

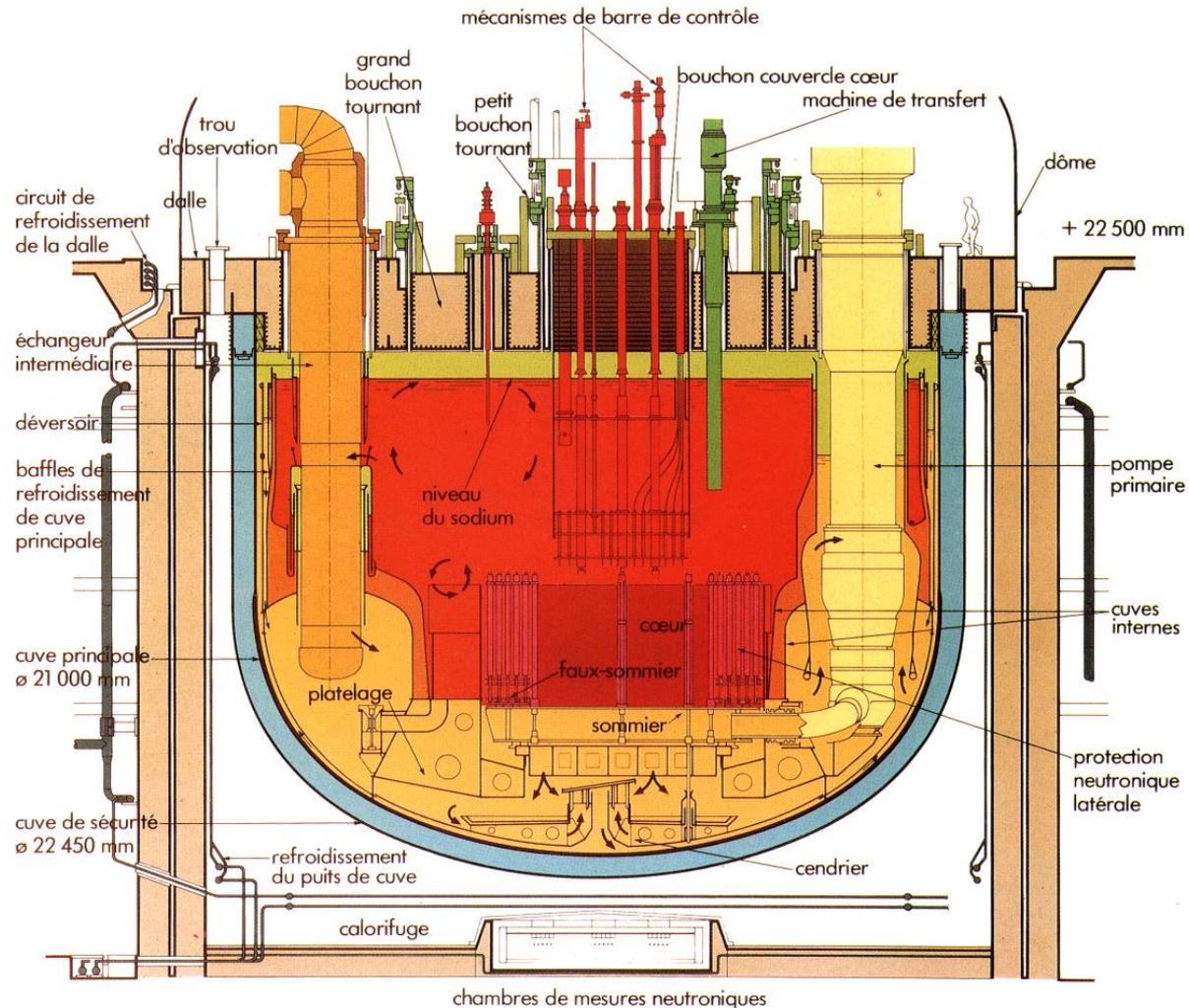


# RETOUR D'EXPÉRIENCE EDF/CIDEN

Michel VELON  
EDF CIDEN  
9 octobre 2014  
Académie des Sciences



# COMMENT UTILISER LE RETOUR D'EXPERIENCE LORS DU DEMANTELEMENT D'UN REACTEUR SODIUM



# INTEGRATION DU RETOUR D'EXPERIENCE LORS DES OPERATIONS DE TRAITEMENTS D'OBJET OU CIRCUITS SODES

- traitements des boucles secondaires du réacteur (carbonatation)
- traitement des pièges froids (thermolyse)
- traitement des rétentions de la cuve réacteur (découpes avec un procédé laser)
- traitement de 5000 tonnes de sodium primaire et secondaire

# Différents procédés de traitement possibles:

Thermolyse = NaH décomposition

→rejet  $H_2$ ,  $^3H$

→ production Na

Carbonation du Na = hydrolyse sodium et neutralisation NaOH

→Rejet  $H_2$ ,

→production  $NaHCO_3$ ,  $Na_2CO_3$

Carbonation du NaK = neutralisation du NaK

→rejet  $H_2$ ,

→Production d'une majorité  $KHCO_3$ ,  $NaHCO_3$  (minorité  $K_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ )

Procédé à chaud WVN = Na and  $Na_2O$  destruction

→rejet  $H_2$

→Production de NaOH anhydre



# Traitement des boucles secondaires par carbonatation

# OBJECTIFS CONCERNANT LA CARBONATATION

## •Conditions de sécurité

- Le procédé de carbonatation transforme le sodium solide en carbonates de sodium solides, aucune phase liquide se produit pendant la réaction chimique
- La production d'hydrogène lors du process doit être maîtrisée

## •Prise en compte du retour d'expérience avant carbonatation des boucles secondaires

- Barillet de stockage du combustible carbonaté en 1988
- R&D sur le procédé de carbonatation qui a permis d'optimiser les paramètres du process (quantité CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O, température, pression...)
- Essais réalisés en 2000 et 2001
- Circuit de refroidissement de SPX en 2003



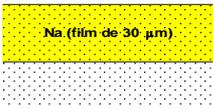
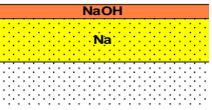
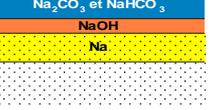
# DESCRIPTION DU PROCEDE DE CARBONATATION

La faible humidité injectée permet une réaction maîtrisée et sans réaction violente avec le sodium avec une production de soude (NaOH)

## NaOH réagit avec le CO<sub>2</sub>

- Production de carbonates de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> et NaHCO<sub>3</sub>),
- Empêche la formation de la phase aqueuse d'hydroxyde de sodium et la réaction incontrôlée à du sodium métallique

La concentration en eau doit être à des valeurs très faibles pour éviter l'hydratation de l'hydroxyde et des carbonates de sodium

Etat initial	Formation de soude	Formation de carbonates	Etat final visé
	$\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow$ 	$\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow$ 	
	$\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{H}_2$	$2 \text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaHCO}_3$	

# CARBONATATION DES BOUCLES SECONDAIRES

**Nombre de boucles = 4 boucles secondaires**

**Volume total par boucle = 310 m<sup>3</sup>**

(Tuyauteries 112 m<sup>3</sup> - Composants 198 m<sup>3</sup>.)

**Aire totale d'échange par boucle = 5180 m<sup>2</sup>**

(Tuyauteries 760 m<sup>2</sup> - Composants 4420 m<sup>2</sup> )

**Acier inox par boucle = environ 325 tonnes**

(Tuyauteries 63 tonnes - Composants 262 tonnes)

