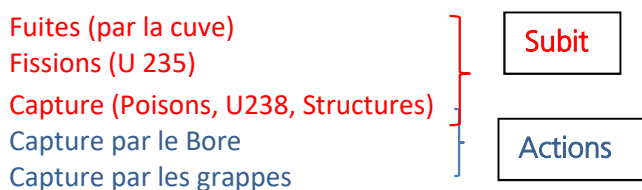


Objectifs pédagogiques


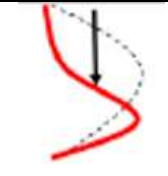
OPG	OPS
OPG 4 : Décrire l'évolution des principaux paramètres physiques de l'installation dans un système régulé.	Citer les paramètres influençant la réactivité et l'évolution de leur efficacité au cours de la campagne.
OPG 2 : Intégrer les contraintes d'exploitation dans la MES et/ou l'arrêt d'un matériel d'une centrale REP.	Citer chronologiquement les principales étapes pour passer le réacteur d'Arrêt à Chaud à Attente à chaud.
OPG 4 : Décrire l'évolution des principaux paramètres physiques de l'installation dans un système régulé.	Décrire l'évolution des paramètres lors du transitoire et les exigences associées.
OPG 3 : Estimer l'impact de leurs activités sur la sûreté et le fonctionnement de la centrale REP.	Identifier les risques et parages liés au transitoires de divergence.

OPG	OPS
OPG 2 : Intégrer les contraintes d'exploitation dans la MES et/ou l'arrêt d'un matériel d'une centrale REP.	Citer chronologiquement les principales étapes du basculement GCTa/GCTc (VCD).
OPG 1 : Expliquer le fonctionnement régulé d'une centrale REP.	Expliquer les principales étapes du basculement GCTa/GCTc à partir des régulations GCTa et GCTc (VCD).
OPG 2 : Intégrer les contraintes d'exploitation dans la MES et/ou l'arrêt d'un matériel d'une centrale REP.	Citer chronologiquement les principales étapes du basculement ASG/ARE.
OPG 1 : Expliquer le fonctionnement régulé d'une centrale REP.	Expliquer les principales étapes du basculement ASG/ARE à partir de la régulation des niveaux GV.

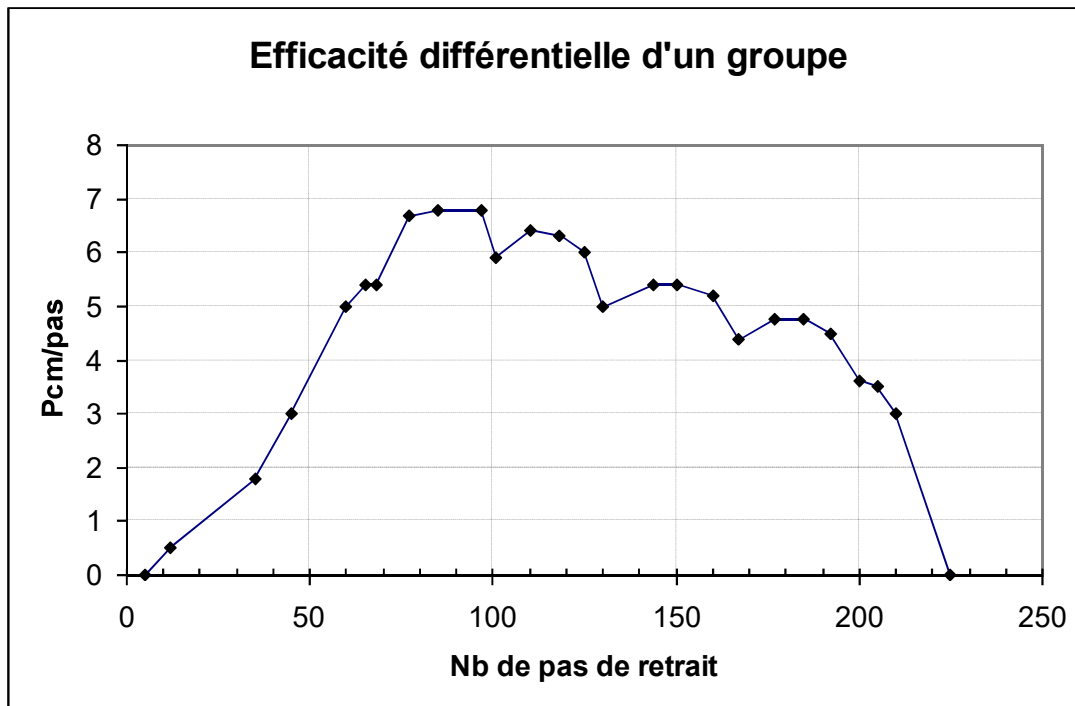
Rappels sur le neutron, que va-t-il devenir ?



