

Contrôle de la réactivité d'un cœur

Pour qu'un réacteur puisse fournir une **puissance donnée P**, pendant **une durée donnée J** (*valeurs imposées par l'utilisateur*), il faut que le cœur dispose d'une certaine **réserve de réactivité en début de vie**.

Aussi, il faut utiliser des moyens de contrôle permettant :

- d'amener le cœur à l'état sur-critique pour **faire diverger** le réacteur (passer d'une puissance nulle à la puissance souhaitée par le réseau, et donc, le client),
- **maintenir le réacteur critique** pour le fonctionnement normal,
- puis à l'état sous-critique pour l'arrêt,

ceci à tout moment de la vie du réacteur.

1. Nature de la réserve de réactivité

Il importe qu'un réacteur déclaré **disponible** à la production d'électricité puisse être critique

Il doit pouvoir à tout moment diverger, rester stable ou converger si les conditions normales d'exploitation sont respectées.

L'opérateur doit donc en permanence effectuer un bilan de réactivité

Cela permet ainsi de maîtriser à tout moment l'évolution de la réaction en chaîne alors que la réactivité évolue en permanence.

Par définition, le **point de référence d'un bilan de réactivité**, lorsqu'il n'est pas précisé, correspond à un réacteur en Arrêt Chaud

1.1 antiréactivités liés aux conditions d'exploitation

a. Reprise froid - chaud.

$$\Delta\rho_m = \alpha_m \cdot \Delta T_m$$

$$\Delta\rho_u = \alpha_u \cdot \Delta T_u$$

b. Démarrage sur un empoisonnement maximum (pic xénon).

Il faut être capable de diverger lors de ce pic en antiréactivité

$$\Delta\rho_x < 0$$

c. Mécanisme de contrôle défaillant

$$\Delta\rho_g < 0$$

1.2 Premier bilan : réactivités vitale et totale

a. Réactivité vitale

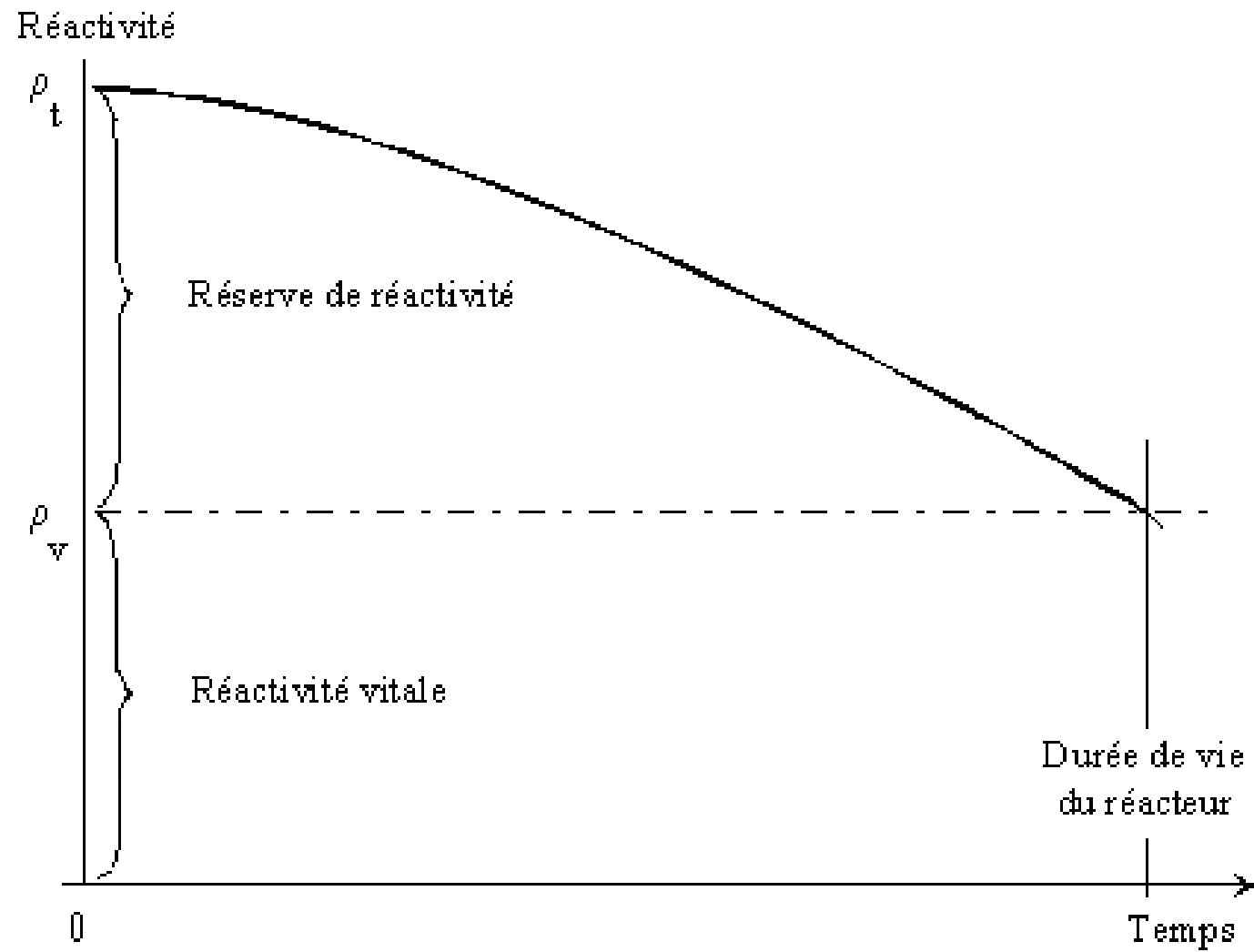
réactivité positive à garantir, **réserve de réactivité vitale**

