

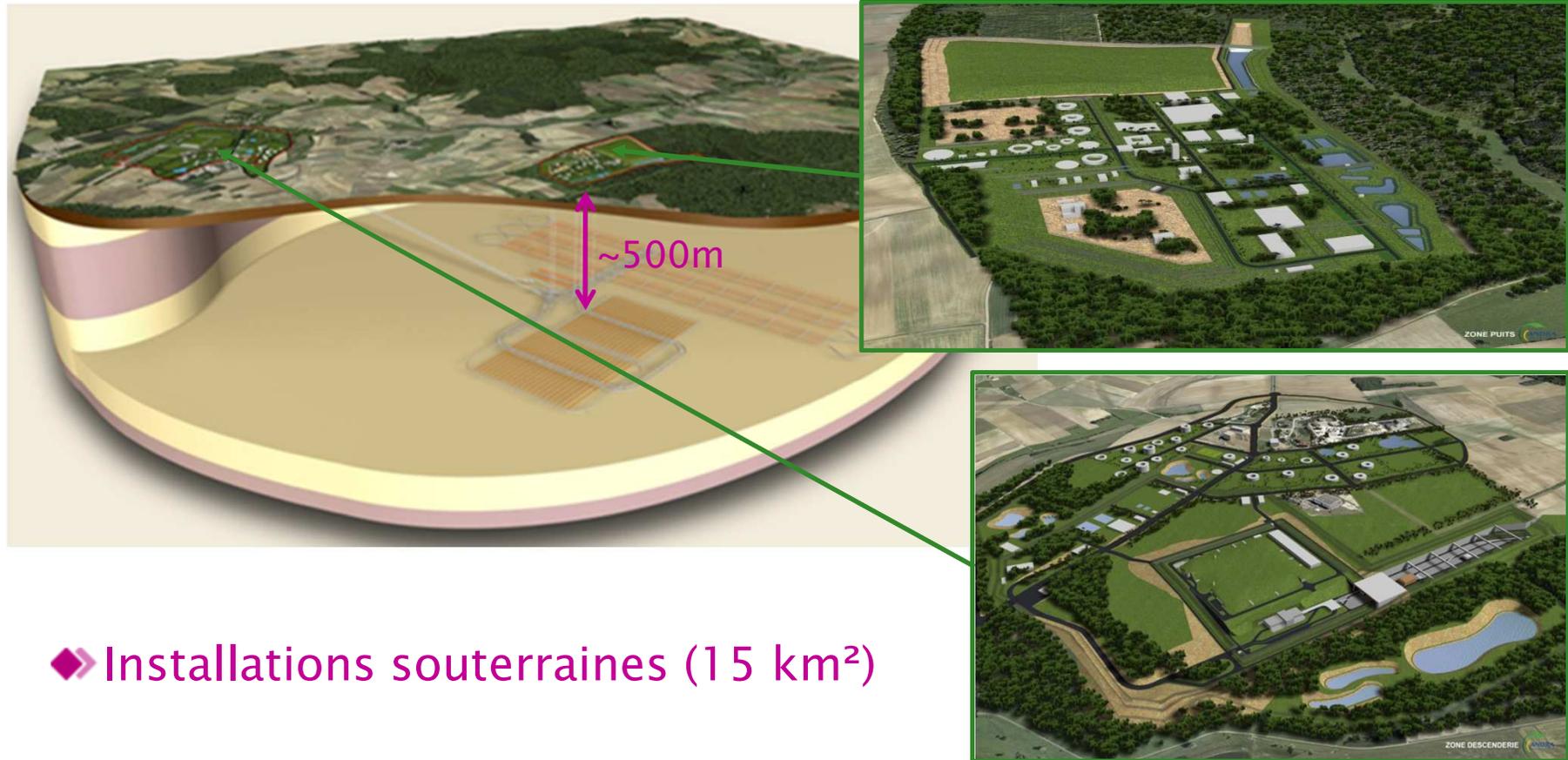


# EXERCICE DE HIERARCHISATION DES SUBSTANCES A SURVEILLER DANS LE CADRE DE L'OBSERVATOIRE PERENNE DE L'ENVIRONNEMENTE Elisabeth LECLERC

Eau, Radioactivité et Environnement  
Journées Techniques SFRP 3-4 décembre 2014



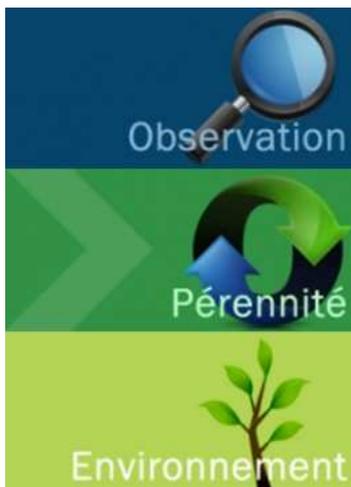
L'Observatoire Pérenne de l'Environnement  
(OPE)  
Associé au projet Cigéo, Centre industriel de  
stockage géologique des déchets de Moyenne  
et Haute Activité à Vie Longue



◆◆ Installations souterraines (15 km<sup>2</sup>)