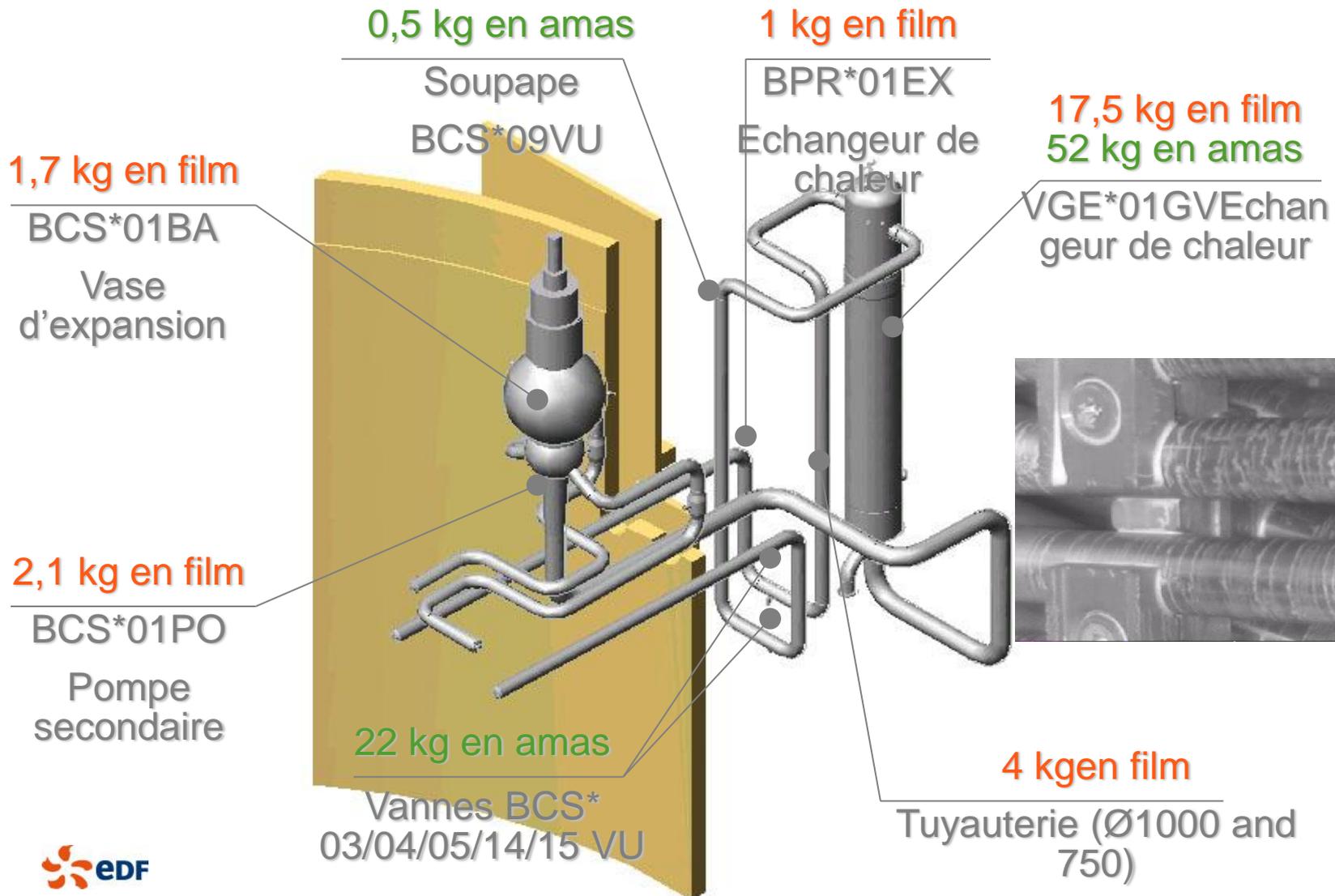
**Film résiduel par boucle = 28 kg**

**Amas résiduels de sodium par boucle = ~75 kg**

(~52 kg dans le générateur de vapeur)

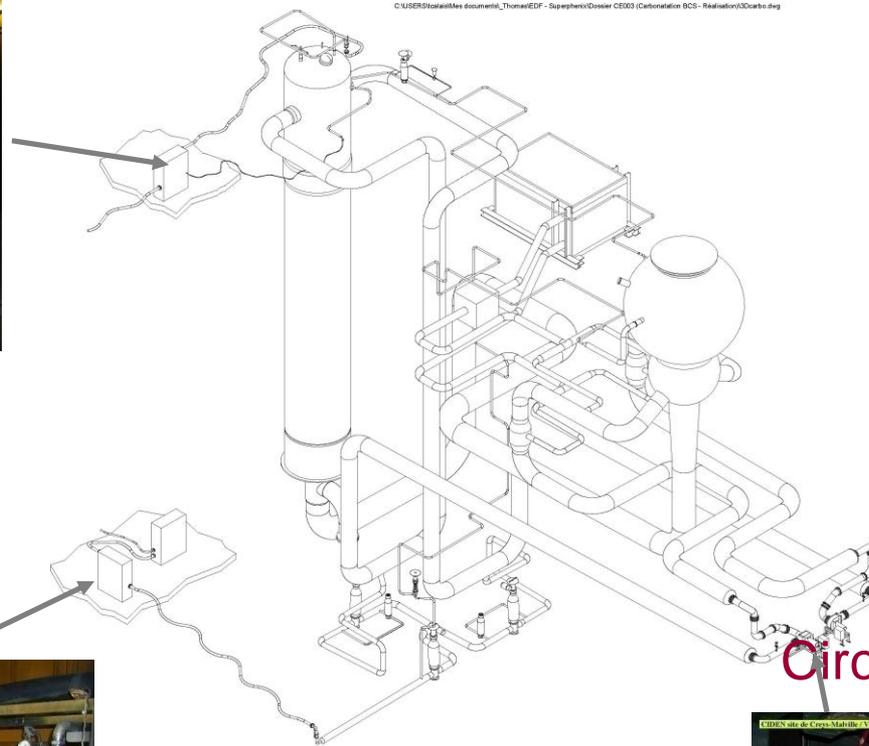
**Activité tritium = 14,36 GBq**

# CARBONATION SECONDAIRE DE BOUCLES - DISTRIBUTION RÉSIDUELLE DE SODIUM



# EQUIPEMENTS POUR LA CARBONATATION DE LA BOUCLE SECONDAIRE

R de contrôle des rejets



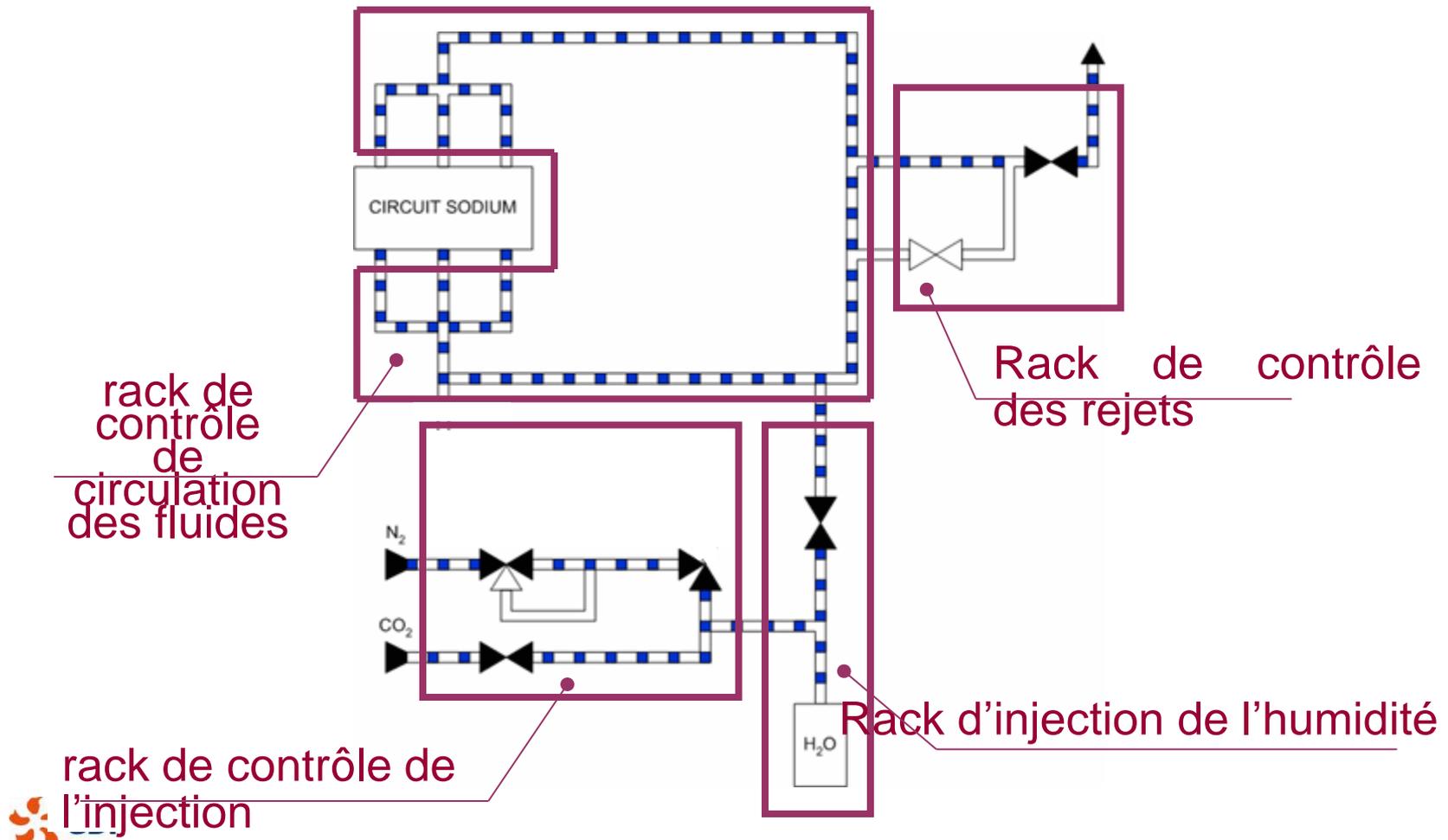
Injection CO<sub>2</sub>+  
humidification rack  
de contrôle



