

PRÉPARATION À LA GESTION DE CRISE

Expertise multidisciplinaire et multicritère pour accompagner la modélisation de la dispersion de radionucléides en rivière

A. VIDAL ALLARD¹, T. DOURSOUT¹, M. MERAD⁵, P. BOYER², J-M. MÉTIVIER³, É. NAVARRO¹, Y. BILLARAND⁴

¹ IRSN/PSE-SANTE/SESUC/BMCA

² IRSN/PSE-ENV/LRTE/LRTA

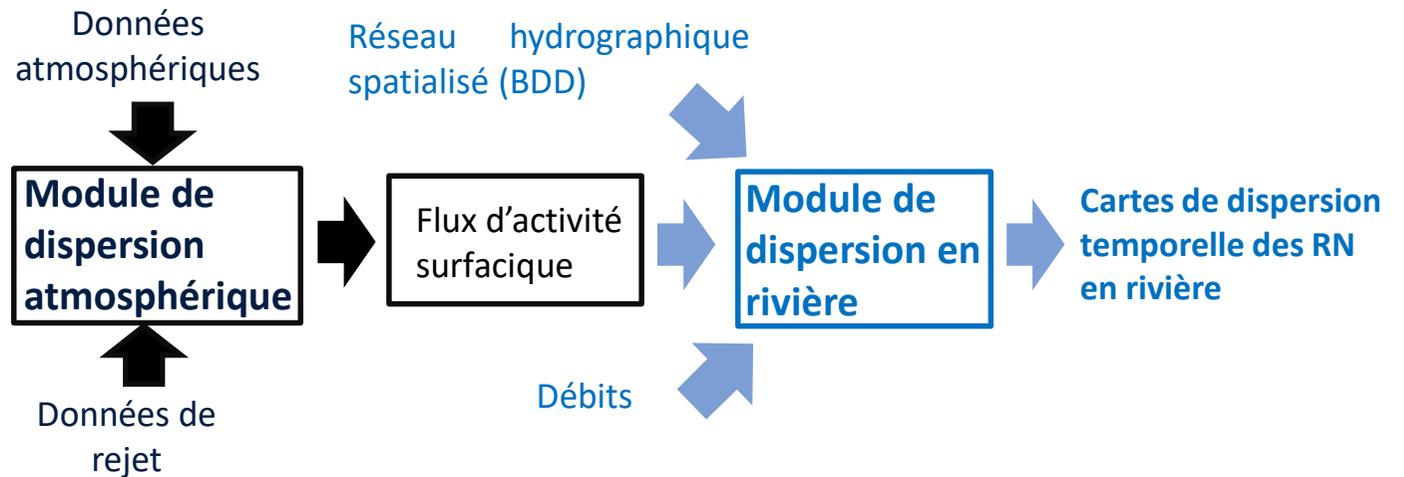
³ IRSN/PSE-ENV/SEREN/LEREN

⁴ IRSN/PSE-ENV/SEDDER

⁵ UMR LAMSADE - Université Paris Dauphine



- La gestion de la ressource en eau de surface est un enjeu important en situation de crise (AEP, prélèvements agricoles et industriels...).
- Il existe un projet d'implémentation au Centre Technique de Crise (CTC) de l'IRSN d'une capacité de modélisation opérationnelle de la dispersion des radionucléides (RN) en rivière (projet EAURX)



Contrainte méthodologique

Modélisation semi-automatique des cours d'eau (CE) (80 étapes) à l'échelle nationale fournissant les données nécessaires au module de dispersion en rivière.

Contrainte spatiale

Si rejet atmosphérique, CE impactés dépendant des conditions météorologiques et des relations hydrographiques et hydrologiques entre les CE.

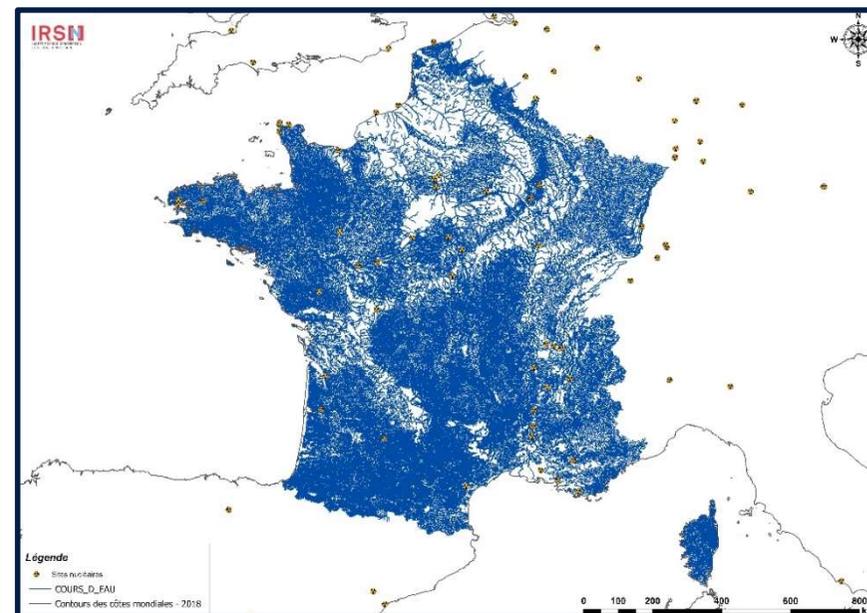
Contraintes environnementales et/ou sociétales

Importance d'un CE vis-à-vis du potentiel d'exposition des populations à une contamination dépendant de sa situation (hydrographique/hydrologique) et/ou de son usage.