$$\rho_v = -(\Delta\rho_m + \Delta\rho_u + \Delta\rho_x + \Delta\rho_g)$$

b. Réactivité totale

Il faut donc que le combustible dispose, tout au long du cycle,
d'une **réserve de réactivité suffisante**
pour satisfaire à cette demande d'énergie

$$\rho_T = \rho_R + (\Delta\rho_m + \Delta\rho_u + \Delta\rho_x + \Delta\rho_g)$$



2. Contrôle de la réactivité d'un cœur

- les **grappes de commande**
regroupées et manœuvrées selon **différents groupes**

*dans un réacteur de 1300 MWe,
on trouve les groupes SA, SB, SC, SD, N1, N2, G1, G2, R*

- le **bore soluble**

- les **poisons consommables**

	R	P	N	M	L	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A
1															
2			S		S		R		S		S				
3				G2		N2		N2		G2					
4	S		N1		S		G1		S		N1		S		
5			G2		R					R		G2			
6		S		S		S		N1		S		S		S	
7			N2										N2		
8		R		G1		N1		R		N1		G1		R	
9			N2										N2		
10		S		S		S		N1		S		S		S	
11			G2		R					R		G2			
12		S		N1		S		G1		S		N1		S	
13				G2		N2		N2		G2					
14			S		S		R		S		S				
15															

2.1 Fonctions des moyens de contrôle

Fonctions de sécurité

Le réacteur doit pouvoir être rendu sous-critique très rapidement et à tout moment de sa vie.

Fonction de compensation

En **régime permanent**, le **réacteur est critique** (réactivité nulle). Le rôle de compensation est de **maintenir le réacteur critique** vis à vis de la variation de réactivité dont la cause peut être l'usure du combustible ou un empoisonnement variable par les produits de fission.

