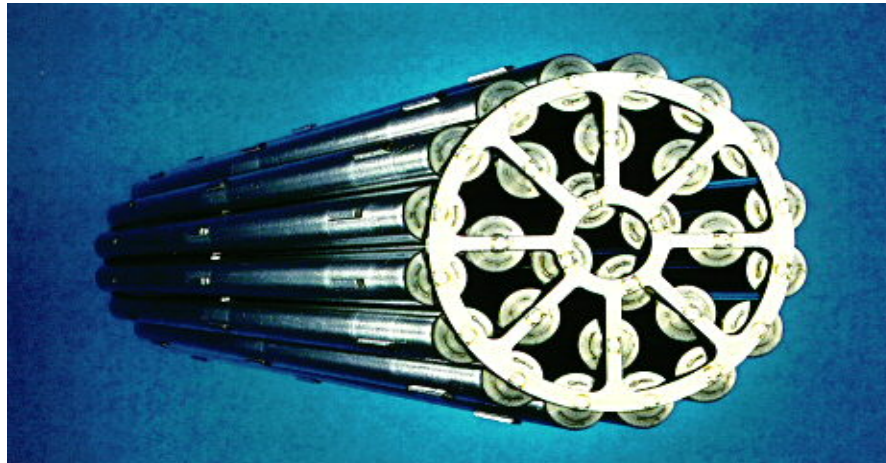
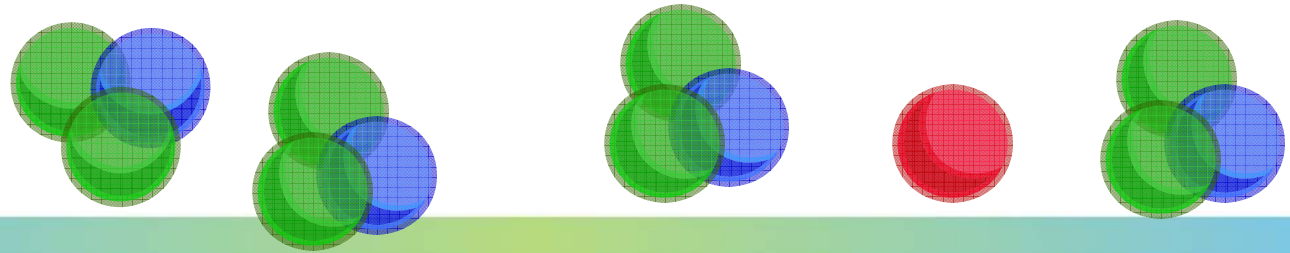