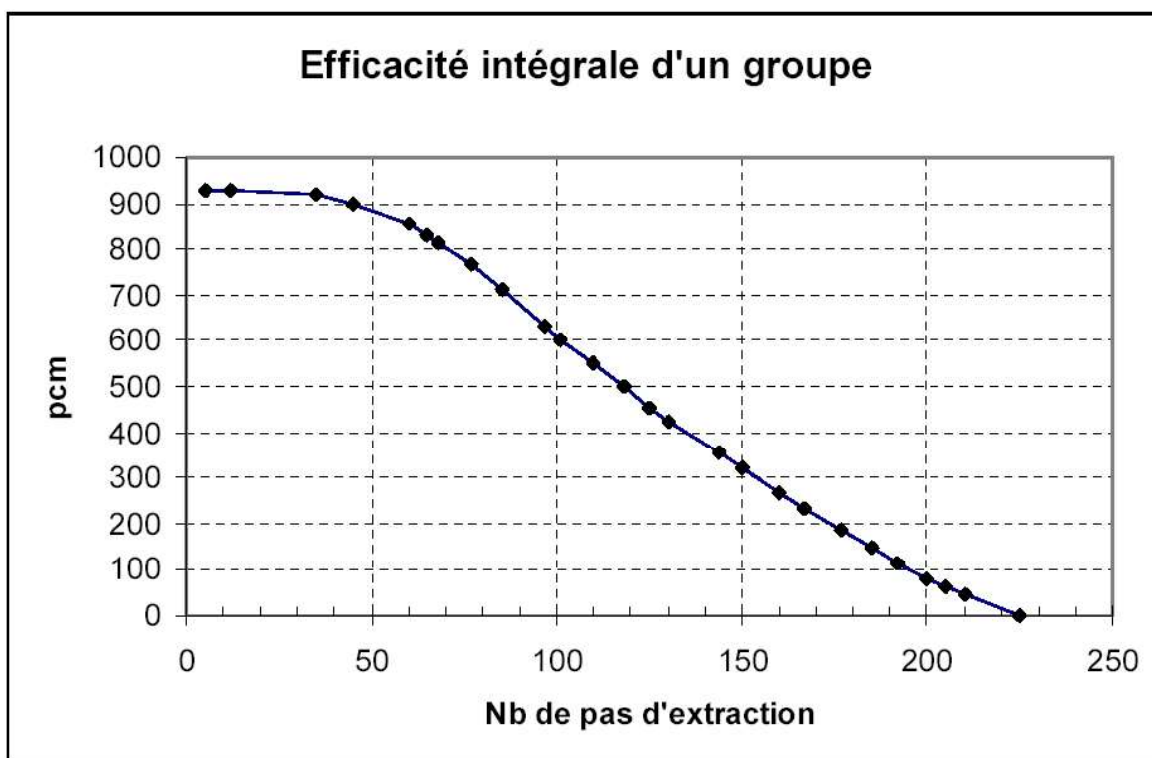
Avantages et inconvénients du BORE / Grappes :

	Avantages	Inconvénients	Forme du flux	Utilisation
Bore	<ul style="list-style-type: none"> - Usure homogène - Pas de déformé de flux 	<ul style="list-style-type: none"> - Lent (20 min) - Effluents 		<ul style="list-style-type: none"> - Compense usure K (3 ppm/j) - Compense poison - 1er montée charge par dilution
Grappes	<ul style="list-style-type: none"> - Rapide 	<ul style="list-style-type: none"> - Usure non homogène - Déforme le flux 		<ul style="list-style-type: none"> - Variation de charge - Gestion du ΔI

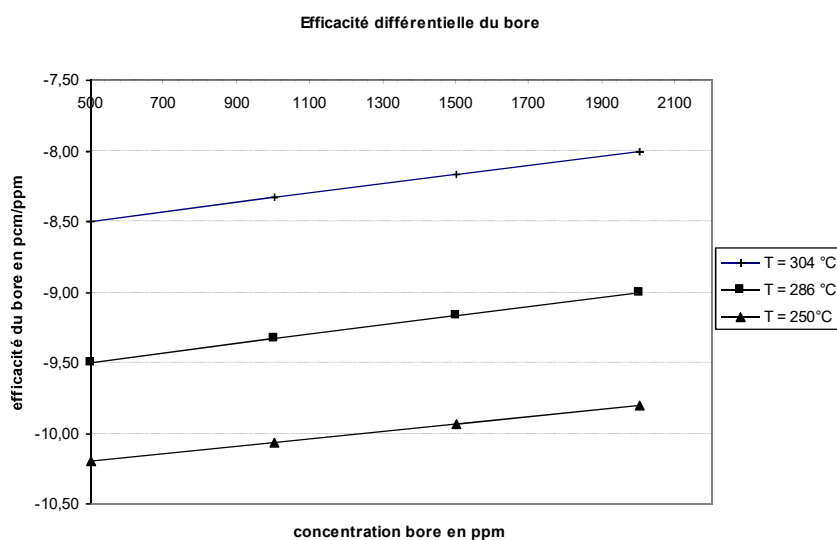
Efficacité différentielle des grappes : Δp due à variation d'un pas d'un groupe à partir d'une position donnée. (pcm/pas)



Efficacité intégrale des grappes : C'est l'antiréactivité totale apportée par 1 groupe de grappes dans une position donnée, par rapport à une position totalement extraite. Elle est exprimée en pcm.



