



# Impact à long terme Cigéo Méthodologie et présentation de la démarche biosphère

Lise GRIFFAULT

Direction Maîtrise des Risques/Service Sûreté Après Fermeture

SFRP – 2 Octobre 2013

### Sommaire :

#### » Quelques rappels

- Rôle de la biosphère dans les évaluations de sûreté

#### » Démarche de choix et description des biosphères

- Définitions, Références et pratiques internationales
- La méthodologie BIOMASS appliquée aux différents centres Andra

- + *La définition du contexte de l'évaluation*

- + *Le choix de la ou des biosphère(s) type(s)*

- + *Identification et justification des compartiments du modèle conceptuel d'une biosphère*

- » Choix du ou des exutoire(s)

- » Choix du (ou des) groupe(s) de références

- » Choix des composantes sols, animaux, végétaux, climat local

- + *Identification et description des voies de transfert potentielles*

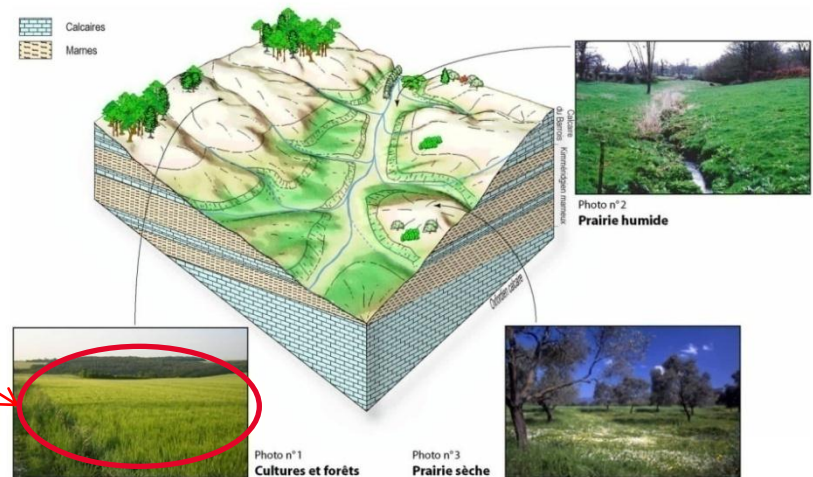
- + *Développement des modèles numériques pour la quantification*

#### » Conclusions

La protection immédiate et différée de l'homme et de l'environnement constitue le premier objectif fondamental assigné à tout centre de stockage de déchets radioactifs

## Biosphère :

- » Ensemble des écosystèmes, comprenant tous les êtres vivants et le milieu où ils vivent.
- » Dernier maillon pour modéliser les transferts des radionucléides et des toxiques chimiques vers l'homme
- » N'a pas de fonction de sûreté



Exemple dans le cadre du projet HA-MAVL  
(Dossier 2005 Argile)

- » Thématique commune aux différents centres conçus/exploités par l'Andra
- » Développements méthodologiques mis en œuvre pour les biosphères futures dans le cadre des projets de stockage de déchets à vie longue et haute activité
- » En cohérence avec les référentiels et les pratiques internationales
  - Notion de biosphère type (Guide ASN 2008)
    - + *Repose sur la prise en compte des changements environnementaux naturels et anthropiques.*
    - + *Biosphères représentatives des différents états que pourrait prendre la biosphère compte tenu des grands événements climatiques régionaux prévisibles*
    - + *Notion de groupes de référence hypothétiques représentatifs des individus susceptibles d'être soumis aux expositions les plus élevées*
    - + *Individus supposés vivre au moins partiellement en autarcie*
  - Cohérence avec la démarche BIOMASS de l'AIEA
    - + *Notion de biosphère de référence : modèle conceptuel d'une biosphère type*

## Définition du contexte

- 1) Le type de stockage (ou projet) concerné incluant la durée de vie des déchets (vie longue ou non),
- 2) Les échelles de temps relatives aux différentes phases de vie du stockage et leur durée (*incluant les dates de sortie aux exutoires si celles-ci sont connues*)
- 3) Les référentiels applicables,
- 4) Le ou les objectifs de l'évaluation,
- 5) Le ou les indicateurs retenus.