# Réacteurs à neutrons intermédiaires et auxiliaires

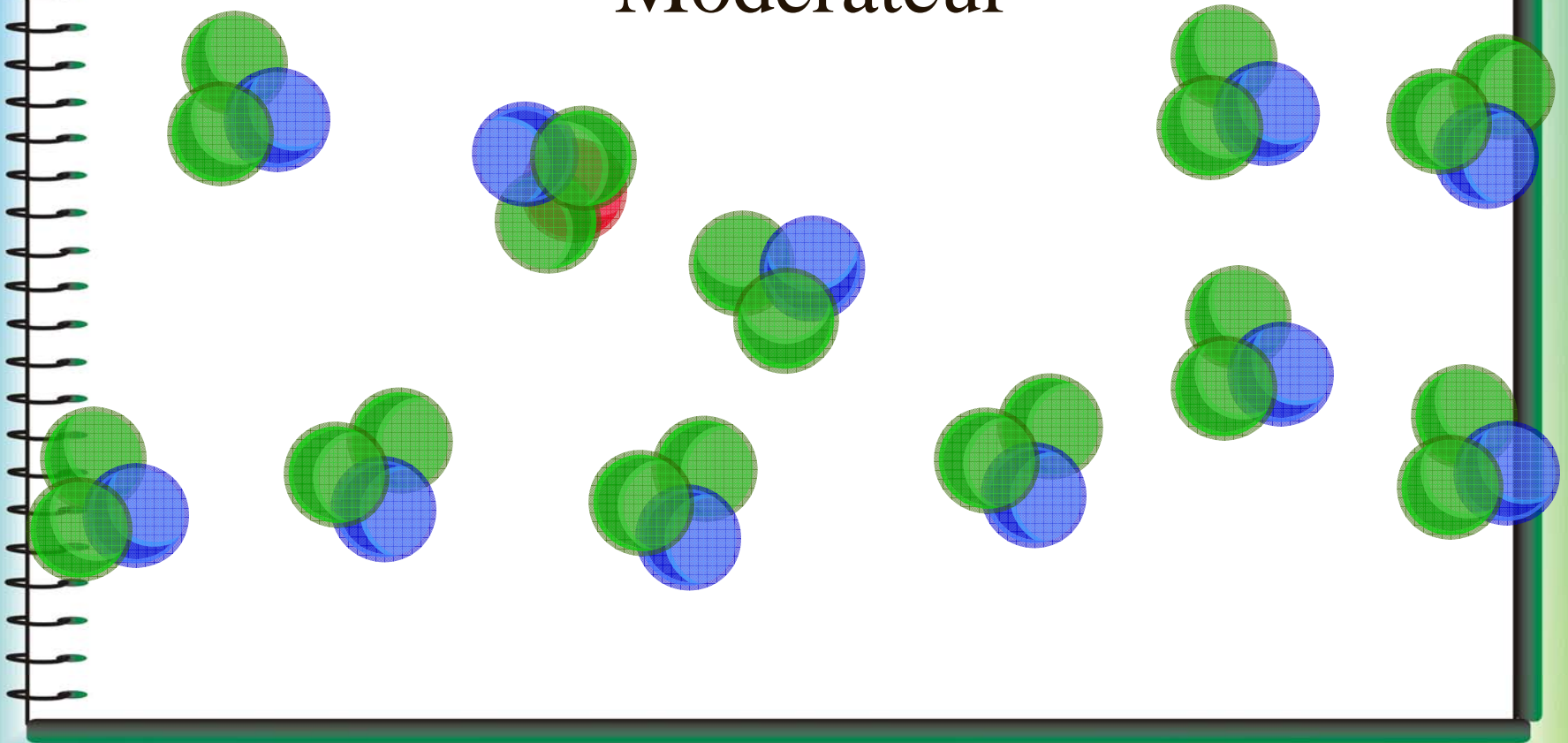


# Production d'énergie sûre





# Modérateur

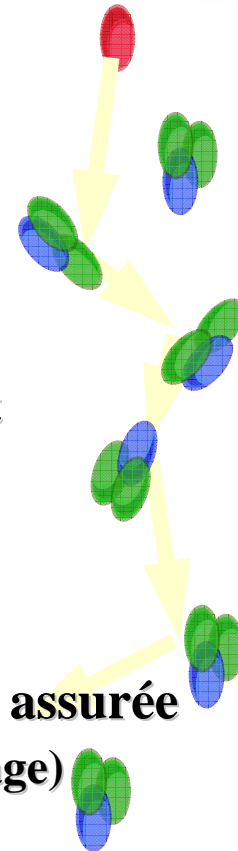


# Faible teneur isotopique

- Indications
  - Drain de zone – problème grave
  - Essais courants – problème chronique
- Une baisse de 0,1 % de la teneur isotopique ajoute  $-3,6$  mk
- Les barres de compensation ne peuvent être retirées que si la puissance est réduite
- La baisse maximale possible de la teneur isotopique est d'environ 0,3 % et le réacteur demeure critique

# État d'arrêt garanti du réacteur

- **Surempoisonnement (EAG)**
  - Centaines de mk de réactivité négative
  - Aucune épuration
  - Sources d'eau propre isolées
  - Circulation continue
  - pH et concentration vérifiées régulièrement
- **Drainage du modérateur**
  - Modérateur envoyé au stockage
  - Sources d'eau isolées
  - Drain dans la calandre dont l'ouverture est assurée
    - (Pickering-A possède un réservoir de drainage)



# Contrôle de la température

- Température de sortie d'environ 61 degrés
- En raison des trajets d'écoulement, certaines zones du réacteur sont plus chaudes
- Pourquoi est-ce important?
  - Atténuation des accidents
  - Considérations neutroniques
  - Danger d'explosion
  - Considérations métallurgiques

# Niveau du modérateur

- Dans la plupart des réacteurs, les conduites de décharge de la calandre sont pleines
  - Réduire au minimum les fuites
  - Refroidir les composants
  - Pickering-A peut changer le niveau pour contrôler la puissance
- Niveau élevé
  - Espace insuffisant pour l'eau provenant du SAU#2
- Faible niveau
  - Réactivité négative en haut du coeur
  - Surchauffe
  - Évolution plus importante du  $D_2$
  - Peut avoir une incidence sur les chambres d'ionisation

# Conditions anormales

- Perte de refroidissement
  - Augmentation de la température du modérateur
  - Arrêt du réacteur ou réduction de puissance afin d'éviter les problèmes susmentionnés
- Fuite des échangeurs de chaleur
  - Dans l'échangeur de chaleur, la pression est supérieure à celle de l'eau de service
  - Les petites fuites sont dirigées vers le lac
  - La pénalité sur le plan économique due à un abaissement de la teneur isotopique du  $D_2O$  est plus importante que les préoccupations relatives à la sûreté dues à une petite fuite
  - Pour réparer les fuites, il faut mettre le réacteur à l'arrêt.



