



Projet ANR-AMORAD

Simulations de dispersion et du transfert de radionucléides en mer en support de la décision lors d'un rejet accidentel

AXE: Question 8 de la stratégie scientifique de l'IRSN

But: Développement d'outils de synthèse d'information, en situation post-accidentelle, comme support à la décision

Oussama Raboun (IRSN & LAMSADE)

Celine Duffa (IRSN / PRP-ENV)

Eric Chojnacki (IRSN / PSN-RES)

Alexis Tsoukias (LAMSADE)

Plan

- Introduction et contexte
- Caractéristiques du problème
- Problématique de recherche
- Découpages, collecte et génération des données
- Méthodes multicritères
- Aspect géographique
- Conclusion & Perspectives

Introduction et contexte

- Littérature riche dans la compréhension et la prévision de dispersion des radionucléides dans le milieu marin.
- Outils efficaces de simulation du processus physique de dispersion
- Résultat: évolutions de la concentration de chaque isotope aux différents points de suivi de la zone d'étude
- Besoin de transcrire une évolution de concentration en évaluation d'impact d'un rejet sur une zone géographique

Caractéristiques du problème

- Notre problème est caractérisé par:
 - de multiples enjeux (économiques et un enjeu environnemental),
 - un caractère spatial (propriétés géographiques),
 - des incertitudes liées aux paramètres de l'accident (nécessaires pour les logiciels de simulation).
- Notre but est de **développer des outils de synthèse de l'information** exprimée sur les trois axes suivants :
 - **1 axe enjeux,**
 - **1 axe spatial,**
 - **1 axe incertitudes.**
- Cas d'étude : La rade de Toulon & un accident de sous-marin & logiciel de simulation STERNE.

Problématique de recherche

Questions de recherche:

Comment tenir compte des **incertitudes** liées aux paramètres d'entrés?

- Les logiciels de simulations ont besoin d'avoir des valeurs exactes des paramètres du rejet, et cependant il faut tenir compte des incertitudes.

Comment passer de la **concentration** aux **indicateurs d'impact**?

- Développement des procédures de construction des indicateurs d'impact correspondants à chaque enjeu.

Comment « **noter** » **une zone** géographique?

- Un même niveau de concentration peut avoir des niveaux d'impact différents selon l'enjeu considéré,
- Chaque concentration est transcrite par un vecteur correspondant à ses « performances » relativement à l'enjeu considéré.

Comment « **noter** » **un ensemble de zones** géographiques ou toute la carte?

- Les zones géographiques sont caractérisées par des spécificités (ex. continuités physiques ou administratives) qui doivent être appréhendées pour évaluer l'impact global vis-à-vis d'un enjeu.

Découpage de l'espace d'étude

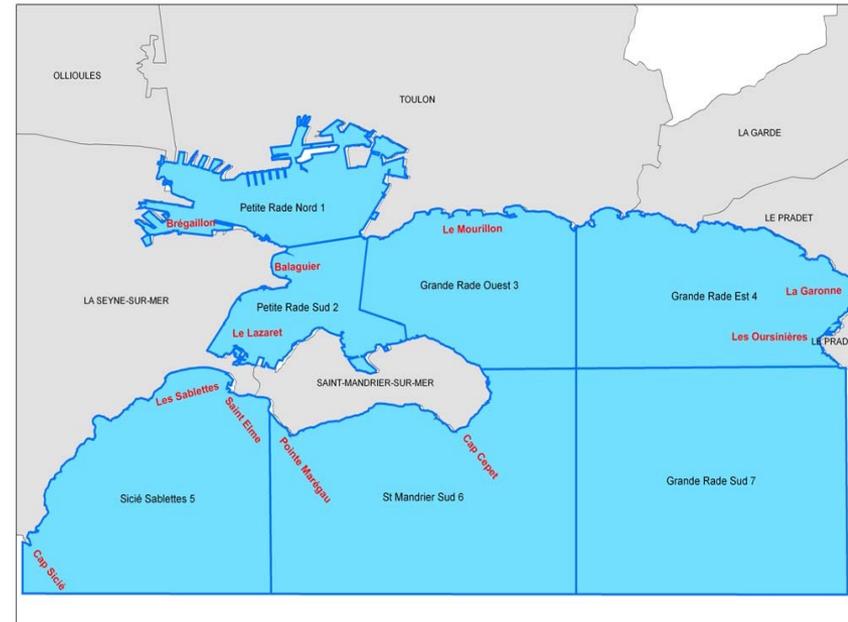
■ Découpage de la rade de Toulon en **7 zones homogènes** (contrat de Baie SIAT 1998 et 2002) basée sur 2 critères:

- Critère physique, basé essentiellement sur le type de cote et l'hydrodynamisme local des masses d'eau.
- Critère biologique, dicté par la présence d'écosystèmes particuliers.

