



XIII  
INTERNATIONAL  
WINTER ROAD  
CONGRESS

QUÉBEC, FEBRUARY 8 TO 11, 2010



# SUSTAINABLE WINTER SERVICE FOR ROAD USERS

*Méthodologie pour l'analyse de l'impact  
des fondants routiers sur les  
hydrosystèmes continentaux*

Caroline Mauduit

CETE de Lyon / LRPC Clermont-Ferrand

Ingénieur Travaux Publics de l'Etat

[Caroline.mauduit@developpement-durable.gouv.fr](mailto:Caroline.mauduit@developpement-durable.gouv.fr)

Travail réalisé par Pierre-Olivier Lausecker en  
collaboration avec l'équipe ressource viabilité hivernale  
du CETE de l'Est



# SOMMAIRE

## I- Contexte et enjeux

## II- Problématique

## III- Méthodologie générale: le modèle « Pression-Etat-Impact »

## IV- Application de la méthodologie sur une zone test

## V- Conclusions et perspectives





# I. Contexte et enjeux

La France dispose d'un ensemble d'outils techniques, méthodologiques et réglementaires qui a permis de gérer jusqu'à ce jour le risque environnemental lié à l'usage des fondants routiers durant l'hiver sans l'avoir véritablement évalué.

## Normalisation

P 98-180, P 98-181

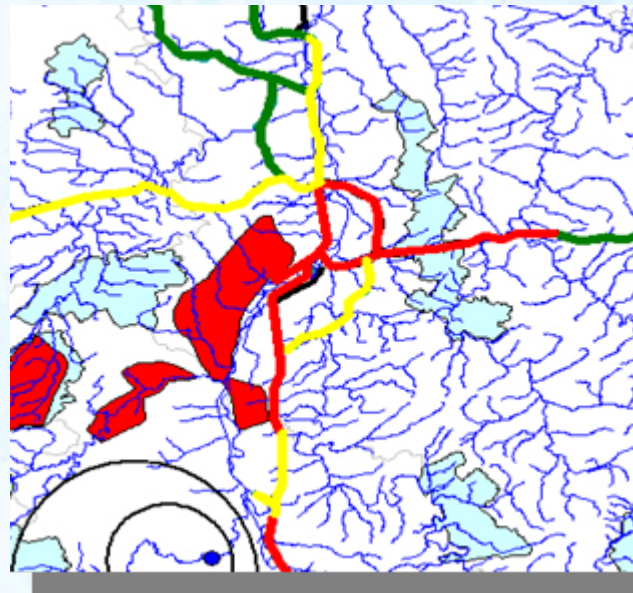
Progrès  
d'intégration des  
**prévisions  
météorologiques**

**Modélisation**  
de la salinité  
résiduelle

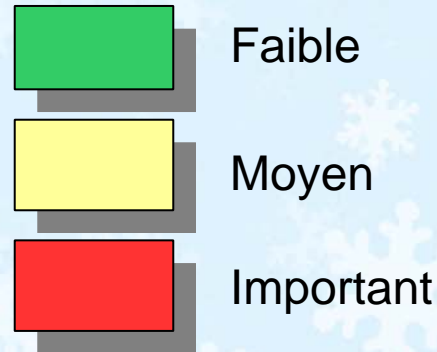
Amélioration des  
**consignes de  
traitement**



# I. Contexte et enjeux



## Niveau d'impact



**Peu ou pas de modification**  
ni biotope, ni biodiversité =  
fonctionnalité conservée



→ **Stratégie d'épandage non  
modifiée**

**Modification probable** du  
biotope ou de la biodiversité =  
modification à + ou – long  
terme de la fonctionnalité du  
milieu



→ **Adaptation de la stratégie  
d'épandage**

Exemple:

Liste A de recommandations

**Modification démontrée,**  
ou probabilité forte



→ **Modification profonde de la  
stratégie d'épandage**

Exemple:

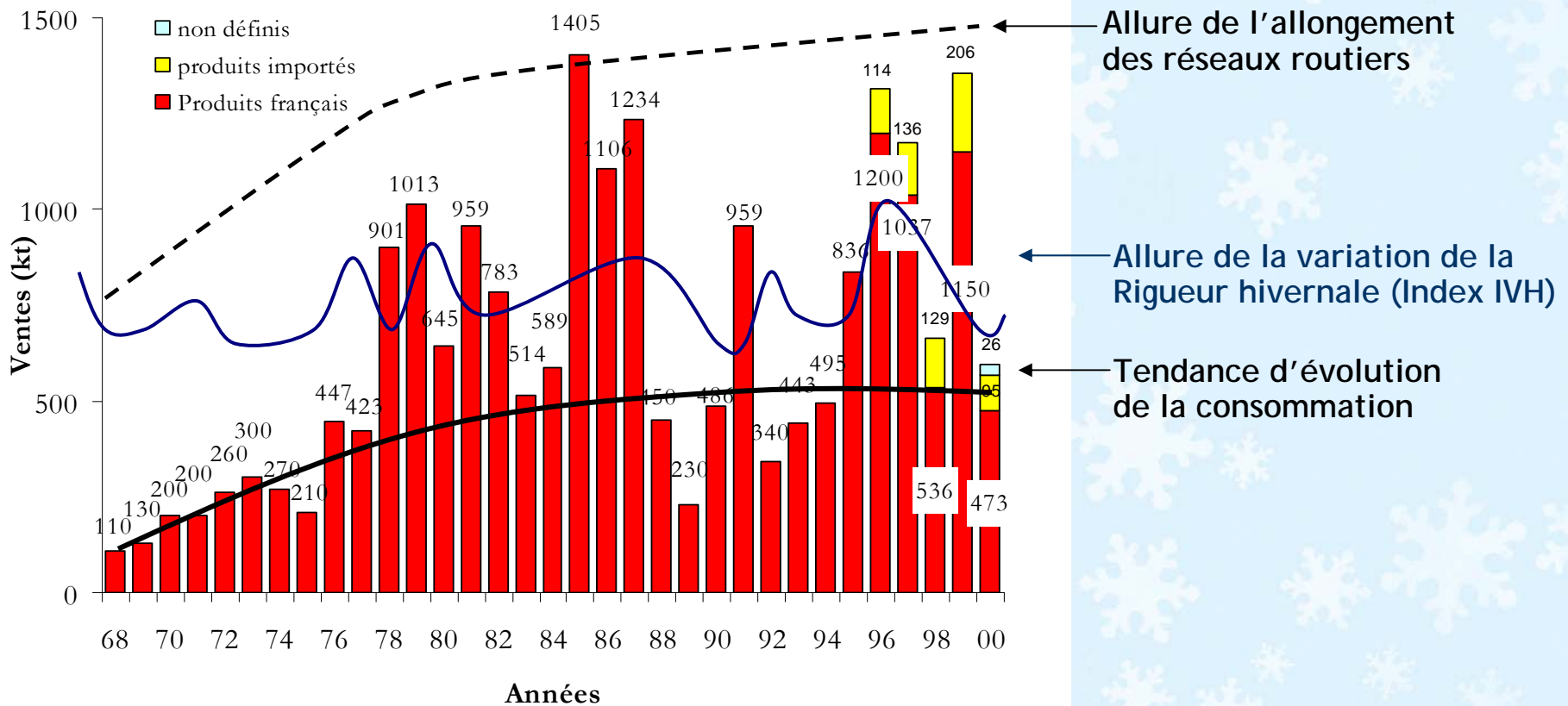
Liste B de recommandations

# I. Contexte et enjeux

Ce que l'on connaît ou que l'on peut estimer...

