

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# EPR FA3 - soupape de sûreté pilotée du PZR

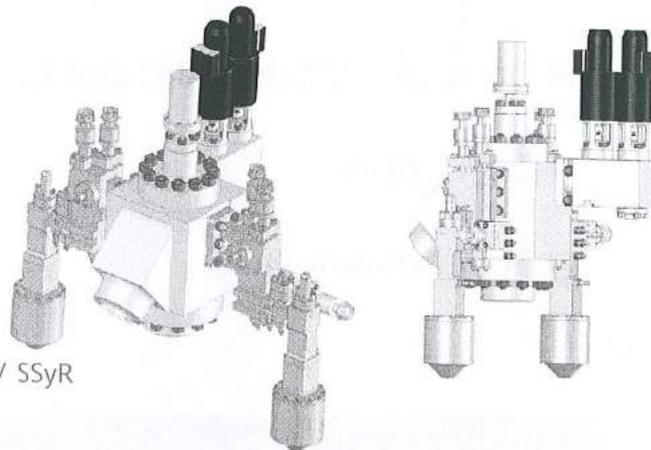
Réunion ASN/DEP - ASN/DCN - IRSN

13 février 2015

Christian LINCOT - PSN-SRDS / SSyR

Patrice NEGRI - PSN-EXP / SES

Jean-François TRIGEOL - PSN-SRDS / SSyR



## SOMMAIRE

1. Rappel : la soupape de sûreté pilotée SEBIM
2. La soupape de sûreté pilotée du pressuriseur de l'EPR FA3
3. Comparaison entre le concept SEBIM et le concept SEMPELL
4. Essais de qualification et de robustesse
5. Résultats des premiers essais Colombus
6. Analyse IRSN des risques de dysfonctionnement de la PSRV
7. Ecart par rapport aux requis réglementaires et normatifs
8. Conclusion

# 1. Rappel : la soupape de sûreté pilotée SEBIM

- Présentation
- Exigences fonctionnelles
- Caractéristiques principales
- Description
- Fonctionnement

## 1. Rappel : la soupape de sûreté pilotée SEBIM

### ➤ Présentation

- Sur le parc actuel la décharge du pressuriseur (PZR) est assurée par trois lignes de soupapes de sûreté pilotées
- Chaque soupape de sûreté pilotée est constituée d'un tandem de deux soupapes assemblées en série (une soupape de protection et une soupape d'isolement), chacune assistée par un pilote
- Chacun des pilotes comprend un électroaimant qui permet le forçage à l'ouverture de la soupape à laquelle il est associé

## ➤ Exigences fonctionnelles

Les soupapes de sûreté pilotées sont requises dans les situations suivantes :

- Surpressions à chaud
- Surpressions à froid (protection par électroaimant)
- Gavé-ouvert (modification nouvelle tête de soupape SEBIM)

## ➤ Caractéristiques principales

	Soupapes de protection	Soupapes d'isolement
Ligne de décharge	RCP 020 VP O : 16,6 MPa	RCP 017 VP O : 14,6 MPa
	RCP 020 VP F : 16,0 MPa	RCP 017 VP F : 13,9 MPa
Lignes de sûreté	RCP 021 VP O : 17,0 MPa	RCP 018 VP O : 14,6 MPa
	RCP 021 VP F : 16,4 MPa	RCP 018 VP F : 13,9 MPa
	RCP 022 VP O : 17,2 MPa	RCP 019 VP O : 14,6 MPa
	RCP 022 VP F : 16,6 MPa	RCP 019 VP F : 13,9 MPa

Hystérésis : 6 bar soit 3,6 %

Précision de tarage :  $\pm 0,5$  bar

Débit de 165,6 t/h de vapeur saturée sous une pression de 172,3 bar abs.

Temps de manœuvre :

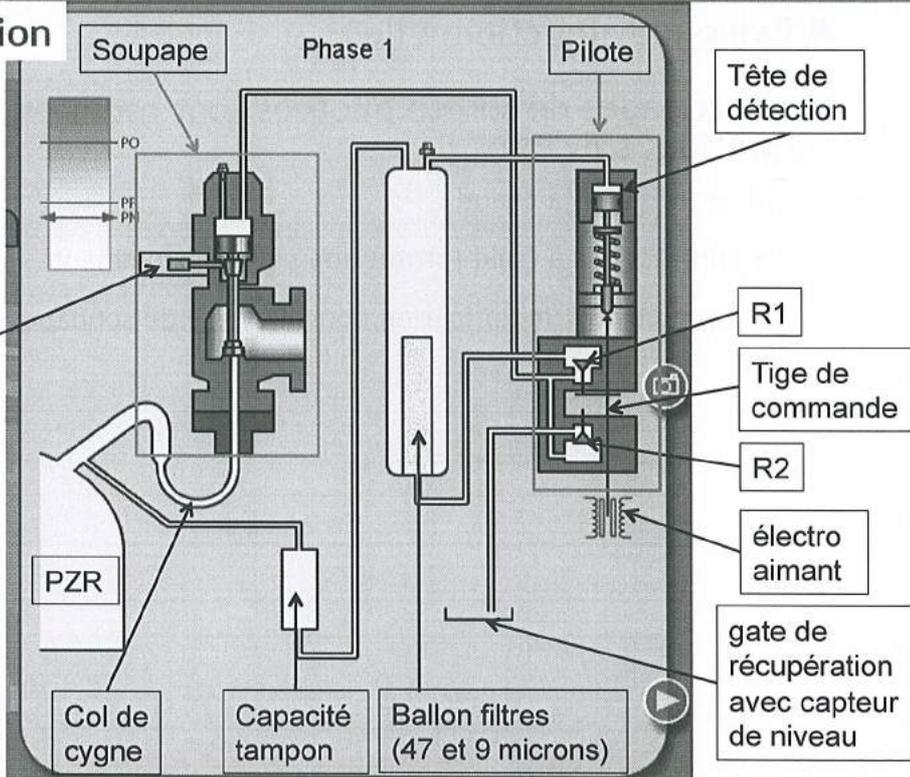
- Temps mort 0,3 s
- Temps d'ouverture 1,5 s

## ➤ Description

Aucun robinet sur les lignes et liaisons

Capteur de déplacement

1 capteur de température du col de cygne  
1 capteur de température de la capacité tampon

