EDF PÔLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

EDF Electricité de France

EDF/SEPTEN

DEPART *01D02211*

15. 03. 2001

Diffusé le : Voir code barres ci-dessus

Réf. : E-N-T-TH/99-00370B

Département : **THEORIE**

Rédacteur : **O. WEBER**

Nbre de pages : 18

Domaine d'application : **Tous REP**

Nbre d'annexes : 1

Titre : « **Démarche Sûreté à la Conception** » - **Thème 16** « **Accidents Graves** »

E	N	T	TH	/	99	00370	B

Référence

Code Projet → N0003/N

Type de document : **Note**

Mots clés : Accidents Graves, Terme Source

Résumé : Cette note vise à synthétiser et tracer l'intervention SEPTEN/TH effectuée au titre du Thème 16 « Accidents Graves » dans le cadre du stage « DEMARCHE DE SURETE A LA CONCEPTION » au Centre de Formation de la Pérollière. Après quelques définitions et rappels introductifs sur la terminologie en vigueur dans le domaine des Accidents Graves, l'exposé passe en revue chacun des phénomènes physiques susceptibles de se produire en AG. L'étude de cas retenu porte sur l'élaboration pour le site de CRUAS de la procédure U4.

Annule et remplace la note E-N-T-TH/99-00370A

Diffusion : Par bordereau.

Rédacteur		Vérificateur		Approbateur	
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa
O. WEBER 09/03/2001		**A. DUMONTET** 09.03 2001		**M. LAMBERT** 13-03-01	

Evolutions des trois derniers indices

Indice	Date d'approbation	Motif du changement d'indice	Modifications apportées
A	02/03/99	Création de la note	

Dossier : NON

Prédiffusion effectuée : NON

Elaboré sous AQ : OUI

Archivé au FDE : NON

Archivé au FDU : OUI

Copyright EDF 2001

- ☐ Confidentiel : L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur.
- ☒ Dif. Restreinte : L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Chacun d'eux peut étendre la diffusion sous sa responsabilité au sein de la D.I.S. (sur la base d'une liste explicite).
- ☐ Accès E.D.F : Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un chef de service.
- ☐ Accès libre : Document public.

Inventaire protection	Sous famille : Dossiers formation	Sensibilité (S) : 1

12-14, AVENUE DUTRIÉVOZ - 69628 VILLEURBANNE CEDEX - FRANCE - TÉL. : 04 72 82 77 77 - FAX : 04 72 82 70 00

ENTREPRISE CERTIFIÉE ISO 9001 PAR L'AFAQ (certificat N°QUAL/1999/11.616) - EDF - RCS PARIS B 552 081 317

SYNTHESE

Cette note vise à synthétiser et tracer l'intervention SEPTEN/TH effectuée au titre du thème 16 "Accidents Graves" dans le cadre du stage "DEMARCHE DE SURETE A LA CONCEPTION" et assuré par le SEPTEN au Centre de Formation de la Pérollière.

Ce document constitue une réponse à la demande du Département SEPTEN/SN d'élaboration par chaque intervenant d'un document de synthèse auto-portant sur chacun des thèmes qui font l'objet d'exposés lors des différentes sessions de ce stage (code Y9303).

Après quelques définitions et rappels introductifs sur la terminologie en vigueur dans le domaine des Accidents Graves (dénommé **AG** dans la suite du document), l'exposé passe en revue chacun des phénomènes physiques susceptibles de se produire en AG.

Ensuite, un état des lieux est fait sur :

- Les contextes réglementaires en vigueur en France et aux USA, illustrant les différences d'approche vis-à-vis de la gestion des AG,
- Les améliorations et dossiers en cours , notamment avec l'Autorité de Sûreté.
- Les tendances pour les REP futurs.

Enfin, à titre d'illustration de la démarche qui a sous-tendu l'intégration de la problématique AG sur le parc nucléaire existant, il est examiné, à travers une étude de cas, l'historique des réflexions/questions et les études effectuées au titre de l'élaboration de la procédure U4 spécifique à CRUAS.

La révision B intègre une nouvelle version des transparents présentés lors de la session ainsi que des évolutions liées aux avancées du dossier Accidents Graves

SOMMAIRE

0. Références 4

1. Introduction 5

2. Données d'entrée 5

3. Données de sortie 5

4. Conditions d'utilisation 6

5. Présentation générale des Accidents Graves 6

5.1 Définitions 6

5.2 Déroulement général 7

5.2.1 Vidange du circuit primaire 7

5.2.2 Dénoyage et dégradation initiale du coeur 8

5.2.3 Dégradation avancée du coeur 9

5.2.4 Percée de la cuve et phénomènes physiques ultérieurs 9

5.2.5 Perte d'intégrité de l'enceinte 10

5.3 Rejets radioactifs associés aux accidents graves 12

5.3.1 Source de radioactivité 12

5.3.2 Comportement des PF 12

5.3.3 Termes sources de référence (S1, S2, S3) 14

ANNEXE – Copies des transparents

0. Références

[1] Courrier SEPTEN/SN " Compte-rendu de synthèse du stage Y9303 - DEMARCHE SÛRETE A LA CONCEPTION" (ref. SN/98-1693 EM/CA- 25/11/98).

[2] Reactor Safety Study - An assessment of accident in US commercial nuclear power plants (ref. WASH-1400 - NUREG/75-014 Oct. 75).

[3] "Journée de formation sur les Accidents Graves des REP" note technique (ref.IPSN/SASC/86/513 - Avril 86).

[4] Note technique IPSN/SAC/88/633 « Révision du terme source S3 »

[5] Compte-rendu de la Revue technique Accidents Graves du 20/01/93 note EDF (ref. E-C-E- EM/93-007A - 10 Mai 93).

[6] "Examen des risques associés aux Accidents Graves dans les REP en exploitation" rapport IPSN/DES N°180 présenté devant le Groupe Permanent Réacteur du 23 Juin et 7 Juillet 94.

[7] "Efficacité des soupapes SEBIM pour la décompression de la chaudière en Accident Grave " (ref. E-N-T-TH/93.001A - Juin 93).

[8] "Tranches de CRUAS 1 à 4 - Etude des conséquences radiologiques en cas de percement du radier" (ref. : E-N-T-TH/91-082A - 12/07/91).

[9] "Fiches de réponse à la lettre DSIN 876-92" courrier EDF(réf. : SN93.564 - 10/06/93).

[10] "Examen des risques associés aux Accidents Graves dans les REP en exploitation" rapport IPSN/DES N°270 présenté devant le Groupe Permanent Réacteur du 30 mai et 4 Juillet 96.

[11] "Examen des risques associés aux Accidents Graves dans les REP en exploitation" rapport IPSN/DES N°391 présenté devant le Groupe Permanent Réacteur du 16 décembre 1999, 20 janvier et 27 avril 2000

[12] NUREG 1465 « Accident Source Teme for light-water nuclear power plants » (1995)

[13] Guide d'Intervention en cas d'Accident Grave CP 900 et 1300 version 2 (ref : E-N-T-TH/88.95B du 09/01/92)

1. Introduction

Cette note vise à synthétiser et tracer l'intervention SEPTEN/TH effectuée au titre du thème 16 "Accidents Graves" dans le cadre du stage "DEMARCHE DE SURETE A LA CONCEPTION" assuré par le SEPTEN au centre de Formation de la Pérollière.

Ce document constitue une réponse à la demande du Département SEPTEN/SN (ref.[1]) d'élaboration par chaque intervenant d'un document de synthèse auto-portant sur chacun des thèmes qui font l'objet d'exposés lors des différentes sessions de ce stage (code Y9303).

Après quelques définitions et rappels introductifs sur la terminologie en vigueur dans le domaine des Accidents Graves (dénommé **AG** dans la suite du document), l'exposé passe en revue chacun des principaux phénomènes physiques susceptibles d'intervenir en AG.

Ensuite, un état des lieux est fait sur :

- Les contextes réglementaires en vigueur en France et aux USA, illustrant les différences d'approche vis-à-vis de la gestion des AG.
- Les améliorations et dossiers en cours , notamment avec l'Autorité de Sûreté.
- Les tendances pour les REP futurs.

Enfin, à titre d'illustration de la démarche qui a sous-tendu l'intégration de la problématique AG sur le parc nucléaire existant, il est examiné, à travers une étude de cas, l'historique des réflexions/questions et les études effectuées au titre de l'élaboration de la procédure U4 spécifique au site de CRUAS.

2. Données d'entrée

Les données d'entrée de cette note se réfèrent à plusieurs documents généraux, ainsi qu'à des notes d'études spécifiques sur chacun des thèmes abordés.