## Evolution de la consommation française en fondants routiers

milliers de tonnes



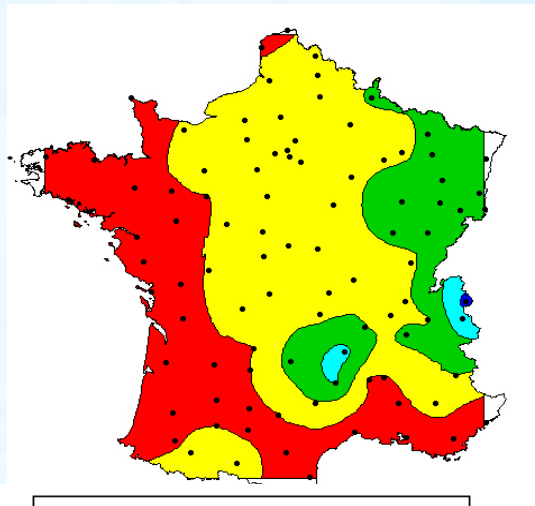
Source: Marchetti et Livet, 2005 ; Queyrel et Livet, 1998



# I. Contexte et enjeux

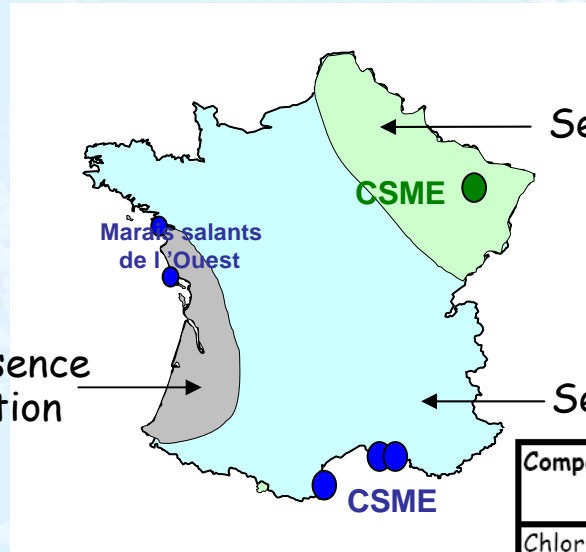
Ce que l'on connaît ou que l'on peut estimer...

Une variabilité d'exposition des milieux...



|   |  |
|---|--|
| ■ | IVH 1 : 5 à 15 : zone à hiver clément            |
| ■ | IVH 2 : 15 à 25 : zone à hiver peu rigoureux     |
| ■ | IVH 3 : 25 à 35 : zone à hiver assez rigoureux   |
| ■ | IVH 4 : 35 à 45 : zone à hiver rigoureux         |
| ■ | IVH 5 : >45 : zone à hiver extrêmement rigoureux |

Indice viabilité hivernale  
(CETE Est - Météo France)



Sels employés comme  
fondants routiers  
(Entreprise Rock)

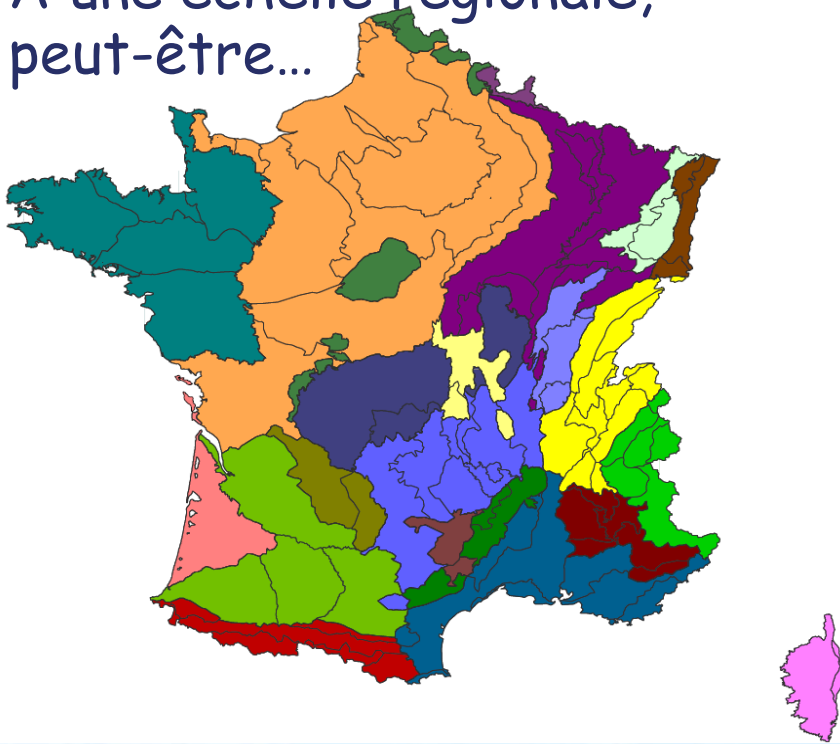
| Composition                | Sel Mer<br>% | S. Gemme<br>% |
|----------------------------|--------------|---------------|
| -                          |              |               |
| Chlorure                   | 58,50        | 56,40         |
| Sodium                     | 37,50        | 36,60         |
| Sulfates                   | 0,30         | 0,86          |
| Brome                      | 0,00         | 0,01          |
| Calcium                    | 0,06         | 0,36          |
| Magnésium                  | 0,04         | 0,02          |
| Potassium                  | 0,01         | 0,01          |
| Hexacyanoferrate de sodium | 0,01         | 0,01          |
| <b>Insolubles</b>          |              |               |
| Sables et argiles          | 0,90         |               |
| Silicates                  |              | 4,50          |
| Carbonates                 |              | 0,25          |
| Sulfates                   |              | 0,25          |

# I. Contexte et enjeux

## Ce que l'on connaît moins...

Cerner la variabilité de la sensibilité des hydrosystèmes...

A une échelle régionale,  
peut-être...



A une échelle locale  
et opérationnelle



Hydroécorégions niveau 1 et niveau 2  
(Wasson & al., 2002)

# SOMMAIRE

I- Contexte et enjeux

II- Problématique

III- Méthodologie générale: le modèle  
« Pression-Etat-Impact »