Fonction de régulation

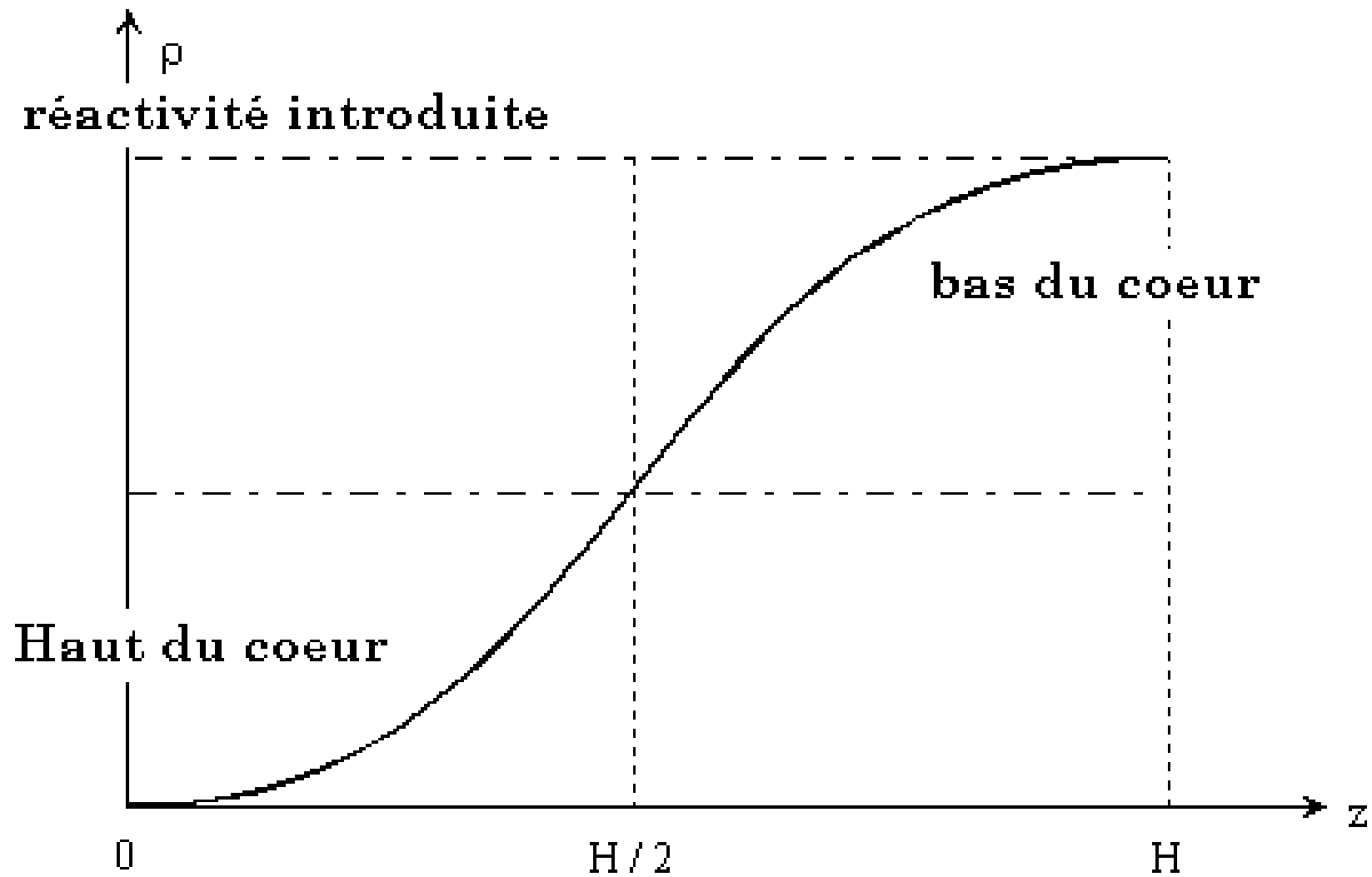
maintenir les conditions thermodynamiques normales

2.2 Les grappes de contrôle

absorbants mobiles dont l'insertion, ou le retrait, est ordonné depuis la salle de commande. Alliage d'argent, d'indium et de cadmium (AIC, respectivement à 80%, 15% et 5 %).

Il existe **3 principaux types de grappes** ayant chacune un rôle bien défini :

- les **grappes d'arrêt** (*fortement antiréactives, utilisées pour étouffer la réaction en chaîne et pour garantir à l'arrêt une réactivité totale suffisamment négative pour se prémunir de tout risque d'accident de réactivité, totalelement extraites en puissance*),
- les **grappes de régulation de température** (*fortement antiréactives, toujours un peu insérées dans le cœur*),
- les **grappes de régulation de puissance** (*peu antiréactives, rarement totalement extraites*).