Nous ne citerons ici que celles à vocation informative ou pédagogique qui ont constitué la base principale à l'élaboration de cet exposé. Elles sont rappelées dans le chapitre **Références** ci-dessus.

3. Données de sortie

Les données de sortie sont :

- le texte de présentation générale sur les Accidents Graves(§ 5), essentiellement consacré à la phénoménologie caractéristique d'un transitoire d'Accident Grave et des rejets associés ; les autres aspects relatifs à la problématique « Accident Grave » traités au cours de l'exposé tels le Contexte Réglementaire, les améliorations apportées à l'installation, les dossiers en cours et l'étude de cas U4 Cruas sont abordés directement dans les transparents en annexe,
- les copie des transparents présentés lors du Thème 16 "Accidents Graves" des sessions de formation du stage « **Démarche Sûreté à la Conception** » (Annexe).

4. Conditions d'utilisation

Cette note technique ne vise qu'à être un support écrit de l'exposé assuré par SEPTEN/TH lors du stage à la Pérollière et sa finalité est donc essentiellement pédagogique.

A contrario, ce document ne constitue pas un bilan exhaustif, détaillé et à jour des connaissances dans le domaine des Accidents Graves : compte tenu de la durée de l'intervention (2 h) pour un thème aussi vaste et complexe qui reste l'objet d'un programme de R & D important, un tel bilan paraît difficile.

En conséquence, aucune utilisation, a fortiori interprétation, du présent contenu ne peut ni ne doit être faite à des fins de défense de dossiers auprès de l'Autorité de Sûreté, d'établissement d'argumentaires techniques sur les sujets évoqués, ou d'information des Pouvoirs Publics.

5. Présentation générale des Accidents Graves

5.1 Définitions

- **ACCIDENT GRAVE (ref.[3]) :**

" Un accident grave est un accident qui dépasse suffisamment les limites du dimensionnement pour entraîner la défaillance de structures, de matériels, de systèmes , etc ... sans lesquels le refroidissement du coeur ne peut plus être assuré correctement par les moyens normaux. Le degré de gravité de l'accident dépend du degré d'endommagement du combustible et du degré de perte du confinement".

Cette définition a été donnée par un groupe international d'experts réunis sous l'égide de l'OCDE. Il convient de noter que le **caractère de gravité** ne dépend pas seulement de l'**état interne final de l'installation**, mais aussi de **l'ampleur des conséquences radiologiques dans l'environnement**.

Sur l'échelle INES (**I**nternational **N**uclear **E**vent **S**cale) qui mesure la gravité d'un incident nucléaire et compte 7 niveaux, le terme Accident Grave correspond au niveau 6.

Sur cette échelle INES, Tchernobyl se situe au niveau maximum alors que TMI, seul accident dans la filière des REP occidentaux ayant conduit à une fusion (partielle) du coeur, se trouve classé au niveau 5 ("*accident entraînant un risque hors du site*").

Le langage usuel conduit à réserver le terme "accident grave" aux situations accidentelles qui présenteraient un début de fusion du coeur, diagnostic établi à partir de la température sortie coeur (viaTricMax) ou Débit De Dose enceinte.

- **TERME SOURCE**

Le terme source correspond à la quantité de produits radioactifs présents dans l'enceinte susceptibles d'être relâchés dans l'environnement lors d'une situation accidentelle.

- **CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES**

Il s'agit de l'impact des produits de fission dans l'environnement tenant compte notamment des différents modes d'exposition (irradiation, inhalation, ingestion, dépôt) et des conditions météorologiques.

- **CORIUM**

Il s'agit d'un ensemble de matériaux fondus ou fragmentés constitué de tout ou partie du cœur, des internes de cuve et du fond de cuve (si sa percée ne peut être évitée).

5.2 Déroulement général

Un accident grave (hors accident de réactivité) est essentiellement caractérisé par un dénoyage prolongé du coeur, entraînant sa dégradation et, en particulier, le relâchement vers l'enceinte de confinement d'une quantité importante de produits de fission. Si l'étanchéité de l'enceinte ne peut être assurée, une partie de ces produits de fission peut être relâchée dans l'environnement et entraîner des conséquences radiologiques pour la population. Cette perte du confinement est inévitable à long terme si l'accident ne peut être maîtrisé, c'est-à-dire si la rupture de la cuve ne peut être évitée (en admettant que l'ICB ne peut être stoppée).

Lorsque la dégradation du coeur s'est produite, il est essentiel de maintenir aussi longtemps que possible l'étanchéité du confinement. C'est le rôle de certaines procédures U (cf §5.3.3).

Les différentes phases du déroulement d'un accident grave sont résumés sur la figure 1.

A la suite d'initiateurs (brèches, défaillances matérielles, etc..) cumulés à des défaillances de systèmes de sauvegarde, on peut distinguer quatre phases principales dans l'évolution de l'accident, si celui-ci ne peut être maîtrisé:

- 1ère phase: vidange du circuit primaire,
- 2ème phase : dénoyage et dégradation initiale du coeur,
- 3ème phase : dégradation avancée du coeur,
- 4ème phase: rupture de la cuve et phénomènes ultérieurs (érosion du radier par le corium, DCH)

Au cours de ces différentes phases, sont relâchées vers l'enceinte, d'une part, une quantité importante de gaz (dont certains combustibles) qui peuvent provoquer la perte d'intégrité du confinement et, d'autre part, une quantité importante de produits de fission, transitant en partie par le circuit primaire. De ces deux éléments vont résulter l'existence et l'ampleur du rejet de produits radioactifs vers l'environnement.

5.2.1 Vidange du circuit primaire

Deux types de situations peuvent être distinguées:

- les brèches primaires[1], caractérisées par le dénoyage du coeur sous basse pression (quelques bars à quelques dizaines de bars),
- les défaillances de refroidissement par le secondaire, amenant la vidange par les soupapes du pressuriseur et conduisant au dénoyage du coeur sous haute pression[2].

Suivant l'état initial et la séquence accidentelle, la durée de cette phase peut aller de quelques minutes à quelques heures.

---

[1] Au sens large, incluant les situations soupape bloquée ouverte par exemple.

[2] Si la procédure H2 ne peut être mise en oeuvre.

5.2.2 Dénoyage et dégradation initiale du coeur

Au fur et à mesure que le niveau d'eau dans le coeur s'abaisse, la partie dénoyée s'échauffe sous l'effet de la puissance résiduelle, ce qui va provoquer l'apparition successive d'un certain nombre de phénomènes physiques amenant la dégradation du coeur.

SITUATIONS A BASSE PRESSION

5.2.2.1 Gonflement et rupture des gaines

Sous le double effet de la différence de pression entre le jeu combustible - gaine et la cuve, et de leur température, les gaines se déforment vers 700-900°C environ. Il se forme un ballonnement (déformation plastique irréversible) qui entraîne la rupture de la gaine.

La rupture des gaines entraîne le relâchement dans le circuit primaire des produits de fission (gaz rares et iode en particulier) accumulés dans le jeu combustible-gaine au cours du fonctionnement du réacteur.

5.2.2.2 Oxydation des gaines par la vapeur d'eau

Lorsque les gaines atteignent une température élevée, le zirconium s'oxyde rapidement au contact de la vapeur d'eau pour former une couche de plus en plus épaisse de zircone (ZrO_2). La cinétique de cette réaction augmente très fortement à partir de 1200°C.

Ce phénomène physique a trois conséquences très importantes :

- la réaction est très exothermique et, lorsqu'elle s'emballe, libère localement une puissance très supérieure à la puissance résiduelle; elle va donc entraîner rapidement les phases successives de la dégradation du cœur,
- elle libère une grande quantité d'hydrogène vers le circuit primaire, puis vers l'enceinte; ceci entraîne un risque de combustion dans l'enceinte,
- les gaines sont fragilisées (perte de résistance mécanique) : le choc thermique lié à un éventuel renoyage peut provoquer leur destruction.

5.2.2.3 Relâchement des produits de fission par le combustible

Lorsque la température des pastilles de combustible atteint environ 1300-1800°C, des produits de fission de volatilité croissante vont être relâchés[3]. Sont tout d'abord émis les gaz rares ainsi que l'iode, le césium, le tellure. D'autres corps, tels que le baryum ou le strontium sortent ensuite.

Si la dégradation du coeur ne peut être maîtrisée (renoyage par injection d'eau dans le circuit primaire), la quasi-totalité des PF volatils (gaz rares, iode, césium, tellure) vont être émis par le coeur au cours de cette phase.