IV- Application de la méthodologie sur  
une zone test

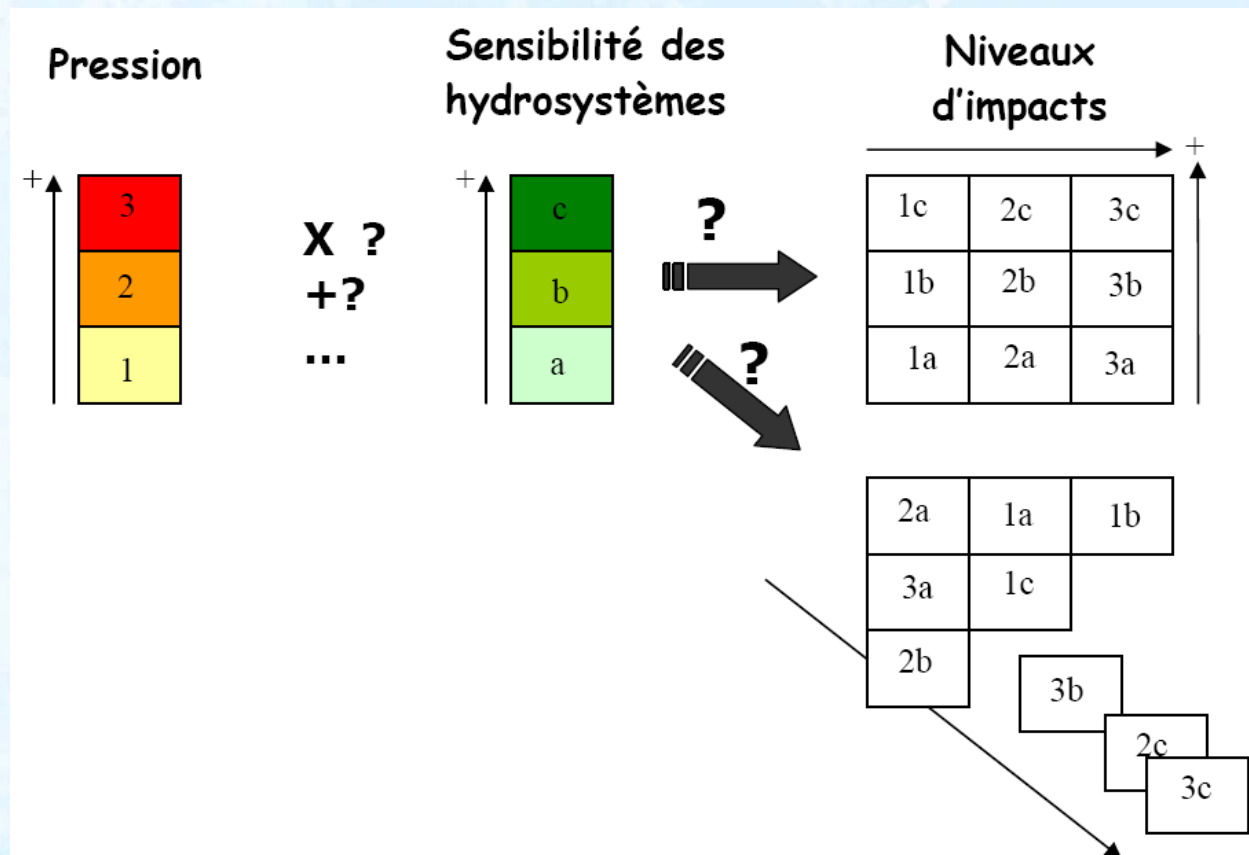
V- Conclusions et perspectives





## II-Problématique

Quelle méthodologie suivre pour évaluer et comprendre la variabilité des niveaux d'impact provoqués par l'épandage des fondants routiers sur les hydrosystèmes continentaux ?



Vers un modèle Pression-Etat-Impact...

# SOMMAIRE

I- Contexte et enjeux

II- Problématique

III- Méthodologie générale: le modèle  
« Pression-Etat-Impact »

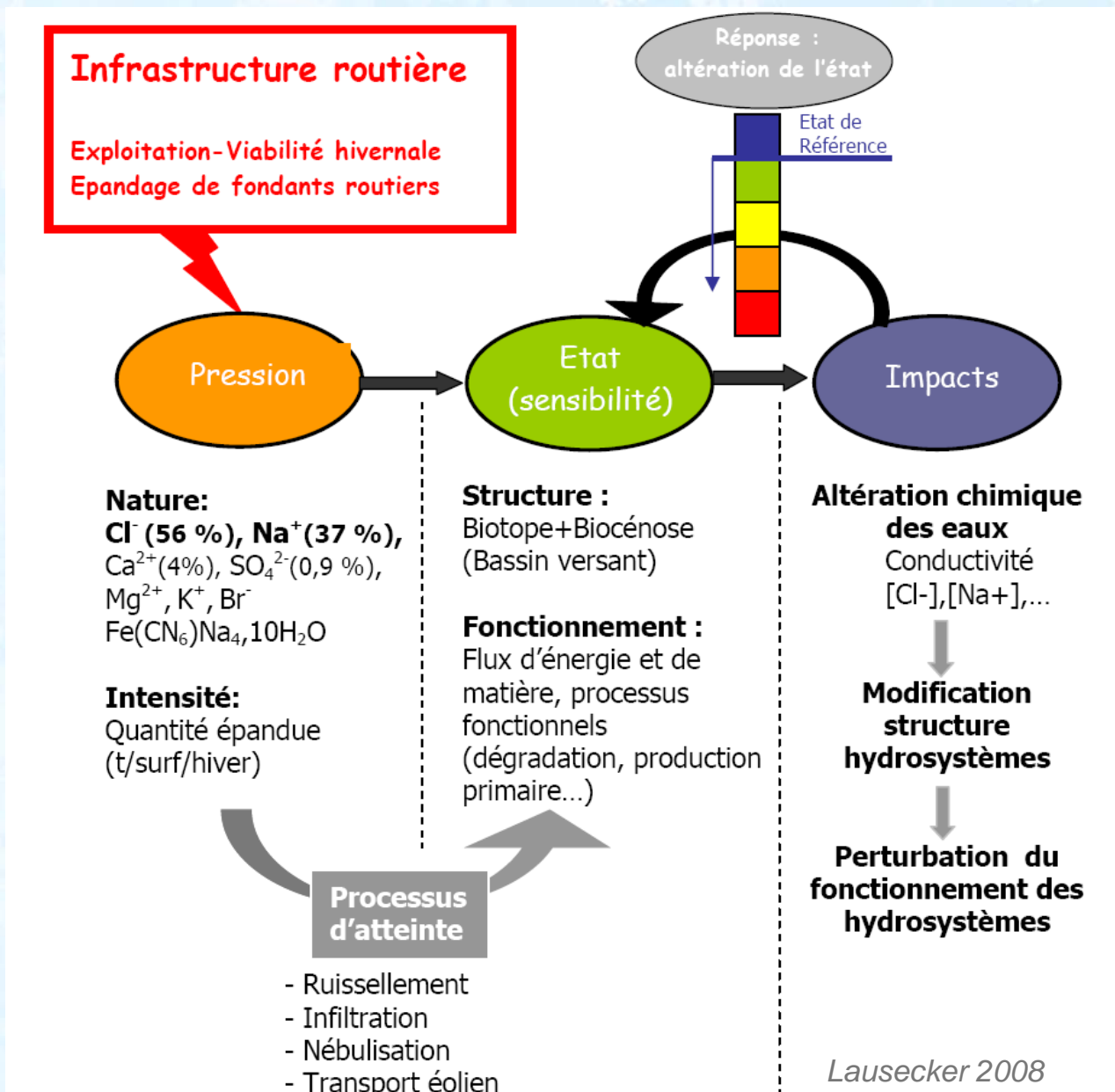
IV- Application de la méthodologie

V- Les résultats

VI- Conclusions et perspectives



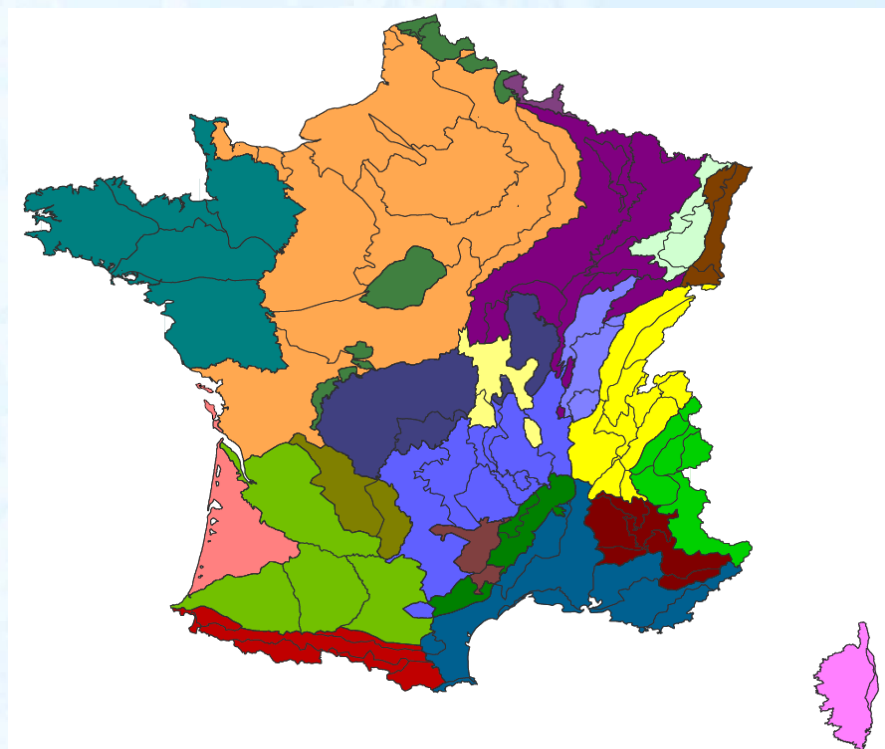
# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact





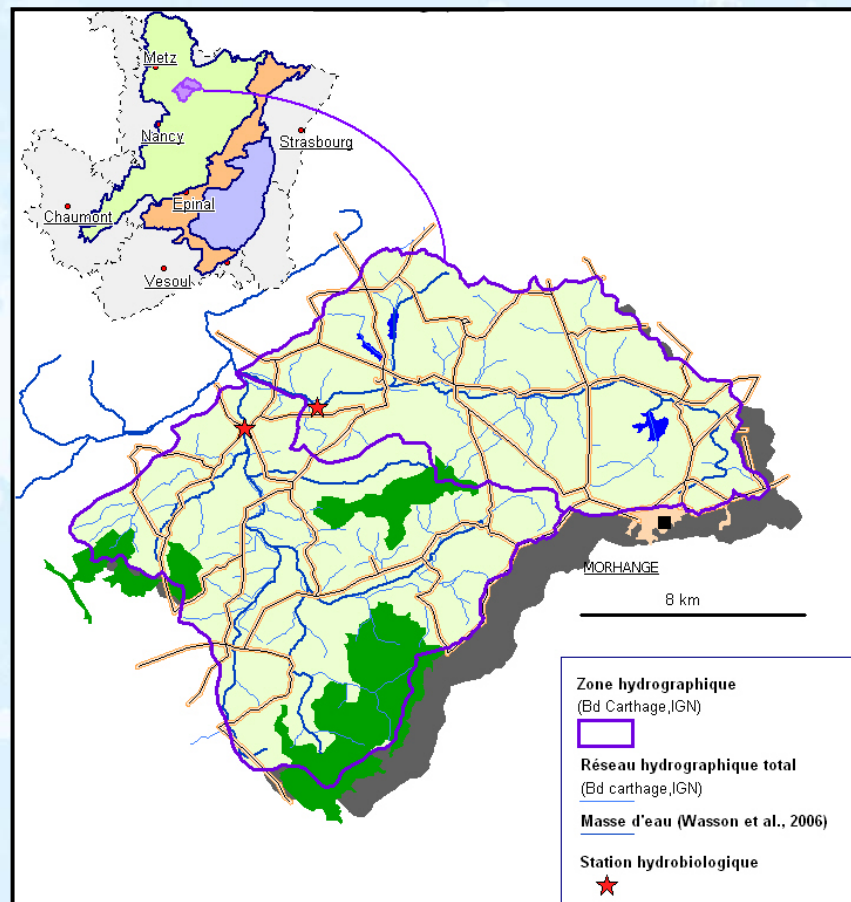
## Quelles échelles de travail ?

Une échelle régionale...



Hydroécorégions niveau 1 et niveau 2  
(Wasson & al., 2002)

Une échelle locale...



...pour une analyse précise de la relation « Pression-Etat-Impact »

# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact

## Quel indicateur d'impact (choix) ?

### Variables physico-chimiques

Indicateurs globaux de la chimie de l'eau

*Conductivité*

*Salinité*

Paramètres spécifiques de la composition des fondants

*Concentration Cl<sup>-</sup>*

*Concentration Na<sup>+</sup>*

*Concentrations Mg<sup>2+</sup>;*

*K<sup>+</sup>; Ca<sup>2+</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; Br<sup>-</sup>;*

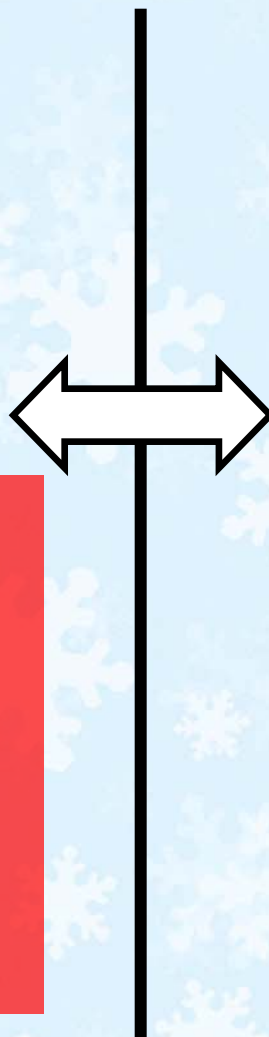
*Fe(CN<sub>6</sub>Na<sub>4</sub>, 10H<sub>2</sub>O)*

### Variables biologiques (bioindicateurs)

**Invertébrés** (IBGN, Analyse des traits biologiques et écologiques)

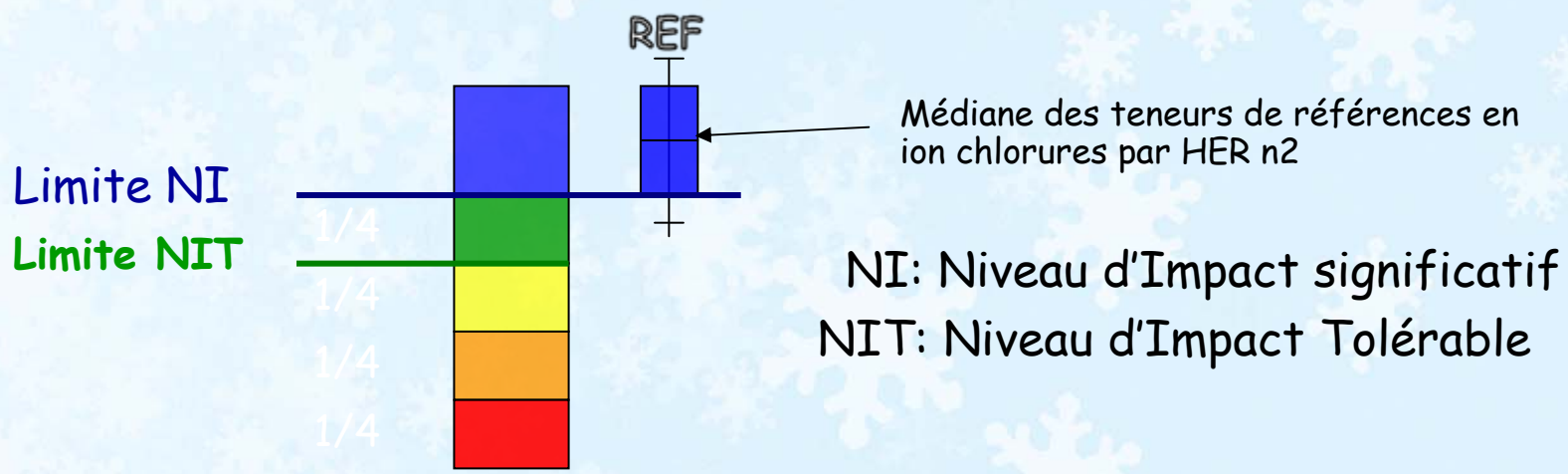
**Poisson** (IPR)