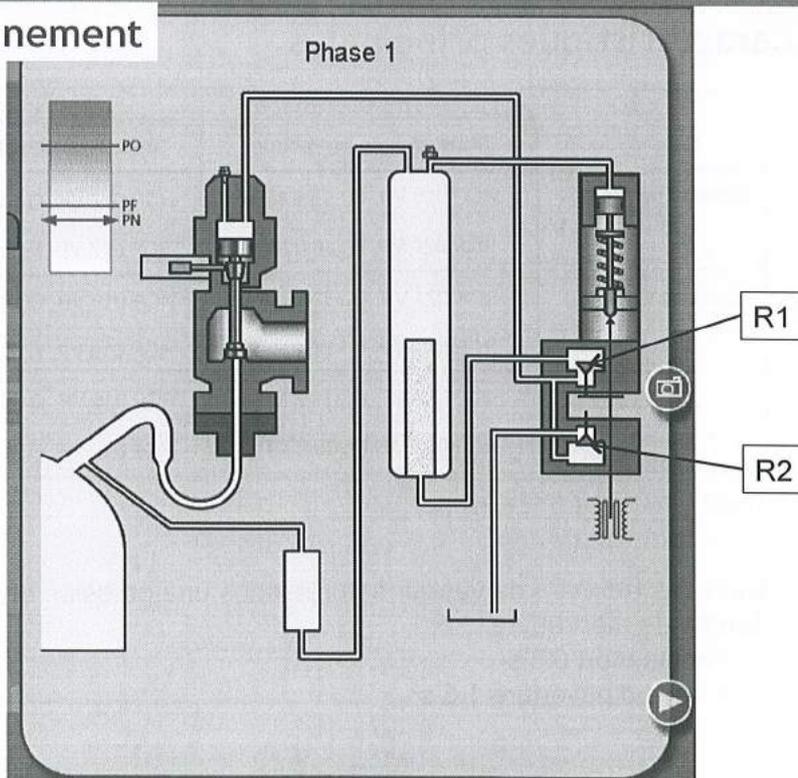


## ➤ Fonctionnement

Fonctionnement nominal

R1 ouvert  
R2 fermé

Soupape fermée

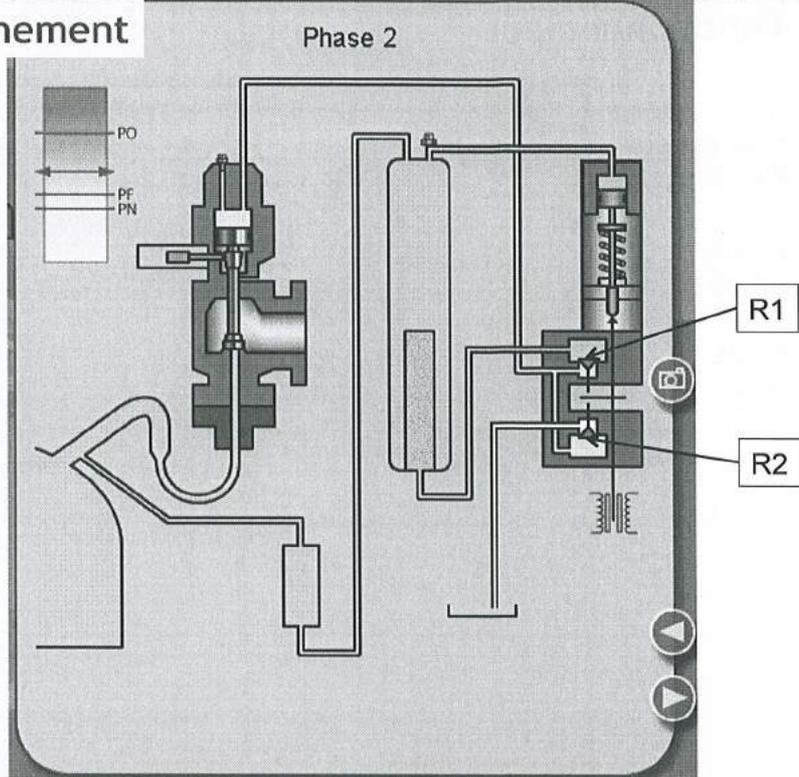


## ➤ Fonctionnement

La pression du PZR augmente

R1 fermé  
R2 fermé

Soupape fermée

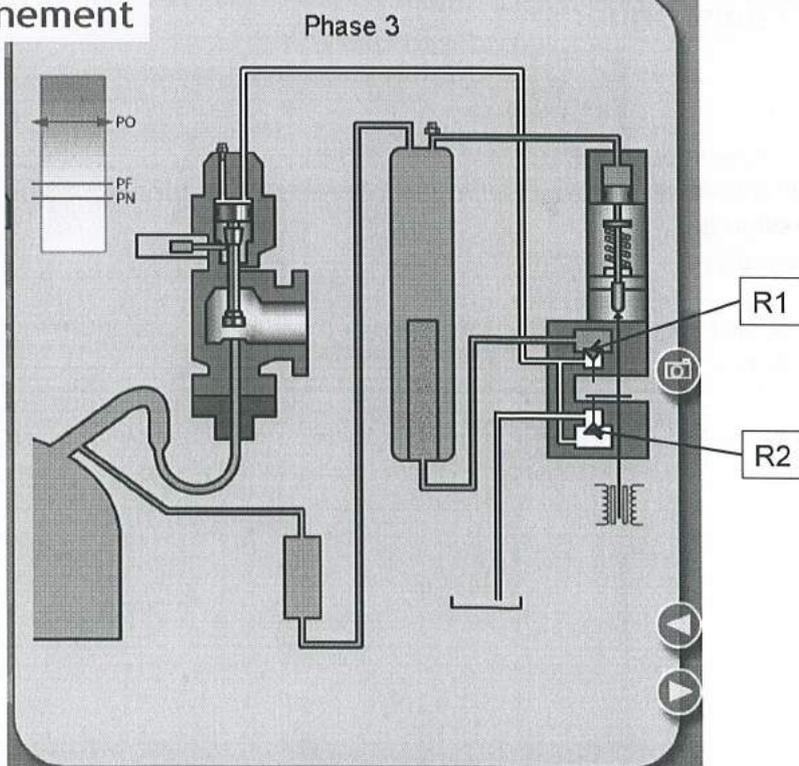


## ➤ Fonctionnement

La pression du PZR atteint la pression de tarage

R1 fermé  
R2 ouvert

Soupape ouverte

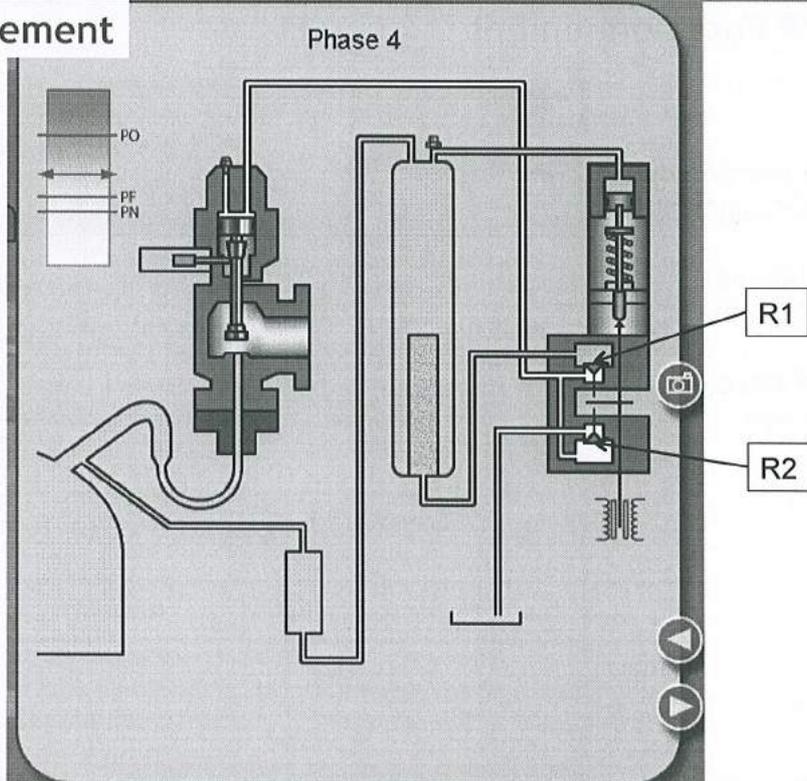


## ➤ Fonctionnement

La pression du PZR baisse

R1 fermé  
R2 fermé

Soupape ouverte

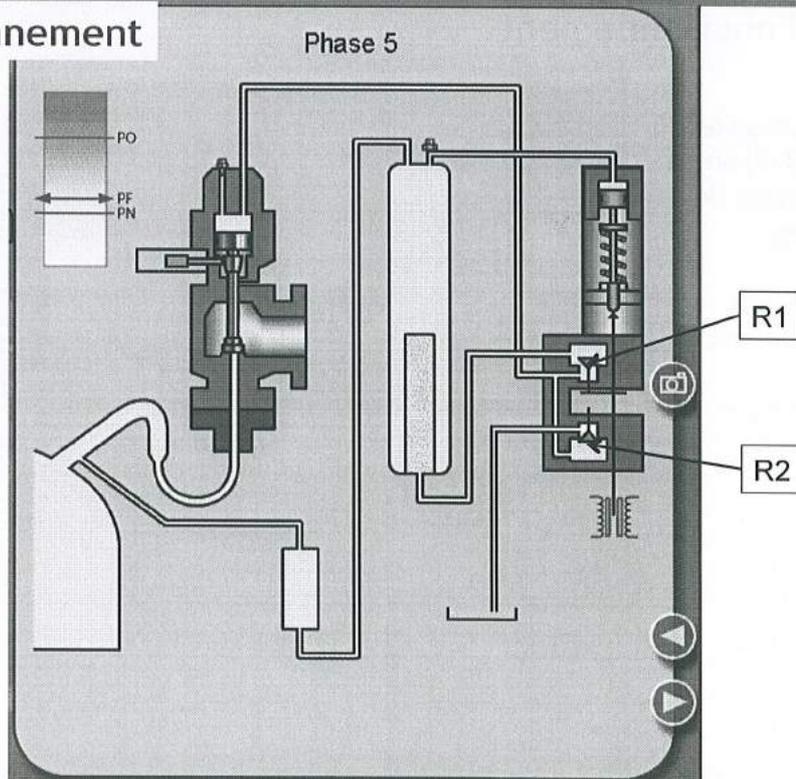


## ➤ Fonctionnement

La pression du PZR atteint la pression de refermeture

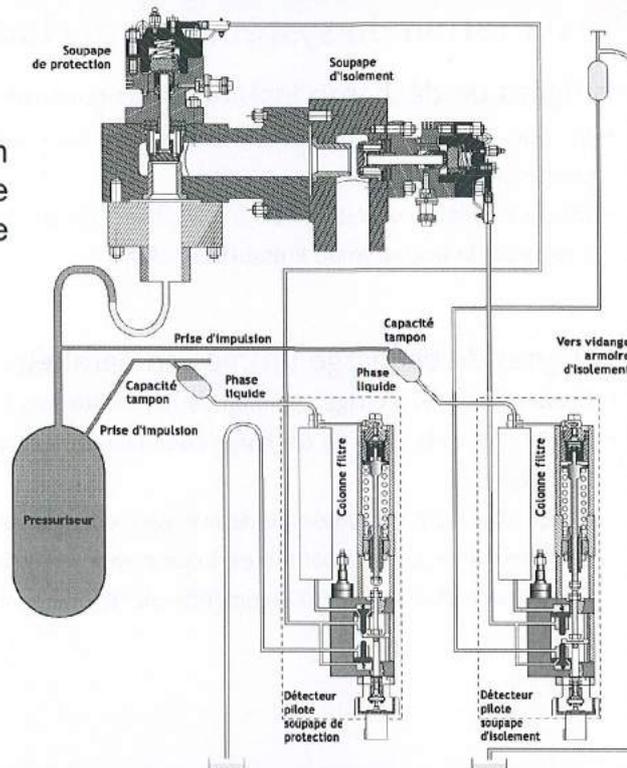
R1 ouvert  
R2 fermé

Soupape fermée



## ➤ Fonctionnement

Tandem SEBIM :  
1 soupape de protection  
et une soupape  
d'isolement, chacune  
assistée par un pilote



## 2. Soupape de sûreté pilotée du pressuriseur de l'EPR FA3

- Présentation du système de décharge du PRZ
- Exigences fonctionnelles
- Caractéristiques principales
- Description
- Fonctionnement
- Instrumentation

## ➤ Présentation du système de décharge du PZR

### ▮ Trois lignes de décharge installées au sommet du pressuriseur

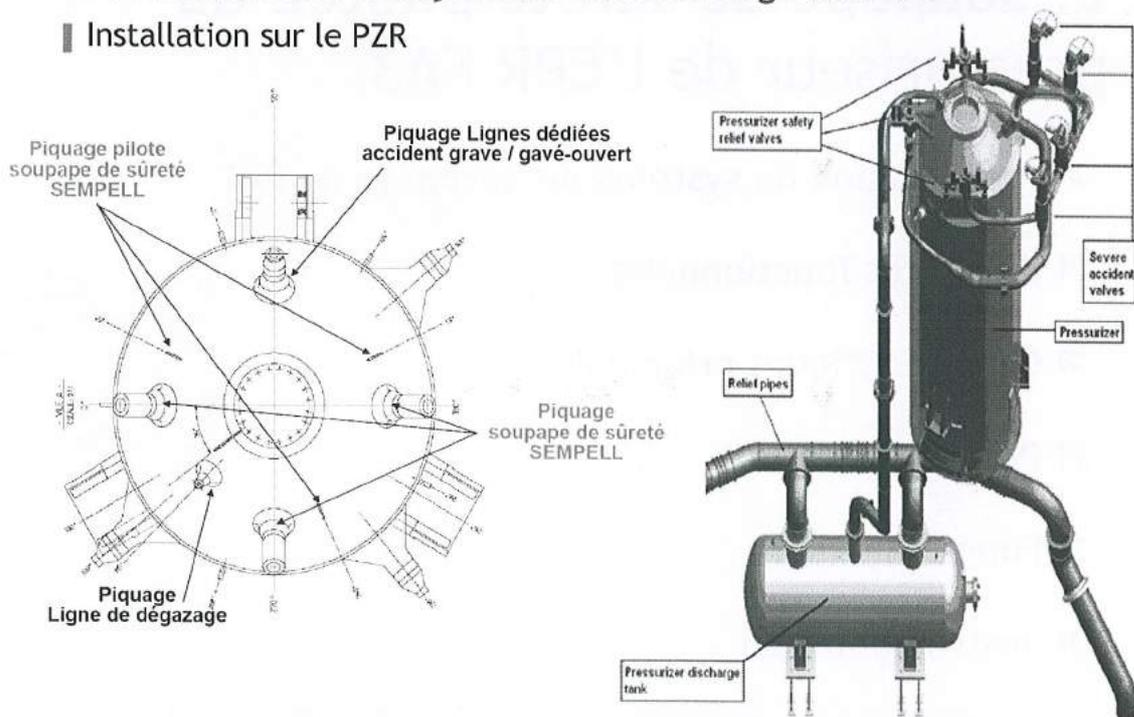
- Chaque ligne de décharge est composée d'une soupape de sûreté pilotée (PSRV) connectée au pressuriseur
- Chacune des PSRV est reliée à une ligne de décharge commune dirigée vers le Réservoir de Décharge du Pressuriseur (RDP)

### ▮ Deux lignes de décharge ultime, en parallèle (vannes AG)

- Connectées à un piquage commun dédié, localisé en haut du PZR
- Débitant dans la ligne de décharge commune dirigée vers le réservoir de décharge du PZR (RDP).
- Chaque ligne est composée de deux organes d'isolement en série :
  - Une vanne à sièges parallèles à commande électrique en amont
  - Un robinet à soupape à commande électrique en aval

## ➤ Présentation du système de décharge du PZR

### ▮ Installation sur le PZR



## ➤ Présentation du système de décharge du PZR

### ▮ Chaque soupape de sûreté pilotée comprend :

- 2 pilotes à ressort\* SIERION montés en parallèle (mais un seul opérationnel pendant le cycle). Ce sont des pilotes mécaniques fonctionnant par action directe de la pression, passifs (sans recours au contrôle commande)
  - 2 pilotes à solénoïde SEMPELL DMS6 montés en série pour réduire le risque d'ouverture intempestive. Ce sont des pilotes électriques fonctionnant sous l'action des signaux de contrôle commande
- \* La fonction « ressort » est assurée par un empilage de rondelles Belleville (effort important pour un faible encombrement)

## ➤ Exigences fonctionnelles

### ▮ Les PSRV doivent répondre aux exigences fonctionnelles suivantes :

- Protection contre les transitoires de surpression en puissance et à chaud (RP et AN/GV)
- Protection contre les transitoires de surpression à froid
- Dépressurisation du circuit primaire jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, lors des événements PCC2 à PCC4