◆◆ Installations de surface

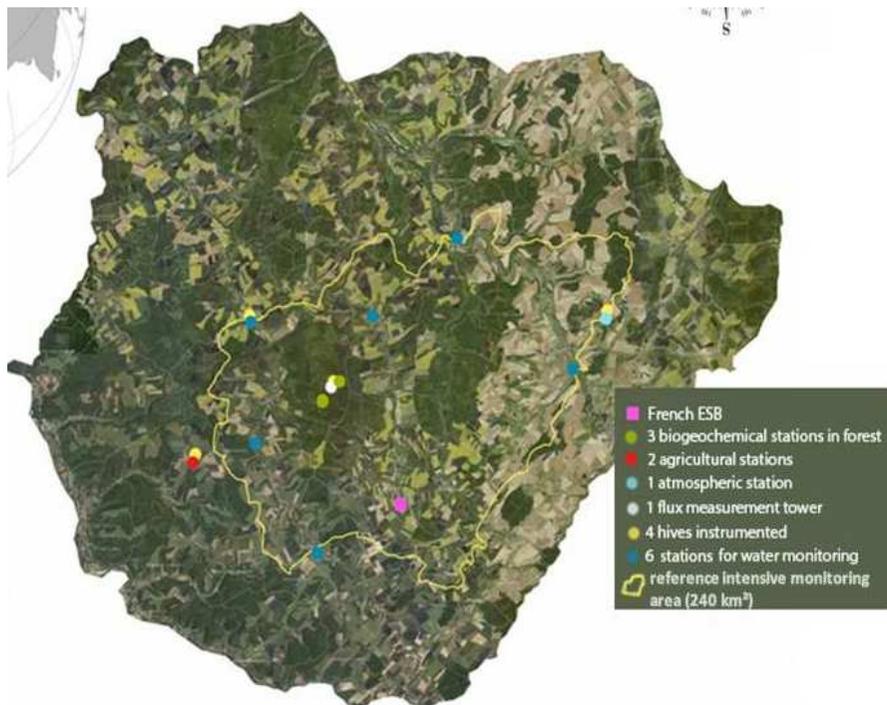
- *Zone d'arrivée des colis – zone descendrière (100 Ha)*
- *Zone de construction – zone puits (200 Ha)*



Surface de 900 km<sup>2</sup> à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne incluant 82 communes

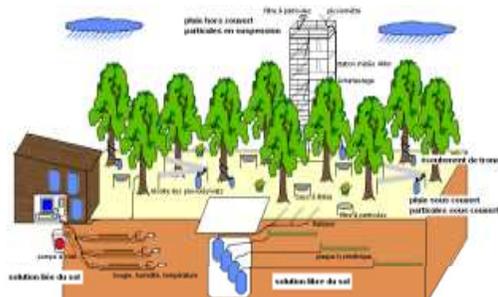
100 ans d'observation  
Avant et après l'installation de Cigéo

Un suivi complet de tous les écosystèmes et de toutes les espèces (y compris l'homme)





Réseaux d'observations et de suivi des milieux et de la biodiversité



Site expérimental forestier



Station atmosphérique

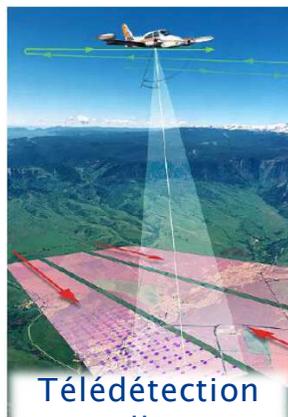


Stations de suivi des eaux



Site expérimental agricole

Base de données



Téledétection satellitaire et aéroportée



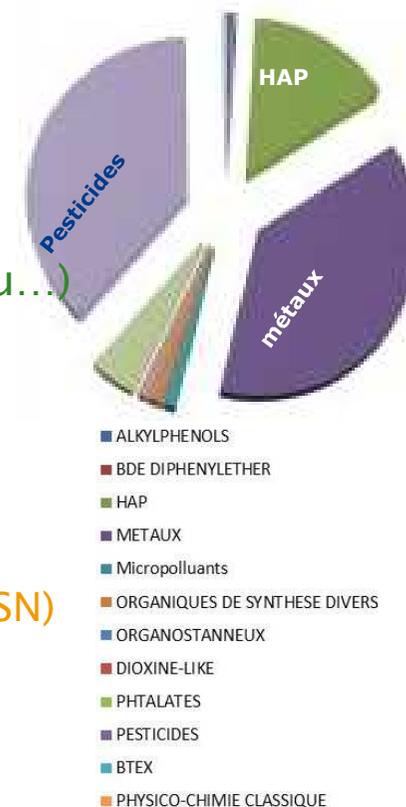
Ecothèque



Ruches instrumentées

## Qualité d'un territoire rural

- ◆ 3 facteurs principaux actuels de la qualité chimique
  - agriculture, industrie, urbanisme
- ◆ Etat de référence de la qualité du milieu aquatique
  - Mise en place du suivi : 2007-2010 (Directive Cadre sur l'Eau...)
  - Suivi chimique et biologique
  - Continu (5 stations instrumentées) & périodique
    - 17 points de prélèvements
    - 6 campagnes/an
  - 1er plan de suivi : 2011-2015
    - 470 substances chimiques analysées (cofinancement AESN)
      - » 18 familles de substances
      - » Seulement 7 % des substances quantifiés (hors physico-chimie)
    - Fond radiologique en collaboration avec IRSN