**Diatomée** (IBD)



# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact

## Quel indicateur d'impact ? (Expression)



$$NI = [Cl^-]_{\text{impact}} / [Cl^-]_{\text{ref}}$$

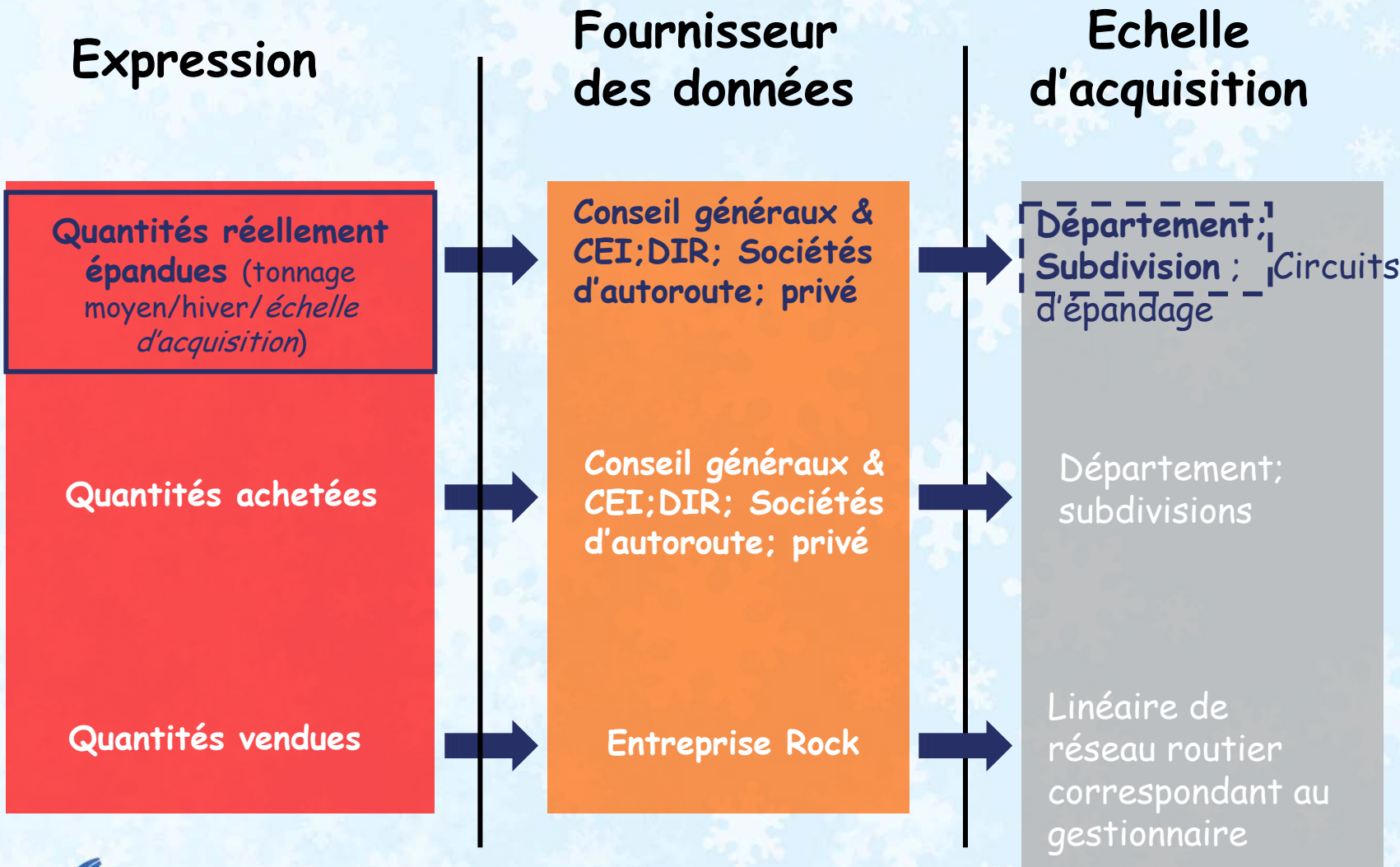
Données: AERM (réseau impacté), LIMOS, CNRS Nancy (Réseau référence)

Deux réseaux de stations : références et impactées



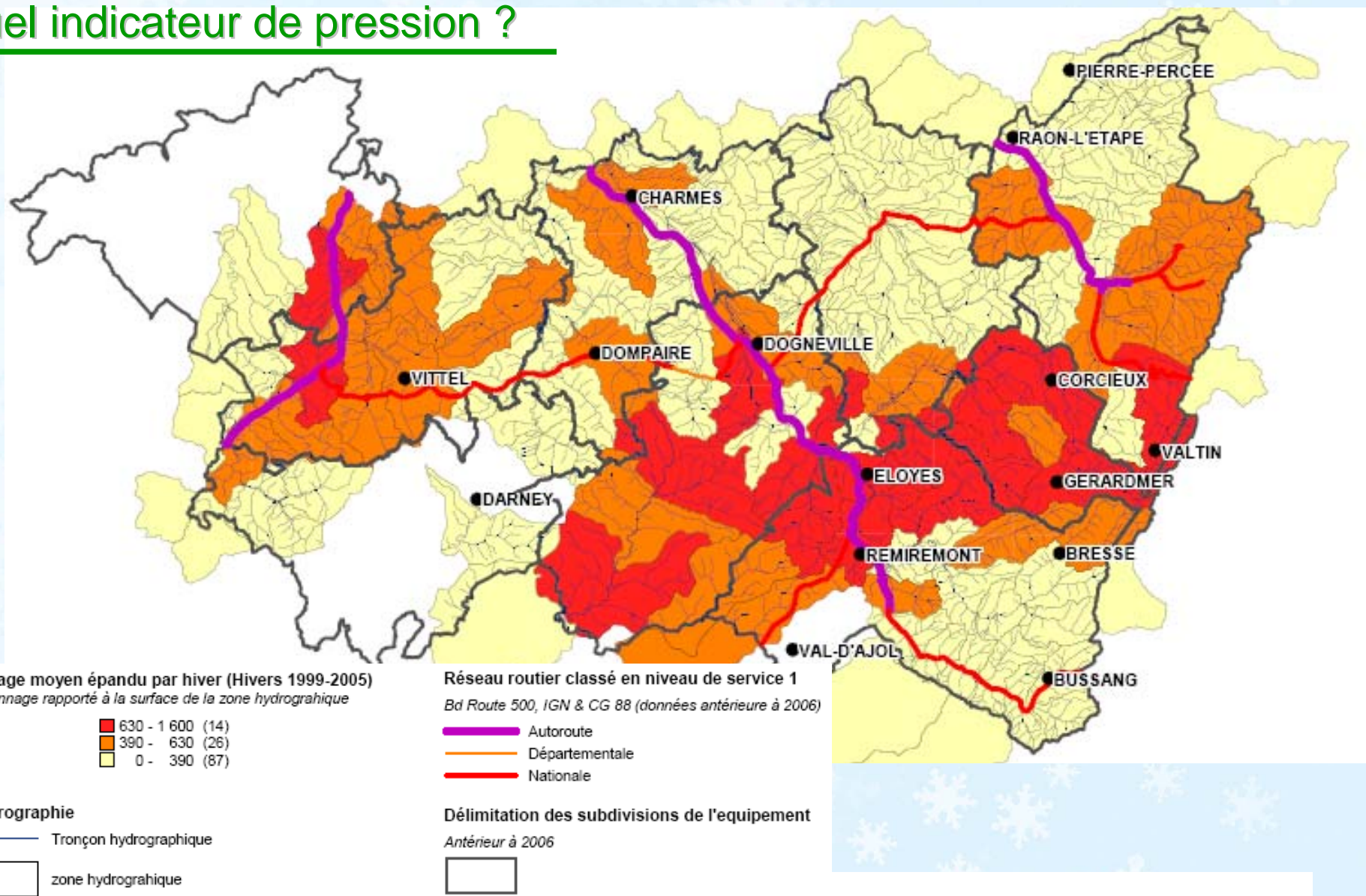
# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact