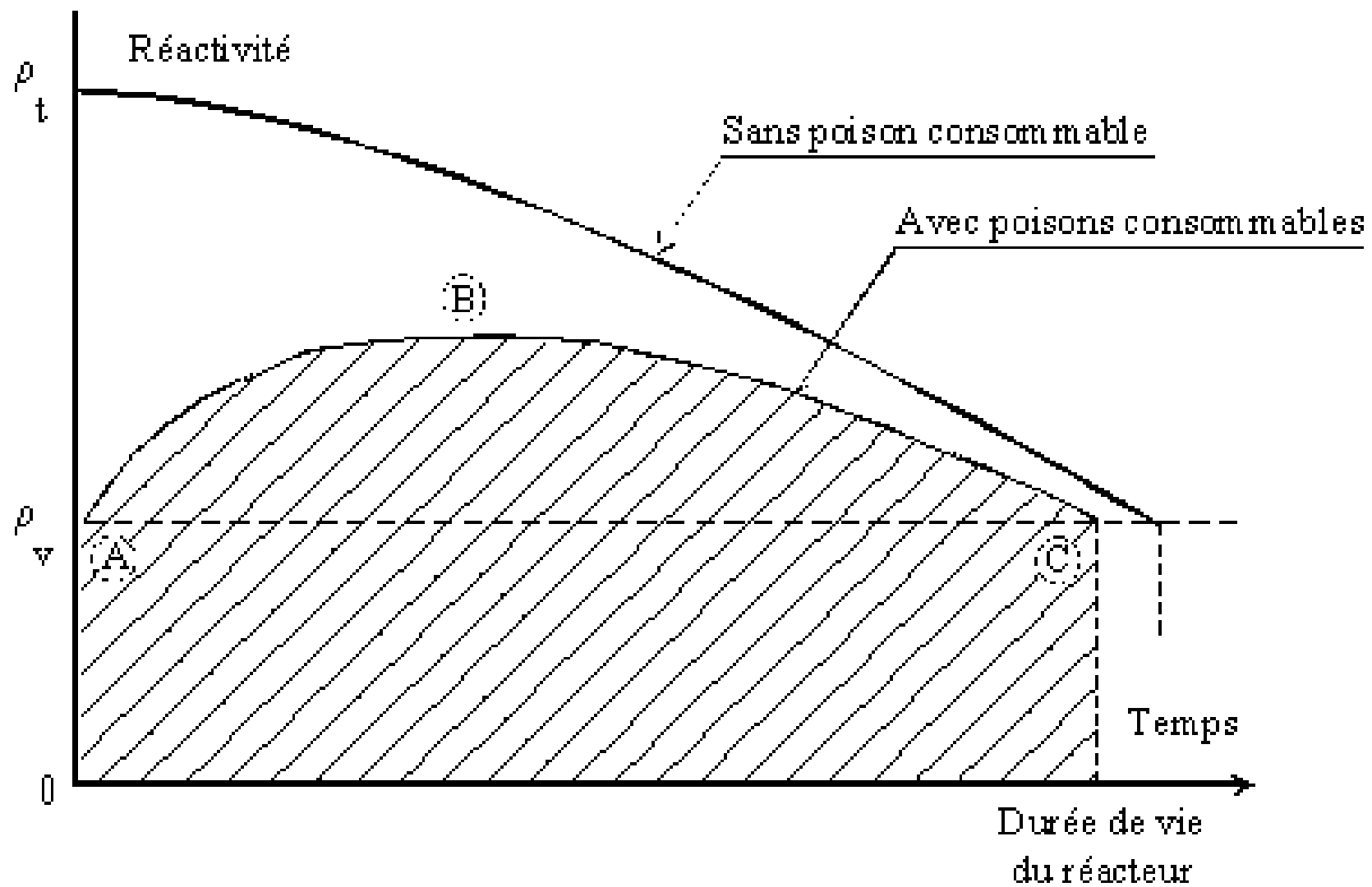
- **Exigence** : vitesse d'insertion de réactivité constamment proportionnelle à la vitesse d'insertion des grappes
- **Méthode** : **recouvrement** (*pour les grappes de régulation de puissance, c'est à dire N1, N2, G1 et G2*)..
- **Avantage** : l'antiréactivité introduite par ces grappes est importante, et facilement variable. Elles permettent des **variations de réactivité quasi-instantanées**. (*arrêts d'urgence, démarrages au pic xénon*).
- **Inconvénients** : grappes très absorbantes d'où pics de flux = des points chauds. retrait d'une grappe = combustible neuf d'où pics de flux. Le combustible n'est pas uniformément utilisé.

2.3 Poison soluble

- bore dilué dans l'eau du circuit primaire
- garantir les contre-réactions indispensables à la sûreté
- la concentration est limitée vers 1200 ppm
- en cas d'incident de réactivité = borication automatique