Contraintes opérationnelles

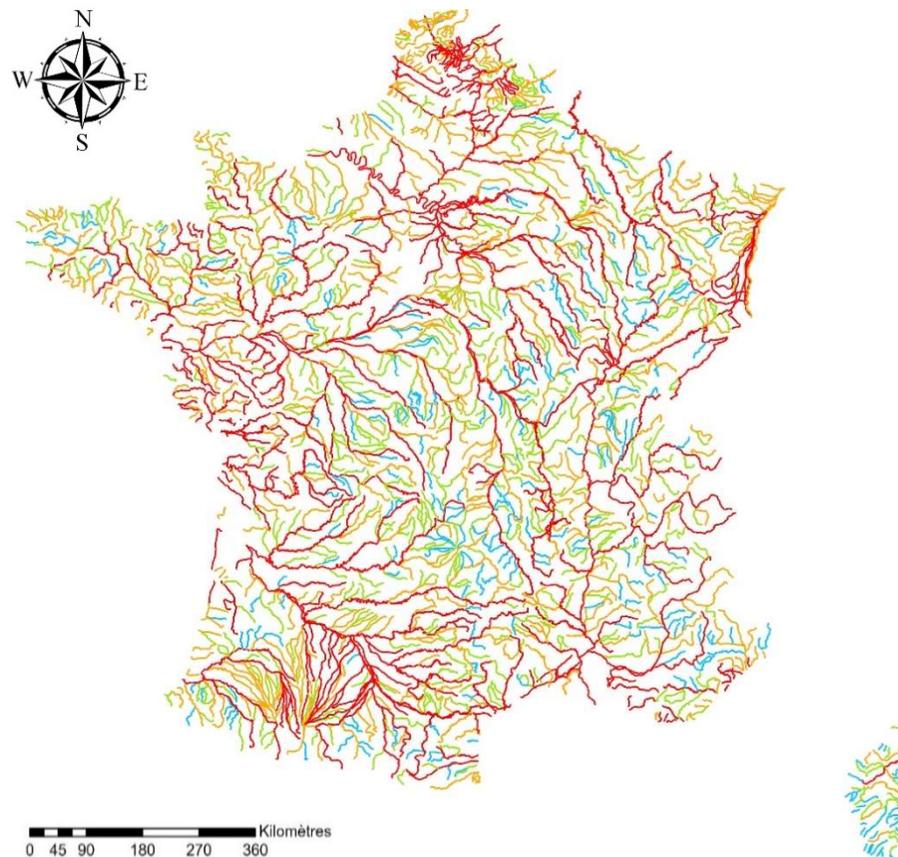
Prise en compte des incertitudes et de la variabilité des niveaux de connaissance et des données disponibles.

Utilisation en crise.



Réseau hydrographique français : > 120 000 cours d'eau (CE) (BD CARTHAGE)

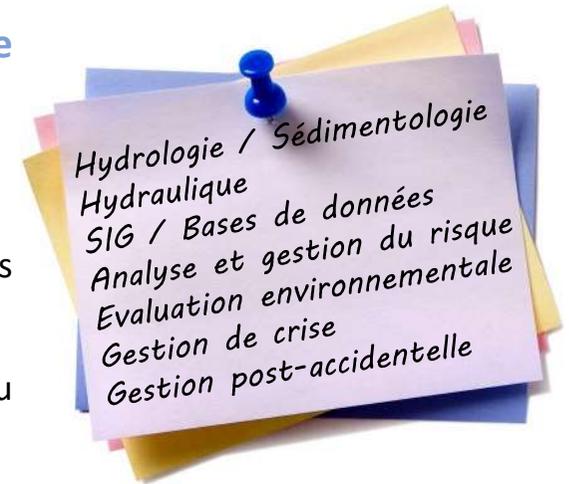
Comment sélectionner et hiérarchiser le réseau hydrographique à modéliser, considérant l'ensemble de ces contraintes ?





Choix de la méthodologie de résolution par expertise multidisciplinaire et multicritère

- Rétroactivité des actions (nouvelles données, nouveaux points de vue...)
- Concertation entre experts issus de disciplines variées, en considérant les préférences individuelles
- Prise en compte des incertitudes liées aux données, aux calculs et au processus d'évaluation



Choix de la méthodologie de hiérarchisation en fonction des vulnérabilités territoriales

- Approche pratique basée sur les usages et indépendante des conditions de survenue d'un accident (installation, météo)
- Définition suivant les voies d'exposition potentielles de la population
- Compatibilité avec une estimation de la vulnérabilité à l'échelle nationale

Construction d'une réflexion initiale sur les modalités d'exposition potentielle des populations

Quels sont les CE exposant le plus la population à un potentiel de contamination connaissant :

- l'accès à l'eau potable (AEP) (usages domestiques, industriels, agricoles) ?
- l'utilisation de l'eau de surface à des fins d'irrigation ?
- l'utilisation de l'eau de surface à des fins récréatives (baignade...) ?
- l'utilisation de l'eau de surface à des fins industrielles ?

Construction de la famille cohérente de critère

Critère C0	surface de la ZI (m ²)
Critère C1	nombre de captages AEP d'eau surface dans la ZI
Critère C2	R = densité de population dans la ZI
Critère C3	nombre de captages agricoles d'eau surface dans la ZI
Critère C4	S = densité de surface agricole dans la ZI
Critère C5	nombre de campings dans la ZI
Critère C6	nombre de zones de baignade dans la ZI
Critère C7	nombre de captages d'eau de surface pour l'industrie dans la ZI
Critère C8	nombre de barrages dans la ZI



Elaboration du tableau des performances

CE	Code Hydro	Critères								
		C0 (m ²)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Loire	----0000	1,89 x 10 ¹⁰	35	0,55	1175	0,67	208	32	92	557
Seine	----0010	1,18 x 10 ¹⁰	10	0,79	59	0,54	75	21	152	32
Canal du Rhône au Rhin	----0022	2,74 x 10 ⁹	0	0,76	2	0,40	17	5	28	23
 Ruisseau de Spartano	Y9920540	6,6 x 10 ⁷	0	0,26	0	0,13	2	4	0	0

1876 entrées

- Critères croissants et quantitatifs
- Absence d'incertitude définie pour les critères C0, C2, C3, C4, C5, C6, C7 et écart de 1 significatif pour les critères C1 et C8
- Seuils d'indifférence et de préférence nuls pour tous les critères

