

The logo for IRSN, featuring the letters 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The 'I' and 'R' are red, while the 'S' and 'N' are blue.

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Historique sur les plans d'urgence des centrales électronucléaires à eau sous pression

9 décembre 2015 / ANCCLI

Présenté par E. COGEZ

# Plans d'urgence

## ■ Objectif

- Assurer dans les meilleures conditions la protection des populations, y compris dans des cas d'accident plus graves que ceux retenus lors du dimensionnement des installations
  - En effet, toutes les dispositions techniques et organisationnelles mises en œuvre pour assurer la sûreté des installations nucléaires ont leurs limites
  - Des accidents graves entraînant des rejets importants pourraient survenir à la suite de combinaisons de défaillances.

## ■ Actions de l'exploitant : PUI

- Actions visant à réduire l'importance des rejets

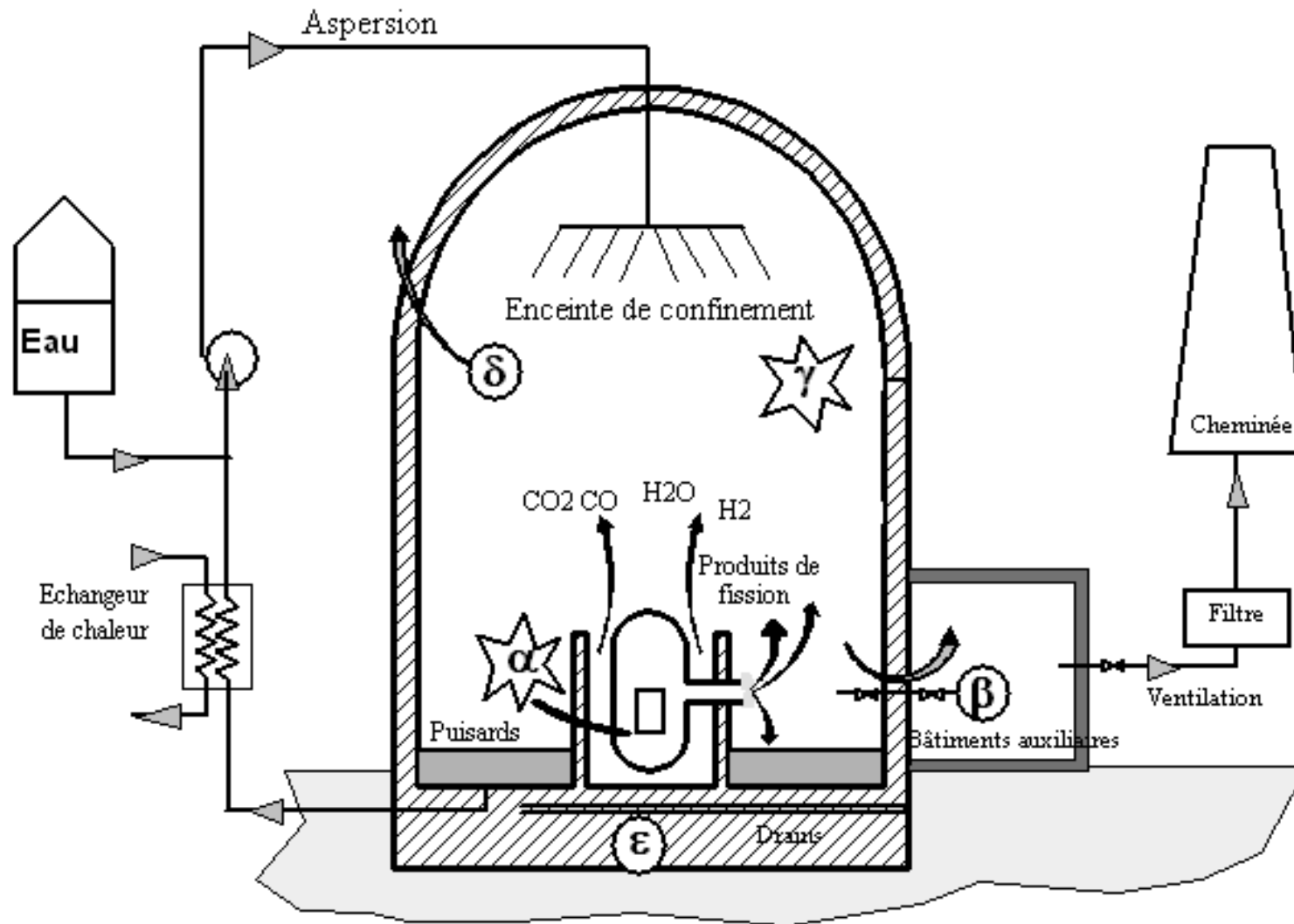
## ■ Actions des pouvoirs publics :

- PPI dans le cadre ORSEC
- Actions de protections des populations : mise à l'abri, évacuation, ingestion d'iode stable, (restrictions de consommation)

## Bases techniques - fin des années 1970, début des années 1980

- **Apprécier en particulier les rejets à considérer**
  - Détermination de 1 ou plusieurs « termes sources »
  - C'est-à-dire de rejets-types représentatifs de familles d'accident
- **Elaboration par l'IPSN de « termes sources » de référence**
  - En exploitant les résultats d'une étude américaine : rapport WASH 1400 ou rapport RASMUSSEN
    - Première Etude Probabiliste de Sûreté (EPS)
    - Etude en particulier des modes de défaillance de l'enceinte de confinement lors d'un accident de fusion du cœur
    - Donc « hors dimensionnement » pour les réacteurs REP existants