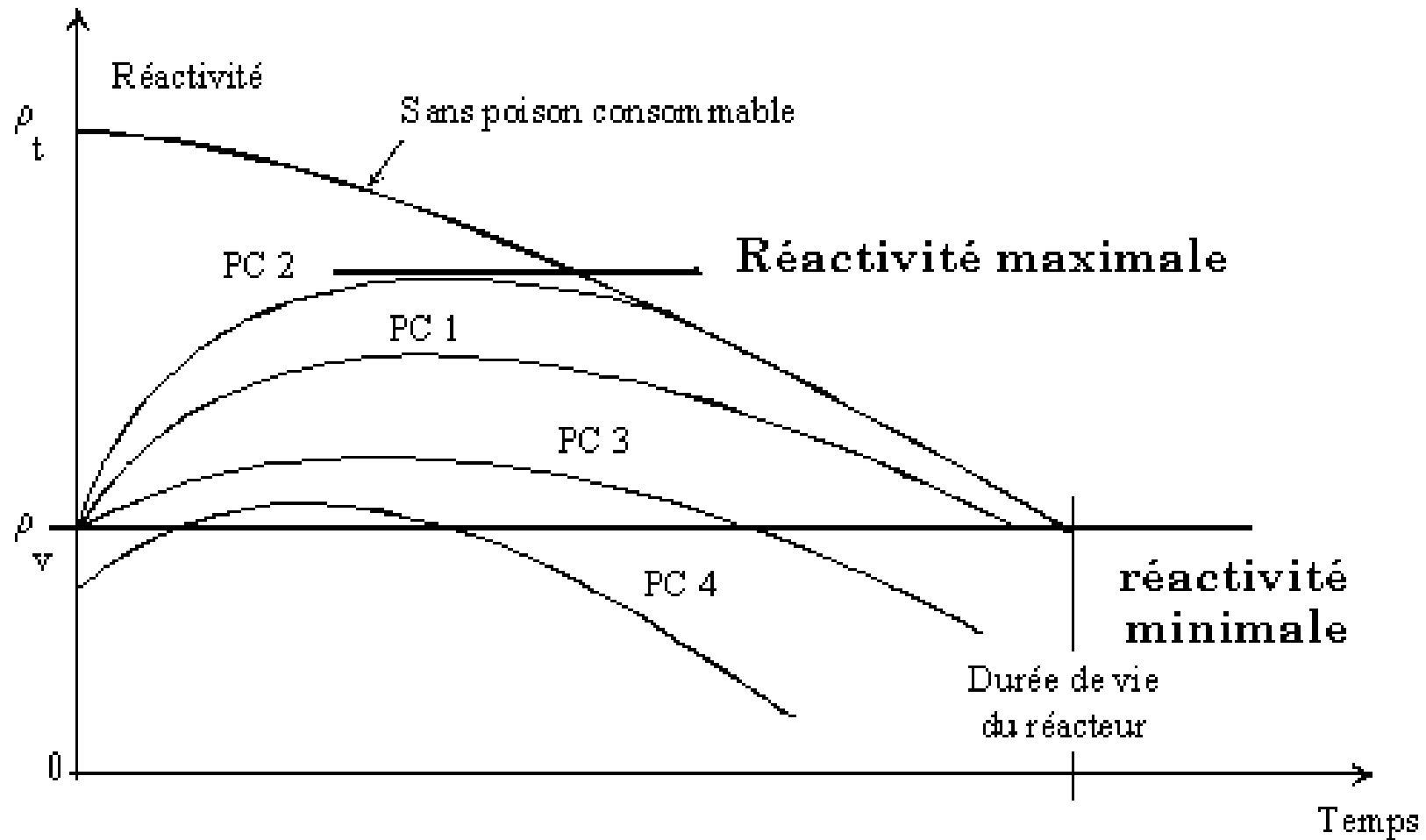
2.4 Poison consommable

- grappes en acier, avec pastilles de silicate de bore, ou de gadolinium.
- **limiter le nombre et l'efficacité des grappes**
- points chauds mieux répartis, possibilité d'aplatir le flux.