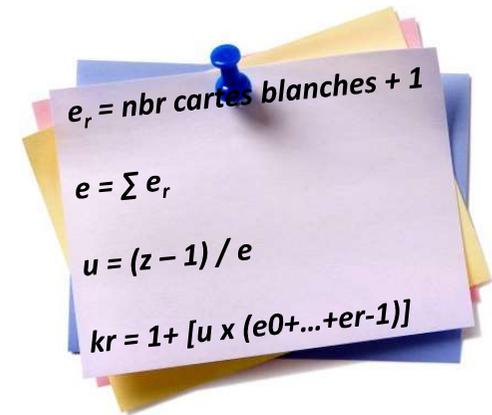
Les seuils d'indifférence ou de préférence correspondent aux incertitudes minimales ou maximales associées à l'évaluation des performances

Calcul des jeux de poids par expert suivant la procédure de Simos révisée (Figueiras and Roy 2002) (1/3)

1. Chaque participant définit 3 paramètres (plusieurs possibilités / expert):
 - l'ordre entre les critères (**rang**), du moins important (**rang 1**) vers le plus important (**rang 9**) avec possibilité d'ex-aequo
 - l'écart entre 2 critères successifs (**nombre de cartes blanches suivant le rang**)
 - la distance estimée entre le paramètre le plus important et le moins important (**paramètre Z = 5**)

Calcul des jeux de poids par expert suivant la procédure de Simos révisée (Figueiras and Roy 2002) (1/3)

- Chaque participant définit 3 paramètres (plusieurs possibilités / expert):
 - l'ordre entre les critères (**rang**), du moins important (**rang 1**) vers le plus important (**rang 9**) avec possibilité d'ex-aequo
 - l'écart entre 2 paramètres successifs (**nombre de cartes blanches suivant le rang**)
 - la distance estimée entre le paramètre le plus important et le moins important (**paramètre Z = 5**)



- Les poids **non normés** k_r sont calculés pour chaque jeu de critères et chaque expert

rang	nom	nbre de critère par rang	nbre de cartes blanches suivant le rang	e_r	e	u	poids non normés k_r	$k_r \times$ nbre de critères
1	C7	1	1	1	2	0,16	1,00	1,00
2	C8	1	1	2	3		1,32	1,32
3	C0	1	1	1	2		1,80	1,80
4	C4	1	1	4	5		2,12	2,12
5	C5	1	1	4	5		2,92	2,92
6	C6	1	1	2	3		3,72	3,72
7	C3	1	1	2	3		4,20	4,20
8	C2	1	1	1	2		4,68	4,68
9	C1	1	1				5,00	5,00
SOMME		9		17	25		26,76	26,76
z	=	5						

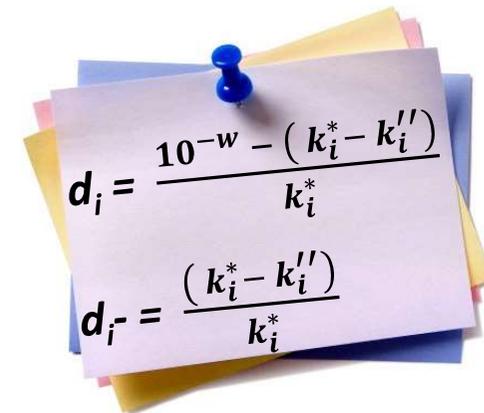
Calcul des jeux de poids par expert suivant la procédure de Simos révisée (Figueiras and Roy 2002) (2/3)

3. Les poids **normés** sont calculés pour chaque jeu défini précédemment :

- Calcul du poids normé k^*r de chaque critère ($k^*r = (kr / \sum kr) * 100$)
- Définition de l'option d'arrondi w (1) et calcul du poids normé arrondi $k''r$
- Calcul de 2 rapports de distorsion :
 - Erreur relative à l'arrondissement à la décimale inférieure d_i
 - Erreur relative à l'arrondissement à la décimale supérieure d_{i-}

nom du paramètre	définition du paramètre	formule de calcul
w	nombre de décimale après la virgule	$\begin{cases} w = 0 \\ w = 1 \\ w = 2 \end{cases}$
ϵ	Cumul des erreurs d'arrondi conduisant à une valeur différente de 100	$100 - K''$ avec $\epsilon \leq 10^w \cdot n$
v	nombre de critères devant être arrondis à la décimale supérieure	$v = 10^w \times \epsilon$
n	nombre total de critères	n = nombre total de critères
m	nombre critères contenus dans M	m = nombre critères contenus dans M

rang	nom	poids normés k^*_r	poids normés k''_r	rapport d_i	rapport d_{i-}
1	C7	3,736920777	3,7	0,01688	0,00988
2	C8	4,932735426	4,9	0,013636	0,00663636
3	C0	6,726457399	6,7	0,010933	0,00393333
4	C4	7,922272048	7,9	0,009811	0,00281132
5	C5	10,91180867	10,9	0,008082	0,00108219
6	C6	13,90134529	13,9	0,007097	9,6774E-05
7	C3	15,69506726	15,6	0,000314	0,00605714
8	C2	17,48878924	17,4	0,000641	0,00507692
9	C1	18,68460389	18,6	0,000824	0,004528
SOMME		100	99,6	0,068219	0,04010205



Calcul des jeux de poids par expert suivant la procédure de Simos révisée (Figueiras and Roy 2002) (3/3)

- Rangement successif des critères dans 2 listes:
 - **Liste L** : tous les critères, rangés par ordre de d_i croissant
 - **Liste L-** : tous les critères, rangés par ordre de d_i - décroissant

L		L-	
C3	0,00097976	C0	0,06404753
C2	0,00146904	C8	0,02442334
C7	0,0023267	C7	0,01333465
C6	0,00248393	C3	0,00564924
C8	0,0042701	C6	0,00540964
C1	0,00480673	C2	0,00321072
C5	0,00726304	C4	0,00222324
C4	0,00979817	C5	0,00165079
C0	0,02954772	C1	9,4768E-05