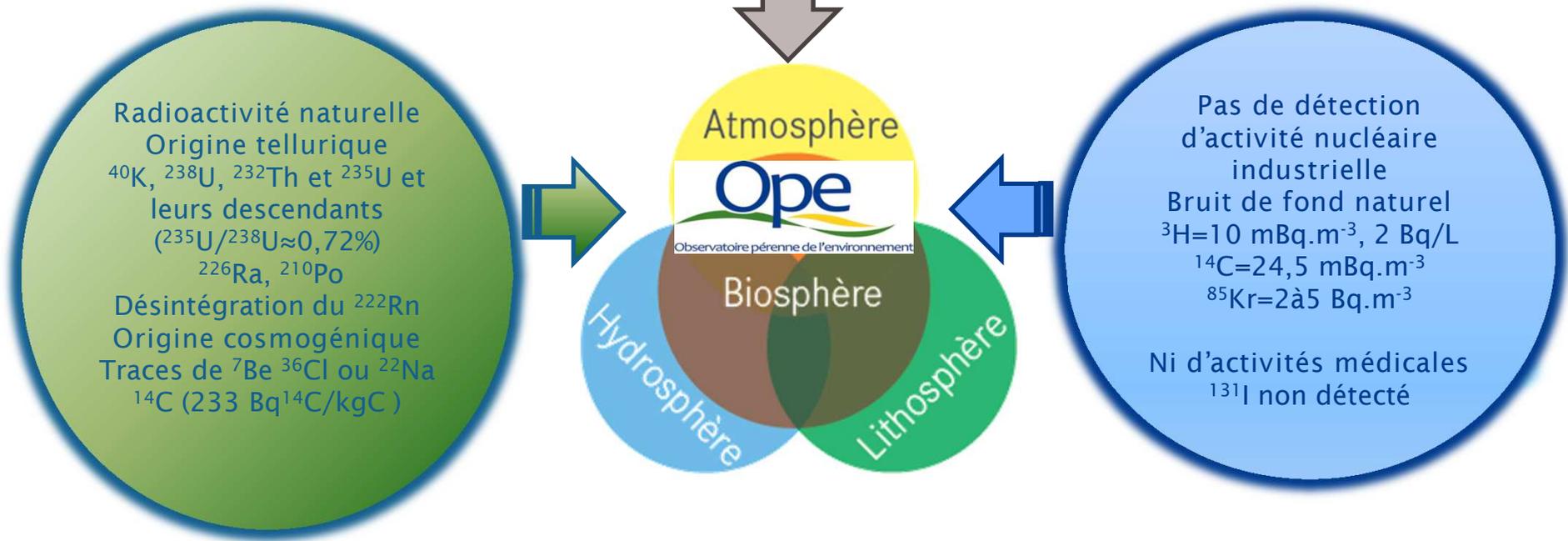


## Plan de suivi 2016-2020

- ◆ Optimisation des suivis



Retombées consécutives aux essais atmosphériques d'armes nucléaires et à l'accident de Tchernobyl  
 $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  et  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  proches de 0,03)  
 Fukushima ( $^{234}\text{Cs}$ )





# APPRIOS – Eau

## Approche Pluraliste pour la PRiorisation des Substances

### Méthodologie

## APPRIOS – Eau

- ◆ Déterminer et Hiérarchiser les substances prioritaires
  - pour la santé de l'Homme
  - pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques
- ◆ Liste hiérarchisée de substances prioritaires
  - aide à la décision pour l'élaboration du prochain plan de suivi de la qualité des milieux aquatiques

## Application d'une méthodologie originale

- ◆ Application à l'échelle territoriale de la méthodologie du PNSE 2, avec une approche pluraliste
  - Un groupe d'Experts (GE)
  - Un groupe de Parties Prenantes (GPP)

**Santé Environnement**  
2<sup>e</sup> Plan national 2009 > 2013



Groupe de travail Experts - 11 membres présents

Membres répartis selon 4 noyaux d'expertise :

- Santé-Environnement : évaluation d'impact sanitaire, environnemental...
- Santé : toxicologue, pharmacien, épidémiologiste
- Ecosystème aquatique : écotoxicologue, géochimistes, chimistes, vétérinaires, métrologues ...
- Radioécologie

SANTÉ-ENVIRONNEMENT  
MEDDE, ANSES

ECOSYSTEME AQUATIQUE  
INRA, BRGM, LNE, ONEMA, AESN, IRSTEA

SANTÉ HUMAINE  
Académiques : toxicologue, pharmacien,  
épidémiologiste

Radioécologie  
Andra, IRSN, EdF



Groupe de Parties Prenantes - 16 membres présents

- ◆ Sélection d'acteurs locaux, porteurs d'enjeux du territoire, sensibles à l'OPE et aux questions de Santé-Environnement
- ◆ Mode de la « gouvernance à cinq » (Grenelle Environnement II):
  - ÉTAT : DREAL, ARS
  - ONG/ASSOCIATIONS : Fédérations de chasse & pêche + retraités & association culturelle (ONG environnementales manquantes : Greenpeace, Mirabel, Acro...),
  - ENTREPRISES : industries/artisans locaux, chambre départementale d'agriculture
  - ÉLUS LOCAUX : maires, conseillers municipaux, communauté de communes
  - SYNDICATS DE SALARIÉS : CFDT, CGT



<b>ÉTAT</b>
→ Choix de consultation des délégations régionales de l'État les plus pertinentes en matière de Santé/Environnement
<b>ONG/Associations Environnementales et sanitaires</b>
→ Choix d'associations impliquées localement et en lien (sensibilité, compétences) avec la problématique APPRIOS
<b>SYNDICATS DES SALARIÉS</b>
→ Choix des deux syndicats des salariés les plus représentés nationalement
<b>ENTREPRISES</b>
→ Choix d'industries concernées par APPRIOS. Consultation des représentants de l'agriculture car milieu rural fortement agricole
<b>ELUS</b>

## Etape 1 : Choix de l'Univers des substances

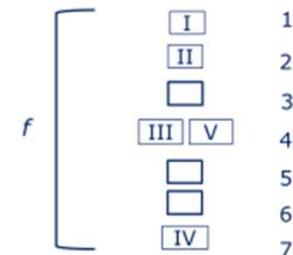
- Choix d'un ensemble (restreint) représentatif de substances sur lequel l'exercice de hiérarchisation va s'effectuer

## Etape 2 : Critères de hiérarchisation

- Choix d'un ensemble de critères de hiérarchisation (*persistance, bioaccumulation, cancérogénicité...*) qui présentent un enjeu au regard de l'objectif fixé.