## ➤ Exigences fonctionnelles

### || Protection du CPP contre les transitoires de surpression à chaud

- Dans ce cas les soupapes fonctionnent en mode automatique par l'intermédiaire des pilotes à ressort SIERION :
  - Ouverture à l'atteinte de la pression de tarage
  - Hystérésis à la fermeture (écart entre la pression de tarage et la pression de re-fermeture) de 33 bar maximum (contre 6 bar sur le parc)
- Etagement des points de tarage (175 - 178 - 181 bar abs) pour :
  - Limiter le nombre de soupapes sollicitées
  - Minimiser le débit de décharge dans la majorité des transitoires attendus, et donc la masse de fluide primaire relâchée vers le RdP

## ➤ Exigences fonctionnelles

### || Protection du CPP contre les transitoires de surpression à chaud

- Les points de tarage des soupapes sont choisis pour :
  - éviter la sollicitation des soupapes :
    - en situations normales et perturbées (cat2)
  - respecter les critères de protection surpression dans :
    - les situations exceptionnelles (cat3 : 110% PS avec 3 soupapes)
    - les situations hautement improbables (cat3 : 120% PS avec 2 soupapes (une défaillance étant à postuler sur une soupape), cat4 : 130% PS)
  - $P_{t1} \leq PS = 176 \text{ bar abs}$
- Chaque soupape est spécifiée pour le débit massique minimum de 290 t/h en vapeur saturée à 176 bar abs (PS)

## ➤ Exigences fonctionnelles

### Protection du CPP contre les transitoires de surpression à froid

- Dans ce cas, les soupapes fonctionnent en mode décharge :
  - Ouverture télécommandée depuis la salle de commande par un signal électrique F1A émis par le système de protection, agissant sur les pilotes électriques DMS6
  - 2 pilotes électriques (robinets solénoïde) en série pour chaque soupape, alimentés par 2 divisions électriques et contrôle-commande différentes, pour éviter l'ouverture intempestive
- Les points de consigne sont choisis pour :
  - éviter la sollicitation de soupape en situations normales et perturbées (cat 2), et
  - limiter la surpression vis-à-vis du risque de rupture brutale de la cuve en situations exceptionnelles (cat 3) et hautement improbables (cat 4)

### Dépressurisation du circuit primaire jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, lors des événements PCC2 à PCC4

- Action manuelle de l'opérateur, par l'intermédiaire des pilotes électriques solénoïde SEMPELL DMS6

## ➤ Capacité de décharge - exigences fonctionnelles

	Soupape + 1 pilote à ressort SIERION 3 x 290 t/h	Soupape + 2 pilotes solénoïde 3 x 290 t/h	Lignes décharge 900 t/h/ligne 2 vannes / ligne
Protection surpression à chaud	Cat 3 : 110% PS - 3 soup. Cat 3 : 120% PS - 2 soup. Cat 4 : 130% PS		
Protection surpression à froid		3 x 100 %	
PCC Dépressurisation sûre sur RRA		3 x 100 %	
RRC-A Gavé-ouvert			2 x 100 %
RRC-B Dépressurisation Accident grave			2 x 100 %

## ➤ Caractéristiques principales

Extrait du DMES octobre 2014

PSRV	
Material	Z2 CN 19-10 + N2
Design pressure (bar abs)	192,5
Design temperature (°C)	370
Mass flow rate at 176 bar abs in saturated steam (t/h)	290
Functional requirements in hot conditions	
Set pressure (bas abs)	175 - 178 - 181
Fluid	Saturated steam and/or subcooled water
Operating times: (s)	
- Opening dead time	0.5
- Opening stroke time	0.1
- Closing dead time	5
- Closing stroke time	1
Pilot hysteresis (%)	< 19 %
Functional requirements in cold conditions	
Set pressure (bas abs)	64/67/70
Fluid	Subcooled water
Operating times: (s)	
- Opening dead time	1
- Opening stroke time	0.1
- Closing dead time	5
- Closing stroke time	1

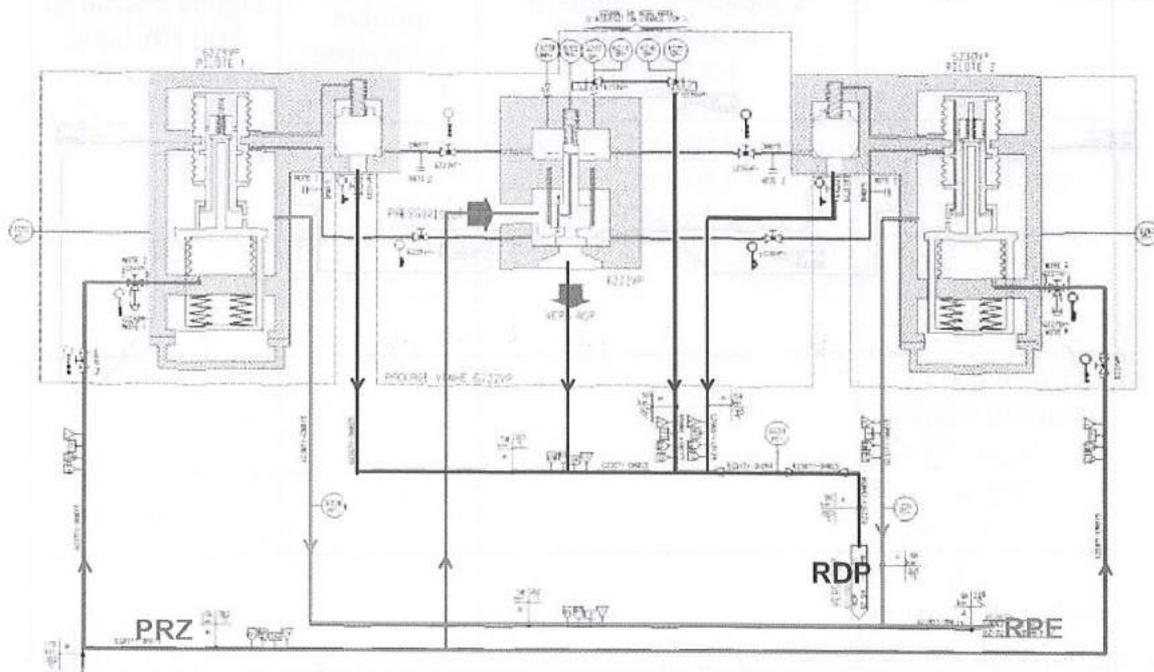
Extrait note EDF  
ECEMA071342-A

Masse totale : 1121 kg / PSRV  
Soupape principale : 615 kg  
Pilotes SIERION + connexion : 300 kg  
Pilotes solénoïde : 206 kg

## ➤ Description

### La PSRV

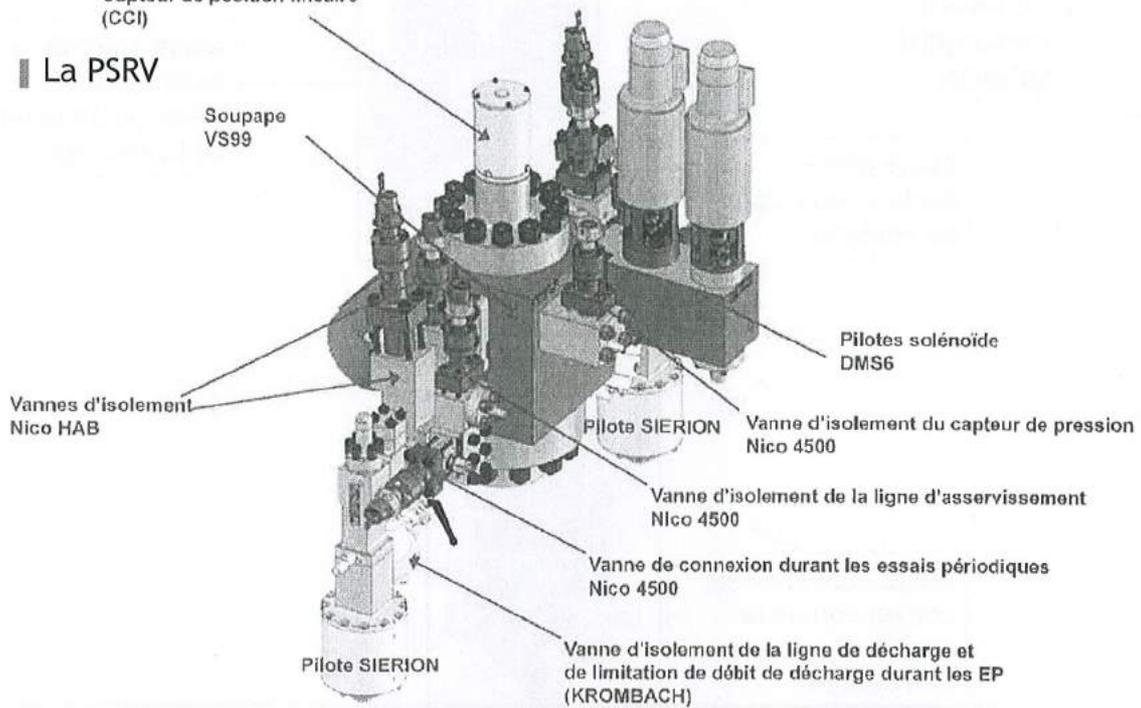
10 robinets d'isolement sur les lignes et liaisons



## ➤ Description

Capteur de position linéaire (CCI)

