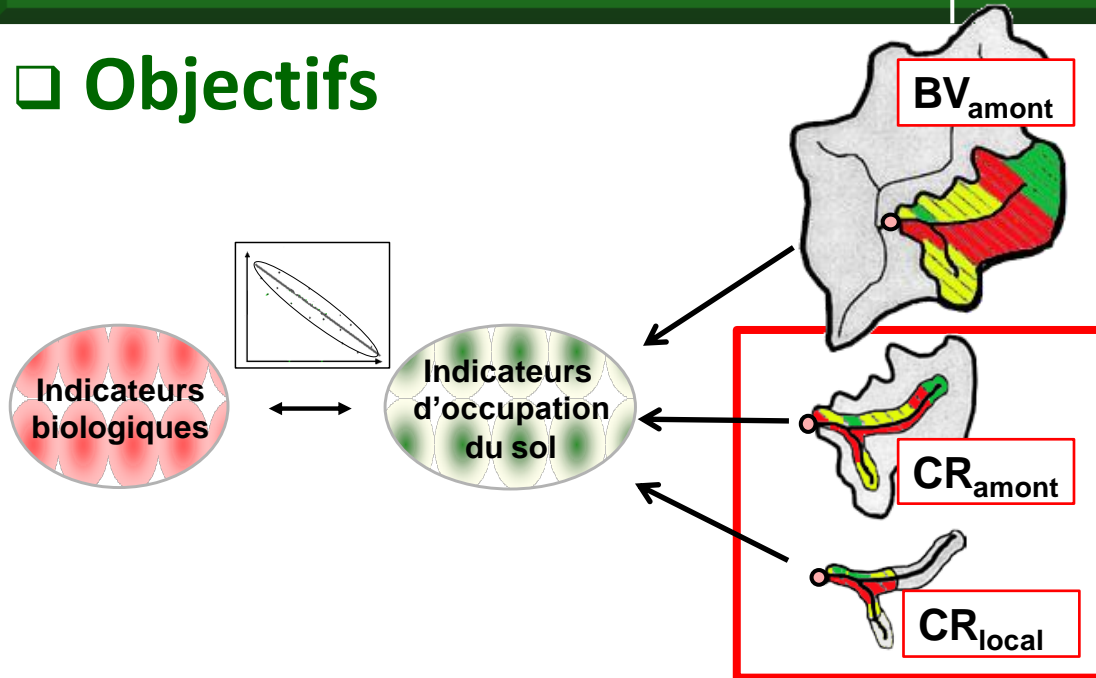
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Données & combinatoire
- Méthode
- Résultats

□ Objectifs



1- Est-ce que les avancées méthodologiques améliorent l'étude des relations P/E ? => **Comparaison de plusieurs modèles**

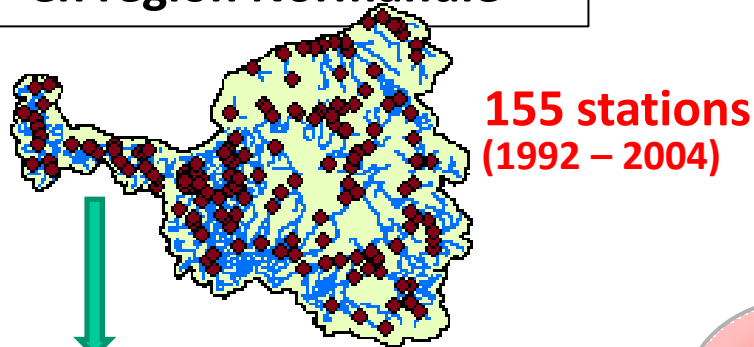
2- Est-ce le rôle des ripisylves est statistiquement significatif au niveau régional ?