## Etape 3 : Révélation des préférences

- Attribution de poids à chacun des critères, qui influence ensuite le classement de la substance dans la liste
- Utilisation de la méthode « des cartes » \*
  - Les critères rangés par ordre décroissant d'importance
  - Ajout de cartes blanches pour marquer les écarts
  - Définition d'un ratio  $f$  entre critères le plus important et le moins important



\* Simos J., 1990, *L'évaluation environnementale : Un processus cognitif négocié*

## Etape 4 : Analyse multicritères - ELECTRE

- Obtention d'une liste unique hiérarchisée

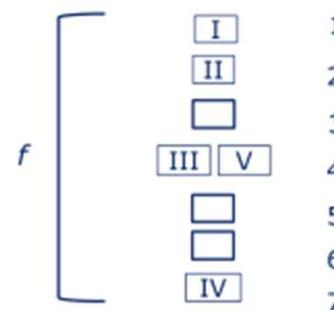
# 4 étapes Intégration des groupes à chaque étape clef

## 2. Liste des critères de hiérarchisation

		Bioaccumulable	Toxique	Ecotoxique	-----	Soluble
1. Univers des substances	<i>benzène</i>	2/2	4/4	3/4		2/2
	<i>lindane</i>	1/2	2/4	4/4		1/2
	-----					
	<i>Strontium</i>	2/2	3/4	4/4		1/2

## 3. Pondération des critères par la méthode des cartes

	Bioaccumulable	Toxique	Ecotoxique	Soluble
Poids	0.25	0.50	0.10	0.15



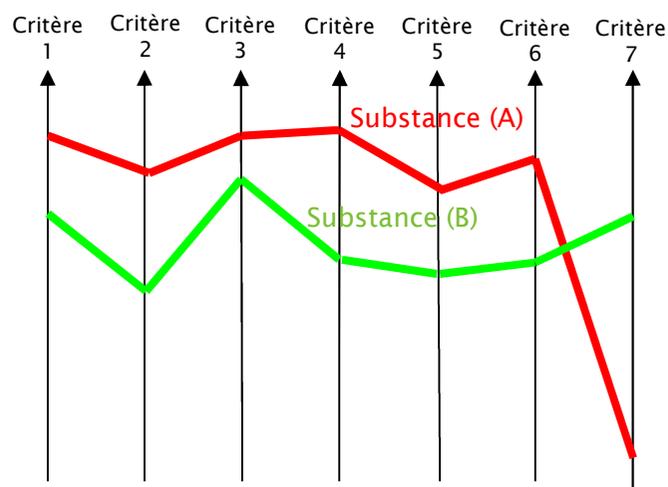
## 4. Analyse multicritères ELECTRE Hiérarchisation des substances



benzène > Strontium > lindane

### Analyse-muticritères

- ◆ Lorsque de nombreux critères sont en jeu : impossibilité de classer 2 actions sans jugements de valeur
- ◆ Différentes approches dont le surclassement de synthèse – méthodes ELECTRE
  - Développées depuis 1970 par l'U. Paris-Dauphine
  - Prise en compte de l'incomparabilité
    - Traitement précautionneux des informations et des résultats



- Idéal dans un contexte d'aide à la décision participative

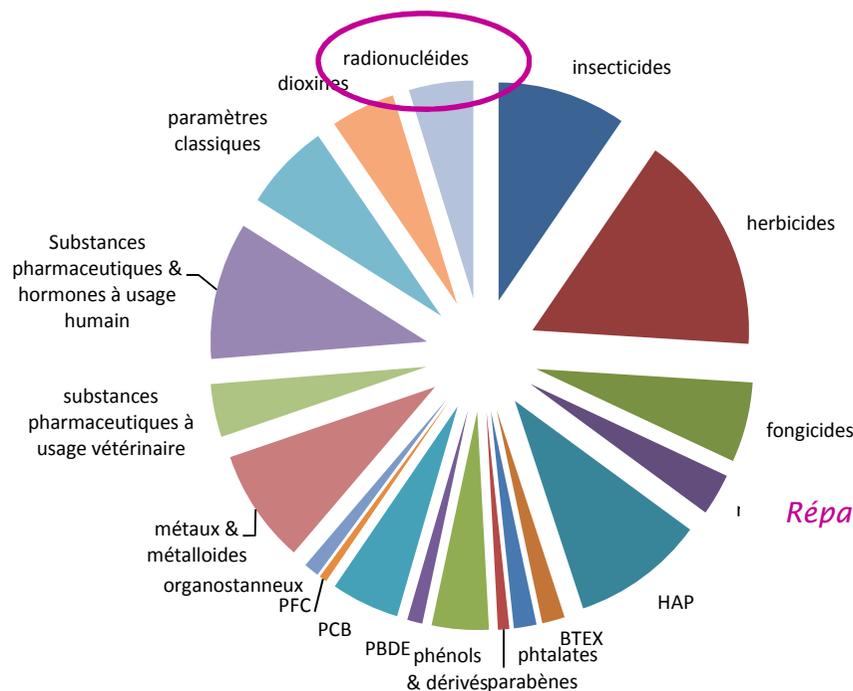


## Résultats principaux

Liste des substances choisies, critères sélectionnés, pondérations accordées, hiérarchisation

## Constitution de l'Univers des substances

- ◆ **Stratégie de construction : choix de substances spécifiques au territoire**
  - déjà quantifiées sur le territoire au travers des suivis menés par l'OPE et l'AESN (150/470) ,
  - réglementaires (Directive Cadre sur l'Eau, réglementation Eau potable) ,
  - potentiellement rejetées par le tissu socio-économique local ,
  - émergentes (Poly Fluoro Carbonés, biocides de produits ménagers, conservateurs alimentaires)



⇒ Liste de 400 substances

### Nouvelles substances

- + substances pharmaceutiques à usage humain & vétérinaires,
- + parabènes,
- + contraceptifs oraux,
- + conservateurs alimentaires
- + ...