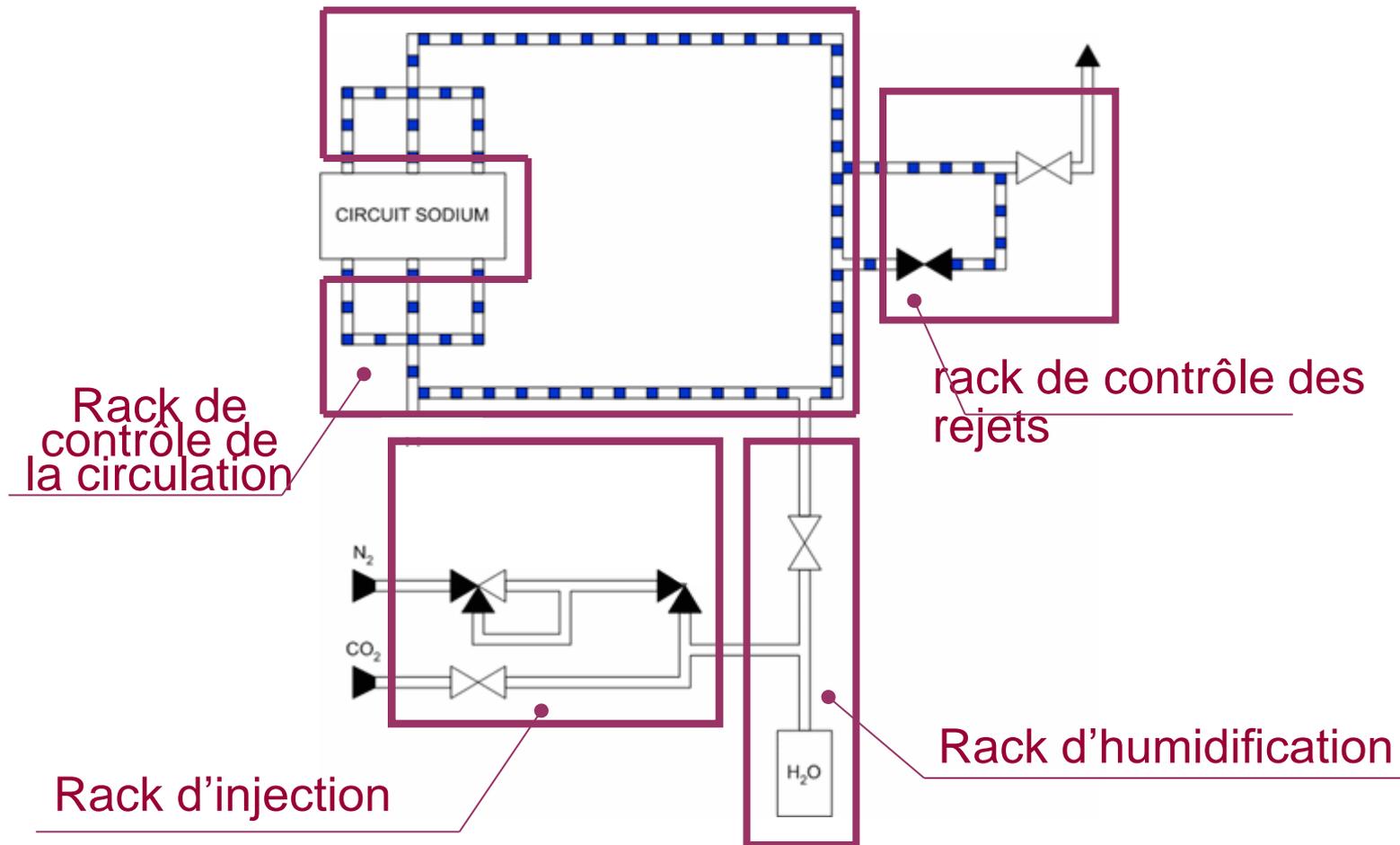
Circulation des fluides)



# CARBONATATION DES BOUCLES SECONDAIRES : ETAPE 1 MODE DE TRAITEMENT OUVERT (OM)



# TRAITEMENT DES BOUCLES SECONDAIRES: ETAPE 2 – MODE FERME



# ETAPE 1 : PARAMETRES RETENUS

## Phase 1 : Mode de traitement ouvert (O)

Step	N <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O			Circuit temp.	Durée
	Nm <sup>3</sup> /h	% Vol.	Nm <sup>3</sup> /h	% Vol.	Tdp*	g/h	% Vol.		
1	240	~ 80%	60	~ 20%	6°C	1740	0,7%	50°C	~ 24h
2	240	~ 80%	60	~ 20%	12°C	2600	1,1%	50°C	~ 24h
3	240	~ 80%	60	~ 20%	17°C	3600	1,5%	50°C	~ 80h

\* Point de roséfor 50°C and 300 mbR

# PARAMETRES ETAPE 2

## ●Phase 2 : Mode de traitement fermé (29 cycles)

Step	N <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O			Temp. Circuit	Durée
	Nm <sup>3</sup> /h	% Vol.	Nm <sup>3</sup> /h	% Vol.	Tdp*	g/h	% Vol.		
1 - O	240	~ 80%	60	~ 20%	17°C	3600	1,5%	50°C	3/4hrs
2 - F	<p><b>Cycles arrêtés quand un des paramètres suivants est atteint :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●Point de rosée &lt; 5°C</li> <li>●CO<sub>2</sub> &lt; 10% Vol.</li> <li>●H<sub>2</sub> &gt; 9000 vpm</li> <li>●Pression &lt; 50 mbR</li> <li>●Closed mode treatment time (MO + MF) &gt; 24h</li> </ul>								20/21hrs

\* Point de rosée 50°C and 300 mbR

# CARBONATATION DE LA BOUCLE SECONDAIRE: PRINCIPAUX RESULTATS

**Phase 1 : 6 jours**

**Phase 2 : 46 jours (29 cycles)**

**Volume N2 utilisé = 56 830 Nm3**

**Volume de CO2 utilisé = 14 265 Nm3**

**Sodium en film carbonaté = 28 kg (28 kg)**

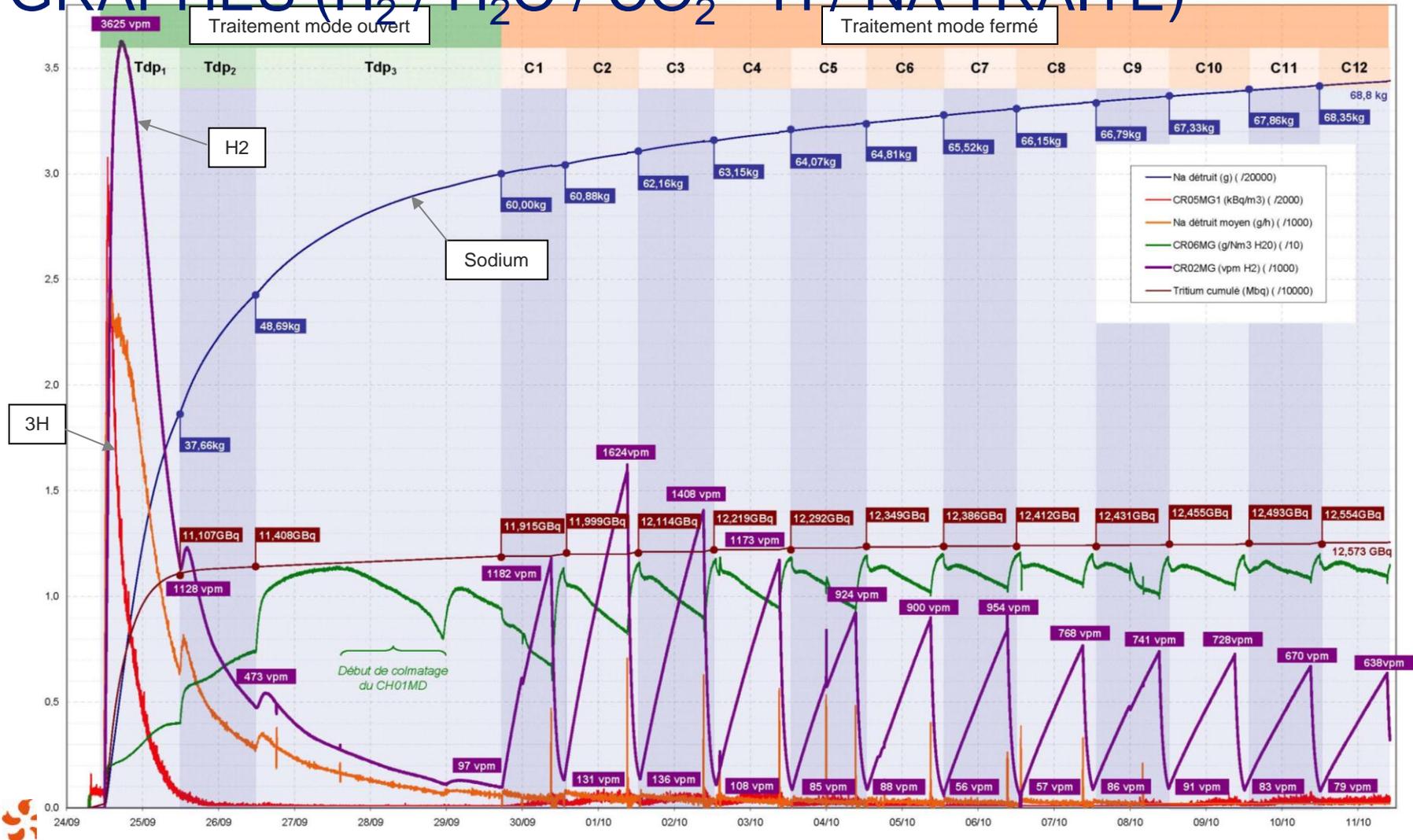
**Amas de sodium carbonaté = 45,4 kg (75 kg)**

