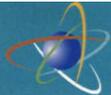


# L'accident de Three Mile Island 28 Mars 1979 et ses leçons

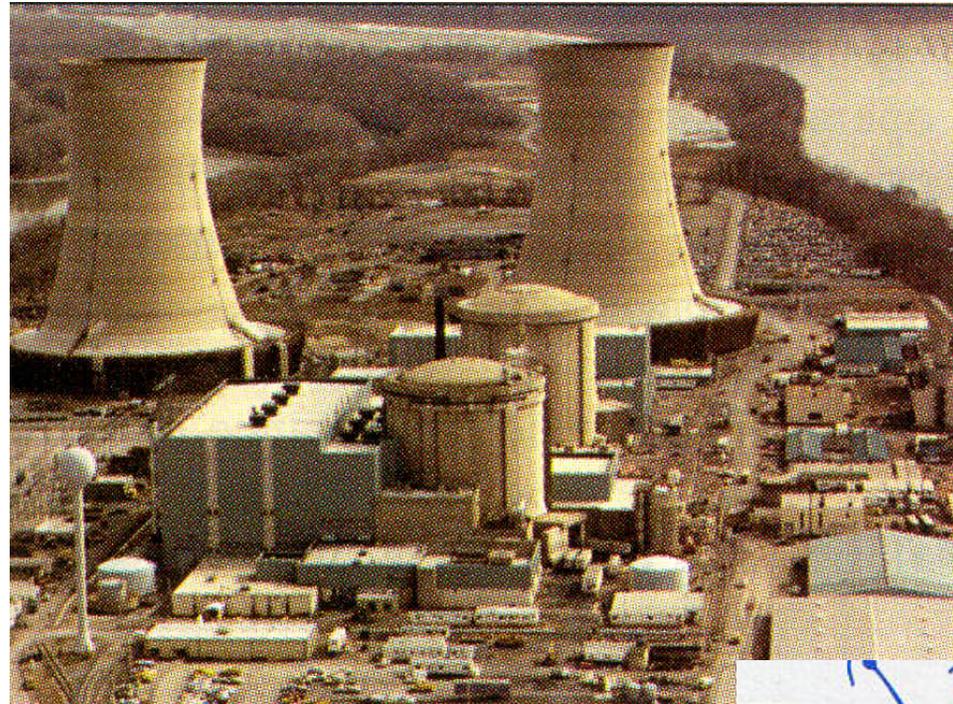
 **U.S.NRC**  
United States Nuclear Regulatory Commission  
*Protecting People and the Environment*



**Three Mile Island  
after 30 Years**

J. Samuel Walker

  
**CONSERVATOIRE NATIONAL  
DES ARTS ET METIERS**



**Bertrand BARRÉ**

**SFEN ST1, Novembre 2009**



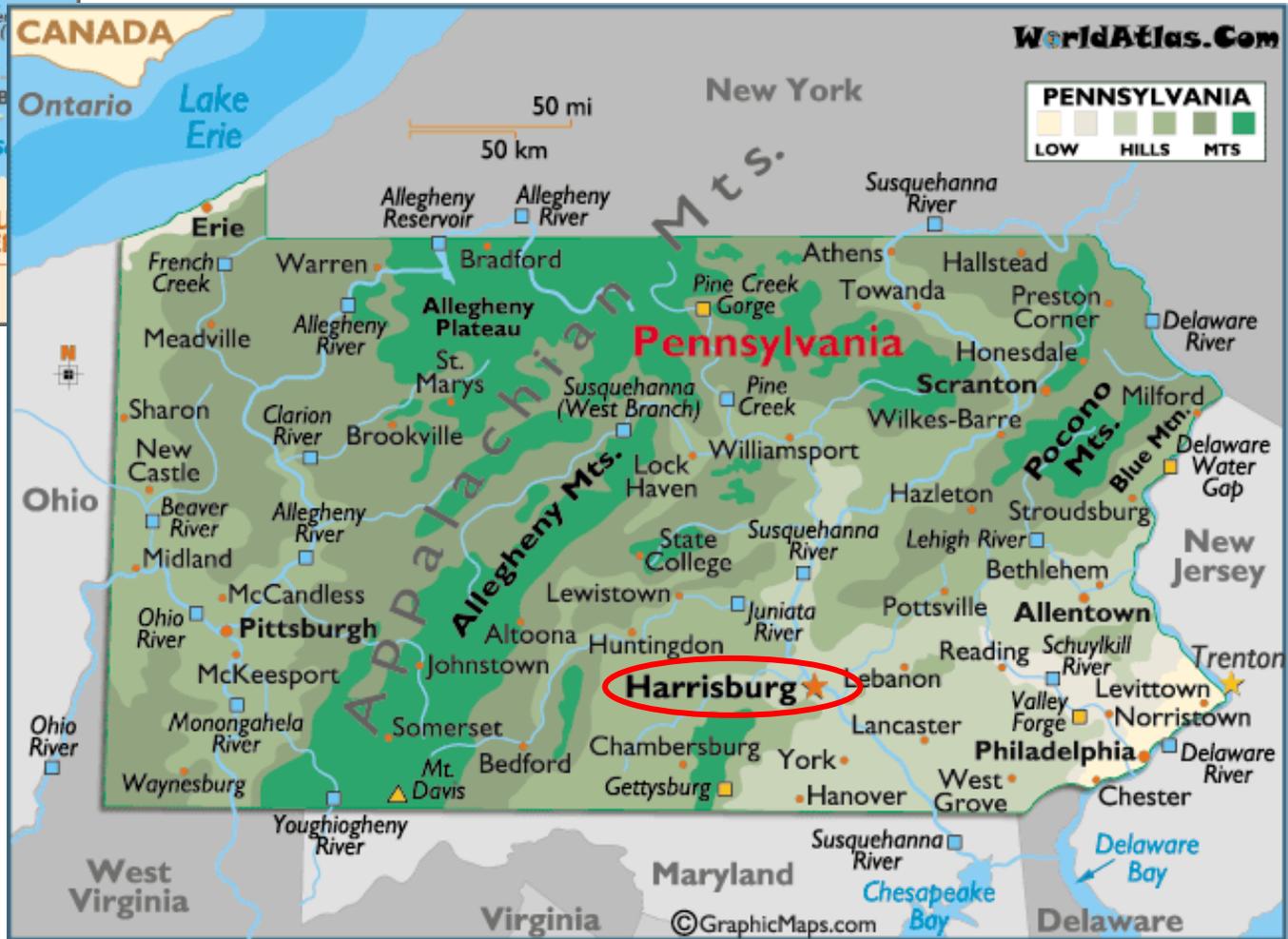
  
**AREVA**



# La Pennsylvanie

« Keystone State »

120 000 km<sup>2</sup> - 12,3 millions ha



# Environs de Harrisburg



Harrisburg, PA, USA

Image © 2009 DigitalGlobe  
Image U.S. Geological Survey

Image PA Department of Conservation and Natural Resources-PAMAP/USGS  
Dates des images satellite : 27 févr. 2004 - 1 avr. 2005 40°12'06.67" N 76°47'34.75" O élé