I

2.4.1 Choix du poison consommable



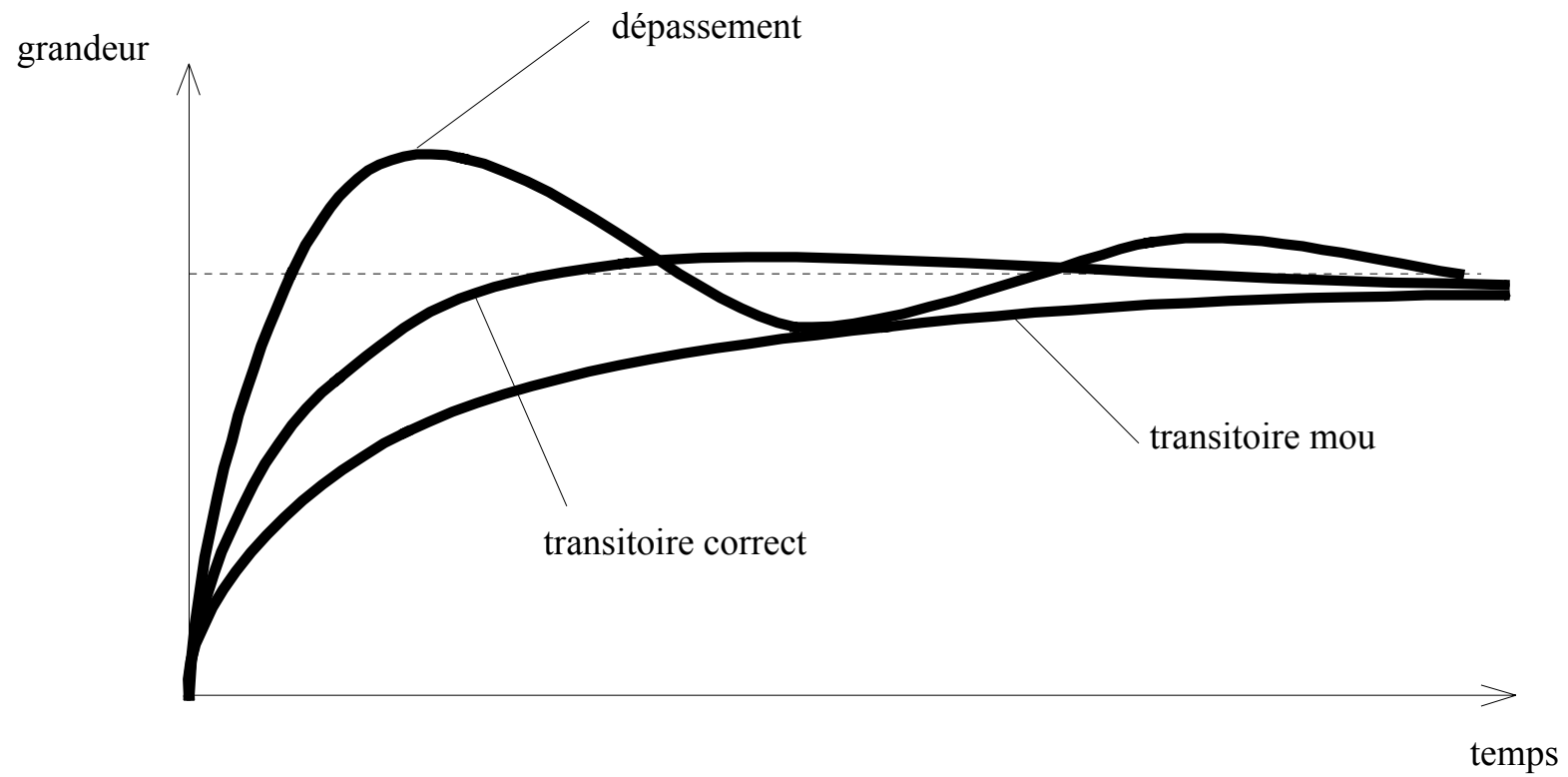
3. gestion des transitoires de puissance

Un régime transitoire est une **évolution d'un régime permanent vers un autre régime permanent**

Le **comportement** en transitoire sera jugé satisfaisant :

- si la **durée est suffisamment brève** afin de faciliter la conduite,
- s'il ne se produit **pas de dépassement de nature à endommager le réacteur.**

Sinon automatismes visant à ramener les paramètres à des valeurs acceptables.



3.1 Différents transitoires

➤ les transitoires de conduite normale :

- variations d'allures
- changements de pompage primaire
- variations de température primaire

qui peuvent se dérouler en **dynamique libre**

➤ les transitoires accidentels, par exemple :

- fermeture vanne vapeur (SAA)
- rupture collecteur de vapeur
- perte de pompage primaire
- mise en service d'une boucle froide

qui imposent des actions automatiques jusqu'à l'arrêt d'urgence

3.2 Méthode d'étude des transitoires

3.2.a identifier le paramètre initiateur

identifier le paramètre qui subit le premier l'influence de la perturbation qui va **déstabiliser l'ensemble des autres paramètres**

3.2.b évaluer les contre-réactions en jeu

évolution initiale de l'ensemble des paramètres de la centrale
influence des contre-réactions de températures

3.2.c caractériser l'état final

- bilan de réactivité ;
- équations de transfert thermique.

3.2.d évolution globale et examen des risques

- **paramètres dont l'évolution peut présenter des risques**
(*augmentation des températures du cœur, excursion de puissance, pic de réactivité...*).

3.3 exemple : perturbation de puissance extraite

3.3.a conditions initiales

- débit primaire constant, donc températures en équilibre.
- la centrale évolue en dynamique libre ($\delta\rho_e = 0$).
- à l'instant initial, on élève la puissance extraite (*échelon de puissance*)

3.3.b paramètre initiateur : refroidissement du secondaire

Ce refroidissement du secondaire **se transmet au fluide primaire**

- La température de sortie échangeur baisse instantanément
- la température entrée échangeur constante dans un premier temps.
- Après un léger temps de retard, le cœur subit l'influence de cette baisse de température.