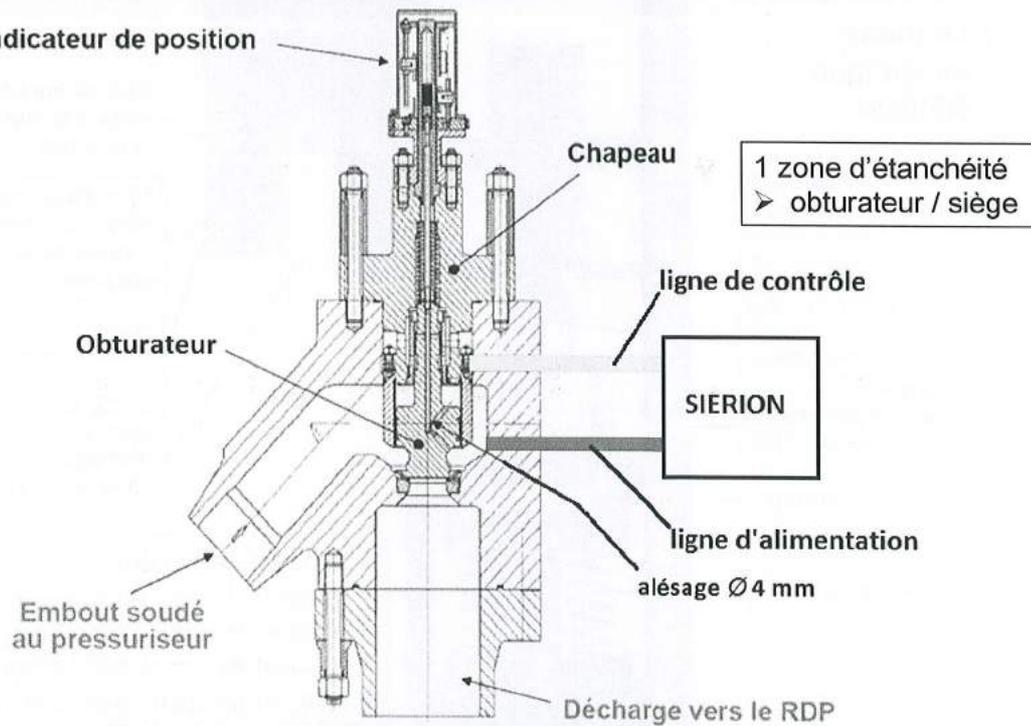
### La PSRV



## ➤ Description

### La soupape principale SEMPELL VS99

Indicateur de position

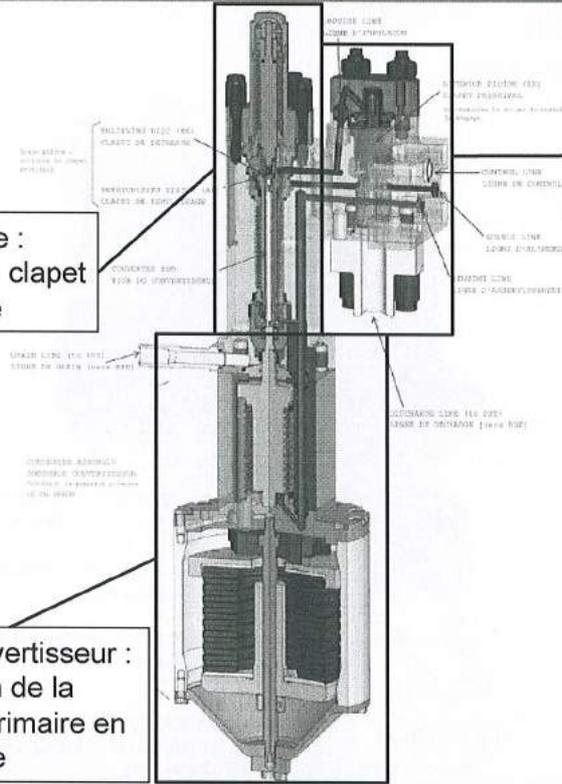


## ➤ Description

Le pilote mécanique SIERION

étage pilote : pilotage du clapet de contrôle

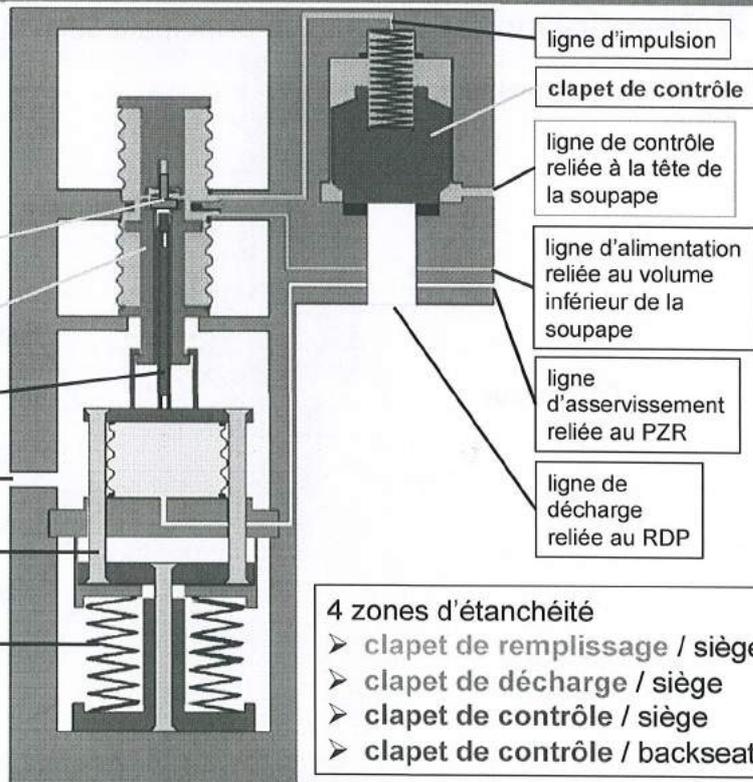
étage convertisseur : conversion de la pression primaire en une course



## ➤ Description

Le pilote mécanique SIERION

clapet de décharge  
clapet de remplissage  
tige du convertisseur  
ligne de drain reliée au circuit RPE  
convertisseur  
rondelles Belleville

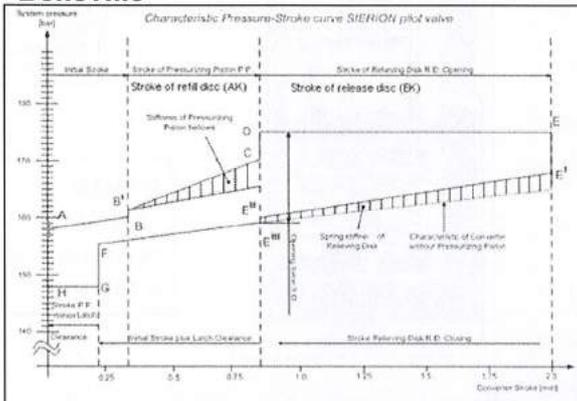


## ➤ Fonctionnement

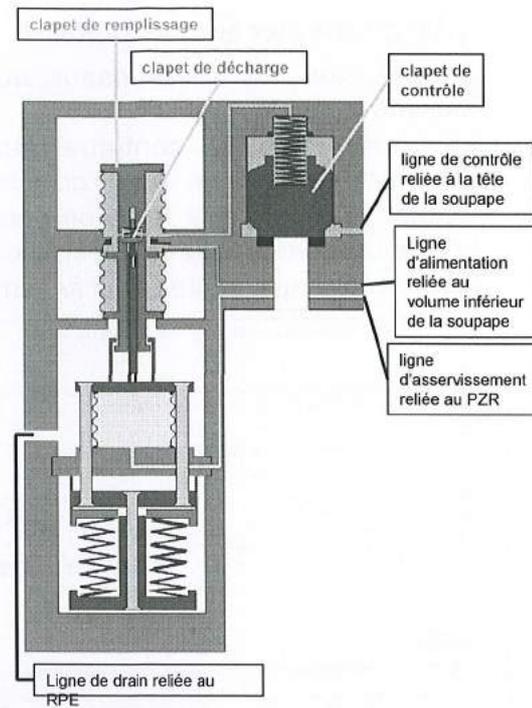
### ▮ Le pilote mécanique SIERION

Le pilote est en position de repos correspondant au fonctionnement nominal du réacteur

La force de poussée liée à la pression primaire sur le convertisseur est plus faible que la force de traction des **rondelles Belleville**



EPR FA3 - Soupape de sûreté du pressuriseur - 13 février 2015



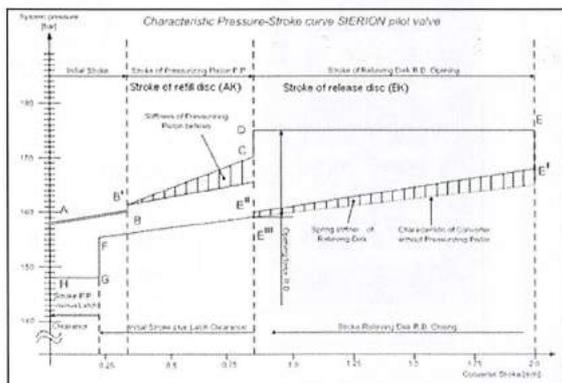
## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

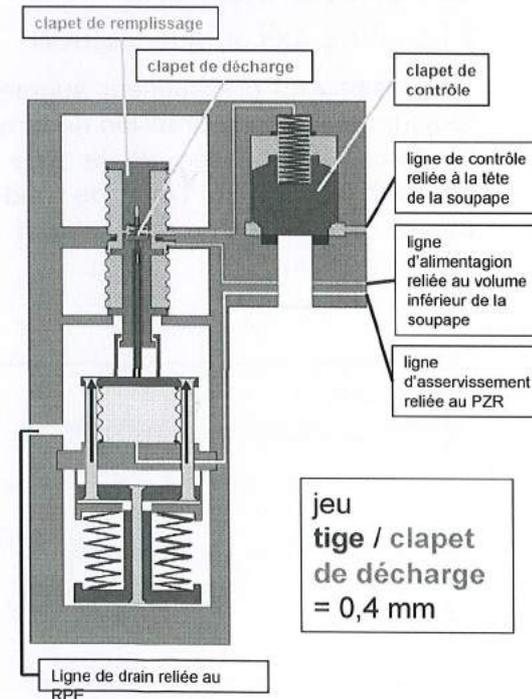
La pression dans le pressuriseur augmente

La force de poussée devient supérieure à la force de traction des rondelles Belleville

La **tige du convertisseur** vient en contact avec le clapet de décharge



EPR FA3 - Soupape de sûreté du pressuriseur - 13 février 2015

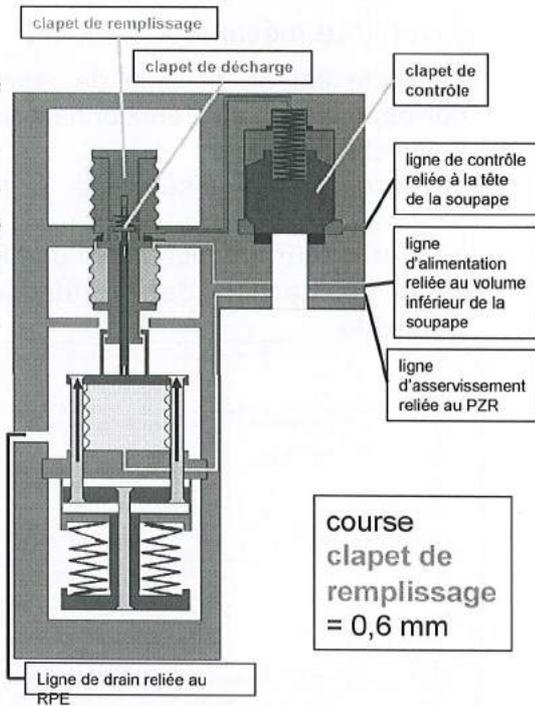
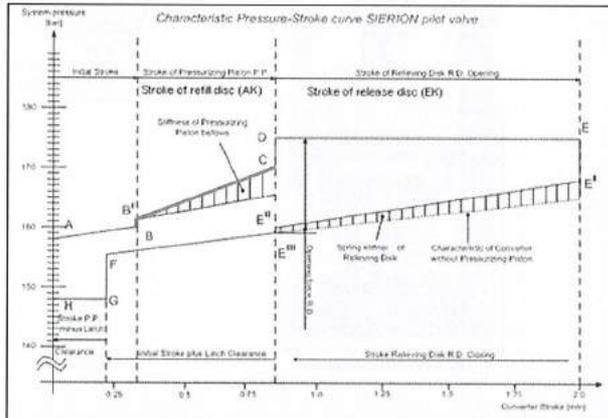


## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

La pression du pressuriseur augmente toujours

Le **convertisseur** continue alors son ascension. L'effet de fond du **clapet de décharge** résiste à la force de poussée de la **tige du convertisseur**. C'est le **clapet de remplissage** qui monte et qui se ferme

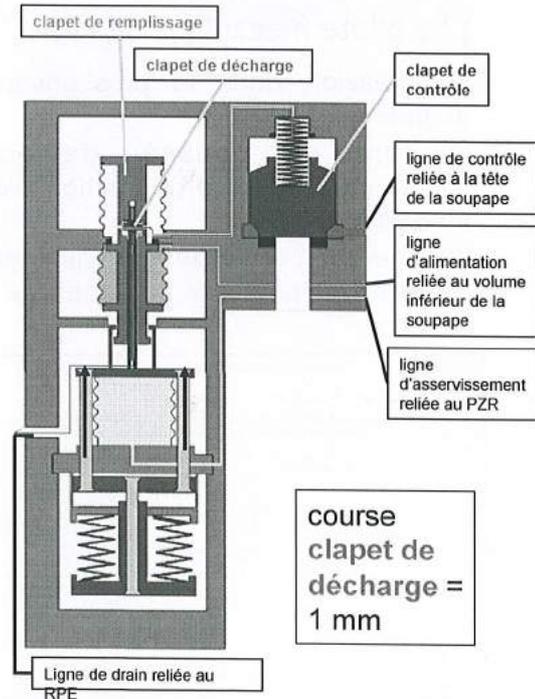
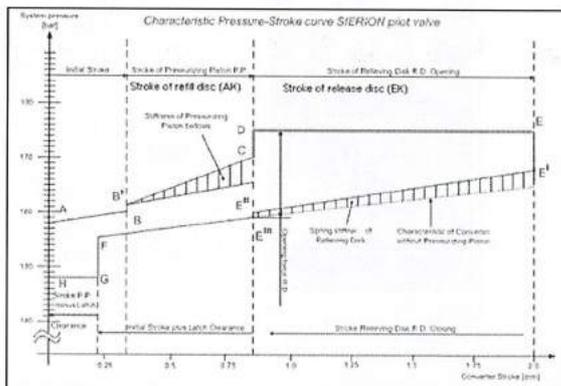


## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

La pression du pressuriseur augmente toujours et atteint la pression de tarage.