## Harrisburg, 47 000 ha

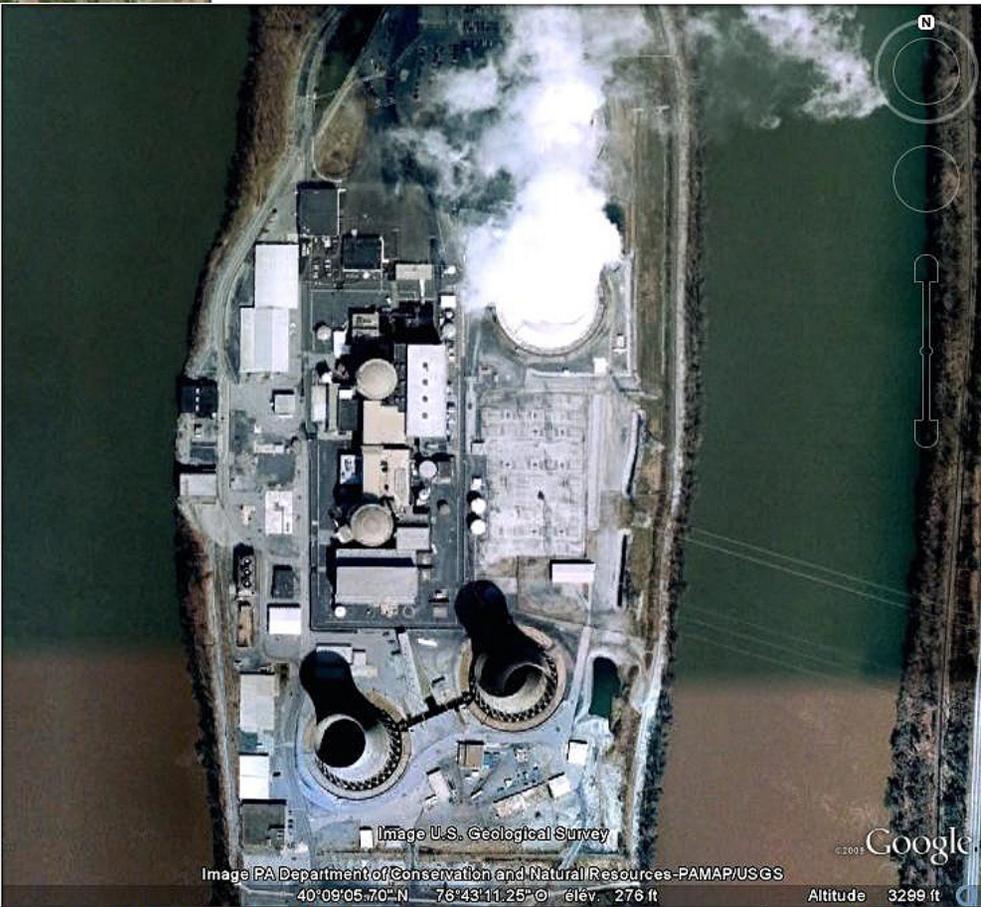
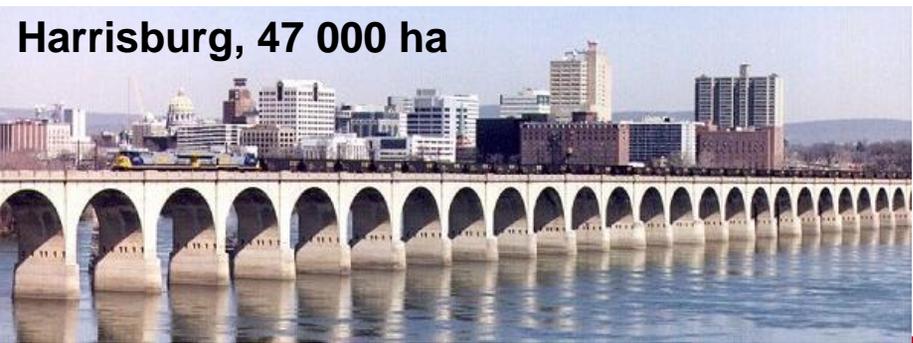
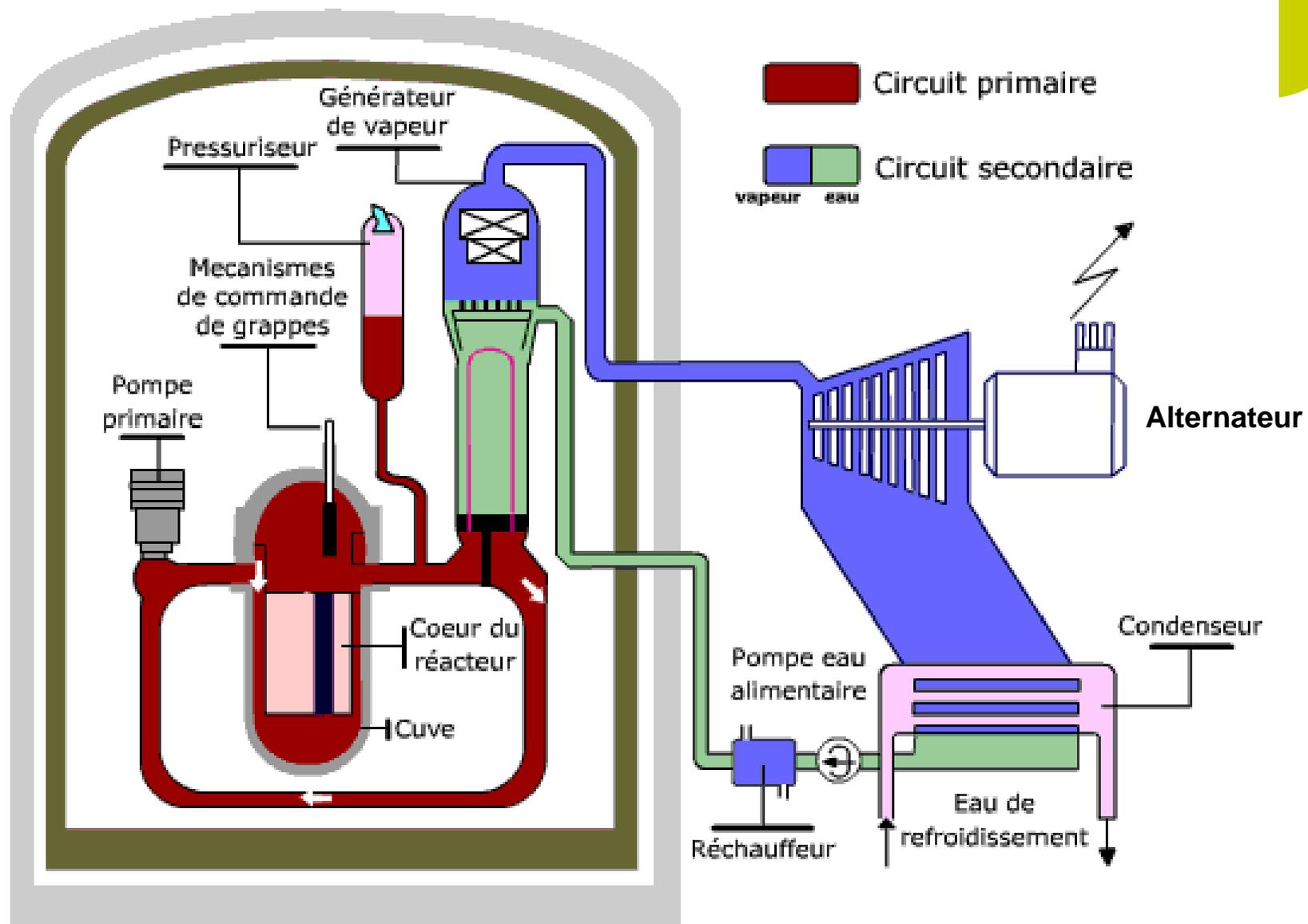


Image U.S. Geological Survey

Image PA Department of Conservation and Natural Resources-PAMAP/USGS  
40°09'05.70" N 76°43'11.25" O élév. 276 ft

Altitude 3299 ft



# Les deux tranches TMI 1&2

## Deux REP avec îlot nucléaire Babcock & Wilcox (GV Tubes droits)

	TMI – 1	TMI – 2
<b>Puissance nette</b>	<b>786 MWe</b>	<b>880 MWe</b>
<b>Début construction</b>	<b>Mai 1968</b>	<b>Novembre 1969</b>
<b>Criticité</b>	<b>Juin 1974</b>	<b>Mars 1978</b>
<b>MSI</b>	<b>Septembre 1974</b>	<b>Décembre 1978</b>
<b>Arrêt</b>	<b>1979-1985</b>	
<b>Arrêt définitif</b>	<b>-</b>	<b>Mars 1979</b>
<b>Production fin 2008</b>	<b>172 Twh</b>	<b>2 TWh</b>
<b>Facteur de charge</b>	<b>72%</b>	<b>17%</b>

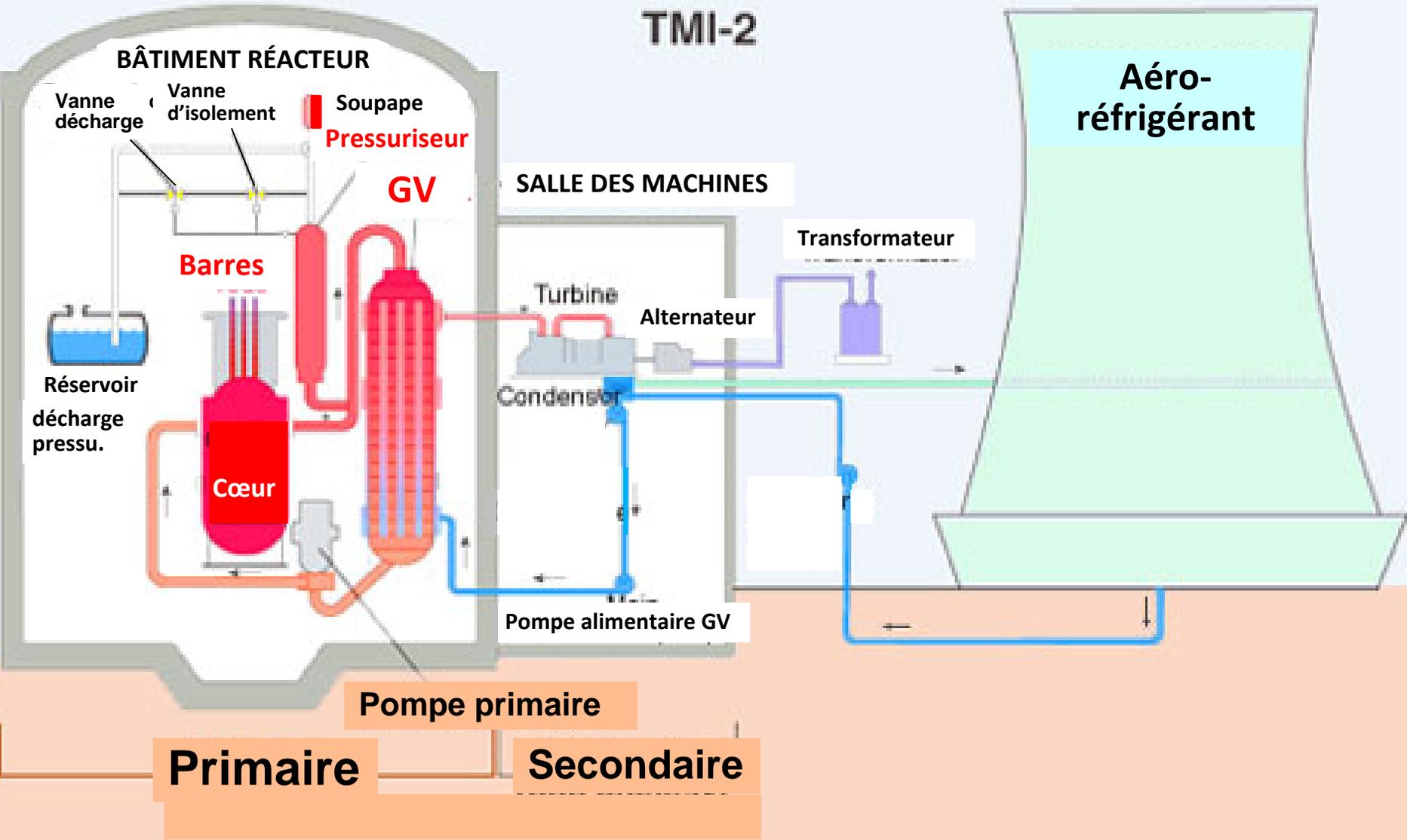
# Puissance résiduelle (REP typique)

Temps après l'arrêt		$P/P_0$
Secondes	ou	%
1		5.88
5		5.15
10		4.72
50		6.62
100		3.14
1000	16 mn	1.89
$10^4$	2 h 46 mn	0.94
$10^5$	28 h	0.45
$10^6$	12 jours	0.23