5.2.2.4 Dégradation des barres de contrôle

Sous l'effet de la température, les constituants des barres de contrôle (Ag, In, Cd et le B_4C pour les REP 1300 et 1450) se vaporisent, entraînant la rupture de la gaine (vers 1300-1500°C) et le relâchement de ces constituants dans le circuit primaire.

---

[3] Tout d'abord, les produits accumulés dans les joints de grains, puis dans la matrice combustible elle-même.

5.2.2.5 Fusion du Zirconium et formation d'eutectiques

Vers 1800°C, la partie non oxydée des gaines va fondre et se mettre à couler. Si ce zirconium liquide entre en contact avec l'oxyde d'uranium, il va se produire des réactions eutectiques, qui vont provoquer la détérioration des pastilles.

5.2.2.6 Fusion des oxydes de zirconium et d'uranium

Plus haut en température, vers 2500°C, se produit la fusion du mélange des oxydes de Zirconium (ZrO_2) et d'Uranium (UO_2). La fusion des différents éléments va provoquer la perte de géométrie du coeur sous forme d'effondrements locaux ou globaux.

SITUATIONS A HAUTE PRESSION

Si la dégradation du coeur se produit sous haute pression, la gaine en se déformant va s'écraser sur les pastilles de combustible. Au contact, va se produire la réaction précédemment évoquée entre le zirconium et l'oxyde d'uranium, qui va mener dès 1200 - 1500°C à la formation d'eutectiques liquides (U, Zr).

Les mécanismes de dégradation (oxydation, fusion) interviennent de manière similaire au cas précédent (à basse pression).

5.2.3 Dégradation avancée du coeur

Si le coeur ne peut être renoyé suffisamment tôt, une importante partie fondue et fragmentée du cœur et des structures (inférieures essentiellement), constituant le corium, va se relocaliser progressivement dans le fond de cuve.

Le corium va interagir avec l'eau résiduelle en fond de cuve (**I**nteraction **C**orium **E**au : **ICE**) d'une manière plus ou moins violente.

Si cette ICE est modérée, le corium va être refroidi partiellement en un premier temps. La vapeur générée par l'ICE peut alors entraîner la pressurisation du primaire.

Puis, suite à la vaporisation de l'eau contenue dans le fond de cuve, la puissance résiduelle va entraîner une remontée en température du corium qui va conduire à une attaque thermique du fond de cuve par une fraction fondue significative du corium, et, au final, à la rupture de la cuve.

Cette rupture interviendra plus ou moins rapidement selon, notamment, la valeur de la pression primaire.

Si cette ICE est très énergétique (phénomène d'explosion vapeur), elle peut conduire à une perte précoce du confinement par mode α (cf. § 5.2.5).

5.2.4 Percée de la cuve et phénomènes physiques ultérieurs

Plusieurs mécanismes de rupture sont envisageables. En particulier, si le circuit primaire est à haute pression, il est possible que le corium soit éjecté violemment, ce qui pourrait amener une certaine dispersion du corium dans l'enceinte pouvant mettre en péril le confinement par échauffement direct de l'enceinte (**D**irect **C**ontainment **H**eating : **DCH**).

Si de l'eau se trouve présente au fond du puits de cuve, il va se produire une ICE (réaction de même nature que celle intervenant lors de la relocalisation du corium dans le fond de cuve).

A la suite de cette interaction[4], le corium va être partiellement refroidi et l'eau vaporisée, si le puits de cuve n'est pas continûment alimenté en eau (via l'EAS, par exemple).

Sous l'effet de la puissance résiduelle, le corium remonte en température, fond quasiment en totalité et commence à éroder le radier (ce qui se passe directement en l'absence d'eau).

L'énergie libérée par le corium va provoquer une dégradation thermique du béton du radier (**I**nteraction **C**orium **B**éton : **ICB**) qui va se traduire au fur et à mesure de l'échauffement du béton, par un relâchement de vapeur d'eau (H_2O), puis de gaz carbonique (CO_2), puis des oxydes légers, silice (SiO_2) et oxyde de carbone (CaO)[5], lesquels vont être progressivement incorporés au corium.

En l'état actuel des connaissances (expériences menées aux Etats-Unis, en Allemagne et en France, notamment), on peut penser que l'ICB suivra le déroulement suivant.

Il va se produire une séparation entre les phases métalliques (Zr, Cr, Fe, Ni) et oxydes (UO_2 et ZrO_2 issus de la dégradation du cœur + SiO_2 et CaO provenant de l'érosion du béton) du corium, la phase oxyde, plus légère du fait de l'intégration des oxydes légers SiO_2 et CaO, surmontant la phase métallique.

Les gaz émis par le béton vont traverser la phase métallique et oxyder les métaux. Il y aura donc transfert d'éléments de la phase métallique vers la phase oxyde ($Zr \Rightarrow ZrO_2$, $Cr \Rightarrow Cr_2O_3$, $Fe \Rightarrow FeO$ et/ou Fe_2O_3), ainsi que libération d'hydrogène ($H_2O \Rightarrow H_2$) et de monoxyde de carbone ($CO_2 \Rightarrow CO$), gaz combustibles, vers l'enceinte.

Le corium va baisser en température progressivement. La phase oxyde, qui contient la majorité des PF, va se stabiliser à une température de l'ordre de 1500°C très longtemps (plusieurs jours), alors que la phase métallique va se solidifier au bout de quelques heures. La cinétique d'érosion se ralentit alors que la libération de gaz combustibles est très fortement réduite.

La figure 2 vise à donner une idée de la cinétique d'érosion du radier, telle qu'elle est estimée par le code de calcul WECHSL (en retenant des hypothèses qui maximisent le phénomène d'ICB). La phase d'ICB rapide dure de l'ordre d'une demi-heure, avant que la solidification de la phase métallique ne commence, et conduit à l'érosion de 0,5 à 1 mètre de béton. La vitesse de pénétration se ralentit ensuite fortement. On estime le temps de traversée du radier à quelques jours (4 à 6 jours suivant les sites).

Compte tenu des connaissances acquises à ce jour, il n'est pas possible de se prononcer sur la possibilité d'interruption de l'ICB par une alimentation continue du puits de cuve en eau permettant un refroidissement efficace du corium. Ce point demeure donc une importante question ouverte.

5.2.5 Perte d'intégrité de l'enceinte

L'intégrité de l'enceinte est assurée en situation accidentelle par :

- la fonction d'isolement (signaux IE1 et IE2[6]),

---

[4] Dans l'hypothèse, admise comme la plus vraisemblable, d'une interaction modérée.

[5] Principaux oxydes légers provenant de la dégradation du béton.

[6] Signaux d'isolement 1ère phase et 2ème phase.

- le système d'aspersion (EAS) qui assure également l'évacuation de l'énergie en phase de recirculation .

Vis à vis de l'intégrité de l'enceinte, on doit distinguer les **accidents graves maîtrisés** des **accidents graves non maîtrisés**. Dans ce dernier cas en effet, la perte d'intégrité de l'enceinte est inéluctable à terme s'il n'est pas possible d'interrompre l'ICB par noyage du puits de cuve.

Les différents modes possibles de perte d'intégrité de l'enceinte selon la classification introduite par RASMUSSEN lors de la première étude de risque américaine (ref. [2]-1975) sont :

- **mode** α -explosion vapeur en cuve :

  Le mode α suppose une interaction violente (explosion vapeur) lors de l'effondrement du coeur dans l'eau du fond de cuve, libérant une énergie susceptible de projeter le couvercle de cuve qui viendrait perforer l'enceinte. Ce mode de rupture est jugé non crédible.

- **mode** β - défaut d'étanchéité :

  Ce mode consiste en un défaut d'étanchéité de l'enceinte se produisant au niveau des traversées ou des sas (à la suite d'un défaut d'isolement par exemple). Ce mode de perte d'intégrité du confinement est très important, puisqu'il peut intervenir très tôt dans le déroulement de l'accident et permettre aux PF d'être relâchés dans l'environnement sans laisser à la décroissance radioactive et aux mécanismes de dépôt dans l'enceinte le temps de jouer leur rôle.

  La procédure U2 vise à permettre la surveillance de l'étanchéité de l'enceinte en situation accidentelle, la détection et la localisation d'éventuels défauts, ainsi que les moyens d'y remédier .

- **mode** γ - combustion H_2 :

  Ce mode correspond aux effets d'une éventuelle combustion dans l'enceinte de l'hydrogène et du monoxyde de carbone produits lors de l'oxydation des gaines en cuve puis lors de l'ICB. Il faut distinguer, outre la combustion lente, deux types possibles de combustion:

  - les déflagrations (front de flamme se déplaçant à quelques m/s) pour lesquelles on peut calculer le pic de pression correspondant,
  - les détonations (onde de choc supersonique) qui sont à l'heure actuelle considérées comme très peu probables, du fait des niveaux d'énergie requis pour l'initier. On sait par contre qu'il existe des mécanismes d'accélération de flamme, pouvant transformer une déflagration en détonation (risque **TDD : T**ransition **D**eflagration **D**etonation). Il est toutefois difficile d'extrapoler ces résultats aux conditions réacteur.