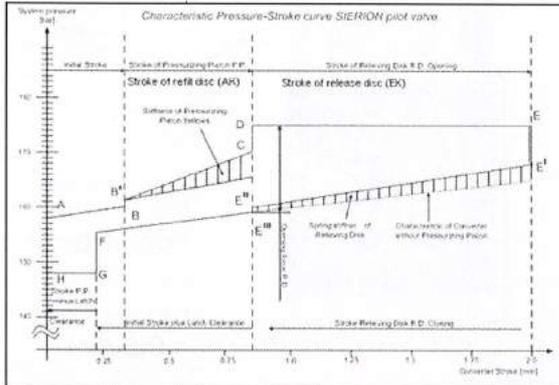
La force de poussée de la **tige du convertisseur** vainc l'effet de fond du **clapet de décharge**. Le **clapet de décharge** s'ouvre



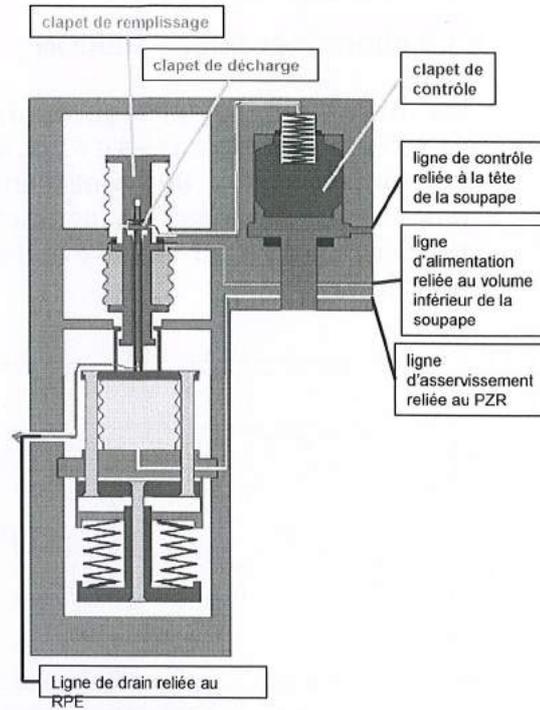
## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

Il y a décharge de la tête du clapet de contrôle vers la ligne de drain RPE. La dépressurisation de la tête du clapet de contrôle entraîne l'ouverture du clapet de contrôle



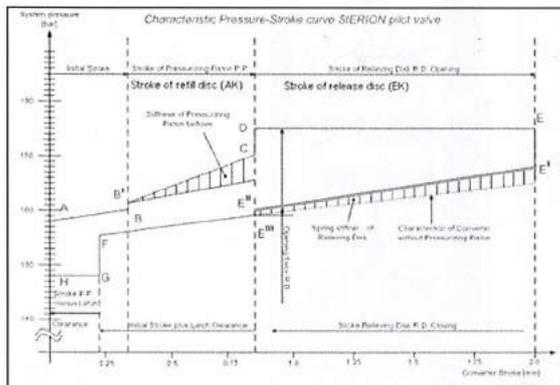
EPR FA3 - Soupape de sûreté du pressuriseur - 13 février 2015



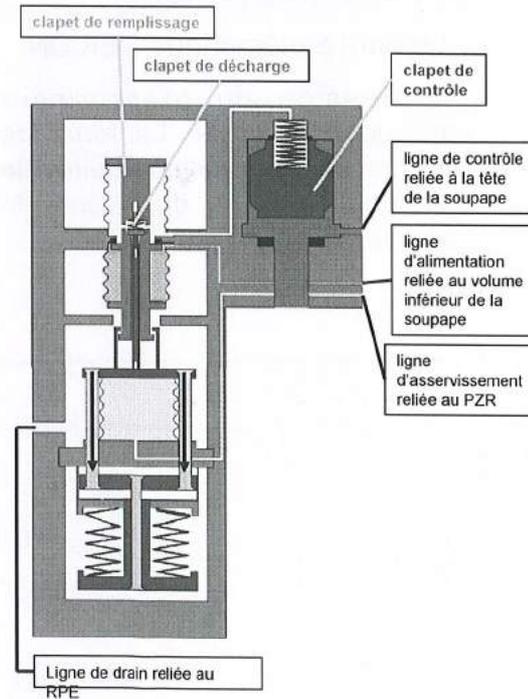
## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

La pression du pressuriseur baisse. La force imposée sur le convertisseur par la pression primaire devient inférieure à la force de traction des **rondelles Belleville**. Il y a alors descente du convertisseur et de la tige, et fermeture du clapet de décharge



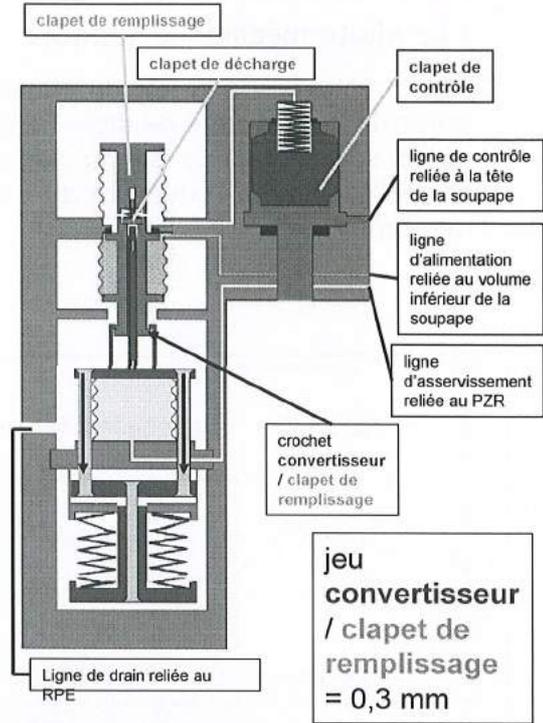
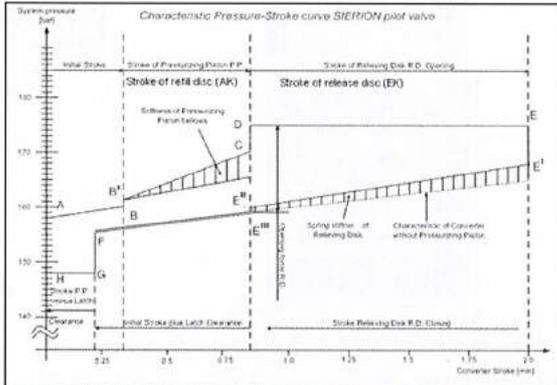
EPR FA3 - Soupape de sûreté du pressuriseur - 13 février 2015



## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

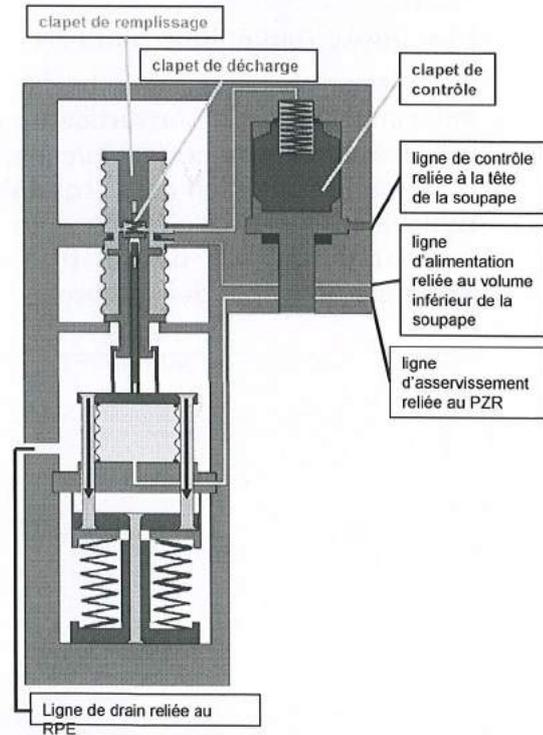
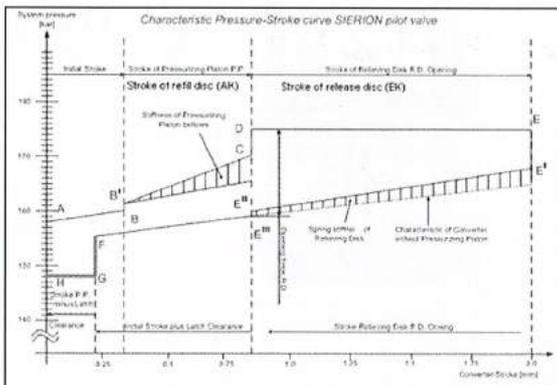
La pression du pressuriseur continue de baisser. Le **convertisseur** et la tige continuent leur descente jusqu'au contact **convertisseur / clapet de remplissage**



## ➤ Fonctionnement

### ▮ Le pilote mécanique SIERION

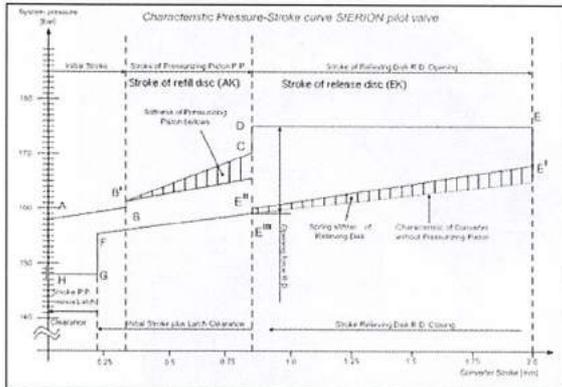
La pression du pressuriseur continue de baisser. La force de traction des **rondelles Belleville** entraîne l'ouverture du **clapet de remplissage** grâce au **crochet**



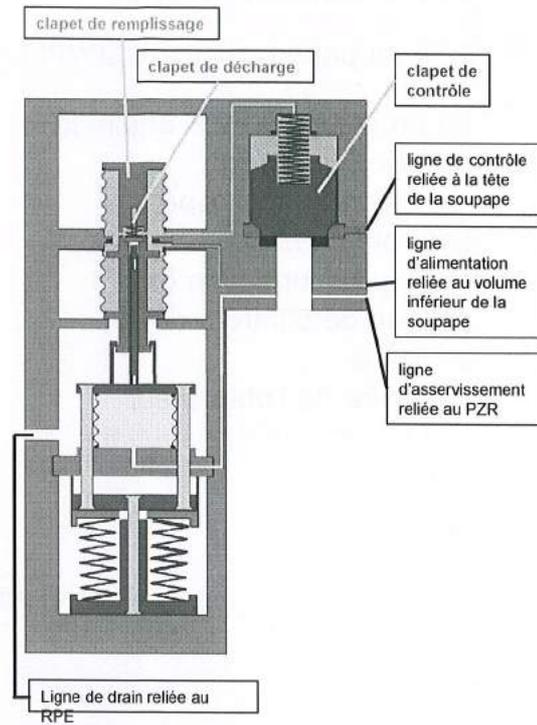
## ➤ Fonctionnement

### ■ Le pilote mécanique SIERION

Le clapet de remplissage étant ouvert, il y a pressurisation de la tête du clapet de contrôle, ce qui génère la fermeture du clapet de contrôle. Il s'ensuit la fermeture de l'obturateur de la soupape principale par pressurisation de la tête de la soupape. La pression du PZR est la pression de refermeture