## Mode de dégradation du confinement (Rasmussen)



## Bases techniques - fin des années 1970, début des années 1980

### ■ L'IPSN a proposé de distinguer 3 grandes familles

- Terme source S1
  - Les accidents qui pourraient entraîner une défaillance à court terme (quelques heures au plus) de l'enceinte
    - Exemple : Tchernobyl
- Terme source S2
  - Les accidents qui pourraient entraîner une défaillance à terme (de l'ordre de 24h) de l'enceinte et un rejet sans filtration
- Terme source S3
  - Les accidents qui pourraient entraîner une défaillance à terme (de l'ordre de 24h) et un rejet filtré

### ■ Différenciées par 2 paramètres :

- Le délai de défaillance de l'enceinte
  - qui permet aux aérosols radioactifs de se déposer et de ne plus être « disponibles » pour le rejet
- La filtration
  - Réduction du rejet

# Bases techniques - fin des années 1970, début des années 1980

## ■ Terme source S1

- Correspond à des phénomènes brutaux
  - Explosion vapeur
  - Détonation hydrogène
  - ...
- L'état de connaissance et les dispositions prises permettaient (ou devraient permettre à terme) d'« exclure » la défaillance de l'enceinte

# Bases techniques - fin des années 1970, début des années 1980

## ■ Terme source S2

- Correspond au développement de séquences accidentelles avec fusion du cœur  
=> percement de la cuve ; interaction corium-béton
  - Rejets directs par des « chemins de fuite » dans le radier
  - Rejets directs par une montée en pression de l'enceinte au-delà de la pression de dimensionnement
  - Couvre aussi des cas d'inétanchéités préexistantes de l'enceinte
  
- Des dispositions de renforcement de l'enceinte étaient envisagées à la suite de l'accident de TMI (mises en place dans les années 1980)
  - Suppression sous les cuves des « chemins de fuite » dans les radiers
  - Mise en place d'un système d'éventage après filtration de l'enceinte (U5)
  - Mise en place de procédures pour repérer et remédier aux inétanchéités de l'enceinte

## Bases techniques - fin des années 1970, début des années 1980

- Ces considérations ont conduit à retenir le terme source de référence S3 pour la définition des protections des populations à court terme
  - Considéré à l'époque comme un rejet de courte durée (une unique bouffée)
  - Conséquences évaluées avec les conditions météorologiques « favorables » : DN5 sans pluie
- Dans le même temps, un examen de l'environnement des sites par la Direction de la Sécurité Civile (DSC) montrait qu'il devrait être possible :
  - De mettre à l'abri les population ou de leur distribuer de l'iode stable dans un rayon de 10 km
  - D'évacuer les populations dans un rayon de 5 km
  - Et ce dans un délai de 12 à 24 h



## Les recommandations internationales - début des années 1980

- **Texte de référence (à l'époque) : CIPR 40 adoptée en 1984**
  - Difficulté à définir des niveaux d'intervention applicables à toutes les situations => « fourchettes de doses »

|  | Dose au corps entier (mSv) | Dose à la thyroïde (mSv) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| <b>Mise à l'abri et administration d'iode stable</b> |                            |                          |
| Valeur haute   | 50                         | 500                      |
| Valeur basse   | 5                          | 50                       |
| <b>Evacuation</b>                                    |                            |                          |
| Valeur haute   | 500                        | 5 000                    |
| Valeur basse   | 50                         | 500                      |

- **Les conséquences ne dépassant pas les valeurs hautes à 5 et 10 km, il a été décidé de considérer dans les PPI des REP :**
  - Evacuation dans un rayon de 5 km
  - Mise à l'abri ou ingestion d'iode stable dans un rayon de 10 km

## Evolution des connaissances - fin des années 1980, début des années 1990

- **Bilan des connaissances par l'IPSN issues des travaux de R&D depuis le rapport Rasmussen**
  - Pas de modification du terme source S3
  - Mais étalement des rejets dans le temps
    - Ouverture du système d'éventage 24h après le début de l'accident
    - Rejet par le système d'éventage pendant 24h
  
- **Révision des recommandations de la CIPR**
  - CIPR 60 de 1991 (repris dans la directive européenne n°96/29) :
    - Met l'accent sur l'optimisation
  - CIPR 63 de 1993 :
    - Utilisation de niveaux d'intervention exprimés en termes de doses évitées par la mise en œuvre d'une contre-mesure
      - Maximiser la dose évitée autant que raisonnablement possible

## Evolution des connaissances - fin des années 1980, début des années 1990

### ■ Doses évitées

#### ■ La CIPR 63 indique

- des valeurs de doses évitées au-dessus desquelles la contre-mesure est « presque toujours justifiée »
- Que les valeurs optimisées devraient être supérieures au dixième des valeurs précédentes

| Type d'intervention   | Doses évitées                        |   |
|---|--------------------------------------|---|
|   | Niveau « presque toujours justifié » | Niveau optimisé   |
| Mise à l'abri   | 50 mSv                               | Pas inférieur d'un facteur supérieur à 10 au niveau « presque toujours justifié » |
| Administration d'iode stable (équivalent de dose à la thyroïde)     | 500 mSv                              |   |
| Evacuation (pour une durée inférieure à une semaine) <sup>[1]</sup> | 500 mSv                              |   |

[1] Une évacuation d'une durée supérieure à une semaine est considérée par la CIPR comme un relogement pour lequel elle propose un niveau « presque toujours justifié » de 1 Sv.