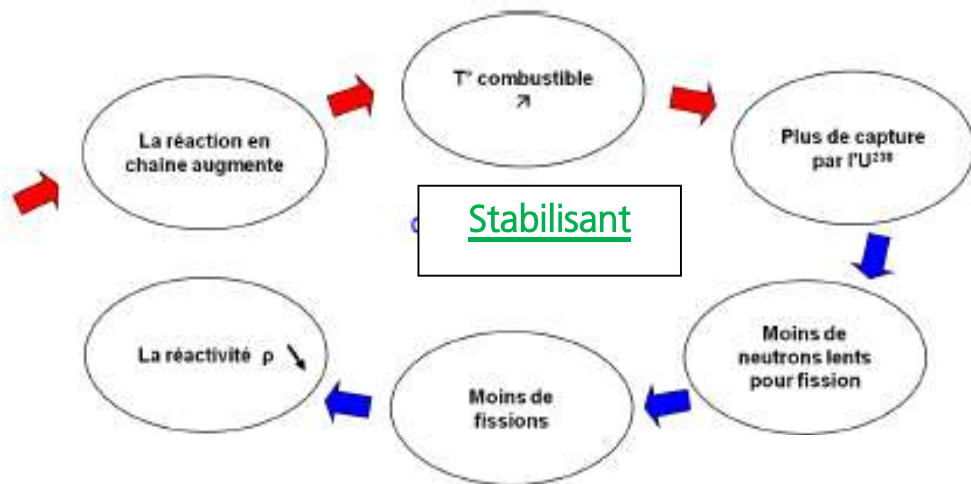
Efficacité différentielle du Bore : $\Delta\rho$ pour ΔC_b de 1ppm



1ppm= 1g de bore/1 tonne de solution = 10^{-6}

Effet Doppler : $T^\circ \text{ U238} \nearrow$, plus U238 capture des neutrons.

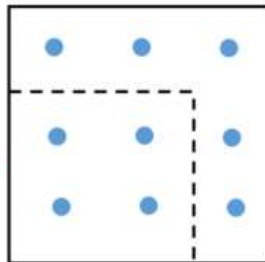
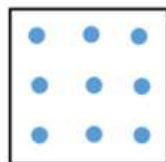
A ne pas confondre avec le seuil doppler (10-6A sur les CNI), début de la chauffe nucléaire.



Effet modérateur – α_m :

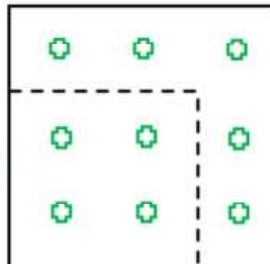
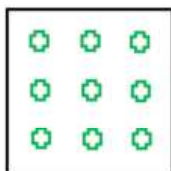
α_m = effet de l'eau + effet du bore ($\text{pcm}/^\circ\text{C}$)

Effet de $T^\circ\text{C}$ de l'eau :



$\nearrow T^\circ$
Dilatation de l'eau
Neutrons moins ralentis,
Moins de fission
 $\searrow \rho$
Stabilisant

Effet de $T^\circ\text{C}$ du bore :



$\nearrow T^\circ$
Dilatation du bore
Moins de capture
Plus de fission
 $\nearrow \rho$
Déstabilisant

Stabilisant
 $\alpha_m < 0$

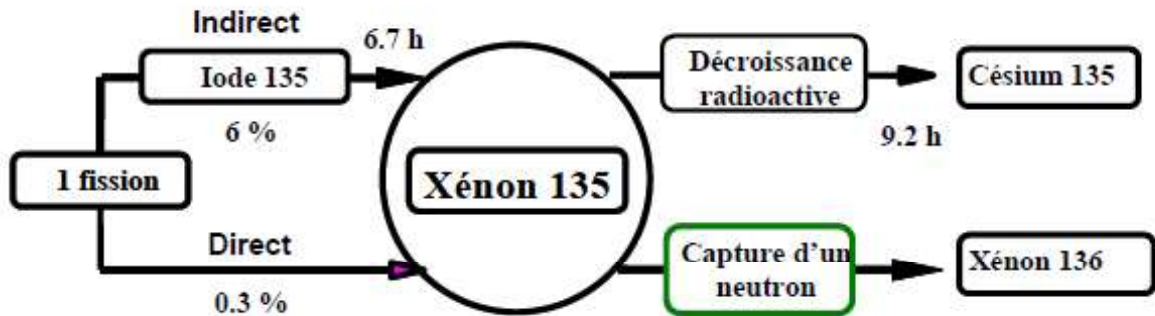
Il est possible de majorer la Cb si $\alpha_m >$

Effet de puissance ($\text{pcm}/\%$ dans DSFP) = α_m ($\text{pcm}/^\circ\text{C}$ eau) + α_u ($\text{pcm}/^\circ\text{C}$ U238)

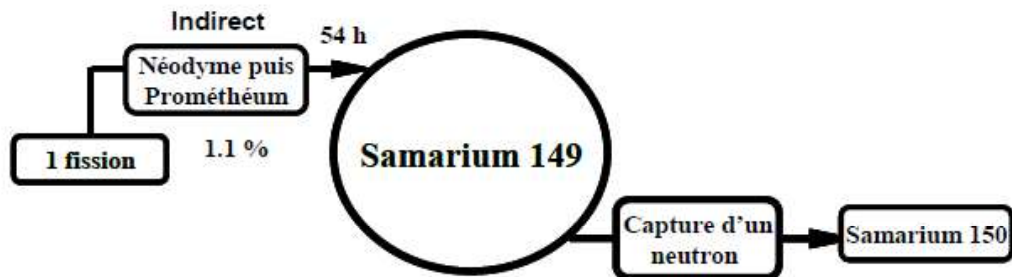
Stabilisant

Poison : Xénon / Samarium

- Xénon :



- Samarium :



Usure du combustible :

Dilution de 3ppm environ par jour pour compenser l'usure du combustible (piloté à la Tmoy = Tref)

Définition STE

□ MAR :

[Chercher dans STE](#)

Niveau de sous criticité qui serait atteint après la chute de toutes les grappes, sauf la plus anti-réactive.