## Choix des biosphères à retenir pour les évaluations

- 1) Justification de la biosphère tempérée pour les phases d'exploitation et de surveillance
- 2) Identification et justification des biosphères types à long terme, phase après fermeture
- 3) Description phénoménologique de la ou des biosphère(s) type(s) retenue(s)

## Identification et justification des compartiments du modèle conceptuel d'une biosphère

- 1) Choix du ou des exutoires
- 2) Choix du ou des groupes de référence (actuel(s) ou hypothétique(s))
- 3) Choix des composantes sol, animaux, végétaux et climat local

## Modélisation des transferts de radionucléides ou toxiques entre compartiments du modèle

- 1) Identification des interrelations entre les composantes
- 2) Description afin de 'visualiser' les voies de transfert potentielles

## Développement du modèle numérique pour la quantification

- 1) Choix des modèles de transfert
- 2) Principe de sélection des données

## Définition du contexte



### » Éléments fondamentaux des évaluations à conduire :

- le type de stockage (ou projet) concerné (Cigéo)
- la durée de vie des déchets (vie longue haute activité)
- les référentiels applicables (guides, recommandations) (guide ASN 2008)
- le site ou la région d'implantation (Meuse/Haute-Marne France)
- le ou les objectif(s) de l'évaluation
- le ou les indicateur(s) retenu(s) (dose )
- les références internationales (CIPR, BIOMASS AIEA,...)

Choix des biosphères types à retenir pour les évaluations  
Puis leur description



Etape qui aboutit à la sélection d'une ou plusieurs biosphères types (tempérées, froides, chaudes...) à considérer pour l'évaluation

- » Prise en compte des changements environnementaux
- » Repose sur une étape d'identification des biosphères types plausibles
  - + *Simulations pour établir la liste des biosphères types plausibles (évolutions climatiques et géodynamiques)*
  - + *Choix sur la base des simulations: l'approche conduit à retenir les différentes biosphères types possibles sur la durée et les dates considérées dans le futur (en cohérence avec les scénarios retenus)*
  - + *Biosphères types sont considérées individuellement*
    - » Enchaînement au cours du temps non pris en compte
- » L'approche conduit à décrire un modèle conceptuel pour chacune des biosphères types considérées

Choix des biosphères types à retenir pour les évaluations  
Puis leur description



» Lorsque le choix des biosphères types est fait:

Description phénoménologique de chacune des biosphères retenues

+ *Description des composantes climat, végétation, faune sols, géomorphologie, géologie, hydrogéologie et activités humaines*

+ *Observations de biosphères représentatives des biosphères types retenues*

» ex: observation de toundra à l'actuel pour pouvoir décrire une biosphère future de type toundra