# Gaz de couverture

- Limites d'explosion
  - 8 % D<sub>2</sub>, 5 % O<sub>2</sub>
- Normal
  - <1 % D<sub>2</sub>, suffisamment de O<sub>2</sub> pour assurer la recombinaison
- Purge
  - Compresseurs hors service
  - Concentrations élevées de D<sub>2</sub>
  - Concentrations élevées de N<sub>2</sub>

# Surveillance

- Chromatographe en phase gazeuse en ligne
  - Surveillance continue du D<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub> à un certain nombre d'emplacements
- Échantillons de laboratoire

# Conditions anormales

- Concentration élevée de  $D_2$  (2 % à 4 %)
  - Purge du gaz de couverture
  - Ajout de  $O_2$
  - Mise en marche du second compresseur
  - Vérification du système de recombinaison
  - Baisse de la température du modérateur
  - Augmentation du niveau du modérateur
  - Augmentation du débit d'épuration
  - Aucune augmentation de la puissance du réacteur

## Concentration de $D_2 > 4 \%$

- Accomplissement des tâches précitées
- Confirmation
- Mise à l'arrêt

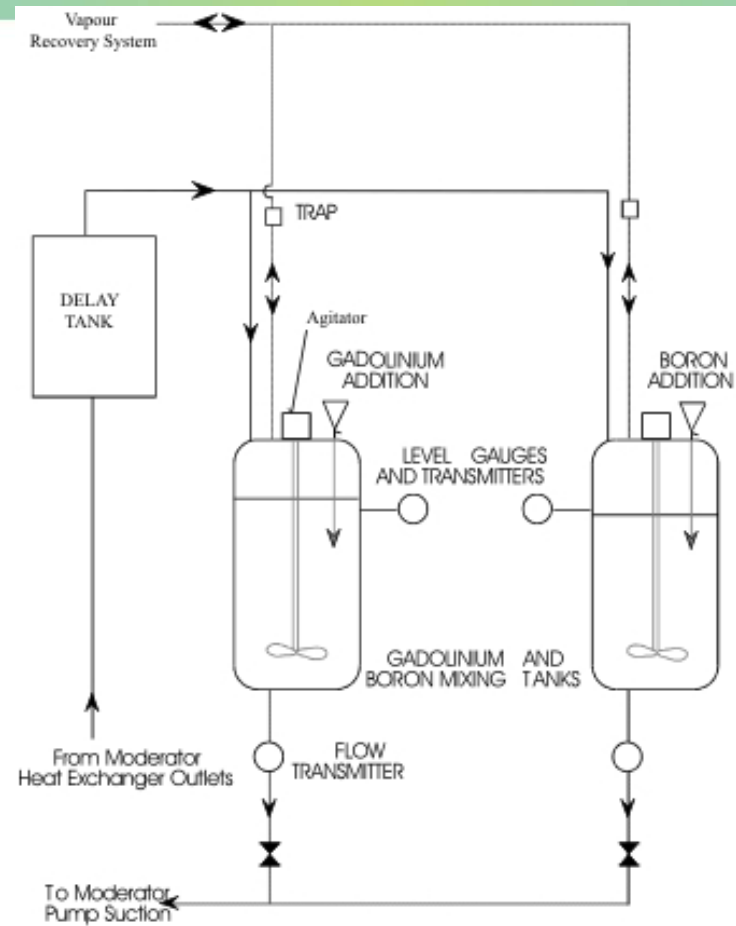
## N<sub>2</sub> élevé

- Acide nitrique formé par radiolyse
  - Production accrue de D<sub>2</sub>
  - Corrosion
- Évacuation
  - Purge
  - Augmentation du débit d'épuration du modérateur en vue d'évacuer l'acide

# Addition de poison

- Raisons de l'empoisonnement
  - Combustible neuf
  - Compenser l'absence de xénon
  - EAGE (état d'arrêt garanti dû à l'empoisonnement)
  - Compenser le surchargement de combustible

# Systeme d'addition de poison



# Bore utilisé comme poison

- Avantages

- Combustion lente
- mk/kg plus faible si du poison est ajouté par inadvertance
- Conductivité plus faible, donc moins de  $D_2$

- Inconvénients

- Faible solubilité
  - Conduites bloquées
- Difficile à enlever
  - Nécessite beaucoup de résines échangeuses d'ions