Pour respecter la MAR, il faut : $MAR = GA + GG (> G3) + GR (> LTB)$

□ Ecart à la criticité :

[Chercher dans STE](#)

Mesure de l'écart à la criticité obtenue, à un instant donné, par un bilan de réactivité.

Garantie de sous criticité, par respect des limites requises sur la Cb et la position des grappes.

Séquence n° 5 - DIVERGENCE

Chronologie :

Etat initial	Etat final
AN/GV Arrêt à chaud (prendre STE) $P11 \leq P \leq 155 \text{ bar}$ $P12 \leq T \leq 286_{-2}^{+3} \text{ °C}$ $CB = 1425 \text{ ppm} \geq CB \text{ AAC}$ ASG/GCTa GG à 5 pas individuellement => 0 pas de chevauchement GR à 5 pas G Arrêt : SB et SD à 225 pas (GARANCE) SA et SC à 5 pas Réacteur Sous critique convergé OAP indisponible, bilan avec Xenon 0d	RP – Attente à chaud $P = 155 \text{ bar}$ $T_m = 286 \text{ °C} +3 -2$ $0\% < P_n \leq 2\%$ Cb critique GCTa/ASG $GCP \geq G3$ $GR \geq LTBI$ SA, SB, SC, SD à 225 pas Réacteur critique, auto-entretenu

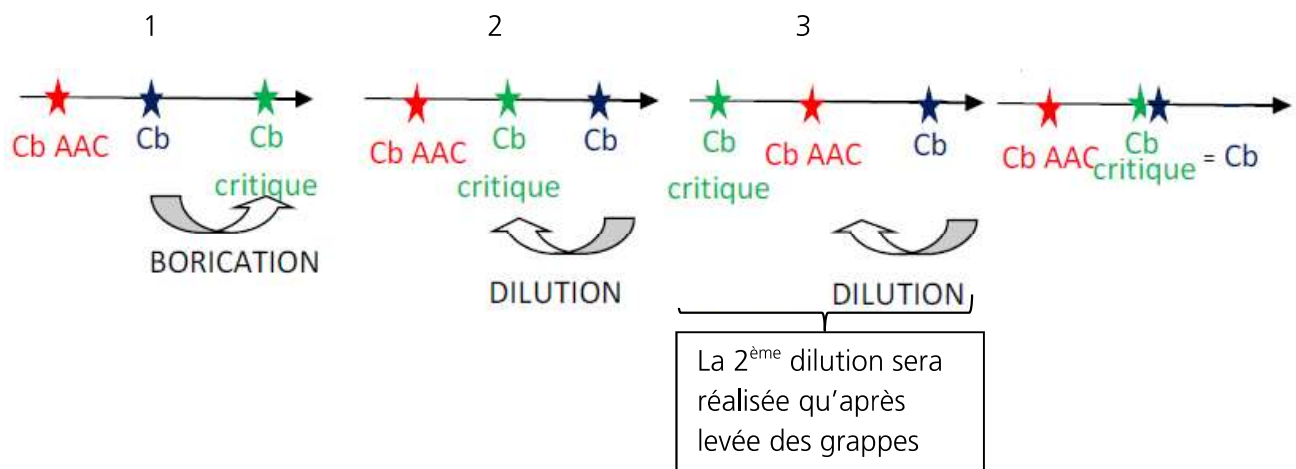
Donner une CGE PIL 2 DIV vierge à chaque stagiaire et faire la préparation pas à pas avec eux.
Faire un bilan de divergence avec Xenon 0D

- 1) Stratégie de divergence, bilan de réactivité : Côte de divergence, Cb critique
Stratégie à privilégier → diverger à la Cb actuelle

Correction Prépa -> CGE PIL 2 remplie

Montrer les différents cas possibles de divergence au fur et à mesure de la préparation (les différentes Cb et Cdiv)

- 2) Borication ou dilution



$Cb = Cb \text{ max } (Cb \text{ critique}, Cb \text{ AAC})$

- 3) ECU 50 « Passage du domaine AN/GV au domaine RP » (Evaluation contrôle ultime)
- 4) Inhiber les AA haut flux à l'arrêt
- 5) Extraction SA, SB (MOX) (**TOP RP**) jusqu'à 225 pas
- 6) Extraction du GR jusqu'à MBM + ITC tous les 50 pas (RCN PIL P3.9)

Suivi de l'ITC :

L'approche sous critique est une phase sensible vis-à-vis de la maîtrise de la réactivité. Elle est conditionnée par un **bilan de réactivité** réalisé entre deux états critiques, qui permet d'évaluer les conditions de divergence. Toutefois, ce dernier **présentant des incertitudes** - quantifiables, il est primordial de suivre l'évolution des paramètres physiques de la tranche pour garantir la maîtrise de la réactivité durant cette phase et le respect des conditions de divergence.