Exemple: 1000 MWe, 1 semaine après arrêt ~ 9 MWth



# TMI-2

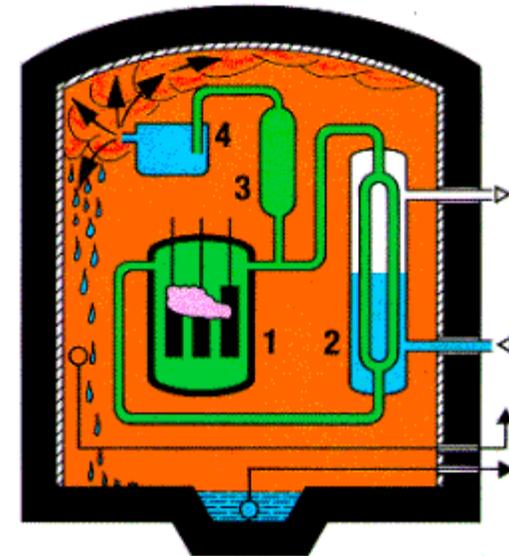




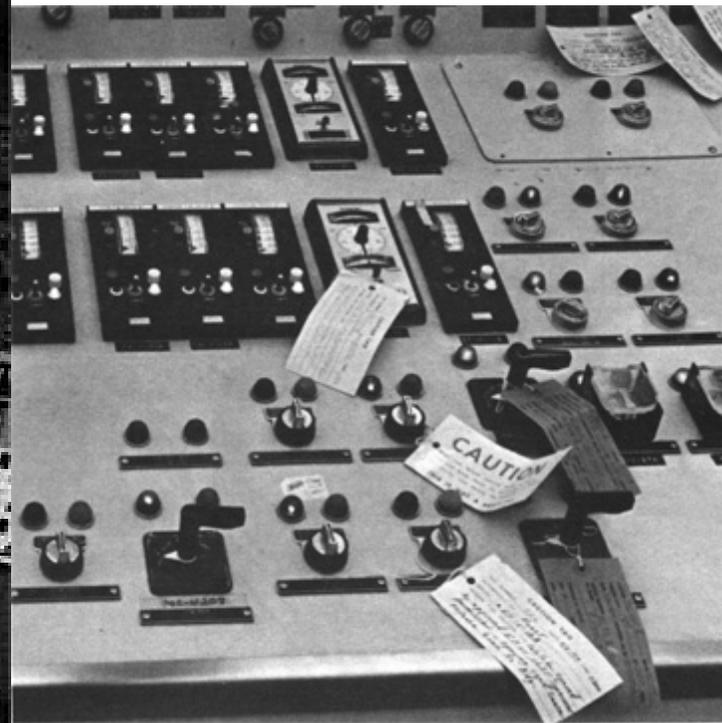
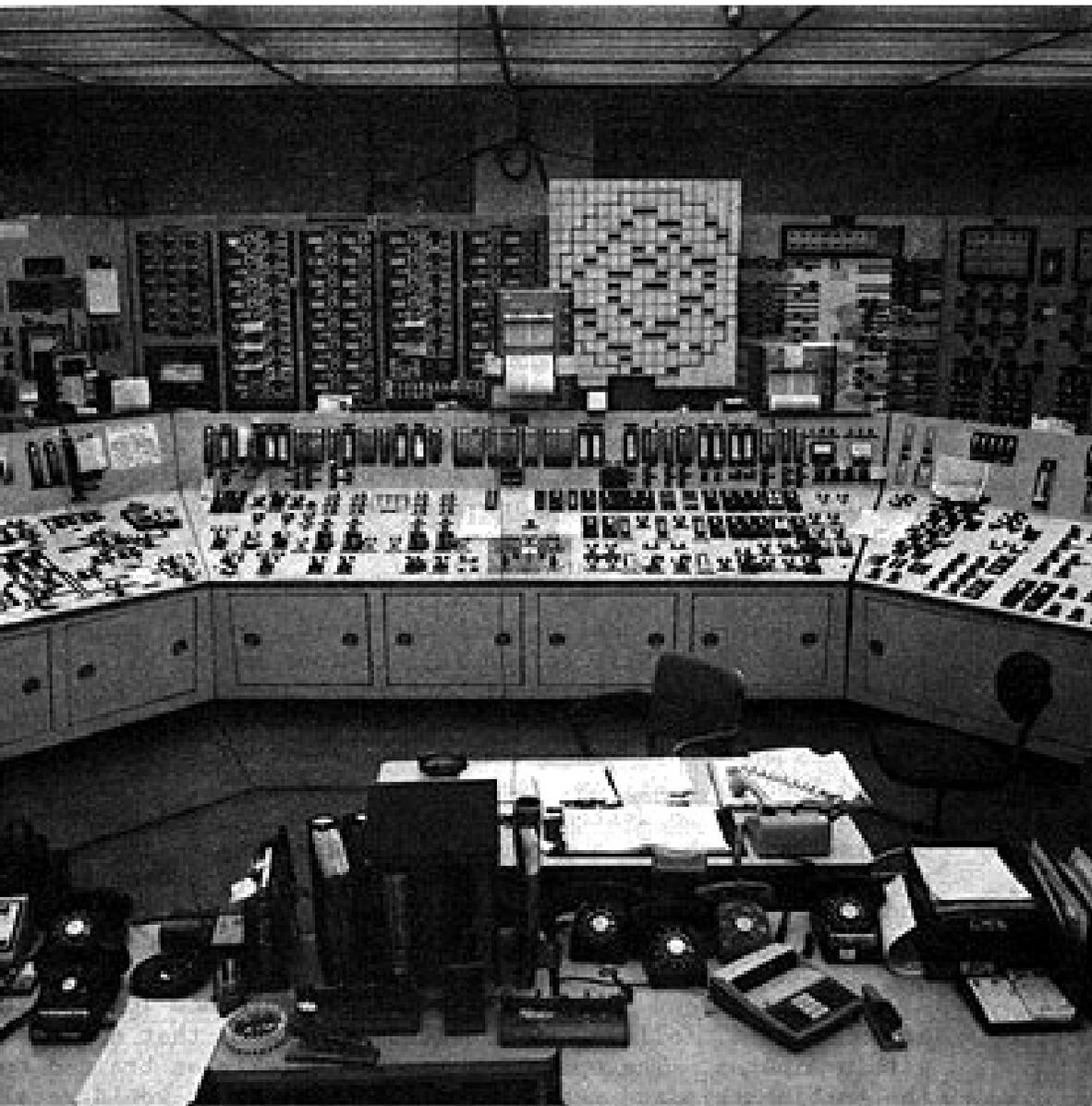
# Mercredi 28 Mars 1979, 04 heures

- ▶ Perte des 2 pompes alimentaires GV durant intervention en salle des machines
- ▶ Transitoire de pression primaire – ouverture vanne de décharge – chute des barres – refermeture vanne (\*) – **démarrage ASG raté** (vannes fermées) – assèchement GV
- ▶ Baisse de pression (vanne coincée) – déclenchement ISHP
- ▶ Peur de « perdre la bulle » : **arrêt ISHP** – ouverture ASG
- ▶ Rupture disques ballon d'expansion
- ▶ 1h30 peur de cavitation : **arrêt des pompes primaires** – découverte du cœur – **début de fusion**
- ▶ 3h20 **isolement pressu** (2 m d'eau dans l'enceinte) – **remise en route ISHP** – petit rejet vapeur – **remise en route des pompes**

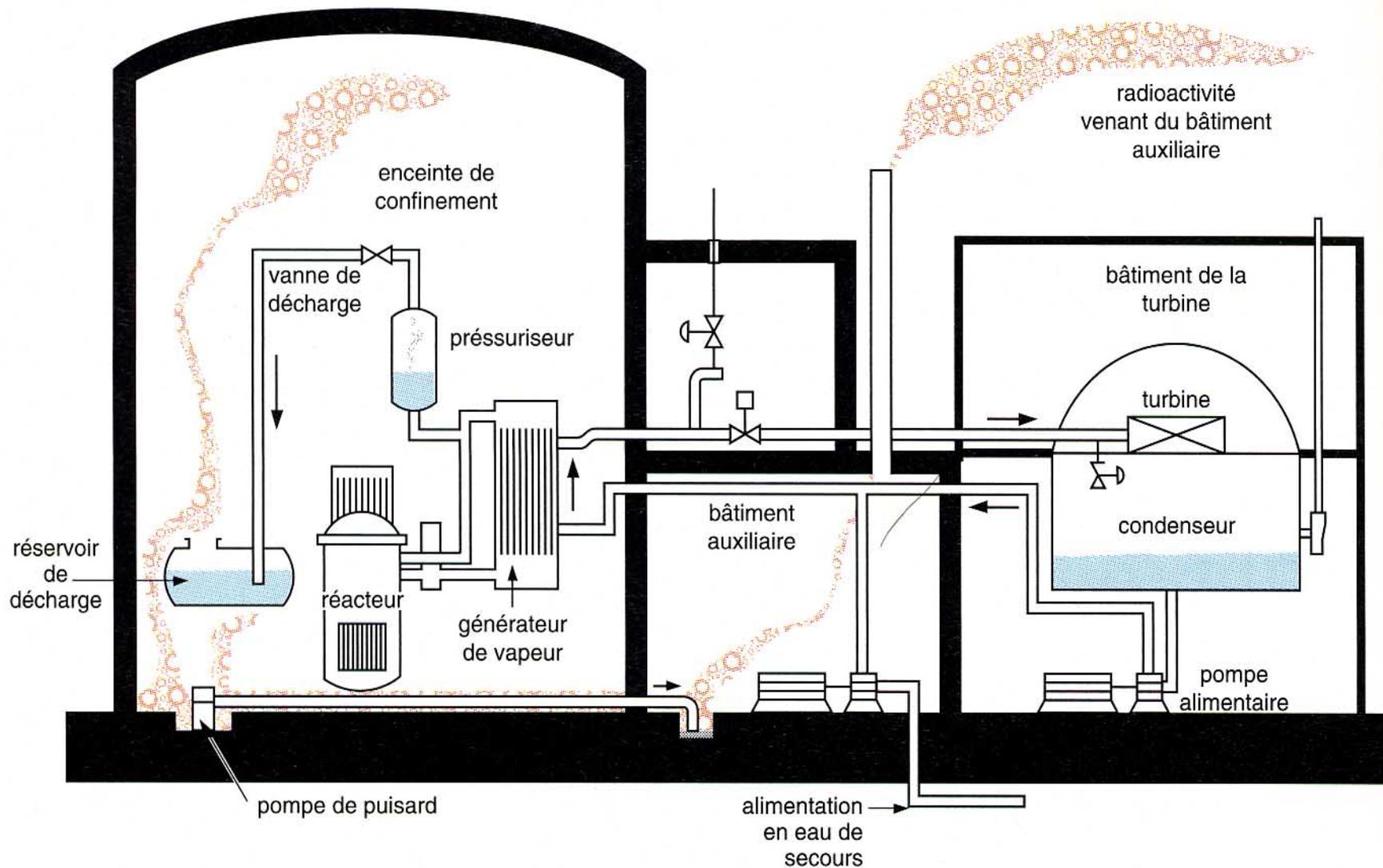
» faibles rejets (intégrité enceinte),  
» ni morts, ni blessés .