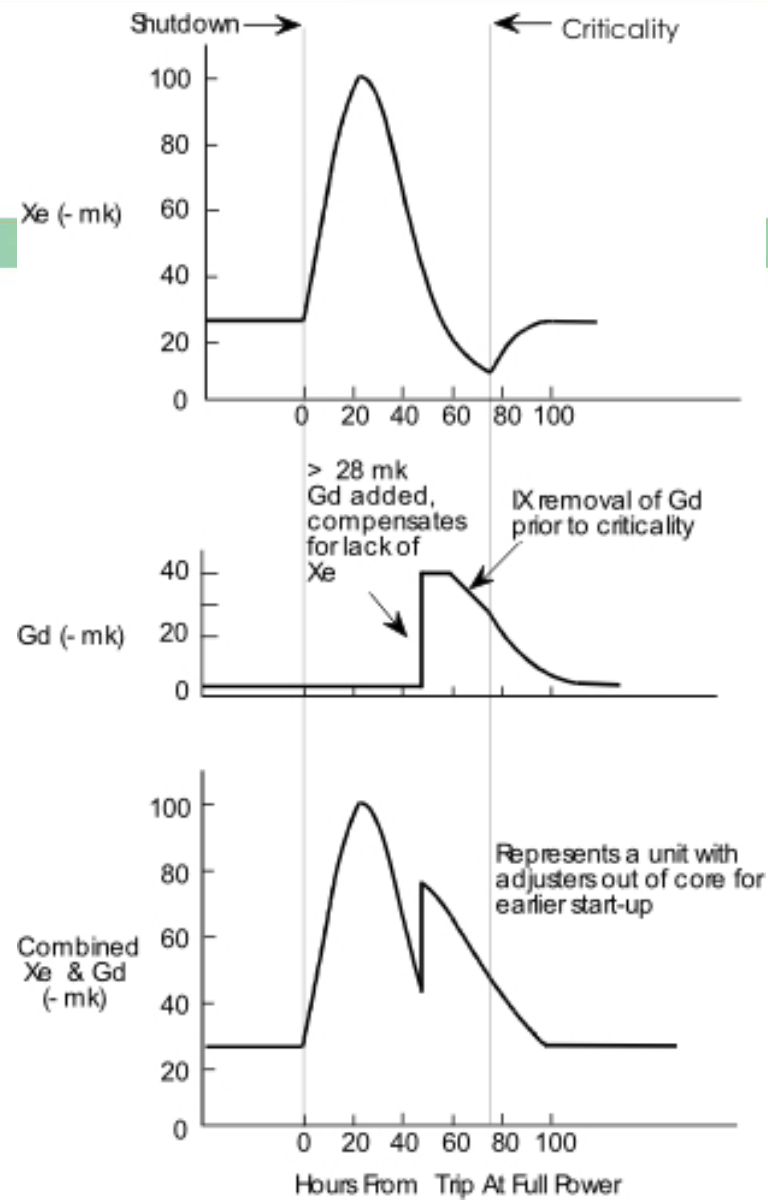
# Gadolinium utilisé comme poison

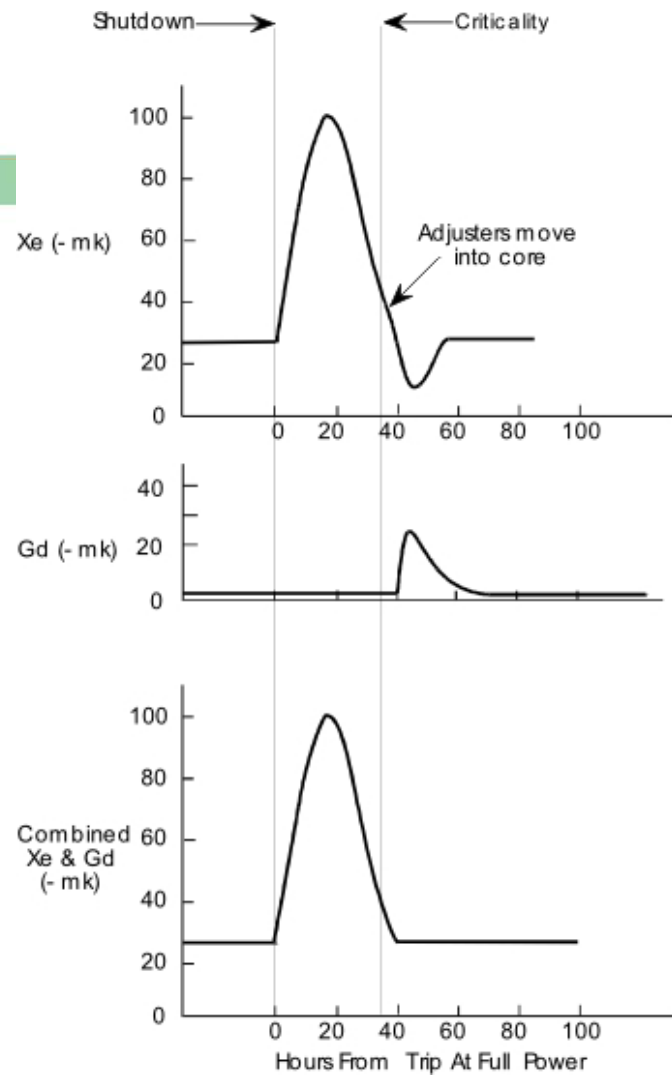
- Avantages

- Combustion rapide
- Solubilité élevée
- Facile à enlever

- Inconvénients

- Conductivité élevée
- Insertion rapide de réactivité négative si du poison est ajouté par inadvertance
- Précipitera si le  $\text{pH} > 7$