Ce SUIVI constitue également une aide importante pour l'équipe de conduite puisqu'il permet:

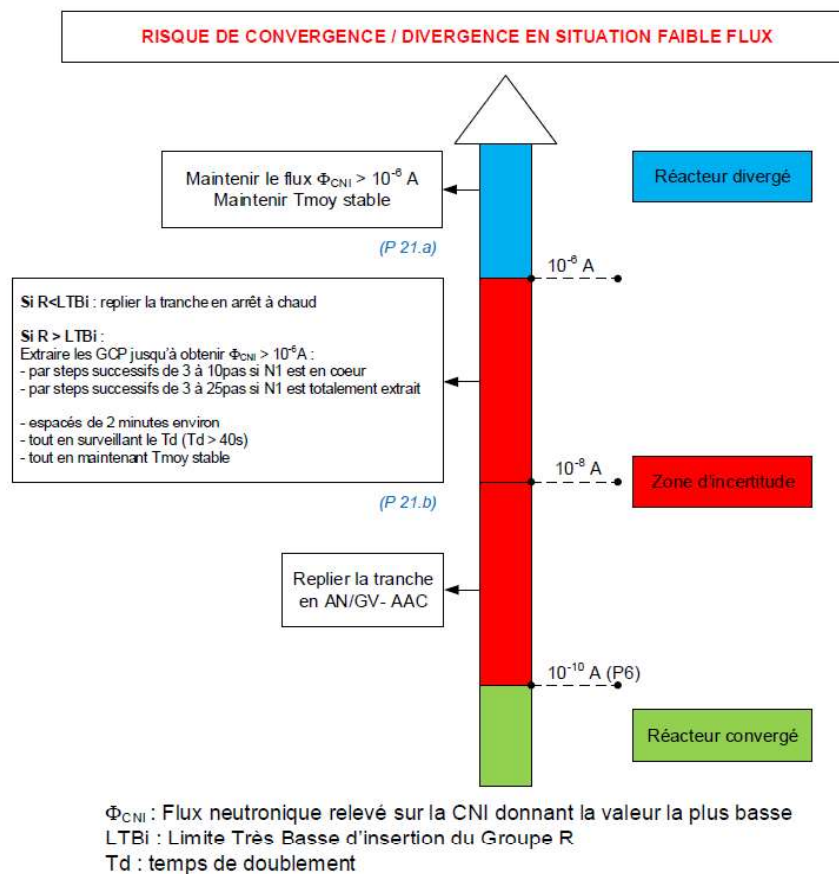
- **d'obtenir une vue directe sur le chemin restant à parcourir jusqu'à la divergence,**
- **d'affiner la cote de divergence réelle,**
- **de visualiser que la divergence arrivera entre la position CCN et la position TBH.**

7) Extraction des GCP à CCN + 20 pas + ITC tous les 50 pas **Si risque de divergence < CCN alors arrêt puis borication et reprise**

8) Dilution à la CBcritique si elle était < CB AAC

9) Extraction GCP jusqu'à divergence => **Blocage AAR CNS quand P6**
Si N1 inséré : steps de 1 à 10 pas (car groupe puissant) sinon de 1 à 25 pas.

10) Stabiliser en attente à chaud



DT265

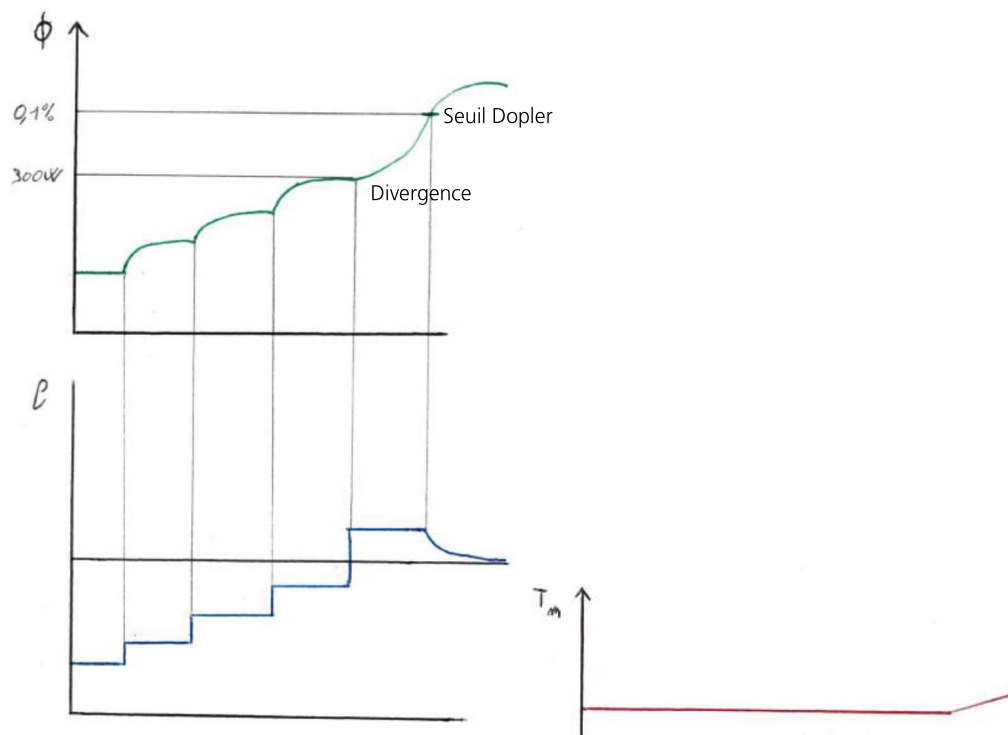
Surveillance pendant la divergence :

