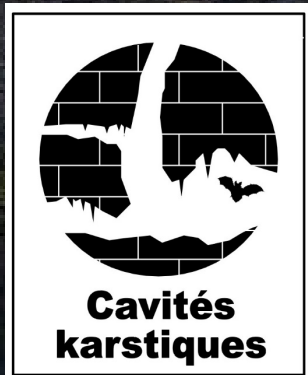


# Qualification de l'aléa, cartographie et mise en œuvre

**G. NOURY (BRGM)**



Séminaire national Risque karstique – Orléans – 04 et 05 avril 2024

# SOMMAIRE

1- Evaluation  
(multicritère/statistique)  
de la prédisposition

2- Evaluation  
(statistique) de  
l'intensité

3- Evaluation (finale) de  
l'aléa

4- Quelques coûts  
d'étude & Perspectives

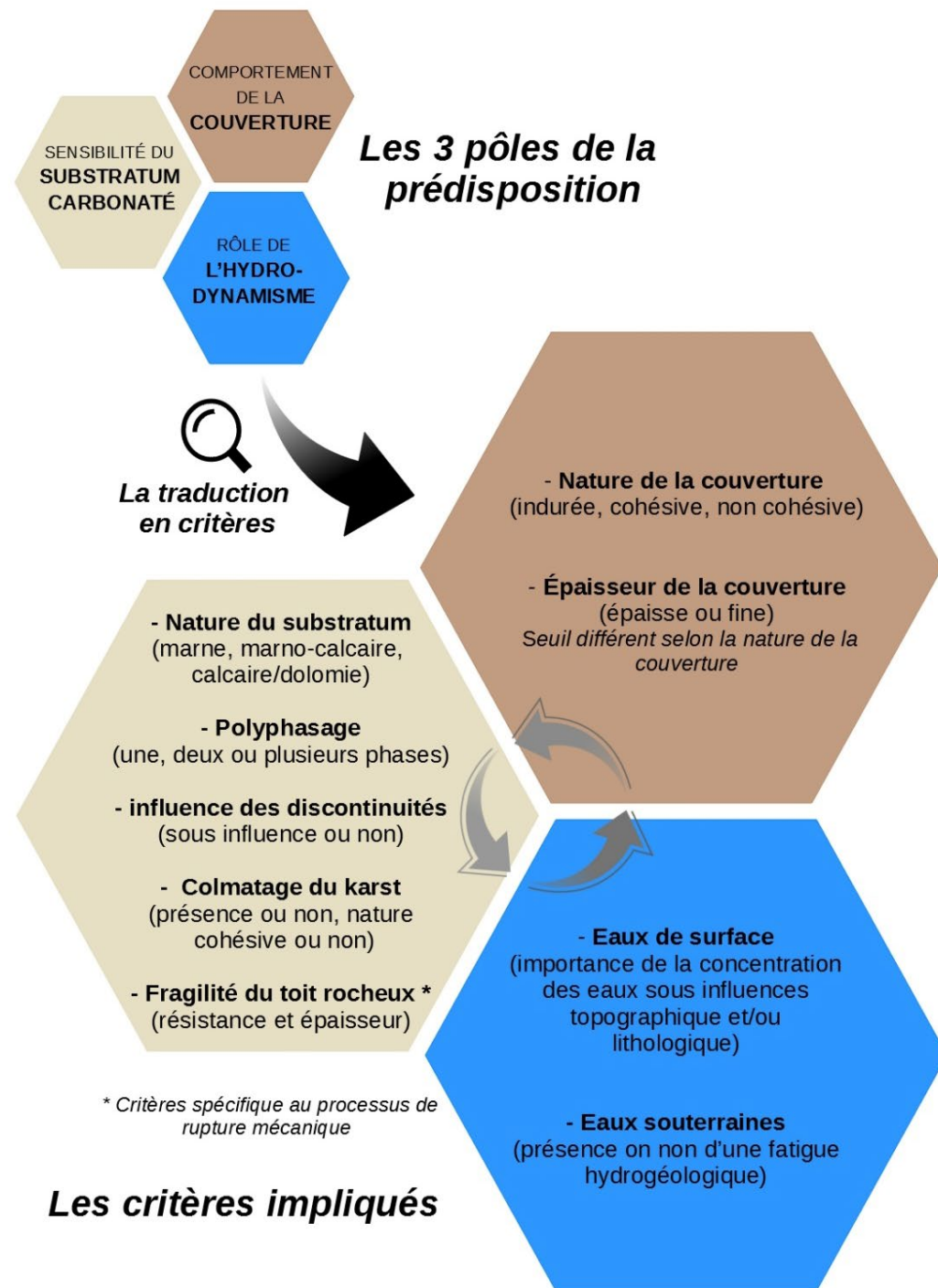


# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

## Les critères à considérer

Passage en revue des critères influençant les processus pouvant aboutir à un mouvement de terrain en surface :

- **10** critères
- Regroupés en **3** « pôles »
- La plupart sont communs aux 4 processus, mais pas tous (ex. du colmatage à suivre)