## Quel indicateur de pression ?



# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact

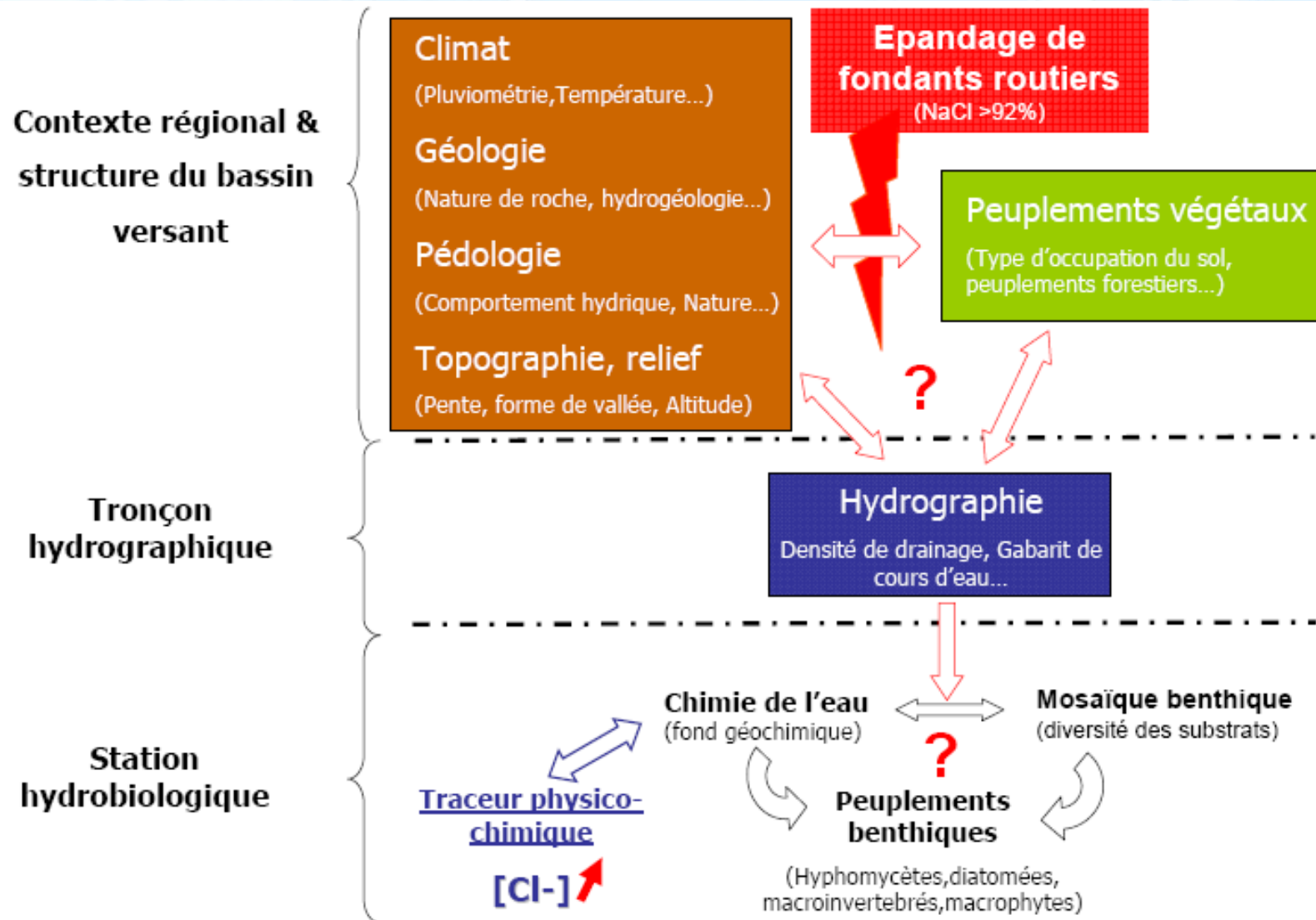
## Quel indicateur de pression ?



(Données CG88 (RN & RD), et APRR district Jarny (Ordre Grandeur Autoroutes))

# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact

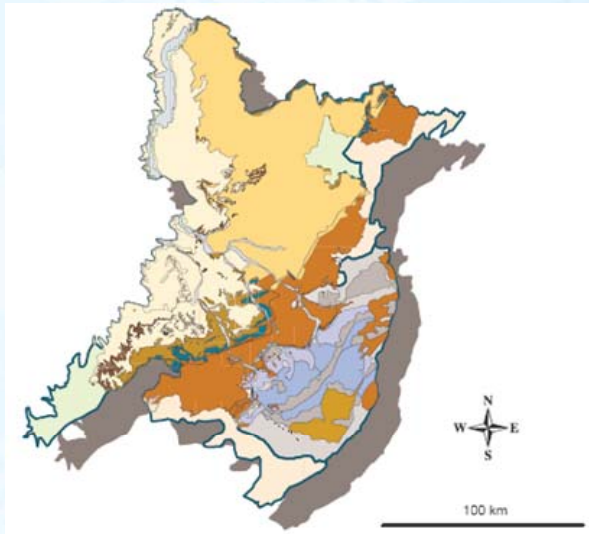
## Quelles variables pour la définition d'une typologie de sensibilité des milieux





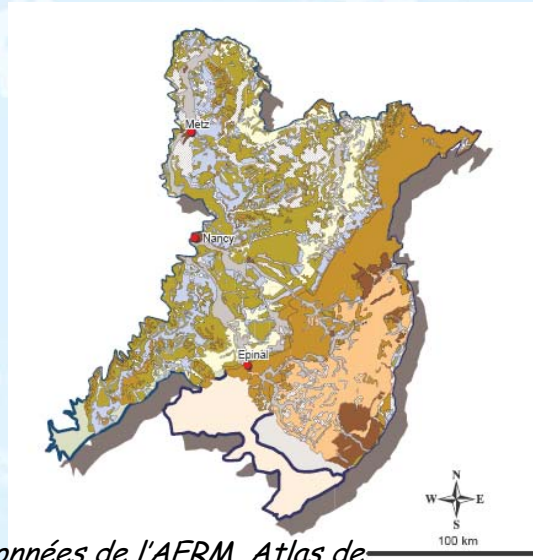
# III-Méthodologie générale : modèle Pression-Etat-Impact

## Géologie



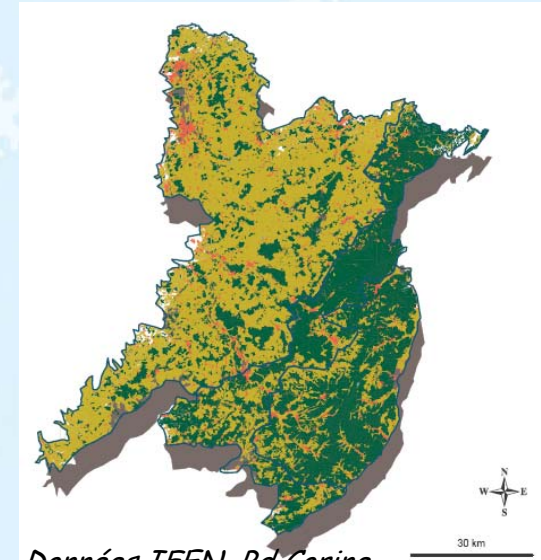
BRGM, modifiée par la CRAL

## Perméabilité



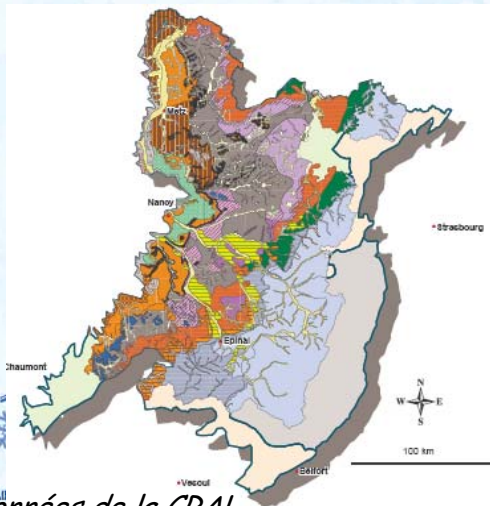
Données de l'AERM, Atlas de lithologie et de perméabilité