- 1- Classification de l'OSCR
- 2- Construction des ISCR
- 3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Données & combinatoire
- Méthode
- Résultats

□ Données

Plusieurs bassins versants en région Normandie



IBGN → IBGN_{moyen}

Indicateur Biologique Global Normalisé



(AFNOR, 1992)

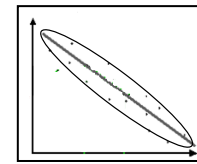
Polluosensibilité & diversité

EQR
IBGN

Ecart à la référence

$$EQR_{IBGN} = \frac{(IBGN - 1)}{(REF - 1)}$$

Mesure indépendante des variations naturelles de l'indice



E ↔ P
Etat écologique Pressions

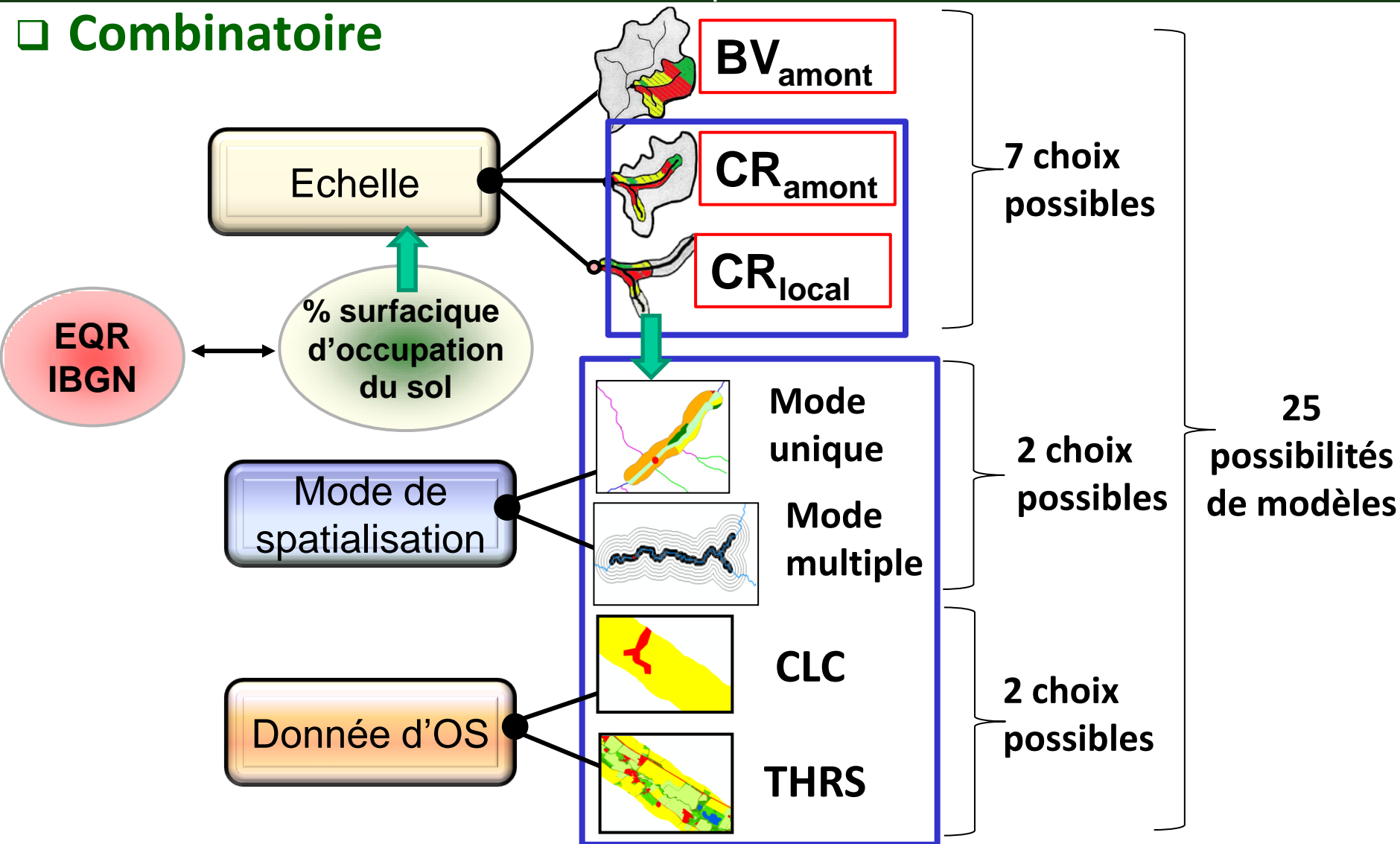
% surfacique d'occupation du sol

Typologie la plus détaillée de la source de donnée d'OS utilisée

- 1- Classification de l'OSCR
- 2- Construction des ISCR
- 3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Données & combinatoire
- Méthode
- Résultats