  Pour pallier à ce risque hydrogène, il a été décidé l'implantation sur l'ensemble du parc REP français de recombineurs catalytiques passifs qui permettent, via une réaction $H_2 + O_2 \Rightarrow H_2O$, de réduire la concentration d'hydrogène dans l'enceinte.

Dans les cas **d'accidents graves non maîtrisés**, avec rupture de la cuve, l'érosion du béton du radier, si elle ne peut être stoppée par alimentation continue du puits de cuve, va libérer dans l'enceinte des quantités très importantes de gaz (H_2O, H_2, CO_2, CO), qui vont entraîner une augmentation progressive de la pression. Il y aura donc " compétition " entre les deux modes de rupture suivants :

- **mode** δ : surpression ,
- **mode** ε : traversée du radier.

Dans ce cadre, a été élaborée **la procédure U5** qui vise à se doter d'un moyen d'éviter, quelles que soient les circonstances, une rupture de l'enceinte par surpression.

La procédure U4, elle, est destinée à réduire les rejets via les différents drains de radiers, si ces chemins de fuite préférentiels n'ont pu être éliminés de manière préventive.

Dans le cas du site de CRUAS, cette procédure est particulière du fait de la spécificité du radier (existence d'une « cave » pouvant conduire à des rejets directs vers l'atmosphère sans filtration par le sol).

A ces cinq modes de défaillance du confinement indentifiés par RASMUSSEN, il faut rajouter :

- le by-pass direct de l'enceinte par cumul RTV + RTGV,
- la perte d'intégrité de l'enceinte par échauffement direct de l'enceinte (DCH).

Ces deux risques sont traités dans le cadre du **G**uide d'**I**ntervention en **A**ccidents **G**raves (**GIAG**) [13].

Concernant le cumul RTV + RTGV, il est préconisé de remplir d'eau le GV affecté afin de retenir les aérosols et une bonne partie des iodes par barbotage.

Concernant le risque DCH, après atteinte, au plus tard, du critère d'entrée dans le GIAG basé sur une température sortie cœur seuil (via Tric Max), il est prévu d'ouvrir les soupapes SEBIM pour dépressuriser le primaire dans le but d'éviter une éventuelle rupture de la cuve à haute pression.

5.3 Rejets radioactifs associés aux accidents graves

5.3.1 Source de radioactivité

Concernant la source constituée par le coeur, l'émission des PF se fait principalement au début de la phase de dégradation (rupture de gaines) et de fusion du coeur qui suit la phase de dénoyage de celui-ci, alors que la température du combustible décrit une plage allant de 1300°C à 1800°C environ. Le tableau 1 donne, par classe de produits de fission, en partant des plus volatils, l'ordre de grandeur de la fraction de l'inventaire du coeur qui est ainsi libérée. De façon un peu plus étalée dans le temps, c'est à dire jusqu'au percement de la cuve, une partie du combustible et des structures est vaporisée.

Au début de l'interaction corium-béton, du fait de la très grande agitation du mélange résultant, il peut y avoir encore une émission de produits, par effets d'ébullition ou de vaporisation.

5.3.2 Comportement des PF

Une fois émis par le coeur ou le corium, les PF sont véhiculés par voie gazeuse ou liquide entre leur source et l'environnement, en passant le circuit primaire, l'enceinte de confinement, des chemins de fuite tels que le BAN ou l'EEE (Espace Entre Enceinte pour les REP 1300 et N4) , où d'une part ils résident un certain temps, d'autre part ils peuvent être piégés, de façon définitive ou temporaire.

- Le premier phénomène macroscopique important est évidemment l'**émission** des PF du coeur ou du corium : les facteurs importants sont les taux et cinétiques de relâchement, ainsi que les espèces physico-chimiques formées. Ces dernières dépendent de l'ambiance régnant aux alentours du coeur (température, hydrogène formé par la réaction zirconium- eau, réactions avec les produits résultant de la vaporisation des structures, en particulier l'argent).
- En ce qui concerne le second phénomène macroscopique, le **transport** par voie gazeuse ou liquide, les paramètres influents sont évidemment les suivants : la thermohydraulique, le chemin suivi, les pièges et obstacles rencontrés.

  Les facteurs déterminants sont la **rétention** à l'intérieur de l'installation, le **temps de transit** jusqu'à l'environnement et l'**étalement dans le temps** du terme source.

  Le chemin suivi dépend de la séquence accidentelle considérée[7]. De même, les conséquences radiologiques différent notablement suivant la voie finale de dispersion dans l'environnement, voie atmosphérique ou voie eau.

  Les **dépôts** sur les pièges offerts tout au long du parcours constituent le phénomène essentiel atténuant la radioactivité contenue dans le gaz. Ils dépendent de la forme sous laquelle se trouvent les PF dans le gaz (gaz, vapeur, aérosols) et des conditions thermodynamiques.
- Le phénomène inverse, le **relargage des dépôts**, est également un phénomène capital, car il constitue une source potentielle différée, de nature à mettre en question le conservatisme des évaluations. Ce phénomène dépend des conditions thermohydrauliques et du lien entre le dépôt et son support, donc encore de la forme physico-chimique.

Dans les phénomènes de dépôt et de relargage, la forme physico-chimique des produits joue donc un rôle primordial, à la fois pour le transfert vers le piège (forme physique) et pour la nature et la stabilité du lien avec le piège (forme physico-chimique).

- Les **gaz rares** (Xe,Kr) ne sont pas du tout absorbés.
- Le comportement de l'**iode** est très complexe. On pense qu'il sort du circuit primaire principalement combiné au Césium (probablement aussi à l'argent) sous forme d'aérosols solubles de **CsI**, mais également sous forme gazeuse, iode moléculaire I_2, en faible proportion (de l'ordre de 5%). L'iode est contenue en grande proportion, au bout de quelque temps, dans l'eau des puisards de l'enceinte , sous différentes formes ioniques ou dissoutes. Entre ces nombreuses formes et phases, il se produit des transferts ou des réactions d'équilibre plus ou moins rapides, fortement influencés par l'ambiance radioactive (radiolyse), le pH de l'eau et la présence d'Ag dans l'eau des puisards. Ces réactions peuvent conduire à la libération d'iode moléculaire dans l'atmosphère de l'enceinte. L'iode est également absorbé par les surfaces métalliques ou peintures. L'interaction de l'iode moléculaire présent dans l'atmosphère de l'enceinte avec les peintures peut alors donner lieu à la formation d'iode organique ICH_3, forme gazeuse très peu sensible à la filtration.
- Les autres produits de fission importants pour les conséquences radiologiques **tellure, césium et strontium**, se condensent sous forme d'**aérosols** dans le circuit primaire. Les

---

[7] Par exemple, il peut y avoir bipasse complet de l'enceinte de confinement dans le cas d'un cumul RTV + RTGV qui risque d'influer fortement sur le terme source dans l'environnement.

aérosols s'agglomèrent entre eux et se déposent sur les parois par différents mécanismes, se sédimentent sur le sol d'autant plus vite que leur masse est grande.

On peut par ailleurs souligner l'efficacité du fonctionnement de l'aspersion de l'enceinte sur la réduction de la concentration en produits de fission (aérosols et iode moléculaire).

5.3.3 Termes sources de référence (S1, S2, S3)

Des études faites par IPSN en 1977 à partir du rapport WASH-1400 (ref.[2]), il en a résulté un classement des rejets par voie atmosphérique en trois catégories S1, S2, S3. Ces trois *termes sources de référence correspondent à trois grandes catégories d'accidents ayant en* commun une **rupture du circuit primaire**, la **perte des alimentations électriques** et la **fusion du combustible** :

- **S1** est représentatif d'accidents avec perte précoce du confinement (quelques heures).
- **S2** est représentatif d'accidents conduisant à des rejets directs à l'atmosphère en moins de 24 heures.
- **S3** est représentatif d'accidents conduisant à des rejets indirects à l'atmosphère au bout d'environ 24 heures.

Les calculs des termes sources tels qu'illustrés par les résultats obtenus pour le palier 1300MWe (tableau 2), ont été utilisés pour évaluer leurs conséquences radiologiques dans l'environnement pour la voie atmosphérique, du moins pour S2 et S3, car la famille de séquences représentée par S1 a été jugé physiquement peu concevable et donc classée dans le risque résiduel ne nécessitant pas de disposition a priori.