**Activité de Tritium rejetée = 10,08 GBq (14,36 GBq)**

**Conservation de la boucle secondaire en air sec**

# CARBONATATION DES BOUCLES SECONDAIRES

## GRAPHES (H<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O / CO<sub>2</sub> / <sup>3</sup>H / NA TRAITÉ)



# REX DU PROCEDE DE CARBONATION

## LES 4 BOUCLES SECONDAIRES ONT ÉTÉ CARBONATEES

**Le REX démontre une très bonne maîtrise du procédé notamment en terme de sûreté, production d'hydrogène et de tritium**

**Ce REX a permis de mettre en œuvre ce procédé pour de nombreux composants en particuliers les pompes primaires et les échangeurs intermédiaires (gros composants)**

**Après traitement des rétentions principales ce procédé sera mis en œuvre pour carbonater la cuve principale et les internes de cuve**



# Traitement des pièges froids

# Pièges froids recensés

## ■ Pendant le fonctionnement

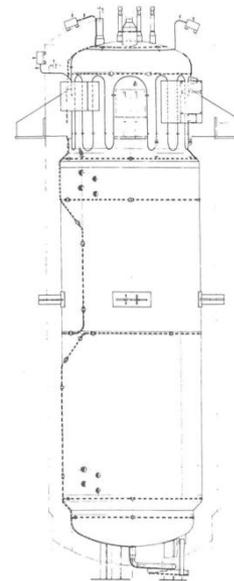
- 2 x 4 pièges froids sur les boucles secondaires (4 BAS am = ancien modèle ; 4 BAS nm = nouveau modèle, incluant un piège sans sodium)
- 7 pièges froids sur boucles auxiliaires (2 MAS am + 1 MAS nm sans Na + 4 petits pièges RUR)
- 2 pièges froids sur des boucles sodium conventionnelles (MAB)
- 2 unités de purification primaires contenant chacune 11 cartouches remplaçables

## ■ Actuellement, les pièges traités :

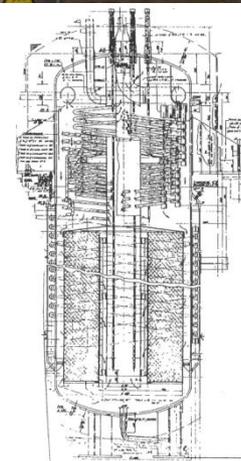
- 2 MAB et 4 RUR (deconstruits)
- 1 BAS nm
- 3 BAS am
- 1 MAS nm sans Na

## ■ Les pièges froids restant à traiter :

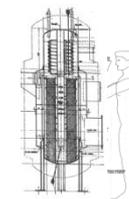
- 1 BAS am, 3 BAS nm, 1 MAS
- 11 cartouches UPI



BAS nm



BAS am  
MAS



RUR  
MAB



UPI  
| 19

# PIEGES FROIDS ET AUTORISATION ADMINISTRATIVE

## ► Autorisation

MAB, RUR : autorisation interne

PF BAS nm, MAS, BAS am : autorisation accordée par l'Autorité de sûreté Nucléaire (ASN)

UPI : autorisation ASN en cours d'instruction

## ► Rejet de tritium autorisé par arrêté (ARPE)

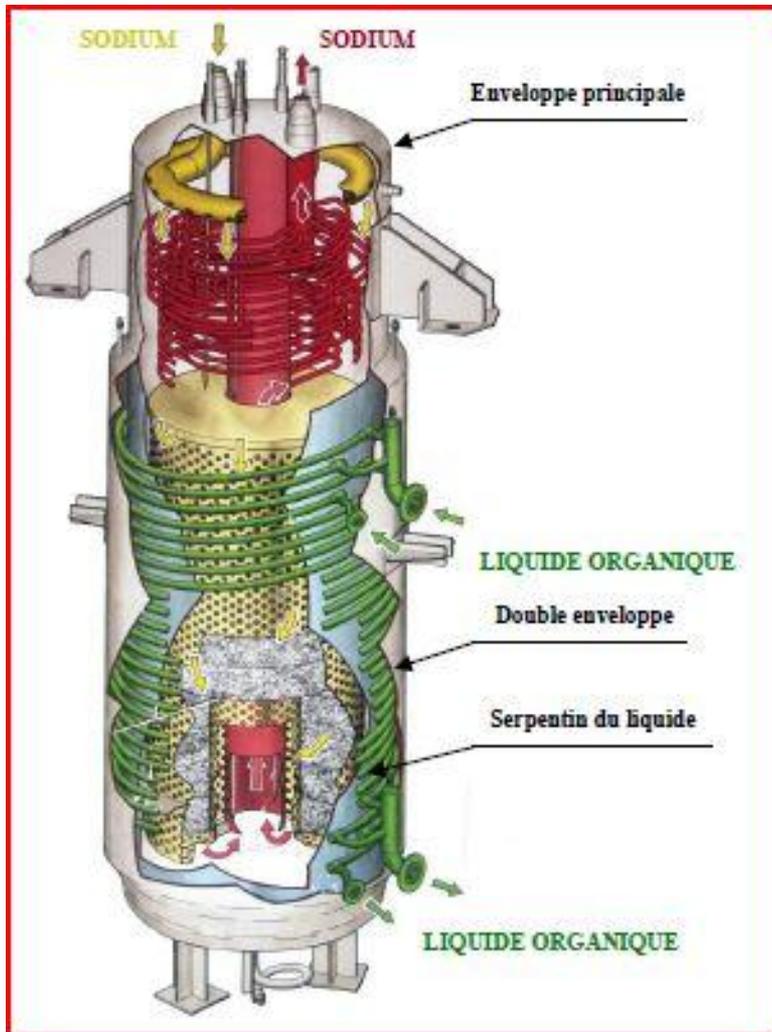
**Autorisation obtenue pour une période de 10 ans (jusqu'en août 2017)**

**Limite de rejet : 1 TBq/jour**

**<100 TBq/an**



# TRAITEMENT DES PIEGES FROIDS

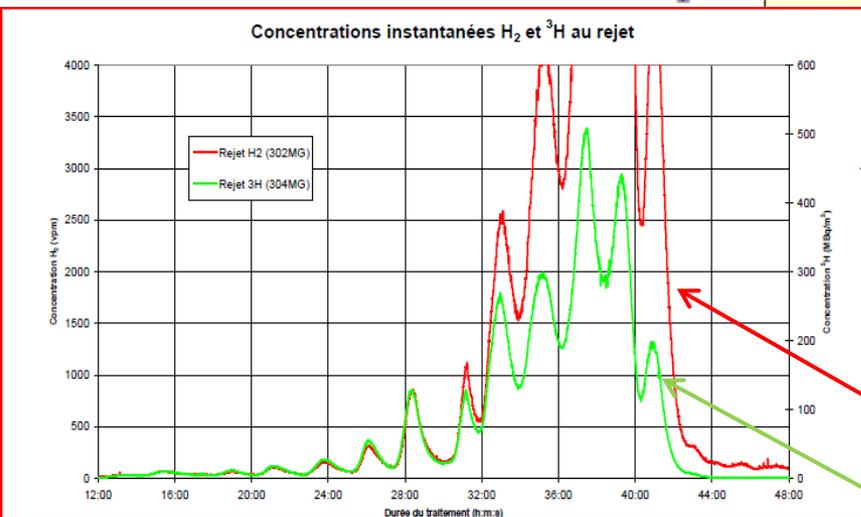
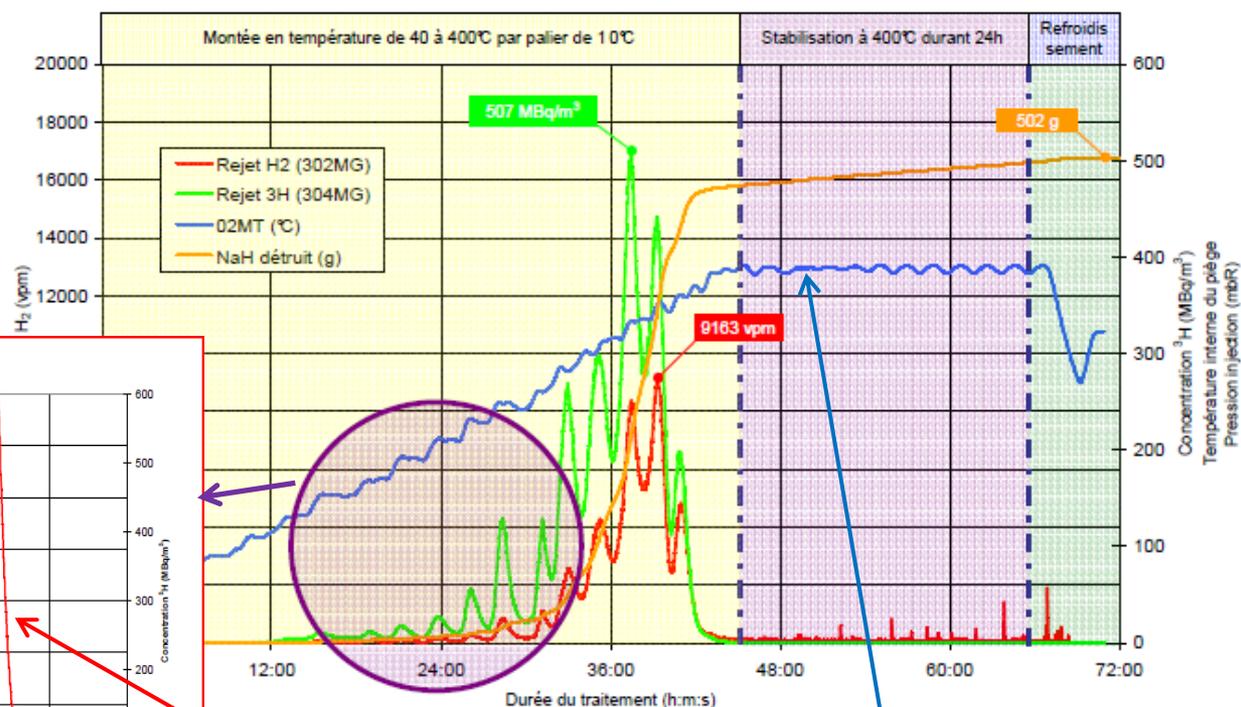