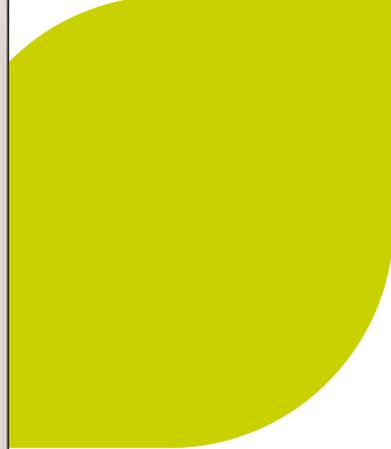
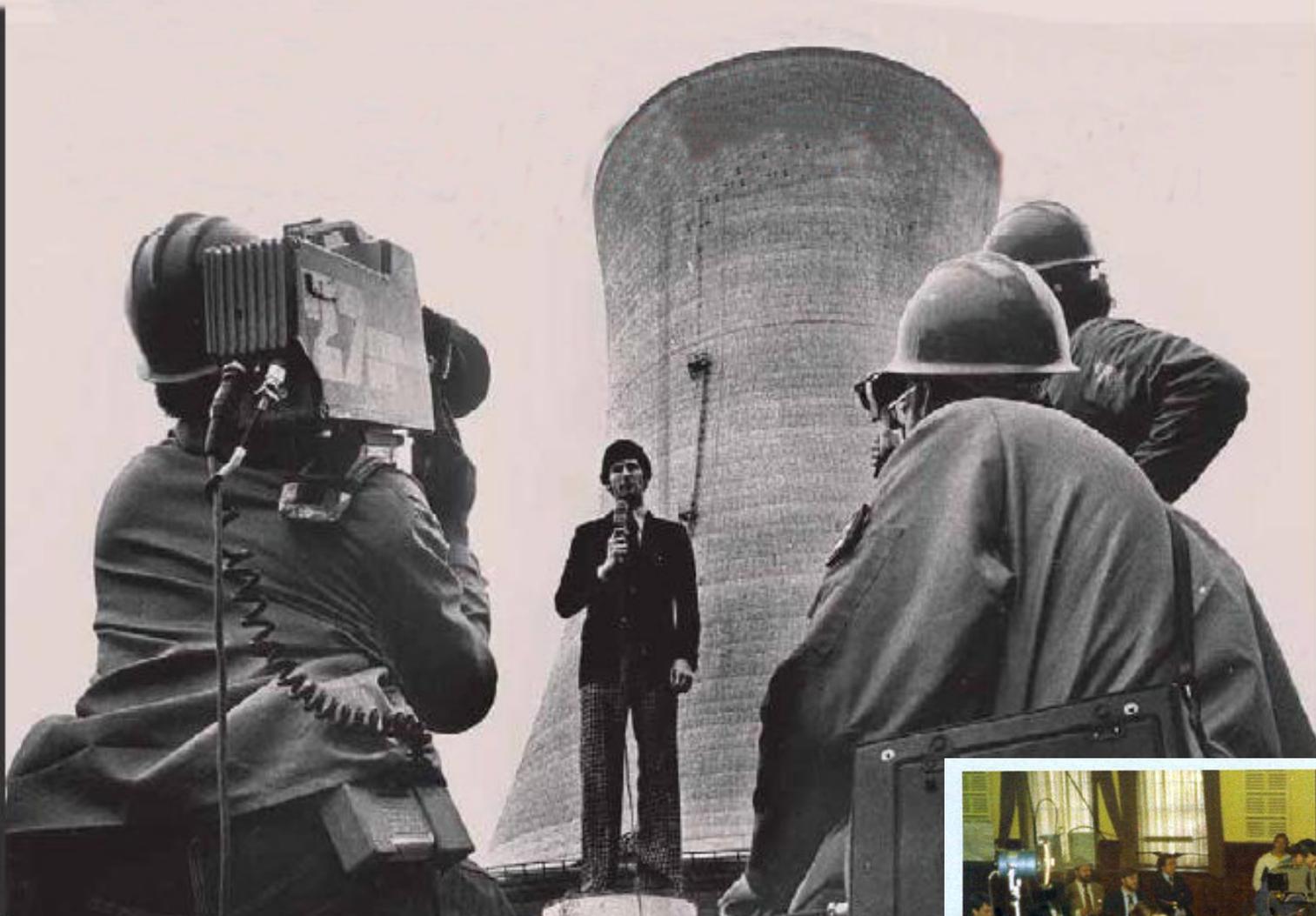


# La Salle de contrôle et les étiquettes

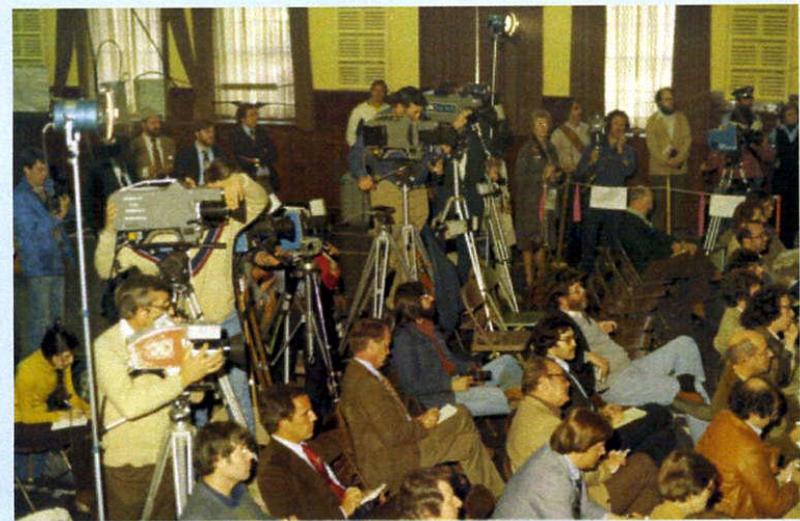


# Quelques relâchements de gaz rare et T



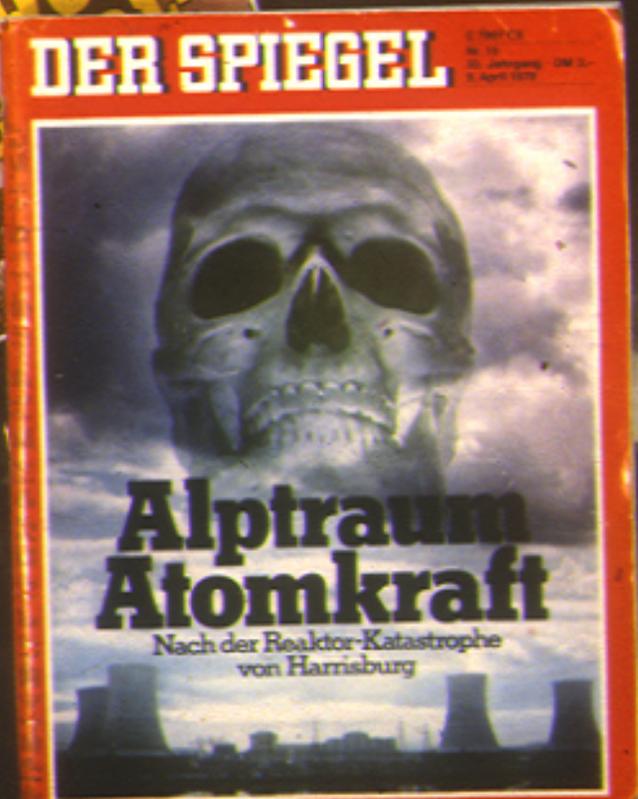


## Le choc médiatique





» Vidéo CBS

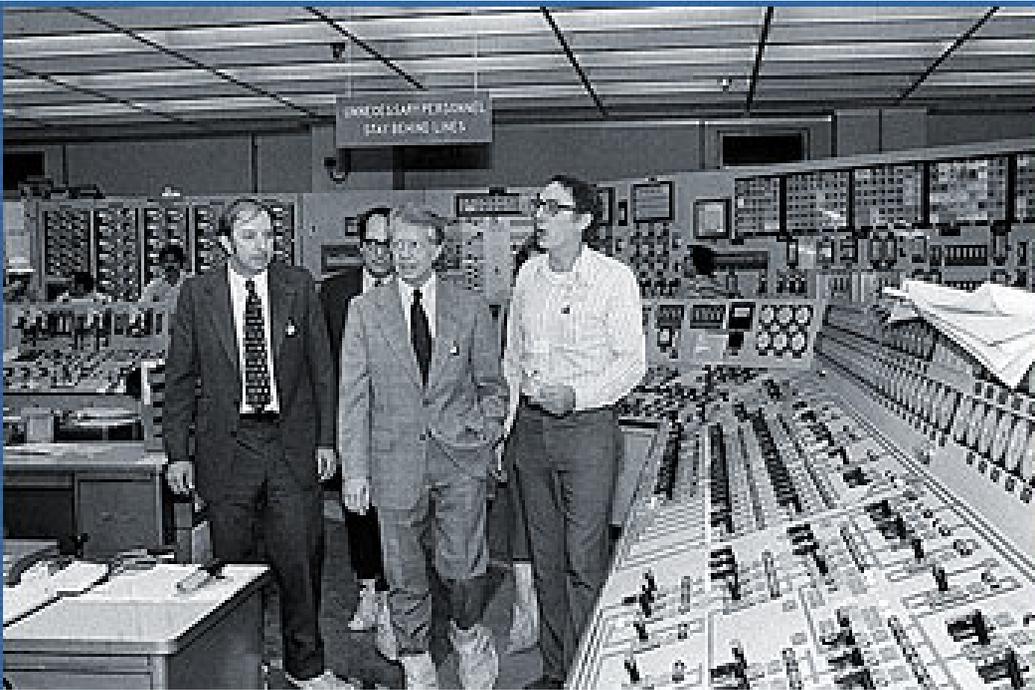


# Les réactions immédiates

- ▶ 28 Mars 07h00 Information NRC et Gouverneur Pa  
10h00 Alerte déclenchée. Equipes BNL mesurent  
Après-midi Equipes mobiles NRC sur place
- ▶ 29 Mars Après-midi Mesures atmosphériques par hélicos US Army
- ▶ 30 Mars Experts FDA sur place. Relâchement Xe. Gouverneur recommande évacuation femme enceintes et préscolaires dans un rayon de 5 miles. Crise médiatique. Embouteillages
- » 31 Mars Arrivée de pastilles d'iodeure (non distribuées)
- » 1er Avril La « bulle » se dégonfle. Visite de Jimmy Carter



# 1<sup>er</sup> Avril : Visite présidentielle



*President Jimmy Carter, Pennsylvania Governor Thornburgh, and the NRC's Harold Denton, then Director of the Office of Nuclear Reactor Regulation, in the TMI-2 control room, April 1, 1979.*

  
**AREVA**

JACK  
LEMMON

JANE  
FONDA

MICHAEL  
DOUGLAS

# THE CHINA SYNDROME



[www.thephoenixsun.com](http://www.thephoenixsun.com)



Kimberley Wells, journaliste à la télévision, filme au cours d'un documentaire un incident à la centrale nucléaire de Ventana. Son caméraman le montre à un ingénieur nucléaire qui confirme la réalité de l'accident et son caractère potentiellement dangereux

Sorti 15 jours avant l'accident de [Three Mile Island](#), ce film eut un écho considérable dans l'opinion et alimenta le mouvement contre l'énergie nucléaire aux USA.