- Temps de doublement > 40s (consigne) , 18s (alarme)
- Flux (DT 265)
- Passage du P6 + inhibition de l'AAR
- $T_m^{+3/-2}$
- Puissance thermique < 2%
- Niveaux GV

Confirmation de la divergence :

- $T_d \neq \infty$
- $T_d > 40s$ (recommandation) > 18s (prescription RCN PIL)
- Augmentation exponentielle du flux
- Gradient de température positif (chauffe nucléaire)
- KIT RPN 999 EC s'actualise toute les 20min (10^{-8} A CNI)

Evolution du flux au cours de la divergence :



RISQUES ET PARADES - DIVERGENCE

Extrait de la note D5160-SD-NT-07/5219 « Mise en œuvre de la fiabilisation des interventions au service conduite (Transitoires sensibles et activités à risque AAR) » de Saint Laurent des Eaux

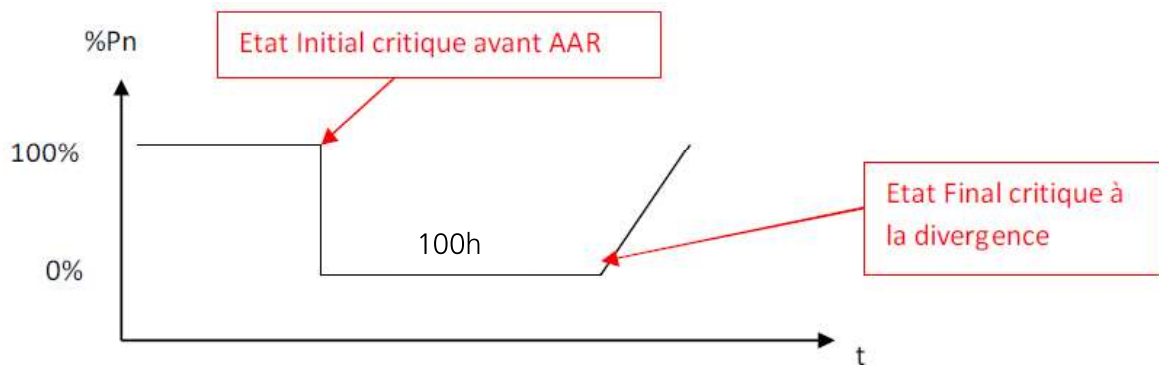
Etat initial : Réacteur en AN/GV à l'état Arrêt à Chaud, sous critique ; GMPP ES ; T_{MOY} réglée par GCT ; RGL dispo

REACTIVITE		
RISQUES	SURVEILLANCE	PARADES
Divergence incontrôlée par suivi inapproprié des paramètres neutroniques	<ul style="list-style-type: none"> - Chaîne audio - Indicateurs et EN des CNS et des CNI - Suivi du flux au KIT - Temps de doublement 	<ul style="list-style-type: none"> - Maintenir $T_d > 40$ sec. Alarme $T_d < 18$ sec. - Attention avec un T_d de l'ordre de 40 sec. , l'AAR intervient rapidement après le P6 (environ 1 minute). - Après le blocage de l'AAR par haut flux CNS, continuer à suivre les paramètres de flux et le T_d sur les CNI.
Arrêt automatique par haut flux CNS	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance du flux sur les CNS - Extinction des voyants RPR 	<ul style="list-style-type: none"> - Blocage de l'AAR par haut flux CNS après le passage du P6 (extinction des voyants RPR 116 117 118 LA) - Attention un T_d de l'ordre de 40 sec (AAR intervient rapidement après le P6 (env 1 min))
Divergence avec les grappes sur-insérées (non respect de la marge d'antiréactivité).	<ul style="list-style-type: none"> - Position des grappes. - Tracé inverse taux de comptage. - Heure de divergence. 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix d'une cote de divergence supérieure aux limites d'insertion (bilan de réactivité). - Arrêt des opérations de divergence si prévisions de divergence sous les limites d'insertion (+200 pom dans les cas de divergence en phase de décroissance xénon). - Application du mode opératoire (réinsertion des grappes et/ou borication du circuit primaire).
Alpha M positif	<ul style="list-style-type: none"> - Position des grappes - Cb 	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte des limites d'extraction données par le DSFP (prescription particulière STE RP).
Divergence incontrôlée par le modérateur consécutif à un refroidissement.	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance renforcée de la température de référence à +/- 0,5°C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Débit d'alimentation des GV constant. Niveaux GV en gamme étroite stabilisé. Débit de purge constant. - Puissance résiduelle suffisante pour éviter d'avoir à faire un basculement d'alimentation en eau des GV lors du transitoire. - Éviter toute consommation de vapeur : évacuation de puissance par contournement du condenseur ou à l'atmosphère, mise en service d'utilisateur sur VVP (CVI, CET, APP, Conditionnement vapeur), ouverture purges circuits vapeur.
Bilan de réactivité erroné.	<ul style="list-style-type: none"> - Tracé inverse taux de comptage 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle des données d'entrée du bilan. - Confrontation des bilans conduite / SSQ.
Remise en cause de la stratégie de divergence	<ul style="list-style-type: none"> - Heure de divergence prévue. 	<ul style="list-style-type: none"> - Stratégie de divergence connue et partagée par tous les acteurs (conduite et IS à minima). - Respect du mode opératoire.
<ul style="list-style-type: none"> - Convergence par puissance résiduelle faible ou croissance xénon. - Excursion de puissance après divergence 	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance renforcée de la T_m (+/- 0,5°C). - Surveillance du flux et de la puissance. - Suivi xénon sur KGB. 	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance de la puissance neutronique ET de la puissance thermique. - Surveillance des moyens d'appoint en eau des GV ou des consommateurs de vapeur lorsque la puissance résiduelle est faible.
<ul style="list-style-type: none"> - Divergence ou convergence incontrôlée 	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi de la puissance sur les CNI 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler sur les CNI l'état du réacteur (divergé, convergé, zone d'incertitude) (cf. DT 265).