*Répartition des principales familles présentes dans l'univers des substances*

# ÉTAPE 2 : Choix de 8 critères de hiérarchisation

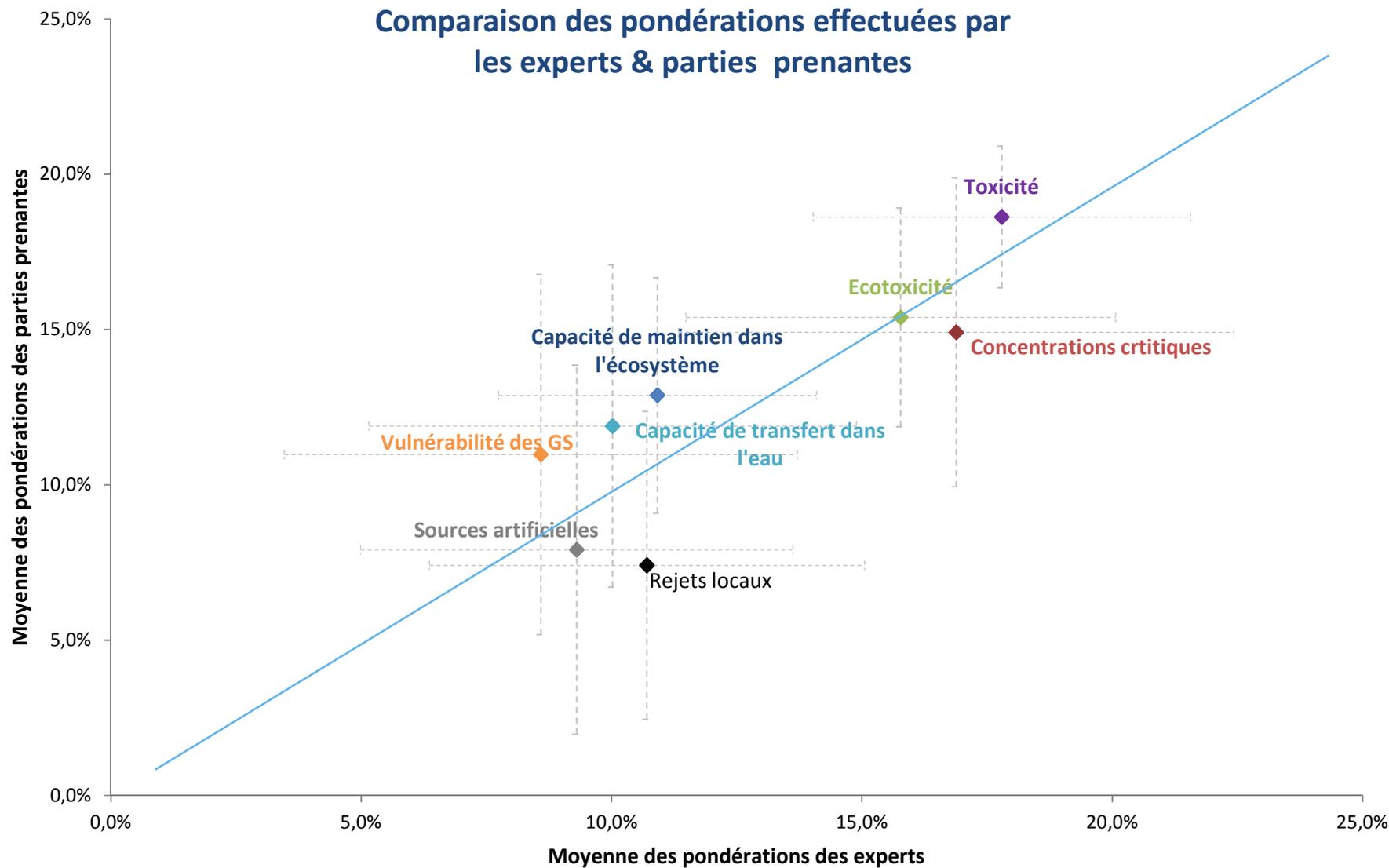
## Risque = f (exposition, danger, transfert)