Caractéristiques plausibles de chacune des composantes

» En tenant compte des voies d'exposition potentielles d'individus



## Description phénoménologique lorsque les biosphères types sont choisies : + données d'entrée au modèle conceptuel

Climat	Végétation	Faune	Sols	Géomorphologie	Géologie	Hydrologie et Hydrogéologie	Communautés humaines
<p><b>Type Tempéré - Océanique :</b></p> <p>Observations _____ :</p> <p>Tan de l'ordre de 10°C Tmin de l'ordre de -2°C Tmax de l'ordre de 24°C Pan : [850 ; 1100] mm</p>	<p>Le climat est favorable à un <b>fort potentiel végétal</b> et à une bonne productivité.</p> <p><b>Forêt tempérée mixte</b> (feuillus et conifères introduits localement pour l'exploitation a progressivement laissé place, au cours des derniers millénaires, à <b>des espaces agricoles</b> maintenant dominants , mais des résidus de cette forêt subsistent. Les fonds de vallées des prairies (humides ou non selon substrat géologique)</p>	<p>Sanglier Chevreuils Lièvre</p>	<p>Fonds de vallée : <u>sols</u> brunifiés profonds sur <i>alluvions/colluvions</i> généralement carbonatés et <i>hydromorphes</i> (sur <i>Marnes</i>)</p> <p><u>Versants</u> : sols bruns peu épais, caillouteux et carbonatés, peu profonds à dominance argileuse</p> <p><u>Plateaux</u> : sols rendzines brunifiées peu épais caillouteux (sur calcaires), sols bruns, peu épais à dominance argileuse caillouteux ou pas (sur calcaires), et sols bruns faiblement lessivés acides profonds à dominance limoneuse (sur Valanginien ou placages limoneux).</p> <p>Sols anthropisés de jardin ou industriels</p>	<p><b>Relief structural</b> : paysage <i>cuestas</i> avec lignes de côtes calcaires et dépressions marneuses.</p> <p><u>Fonds de vallée</u> : inondables ; <i>plaines alluviales</i>.</p> <p><u>Versants</u> : stabilisés.</p> <p><u>Plateaux</u> : stabilisés.</p>	<p>Alternance de couches calcaires dures formant les points hauts des plateaux et de couches argilo-marneuses formant les dépressions.</p>	<p><b>Cours d'eau méandriformes</b> Sous dimensionnés dans leurs vallées et divaguant sur leurs plaines alluviales. Plaines alluviales momentanément inondées.</p> <p>Nappe alluviale, <i>aquifère</i> des Calcaires du Barrois, <i>de sources karstiques</i> en fond de vallée</p> <p>Les aquifères se situent dans le Tithonien, l'Oxfordien et le Dogger.</p>	<p><b>Exploitation agricole</b> : Pratique dominante. - Culture céréalière (orge, maïs d'ensilage) - Jardins potagers d'appoint.</p> <p>- Elevage bovins, porcins, ovin, - Chasse (gibier), cueillette (champignons et baies sauvages) et pêche de loisir</p> <p>-</p> <p>La communauté s'alimente en eau grâce à des puits pompant dans les aquifères à l'affleurement</p>

### Exemple de description phénoménologique d'une biosphère type tempérée (Dossier 2005 Argile)

### Identification et justification des compartiments du modèle conceptuel



- » Identification et justification des compartiments du modèle conceptuel de chaque biosphère
  - Choix des exutoires
  - Choix des groupe(s) de référence hypothétique(s)
  - Choix des composantes : atmosphère, sol, végétaux et animaux
  
- » Puis identification des interrelations entre compartiments
  - Voies de transfert potentielles vers l'homme

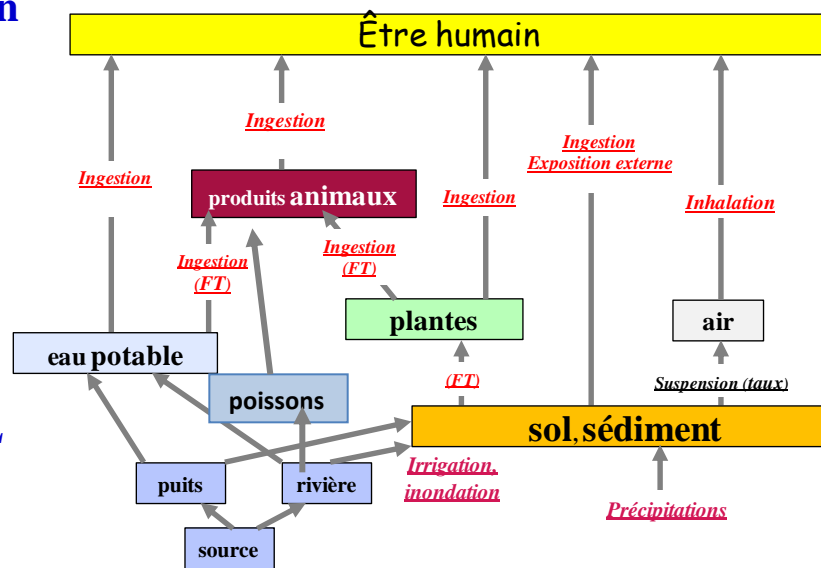
)) Identification et justification des compartiments du modèle conceptuel

Eau de l'exutoire potentiellement contaminé		Irrigation Inondation (rivière)	Irrigation par aspersion (transfert foliaire)	Ingestion d'eau d'abreuvement	Ingestion d'eau de boisson
	Atmosphère, particules en suspension	Dépôt	Dépôt, Photosynthèse	Inhalation	Inhalation de particules remises en suspension
	Remise en suspension, Volatilisation	Sol	Transfert racinaire	Ingestion	Ingestion
	Transpiration	Lessivage, Feuilles mortes	Végétaux et produits végétaux	Ingestion	Ingestion
		Excrétion		Animaux et produits animaux	Ingestion
					Être humain (individu représentatif)