S3 a été jugé, en niveau et délai, compatible avec l'application des PPI (Plans Particuliers d'Intervention).

Comme les conséquences potentielles de S2 ont été jugées trop difficiles à maîtriser par les PPI, on a été amené à étudier l'implantation sur les réacteurs de moyens visant à ramener les rejets à une valeur inférieure ou au plus égale à S3, compatible avec l'application des PPI.

Ces moyens sont en particulier les procédures dites "ultimes" mises en oeuvre après[8] entrée dans le GIAG (Guide d'Intervention en Accidents Graves) :

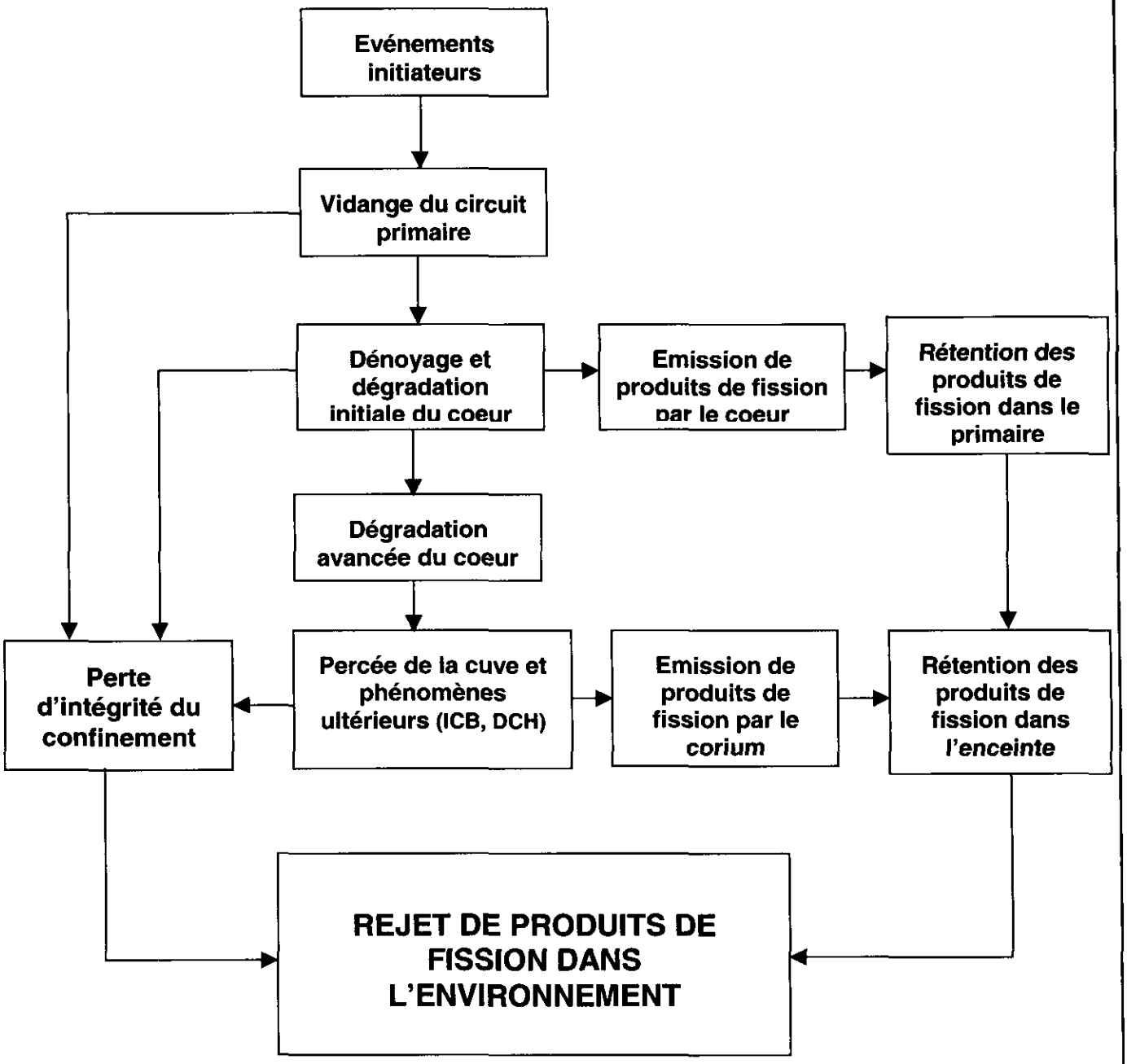
- **U2** : recherche et traitement des défauts anormaux d'étanchéité du confinement.
- **U4** : minimisation des rejets à l'atmosphère en cas de percée du radier du réacteur par le corium.
- **U5** : dépressurisation et filtration de l'atmosphère interne de l'enceinte de confinement (filtre à sable) pour prévenir la perte irréversible d'intégrité de l'enceinte.

---

[8] **NOTA**: L'application U2 est également envisagée (sur critères) dans les procédures SPI-U1 ou SPE.

FIGURE 1

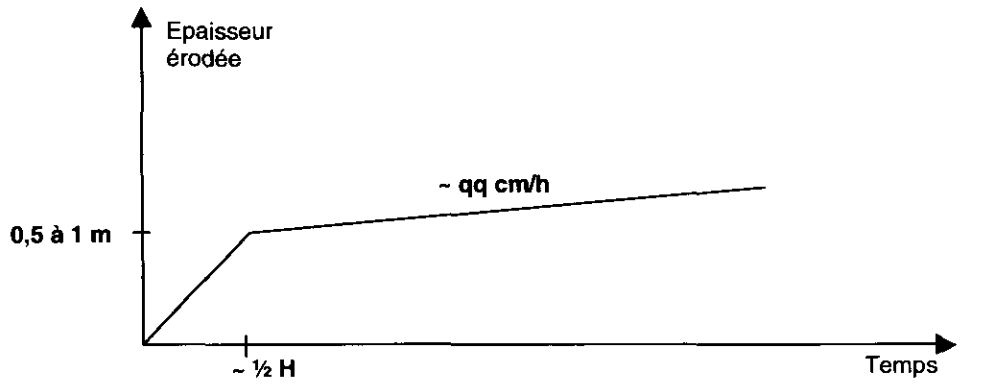
DEROULEMENT D'UN ACCIDENT GRAVE



W 073B

FIGURE 2

ICB EN MILIEU SEC



PHASE COURT TERME (~1/2 h)

- T_{init} ~ 2400°C (Hypothèse conservative)
- P_{ox} > Pr
- Relâchement H_2, CO, H_2O et CO_2
- Erosion rapide

PHASE LONG TERME (~1/2 h)

- Oxydation quasi terminée
- Phases séparées (Métal progressivement solide et oxyde fondu)
- Relâchement essentiellement de H_2O et CO_2
- Erosion lente (~ qq cm/h)

TABLEAU 1

Fractions d'inventaire cœur relâchées dans l'enceinte
Référence : NUREG-1465 (1995)

Hypothèses

- APRP Grosse Brèche
- Fusion complète du cœur
- Rupture de la cuve --> Interaction Corium-Béton

Emission	Jeu Pastille/Gaine	Précoce en cuve	Hors cuve	Tardive en cuve	Total
Durée (h)	0.5	1.3	2	10	13.8
Gaz rares	0.05	0.95	0	0	1
Halogenes : I, Br	0.05	0.35	0.25	0.1	0.75
Cs, Rb	0.05	0.25	0.35	0.1	0.75
Te, Sb, Se	0	0.05	0.25	0.005	0.305
Ba, Sr	0	0.02	0.1	0	0.12
Ru, Rh, Mo	0	0.0025	0.0025	0	0.005
Ce, Pu, Np	0	0.0005	0.005	0	0.0055
La, Eu, Nd, Cm, Am	0	0.0002	0.005	0	0.0052

TABLEAU 2

Termes sources de Référence
(En cours de révision à IPSN et EDF)

Terme-source 1300 MWe - - double enceinte	Fraction de l'inventaire du coeur (%)				
	Gaz rares	Iode		Césium	Strontium
		organique	moléculaire + aérosols		
S1	80	0,6	60	40	5
S2	75	0,55	2,7	5,5	0,6
S3	75	0,55	0,31	0,35	0,04

ANNEXE
COPIES DES TRANSPARENTS

SEPTEN

SURETE EN ACCIDENT GRAVE

- 1/ DEFINITIONS GENERALES
- 2/ PHENOMENOLOGIE
- 3/ CONTEXTE REGLEMENTAIRE
- 4/ AMELIORATIONS APPORTEES
- 5/ DOSSIERS EN COURS
- 6/ QUESTIONS OUVERTES
- 7/ ETUDE DE CAS : U4 A CRUAS
- 8/ SYNTHESE