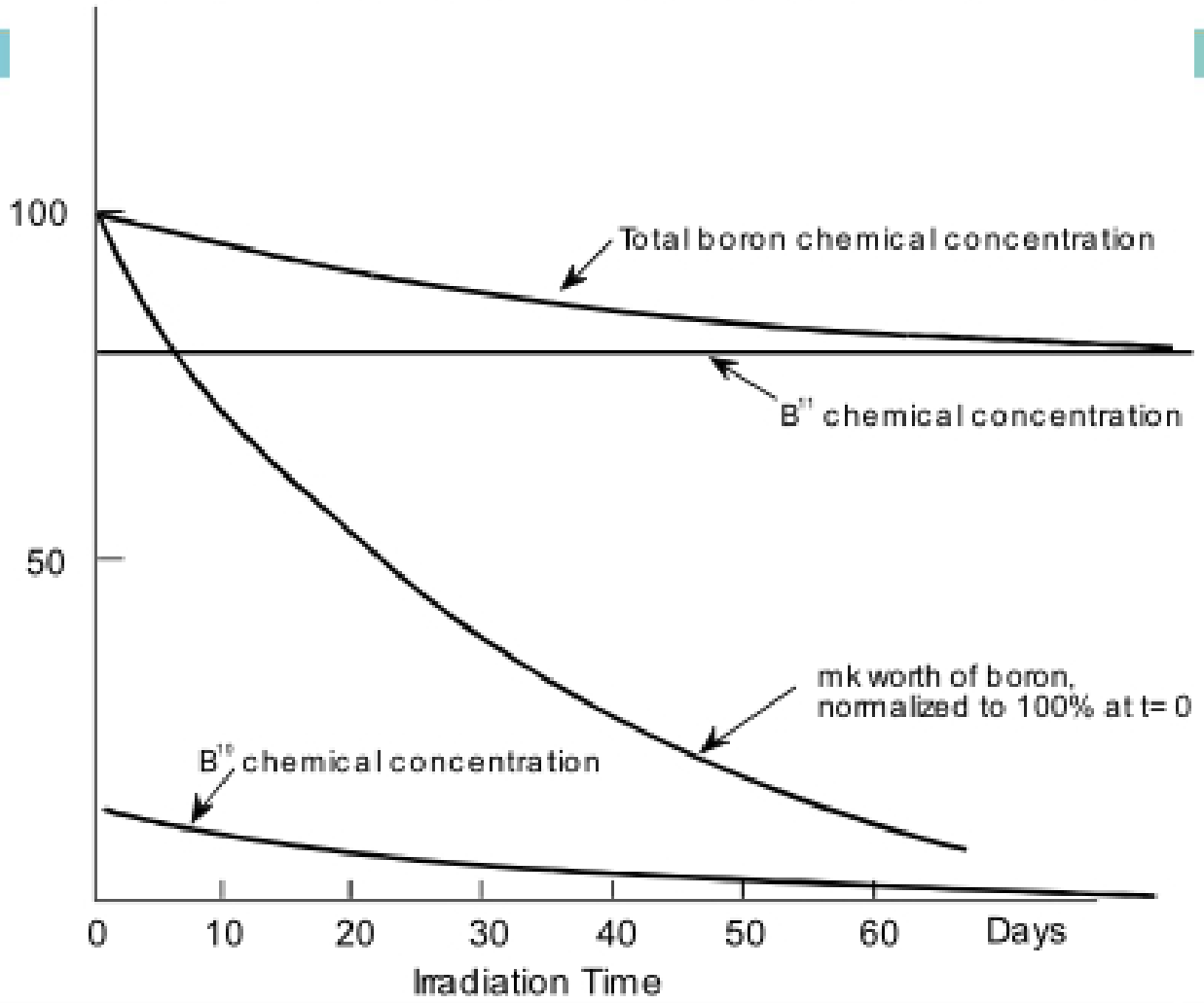


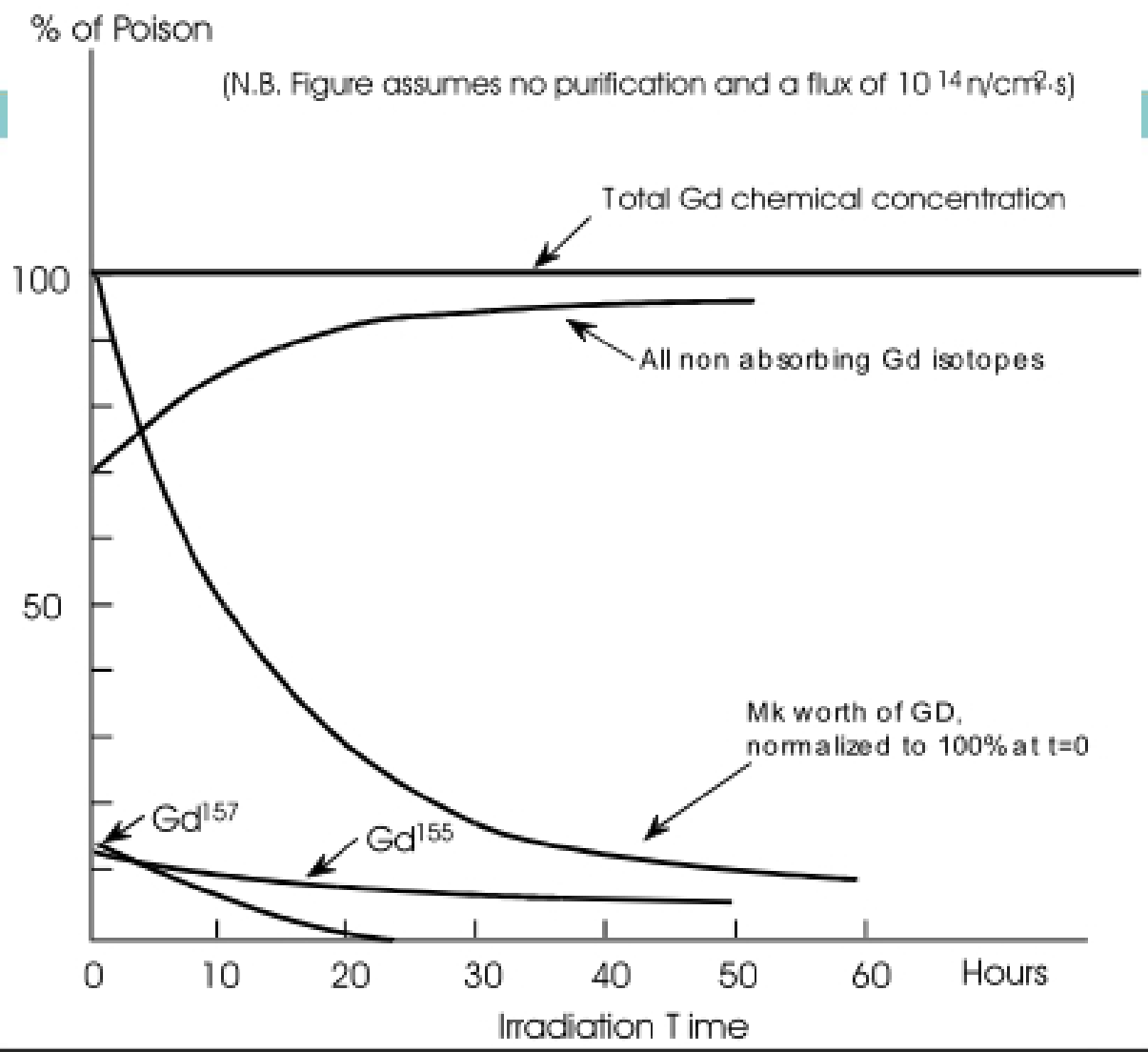


# Surveillance de la charge de poison

- Concentration de produits chimiques lorsque mis à l'arrêt
  - La concentration de produits chimiques n'est pas un indicateur valable en régime de puissance
  - Les différents isotopes possèdent des sections efficaces différentes
- Niveau de zone en régime de puissance

% of Poison (N.B Figure assumes no purification and a flux of  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.s)





# Contrôle du CRC

- Addition automatique de gadolinium
- Accroissement de puissance
- Zones et barres sans contrôle
- Défense en profondeur