- En pratique, pas d'utilisation en France du concept de dose évitée supposée égale à la dose évaluée en l'absence de contre-mesure => pas de nécessité de faire évoluer la planification (même niveau de référence)
- Néanmoins, à l'occasion des 10 ans de Tchernobyl, le ministre de la santé a décidé la pré-distribution d'iode dans le rayon PPI (optimisation - REX d'exercices)

## Au début des années 2000

- **A l'occasion de la révision de la doctrine PPI dans les années 2000, introduction du déclenchement du PPI en mode réflexe**
  - Optimisation des actions de protection
  - Pour couvrir les premières heures d'un accident où les centres de crise ne sont pas opérationnels
  - Mise à l'abri et à l'écoute dans un rayon de 2 km pour les REP
  - L'ingestion d'iode réflexe n'a pas été retenue comme mesure réflexe
- **Evolution des coefficients de dose de la CIPR**
  - Évolutions pénalisantes pour les doses
- **Le ministère de la santé a fixé les niveaux d'intervention suivants pour l'établissement des PPI :**
  - 10 mSv pour la mise à l'abri
  - 50 mSv pour l'évacuation
  - 100 mSv à la thyroïde pour l'ingestion d'iode stable

➤ Évalués pour la catégorie de population recevant la dose la plus forte (enfants de moins de 1 an pour les REP)