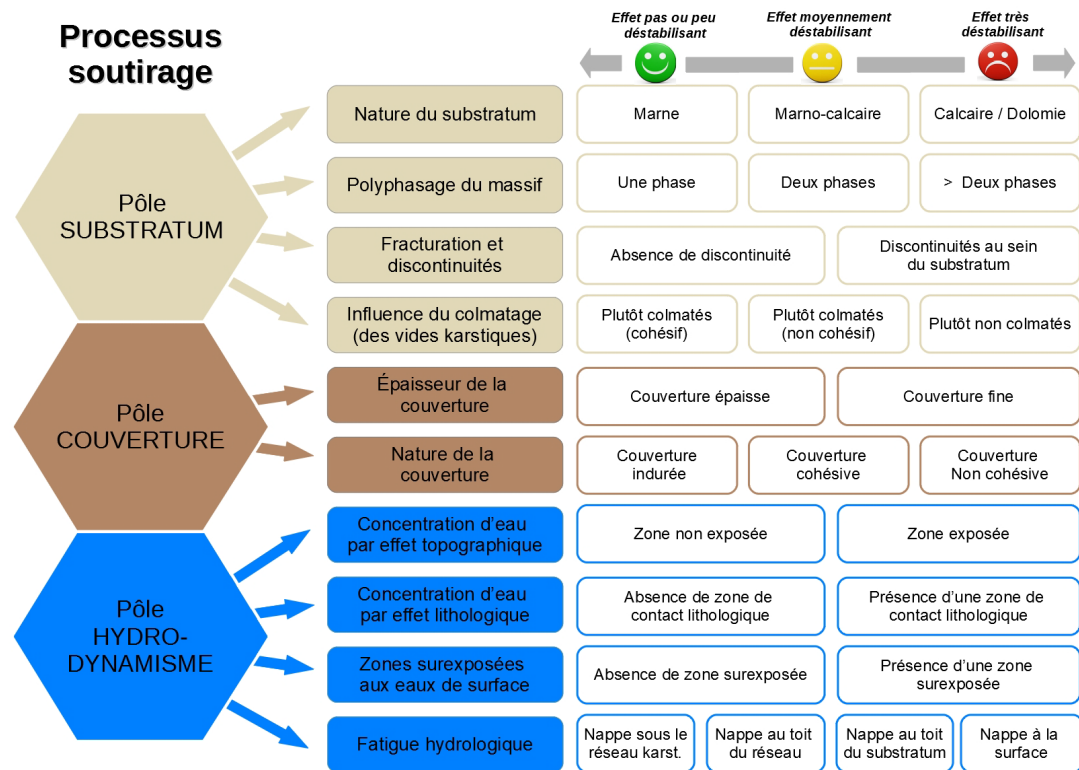


# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

## Les critères à considérer

Passage en revue des critères influençant les processus pouvant aboutir à un mouvement de terrain en surface :

- 10 critères
- Regroupés en 3 « pôles »
- La plupart sont communs aux 4 processus, mais pas tous (ex. du colmatage à suivre)
- Un critère peut stabiliser ou déstabiliser le milieu. On peut **graduer** cet effet en considérant différentes possibilités : de 2 à 4 possibilités suivant les critères.
- Certains critères peuvent être « non évaluables », en raison de trop fortes incertitudes sur la connaissance du secteur. Ces incertitudes sont à lister car elles pourront éventuellement être diminuées ultérieurement. Dans ce cas, le traitement des autres critères permet tout de même de traiter le sujet.

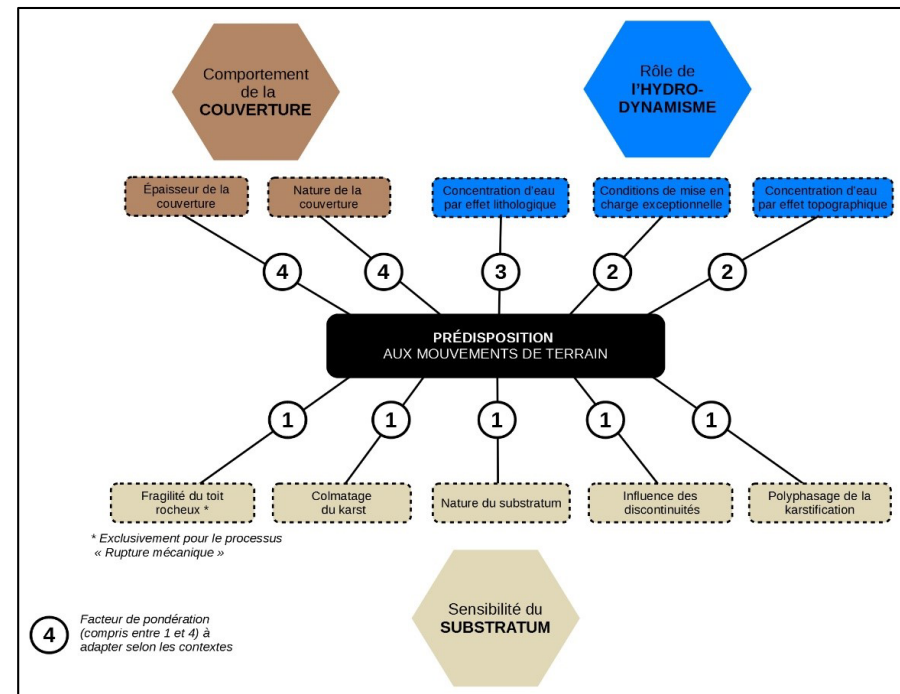
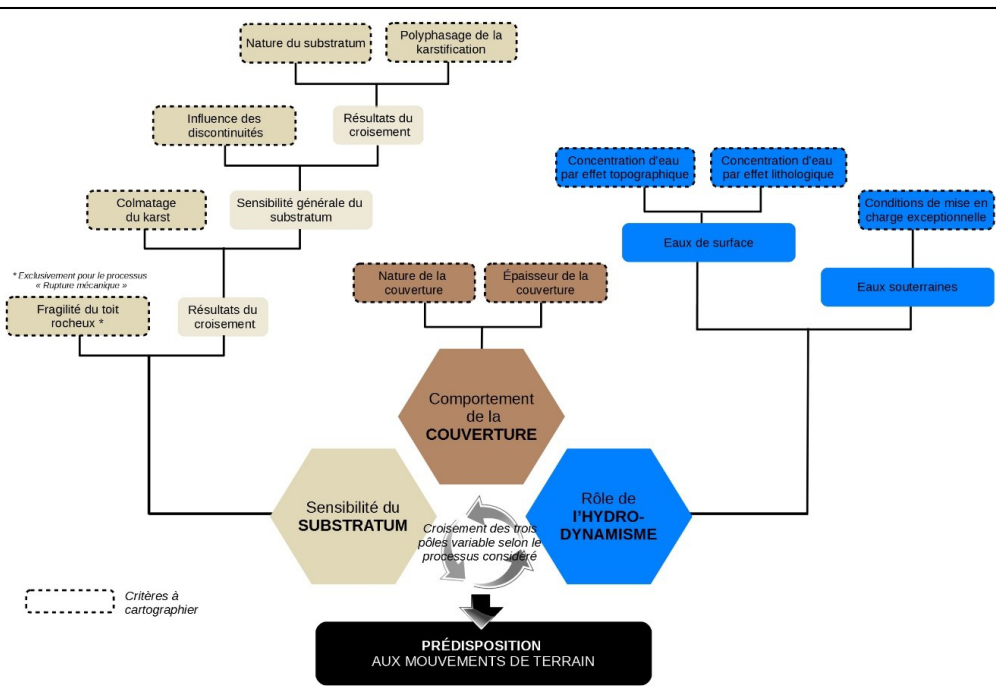


# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

## L'assemblage des critères

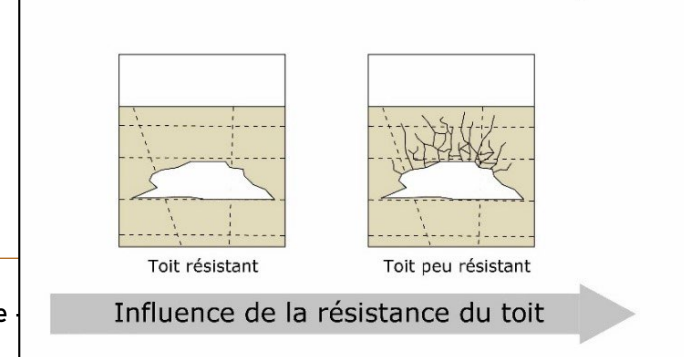
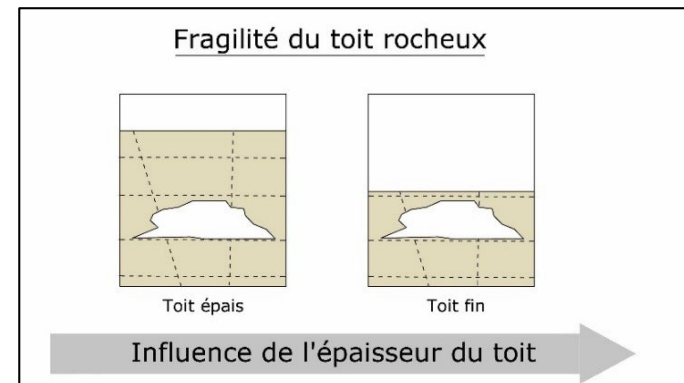
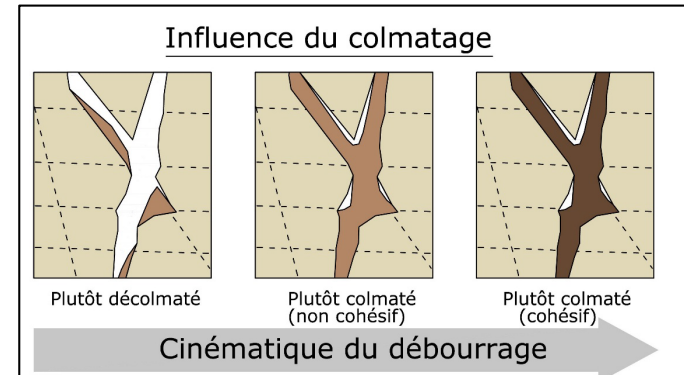
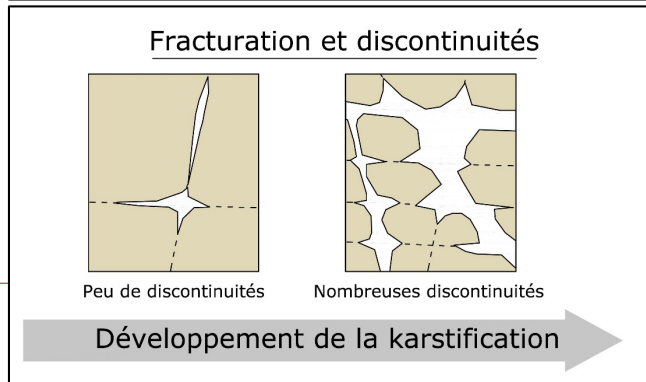
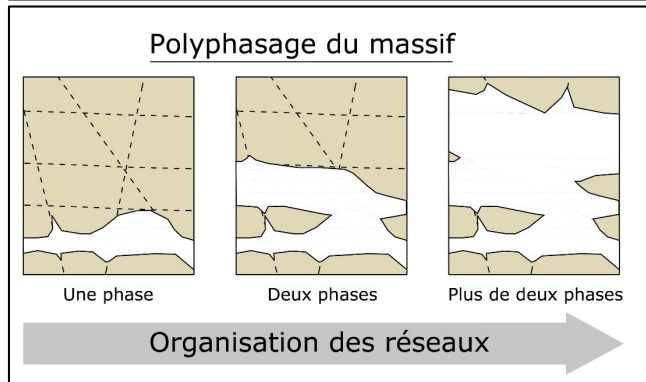
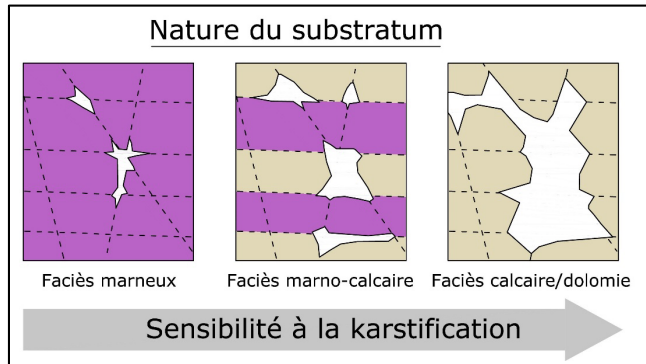
Deux « croisements » possibles (au choix de l'expert) :

- Par matrice (paraît plus « facile »)
- Par pondération (paraît plus « rigoureux »)



# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

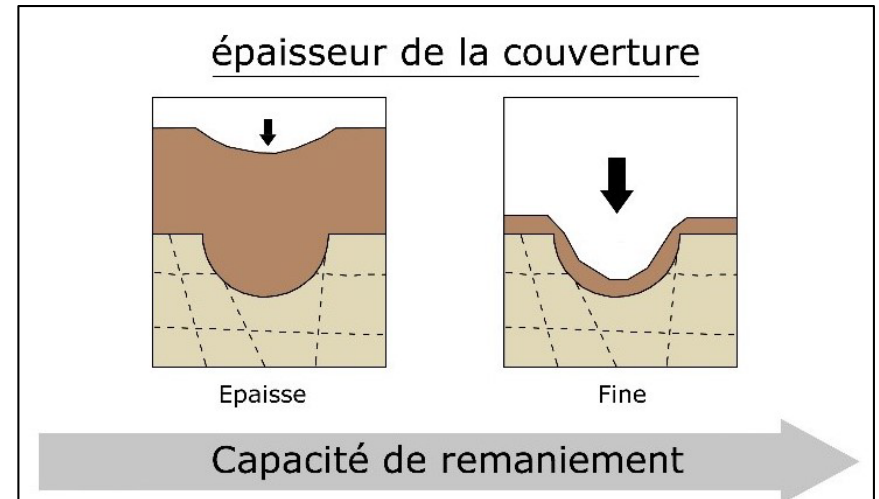
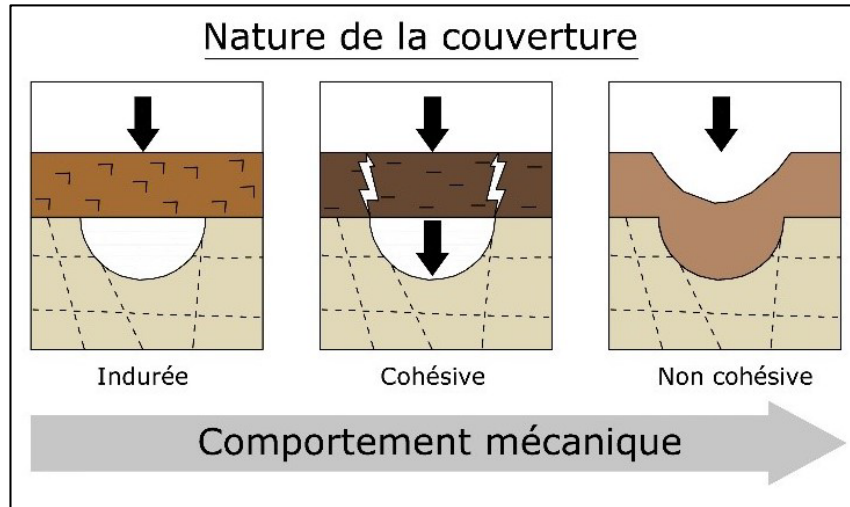
## Détail sur les critères - Pôle Substratum



nal - Risque karstique

# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

## Détail sur les critères - Pôle Couverture

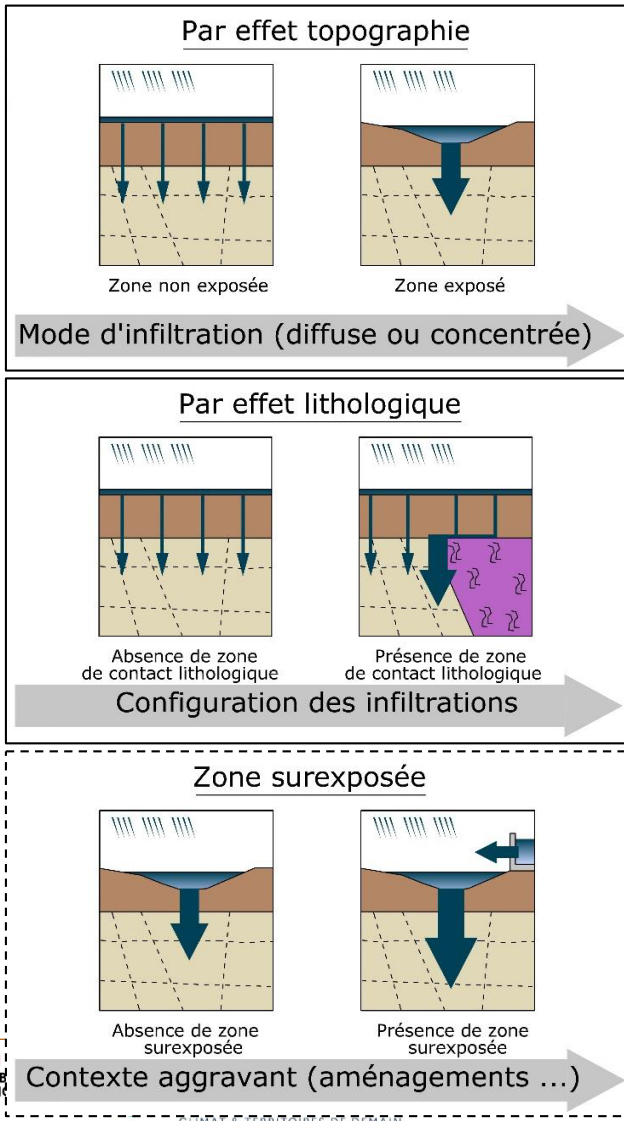


*Exemple de quantification, étude sur le val d'Orléans (Perrin et al., 2014) :*

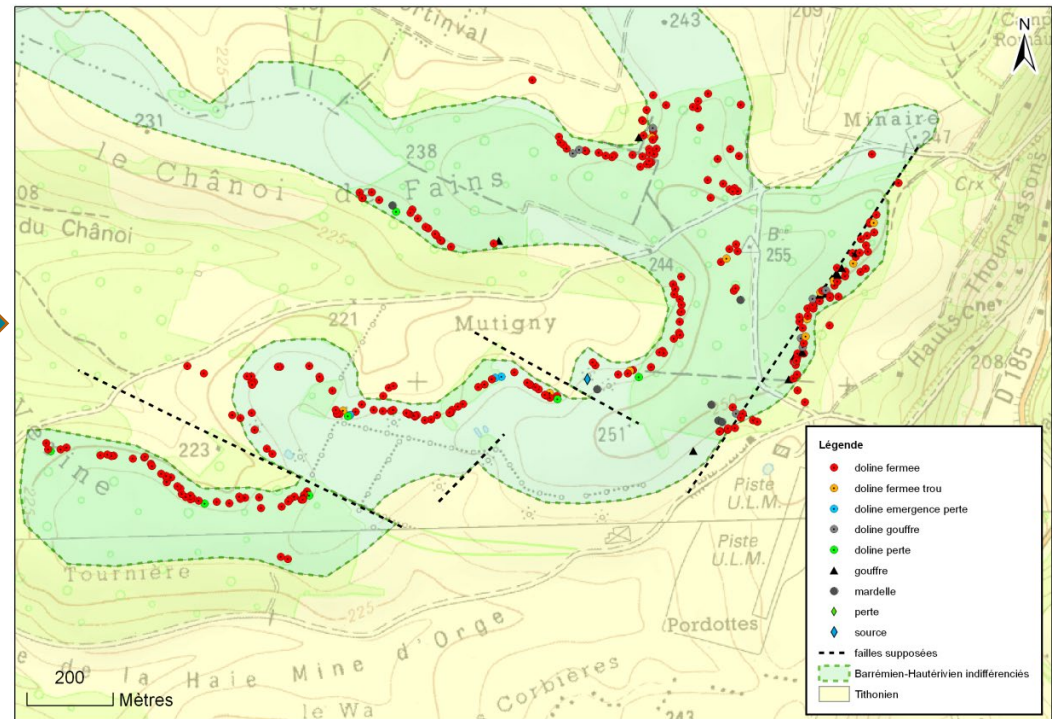
*Si Epaisseur couverture argileuse > 8 m, presque plus de désordres.*

# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

## Détail sur les critères - Pôle Hydrodynamisme



Exemple de karst de contact : karst du Perthois (Perrin et al., 2013 et Le Goff et. al, à venir) : Bois de Vau-Vauthier (55)

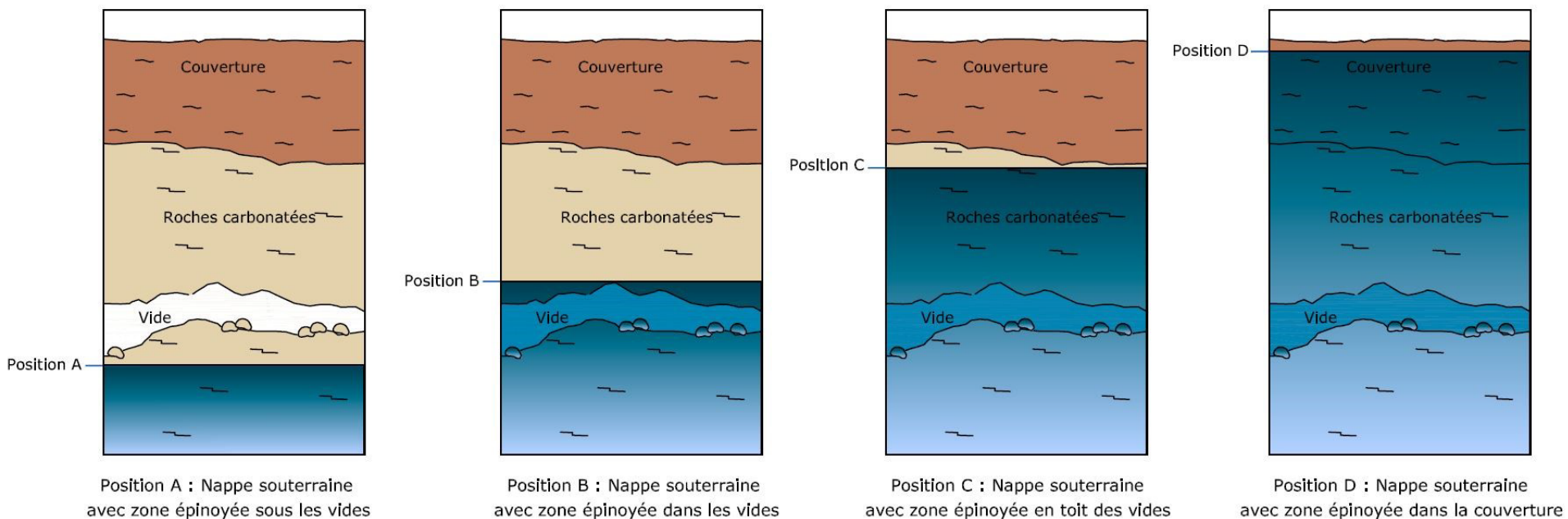




# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE) DE LA PRÉDISPOSITION

## Détail sur les critères - Pôle Hydrodynamisme

Positions de la nappe souterraine :



→ Pour plus de détail :  
voir guide pages 63 et 64 !

# 1- EVALUATION (MULTICRITÈRE STATISTIQUE) DE LA PRÉDISPOSITION

## Fréquence théorique d'apparition

Calcul « simple »...

... mais nécessitant une population représentative (attention aux lacunes d'observation)

... et pouvant se faire sur une « zone homogène »

→ Pour plus de détail : voir guide page 97 !



### 8.2.3. Fréquence d'apparition théorique

Peu utilisée, l'approche quantitative est une méthode d'exploitation des fréquences expérimentales basée sur une série statistique des événements passés. Elle s'apparente à la méthode utilisée pour les calculs de périodes de retour des crues, associée au fonctionnement du karst par le rôle significatif de la mise en place de gradients hydrauliques et d'interactions hydrodynamiques entre la surface et le karst (facteurs participant activement aux processus de suffosion/soutirage et débouillage).

Le recensement des événements (notamment par enquête de terrain et recherche de la date d'apparition du phénomène) permet de calculer la probabilité d'apparition d'un événement sur une **zone homogène** (contexte d'exposition identique).

Ce calcul est le suivant :

- pour une surface homogène de superficie  $S_1$ , avec  $e_{(d)}$  = nombre d'événements apparus dans les  $d$  dernières années, la fréquence d'apparition annuelle d'un tel phénomène vaut :

$$F(S_1) = \frac{e_{(d)}}{d} \text{ soit 1 événement tous les } \frac{1}{F(S_1)} \text{ ans dans la zone de superficie } S_1.$$

Pour déterminer  $F$  sur un secteur homogène de superficie  $S_2$  (incluse dans  $S_1$ ), on prend :

$$\frac{S_1}{S_2} = a \text{ et } F(S_2) = \frac{F(S_1)}{a}$$

Exemple d'application

Sur une surface de 10 000 m<sup>2</sup>, 13 fontis sont apparus dans les 20 dernières années, soit :  
 $S_1 = 10\,000 \text{ m}^2$

$$e_{(20)} = 13$$

$$d = 20 \text{ ans}$$

$$\text{Fréquence d'apparition annuelle d'un fontis } F(10\,000 \text{ m}^2) = \frac{13}{20} = 0,65$$

soit 1 événement tous les  $\frac{1}{0,65} = 1 \text{ à } 2$  ans

Sur une parcelle de 500 m<sup>2</sup> ( $S_2$ ), la fréquence d'apparition annuelle d'un fontis vaut :

$$F(500 \text{ m}^2) = 0,65 \times \frac{S_1}{S_2} = 0,0325$$

soit 1 événement tous les 30 à 31 ans.