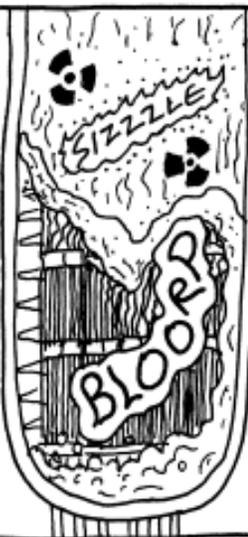
# GREAT MOMENTS IN NUCLEAR HISTORY

March 1979: A partial meltdown at Three Mile Island in Pennsylvania brings fear, evacuations, and a confused official response.



HALF of the reactor's fuel

MELTS



pouring 20 TONS of MOLTEN URANIUM and metal into the bottom of the reactor vessel.

What prevented it from burning through the steel and releasing even more massive radiation?



LUCK!



Corporations have relied on this inexpensive safety tactic from the creation of the nuclear industry through the present day.

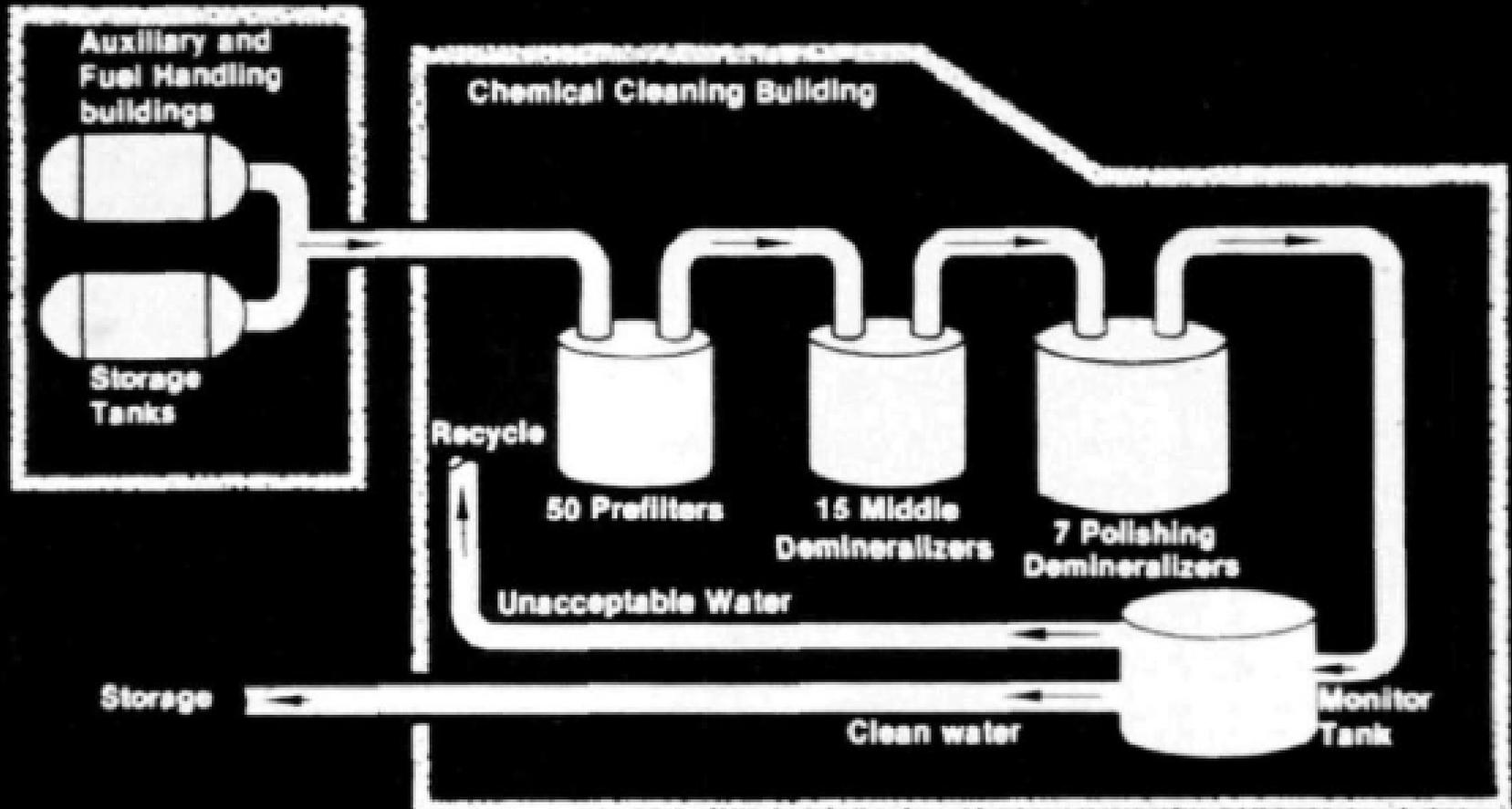


# Les opérations de nettoyage (1)

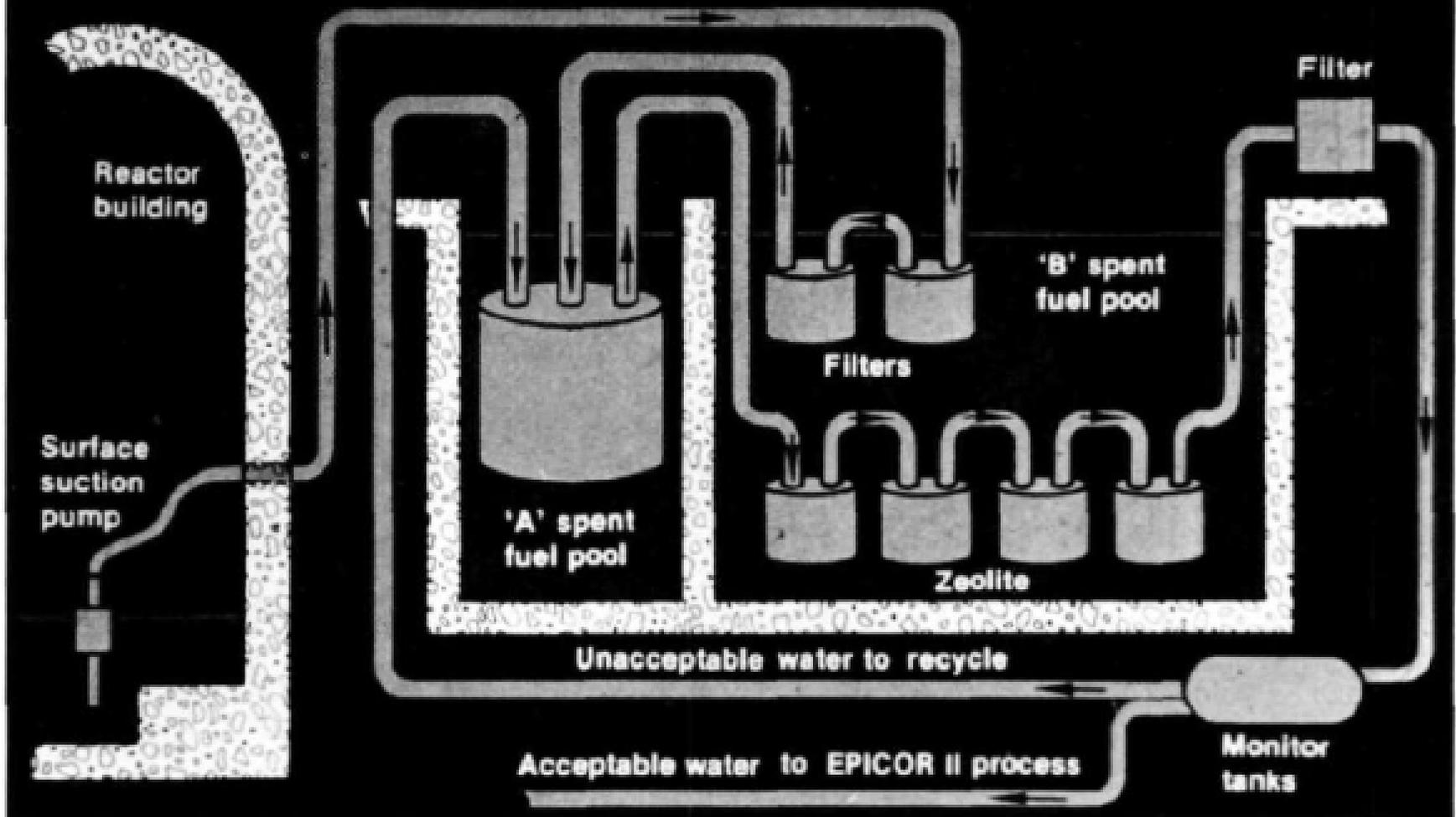
## Programme GPU, EPRI, DOE & NRC

- ▶ 1979 Décontamination EPICOR II de 21 400 m<sup>3</sup> d'eau BK et BAN. Première inspection dans le BR
- ▶ 1980 Relâchement contrôlé de 1 700 TBq (43 000 Ci) de Kr du BR. Entrée possible en combinaison étanche.
- ▶ 1981 Décontamination SDS de 23 000 m<sup>3</sup> d'eau du BR dans la piscine des CU (Cs, Sr), puis polissage EPICOR
- ▶ Mars 82 Grande décontamination (Hydrolaser, peintures pelables, raclage plancher) et pose d'écrans Pb aux points chauds (sas). Envoi des zéolites au DOE (Conteneurs, essais de vitrification)
- ▶ Mai 82 « Quick Look » : Vide de 9,5 m<sup>2</sup>, creux de 2 m
- ▶ Juillet 84 Ouverture de la Cuve