- ▶ NaK
  - Intérieur de la double paroi
- ▶ Na + oxydes
  - Emprisonnés dans les structures (knitt)
- ▶ NaT
  - Concentration de la majorité du tritium produit dans le réacteur →  $^3\text{H}$  : estimation maximale de 44 TBq pour un composant

# REX TIRÉ DU TRAITEMENT DES RUR

## ► Maîtrise du management de la thermolyse et des rejets H2

### ► Traitement du piège froid RURD 01 PF ⇨ Thermolyse

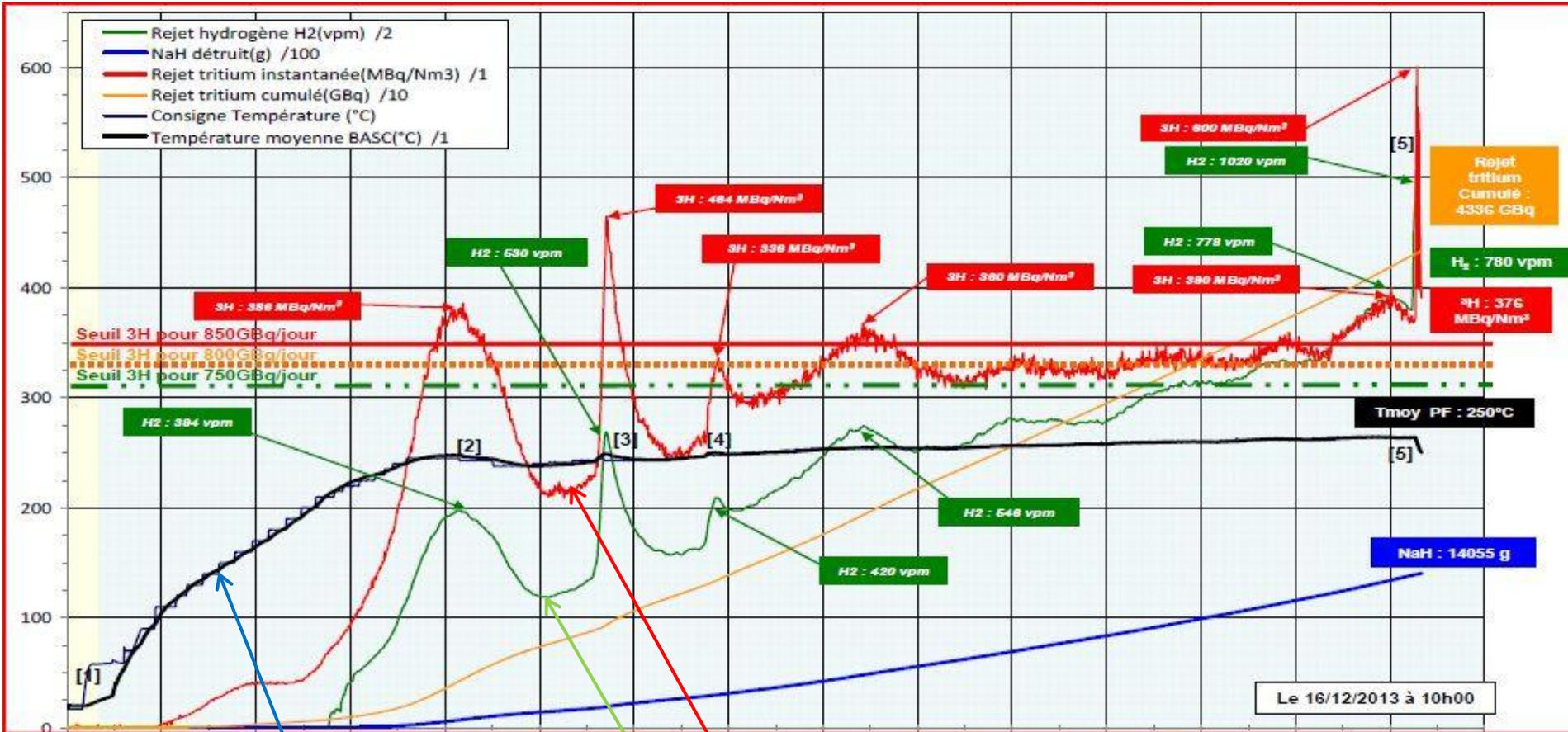


Rejet H2

Rejet tritium

Temperature de la peau externe

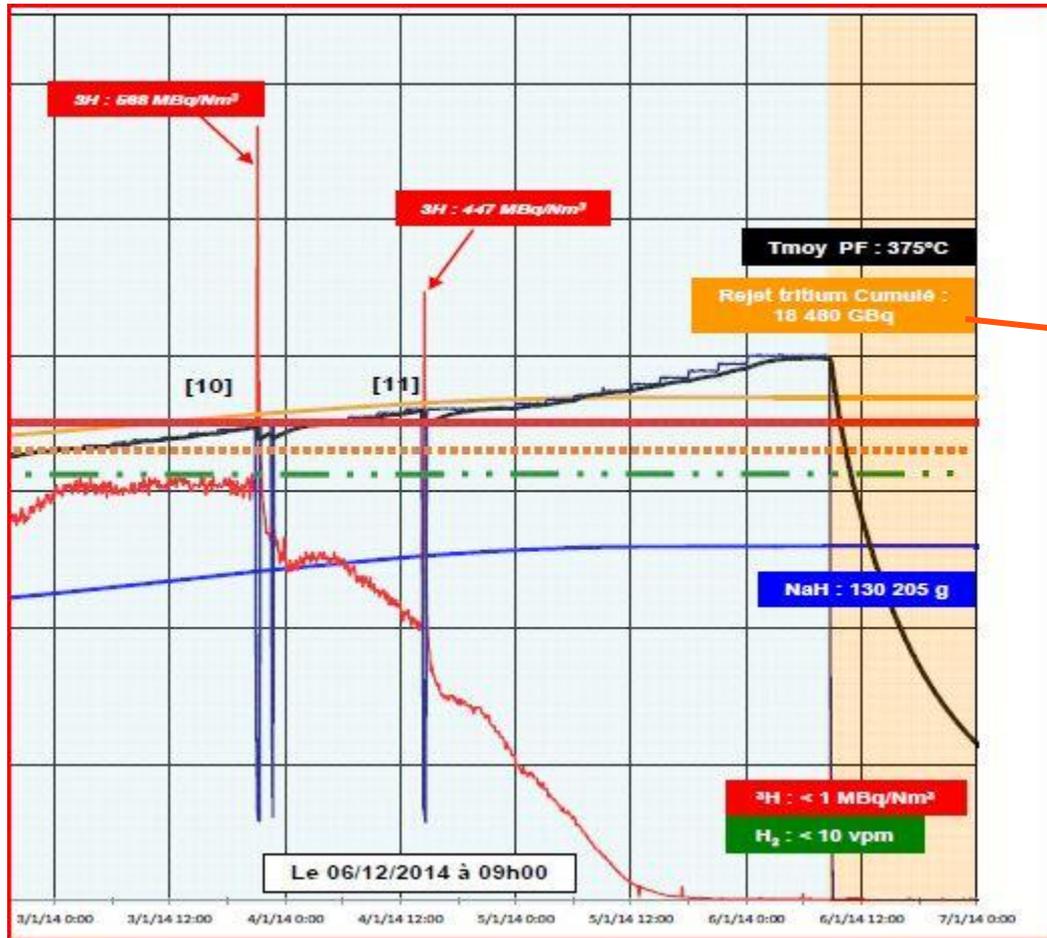
# REX AVEC LA THERMOLYSE BAS AM



Rejet hydrogène  
outlet  
Température peau  
externe

Rejet tritium

# REX THERMOLYSE BAS AM



3H mesuré 18,5 TBq  
(pour 44 TBq estimé)