3.3.c contre-réaction de température

Le refroidissement de l'eau primaire provoque un **gain de réactivité**
la puissance neutronique commence à monter,
la baisse des températures s'atténue.

3.3.d état final du système

puissance neutronique = puissance extraite : $W_n = W_e$
caractéristique du système autostable.

augmentation de W_n = augmentation de la température combustible.

Les écarts ΔT_e échangeur, et ΔT_c caloporteur ont également augmenté

3.3.e évolution globale et examen des risques

- introduction d'eau froide dans le cœur = **augmentation de puissance.**
- refroidissement du primaire = **chute de pression.**
- proportions non négligeables si transitoire de puissance violent
(*rupture d'un collecteur de vapeur*)

L'augmentation de l'écart de températures entrée-sortie cœur
peut être important ($\Delta T_{\text{cœur}}$) et surveillé

Le **régime de pompage** devra éventuellement être augmenté
pour diminuer l'écart ($W = M \cdot C_p \cdot \Delta T$)

4. Modes de pilotage des REP EdF

4.1 Critères de conception

- **température maximale de surface de gaine**
- **température maximale du combustible : 2260°C,**
- **puissance linéique maximale de 590W/cm**
- **critère de non caléfaction : prévention de la crise d'ébullition**
- **limites mécaniques pour la gaine**


4.2 limites physiques de fonctionnement *visant à la tenue de la première barrière*

- **non-fusion à cœur du combustible**,
contrainte traduite en terme de **puissance linéique maximale** admissible en fonctionnement.
- prévention de **la crise d'ébullition**,
liée elle aussi à la **valeur de la puissance linéique**
- **prévention contre les ruptures de gaine**