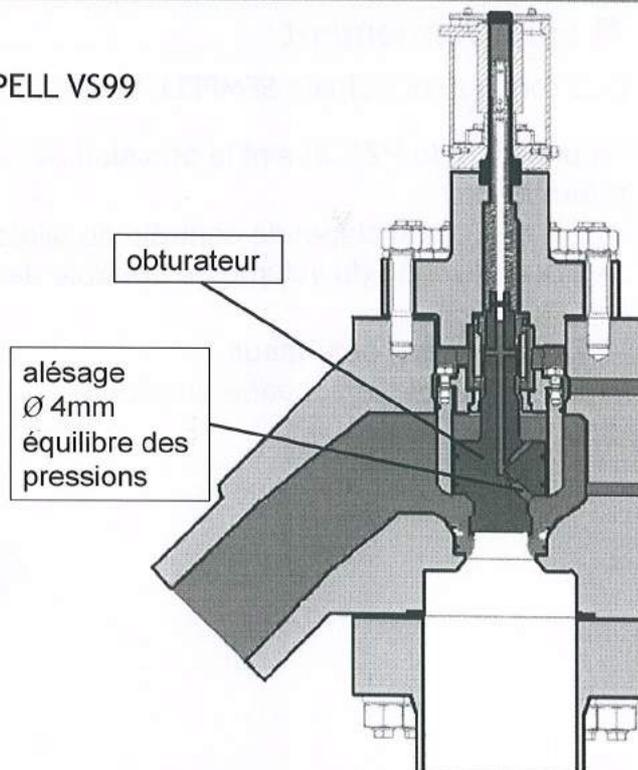
EPR FA3 - Soupape de sûreté du pressuriseur - 13 février 2015



## ➤ Fonctionnement

### ■ La soupape principale SEMPELL VS99

Pression du PRZ nominale  
 Obturateur de la soupape fermé  
 Clapet de contrôle du pilote fermé  
 Volume à l'admission = pression du PRZ  
 Volume de contrôle = pression du PRZ  
 Soupape fermée

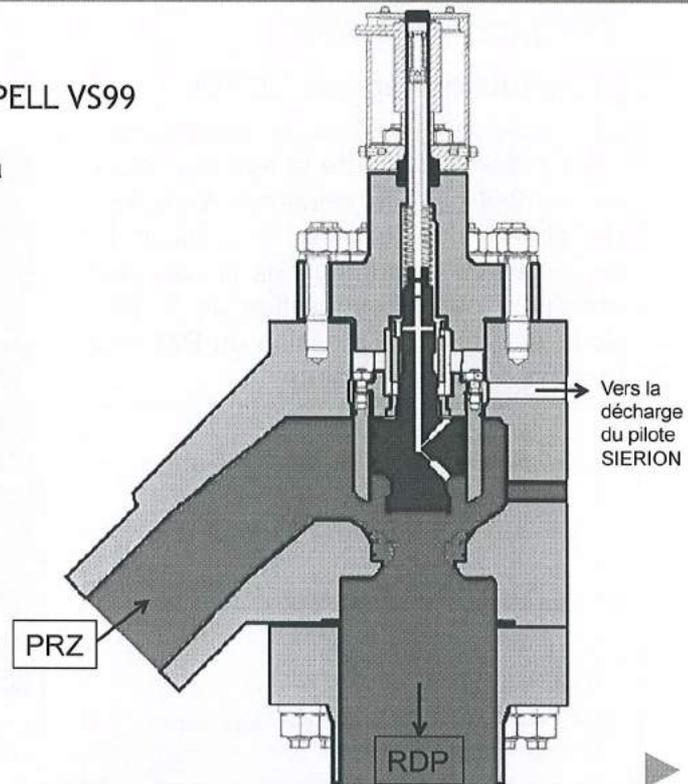


EPR FA3 - Soupape de sûreté du pressuriseur - 13 février 2015

## ➤ Fonctionnement

### ■ La soupape principale SEMPELL VS99

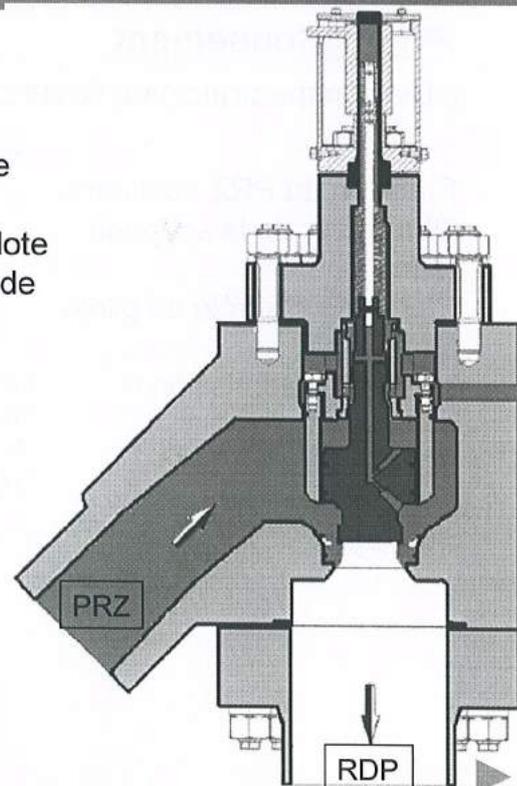
La pression du PZR atteint la pression de tarage  
→ ouverture du clapet de contrôle du pilote  
→ Dépressurisation du volume de contrôle de la soupape  
→ Levée de l'obturateur  
→ Ouverture de la soupape principale



## ➤ Fonctionnement

### ■ La soupape principale SEMPELL VS99

La pression du PZR atteint la pression de refermeture  
→ Fermeture du clapet de contrôle du pilote  
→ Pressurisation du volume de contrôle de la soupape  
→ Descente de l'obturateur  
→ Fermeture de la soupape principale



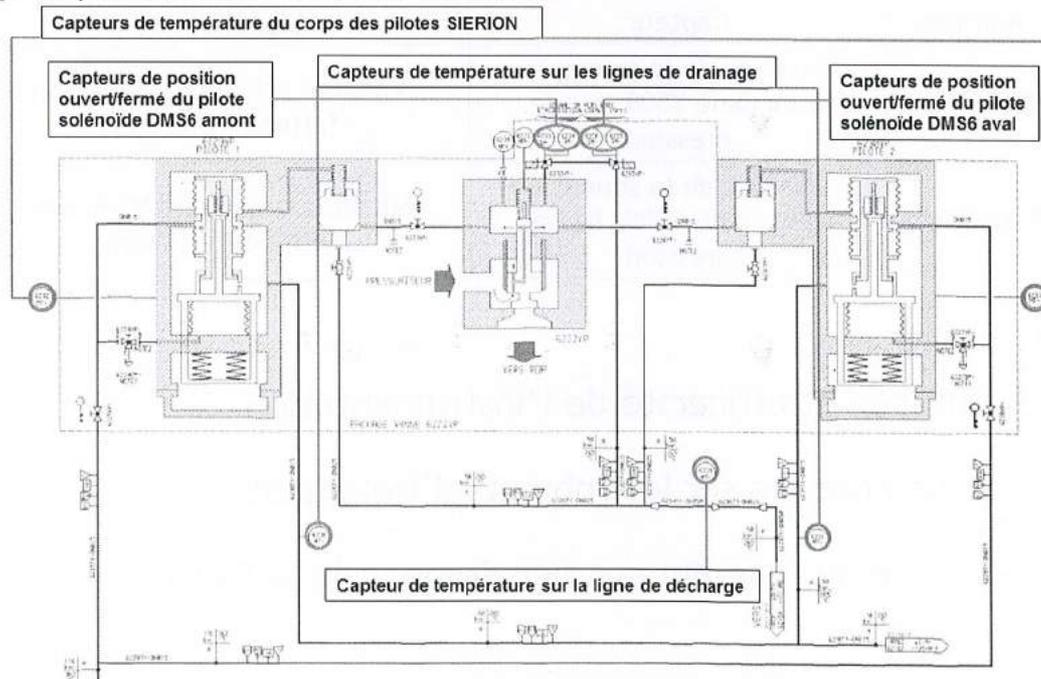
## ➤ Instrumentation

### ▮ La soupape principale SEMPELL VS99

- 1 capteur de température sur la tubulure d'admission de la soupape
- 1 capteur de position
- 1 capteur de pression du volume de contrôle de la soupape (utilisé lors des E.P.)

## ➤ Instrumentation

### ▮ Les pilotes SIERION et SEMPELL DMS6



## ➤ Instrumentation

Alarmes	Capteur	Signalement
RCP6230KA	Température sur la ligne de drain du pilote SIERION n°1	Fuite au niveau du pilote SIERION n°1
RCP6231KA	Température sur la ligne de drain du pilote SIERION n°2	Fuite au niveau du pilote SIERION n°2
RCP6229KA	Température sur la ligne de décharge de la soupape principale VS99	Purge de la tête de la soupape Fuite ou ouverture du clapet de contrôle
RCP6232KA	Température du corps du pilote SIERION n°1	Fuite des soufflets du pilote n°1
RCP6233KA	Température du corps du pilote SIERION n°2	Fuite des soufflets du pilote n°2
RCP6215KA	Température de la tubulure d'admission de la soupape	Fuite de la soupape principale

## ➤ Instrumentation

Alarmes	Capteur	Signalement
RCP6222KA	Position de la soupape principale VS99, haute pression	Soupape principale VS99 non fermée/refermée
RCP6223KA	Position de la soupape principale VS99, basse pression	Soupape principale VS99 non fermée/refermée

■ Suffisance et efficacité de l'instrumentation

■ Instrumentation sur les robinets d'isolement

■ Conduite du réacteur sur signalement de la fuite

## ➤ Soupape principale

Soupape principale SEBIM	Soupape principale SEMPELL VS99
REX large et positif Très bonne connaissance du produit	Modifications technologiques sur la soupape FA3 par rapport aux soupapes sur les réacteurs allemands → REX allemand non applicable. Modification EPR OL3 reportée sur EPR FA3 : la ligne d'alimentation extérieure est remplacée par un alésage dans le bloc de connexion pilote/soupape. Sur le BWR Goesgen (Suisse) la ligne d'alimentation reliée au PZR est extérieure
SEBIM garant de la conception de son produit. Implication du fabricant	AREVA responsable de la conception. Pas d'expérience d'AREVA dans la conception de soupape. Pas d'implication de SEMPELL lors des essais de qualification

## ➤ Pilote passif

Pilote SEBIM	Pilote SIERION
Fonctionnement indépendant des robinets R1 et R2 Maîtrise de la cinématique complète	Le fonctionnement du clapet de décharge (R2) dépend de celui du clapet de remplissage (R1)
2 zones d'étanchéité (2 robinets)	4 zones d'étanchéité (3 clapets)

## ➤ Pilote passif

Pilote SEBIM	Pilote SIERION
Pas de soufflet	4 soufflets
Attaque directe par un électroaimant sur le robinet R2	Pilote SIERION passif. Aucune action extérieure possible en cas de défaillance
Filtres sur la ligne d'impulsion.	Pas de filtration
Conception épurée	Conception complexe : grand nombre de joints, grand nombre de liaisons vissées, 4 soufflets, 3 ressorts
Ressort hélicoïdal	Rondelles Belleville : les frottements des rondelles induisent un déplacement « saccadé » de la tige Bopp & Reuther : billes de glissement entre les rondelles Belleville
Un seul pilote par soupape	Deux pilotes par soupape. Un seul actif en fonctionnement. Critères de basculement ? Conditionnement du pilote inactif ? Qualification du pilote inactif ?
La pression du PZR agit uniquement sur la tige de commande	La pression du PZR agit sur la tige du convertisseur, le clapet de remplissage et le clapet de décharge