# Transport des pièges froids

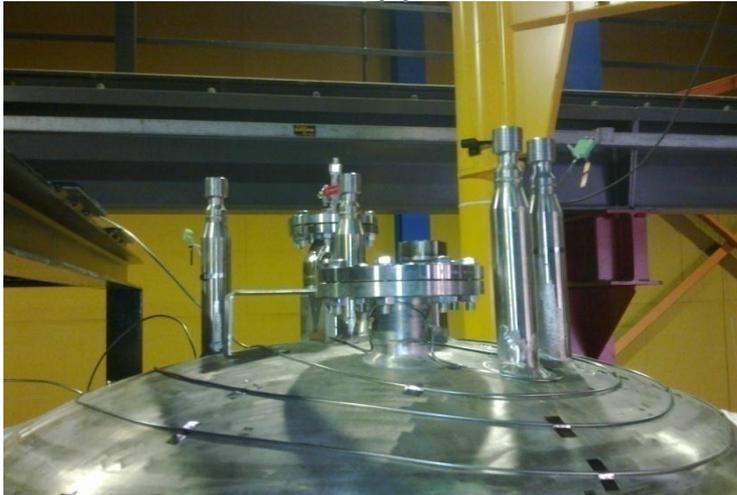


PF BAS nm





Double enveloppe retirée

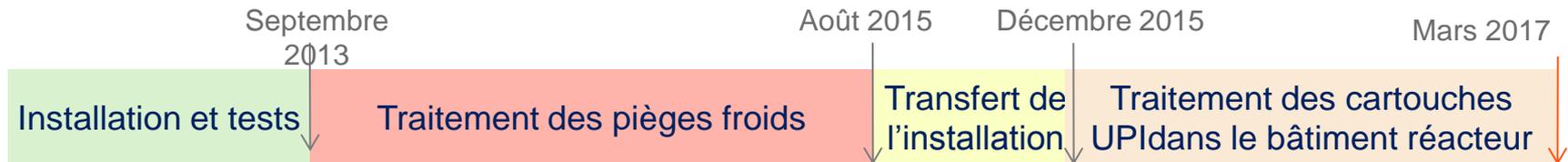


BASC NM  
Pyromètres sur la virole



Isolation du piège froid

# Planning du traitement des pièges froids



Support du piège froid pour traitement

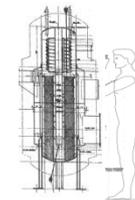
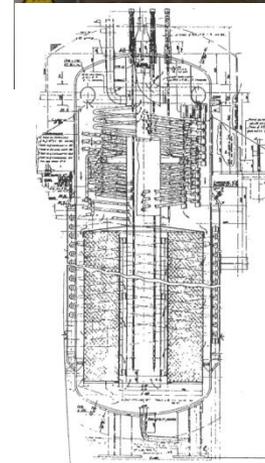
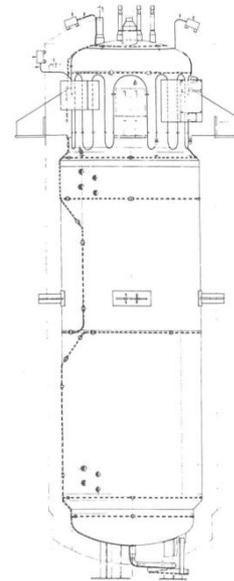


Laveur de gaz

# Conclusion

- La mise en oeuvre progressive de la thermolyse sur des pièges froids a permis :

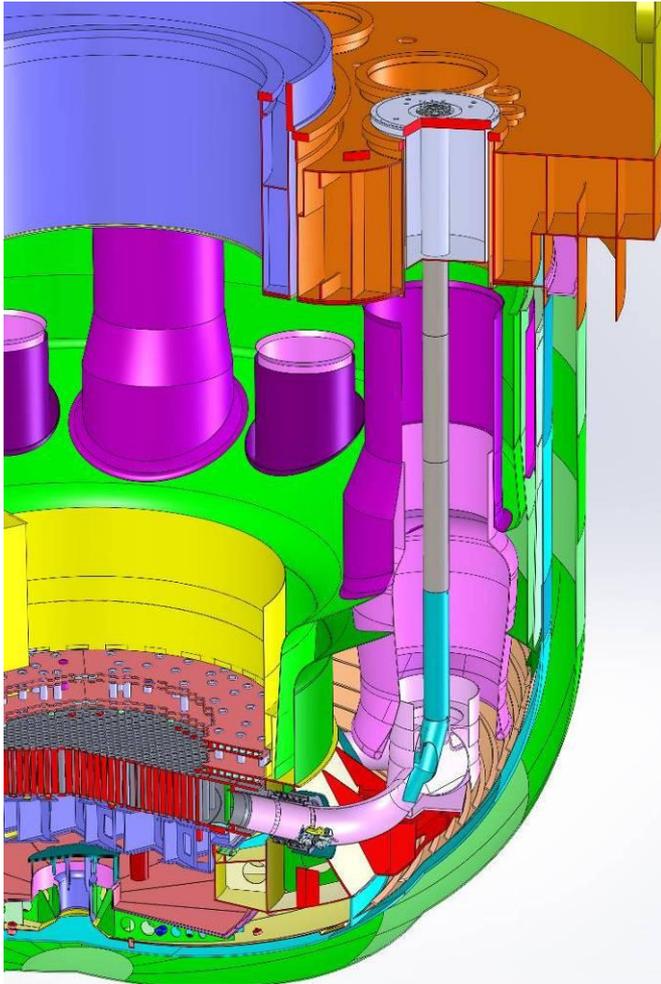
- De valider le process sur des pièges froids de petite dimension ne contenant qu'une quantité limitée d'hydrure
- De valider le process sur un piège de grande dimension mais ne contenant que très peu d'hydrures (temps de fonctionnement limité)
- De réaliser un premier traitement sur un des pièges contenant une quantité importante d'hydrure (BAS AM) et un terme source important. Le REX tiré de ce premier traitement a permis de valider les paramètres du process et comparer la quantité de tritium présente par rapport à la quantité estimée par le calcul durant les études (valeur relevée de 18,5 TBq pour une valeur estimée à 44 TBq de manière enveloppe lors des études initiales)
- Enfin le REX de la thermolyse du premier piège BAS AM a permis de valider le terme source en tritium et optimiser le temps de traitement tout en respectant évidemment les autorisations de rejet. Ce REX a permis d'optimiser le planning global du projet SPX et garantir la sûreté de l'opération



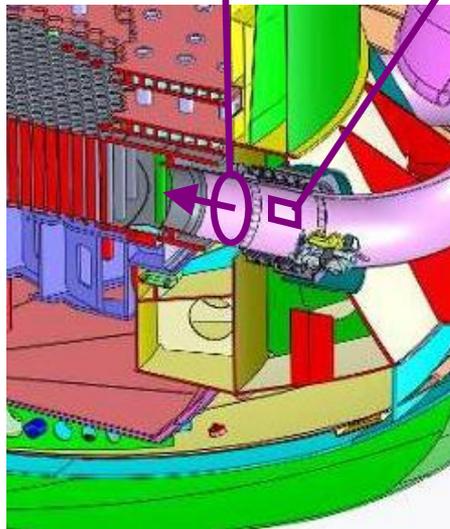
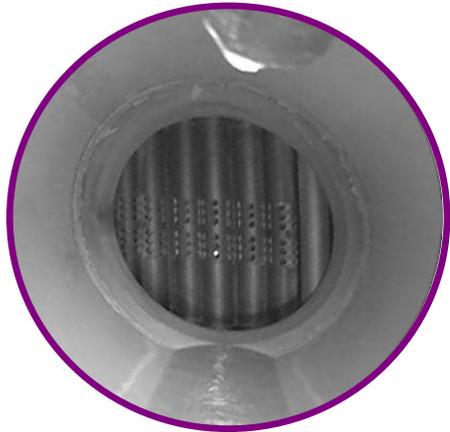