Calcul des jeux de poids par expert suivant la procédure de Simos révisée (Figueiras and Roy 2002) (3/3)

- Rangement des critères dans 2 listes:
 - **Liste L** : tous les critères, rangés par ordre de d_i croissant
 - **Liste L-** : tous les critères, rangés par ordre de d_{i-} décroissant
- Construction de l'ensemble **M** des critères respectant $d_i > d_{i-}$

rang	nom	$d_i > d_{i-}$
1	C0	
2	C8	
3	C7	
4	C4	1
5	C5	1
6	C6	
7	C3	
8	C1	1
9	C2	
SOMME		3

Calcul des jeux de poids par expert suivant la procédure de Simos révisée (Figueiras and Roy 2002) (3/3)

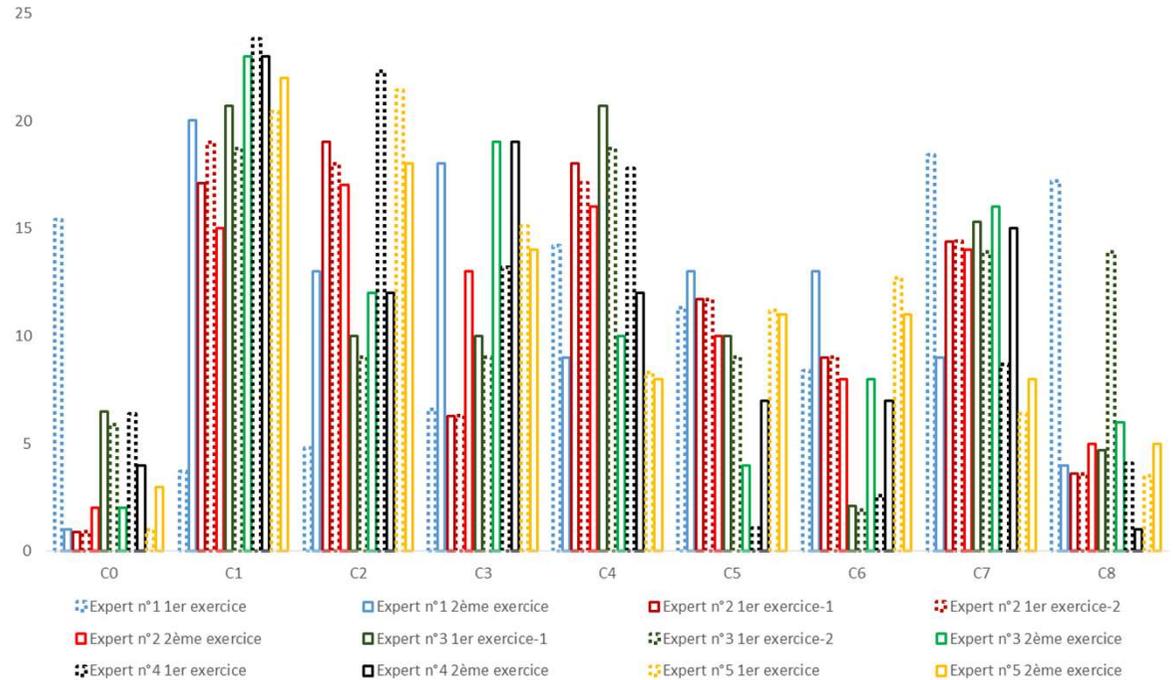
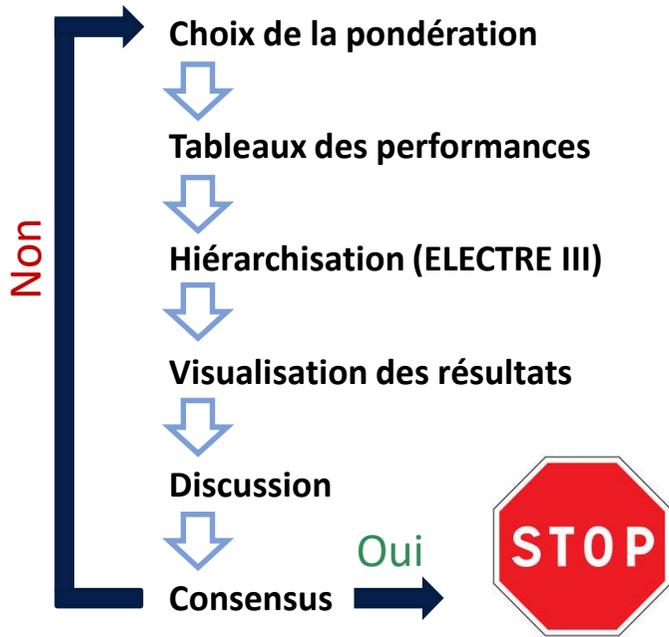
- Rangement des critères dans 2 listes:
 - **Liste L** : tous les critères, rangés par ordre de d_i croissant
 - **Liste L-** : tous les critères, rangés par ordre de d_i - décroissant
 - Construction de l'ensemble **M** des critères respectant $d_i > d_i-$
 - Construction de deux ensembles **F+** (critères arrondis à la décimale supérieure) et **F-** (critères arrondis à la décimale inférieure) tels que :
 - Si $m + v \leq n$: **F-** = [m critères de M et n - v - m derniers critères de L-] et **F+** = [v premiers critères de L- n'appartenant pas à M]
 - Si $m + v > n$: **F+** = [n - m critères de L n'appartenant pas à M et n - v + m premiers critères de L n'appartenant pas à M] et **F-** = [n - v critères de L n'appartenant pas à M]
- ➔ Dans l'exemple, **F+** = [C0,C3,C6,C7,C8] et **F-** = [C4,C5,C1,C2]

nom du paramètre	définition du paramètre
w	nombre de décimale après la virgule
ϵ	Cumul des erreurs d'arrondi conduisant à une valeur différente de 100
v	nombre de critères devant être arrondis à la décimale supérieure
n	nombre total de critères
m	nombre critères contenus dans M

rang	nom	poids normés k_i
1	C0	1,1
2	C8	3,5
3	C7	6,4
4	C4	8,3
5	C5	11,2
6	C6	12,7
7	C3	15,1
8	C1	20,4
9	C2	21,3
SOMME		100