### 3. Comparaison entre le concept SEBIM et le concept SEMPELL

#### 3. Comparaison entre le concept SEBIM et le concept SEMPELL

##### ➤ Soupape principale

Soupape principale SEBIM	Soupape principale SEMPELL VS99
Conception tandem pour un isolement sûr → E.P. manœuvrabilité, étanchéité et opérabilité à 27 bar, soupape isolement fermée	Conception « mono soupape » Dérogation demandée à l'application du CDU à la refermeture de la soupape (GP Classement EPR)
Pressions de tarage : 166 - 170 - 172 bar abs ± 0,5 bar	Pressions de tarage : 175 - 178 - 181 bar abs ± 1,5 bar
Débit de décharge de 165,6 t/h à 172,3 bar abs.	Débit de décharge de 290 t/h à 176 bar abs.
Ouverture sur une faible plage de pression (6 bar) (166 bar abs → 160 bar abs)	Ouverture sur une large plage de pression (33 bar) (175 bar abs → 142 bar abs) → vidange du matelas vapeur ?
Fuite de la ligne d'impulsion : ouverture de la soupape de protection fermeture de la soupape d'isolement	Fuite de la ligne d'asservissement : la soupape reste fermée quelle que soit la pression du PZR
Présence d'un soufflet.	Pas de soufflet
La pression du PZR s'applique sous le clapet	La pression du PZR s'applique au-dessous et au-dessus de l'obturateur → alésages $\Phi$ 4 mm dans l'obturateur → homogénéisation de la température

## ➤ Pilote passif

Pilote SEBIM	Pilote SIERION
Signatures des robinets R1 et R2	Pas de signature des clapets de remplissage, décharge et contrôle. Uniquement la signature de la tige du convertisseur
Tarage réalisé à froid et en eau pour un fonctionnement à froid et en eau du pilote	Tarage réalisé à froid et en air alors que le pilote fonctionne à chaud et en eau → conformité des tarages ?
Purge du pilote (et de la soupape)	Pas de moyen de purge du convertisseur
Le tarage est directement réalisé à la pression de tarage de 166 bar abs. On vérifie la pression d'ouverture et la pression de fermeture, conformément au requis réglementaire	Le tarage est indirect et réalisé pour une pression de 155 bar - 160 bar. Sollicitation possible du pilote en fonctionnement Le tarage de la soupape dépend de la courbe de réponse du pilote à la pression
Pas de dérive de la pression de tarage avec la température	Dérive de la pression de tarage avec la température Conséquences sur les caractéristiques fonctionnelles de la soupape ?
Pas de fuite du pilote en exploitation. Visualisation et détection de la fuite (gate et pot de condensation)	Pilote « débitant » non prévu à la conception. → Erosion accrue → échauffement du pilote → entrée de particules (REX Colombus) Le pilote SEMPELL VS66, dont le pilote SIERION est issu, est débitant

## ➤ Pilote passif

Pilote SEBIM	Pilote SIERION
Accès direct à la façade pour le réglage de la pression de tarage	Démontage du pilote pour réglage de la pression de décollement (et non de tarage). → risque accru au remontage
Accès direct aux composants à remplacer (robinets R1 et R2) du pilote	Nécessité de démonter le pilote et d'opérer en atelier chaud → réglage des courses et des jeux nécessaire au remontage
Référence « fixe » : point d'appui entre la tige de commande et la tête de détection	Référence « mobile » : siège du clapet de remplissage
REX large et positif Très bonne maîtrise du produit Pas de défaillance connue Très bon comportement sur I.S. (5 I.S. en 2014)	Pas de REX 1 pilote SIERION sur BWR Goesgen (Suisse). Modifications par rapport au pilote Goesgen Fiabilité à évaluer par les essais Columbus phase 2 à venir
SEBIM garant de la conception de son produit Forte implication du fabricant Amélioration continue du produit (soupape A.G.)	AREVA responsable de la conception Pas d'expérience d'AREVA dans la conception de soupape Pas d'implication de SIERION lors des essais de qualification

## ➤ Bouchon d'eau

SEBIM	SIERION
Bouchon d'eau froide et statique : meilleure solubilité de l'H	Bouchon d'eau condensée passif et dynamique : sensibilité de la capacité de rétention en hydrogène aux variations de paramètres ? Stabilité du bouchon d'eau pendant les transitoires de fonctionnement ? Sensibilité liée au calorifuge et aux pertes thermiques ?
Bouchon d'eau de 10 l	Bouchon d'eau de 40 l
Lyre déportée	Ecope à l'intérieur du PRZ : dimensionnement face aux surpressions (risque de collapse) ?

## 4. Essais de qualification et de robustesse

➤ Essais de qualification

➤ Essais de robustesse

## ➤ Essais de qualification

### ▮ Essais de décharge Karlstein - février 2014

- Vieillessement représentatif de 10 ans de durée de vie sans maintenance : 25 EP DMS6 - 40 bar + 25 EP SIERION - 40 bar + 3 essais démarrage DMS6 - 155 bar
- Essais en conditions accidentelles : 5 essais à 155 bar et vapeur + 5 essais à 155 bar et fluide = eau+vapeur + 41 essais à froid - 70 bar + 1 essai de dépressurisation du primaire - DMS6 - ouverture à 155 bar et fermeture à 70 bar

### ▮ Essais sismiques SOPEMEA - mai 2014

- Vieillessement par vibrations
- Opérabilité pendant et après séisme

### ▮ Essais Columbus phase 1 : essais à plein débit en condition accidentelle - partiellement en 2014

- Vieillessement représentatif de 10 ans de durée de vie à 40 bar - 25 EP DMS6 et 25 EP SIERION
- Essais de condition accidentelle : 40 essais SIERION - 175 bar - vapeur et 120 essais DMS6 - 175 bar - vapeur
- Essais de mesure de débit de décharge pour évaluation du Kd de la soupape

## ➤ Essais de qualification

### ▮ Qualifications RCC-E K1 du capteur de position CCI de la soupape principale et du pilote solénoïde SEMPELL DMS6 - non acquises à ce jour

- essais de références électriques et mécaniques + essais de limites opérationnelles + essais de vieillissement + essais de conditions accidentelles : 12 essais sous séisme - 15 essais sous ambiance dégradé BR

## ➤ Essais de robustesse

### ▮ Essais ERLANGEN - août 2013

- Objectif : démontrer la robustesse et la fiabilité du pilote SIERION
- 1060 essais à 175 bar - Maintenance aux essais N° 310 et n° 1060

### ▮ Essais COLOMBUS phase 2: robustesse PSRV - à venir

- Objectif : démontrer la robustesse et la fiabilité de la PSRV (GP Classement EPR)
- Essais de corrélation à 40, 70, 110, 155 et 175 bar avec et sans bouchon d'eau : 60 essais. (5 essais DMS6 et 5 essais SIERION à chaque pression)
- Essais d'endurance : 300 essais DMS6 - 175 bar et 390 essais SIERION - 175 bar

## 5. Résultats des essais Colombus à fin 2014

### Essais à 40 bar dans la boucle - pilote SIERION

- pas de mesure de la pression de commande du pilote SIERION lors des essais : niveau de pression d'azote ? Temps d'application ? Rampe de pression ?
- => représentativité - répétabilité ?

### Sur-échauffement du pilote SIERION lors des essais sous 40 bar

- Pause après l'essai n° 12 pour le refroidissement du pilote

### Essais à 175 bar dans la boucle - pilote SIERION

- 4 essais dont **1 non refermeture** et **1 non ouverture**

### Pas de critères sur les débits de fuite du pilote SIERION lors des essais

### Les pilotes solénoïde semblent fonctionner correctement mais constat d'un débit de fuite sur la ligne de décharge

### Fuites maximales

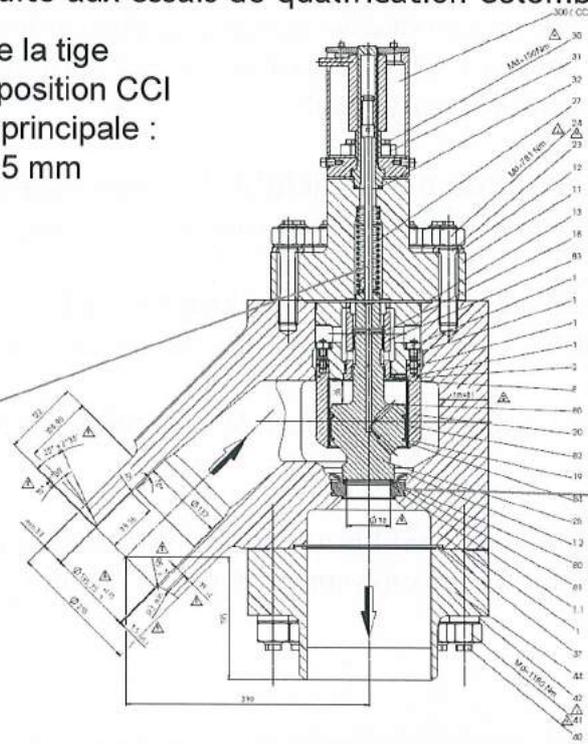
Ligne de décharge de la soupape principale	8,2 l/h
Ligne de décharge des pilotes solénoïde	1,5 l/h
Ligne de décharge du pilote SIERION	2,7 l/h
Ligne de drain du pilote SIERION.	17,8 l/h

### Sur le pilote SIERION

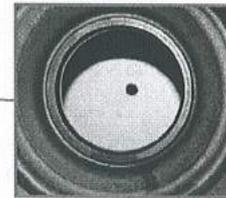
- La fuite sur la ligne de décharge du pilote permet de connaître la fuite du clapet de contrôle sur son siège (et non sur son backseat)
- La fuite sur la ligne de drain permet de connaître la fuite du clapet de décharge
- Les mesures des fuites du clapet de remplissage et du clapet de contrôle sur son backseat nécessitent que le pilote soit en position de décharge => on ne peut pas identifier l'ensemble des dysfonctionnements possibles du pilote et donc de la soupape

Observations suite aux essais de qualification Columbus

Flambement de la tige  
du capteur de position CCI  
de la soupape principale :  
désaxage de 15 mm



Matage du siège  
de la soupape  
principale (choc ?)