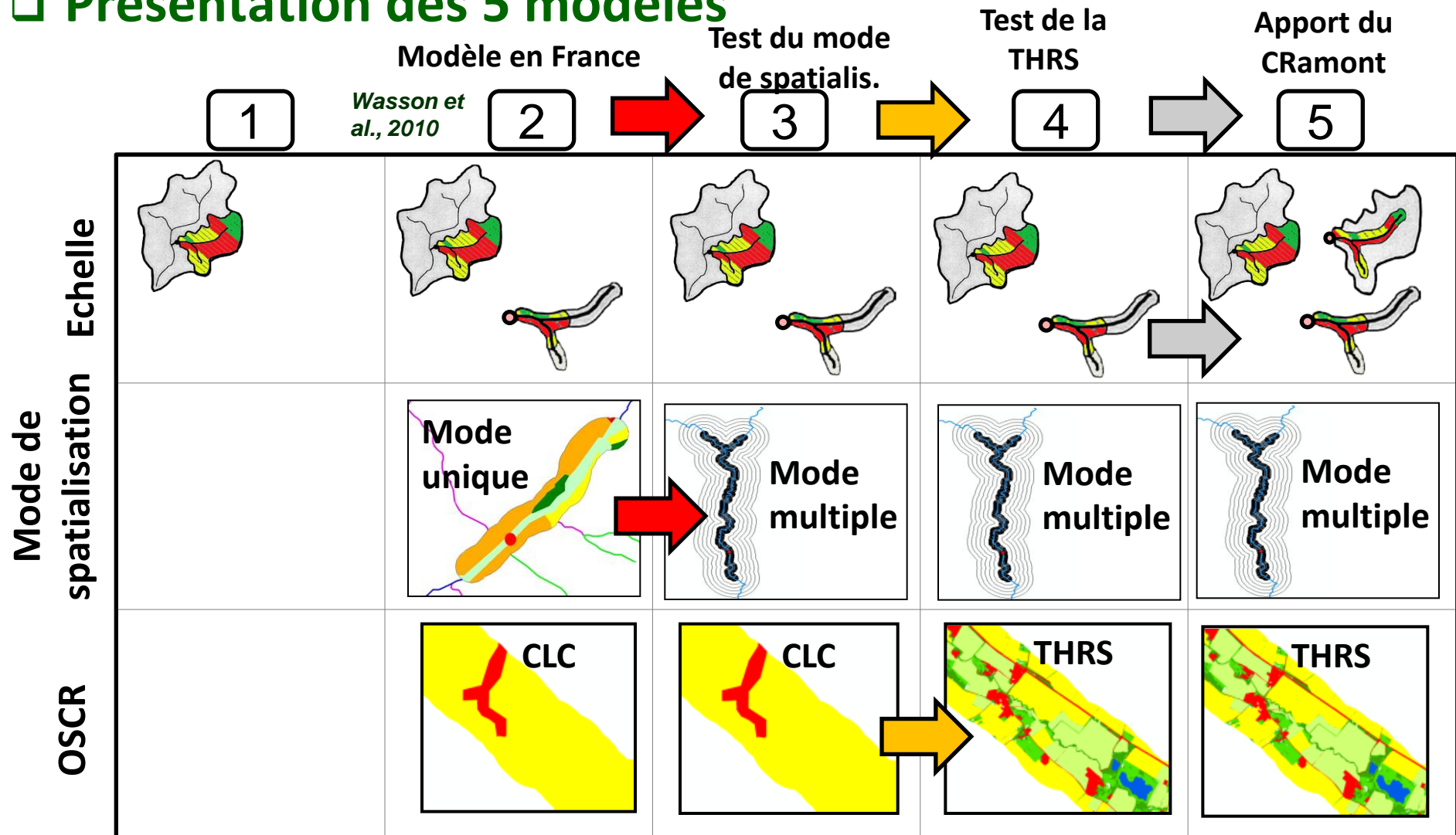
Combinatoire



- 1- Classification de l'OSCR
- 2- Construction des ISCR
- 3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Données & combinatoire
- Méthode
- Résultats

Présentation des 5 modèles



1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Données & combinatoire
- Méthode
- Résultats