2 exercices de pondération

- 1^{er} exercice : 7 jeux de poids
- 2^{ème} exercice : 5 jeux de poids

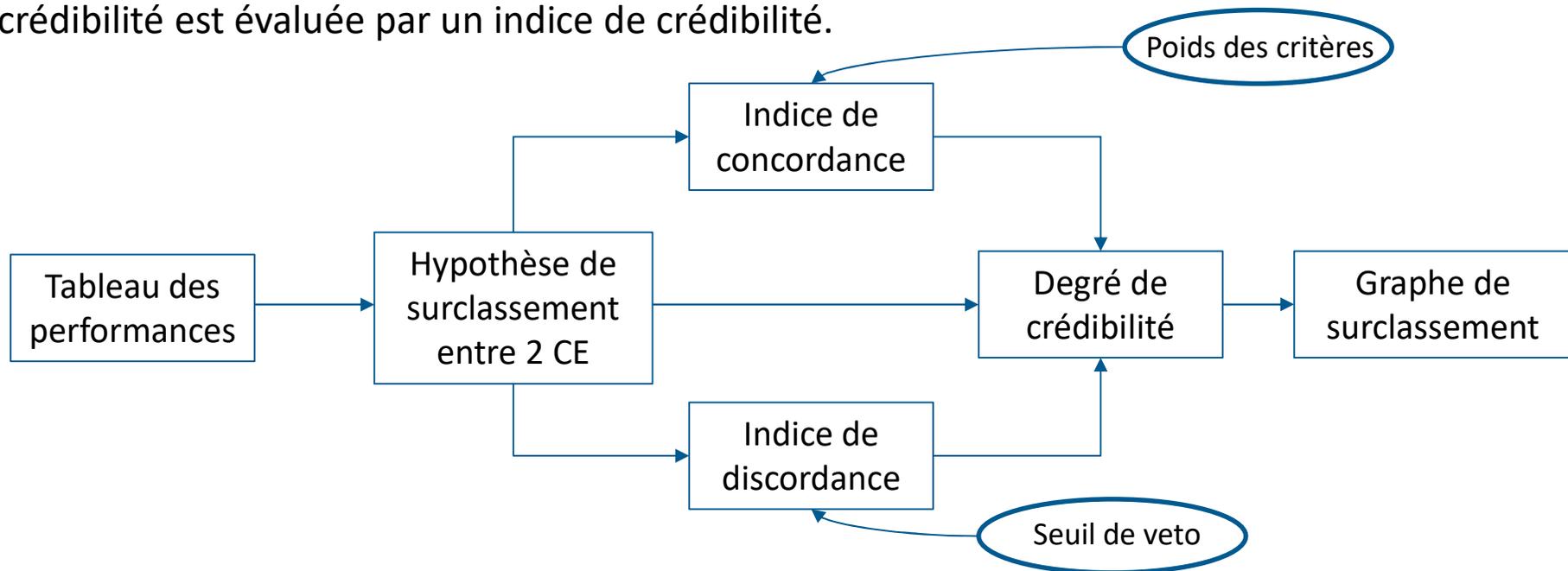


1 même tendance parmi les experts

- Critères C1, C2, C3, C4 et C7 les plus importants
- Critères C0 et C8 les moins importants

Principe de la méthode ELECTRE III (1/3)

Construction d'une **hypothèse de surclassement** entre des objets (ici des CE) comparés par paires. Chaque paire de CE (a, b) est caractérisée par **une relation de surclassement**, dont la crédibilité est évaluée par un indice de crédibilité.



■ Méthode ELECTRE III (2/3)

Evaluation du degré de crédibilité (entre 0 et 1) de l'hypothèse de surclassement à partir du calcul de deux indices:

- **Indice de concordance** : mesure l'importance de l'affirmation « a surclasse b ».
- **Indice de discordance** : mesure la force d'un argument en défaveur de l'hypothèse « a est au moins aussi bonne que b ». Il exprime le fait que le décideur ne peut accepter la préférence de a sur b, si b est largement meilleur que a sur un critère, et ce, quel que soit le nombre de critères en faveur de a sur b.
- **Degré de crédibilité** : calculé à partir des deux indices précédents, il indique si l'hypothèse de surclassement de a sur b est plausible ou non

■ Méthode ELECTRE III (3/3)

Réalisation en parallèle d'une **distillation descendante** – classant les objets du meilleur au plus mauvais – et d'une **distillation ascendante** – classant les objets du plus mauvais au meilleur – permettant d'obtenir **2 préordres partiels**.

Intersection des deux préordres partiels pour obtenir le préordre final:

- a est mieux classé que b dans le préordre final si a est mieux classé que b dans l'un des deux préordres et au moins aussi bien classé que b dans l'autre
- a est indifférent à b dans le préordre final s'ils sont indifférents dans les deux préordres
- a est incomparable à b dans le préordre final si a est mieux classé que b dans l'un des deux préordres et b est mieux classé que a dans l'autre.