Ce découpage est utilisé pour décrire les enjeux présents dans chacune des 7 zones.

■ Découpage plus fin en **97 zones géographique** pour simuler la dispersion des radionucléides.

Ce découpage est utilisé pour évaluer les différents niveaux de concentration.



Données des enjeux par zone

■ Pêche: « Système d'Informations Halieutiques » (SIH-2008).

- Estimation du coût économique associé aux espèces pêchées.

Zones	Nbr de bateaux	Espèces pêchées	Chiffre d'affaire annuel (en k€)
1&2	10	Daurades; Sars; Pageots; Rougets; Besugues; Loups; Dentis;	600
3&4	30	Sars; Pageots; Rougets; Encornets; Saupes; Soupes de roche	1930
5	14	Daurades; Rougets; Besugues; Oursins; Poulpes	934
6	20	Soupes de roche; Asses; girelles	1286
7	10	Pageots; pagres	1000

■ Aquaculture: Activité présente en **zone 2** qui représente un enjeu économique important.

- Les entrées de cette activité sont estimées à **2129 k€ annuellement**.

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
CA été (k€)	26545,2	25209	17020	10297,5	19153	20450	1098
CA hiver (k€)	8294,3	4384	3808,5	3294	3960	4033	33
CA annuel (k€)	34839,5	29593	20828,5	13591,5	23113	24483	1131

■ L'attractivité touristique: (CCI Var 2007 & INSEE BVA 2007)

- la pêche de loisir,
- les activités de plaisance,
- les activités nautiques.

■ L'herbier de Posidoni: (Contrat de baie) On dispose de données qualitatives.

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
Présence de l'herbier de Posidonie	Absence	Absence	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Absence

Données de concentration - Paramètres

Question 1: Comment tenir compte des incertitudes liées aux paramètres d'entrés?

On définit 12 scénarios à la base de **2 sources d'incertitudes**: (la quantité initialement rejetée est fixée à rejetée à 10^{15} Bq)

- 4 position du rejet $Z_0 = (X_0, Y_0)$ avec des probabilités associées.

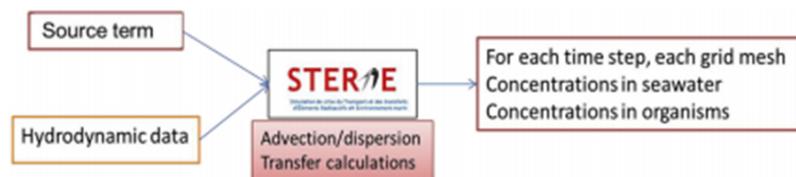
Scenarios	Probabilités
$Z_1 = (43.053, 5.89)$	p_1
$Z_2 = (43.053, 5.94)$	p_2
$Z_3 = (43.079, 5.975)$	p_3
$Z_4 = (43.103, 5.918)$	p_4

- 3 données hydrodynamiques dépendant des types de vent.

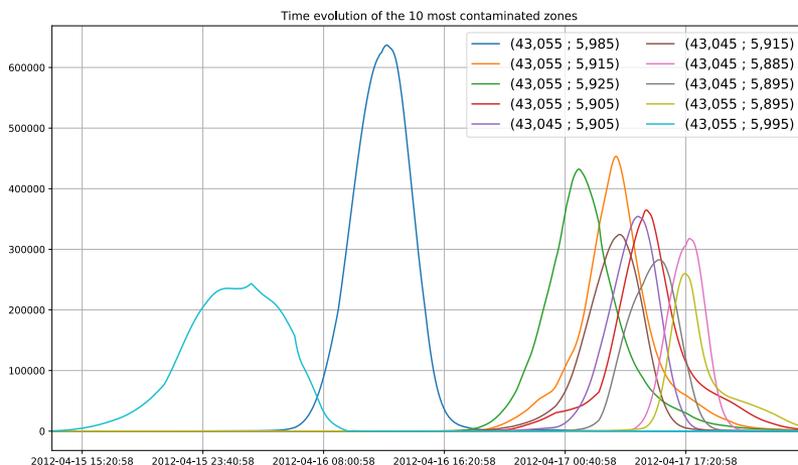
Scénarios	Types de vent	Probabilité
β_1	Mistral	0.4
β_2	Vent d'est	0.4
β_3	Vent calme	0.2