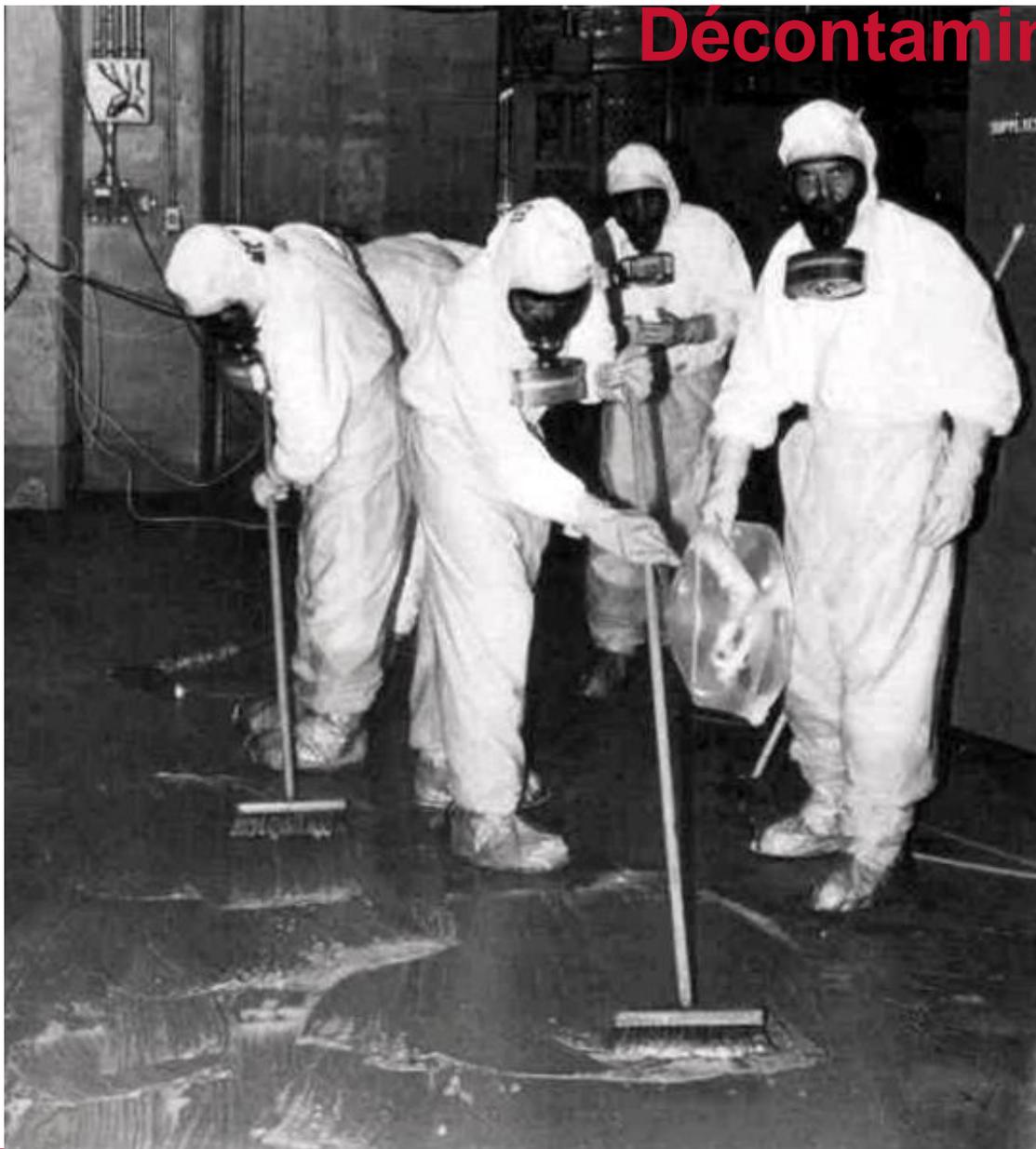
# Flow of Contaminated Water Through EPICOR II



# Flow of Contaminated Water Through SDS



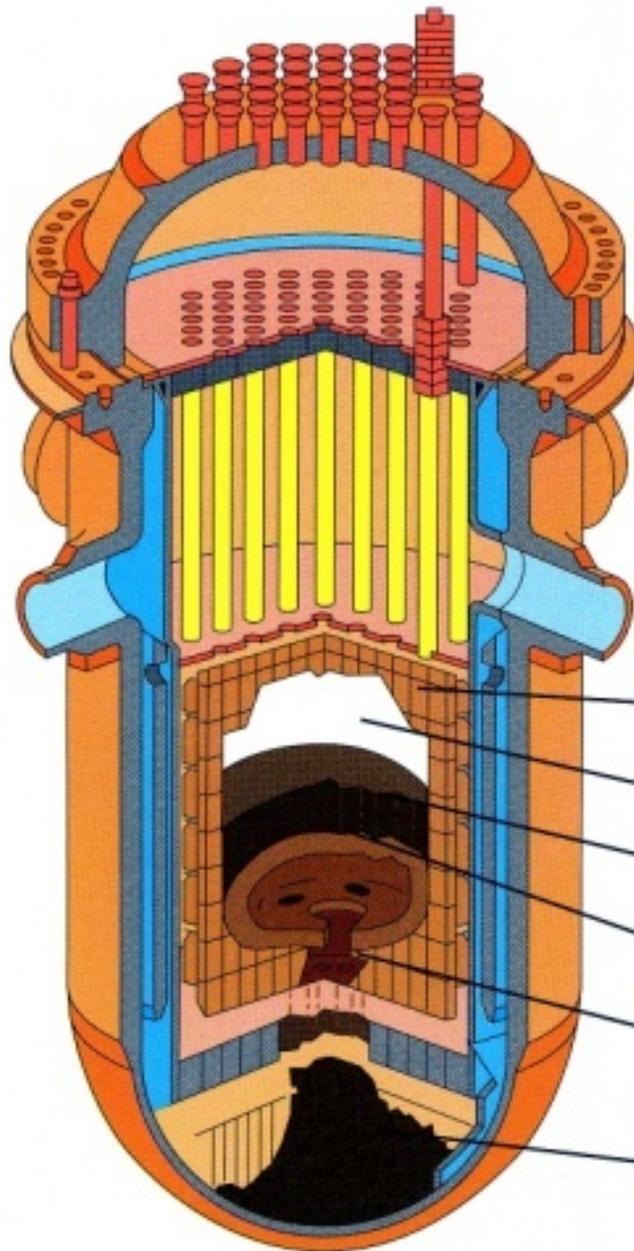
# Décontamination du BR



# Le « Quick Look », Mai 1982



# Les dégâts



**Extrémités de crayons oxydés**

**Vide**

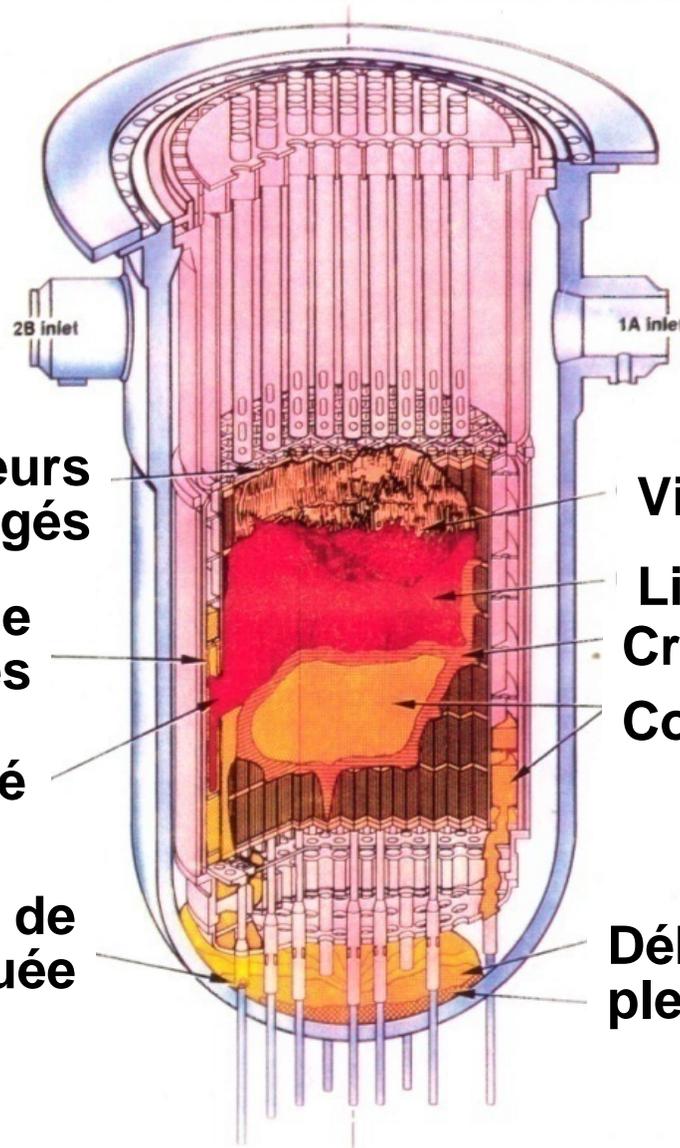
**Lit de débris**

**Croûte de « corium » solidifiée**

**Cœur fondu – structures endommagées**

**Lit de débris**

# Autre vue des dégâts



**Internes supérieurs endommagés**

**Vide**

**Coulures de corium solidifiées**

**Lit de débris  
Croûte**

**Baffle perforé**

**Corium solidifié**

**Pénétration de cuve attaquée**

**Débris dans le plenum inférieur**

TMI-2 Core End-State Configuration

The head of the damaged reactor vessel in TMI-2 was placed on its storage stand in the reactor building in July 1984. The vessel head is wrapped with lead blankets and encompassed by sand-filled columns for shielding.

# Steady progress at TMI-2

*Past milestones  
pave the way  
for recovery teams  
to retrieve the fuel*

by Cynthia J. Hess  
and Stephen W. Metzger



# Les opérations de nettoyage (2)

## Programme GPU, EPRI, DOE & NRC

- ▶ **Février 85 Exploration du fond de cuve : 20 t de débris et corium solidifié. Dose dans le BR : 3<sup>nd</sup> 0,5 mSv/h**
- ▶ **Octobre 85 Début de récupération du combustible**
- ▶ **Juillet 86 Evacuation des débris du cœur vers le DOE**
- ▶ **Janvier 86 Fin d'évacuation – Entreposage de longue durée à INEL**
- ▶ **Janvier 91 Evaporation des effluents liquides. Enquête publique avant MAD**
- ▶ **Août 93 Fin des traitements d'eau. MAD**
- ▶ **Depuis Décembre 1993, Surveillance à long terme.**



# Et TMI 1 ?



# Un jolie carrière...

- ▶ Rachetée par AMERGEN Energy C°
- ▶ En arrêt pour rechargement durant l'incident
- ▶ Autorisée à redémarrer seulement en Mai 1985
- ▶ 4 fois champion du plus long fonctionnement continu
- ▶ Facteur de charge 2006: 98,6%
- ▶ Extension à 60 ans demandée en 2008 à la NRC





# SUITES DONNEES A L'ACCIDENT DE TMI EN FRANCE

*Emmanuelle Olivier AREVA*

# Les Leçons de TMI

- ▶ **Facteur Humain (C'est le *couple réacteur+opérateur* qui doit être sûr)**
- ▶ **Instrumentation sans ambiguïté**
- ▶ **Ergonomie de la Salle de commande**
- ▶ **Échanges d'expérience (INPO, puis WANO)**
- ▶ **Utilisation de simulateurs – Sessions périodiques de requalification**
- ▶ **Composants (mesures de niveau, soupapes, ...)**
- ▶ **Procédures “ultimes”**