# Conditions anormales

- Addition de poison par inadvertance en régime de puissance
  - Perte de contrôle dans les zones
  - Dépassement de la limite d'empoisonnement
  - Panne due au poison
- Enlèvement de poison par inadvertance en régime de puissance
  - Perte de contrôle dans les zones
  - Barres absorbantes insérées
  - Addition automatique



# Autres conditions anormales

- Enlèvement par inadvertance au démarrage
  - Criticité non prévue
- Bore plutôt que gadolinium utilisé comme poison
  - Augmentation du temps d'enlèvement du poison
  - Combustion plus lente
  - Coût de l'enlèvement par des résines échangeuses d'ions est plus élevé
- Non-disponibilité du poison
  - Certaines opérations sont difficiles ou impossibles

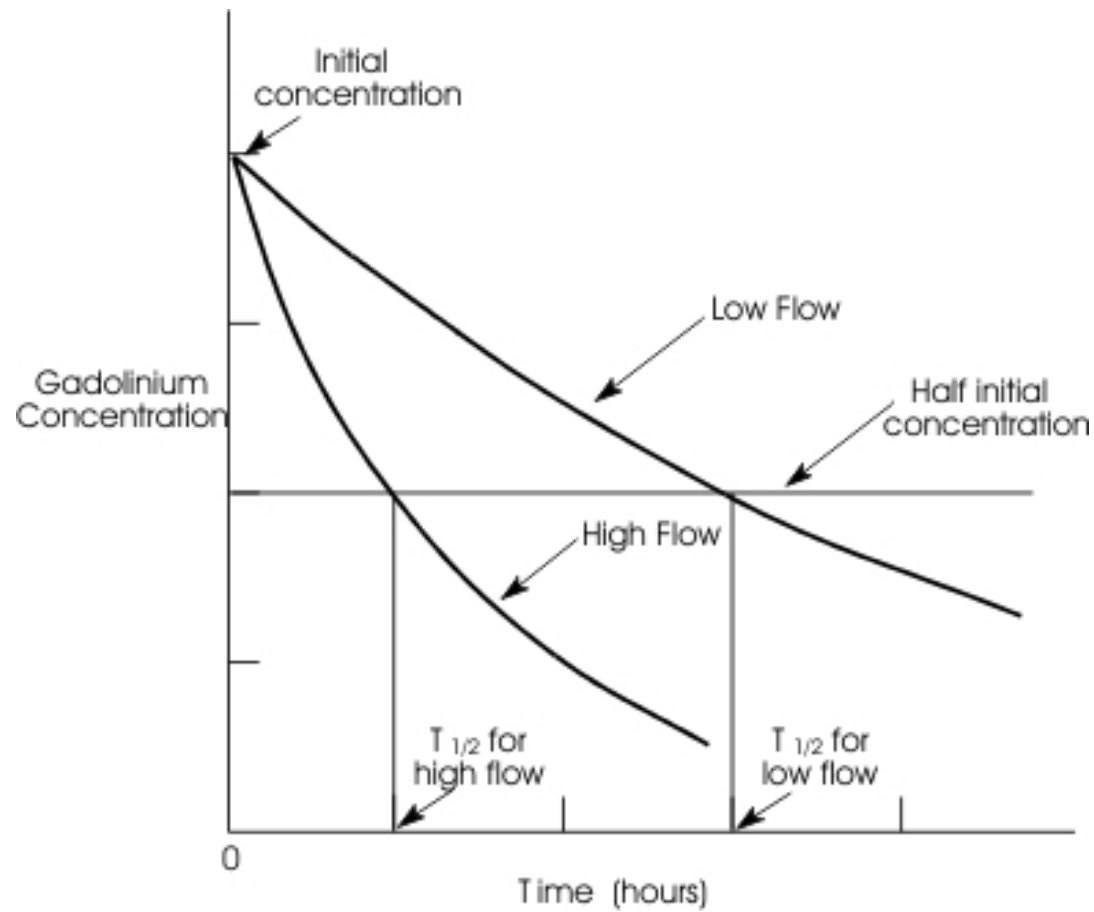
# Épuration

- Garder le modérateur pur
  - Réduire au minimum les dangers présentés par le  $D_2$
  - Faible corrosion
  - Faible absorption des neutrons
- Contrôle du pH
- Crépines
- Colonnes échangeuses d'ions

# Nettoyage normal

- Ions à faible caractère ionique enlevés par les colonnes
  - Chlore
  - Nitrate
  - Gadolinium
  - La plupart des radionucléides
- Le bore n'est pas enlevé aussi efficacement car il s'agit d'un ion à faible caractère ionique