(Ces résultats doivent être cohérents avec les analyses du site).

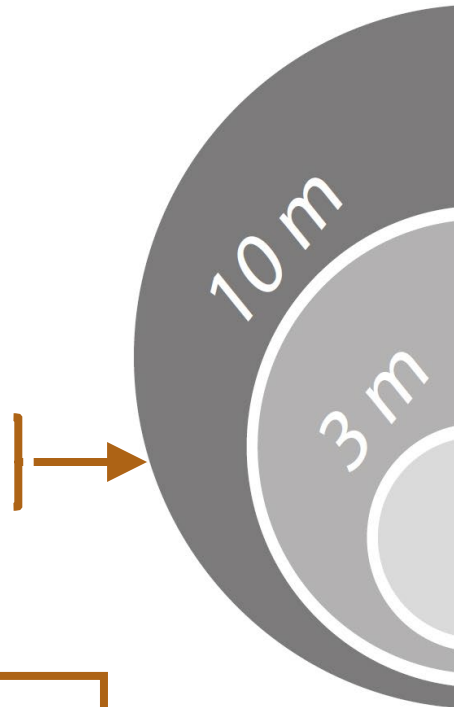
Cette approche statistique est sujette à caution car elle est particulièrement sensible aux données historiques disponibles et à leurs représentativités. Il est très difficile d'extrapoler ce résultat à un secteur spécifique de la zone d'étude. Cette analyse doit considérer au mieux l'ensemble des paramètres de la zone homogène, parfois complexe à définir (hétérogénéité du milieu naturel et complexité des mécanismes, caractère partiel des informations disponibles, zone d'extension possible du réseau karstique), ce qui rend difficile l'interprétation du calcul statistique.

## 2- EVALUATION (STATISTIQUE) DE L'INTENSITÉ

### Classifications de l'intensité (rappels)

- Souvent le diamètre
- Plusieurs possibles car ... cf. *définition de l'intensité !*
- La plus courante = guide PPRN Cav sout. abandonnées
- Mais pas que ! Par exemple :
  - SNCF,
  - Autoroutes

→ A adapter selon l'enjeu / les enjeux étudié/s



<b>Elevée</b>	Cratère important avec parois abruptes et risque d'engloutissement du bâti ou ruine complète et immédiate d'une ou plusieurs constructions  Exemple dans le Loiret (ø 18 m) – DDT45
<b>Moderée</b>	Cratère plus ou moins profond et suffisamment large pour endommager voire ruiner une construction récente en béton, même sur radier  Exemple dans le Loiret (ø 9 m) – BRGM
<b>Limitée</b>	Dépression de profondeur centimétrique ou trou éventuellement profond mais suffisamment étroit pour ne pas affecter immédiatement une fondation classique de bâtiment.  Exemple en Charente (ø 1,5 m) – Cerema

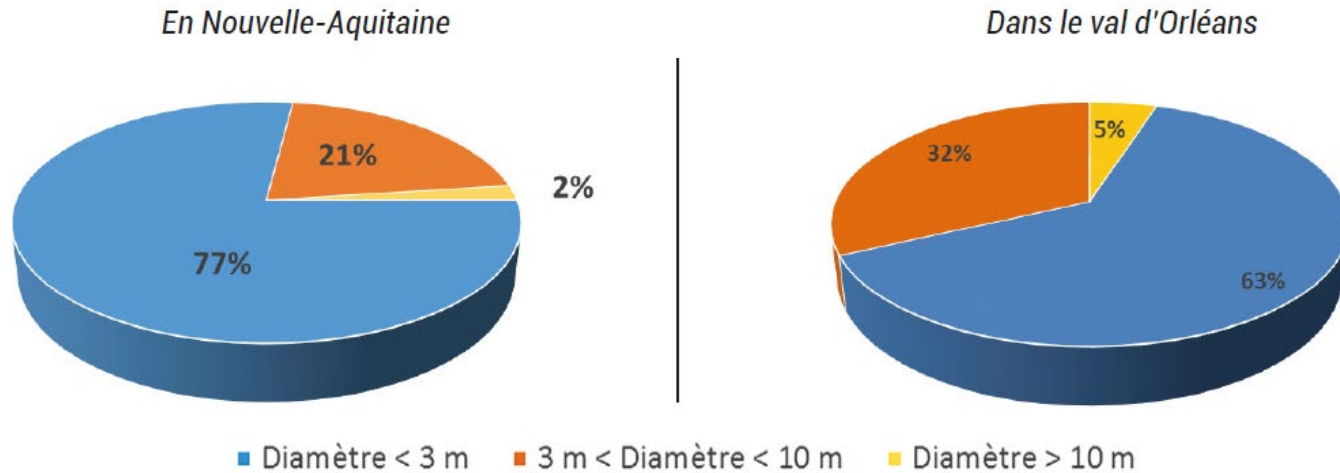


« [...] dans le contexte spécifique des infrastructures autoroutières, l'intensité de l'aléa peut être considérée comme **élevée**, pour toute typologie d'événement lié aux cavités souterraines se situant à l'aplomb ou à proximité des zones circulées. »