Obtention de 5 pré-ordres finaux à la suite du second exercice de pondération

Nombre total de rangs N	Expert n°1	Expert n°2	Expert n°3	Expert n°4	Expert n°5
	170	134	173	172	165

Classement combinatoire final des CE en 4 catégories de vulnérabilité suivant 2 méthodes

Méthode 1 : Loi de la majorité argumentée :

1. Classement de chaque préordre final en 4 catégories de vulnérabilité en fonction du nombre total de rang N

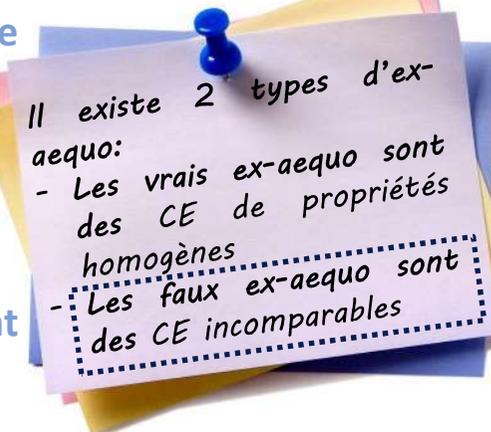
Catégorie 1 : CE de rang R tel que $R \leq 0,25 N$

Catégorie 2 : CE de rang R tel que $0,25 N < R \leq 0,5 N$

Catégorie 3 : CE de rang R tel que $0,5 N < R \leq 0,75 N$

Catégorie 4 : CE de rang R tel que $R \geq 0,75 N$

2. Attribution, pour chaque CE, de la catégorie finale correspondant à celle faisant consensus entre les experts. Si consensus faible, la catégorie la plus défavorable l'emporte





0 45 90 180 270 360 Kilomètres

Catégorie 1 : 433 CE

Catégorie 2 : 676 CE

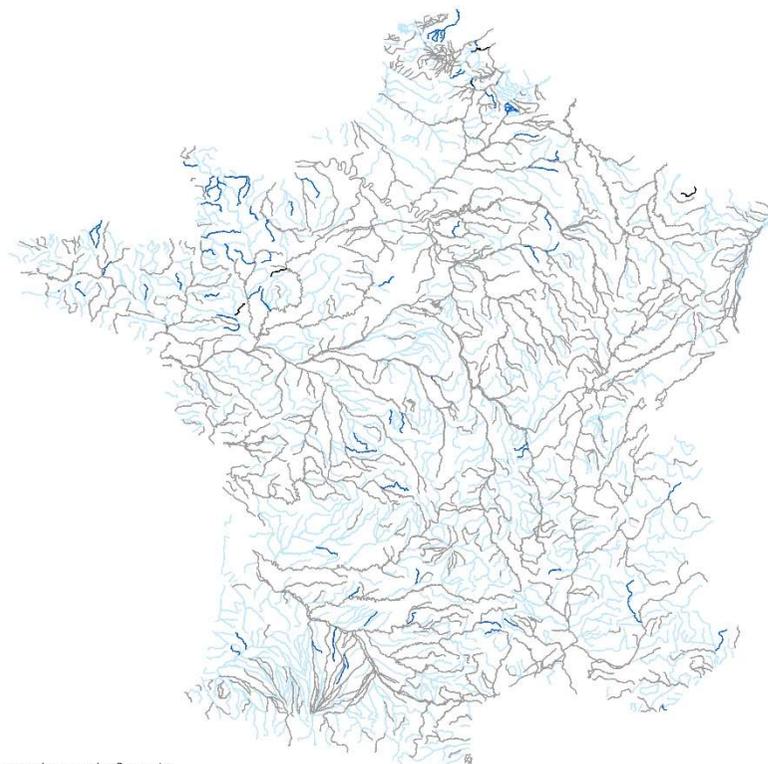
Catégorie 3 : 547 CE

Catégorie 4 : 220 CE

**727 CE de catégorie identique entre les 5 classements
dont :**

- 34 % en catégorie 1
- 31 % en catégorie 2
- 22 % en catégorie 3
- 13 % en catégorie 4





— CE présentant une différence de 3 classes entre au moins 2 experts
— CE présentant une différence de 2 classes entre au moins 2 experts
— CE présentant une différence d'1 classe entre au moins 2 experts
— CE identiques entre les experts

0 135 270 540 Kilomètres

IRSN

1149 CE présentant au moins une catégorie différente entre les 5 classements dont :

- 8 CE présentent une différence de 3 catégories entre au moins 2 classements
- 95 CE présentent une différence de 2 catégories entre au moins 2 classements

Les critères C2 et C4 expliquent la plupart des écarts de 2 ou 3 catégories entre les 5 classements et traduisent 2 visions de l'estimation de la vulnérabilité :

Experts 2 et 5 : importance haute accordée à la **densité de population** et/ou à la **surface agricole**

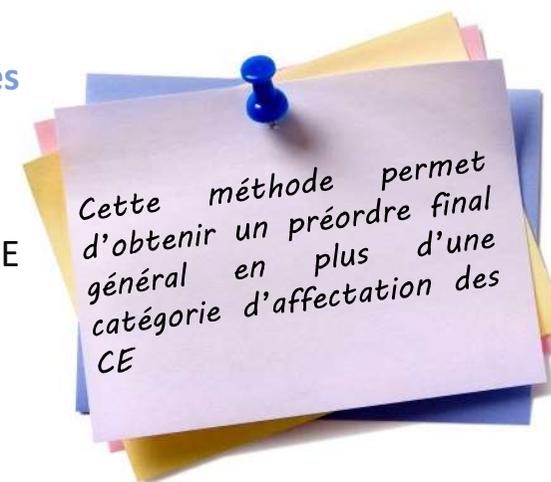
Experts 1,3 et 4 : importance haute accordée à la présence de **captages AEP et agricoles**