O. WEBER - SEPTEN/TH

EDF PÔLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Définitions générales

- **Accident Grave (AG)**

  Séquence très peu probable hors dimensionnement pouvant se traduire par une dégradation significative du cœur et conduire à des rejets importants dans l'environnement

- **Corium**

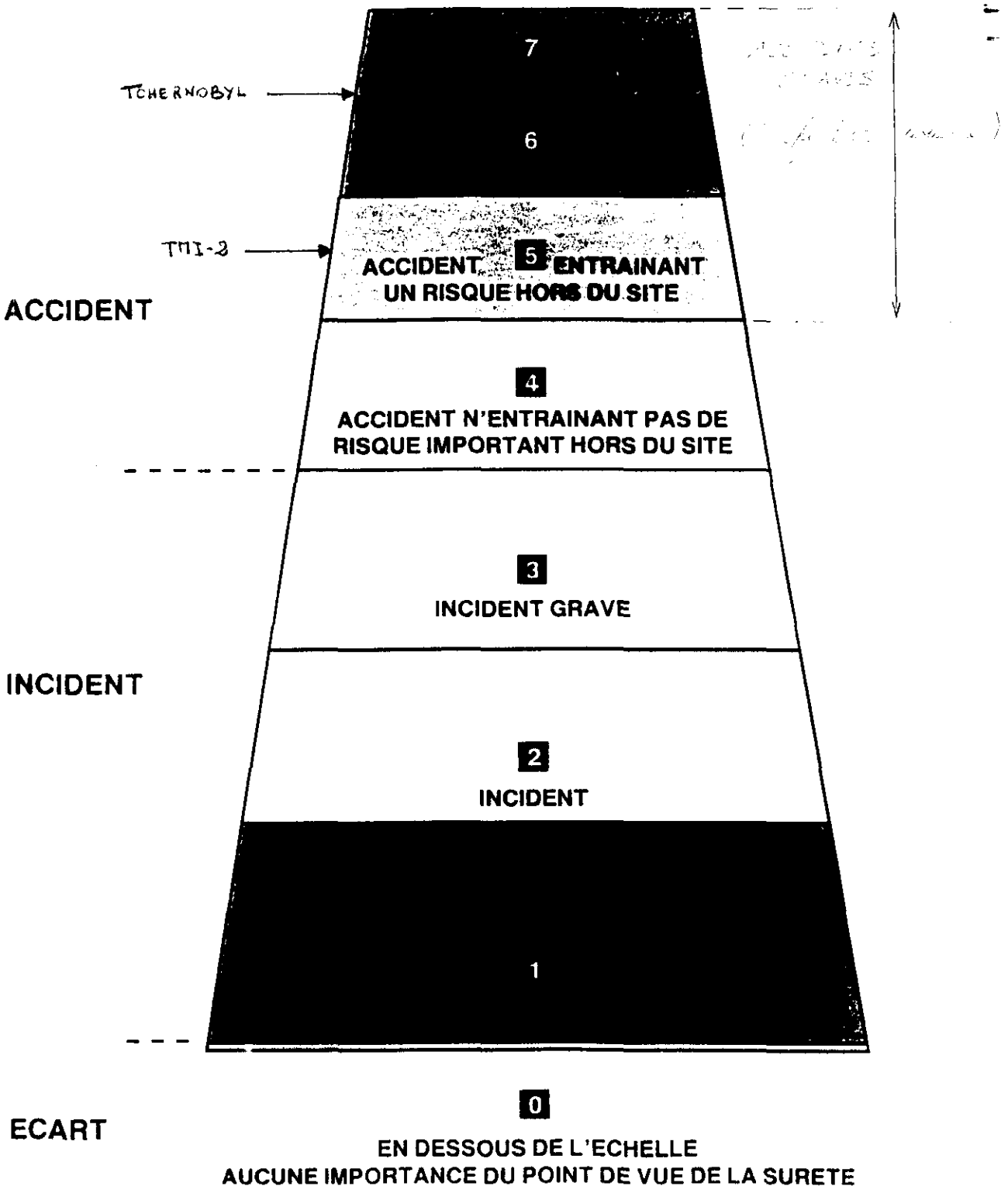
  Ensemble de matériaux oxydes et métalliques, fondus ou fragmentés, constitué de tout ou partie du cœur, des internes de la cuve et du fond de cuve (si la rupture de la cuve ne peut être évitée)

EDF PÔLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

STAGE « SURETE A LA CONCEPTION » - SFP LA PEROLLIERE

Echelle internationale des événements nucléaires

Pour informer rapidement sur leur importance du point de vue de la sûreté



Définitions générales

- **Interprétations différentes de la notion d'AG (cf. échelle de gravité INES)**
  - **TMI-2 => niveau 5**
  - **Tchernobyl => niveau 7**
- **Dans les deux cas**
  - Enchaînement complexe de défaillances matérielles et humaines
  - Evénement non prévu à la conception
  - Influence déterminante du confinement

Définitions générales
Exemples de TMI et Tchernobyl (1)

- **Three Mile Island**
  - Accident débutant par une perte d'eau alimentaire GV
  - Blocage d'une soupape de sûreté du pressuriseur ouverte
  - Mauvais diagnostic par l'opérateur qui arrête l'IS
  - Restauration tardive de l'injection

RESULTAT :

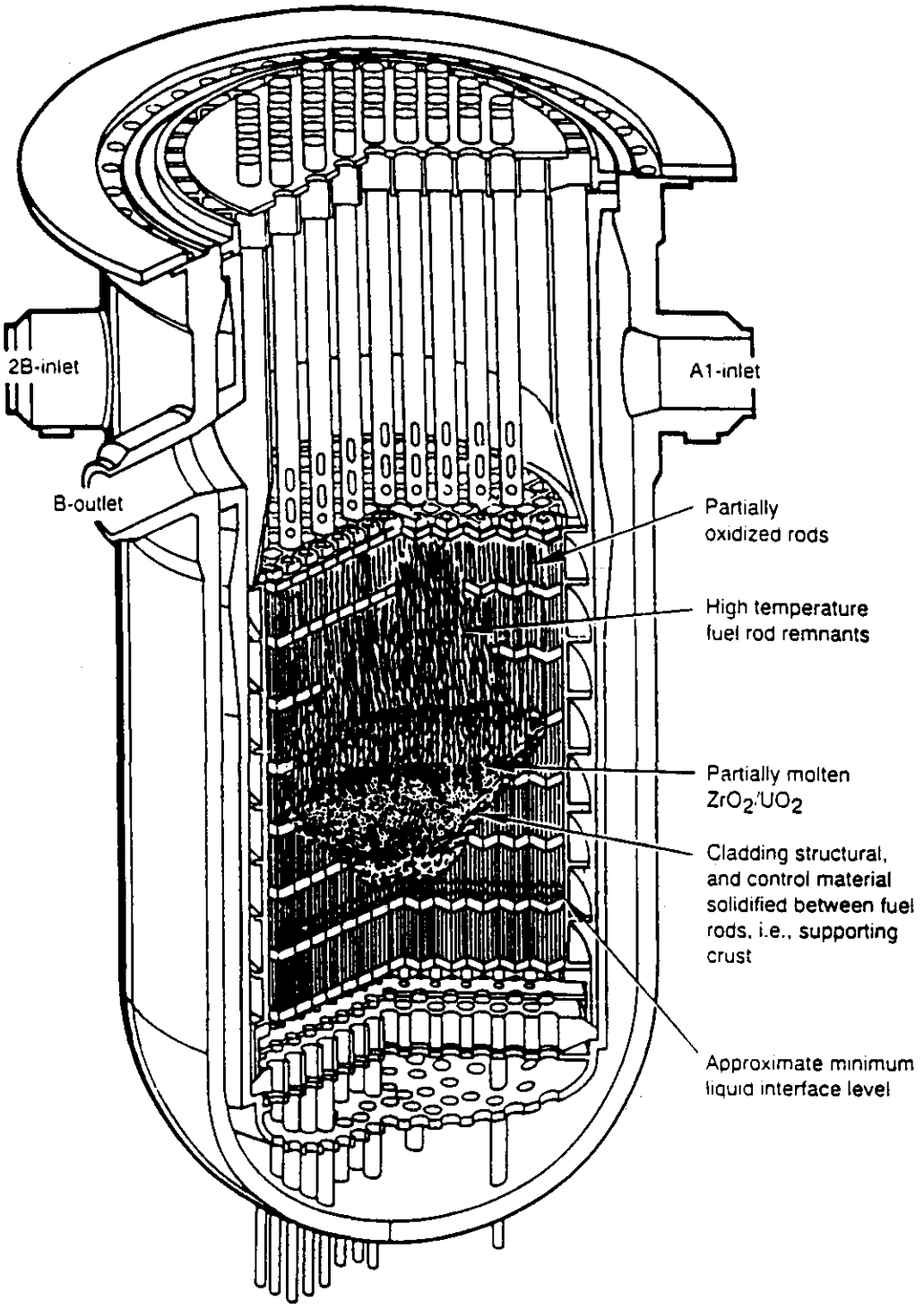
FUSION DU COEUR A 50%
MAIS CONFINEMENT INTEGRE,
DONC PAS DE REJETS A L'ENVIRONNEMENT,
MALGRE UNE COMBUSTION D'HYDROGENE.