Guide « cavités et infrastructures autoroutières », Cerema 2016

## 2- EVALUATION (STATISTIQUE) DE L'INTENSITÉ

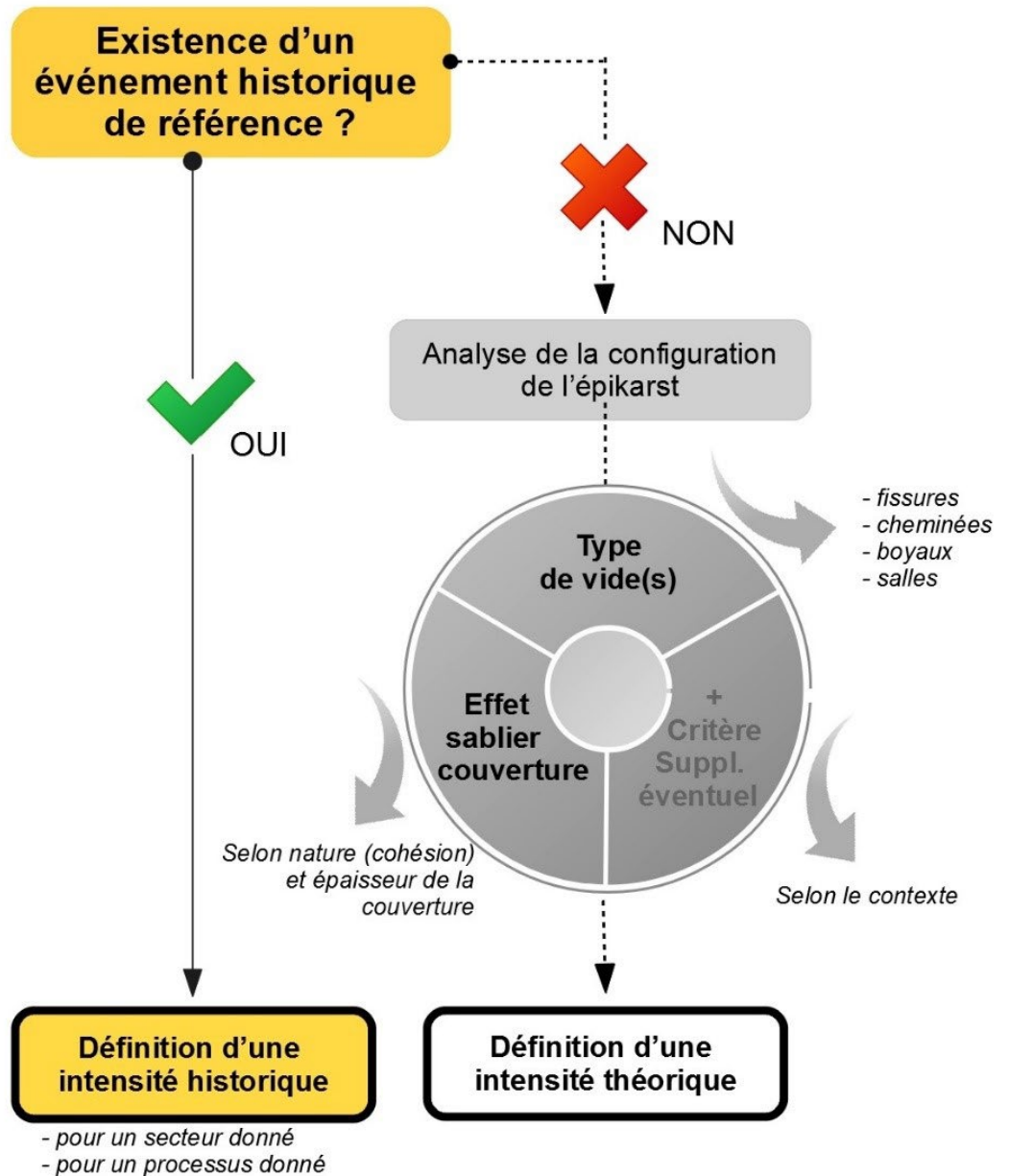
### Quelques notions de taille...



Les grands effondrements sont (heureusement) rares... en tout cas plus rares a priori que ceux qu'on peut attendre dans le cas de carrières souterraines, dans le cas d'effondrement généralisé

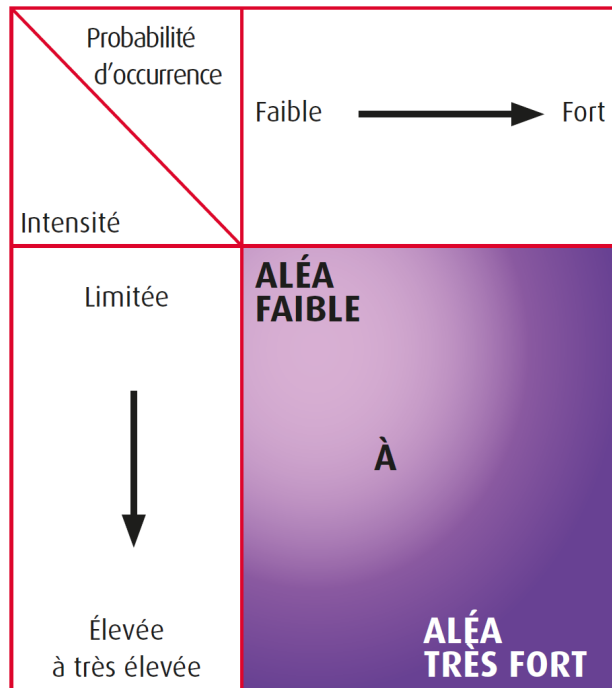
## 2- EVALUATION (STATISTIQUE) DE L'INTENSITÉ

Comment l'évaluer ?



# 3- EVALUATION (FINALE) DE L'ALÉA

## Croisement Préd disposition X Intensité



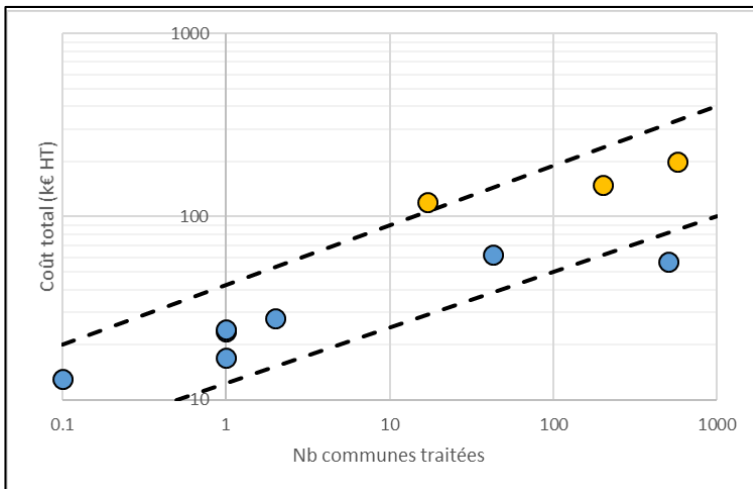
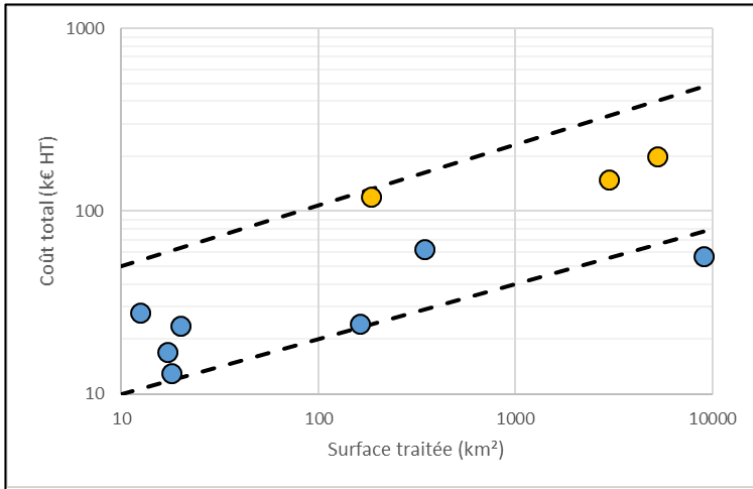
Guide PPRN Cav. Sout. Aband. 2012