# ACTIONS PRINCIPALES

1. INTRODUCTION DE L'APPROCHE ACCIDENT GRAVE ET RENFORCEMENT DE L'ORGANISATION DE CRISE
2. MODIFICATION DE LA DECHARGE DU PRESSURISEUR
3. PRISE EN COMPTE DES SITUATIONS DE CUMULS DE DEFAILLANCES MATERIELLES ET HUMAINES
4. RENFORCEMENT DE L'UTILISATION DU RETOUR D'EXPERIENCE
5. RENFORCEMENT CONTINUE DE LA CONDUITE ET DE LA PRISE EN COMPTE DU FACTEUR HUMAIN
  - ◆ Ergonomie en salle de commande
  - ◆ Procédures et Instrumentation
  - ◆ Formation du personnel
  - ◆ Management de la sûreté – organisation et redondance humaine

# 1- APPROCHE ACCIDENT GRAVE - ORGANISATION DE CRISE

- ▶ **Développement de procédures de conduite spécifiques (dites ultimes) pour gérer les situations pouvant mener à un début de dégradation du cœur**
- ▶ **Renforcement du rôle de l'organisation de crise**
  - ◆ Support concepteurs, développement d'outils, exercices d'entraînement, formation, système de transmission d'informations temps réel
- ▶ **Programmes de R&D importants pour mieux appréhender la phénoménologie accidents graves (en France : Cathare, Bethsy, Phébus CSD, Phébus PF)**
- ▶ **Prise en compte des accidents graves à la conception pour l'EPR (systèmes dédiés accidents graves et instrumentation associée)**

## 2- MODIFICATION DECHARGE DU PRESSURISEUR

- ▶ **Programmes importants d'essais** sur boucles et sur sites pour vérifier l'opérabilité des soupapes en France (Claudia) et aux Etats-Unis
- ▶ **Analyse approfondie du REX** de fonctionnement de ces organes



- ▶ **Développement en France d'un système de protection contre les surpressions plus fiable et répondant à des exigences de Sûreté accrues:**

- ◆ **Fonctionnement en eau (pressuriseur plein)**
- ◆ **Qualification pour un fonctionnement en situation accidentelle**

**Ce système est installé sur toutes les tranches en exploitation en France**

### 3- PRISE EN COMPTE DES SITUATIONS DE CUMULS DE DEFAILLANCES MATERIELLES ET HUMAINES

- ▶ **Vulnérabilité de la conception initiale aux cumuls de défaillances matérielles et/ou humaines**
  - ◆ Importance du facteur humain
  - ◆ Limites de l'approche déterministe et développement des Etudes Probabilistes de Sûreté
- ▶ **Application des Etudes Probabilistes de Sûreté sur le parc en exploitation**
  - ◆ Implantation de dispositifs (matériels et procédures) permettant de couvrir des situations hors dimensionnement liées à des cumuls de défaillance de systèmes redondants
  - ◆ Amélioration des procédures de conduite
- ▶ **Sur l'EPR : l'utilisation des EPS en support à la conception permet une meilleure prise en compte des situations de cumuls**

## 4- UTILISATION DU RETOUR D'EXPERIENCE

- ▶ **Des critères de détection des événements qui s'appuient maintenant sur une expérience de plus de vingt ans**
  - ◆ événements significatifs et événements intéressant la sûreté
  - ◆ déclarés à l'ASN, dont les appuis font leur propre analyse
  
- ▶ **Une méthode d'analyse des événements éprouvée, incluant l'ensemble des composantes (matériel, organisation, humain)**
  - ◆ guide d'analyse des événements développé en 1992, formations à l'analyse sur la base du guide, amélioration de la prise en compte du FH dans l'analyse en 1999
  
- ▶ **Une hiérarchisation des événements prenant en compte les méthodes d'évaluations probabilistes**
  - ◆ évaluation du risque de fusion du cœur associé aux événements marquants pour détecter les événements précurseurs et assurer que les actions correctives correspondantes sont adaptées
  
- ▶ **Une organisation permettant à chaque site d'intégrer le REX externe**
  - ◆ collecte, tri des événements du parc français et des événements étrangers assurés au niveau national

# 5- RENFORCEMENT CONTINU DE LA CONDUITE ET DE LA PRISE EN COMPTE DU FACTEUR HUMAIN



1. Ergonomie en salle de commande
2. Procédures et Instrumentation
3. Formation du personnel
4. Management de la sûreté – organisation et redondance humaine

## 5.1- ERGONOMIE EN SALLE DE COMMANDE

# POST TMI: Meilleure présentation des informations

- Remplacement des indicateurs d'ordre par des indicateurs d'état
- Ajout de nouvelles information manquantes lors de l'accident (marge à l'ébullition, Niveau cuve)
- Alarmes hiérarchisées
- Création d'un panneau de sûreté permettant de regrouper les informations essentielles et de détecter le premier signal défaut



Photo 1 - Salle de commande 900 MW

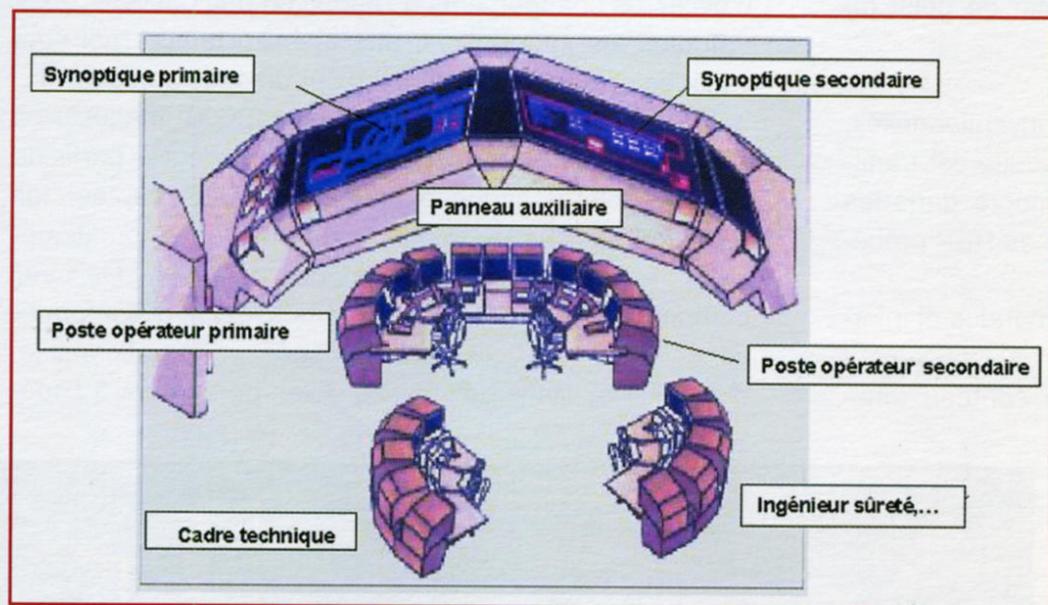


Photo 3 - Aménagement de la salle de commande N4

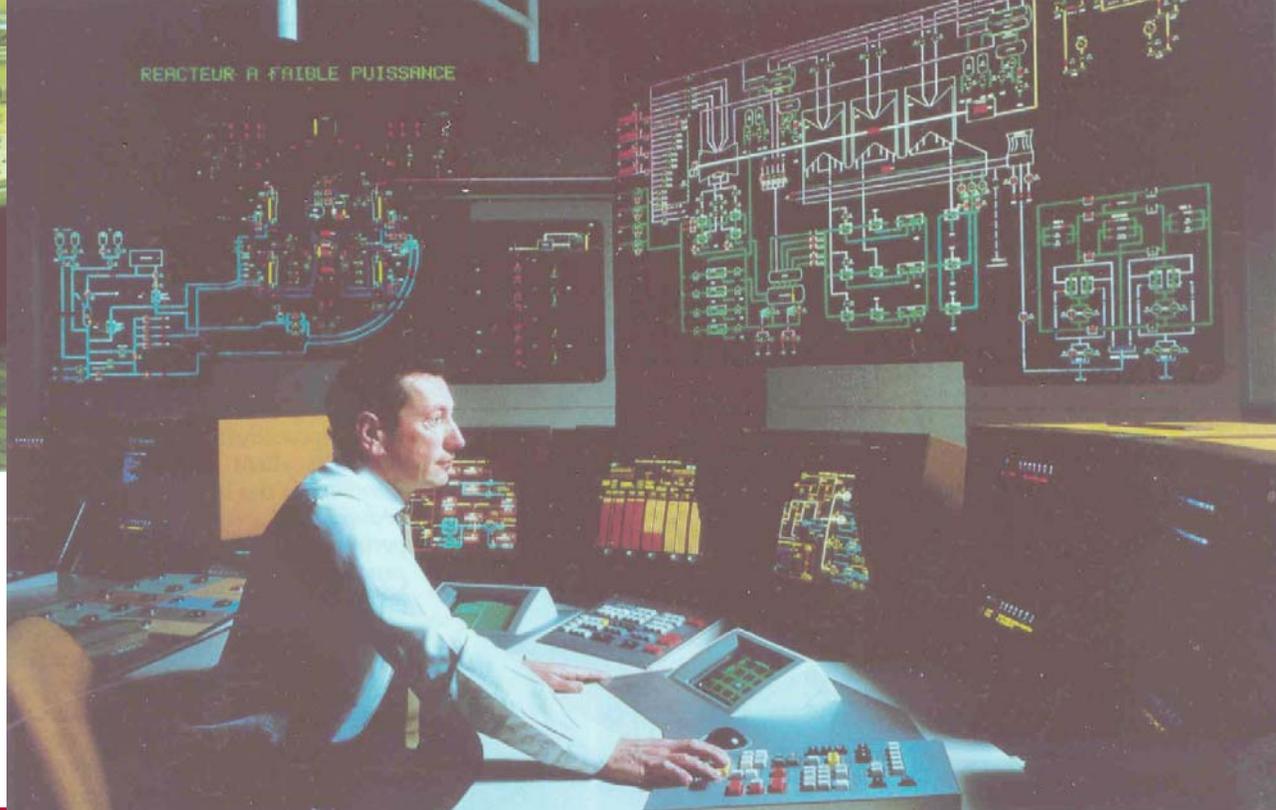
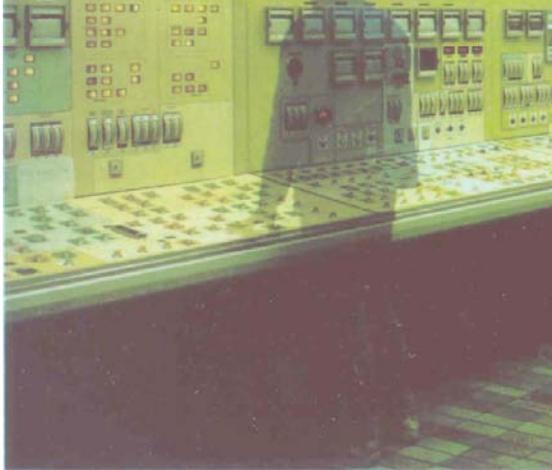
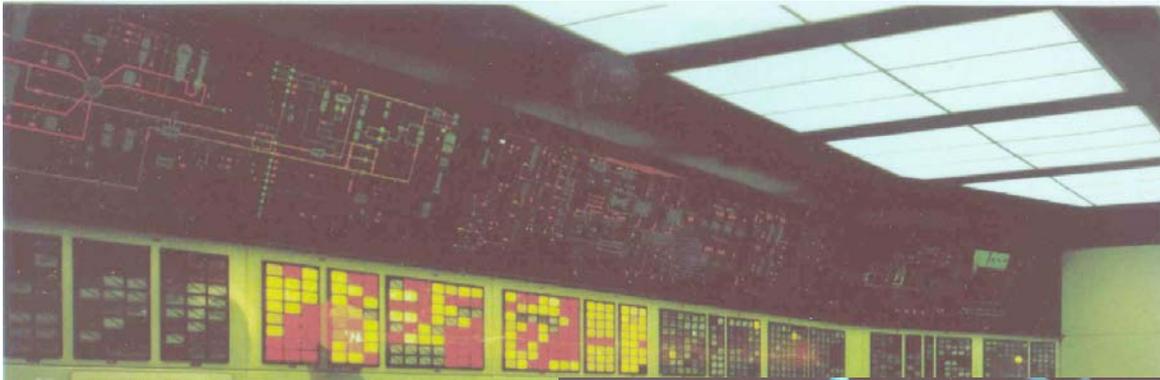