# Traitement des rétentions sodium cuve par découpe laser

# Exemple du traitement d'une rétention principale de sodium par découpe laser (liaison LIPOSO)



# Exemple du traitement d'une rétention principale de sodium par découpe laser (liaison LIPOSO)



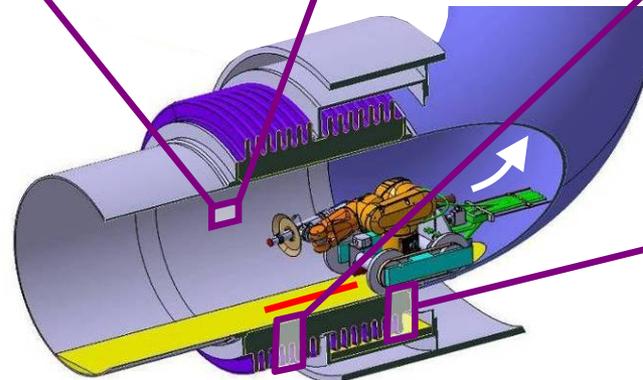
Première découpe



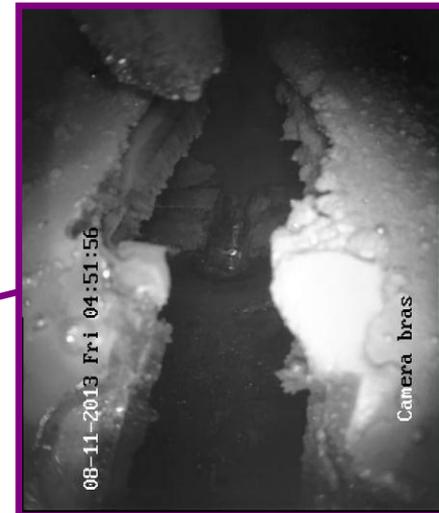
Fenêtre pour inspection



Découpe partie basse



LIPOSO

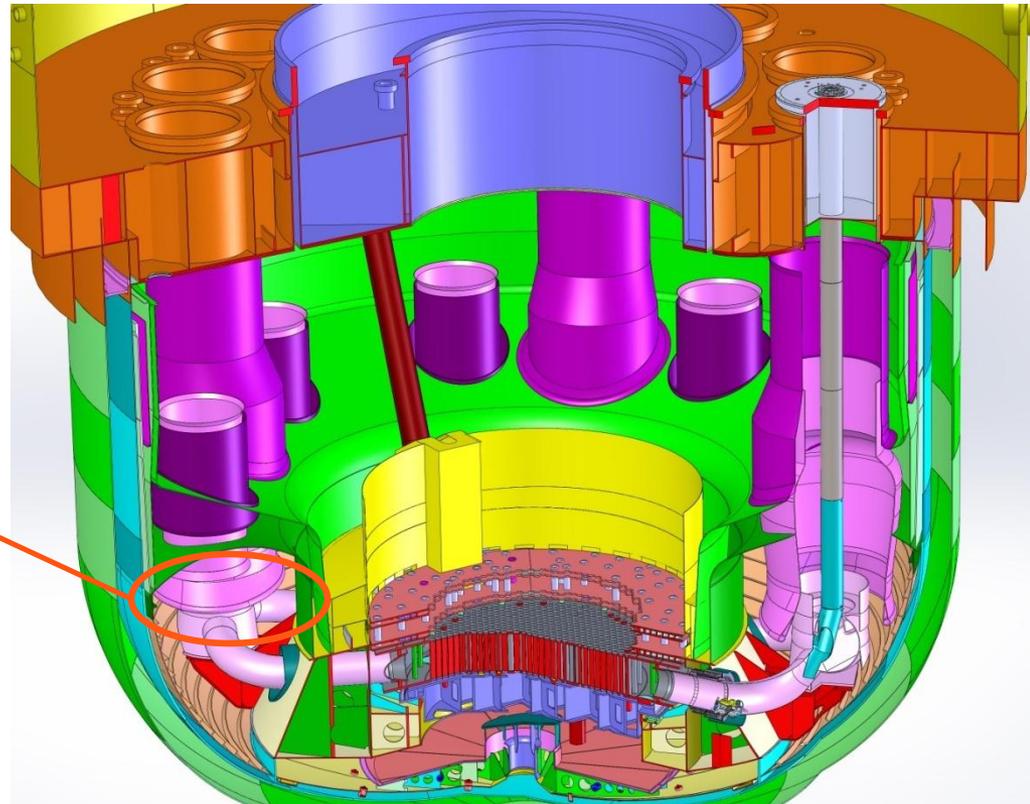
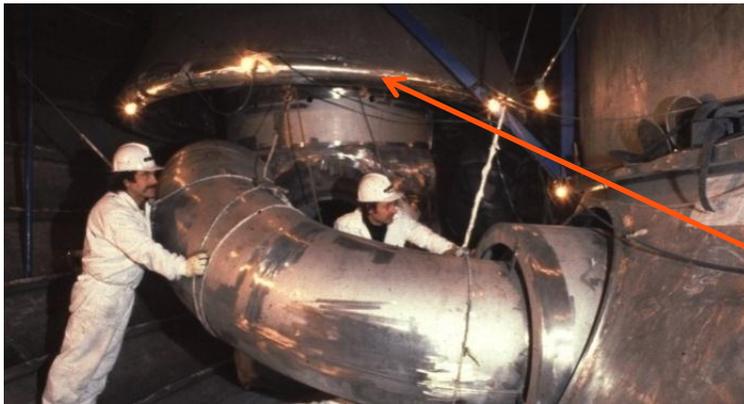


# Conclusion et retour d'expérience du traitement par découpe laser des LIPOSOS:

- **Principal REX tiré de la découpe laser des liposos :**
  - **La tenue des différents composants (robotique, électroniques) dans les conditions ambiantes (rayonnement, chaleur, atmosphère)**
  - **La maîtrise technique de la découpe laser**
  - **L'excellente maîtrise du planning prévisionnel**
  - **La complétude des opérations réalisées en amont (qualification des composants aux conditions d'ambiance, intégration du REX issu des qualifications sur maquette à l'échelle 1, entraînement des opérateurs sur maquettes)**
  
- **Le retour d'expérience très positif a permis d'étudier la mise en oeuvre de ce procédé pour le traitement d'autres rétentions dont le traitement n'avait pas été envisagé par ce procédé**
  
- **Le traitement d'autres rétentions par ce procédé de découpe permettra de réduire de façon très significative la quantité de sodium résiduel avant carbonatation de la cuve ce qui permettra de garantir la sûreté des opérations futures à savoir la carbonatation et le mise en eau de la cuve**

# DESCRIPTION D'UNE AUTRE OPERATION DE DECOUPE LASER NON PREVUE INITIALEMENT

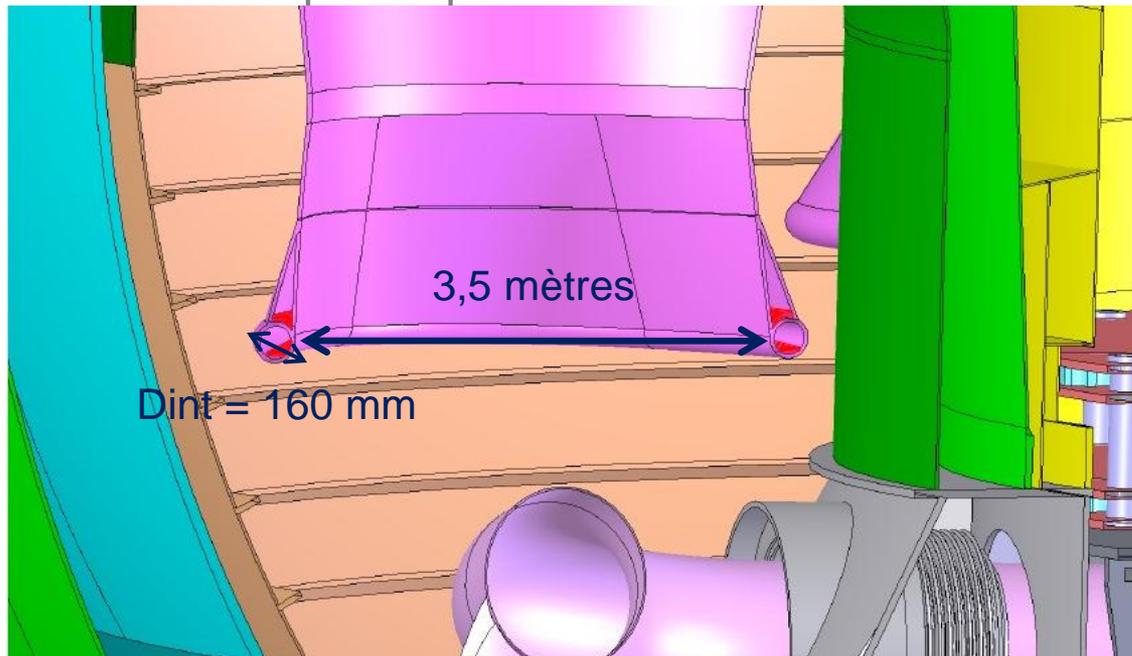
- **Traitement des tores de jupe des pompes primaires**
  - 1 tore de jupe par pompe primaire → 4 en tout
  - Forme : ellipse (diamètre : 3,5 – 4,5 m)
  - Ambiance cuve Creys : sodium, argon, température, rayonnement.