# ACCIDENT RETENU POUR L'ELABORATION DU PPI D'UN SITE REP

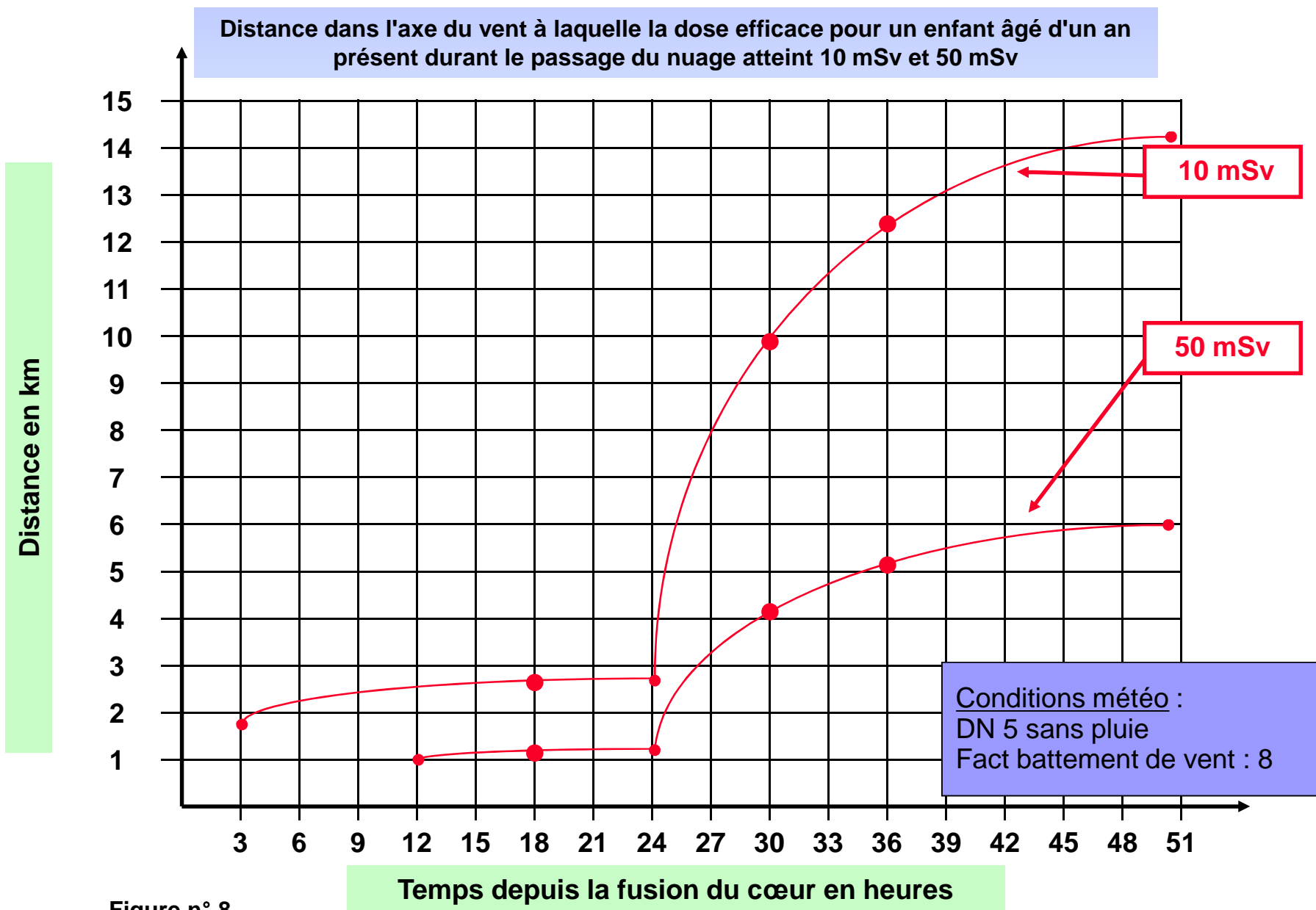


Figure n° 8

# ACCIDENT RETENU POUR L'ELABORATION DU PPI D'UN SITE REP

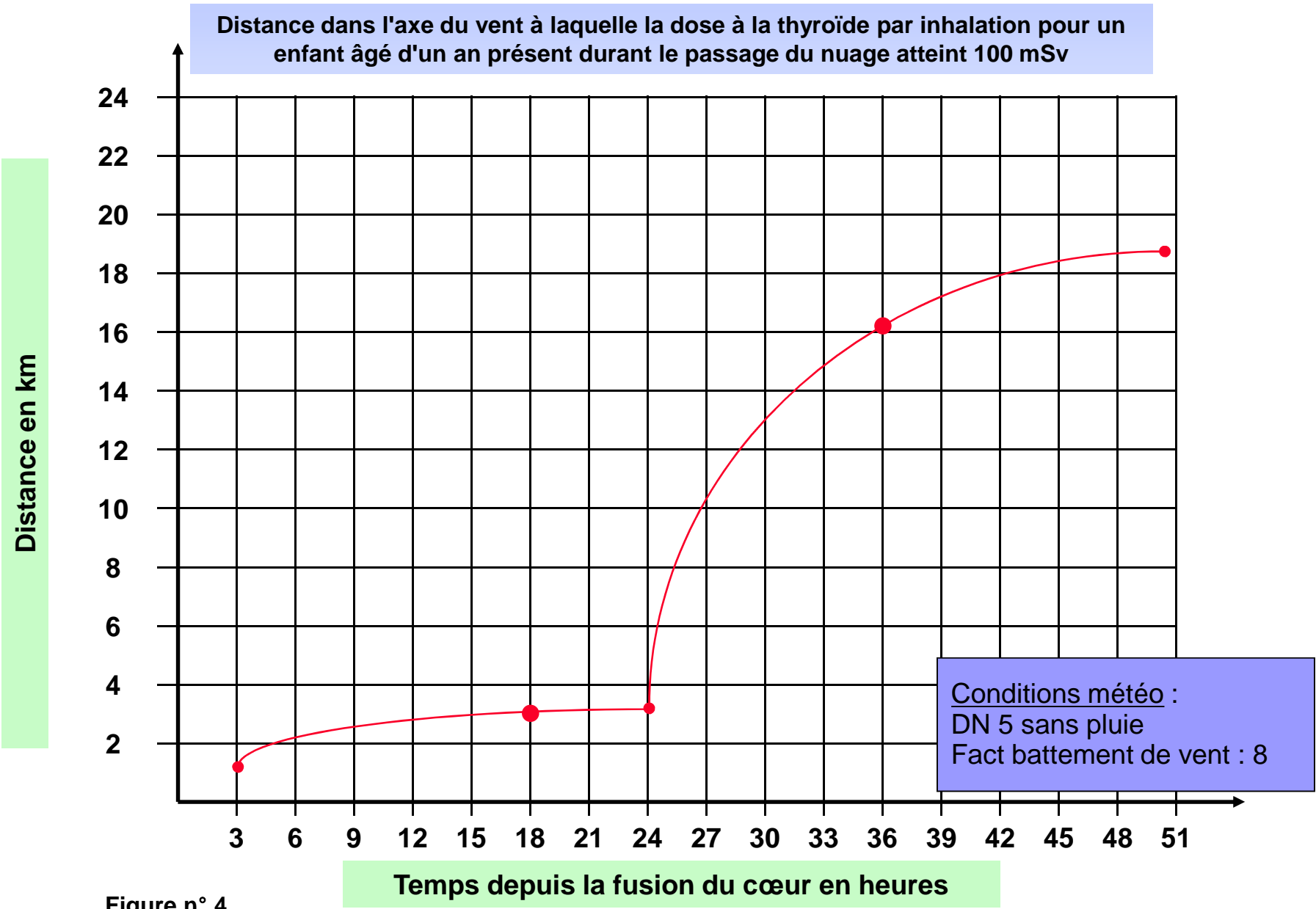


Figure n° 4

## Evolution des connaissances : fin des années 1990

- **IPSN a entrepris une nouvelle étude des rejets envisageables pour tenir compte de l'amélioration des connaissances**
  - Premiers essais PHEBUS PF
  - Les hypothèses étaient globalement « raisonnablement pessimistes »
  - 3 séquences accidentelles avec une grosse brèche (12'')
  - Globalement, les conséquences étaient équivalentes avec une majoration sensible pour les 1300 et 1450 MWe
    - Incertitude sur l'iode, notamment sur la formation de l'iode organique (coef. de conversion de 3 % pour EDF et 10 % pour l'IRSN)
    - Incertitude sur l'ICB - certaines séquences conduisaient à percer le radier en moins de 24 h
  - Réduction du terme source en Cs
- **Les plans n'ont pas été modifiés sachant :**
  - Que les conséquences du terme source S3 étaient déjà supérieures aux rayons PPI
  - Que des efforts expérimentaux et analytiques devaient être engagés