TMI-2

ETAT DU CŒUR

AVANT REMISE EN ROUTE DE LA POMPE 2 B A 174 MN

(DEBUT DEGRADATION CŒUR A 100 MN)

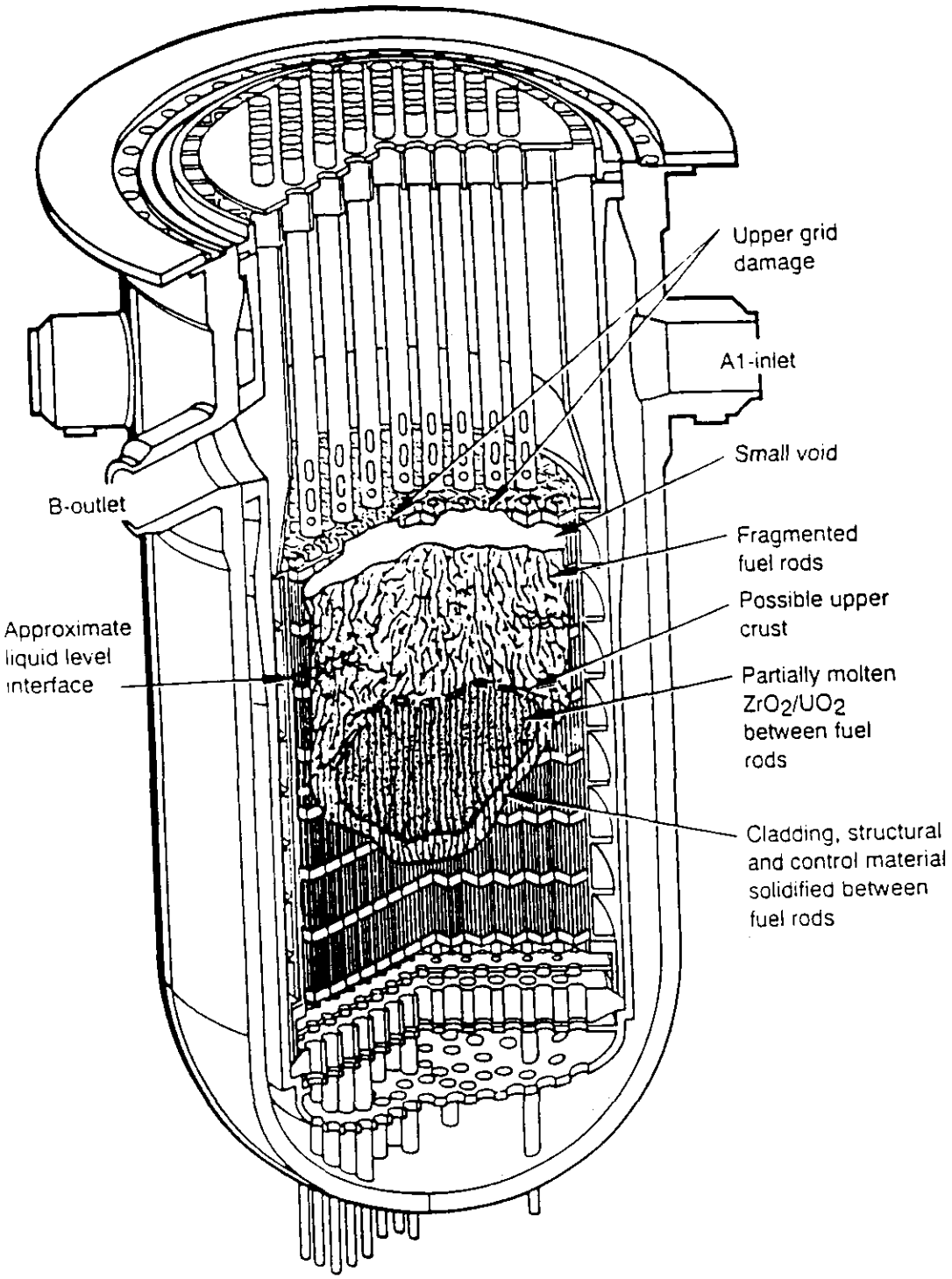


TMI-2

ETAT DU CŒUR

APRES REMISE EN ROUTE DE LA POMPE 2 B A 174 MN

⇒ REINJECTION 30 M^3 EAU

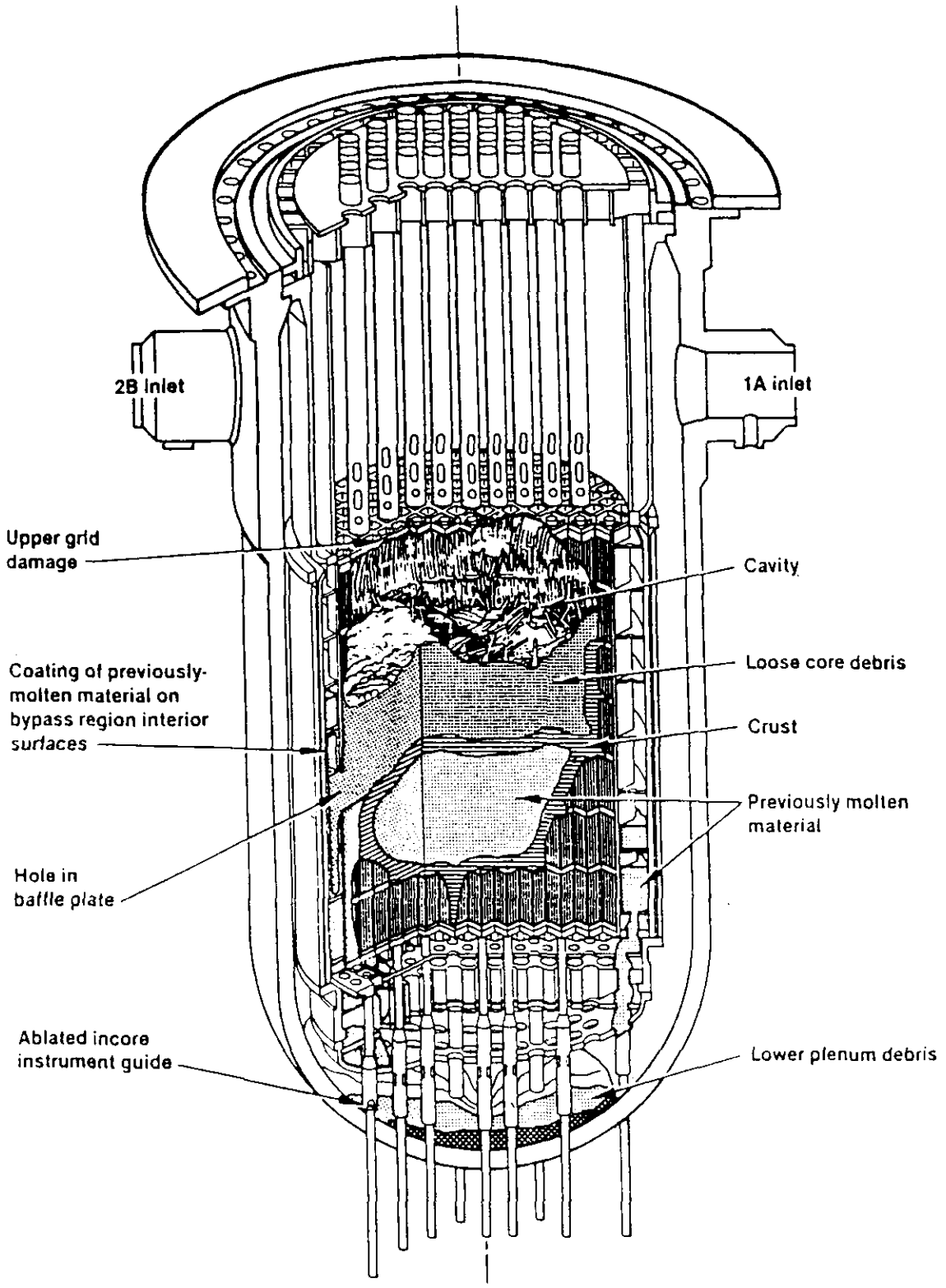


TMI-2

ETAT DU CŒUR

APRES RELOCALISATION DANS LE FOND DE CUVE A 225 MN

(MALGRE REMISE EN ROUTE IS A 200 MN)