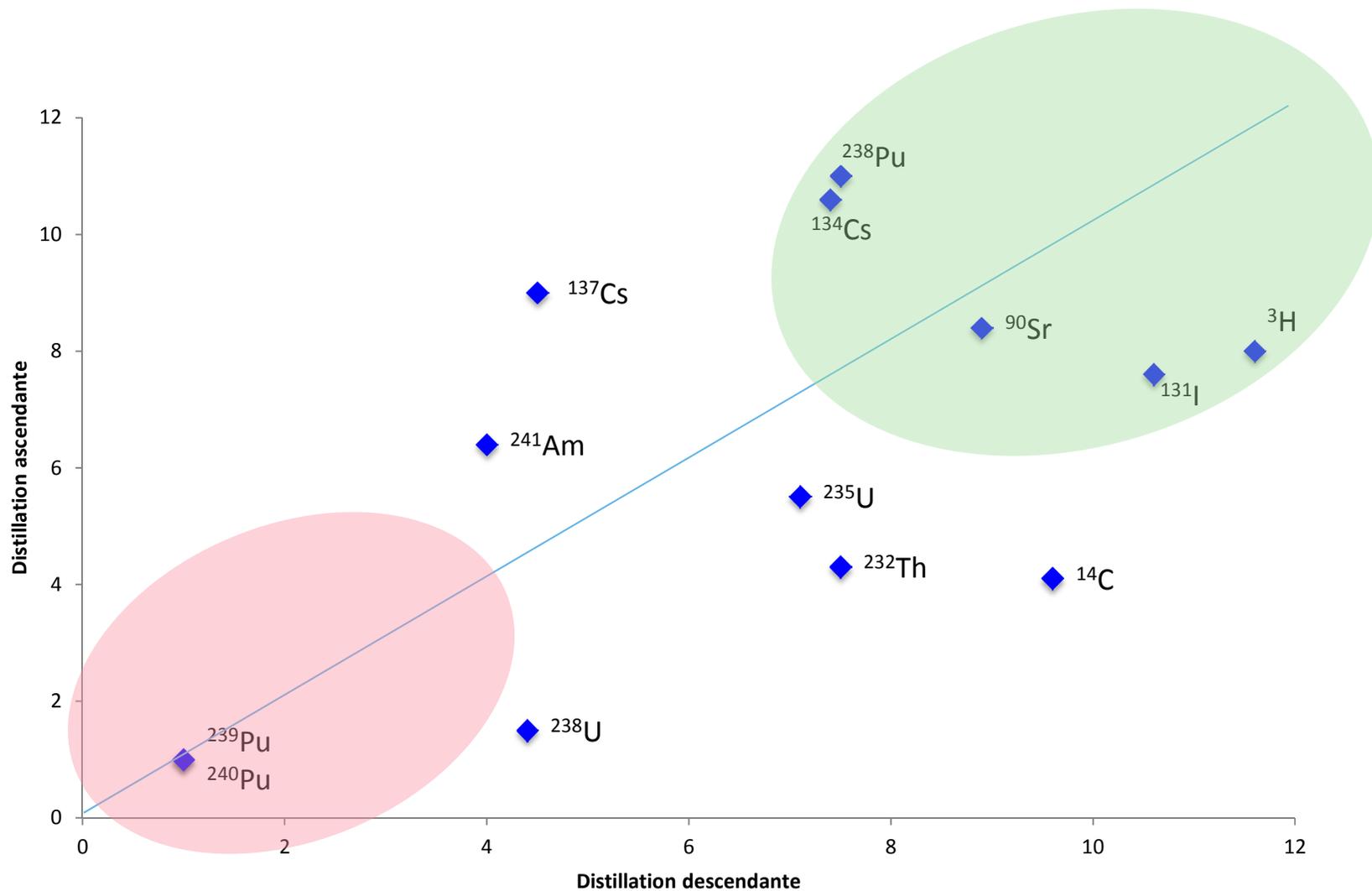
		Critères soumis à l'exercice de pondération		Définition proposée par les parties prenantes
Mécanismes de transfert		<b>1. Capacité de transfert dans l'eau</b>	Solubilité	<i>La substance a une capacité à se retrouver dissoute dans l'eau</i>
			Mobilité	
		<b>2. Capacité à se maintenir dans l'écosystème aquatique</b>	Bioaccumulation	<i>La substance a des dispositions intrinsèques à contaminer durablement le milieu aquatique</i>
			Persistance	
Danger		<b>3. Toxicité</b>	Cancérogénicité	<i>La substance a des effets néfastes, notamment irréversibles, sur la santé de l'Homme</i>
			Mutagénicité	
			Reprotoxicité	
			Perturbateur Endocrinien	
			Toxicité lésionnelle	
		<b>4. Écotoxicité</b>		<i>La substance produit des effets néfastes sur l'écosystème aquatique</i>
Exposition	cibles	<b>5. Vulnérabilité des groupes sensibles</b>		<i>La substance est plus néfaste sur des groupes humains sensibles</i>
	sources	<b>6. Sources artificielles</b>		<i>La substance est synthétisée, produite ou apportée par l'Homme dans le milieu</i>
		<b>7. Rejets locaux</b>		<i>La substance peut être retrouvée localement dans l'OPE</i>
	Risque local	<b>8. Concentrations critiques</b>	Risque local santé	<i>La substance dépasse, sur la zone OPE, une valeur de référence susceptible d'impacter les écosystèmes ou l'Homme</i>
Risque local environnement				

# Renseignement des 8 critères de hiérarchisation Radionucléides

Critère 1 : Transfert dans eau	
1_1. Solubilité	1_2. Mobilité
Coefficient de Solubilité Source : Fiche radionucléide	Kd MES Source : IAEA/TRS472
Critère 2 : Transfert dans l'eau	
2_1. Bioconcentration	2_2. Persistance
Concentration Ratio poisson Source : IAEA/TRS472	Période radiologique
Critère 3 : Toxicité	
Facteur de dose ingestion adulte	Source : Arrêté 2003
Critère 4 : Ecotoxicité	
Freshwater media concentration limite for water proposées dans (FWC) Source : ERICA	
Critère 5 : Vulnérabilité	
« Ratio FD » entre le facteur de dose adulte et celui de l'enfant de 1 an	
Critère 6 : Source anthropique/naturelle	
Naturel (N)/Artificiel (A)	
Critère 7 : Rejets locaux	
OPE	Cigeo
Critère 8 : Concentrations Critiques	
8_1. Risque local pour la santé	8_2. Risque pour les milieux aquatiques locaux
$R_{OMS}$ : ratio entre la Concentration maximale de l'OPE et la valeur guide de l'OMS	Ratio (RCF) CMAX OPE et le FWC FWC : valeur de freshwater media concentration limit for water proposées dans ERICA CMAXOPE : Concentration maximale annuelle de l'ensemble des mesures réalisées par l'OPE