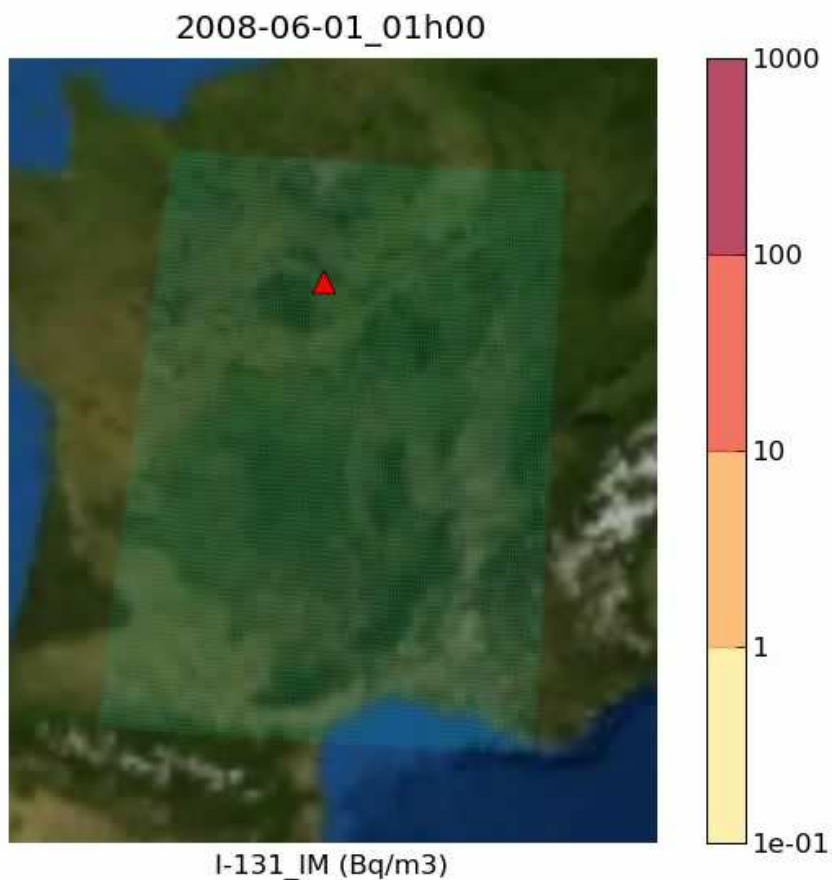
## Etat à ce jour

- **Nouvelles publications de la CIPR : CIPR 103 de 2007 et CIPR 109 de 2009**
  - Nouvelles approches pour la gestion de crise
    - Plus de référence à la dose évitée
    - Insiste sur l'optimisation dans le cadre d'une stratégie globale de protection (urgence + post-accident)
    - Un niveau global pour l'optimisation doit être choisi inférieur à 100 mSv
    - L'optimisation est recherchée en dessous de ce niveau
- **Abaissement du niveau d'intervention pour l'iode à 50 mSv en 2009**
  - Recherche d'une harmonisation européenne
- **Scénario AG pour le CodirPa**
  - Grosse brèche
  - Perte des moyens d'injections et des moyens d'aspersion
  - Ouverture du système d'éventage à to+54h
  - Météo réelle (observée en France pendant l'accident de Tchernobyl)