## Occupation du sol



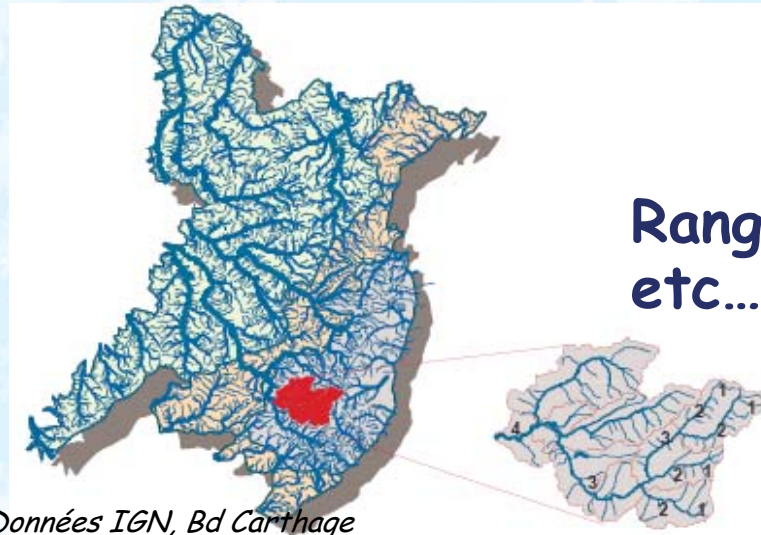
Données IFEN, Bd Corine Land Cover

## Pédologie



Données de la CRAL

## Densité de drainage



Rang de strahler etc...

Données IGN, Bd Carthage

# SOMMAIRE

I- Contexte et enjeux

II- Problématique

III- Méthodologie générale: le modèle  
« Pression-Etat-Impact »

IV- Application de la méthodologie sur  
une zone test

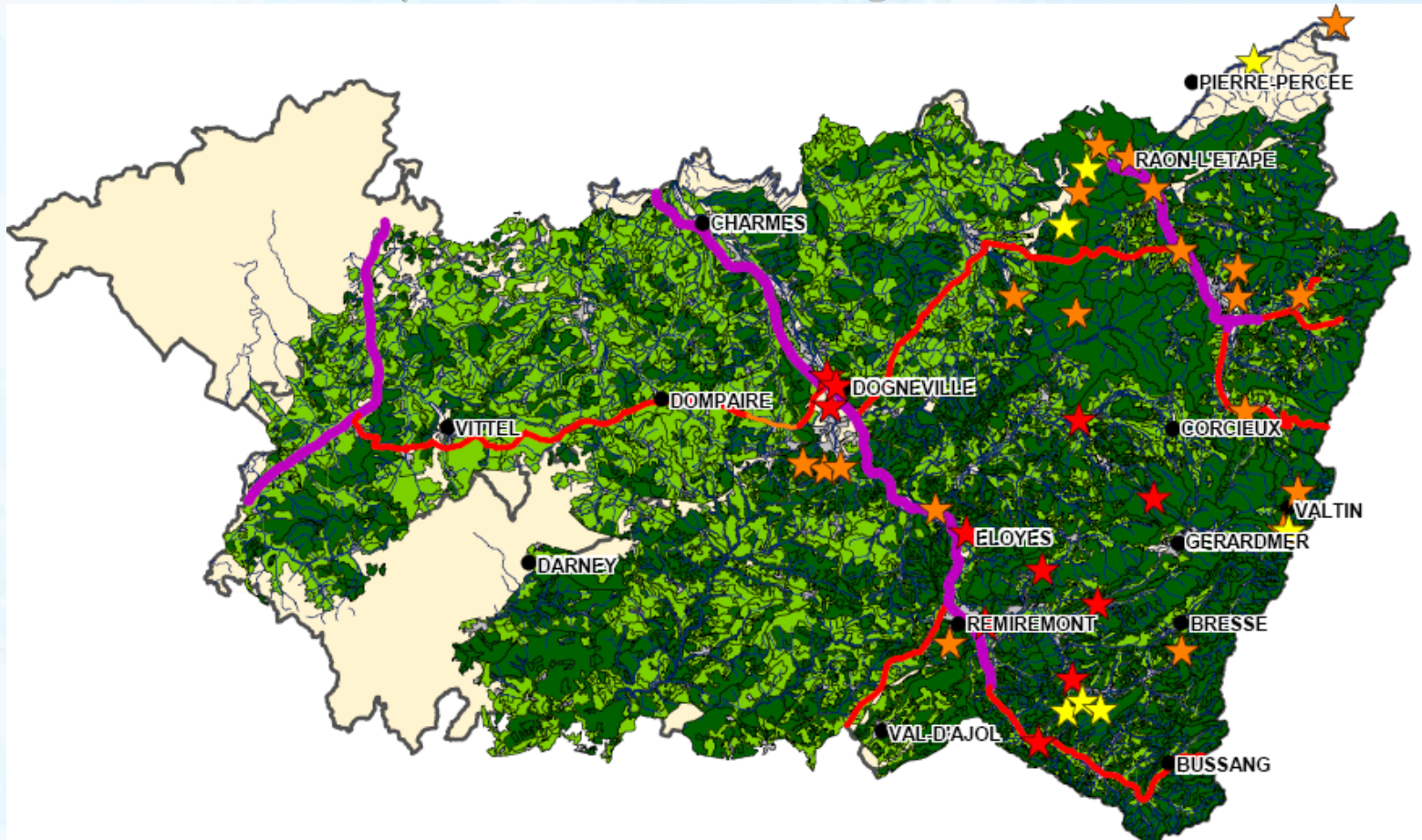
V- Conclusions et perspectives





# IV- Application de la méthodologie sur une zone test

## Zone test: le département des Vosges



### Types d'occupation du sol

|   |        |
|---|--------|
| 1 | (431)  |
| 2 | (2374) |
| 3 | (2416) |
| 4 | (5)    |

### Niveaux d'impact

Ecart à référence [CI-]

|   |           |      |
|---|-----------|------|
| ★ | 23 - 42   | (11) |
| ★ | 1,5 - 23  | (23) |
| ★ | 0,7 - 1,5 | (9)  |