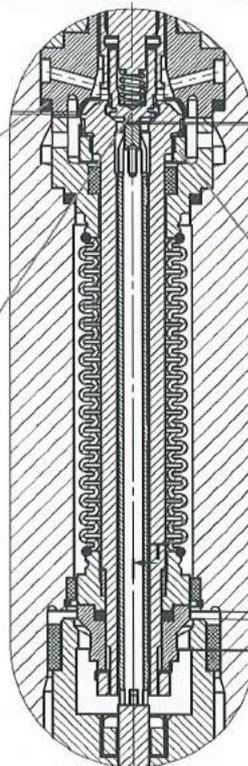


Observations suite aux  
essais de qualification  
Columbus

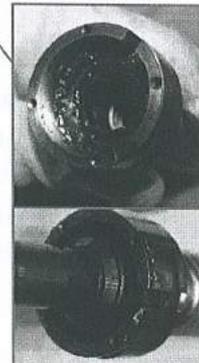
Extrusion des  
joints en graphite



Blocage du ressort  
à l'intérieur du  
clapet de décharge



Particules d'acier  
ferritique oxydées  
à l'intérieur du  
logement du clapet  
de remplissage



## || Expertise suite aux essais Columbus

- Particules de fer à l'intérieur de la douille du clapet de remplissage
- Extrusion des joints graphite du pilote SIERION
- Blocage du ressort à l'intérieur du clapet de décharge
- Flambage de la tige du capteur de position de la soupape principale
- Matage du siège de la soupape principale

## || Autres observations notables pour les autres essais

- Essais ERLANGEN : bague graphite fissurée, extrusion joints graphite du pilote SIERION, dérive de la pression de tarage de 1,7 bar
- Essais KARLSTEIN : extrusion des joints graphite du pilote SIERION
- Essais SOPEMEA : extrusion des joints graphite du pilote SIERION, soufflet d'étanchéité sur la partie supérieure du convertisseur sectionné

## 6. Première analyse IRSN des risques de dysfonctionnement de la PSRV

- Risques de fuites du fluide primaire vers RDP et RPE (observé)
- Risque d'échec à l'ouverture (observé)
- Risque d'échec à la refermeture (observé)
- Risque d'ouverture intempestive
- Risque d'ouverture prématurée
- Risque d'ouverture retardée avec risque de dépasser PS
- Des modes de défaillance multiples

- Il existe des états possibles du pilote qui génèrent un dysfonctionnement de la soupape principale

### ➤ Risque de l'échec à l'ouverture

- Si le débit de fuite au clapet de remplissage est supérieur au débit de décharge, la soupape reste en position fermée. Cette situation est valorisée par AREVA pour justifier l'absence d'ouverture intempestive en présence d'une fuite du clapet de décharge ▶
- Toute fuite sur la ligne d'asservissement ou sur la connexion entre le PZR et le pilote entraîne l'échec à l'ouverture de la soupape

### ➤ Risque de l'échec à la refermeture

Une fuite importante du clapet de décharge vers le RPE entraîne le maintien en position ouverte de la soupape. L'origine peut être une non-maitrise de l'effet de fond sur le clapet de décharge. La pressurisation de la tête du clapet de contrôle est alors impossible et la soupape ne peut pas se refermer ▶

## ➤ Risque d'ouverture intempestive

- Une fuite du clapet de décharge vers RPE (supérieure au débit de remplissage) ou une fuite du clapet de contrôle vers le RDP entraîne une dépressurisation du volume de contrôle de la soupape principale et l'ouverture intempestive de la soupape
- Toute fuite sur la ligne de contrôle ou sur la connexion soupape/pilote peut entraîner une ouverture intempestive
- Toute fuite sur la ligne d'alimentation ou sur la connexion soupape/pilote peut entraîner l'ouverture intempestive de la soupape. Une modification a été intégrée sur la soupape EPR pour réduire ce risque (REX OL3) : la ligne d'alimentation extérieure est remplacée par un alésage à l'intérieur de la connexion NICO entre la soupape et le pilote → impact des transitoires de pression liée à l'ouverture de la soupape sur la position du clapet de remplissage ?

Les dispersions concernant la Pdo sont représentatives de la fiabilité et de la qualité de la soupape et de son pilote

## ➤ Risque d'ouverture prématurée

Ouverture prématurée quand  $P_{do} < P_t$

$P_{do}$  : pression de début d'ouverture de la soupape principale

$P_t$  : pression de tarage

- En cas de course incomplète du clapet de remplissage, le clapet de décharge peut s'ouvrir prématurément et en conséquence il y a ouverture prématurée de la soupape

### ➤ Risque d'ouverture retardée

Ouverture retardée quand  $P_{do} > P_t$

$P_{do}$  : pression de début d'ouverture de la soupape principale

$P_t$  : pression de tarage

- Du fait de la proximité entre la pression de tarage et de la pression de calcul, on a un risque de dépassement de la pression de calcul (PS) ►
  
- L'IRSN ne dispose pas actuellement des valeurs de la pression de début d'ouverture et celle de refermeture relevées au cours des essais, donc de la démonstration du respect d'une part de la pression de tarage et de sa tolérance associée et d'autre part de l'hystérésis

### ➤ Des modes de défaillance multiples

- a) Dégradation des joints en graphite
- b) Maîtrise des frottements
- c) Maîtrise de la pression dans les différentes cavités
- d) Maîtrise des jeux et tolérances mécaniques
- e) Défaillance des soufflets et ressorts

### ➤ Des modes de défaillance multiples

- a) Dégradation des joints en graphite

Le serrage des trois joints en graphite superposés est réalisé à l'aide d'un lot de goujons en partie supérieure du pilote. La répartition des écrasements ne peut être ni maîtrisée, ni contrôlée, d'où le risque de fuite au niveau des joints en graphite précités

Toute fuite intempestive entraîne un échauffement parasite du pilote.

## ➤ Des modes de défaillance multiples

### b) Maîtrise des frottements

Toute source de frottement peut altérer les déplacements des nombreuses pièces mobiles, atténuer la course du pilote et influencer sur la course et la dynamique du pilote

- Température : dilatations différentielles, soufflets, Rondelles
- Défauts géométriques (jeux faibles – maintenance délicate)
- Risque de pollution du fluide (pas de filtre)
- Vieillessement

## ➤ Des modes de défaillance multiples

### c) Maîtrise de la pression dans les différentes cavités (effet de fond)

L'effet de fond permet le maintien en position fermée du clapet de remplissage et du clapet de décharge. Une fuite compromet la fonction de l'effet de fond. Cette fuite peut avoir pour origine l'extrusion des joints graphite. L'effet de fond du clapet de remplissage pourrait également être atténué lors des transitoires de pression à l'ouverture de la soupape

## ➤ Des modes de défaillance multiples

### d) Maîtrise des jeux et tolérances mécaniques

Exemple : Un défaut de serrage des joints en graphite impacte la position du siège et donc la course du clapet de remplissage. Course du pilote compromise (quelques dixièmes)

## ➤ Des modes de défaillance multiples

### e) Défaillance des soufflets et ressorts

Soufflet : Conception et fabrication délicate. Risque de fuite.

Ressort : Risques de phénomènes de battement. Impact sur le comportement dynamique de la soupape

## 7. Requis réglementaires et normatifs

➤ Décret du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression (ESP)

➤ Arrêté du 10 novembre 1999 relatif à l'exploitation du CPP et des CSP

➤ Norme EN 764-7 - Equipements sous pression - Partie 7 Systèmes de sécurité pour équipements sous pression non soumis à la flamme

➤ Norme NF EN ISO 4126-4 - Dispositifs de sécurité pour protection contre les pressions excessives - Partie 4 : soupapes de sûreté pilotées

### 7. Ecart par rapport aux requis réglementaires et normatifs

➤ Décret du 13 décembre 1999 § 2.11.2.

« Ces dispositifs doivent être conçus de manière que la pression ne dépasse pas de façon permanente la pression maximale admissible PS. »

Pt1 = 175 ± 1,5 bar abs et Ps = 176 bar abs

Ecart par rapport à la réglementation ?

➤ Décret du 13 décembre 1999 § 2.11.1.

« Les accessoires de sécurité doivent :

- être conçus et construits de façon à être fiables et adaptés aux conditions de service prévues et à prendre en compte, s'il y a lieu, les exigences en matière de maintenance et d'essais des dispositifs ;
- être indépendants des autres fonctions à moins que leur fonction de sécurité ne puisse être affectée par les autres fonctions ;
- suivre les principes de conception appropriés pour obtenir une protection adaptée et fiable. Ces principes incluent notamment la sécurité positive, la redondance, la diversité et l'auto-contrôle. »

### ➤ Décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 § 2.11.1.

- a) Conception
  - Ecart par rapport aux exigences du § 7.5 de l'annexe 1 du décret et du § 4 de l'annexe 1 de l'arrêté ESPN du 12.12.2005 (matériaux)
- b) Fiabilité
  - AMDEC AREVA non exhaustive
  - Une seule soupape par ligne de décharge. Demande de dérogation à l'application du CDU à la refermeture de la soupape dans le cadre du G.P. Classement EPR
  - Conception à priori moins fiable que celle de la PSRV SEBIM
- c) Sécurité positive
  - À l'ouverture ? À la fermeture ? À l'ouverture intempestive ?
  - Opérabilité de la soupape sur défaillance du pilote SIERION ?
- d) Autocontrôle
  - Instrumentation insuffisante pour détecter l'ensemble des défaillances potentielles
- e) Pas de dispositif d'actionnement du pilote ni en local ni à distance

### Conformité à la réglementation à examiner ?

### ➤ Arrêté du 10 novembre 1999 - article 4.II.c

« Capacité de l'ensemble des accessoires de sécurité reconnus de haute fiabilité à limiter la pression atteinte lors des situations de deuxième catégorie à 100 % de la pression de conception, et à éviter lors des situations de quatrième catégorie la perte d'intégrité par surpression de l'appareil ; »

### Conformité à la réglementation à examiner ?

### ➤ Norme NF EN 764-7 § 6.2.2.5.

« La pression normale de fonctionnement du système doit être inférieure à la pression de refermeture (...) »

Pression de refermeture minimale = 141,8 bar abs

Pression de fonctionnement = 155 bar abs

**Ecart par rapport à la norme ?**

### ➤ Norme NF EN 764-7 § 6.2.2.4.

« La pression à laquelle une soupape de sûreté doit fonctionner doit inclure les effets liés à la température, la pression statique, et la contre-pression initiale (fixe ou variable) »

Les essais de robustesse du pilote SIERION (Erlangen) montrent une dérive de la pression de tarage (1,7 bar) qui s'ajoute à l'incertitude spécifiée (1,5 bar).

Les conséquences de cette dérive sont le risque d'ouverture prématurée ou retardée, et le dépassement de Ps

**Conformité à la norme et aux spécifications à examiner ?**

### ➤ Norme NF EN ISO 4126-4 § 7.2.1.e

La chute de pression à la refermeture ne doit pas dépasser 15 % de la pression de tarage (fluides compressibles)

Hystérésis de 19 % max sur la PSRV SEMPELL

**Ecart par rapport à la norme ?**

### ➤ Norme NF EN ISO 4126-4 § 6.6.2.

Selon la norme, le débit de fuite maximal du pilote est de 45,7 bulles/min soit 0,3 l/h pour une pression de 160 bar abs ou de 57 bulles/min soit 0,38 l/h pour une pression de 200 bar abs

Les critères AREVA pour les débits de fuite du pilote SIERION sont les suivants (critères usine) :

- Clapet de remplissage : 40 l/h à 200 bar abs
- Clapet de décharge : 25 l/h à 160 bar abs
- Clapet de contrôle : 5 l/h à 160 bar abs

**Conformité à la norme à examiner ?**

## 8. Conclusion

### 8. Conclusion

▮ **Ecart**s par rapport aux requis réglementaires et normatifs

▮ **Essais de qualification non probants à l'heure actuelle** (non refermeture, non ouverture, fuites en augmentation au cours des essais et absence de critères sur les étanchéités du pilote SIERION)

▮ **Le pilote SIERION est « débitant »** : La fuite → érosion du siège et du clapet → augmentation de la fuite au cours du cycle → échauffement du pilote + un risque de pollution. La fuite entraîne une non maîtrise de l'opérabilité de la soupape. En cas de fuite, le **comportement** de la soupape **n'est plus prédictible** (risque de non-ouverture, risque de non-fermeture, risque d'ouverture intempestive).

La présence des particules métalliques serait donc une conséquence et non la cause du dysfonctionnement de la soupape. Pour l'IRSN, **aucune fuite n'est acceptable**

▮ **Multiple modes de défaillances possibles aux conséquences graves**  
→ pas de dossier EDF face à chacun des risques encourus

▮ L'analyse IRSN conclut que **d'autres causes de défaillance** que la présence de particules pourraient être à l'origine de l'échec des **derniers essais Columbus** (notamment l'apparition de fuites aux clapets du pilote)