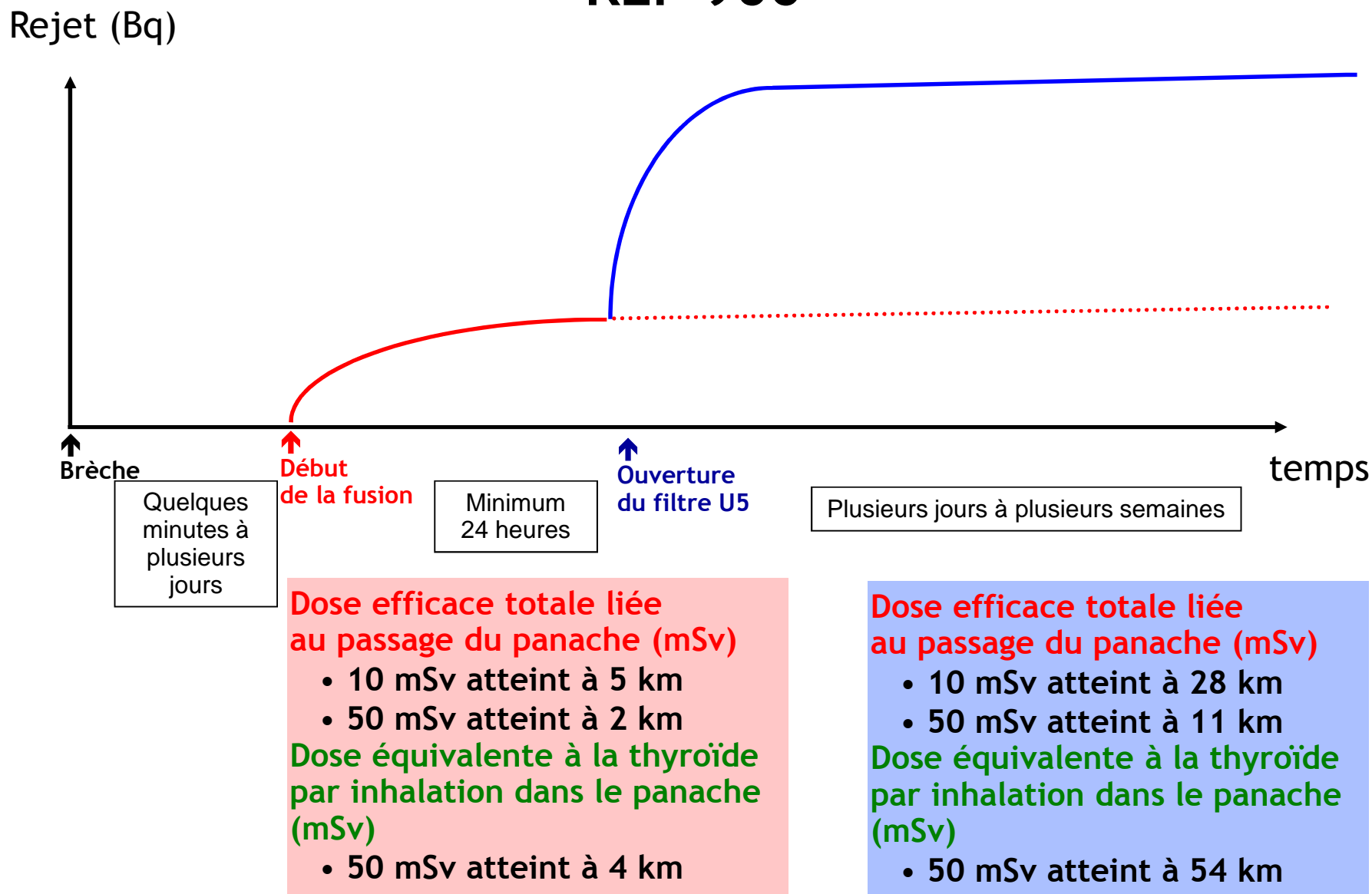


# La dispersion des rejets

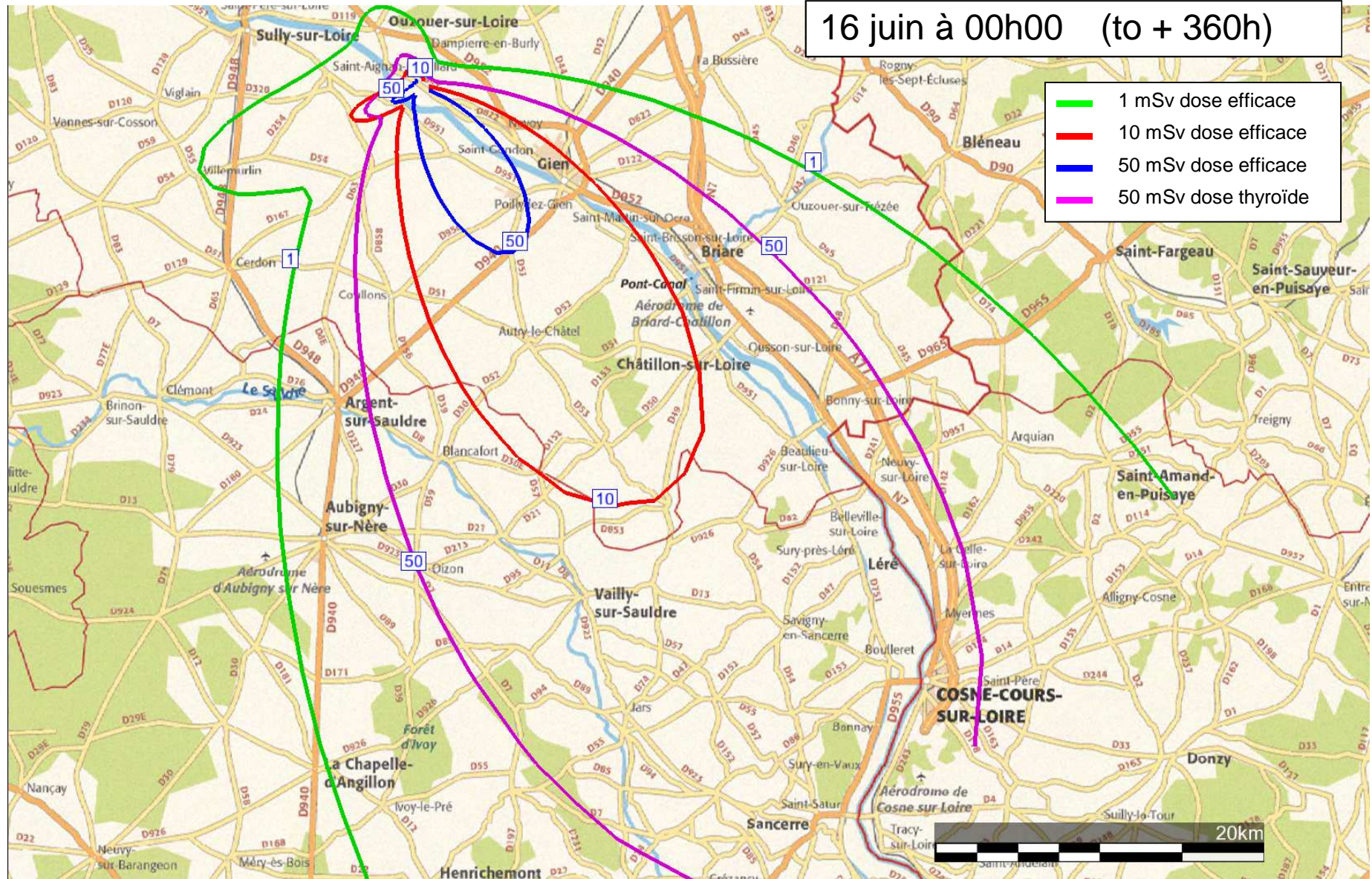
Illustration de la cinétique des rejets par le suivi de l'activité volumique en  $^{131}\text{I}$