### Réseau routier classé en niveau de service 1

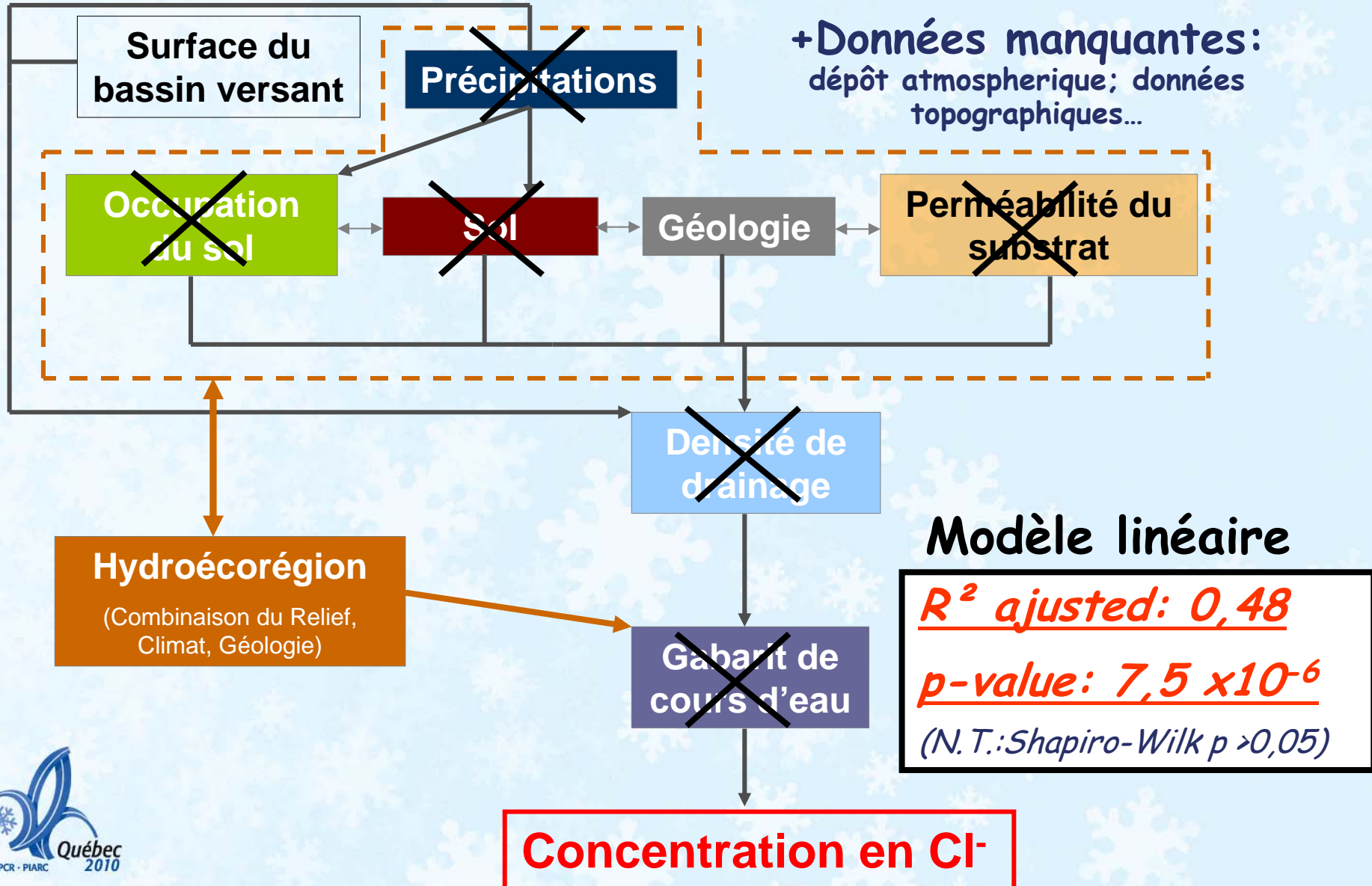
Bd Route 500, IGN & CG 88 (données antérieure à 2006)

|   |                |
|---|----------------|
| — | Autoroute      |
| — | Départementale |
| — | Nationale      |



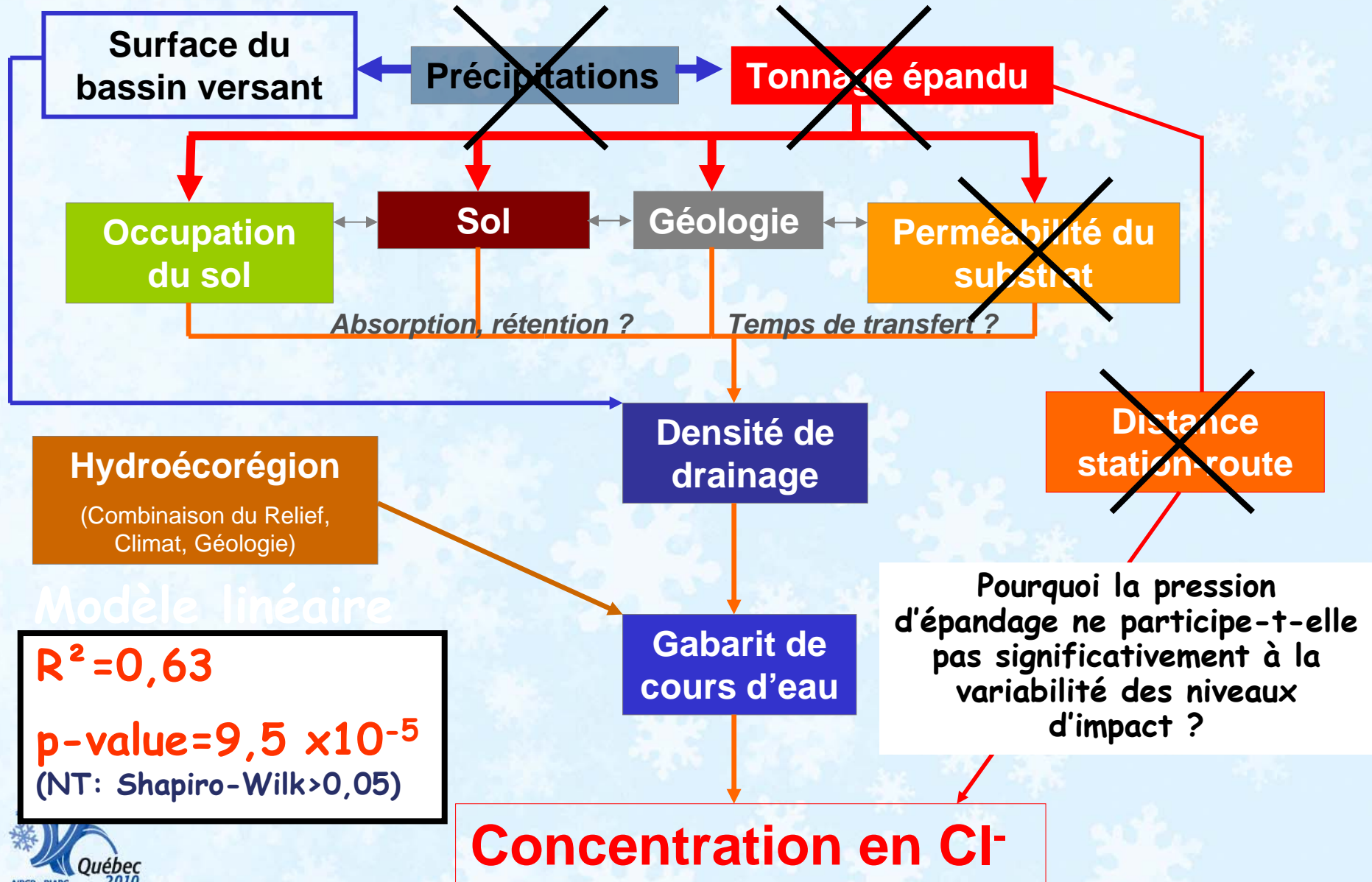
# IV- Application de la méthodologie sur une zone test

## Modèle explicatif du fond géochimique (référence)



# IV- Application de la méthodologie sur une zone test

## Modèle explicatif de la variabilité des niveaux d'impact



# SOMMAIRE

I- Contexte et enjeux

II- Problématique

III- Méthodologie générale: le modèle  
« Pression-Etat-Impact »

IV- Application de la méthodologie sur  
une zone test

V- Conclusions et perspectives





### Les améliorations à fournir

#### -Plate forme de données

Pente, découpage des zones amont des stations de mesure, détail des peuplements forestiers, indicateur de pression à affiner...

#### -Test à étendre à une zone d'étude plus large

#### -Exploitation statistique à approfondir

Analyse des Correspondances Multiples, Classification Ascendante Hiérarchique, Modèle de régression...

#### - Prise en compte du volet hydrobiologique (Travaux Arce et al.) : projet de thèse en cours de montage