# ÉTAPE 3 : Pondération des critères





## Etape 4 : Hiérarchisation – cas des radionucléides

### Ordre des 13 radionucléides

	Facteur de dose	Alternative	DistillaMM2 rank	Median rank	Final rank
Tritium ( <sup>3</sup> H)	1,80E-11	Uranium-235	14   14	15	10
Carbone-14	5,80E-10	Césium-137	8   15	11	7
Césium-137	1,30E-08	Iode-131	11   9	10	7
Césium-134	1,90E-08	Césium-134	7   15	9	6
Iode-131	2,20E-08	Strontium-90	8   8	7	6
Strontium-90	2,80E-08	Tritium	11   7	8	6
Uranium-238	4,50E-08	Carbone-14	8   1	6	5
Uranium-235	4,70E-08	Thorium-232	6   12	5	5
Américium-241	2,00E-07	Plutonium-238	5   1	4	4
Thorium-232	2,30E-07	Américium-241	4   1	3	3
Plutonium-238	2,30E-07	Uranium-238	3   1	2	2
Plutonium-239	2,50E-07	Plutonium-239	1   1	1	1
Plutonium-240	2,50E-07	Plutonium-240	1   1	1	1

◆ Deux critères expliquent la position de <sup>238</sup>Pu

- Persistance ( $T_{1/2}$  <sup>238</sup>Pu inférieure) &
- Concentration critique :

- Seuil OMS équivalent (1 Bq/L pour <sup>239,240</sup>Pu and <sup>238</sup>Pu)

- Ratio isotopique <sup>238</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu 0.03-0.04 représentatif des essais nucléaires (confirmé par mesures OPE (4.10-7 Bq/L and 10-8 Bq/L resp.))

◆ Un seul critère diffère entre les isotopes de l'uranium : concentration critique; <sup>238</sup>U est naturellement un ordre de grandeur au-dessus de l'<sup>235</sup>U (sédiments OPE :0,5-1 and 10 Bq/kg sec respectivement)

◆ Tritium et carbone 14 : rejets Cigéo

## Diapositive 21

---

**MM2**

a quoi correspondent ces colonnes ?

MAITRE Melanie; 02/12/2014



## Restitution des résultats en juin 2014

- ◆ Difficulté de compréhension de l'outil d'analyse multicritères ELECTRE
- ◆ Volonté d'avoir un retour sur les choix effectués concernant le plan de suivi des milieux aquatiques (critère technico-économique)

## Campagne d'entretiens individuels pour l'évaluation de l'exercice

- ◆ Meilleure vision des perceptions, appréhensions et souhaits des participants

## Valorisation de l'exercice APPRIOS-Eau

- ◆ Suivi des milieux aquatiques (2016-2020)
  - Articulation avec la liste nationale de substances prioritaires à intégrer au niveau de la DCE (Cofinancement AESN)
  - Prise en compte des critères technico-économiques
- ◆ Publications scientifiques des résultats obtenus, comparaison avec d'autres expériences pluralistes

# Merci de votre attention Et à toute l'équipe d'APPRIOS et OPE

## Participants APPRIOS

Groupe des parties prenantes

Groupe des experts

Organisateurs de la concertation

Mélanie MAITRE [melanie.maitre@andra.fr](mailto:melanie.maitre@andra.fr)

Virginie BESREST [besrest@eureval.fr](mailto:besrest@eureval.fr)

Elisabeth LECLERC [elisabeth.leclerc@andra.fr](mailto:elisabeth.leclerc@andra.fr)

Anne Christine LE GALL [Anne-Christine.LE-GALL@ineris.fr](mailto:Anne-Christine.LE-GALL@ineris.fr)

Yannick ARIMONE [yannick.arimone@andra.fr](mailto:yannick.arimone@andra.fr)

Jacques PICTET [jpictet@bluewin.ch](mailto:jpictet@bluewin.ch)

Aurélienne VILLENEUVE [Aurelie.VILLENEUVE@andra.fr](mailto:Aurelie.VILLENEUVE@andra.fr)



MM3

## Diapositive 23

---

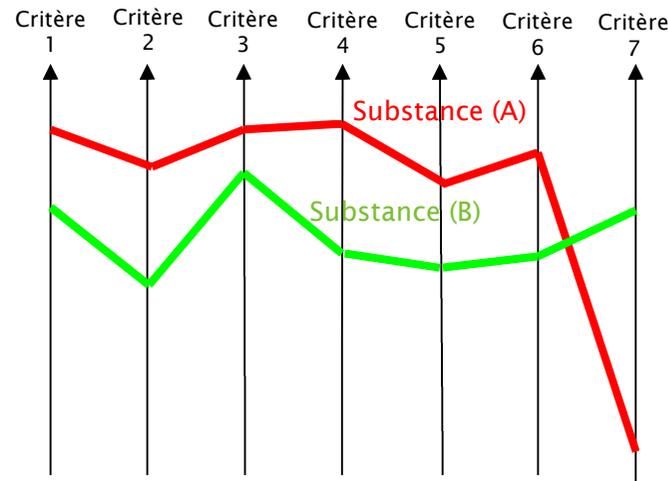
**MM3**

retirer le nom de chacun des participants. Nous nous sommes engagés à conserver l'anonymat.