# Exemple : conséquences dosimétriques pour un REP 900



# Les conséquences dosimétriques dues au panache



## Quelques conclusions

- **La doctrine est construite autour du constat qu'en dessous de 100 mSv, on n'est pas capable de mettre en évidence une augmentation des cancers**
  - => Eviter à tout prix les effets déterministes (>1000 mSv)
  - => Diminuer à un niveau aussi bas que possible les risques d'apparition d'effets différés (cancers)
- **Les niveaux d'intervention (10 et 50 mSv / 50 mSv thyroïde)**
  - Ne sont pas des seuils au-delà desquels des effets sanitaires importants pourraient être mis en évidence (ce ne sont pas des seuils d'acceptabilité)
  - Ce sont des niveaux de référence qu'on s'efforce de ne pas dépasser et en dessous desquels on cherche à descendre aussi bas de raisonnablement possible
  - Un dépassement du niveau d'intervention n'est pas synonyme d'une mauvaise gestion
- **PPI**
  - Outil opérationnel des Pouvoirs Publics
  - Ce n'est pas une démonstration de la capacité des PP à éviter de dépasser les niveaux d'intervention
  - Les éléments dosimétriques ne sont qu'un élément parmi d'autres, pris en compte dans la décision

# Retour d'expérience des exercices de crise

- **La durée de la mise à l'abri peut-elle dépasser quelques heures ?**
  - Dépend sans doute de plusieurs facteurs :
    - Lieu de mise à l'abri : habitation, lieu de travail, gymnase, école...
    - La dispersion des familles (regroupées ou pas)
    - Diminution de l'efficacité de la mise à l'abri avec le temps
  - Sans préparation, en journée :
    - de l'ordre de 6 à 12 heures
  - La nuit :
    - Familles regroupées dans leurs habitations pourvues de moyens de subsistance
    - de l'ordre de 1 voire 2 jours
  - Avec préparation (similaire aux conditions nocturnes)
    - Durée potentiellement plus longue
    - De l'ordre de quelques jours
  
- **Exemple du scénario AG du CODIRPA :**
  - Problématique des situations avec rejet long (de l'ordre d'une semaine)

## Retour d'expérience des exercices de crise

- La doctrine actuelle n'anticipe pas les actions de protection post-accidentelles
- Elle n'aborde pas non plus les actions limitant la dose par ingestion
  - Zone possiblement plus vaste que la zone de protection des populations en phase d'urgence
- Au-delà des zones de protection de la population, absence totale de recommandation
  - Incompréhension de la population
  - Propagation du nuage au-delà des « frontières »

# Dynamique des rejets différente en fonction des accidents

- **Rejets quasi immédiats de courte durée**
  - Réacteurs
    - Accidents de RTGV
  - Réacteurs expérimentaux
    - BORAX pour certains réacteurs (OSIRIS)
  - Laboratoires et usines
    - Accident de criticité
    - Incendie de boîtes à gants
    - Rupture d'un conteneur d'UF6
  
- **Rejets de longue durée dans un délai important**
  - Réacteurs
    - Fusion du cœur (les accidents graves)
  - Réacteurs expérimentaux
    - Fusion du cœur (ILL)
  
- **Rejet de longue durée dans un délai court**
  - Réacteurs
    - Fusion du cœur (les accidents graves dont le scénario AG du CODIRPA et les accidents de criticité)
  - Réacteurs expérimentaux
    - Fusion du cœur de type BORAX (hors OSIRIS)

## Proposition IRSN dans les années 2010 : tenir compte de la dynamique des rejets

### ■ Rejets précoces

- Seules la mise à l'abri et éventuellement l'ingestion d'iode permettent de limiter les doses reçues par la population