Données de concentration – Paramètres & Résultats

- Radionucléide suivi: Césium-137.
- Logiciel utilisé pour les simulations STERNE



- **Résultat:** courbe de l'évolution de la concentration du césium-137 dans chacune des 97 zones.



Données de concentration – synthèse de courbes

Question 2: Comment passer de la concentration aux indicateurs d'impact ?

- Une réduction de l'information pour un gain de signification:
 - Chaque courbe sera caractérisée par la valeur **moyenne** et le **max** de concentration.

Exemple (mistral - (43.053 ; 5.94)) :

Valeurs maximales de concentration atteinte par zone

	5,86_5,87	5,87_5,88	5,88_5,89	5,89_5,9	5,9_5,91	5,91_5,92	5,92_5,93	5,93_5,94	5,94_5,95	5,95_5,96	5,96_5,97	5,97_5,98	5,98_5,99	5,99_6	6_6,01	6,01_6,02
43,11_43,12			3,09E-10	1,09E-09	3,53E-08	4,87E-07	1,44E-04									
43,1_43,11			2,09E-09	1,09E-08	2,63E-06	7,85E-05	1,00E+00	3,24E+01	4,52E+01	6,54E+01	7,77E+01	5,84E+01	9,02E+01	1,55E+03	2,89E+03	
43,09_43,1						3,23E-03	4,62E+00	3,35E+01	6,63E+01	4,34E+01	5,29E+01	2,24E+02	1,02E+03	1,80E+03	7,72E+03	1,51E+04
43,08_43,09					2,66E-03	6,13E-02	1,14E+00	3,46E+01	2,50E+01	8,36E+01	6,50E+02	4,14E+03	8,56E+03	3,58E+04	7,31E+04	8,42E+04
43,07_43,08			1,45E+03	1,25E+03						2,39E+04	1,07E+04	2,95E+04	1,54E+05	2,55E+05	2,45E+05	1,70E+05
43,06_43,07		3,42E+03	2,00E+03	5,21E+03	2,82E+04	6,96E+04	8,04E+04	3,96E+05	9,64E+05	6,84E+04	1,10E+05	1,55E+05	3,07E+05	4,11E+05	4,05E+05	3,37E+05
43,05_43,06	2,75E+03	8,86E+02	1,71E+03	4,38E+03	1,20E+04	2,09E+04	1,30E+05	3,62E+05	3,30E+05	1,87E+05	1,73E+05	2,59E+05	1,09E+05	1,85E+05	3,31E+05	1,85E+05
43,04_43,05	2,01E+03	1,64E+03	4,06E+03	3,53E+03	2,06E+04	2,48E+04	4,51E+04	9,23E+04	2,56E+05	2,61E+05	7,11E+04	4,92E+04	5,74E+04	1,39E+05	1,08E+05	1,61E+07