)) Visualisation des voies de transfert vers l'homme  
(exemple de voies de transfert potentielles)

Sv/an

Bq/L



### Choix des exutoires -1

» Qui s'appuie sur une étape d'identification et de caractérisation des exutoires potentiels

+ *identifiés selon une approche modélisations hydrogéologiques et de transport des radionucléides (incluant pour les temps longs, l'évolution globale du climat, de la géomorphologie et de l'hydrogéologie)*

» Choix basé sur la vraisemblance / réalisme de la localisation et de la production du ou des exutoire(s)

+ *Compatibilité des exutoires avec les possibilités de pompage pour les besoins du groupe exposé (cultures, élevages, jardin potager,...)*

+ *Recherche des zones de plus forte concentration en cohérence avec un scénario de contamination adapté aux débits de pompages possible*

» Choix conventionnels, qui considère le cas échéant des hypothèses déconnectées des modélisations

» Prise en compte de 3 classes d'âge :

- Enfants de 1 an
- Enfants de 10 ans
- Adulte

» Facteurs de dose recommandés par les CIPR

» Notion d'individu représentatif :

- correspond à l'individu décrit dans le modèle conceptuel
- individu représentatif de l'activité menée par chacun des groupes de référence actuels ou hypothétiques retenus (pêcheur, chasseur,...)
- Défini par sa classe d'âge, ses voies d'exposition et son comportement alimentaire

» Approche:

- Considérer a priori plusieurs groupes potentiellement exposés avec des comportements représentatifs des habitudes et ressources de la biosphère (type)
- Puis description d'un individu représentatif de chacun des groupes sélectionnés

Groupes potentiellement exposés	Détail des activités amenant à une exposition potentielle
	Ingestion d'eau contaminée
Agriculteur	Grandes cultures (céréales...)
Eleveur	Tout élevage (bovins, ovins, caprins, porcins, rennes, chevaux, autruches,...)
Villageois	Jardin potager
	Basse-cour
	Habitation
Pêcheur	Poissons (eau douce ou pas)
	Crustacés, mollusques
Chasseur	Gibier
Cueilleur	Champignons, baies
Touriste	Occasionnel (baignade, promenade, pique-nique)
Activité spécifique	Viticulture, scierie, carrière...sur la base des observations locales
Multi-activités	Regroupe agriculture, élevage, jardin potager et basse cour, chasse, pêche, loisirs