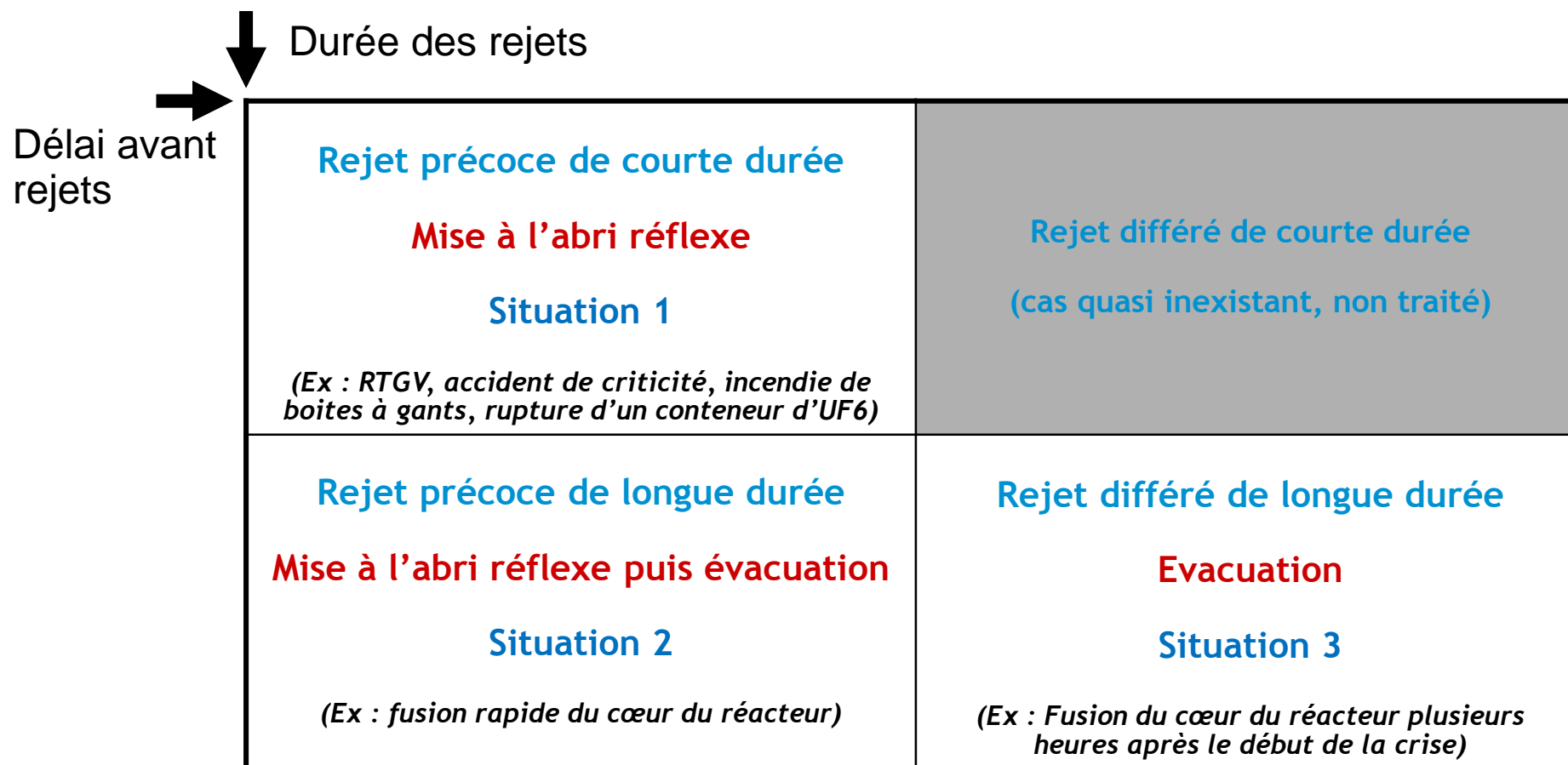
### ■ Rejets longs

- La mise à l'abri n'est pas tenable pendant toute la durée du rejet
- => logique d'évacuation préférable



# Tenir compte la dynamique des rejets

## ■ Proposition :



# Mise à l'abri

- **A mettre en œuvre pour protéger**
  - La population en général
    - des rejets de courte durée (quelle que soit la dose prévisionnelle)
    - des rejets précoces de longue durée avant évacuation
  
  - Les personnes qui ne pourront pas être évacuées (ou qui ne veulent pas être évacuées)
    - Personnes non transportables
    - Travailleurs indispensables à la sécurité
      - Des installations (SEVESO, INB...)
      - Des personnes (Hôpitaux... )
  
  - En cas d'impossibilité d'évacuer (**mesure de substitution**)

# Mise à l'abri

- **Mise à l'abri de courte durée (le temps du passage du panache radioactif)**
  - Mise à l'abri réflexe
  - Mise à l'abri dans les locaux les plus proches au moment de l'alerte
  - Nécessité de prendre « rapidement » la décision de la levée ou d'ordonner l'évacuation des personnes non indispensables
  
- **Mise à l'abri de longue durée**
  - Diminution de l'efficacité de la mesure avec le temps
  - Pour tenir dans la durée, nécessité de la préparer :
    - Rejoindre des lieux « habitables »
    - Faire des réserves de nourriture

# Evacuation

- A mettre en place pour les rejets longs sur les zones de « mise à l'abri »
  - Accident avec fusion du cœur du réacteur
- A ne pas mettre en place pour les situations accidentelles qui présentent des rejets de courte durée
  - Eloignement possible à la fin des rejets

## Ingestion d'iode stable

- **A coupler à une mesure de mise à l'abri**
  - sauf si ingestion pendant l'évacuation
- **Quand demander l'ingestion par les populations ?**
  - Au début des rejets pour les personnes sous le vent
  - Différer la recommandation pour la population qui n'est pas menacée immédiatement

## Introduction de mesures de protection plus « légères »

- **Interdictions de consommation des produits frais**
  - Pour les situations à rejets de longue durée
  - Sur le plus grand périmètre d'urgence, voire au-delà si nécessaire
- **Recommandations d'éviter de séjourner à l'extérieur**
  - Rester le plus possible à l'abri dans les bâtiments, notamment les enfants et les jeunes adultes
- **Recommandation de respecter un certain nombre de mesures d'hygiène**
  - Se laver régulièrement les mains
  - Laver les aliments
  - ...

## Comment dimensionner les PPI ?

- **La protection des populations est une mission essentielle des pouvoirs publics**
  - Pour faire face à un accident important ou une catastrophe, le préfet élabore O.R.S.E.C (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile)
  - Le P.P.I. est la réponse anticipée pour gérer les conséquences sur la population d'un accident survenant sur un site présentant des risques
    - Préparation renforcée / ORSEC
    - Les conséquences de l'accident peuvent dépasser les limites des PPI
- **Historiquement, une approche forfaitaire a été considérée pour les REP**
  - 2, 5 et 10 km quel que soit le type de réacteur
- **Récemment, diffusion des travaux HERCA-WENRA**
  - 5 et 20 km + réfléchir à une extension à 20 et 100 km
  - C'est aussi une approche forfaitaire pour tous les réacteurs européens
- **Plus on est proche de l'INB, plus le risque est important et plus la réponse opérationnelle doit être préparée !**
  - Notion de délais disponibles pour les zones les plus éloignées
- **Découpler le dimensionnement des PPI du choix d'un accident particulier**
  - Le dimensionnement d'un PPI est un choix de société !