Valeurs moyennes de concentration atteinte par zone

	5,86_5,87	5,87_5,88	5,88_5,89	5,89_5,9	5,9_5,91	5,91_5,92	5,92_5,93	5,93_5,94	5,94_5,95	5,95_5,96	5,96_5,97	5,97_5,98	5,98_5,99	5,99_6	6_6,01	6,01_6,02
43,11_43,12			1,27E-12	3,75E-11	1,35E-09	2,08E-08	4,21E-06									
43,1_43,11			3,24E-11	4,24E-10	1,82E-07	6,21E-06	3,05E-02	3,00E+00	5,59E+00	8,53E+00	9,65E+00	7,28E+00	1,31E+01	1,31E+02	3,19E+02	
43,09_43,1						2,35E-04	1,67E-01	5,13E+00	1,18E+01	7,32E+00	9,17E+00	1,98E+01	7,05E+01	1,92E+02	4,07E+02	1,15E+03
43,08_43,09					1,47E-04	1,88E-03	5,47E-02	5,37E+00	4,46E+00	6,85E+00	5,45E+01	2,81E+02	8,48E+02	1,99E+03	3,42E+03	5,99E+03
43,07_43,08			2,10E+02	1,91E+02						1,22E+03	8,22E+02	2,41E+03	1,25E+04	2,77E+04	2,55E+04	1,90E+04
43,06_43,07		4,56E+02	2,79E+02	6,90E+02	3,80E+03	7,25E+03	4,50E+03	1,98E+04	4,37E+04	5,73E+03	9,49E+03	1,72E+04	3,85E+04	4,05E+04	3,79E+04	2,74E+04
43,05_43,06	4,32E+02	1,42E+02	2,52E+02	5,93E+02	1,76E+03	2,58E+03	6,92E+03	2,11E+04	1,56E+04	1,35E+04	1,64E+04	2,50E+04	1,08E+04	1,95E+04	2,70E+04	1,36E+04
43,04_43,05	3,76E+02	3,69E+02	5,58E+02	7,99E+02	1,85E+03	2,95E+03	4,19E+03	5,82E+03	1,15E+04	1,31E+04	4,72E+03	3,45E+03	3,16E+03	8,44E+03	9,61E+03	1,57E+05

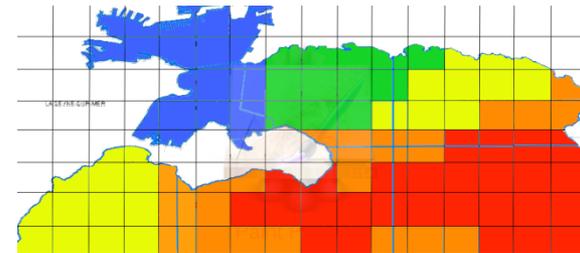
Niveau de contamination par zone

Question 2 : Comment passer de la concentration aux indicateurs d'impact ?

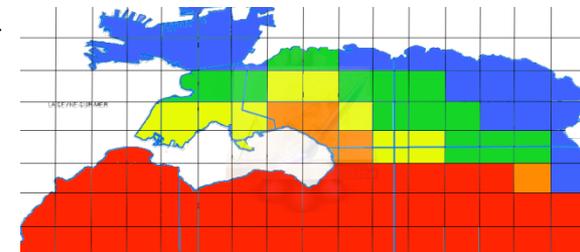
- Concentration négligeable
- Concentration faible
- Concentration moyenne
- Concentration forte
- Concentration très forte

■ On passe d'une échelle cardinale à ordinale: (moy , max) → Niveau de contamination;

■ Illustration pour le scénario mistral - (43.053 ; 5.94). Avec les deux découpages.



■ Illustration pour le scénario vent Est - (43.053 ; 5.89). Avec les deux découpages.

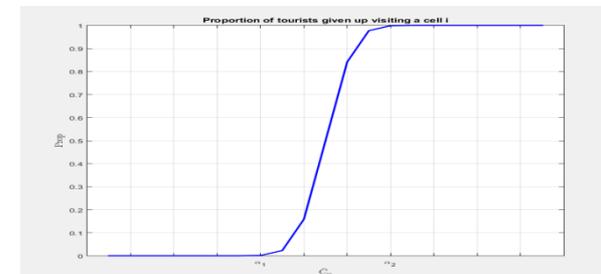
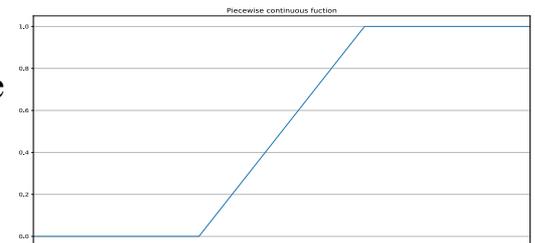
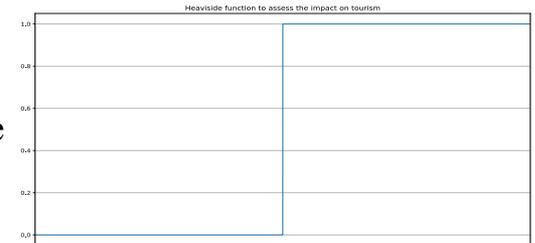


Indicateurs d'impact sur les enjeux

Question 2 : Comment passer de la concentration aux indicateurs d'impact ?