# DESCRIPTION DE L'OPERATION

## ■ Rétention d'un tore de jupe

- Rétention potentielle : présence de plusieurs trous de diamètre 8 mm
- Deux zones de rétentions : section circulaire, section triangulaire
- Volume de la rétention pleine pour un tore : 788 litres

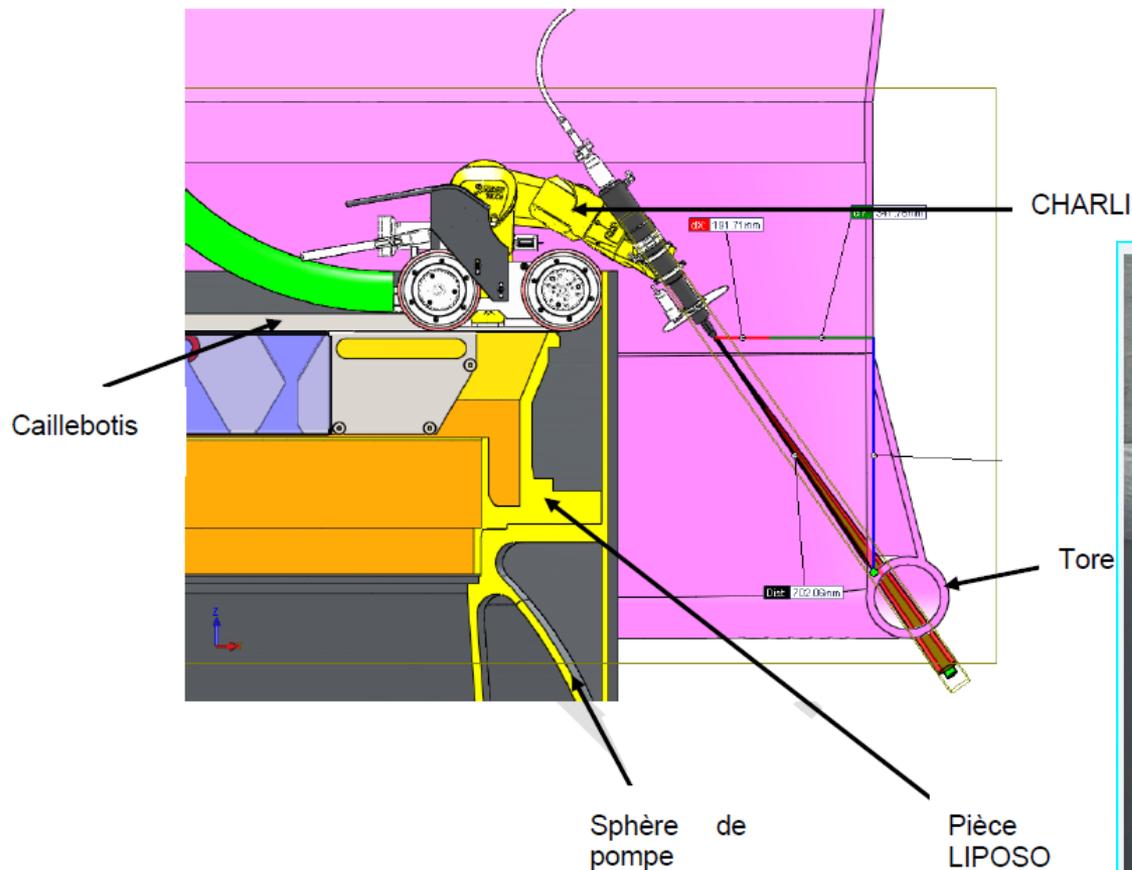


# DESCRIPTION DE L'OPERATION

*Découpes sur le tore réalisées coté intérieur de la cuve*

- Scénario inspection d'un tore de jupe
  - Réalisation des découpes et de l'inspection

*Vérification de l'absence de sodium pendant et après les découpes confirmant le REX de la bonne vidange par les trous de 8mm de diamètre*

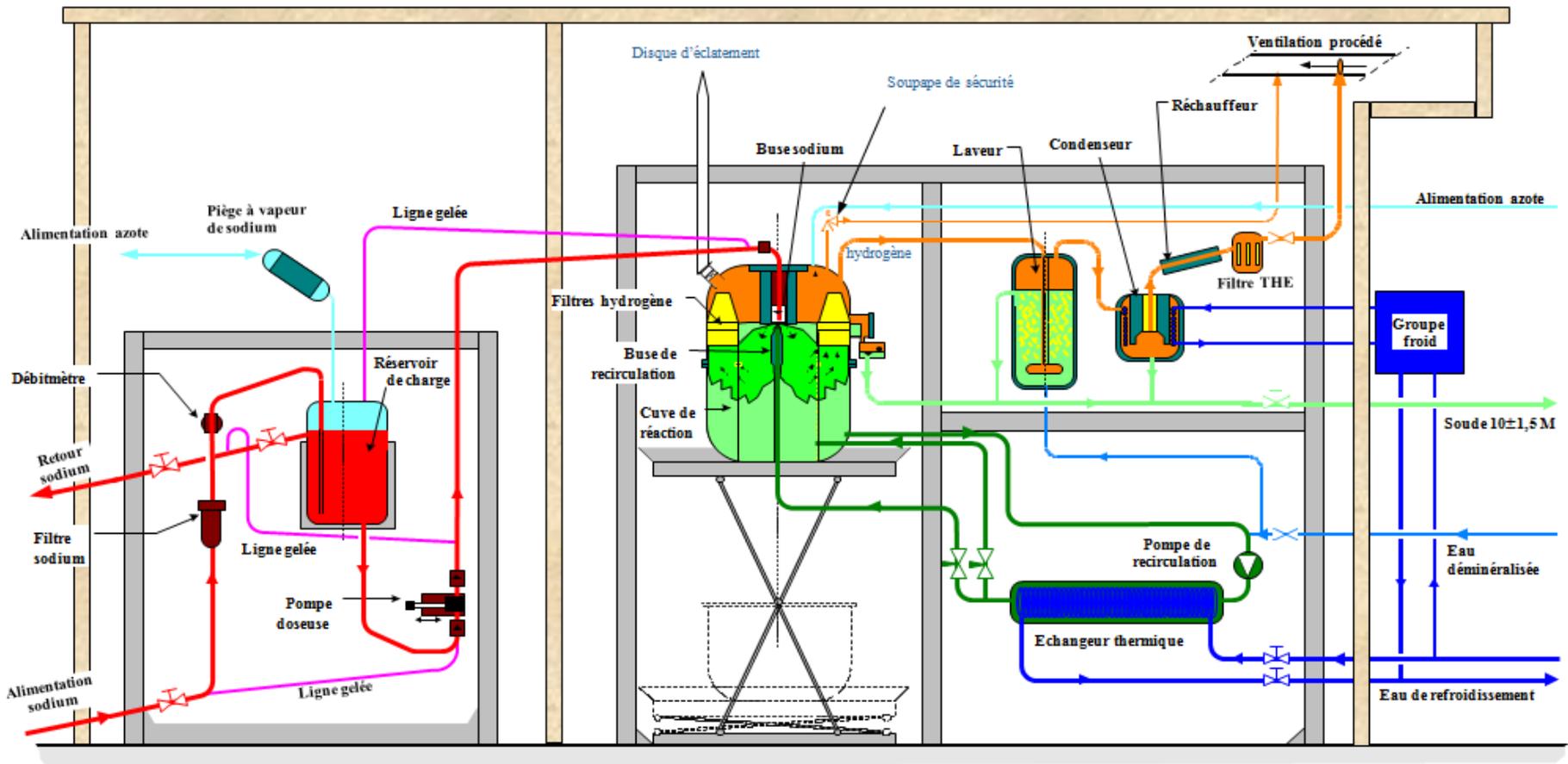




# Traitement du sodium primaire et secondaire

# L'INSTALLATION DE TRAITEMENT DU SODIUM L'HYDROLYSE ( $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{H}_2$ )

## ■ Zoom sur le procédé TNA



CADRE SODIUM TNA 1

CADRE DE REACTION TNA 2

# INSTALLATION TNA : INTÉGRATION DU REX ÉTRANGER

- Process développé par le CEA qui permet de détruire le sodium et le transformer en soude
- Mis en œuvre du procédé par le CEA puis en écosse à Douneray
- Utilisation à Creys Malville intégrant tout le REX du fonctionnement d'une telle installation en Ecosse
- Mise en œuvre progressive permettant d'intégrer le REX (traitement de 800T de NA conventionnel puis Na secondaire puis sodium primaire)
- La bonne intégration du REX a permis
  - d'assurer une maîtrise complète du process
  - fiabiliser certains composants (buse d'injection...)
  - d'améliorer la maintenabilité de l'installation
  - d'obtenir en final un coefficient de disponibilité très élevé ce qui a permis de détruire les 5000 Tonnes de sodium de Creys Malville conformément au planning



Réacteur TNA

# CONCLUSION

- **Les quelques exemples présentés démontrent que la prise en compte du retour d'expérience dans la déconstruction est fondamentale pour :**
  - Maîtriser les différentes technologies disponibles et choisir la plus appropriée
  - Maîtriser la sûreté, la sécurité, la radioprotection et l'environnement
  - Maîtriser le planning et donc les coûts