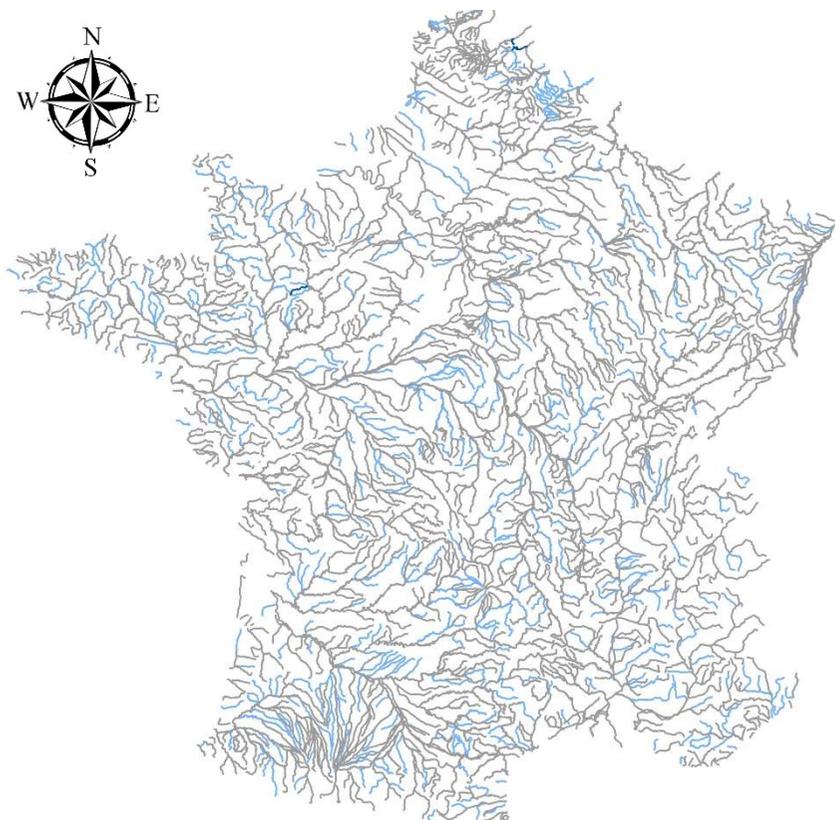
Classement combinatoire final des CE en 4 catégories de vulnérabilité suivant 2 méthodes

Méthode 2 : ELECTRE III sur les pré-ordres finaux

1. Elaboration d'un nouveau tableau des performances dans lequel :
 - les ordonnancements obtenus pour chaque expert sont **les critères**
 - les CE sont **les objets d'études**
 - les rangs issus de la première application de la méthode ELECTRE III sont **les performances**
 - les poids sont **identiques et égaux à 1** pour tous les experts
2. Nouveau calcul suivant la méthode ELECTRE III



Obtention d'une hiérarchisation finale des CE en 268 rangs avec diminution du nombre de CE ex-aequo



- CE présentant une différence d'au moins 2 classes entre les 2 méthodes
- CE présentant une classe identique entre les 2 méthodes
- CE présentant une différence d'1 classe entre les 2 méthodes

6 CE présentent au moins deux catégories différentes entre les deux méthodes

CODE HYDRO	C0 (m ²)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
E25-0152	8 x 10 ⁵	0	0,96	0	0,09	0	0	0	0
E2600600	7 x 10 ⁷	0	0,94	0	0,27	0	0	0	0
E3200452	8 x 10 ⁵	0	1	0	0	0	0	0	0
E3200600	8 x 10 ⁵	0	1	0	0	0	0	0	0
E3820750	4 x 10 ⁷	0	0,86	0	0,45	0	0	0	0
M0124000	9 x 10 ⁷	0	0,17	0	0,98	0	0	0	6

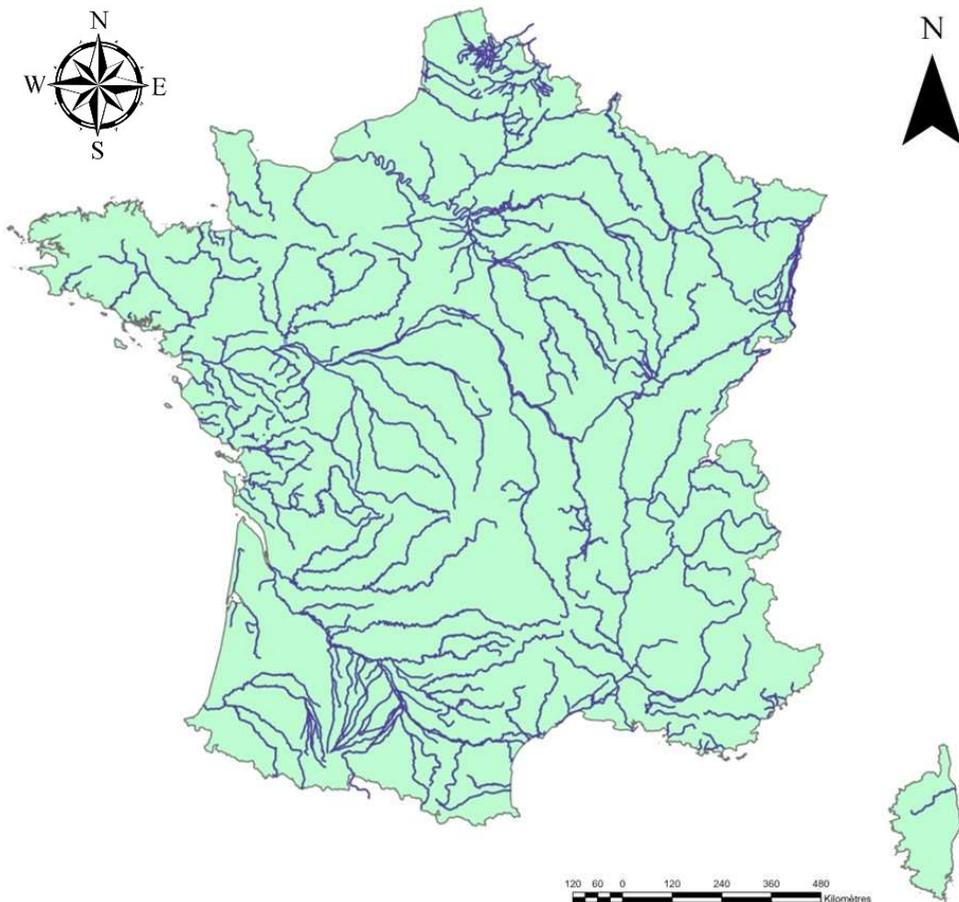


6 CE présentent au moins deux catégories différentes entre les deux méthodes

CODE HYDRO	C0 (m ²)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
E25-0152	8×10^5	0	0,96	0	0,09	0	0	0	0
E2600600	7×10^7	0	0,94	0	0,27	0	0	0	0
E3200452	8×10^5	0	1	0	0	0	0	0	0
E3200600	8×10^5	0	1	0	0	0	0	0	0
E3820750	4×10^7	0	0,86	0	0,45	0	0	0	0
M0124000	9×10^7	0	0,17	0	0,98	0	0	0	6