4.2 Protection par surpuissance neutronique

4.2.a Facteur de point chaud neutronique

4.2.b axial Offset

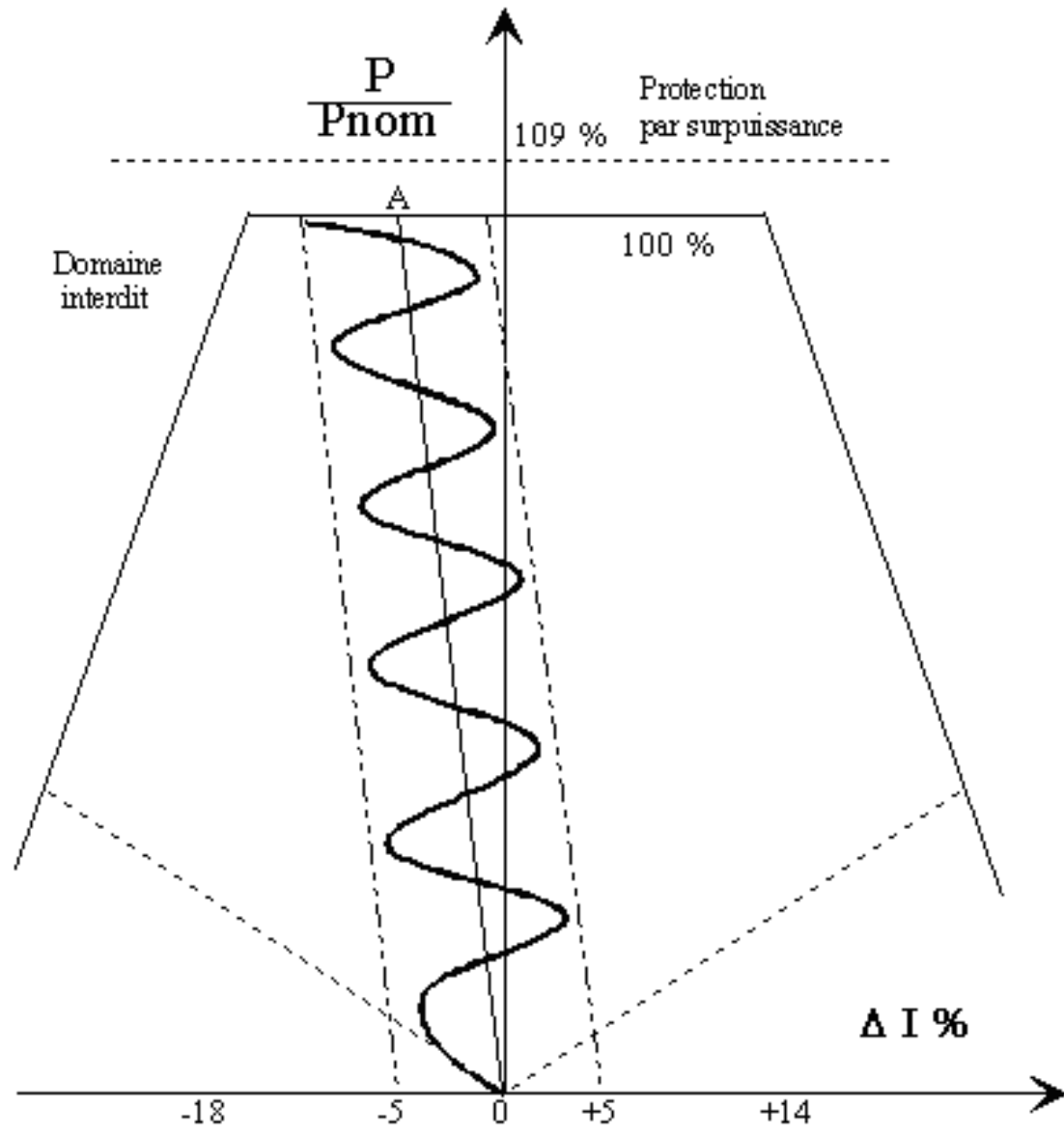
$$AO = \frac{I_H - I_B}{I_H + I_B}$$


corrélation entre FQ et l'Axial Offset

corrélation transposons en un diagramme $P_{max}(\Delta I) / P_{nom} = f(\Delta I)$

avec $\Delta I = AO * P / P_{nom}$

*(normalisation de l'Axial Offset à la puissance nominale),
d'où un domaine limité de fonctionnement.*



4.3 Modes de pilotage EdF

4.3.a à l'origine, le " mode B "

C'était un mode de pilotage **NOIR**. Ce mode comprenait :

- 6 groupes de 8 **grappes longues**
- 5 **grappes courtes** pour le contrôle de l'axial offset.

grappes courtes, positionnées en partie centrale du cœur (*maximal de flux*)
permettaient le **contrôle parfait de l'axial offset**.

les pics de puissance étaient mal contrôlés (pincements de flux)
d'où oscillations Xénon et **pics de puissance**

*mauvaise utilisation du combustible
été logiquement abandonné*

4.3.b Mode A

mode de pilotage NOIR

- **interdiction d'utilisation de grappes courtes**
les pics de puissance sont ainsi évités
- **temps de séjour limité** des grappes noires en position basse
afin d'éviter l'apparition d'oscillations Xénon.

mode peu souple et présente une incompatibilité du contrôle de l'axial offset avec les besoins de contrôle de la réactivité.

pour ce mode de pilotage l'obtention d'un axial offset correct n'est possible qu'avec des barres situées en position haute

4.3.c Mode G et X (palier N4)

mode A utilisant des grappes noires

ne pouvait satisfaire pleinement EDF

*confronté aux **problèmes de suivi de charge***

*entraînant des **mouvements de grappes importants***

Des grappes grises ont donc remplacé les grappes courtes ainsi qu'un certain nombre de grappes noires

Elles sont composés de 8 à 12 crayons absorbants

le complément étant composé de crayons "blancs" peu absorbants

Elles perturbent donc moins les répartitions de puissance.

Les grappes de commande sont manœuvrés par recouvrement

5. Sûreté, exploitation et neutronique

La **sûreté** regroupe l'**ensemble des dispositions** prises à tout les stades de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'arrêt des installations nucléaire pour protéger en toute circonstances l'homme et son environnement naturel contre la dispersion des produits radioactifs,

c'est à dire **3 dispositions** :

- assurer le fonctionnement normal,
- prévenir les incidents et accidents,
- limiter les conséquences en cas d'incident ou d'accident.

La **défense en profondeur** consiste à prendre en compte de façon systématique

les défaillances techniques, humaines ou organisationnelles

et à s'en prémunir par des lignes de défense successives

(3 lignes de défense) :

- la **prévention**,
- la **surveillance** ou la **détection**,
- les **moyens d'action ou le traitement**.

Pour **éviter la défaillance des barrières**
ou pour limiter les conséquences de leurs défaillances,
il faut respecter les **3 fonctions de sûreté suivantes**

(3 fonctions de sûreté) :

- **contrôler la réactivité,**
- **contrôler le refroidissement du combustible,**
- **contrôler le confinement des produits radioactifs.**