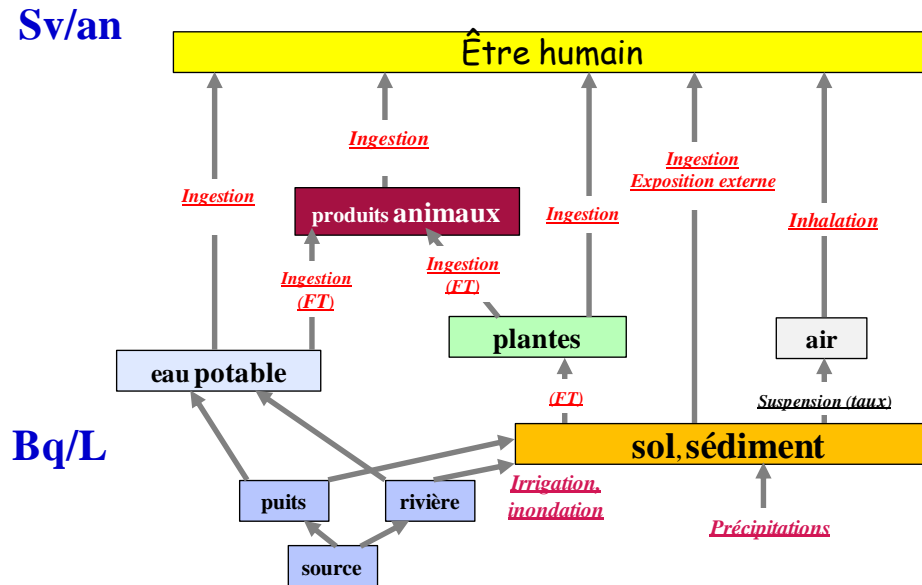
## L'approche conduit à examiner

- Un individu potentiellement soumis à une voie d'exposition particulière du fait de son activité spécifique,
  - + *Comportement particulier pour l'individu potentiellement soumis à une voie d'exposition particulière du fait d'une activité spécifique (pêche, chasse,...)*
  - + *Permet d'explorer les effets liés à une consommation importante d'un produit de son activité*
  - + *Régime alimentaire adapté, c'est-à-dire hors du commun majorant, si la loi de probabilité existe, 95ème percentile de la consommation d'un aliment, sinon consommation moyenne multipliée par 3*
  
- Un individu potentiellement soumis à l'ensemble des voies d'exposition du fait de ses multiples activités
  - + *Comportement moyen envisagé pour l'individu potentiellement soumis à l'ensemble des voies d'exposition du fait de ses multiples activités (jardin potager, basse cour, élevage...)*
  - + *Régime alimentaire moyen basé sur des statistiques ou études locales (ex: INSEE 1991)*
  
- Pas de comportement extrême considéré comme irréaliste
  - + *Ne pas cumuler plusieurs comportements particuliers sur un même individu ou groupe*

### L'approche conduit à

- La sélection des composantes de manière à explorer toutes les voies de transfert potentielles de la biosphère type considérée
- La sélection des composantes en lien avec l'exutoire et les activités de l'individu représentatif

Modélisation des transferts de radionucléides ou toxiques entre compartiments du modèle





## Développement du modèle numérique pour la quantification



### » Choix des modèles numériques

#### ❑ Quatre modèles pour tout type de stockage et toute échelle de temps

- + *Pour tous les radionucléides, excepté  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^3\text{H}$  et  $^{14}\text{C}$ , un modèle compartimental utilisant des facteurs de transfert entre compartiments à l'équilibre*
- + *Pour  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^3\text{H}$  et  $^{14}\text{C}$ , un modèle de transfert spécifique basé sur la dilution isotopique.*

### » Détermination des paramètres nécessaires à la quantification

#### ❑ Paramètres contextuels (climat, rations alimentaires...)

- + *Obtenus par enquêtes locales*

#### ❑ Paramètres radio-écologiques (par exemple, le facteur de transfert d'un radionucléide donné du sol à la plante ou le coefficient de distribution $K_{d_{\text{sol}}}$ ).

- + *Données à acquérir (expérimentations,...)*

## » La biosphère

- ❑ Dernier maillon pour modéliser les transferts des radionucléides et des toxiques chimiques vers l'homme
  
- ❑ Développement méthodologique s'appuyant sur les pratiques internationales
  
- ❑ Une démarche de choix et de description des biosphères à considérer dans les évaluations  
+ *application au projet Cigéo*

### Définition du contexte

- 1) Le type de stockage (ou projet) concerné incluant la durée de vie des déchets (vie longue ou non),
- 2) Les échelles de temps relatives aux différentes phases de vie du stockage et leur durée (*incluant les dates de sortie aux exutoires si celles-ci sont connues*)
- 3) Les référentiels applicables,
- 4) Le ou les objectifs de l'évaluation,
- 5) Le ou les indicateurs retenus.

### Choix des biosphères à retenir pour les évaluations

- 1) Justification de la biosphère tempérée pour les phases d'exploitation et de surveillance
- 2) Identification et justification des biosphères types à long terme, phase après fermeture
- 3) Description phénoménologique de la ou des biosphère(s) type(s) retenue(s)

### Identification et justification des compartiments du modèle conceptuel d'une biosphère

- 1) Choix du ou des exutoires
- 2) Choix du ou des groupes de référence (actuel(s) ou hypothétique(s))
- 3) Choix des composantes sol, animaux, végétaux et climat local

### Modélisation des transferts de radionucléides ou toxiques entre compartiments du modèle

- 1) Identification des interrelations entre les composantes
- 2) Description afin de 'visualiser' les voies de transfert potentielles

### Développement du modèle numérique pour la quantification

- 1) Choix des modèles de transfert
- 2) Principe de sélection des données