ALEA		PRÉDISPOSITION			
		Très faible à Faible	Moyenne	Forte	Très forte
INTENSITÉ	Limitée	Faible	Moyen	Moyen à Fort	Fort
	Modérée	Moyen	Moyen à Fort	Fort	Fort à très fort
	Élevée	Moyen à Fort	Fort	Fort à très fort	Très fort

Guide Mvts karst 2023

# 4- QUELQUES COÛTS D'ÉTUDE

Basé sur études **BRGM** réalisées ou en cours de réalisation à début 2024



- Etudes achevées
- Etudes en cours ou à venir

portion SNCF vers Orléans (45)	2018
Nîmes (30)	2018
Agglo Maubeuge (59)	2018
Belfort (90)	2019
Gaston Galloux (Orléans - 45)	2020
Boulot et Etuz (70)	2021
Dordogne (24)	2023
Barrois (55)	2024
Ain (01)	2024
Doubs (25)	2024

## 4- PERSPECTIVES



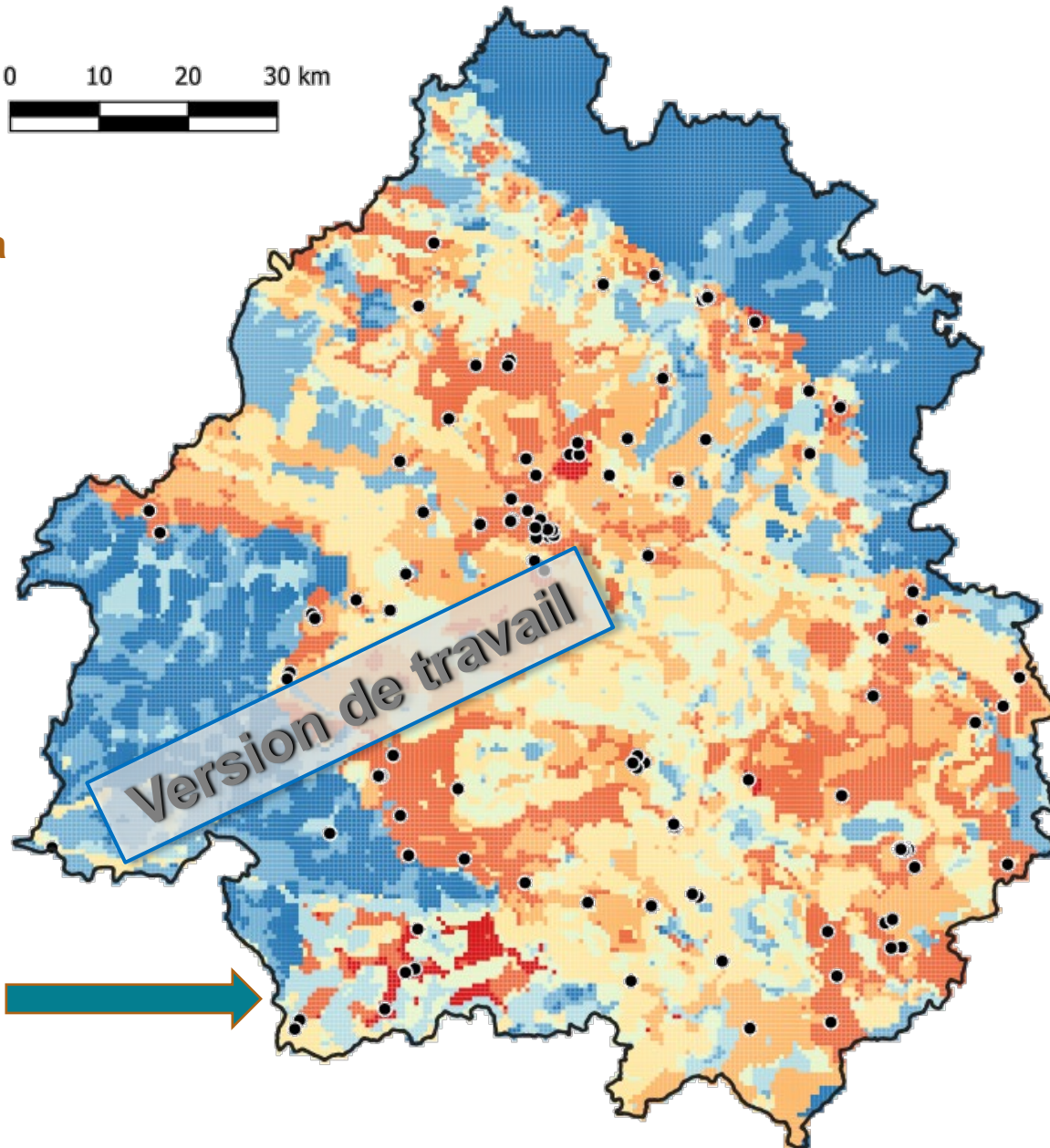
### Pistes d'amélioration pour la combinaison des critères

Intérêt d'une meilleure prise en compte des événements

Développement d'un outil numérique combinant deux algorithmes d'IA (CBA – Cell Based Association et « Forêt aléatoire » - Random Forest)

Croisement de « prédicteurs » spatialisés et de données ponctuelles pouvant être rares ou mal positionnées

→ Tests en cours sur la Dordogne







**Merci de votre attention**