Photo 2 - Salle de commande 1300 MW



Photo 4 - Salle de commande N4

# Interface Homme - Machine



## 5.2- PROCEDURES ET INSTRUMENTATION



	TMI	Les parades
L'approche	<p><b>Événementielle</b></p>	<p><b>L'approche par états</b></p>
Les mesures	<p><b>Peu représentatives</b> <b>(Niveau pressuriseur)</b></p>	<p><b>Représentatives et fiables</b> <b>(Niveau Cuve, marge à l'ébullition)</b></p>

## 5.2- PRISE EN COMPTE DU FH DANS LES PROCEDURES

### » Se préparer à l'accident - comprendre les phénomènes

- Formation des agents à la conduite et aux phénomènes physiques
- Documents support – explication de la conduite des accidents
- Implication des utilisateurs dans l'élaboration et la mise à jour des procédures
- Test des procédures sur simulateur
- Observations comportement équipes en situation sur simulateur

### » Savoir gérer l'accident – agir pertinemment, éviter les erreurs

- Organisation - redondances: superviseur – IS – Organisation crise
- Ergonomie des procédures – adapté à l'organisation/répartition des activités – communication des équipes
- Mise en œuvre des Pratiques de fiabilisation des interventions

### » Tirer les enseignements: REX d'Application des procédures

- Analyse des situations et en tirer les enseignements ( réelles, formation sur simulateur,...)
- Veiller à l'efficacité globale des procédures dans les évolutions: Conserver ce qui fonctionne, Corriger les écarts, Se réinterroger sur les hypothèses

## 5.3- FORMATION DU PERSONNEL

### ▶ Comprendre les phénomènes physiques

- ◆ Formation en salle et continue
- ◆ Démonstration notamment sur des simulateurs ( SIPA....), maquettes,
- ◆ Transfert des connaissances élaboré par les concepteurs et les formateurs

### ▶ Pratiquer : recyclage annuel

- ◎ Un simulateur pleine échelle sur chaque site, représentatif des conditions de fonctionnement
- ◎ Etablissement d'un programme quadriennal
- ◎ Prise en compte du Retour d'Expérience Parc et local dans les programmes

### ▶ Travailler en équipe

- ◆ Les Mises en situation

### ▶ Évaluation des compétences

- ◆ acquis de formation,
- ◆ en situation sur simulateur

## 5.4- MANAGEMENT DE LA SURETE

- ▶ **La redondance humaine en situation perturbée**
  - ◆ l'IS (ingénieur sûreté) assure une surveillance indépendante en situation d'incident ou d'accident
- ▶ **Le contrôle des activités**
  - ◆ Contrôle des activités IPS selon l'article 8 de l'arrêté Qualité de 1984
- ▶ **La requalification des matériels**
  - ◆ Les principes de la requalification des matériels après intervention et l'organisation de ces activités sont définis
- ▶ **Les condamnations administratives des organes importants pour la sûreté et dont la position n'est pas retransmise en salle de commande**
  - ◆ Une organisation rigoureuse a été mise en place pour gérer la condamnation des matériels.

## 5.4- MANAGEMENT DE LA SURETE –fonctionnement normal

### ▶ Le renforcement des équipes de conduite

- ◆ le Chef d'Exploitation, aux compétences renforcées, responsable de la sûreté en temps réel

### ▶ Des IS en position de vérification, au titre de l'article 9 de l'arrêté Qualité, en fonctionnement normal

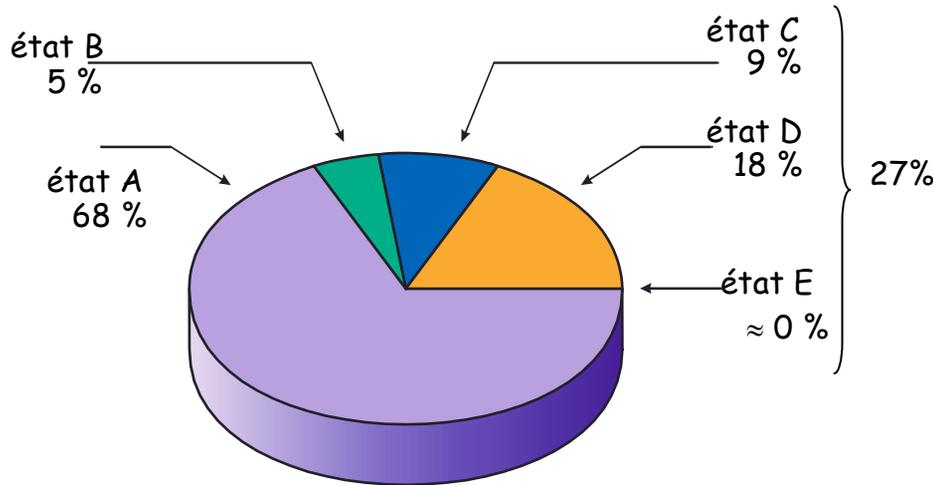
- ◆ Une confrontation quotidienne entre le CE et l'IS est réalisée systématiquement sur l'état de sûreté de l'installation

### ▶ Une déclinaison complète de la vérification sûreté : la Filière Indépendante de Sûreté

- ◆ Une filière indépendante à tous les niveaux de l'entreprise : terrain (IS), Direction de l'unité (Chef MSQ), Direction DPN (DD Sûreté), Direction de l'entreprise (IGSN)

# Les EPS : principaux résultats

- Probabilité globale « fusion du cœur » :  $\approx 10^{-5}$  /réacteur.an (\*)
- risque global jugé acceptable (dans la fourchette des résultats étrangers),
- poids important des états d'arrêt (risque horaire x 10 fois / état A !):



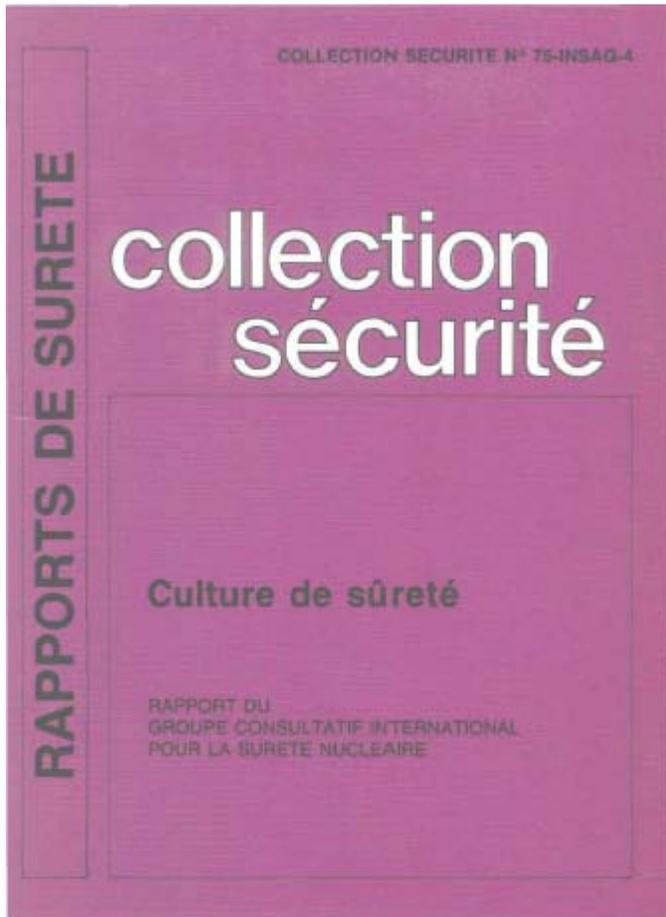
- état A : de l'arrêt à chaud à la pleine puissance,
- état B : entre permissifs\* et conditions RRA
- état C : arrêt sur RRA, primaire fermé
- état D : arrêt sur RRA, primaire ouvert
- état E : cœur déchargé

\* < permissifs, RIS rendu inopérant.

- importance du facteur humain (70%, avec  $\geq 1$  erreur humaine).
- matériel : contribution dominante des défaillances de mode commun (ex. perte des systèmes supports : alimentations électriques, air comprimé, ventilation,...)

(\*) hors agressions.

# Qu'est-ce que la culture de sûreté?



La culture de sûreté est “ l’ensemble des **caractéristiques** et des **attitudes** qui, dans l’**organisation** et chez les **individus de cette organisation**, font que les questions relatives à la **sûreté** bénéficient **prioritairement** de toute **l’attention** qu’elles méritent ”  
(IAEA Safety Series 75-INSAG-4)