MAITRE Melanie; 02/12/2014

## Analyse-multicritères

- ◆ Lorsque de nombreux critères sont en jeu : impossibilité de classer 2 actions sans jugements de valeur
- ◆ Différentes approches dont le surclassement de synthèse – méthodes ELECTRE
  - Développées depuis 1970 par l'U. Paris-Dauphine
  - Prise en compte de l'incomparabilité
    - Traitement précautionneux des informations et des résultats



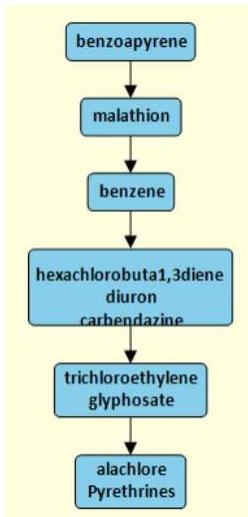
- Idéal dans un contexte d'aide à la décision participative

## 2 étapes principales

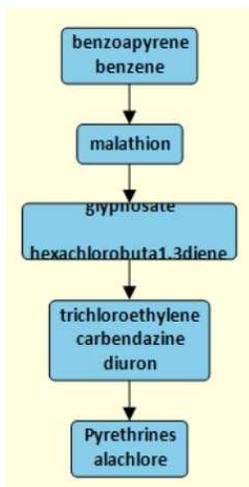
1. Comparaison des paires de substances en fonction des notes et des pondérations accordées aux critères
  - ↳ degré de crédibilité
  
2. Classement des substances par :
  - « *distillation descendante* » : par itération, sélection des « meilleures » substances
  - « *distillation ascendante* » : par itération, sélection des « moins bonnes » substances

➡ Ordre final qui tient compte des incomparabilités

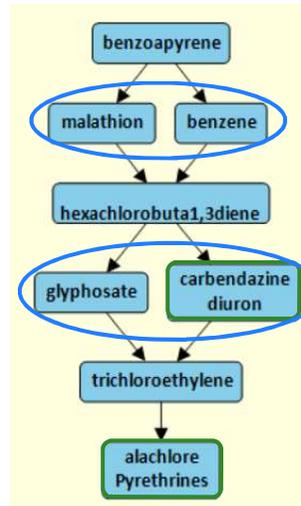
*distil. descendante*



*distil. ascendante*

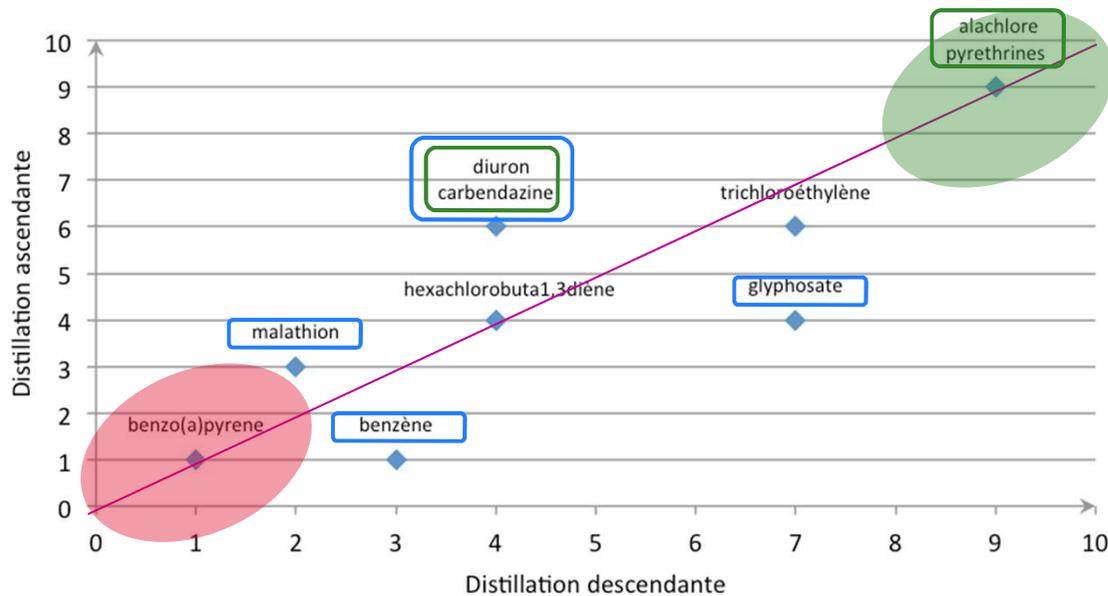


*ordre finalisé*



*Substances incomparables*

*Substances indifférentes*



*Substances incomparables*

*Substances indifférentes*

- ◆ Natural and artificial radionuclides already quantified in OPE area
  - only interesting radionuclides detected by common monitoring methods and in aquatic ecosystems have been considered

	Criterion 1 Transfer in water		Criterion 2 Persistence		Criterion 3 Toxicity	Criterion 4 Ecotoxicity	Criterion 5 Vulnerability of sensitive groups	Criterion 6 Artificial or natural origin	Criterion 7 Local release	Criterion 8 Critical concentration	
	Solubility	Mobility	Bioconcentration	Persistence						For human	For ecosystem
		Kd MES IAEA 2010 TRS472	CR Fish IAEA 2010 TRS472	T <sub>1/2</sub> Radioactive period	Ingestion dose coefficient	Freshwater media concentration limit ERICA FWC	Ratio ingestion dose coefficient for child and adult			Ratio Cmax OPE/Cmax WHO	Ratio CmaxOPE/ERI CA FWC
Césium-134	2	0	3	2	3	4	0	4	1	1	1
Césium-137	2	0	3	3	3	4	0	4	1	1	1
Carbone-14	1	2	4	4	1	1	2	1	4	1	1
Thorium-232	0	0	2	4	4	4	1	0	1	2	1
Uranium-235	0	2	1	4	3	4	2	0	1	3	2
Plutonium-238	0	0	4	3	4	4	1	4	1	0	0
Uranium-238	0	2	1	4	3	4	2	0	1	3	3
Plutonium-239	0	0	4	4	4	4	1	4	1	1	1
Plutonium-240	0	0	4	4	4	4	1	4	1	1	1
Américium-241	0	0	2	4	4	4	1	4	1	1	1
Strontium-90	1	0	2	3	3	2	2	4	1	0	1
Iode-131	2	1	2	0	3	1	4	4	1	0	0
Tritium (³H)	2	2	0	2	1	1	2	3	4	1	0

Red :  
expert  
judgment