□ Structure de modèle

⇒ multilinéaire

$$EQR_{IBGN} = X\beta + \varepsilon$$

% d'occupation du sol
(des différentes catégories
aux différentes échelles)

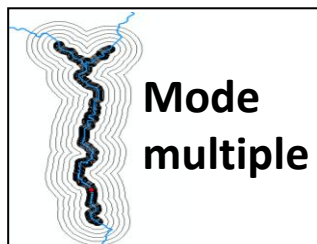
□ Méthode statistique

⇒ L'algorithme de **Régression multiple PLS** (Partial Least Square)

Tenenhaus, 1998

→ Coefficients de régression interprétables même en cas de forte colinéarité des variables explicatives

Mais avec :



1- Présélection pour chaque catégorie d'OS
l'emprise spatiale influence

↓ le coefficient de corrélation le plus fort avec
l'EQR_{IBGN}

2- Régression PLS

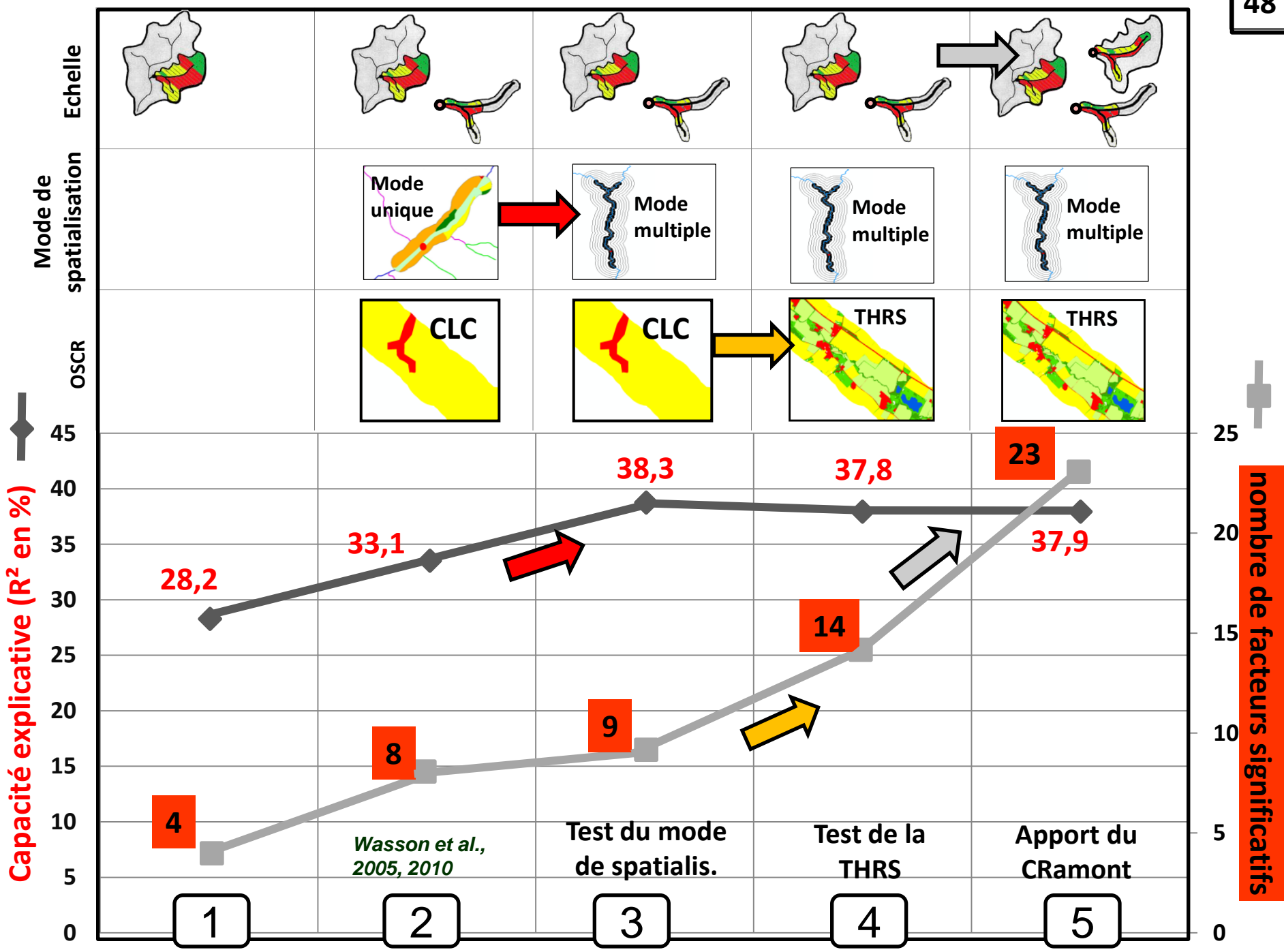
1- Classification de l'OSCR

2- Construction des ISCR

3- Modélisation P/E

- Objectifs
- Données & combinatoire
- Méthode
- Résultats

□ Résultats obtenus sur les 5 modèles



Régression PLS : $EQR_{IBGN} = f(OSBV_{CLC} + OSCRamont_{THRS} + OSCRlocal_{THRS})$

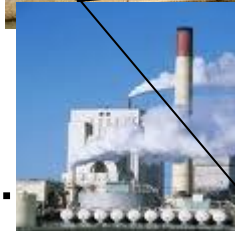
R² = 37.9 %

Coefficients de corrélations PLS

-0,30 -0,25 -0,20 -0,15 -0,10 -0,05 0,00 0,05 0,10 0,15

Effet négatif

Effet positif



Urbain discontinu

Zone ind. & comm.

Terres arables

Forêt et veg. en mut.

Prairies

Veg. milieu urb. – 300 m

Urbain discontinu – 300 m

Route Nat. – 150 m

Gels des terres – 5 m

Veg. Herb et/ou Arb. – 250 m

Prairies perm. – 20 m

Urbain discontinu – 100/1000 m

Veg. milieu urb. – 100/3000 m

Route Dep. – 250/400 m

Zone ind. & comm. – 200/3000 m

Route autres – 25/200 m

Route Nat. – 300/400 m

Gels des terres – 25/200 m

Cult. annuels – 200/2500 m

Labours – 100/2500 m

Forêt – 20/200 m

Plans d'eau 300/200 m

Prairies perm. – 200/3000

PLAN DE LA PRESENTATION

- Introduction
- Classification de l'OSCR
- Construction des ISCR
- Développement des modèles P/I
- **Conclusions & Perspectives**