Bilan de réactivité :

Divergence 100h après AAR (sans Xénon) (*DSFP CHB Campagne 14 du mistral CP2*)

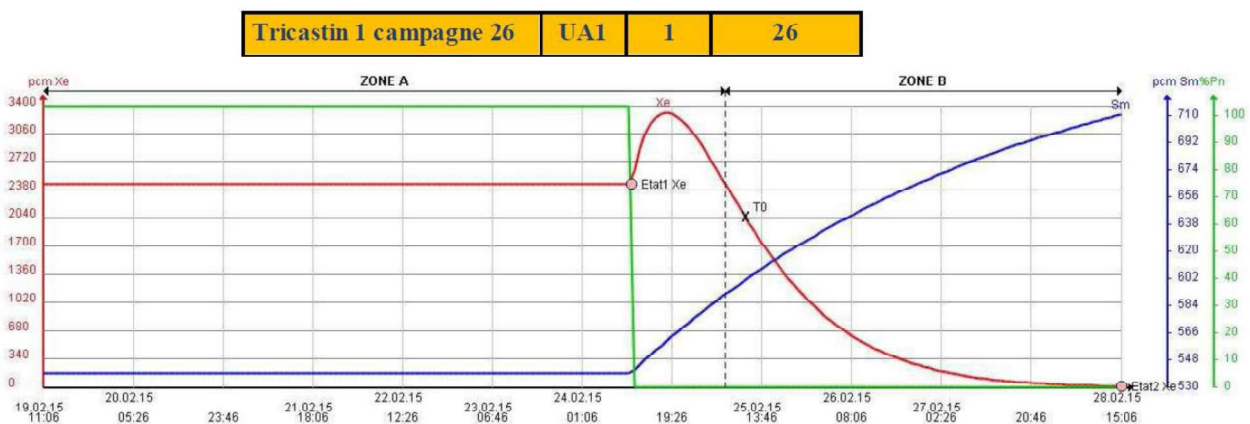
Calcul de la Cote de divergence des GCP



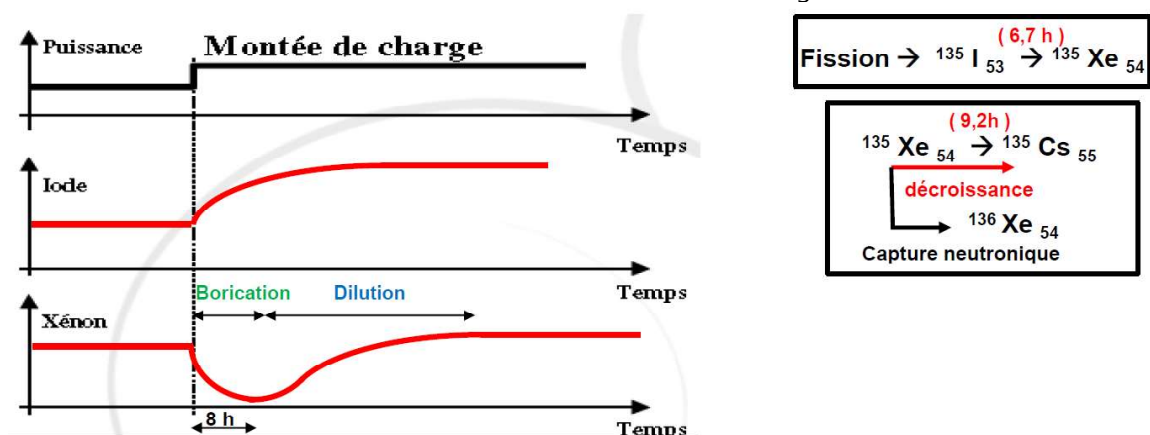
Evolution du Xe

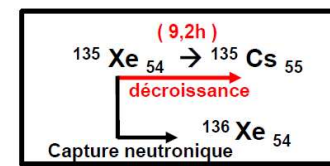
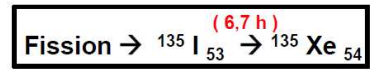
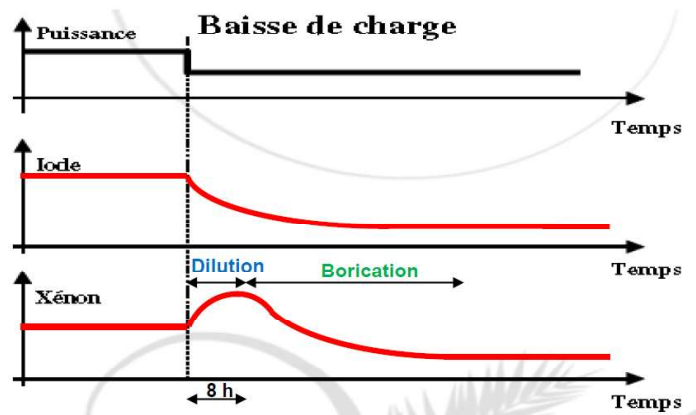
Montrer comment évolue le Xe suite à un AAR.

Expliquer la différence d'évolution Xe par rapport à une baisse de charge



A partir du schéma de production du Xénon, demander aux stagiaires la forme que prendra l'évolution du xénon suite à une montée ou une baisse de charge.





MISTRAL – DIVERGENCE

Passage en SEANCE PIL
Prévoir un tour de bloc

N° mémo	Libellé
M032	AAC ASG-GCT-a GTA chaud Xe equi DDV Pil

Précisions par rapport à l'état initial

Paramètres primaires	Paramètres secondaires
ANGV P11 <P<155 bars Cb = 1346 ppm (Cb < Cb(AAC)) DDV AAR + 100h SB et SD extraits	Source froide = GV ASG, GCTa

Temps indicatif	STAGIAIRES	FORMATEUR	
	Actions attendues des stagiaires	Action formateur	Activateurs
T ₀	Prise en main de Mistral	Init M032 : AAC ASG-GCT-a GTA chaud Xe equi DDV Pil	
T ₀ + 1 min	R en manu S en recal G en manu (recal c'est pour les autos uniquement)	Forcer la Cb à 1425 ppm pour se mettre en conformité avec les bilans de réactivité (RCPFGM)	<p>☞ Lancer l'activateur PIL08 « Réglage débits eau et bore pour appoint AUTO » marche</p> <p>après exécution de la procédure il faut repasser la platine REA en AUTO et MARCHE.</p> <p>Vérifier que l'activateur PILY03 « Régulation des niveaux GV par ASG » est coché</p> <p>☞ Lancer l'activateur PIL05 « Choix de la consigne du débit de décharge »</p> <p>☞ Lancer l'activateur PILY04 « Remplissage de la bache ASG001BA »</p> <p>☞ Lancer l'activateur PIL04 « MES des chaufferettes TOR (2) PZR et polarisation aspersion »</p> <p>Mettre en service la chaîne audio via la commande locale RPN419SCC (clic droit, recherche => paramètre signal audio /10)</p>