■ Typologie de fonction d'impact:

- Fonction tout ou rien: Fonction à un seuil au delà duquel on considère un impact absolu sur l'enjeu considéré.
- Fonction linéaire par morceau avec un seuil d'acceptabilité et un seuil de refus.
- Fonction « ad-hoc » : On a développé un modèle de calibration de cette fonction.



Indicateurs d'impact sur les enjeux

Question 2: Comment passer de la concentration aux indicateurs d'impact?

Sens de la fonction d'impact pour chaque enjeu:

- Tourisme : Proportion de touristes qui s'abstiendront un niveau de concentration. (Typologie 3)
- Pêche : Proportion interdite à la commercialisation (Typologie 2)
- Aquaculture : Même sens que pour le fonction d'impact sur la pêche avec 1 seul seuil (Typologie 1).
- Herbier de Posidonie : Niveau de contamination de l'herbier (échelle ordinale)

De la fonction d'impact à un indicateur d'impact:

- Tourisme : Pertes en (k€) sur le secteur touristique dans chaque zone. (échelle cardinale)
- Pêche: Pertes en (k€) sur le secteur pêche dans chaque zone. (échelle cardinale)
- Aquaculture: Pertes en (k€) sur le secteur aquaculture dans chaque zone. (échelle cardinale)
- Herbier de Posidonie : Niveau de l'impact sur la proportion de l'herbier présent dans chaque zone. (échelle ordinale)

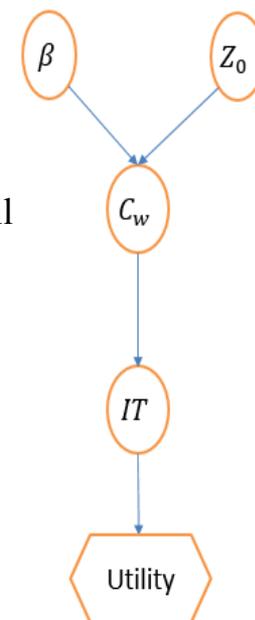


Diagramme d'influence de l'impact sur un enjeu pour un scénario donné

Indicateurs d'impact sur les enjeux

Question 2: Comment passer de la concentration aux indicateurs d'impact?

Illustration: Application numérique sur l'enjeu tourisme pour le scénario « mistral - (43.053 ; 5.94) » :

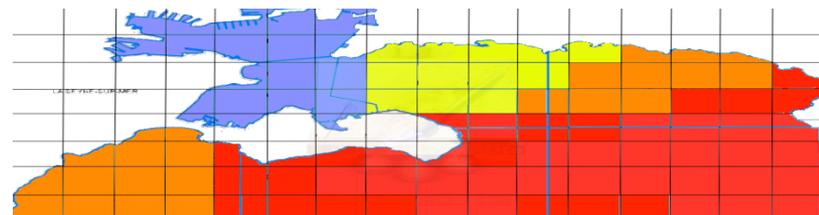
- Proportion de touristes qui s'abstiendront de visiter une zone en fonction de son niveau de contamination:

	5,86_5,87	5,87_5,88	5,88_5,89	5,89_5,9	5,9_5,91	5,91_5,92	5,92_5,93	5,93_5,94	5,94_5,95	5,95_5,96	5,96_5,97	5,97_5,98	5,98_5,99	5,99_6	6_6,01	6,01_6,02
43,11_43,12			0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00									
43,1_43,11			0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	
43,09_43,1						0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	1,00E+00
43,08_43,09					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
43,07_43,08			7,00E-01	7,00E-01						1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
43,06_43,07		7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
43,05_43,06	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
43,04_43,05	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	7,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

- Chiffre d'affaire perdu :(performance du critère Tourisme dans chaque zone)