Conclusions & Perspectives

❑ Conclusions

- ❑ Conception d'une procédure de classification opérationnelle pour cartographier l'OSCR sur de grands territoires à THRS
- ❑ Développement de méthodes automatiques de construction d'indicateurs spatialisés caractérisant les mécanismes d'impacts de l'occupation du sol et l'état des formations végétales rivulaires
- ❑ Mise en évidence de l'intérêt de la THRS pour caractériser ces espaces et améliorer la capacité descriptive des modèles P/E
- ❑ Mise en évidence de l'intérêt de la spatialisation multiple pour améliorer la capacité explicative des modèles
- ❑ Mise en évidence du rôle de la végétation arborée et des prairies permanentes sur une bande de 20 m de part et d'autre du cours d'eau

Conclusions & Perspectives

□ Perspectives

- **Intégrer** de **nouvelles données images** (couverture France été 2010 - GEOSUD) et de **nouvelles données externes** (BDTopo®)
- Contextualiser les indicateurs du corridor rivulaire de manière à traduire plus précisément les mécanismes d'impacts
- **Réitérer cette étude sur d'autres territoires, avec d'autres indicateurs biologiques** (apport de ces avancées méthodologiques, comparaison de la structure des modèles)
- **Intégrer** en plus des indicateurs d'OS issus de la THRS **les variables de pressions chimiques** (modèles de flux) et **hydromorphologiques** (Syrah)
- Prendre en compte **l'incertitude des variables, leur propagation dans les modèles**
- **Prise en compte de la structure spatiale des réseaux et des dépendances d'échelles**

Thèse soutenue le
6 Décembre 2010

Analyse régionale de l'impact de l'occupation du sol dans les
corridors rivulaires sur l'état écologique des cours d'eau

MERCI DE VOTRE
ATTENTION

Thierry TORMOS

Directeur de thèse : Pascal KOSUTH