T ₀ + 15 min	Tour de bloc		

Temps indicatif	STAGIAIRES	FORMATEUR	
	Actions attendues des stagiaires	Action formateur	Activateurs
T0 + 45 min	<p><u>Approche sous critique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Régler la Tm stable à 286^{+0/-0,5} °C via GCT_a <input type="checkbox"/> Extraire les groupes d'arrêt → TOP RP <input type="checkbox"/> Demander le blocage des alarmes « Flux Elevé à l'Arrêt » <input type="checkbox"/> Extraire le GR par incrémentation de 50 pas en réalisant l'inverse du taux de comptage <input type="checkbox"/> Extraire les GG par incrémentation de 50 pas en réalisant l'inverse du taux de comptage. Interruption de l'extraction une fois la côte CCN + 20 pas atteinte. <input type="checkbox"/> Au passage du P6, bloquer l'AAR par haut flux CNS (CTRL CROISE) <input type="checkbox"/> Constater l'arrêt des CNS (et donc de la chaîne audio également) 	À la demande des stagiaires, bloquer les AA « Flux Elevé à l'Arrêt » avec les RPN 416/417CC	<p>☞ Lancer PIL03 « mémorisation des C0 C pour comptage » à chaque réinitialisation du tracé de l'inverse du taux de comptage pour pouvoir afficher les courbes Inverse taux de comptage (onglet Poste Instructeur : à afficher au vidéo éventuellement) .</p>
T0 + 1h 30	<p><u>Divergence par extraction des groupes gris :</u></p> <p>Si N1 inséré : extraction des GG par steps de 1 à 10 pas Si N1 extrait : extraction par steps de 1 à 25 pas</p> <p>TEL CE</p> <p><u>Stabilisation du flux sous 2%Pn. Entre 0,5 et 1% Pn</u></p>	Surveillance du flux sur les CNI	
T ₀ + 1h45	Fin de la simulation		