# Enlèvement du Gd



# Enlèvement du bore

- Ions qui présentent un caractère faiblement ionique
- Des échanges se font avec des ions présents dans l'eau
- Saturation de la résine échangeuse d'ions par le bore
- Chaque colonne réduit la quantité de poison à environ 1/7 de sa valeur originale
- Le taux d'enlèvement dépend de
  - débit
  - masse du modérateur
  - température de la résine échangeuse
    - Augmente la température, diminue la concentration à l'équilibre

# Paramètres d'exploitation

- Débit
- Température
- Pression
- Conductivité
- Résines épuisées
  - Vérification de  $\Delta P$  le long de la résine
  - Niveau de zone
  - Augmentation du taux de chlorure

# EAG

- Épuration isolée durant l'EAG
- Épuration fermée par l'exploitation d'un système d'arrêt d'urgence

**Diapositive 15**

Vapour Recovery System	Système de récupération de vapeur
DELAY TANK	RÉSERVOIR DE DÉSACTIVATION
TRAP	PIÈGE
Agitator	Agitateur
GADOLINIUM ADDITION	ADDITION DE GADOLINIUM
BORON ADDITION	ADDITION DE BORE
LEVEL GAUGES AND TRANSMITTERS	JAUGES DE NIVEAU ET TRANSMETTEURS
GADOLINIUM AND BORON MIXING TANKS	RÉSERVOIR DE MÉLANGE DE GADOLINIUM ET DE BORE
FLOW TRANSMITTER	TRANSMETTEUR DE DÉBIT
From Moderator Heat Exchanger Outlets	Du modérateur vers les sorties des échangeurs de chaleur
To Moderator Pump Suction	Vers l'aspiration de pompe du modérateur

**Diapositive 18**

Shutdown	Mise à l'arrêt
Criticality	Criticité
Xe (-mk)	Xe (-mk)
Gd (-mk)	Gd (-mk)
> 28 mk Gd added, compensates for lack of Xe	> 28 mk Gd ajouté, compense l'absence de Xe
IX removal of Gd prior to criticality	Enlèvement du Gd à l'aide de résines échangeuses d'ions avant la criticité
Combined Xe & Gd (-mk)	Xe et Gd combinés (-mk)
Represents a unit with adjusters out of core for earlier start-up	Représente un réacteur duquel les barres de compensation sont retirées en vue d'un démarrage précoce
Hours From Trip At Full Power	Heures écoulées depuis l'arrêt à pleine puissance

**Diapositive 19**

Shutdown	Mise à l'arrêt
Criticality	Criticité
Xe (-mk)	Xe (-mk)
Adjusters move into core	Barres de compensation dans le coeur
Gd (-mk)	Gd (-mk)
Combined Xe & Gd (-mk)	Xe et Gd combinés (-mk)
Hours From Trip At Full Power	Heures écoulées depuis l'arrêt à pleine puissance



### Diapositive 21

% of Poison	% de poison
(N.B. Figure assumes no purification and a flux of $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> -s)	(Remarque : Dans cette figure, on suppose qu'il n'y a aucune épuration et que le flux est de $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> -s)
Total boron chemical concentration	Concentration chimique de bore total
B <sup>11</sup> chemical concentration	Concentration chimique de B <sup>11</sup>
mk worth of boron, normalized to 100% at t=0	Valeur du bore en mk, normalisé à 100 % à t = 0
B <sup>10</sup> chemical concentration	Concentration chimique de B <sup>10</sup>
Days	Jours
Irradiation Time	Temps d'irradiation

### Diapositive 22

% of Poison	% de poison
(N.B. Figure assumes no purification and a flux of $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> -s)	(Remarque : Dans cette figure, on suppose qu'il n'y a aucune épuration et que le flux est de $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> -s)
Total Gd chemical concentration	Concentration chimique de gadolinium total
All non absorbing Gd isotopes	Tous les isotopes du Gd non absorbants
mk worth of GD, normalized to 100% at t=0	Valeur du Gd en mk, normalisé à 100 % à t = 0
Gd <sup>157</sup> Gd <sup>155</sup>	Gd <sup>157</sup> Gd <sup>155</sup>
Hours	Heures
Irradiation Time	Temps d'irradiation

### Diapositive 28

Initial concentration	Concentration initiale
Gadolinium Concentration	Concentration de gadolinium
Low Flow	Faible débit
Half Initial concentration	Moitié de la concentration initiale
High Flow	Débit élevé
T <sub>½</sub> for high flow	T <sub>½</sub> pour débit élevé
T <sub>½</sub> for low flow	T <sub>½</sub> pour faible débit
Time (hours)	Temps (heures)