	5,86_5,87	5,87_5,88	5,88_5,89	5,89_5,9	5,9_5,91	5,91_5,92	5,92_5,93	5,93_5,94	5,94_5,95	5,95_5,96	5,96_5,97	5,97_5,98	5,98_5,99	5,99_6	6_6,01	6,01_6,02
43,11_43,12			2,77E+06	2,77E+06	3,32E+06	4,42E+06	3,32E+06									
43,1_43,11			2,77E+06	3,87E+06	4,42E+06	5,70E+06	3,13E+06	7,44E+05	8,93E+05	1,04E+06	5,92E+05	7,32E+05	1,09E+05	8,21E+04	5,47E+04	
43,09_43,1						7,22E+06	4,09E+06	1,49E+06	1,49E+06	1,49E+06	1,18E+06	2,74E+05	2,74E+05	2,74E+05	2,74E+05	0,00E+00
43,08_43,09					7,22E+06	5,77E+06	5,65E+06	1,19E+06	1,49E+06	1,49E+06	5,17E+05	2,74E+05	2,74E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
43,07_43,08			1,72E+05	2,29E+05						0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
43,06_43,07		3,44E+05	5,16E+05	5,73E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
43,05_43,06	2,87E+05	5,73E+05	5,73E+05	5,73E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
43,04_43,05	5,73E+05	5,73E+05	5,73E+05	5,73E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

- Représentation graphique (ordinaire): Impact fort (rouge) ; Impact moyen (orange); Impact faible (jaune) ; Pas d'impact (bleu)



Agrégation multicritère

Question 3: Comment synthétiser des enjeux sur une zone géographique?

Deux type de méthodes multicritères : type « critère unique » – type « surclassement »

■ Méthodes de type « critère unique » :

Principe:

- Unification des échelles caractérisant les critères (ex. convertir tous les critères en échelle monétaire)
- Agréger les différents critères en un critère de synthèse – ex somme des coûts

L'impact global est alors mesuré par la valeur obtenue sur ce critère de synthèse

■ Méthodes de type « surclassement » :

Principe : évaluer si une zone est préférée ou surclasse une autre zone

- mesurer les critères favorables et les critères défavorables
 - caractériser une règle de comparaison à 4 niveaux (surclasse, indifférent, incomparable, est surclassée)
- (nécessite un «échantillon d'apprentissage»)

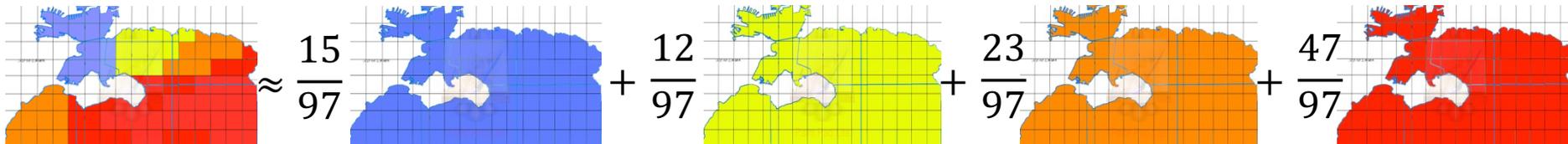
Dans la suite, on a utilisé la méthode de surclassement ELECTRE-TRI (car les méthodes de surclassement se basent davantage sur une information ordinale)

Agrégation multicritère

Question 4: Comment « noter » un ensemble de zones géographiques ou toute la carte?

1^{ère} approche: cas de « non interactions » entre les zones géographiques :

- La « notation » d'une carte est une moyenne pondérée de cartes homogènes.



2^{ème} approche: cas d'« interactions » entre les zones géographiques :

- La « notation » d'une carte doit intégrer la non-linéarité des effets

Utilisation de moyennes ensemblistes et définition d'exemples d'apprentissage



Conclusion

Le but de ce travail est de développer un ensemble de méthodes et d'outils de synthèse de l'information permettant de mieux rendre compte de l'impact d'un accident.

■ Travail effectué:

- Développement d'un cadre méthodologique pour construire des indicateurs d'impact
- Réalisation d'un cas d'étude avec le logiciel STERNE

■ Travail en cours :

- Développement de l'outil informatique associé
- Développement du cadre théorique sur l'intégration des incertitudes dans le contexte spatial

■ Travail prévu :

- Analyse de robustesse
- Livraison d'un outil informatique

Merci pour votre attention