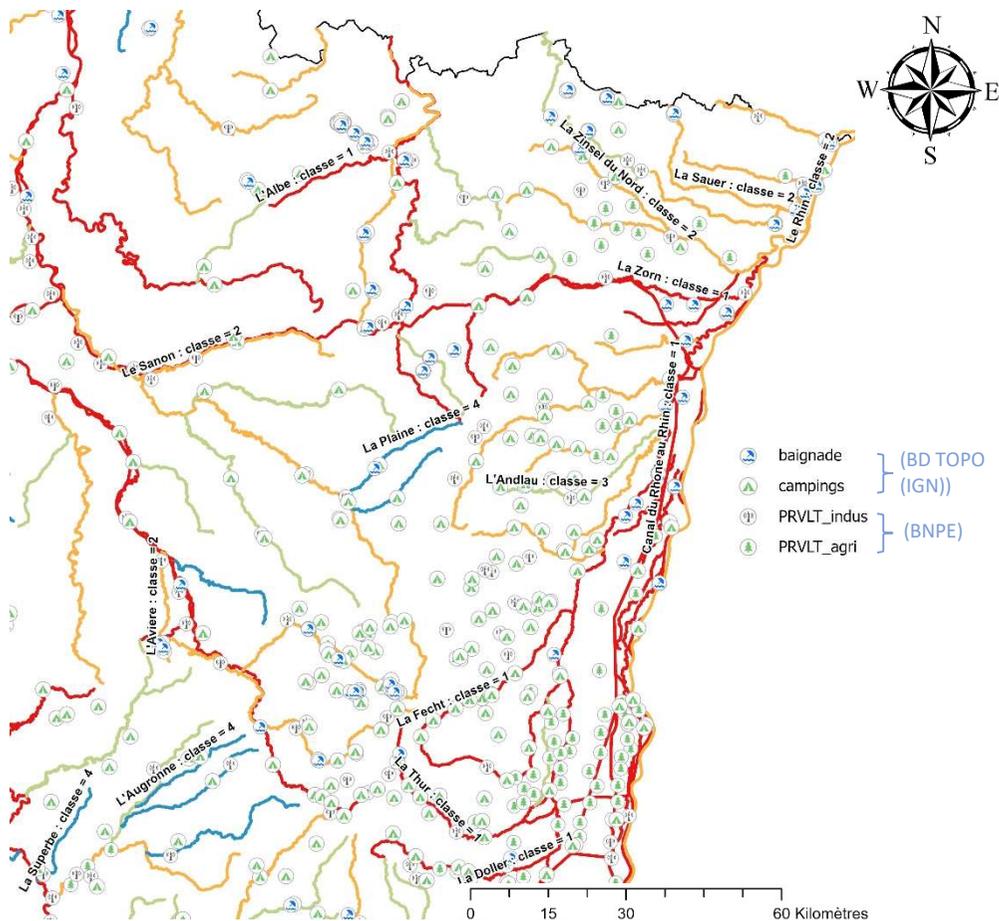


Les critères C2 ou C4 expliquent les écarts de 2 catégories entre les deux méthodes pour ces CE



Bilan

- Mise en place d'une **démarche collective**, considérant des champs disciplinaires variés et permettant la **prise en compte des points de vue et des préférences** des experts
- Identification d'un réseau de **426 CE** à modéliser en priorité pour la construction de la BDD hydrographique associée au projet EAURX



Limites

- Etude construite à partir des données nationales
- Absence d'études référentes permettant la détermination des seuils d'indifférence et de préférence



Perspectives

- Présentation de l'étude au sein de l'IRSN puis aux services de l'État en charge de la gestion des ressources en eau (Agences de l'Eau) afin de permettre :
 - l'amélioration des données utilisées
 - la prise en compte de points de vue et de domaines d'expertises différents
 - l'élaboration de nouveaux critères augmentant l'exhaustivité de l'analyse
- Analyses statistiques des données (ACP, AHC) afin de définir des profils types de CE pour chaque catégorie et d'estimer les différents seuils
- Extension du périmètre aux pays transfrontaliers (cas des CE transfrontaliers)



MERCI DE VOTRE ATTENTION



Myriam Merad
CNRS/LAMSADE

- Evaluation des risques
- Gestion et gouvernance des risques
- Aide à la décision
- Analyse Multicritère



Thierry Doursout
IRSN/PSE-SANTE/SESUC/BMCA

- SIG
- Bases De Données spatialisées
- Développement informatique
- Gestion de crise (post accident)



Patrick Boyer
IRSN/PSE-ENV/SRTE/LRTA

- Hydrologie
- Hydraulique
- Sédimentologie
- Modélisation de la dispersion des RN



Emilie Navarro
IRSN/PSE-SANTE/SESUC/BMCA

- Aide à la décision à destination des pouvoirs publics
- Evaluation de la contamination de l'environnement (agricole, aquatique, urbain)
- Gestion de crise (post accident)



Jean-Michel Métivier
IRSN/PSE-ENV/SEREN/LEREN

- SIG
- Bases De Données spatialisées
- Modélisation environnementale des RN



Alicia Vidal-Allard
IRSN/PSE-SANTE/SESUC/BMCA

- SIG
- Base de Données spatialisées
- Gestion de crise (post accident)