Définitions générales
Exemples de TMI et Tchernobyl (2)

- **Tchernobyl**
  - Tranche RBMK (graphite et eau-vapeur)
  - Etat du coeur instable par suite de la demande du réseau
  - Tous systèmes de sauvegarde débrochés pour un essai
  - Pas d'enceinte de confinement
  - Initiation par l'arrêt des pompes pour l'essai

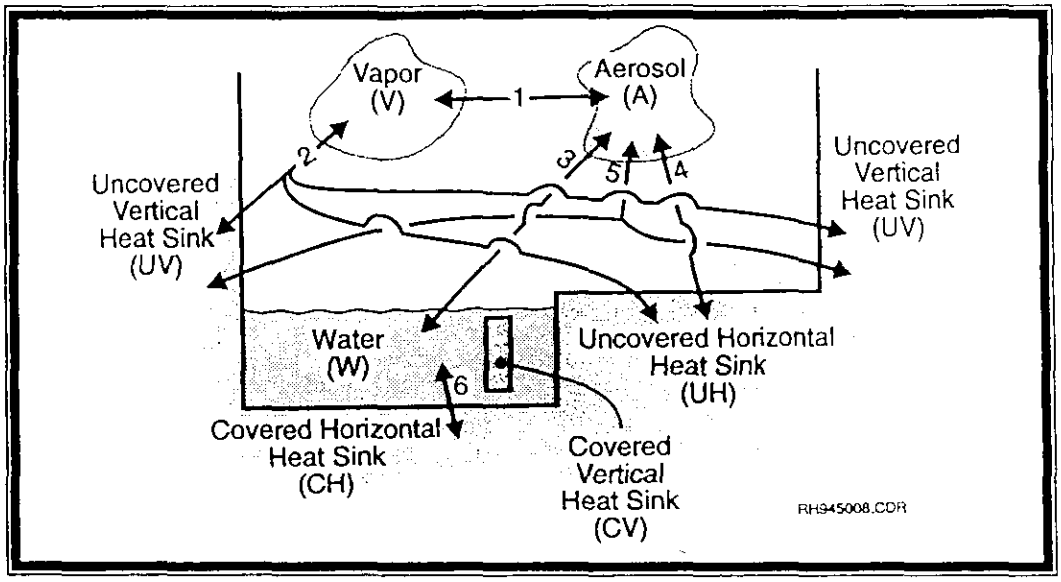
RESULTAT :

ACCIDENT DE REACTIVITE PROMPTE
100 FOIS LA PUISSANCE NOMINALE
EXPLOSION ET DISPERSION DU COEUR
CATASTROPHE AU PLAN ECOLOGIQUE

Définitions générales
Terme Source (1)

- Le terme source représente le **rejet total de corps radioactifs à l'environnement au cours de la séquence accidentelle**
- **Les produits de fission sont émis lors de la dégradation du cœur et (si rupture de la cuve) lors de l'Interaction Corium-Béton (ICB), en fonction de leur volatilité.**
  - Ils sortent en majorité du **circuit primaire** et du **puits de cuve (en cas d 'ICB)**
  - se diffusent dans **l'enceinte,**
  - et sont entrainés pour partie vers **l'environnement,**
  - après avoir subi différentes formes de **rétention et filtration**

[redacted]



❶ Vapeur - Aerosol

❷ Vapeur - Surface émergée

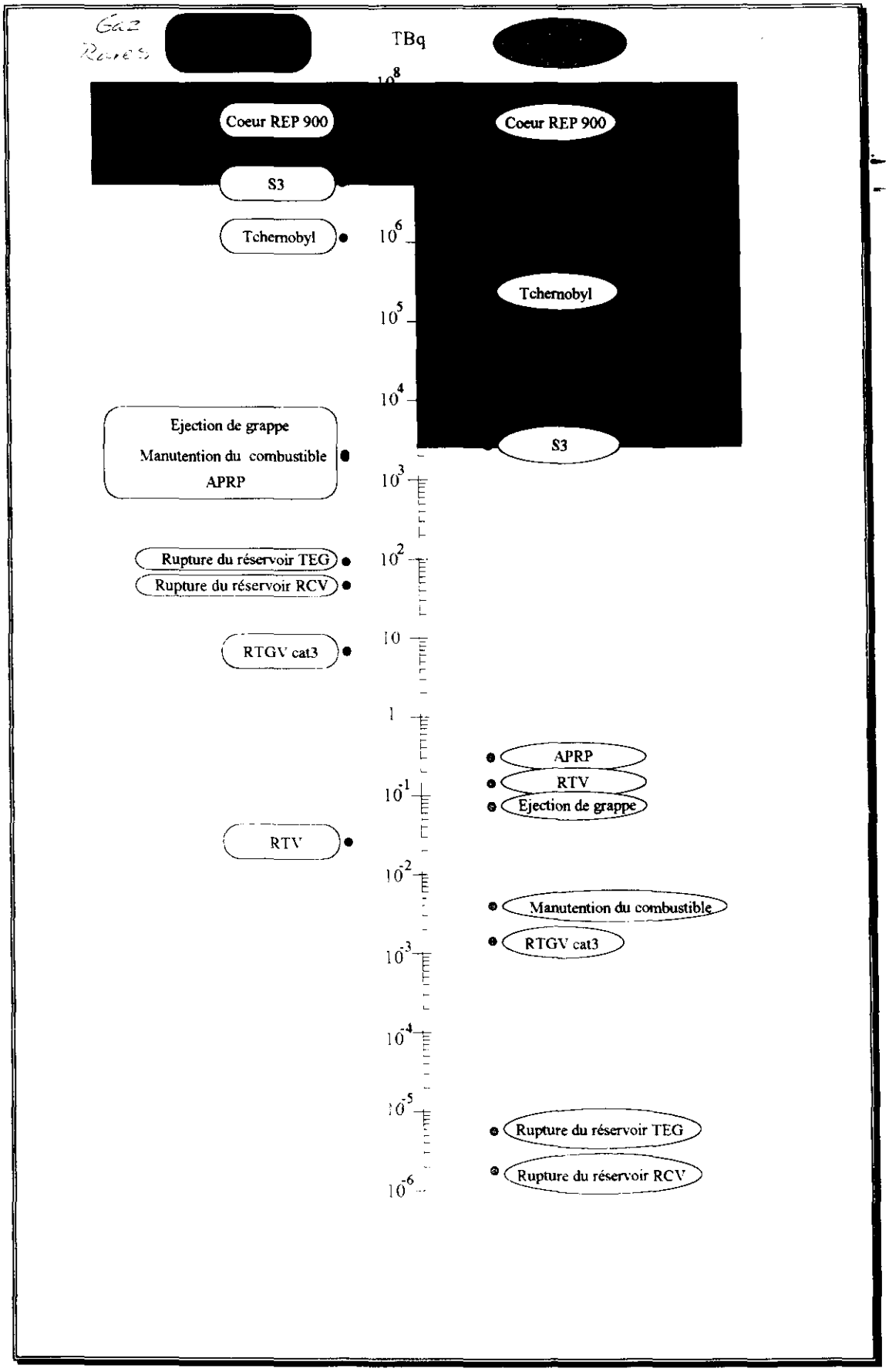
❸ Aérosol - Eau des puisards (sédimentation, thermophorèse, diffusiophorese)

❹ Aérosol - Surface horizontale émergée(sédimentation, thermophorese, diffusiophorese)

❺ Aérosol - Surface verticale émergée (impaction, thermophorese, diffusiophorèse)

❻ Adsorption sur surfaces immergées puisard

Comparaison des accidents d'après l'activité rejetée



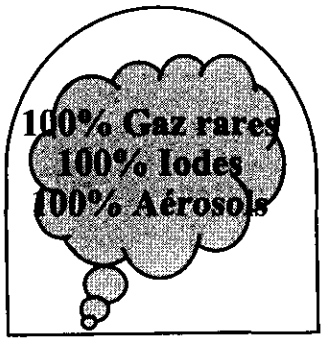
Définitions générales
Terme Source (2)

- **Les rejets de produits de fission sont classés en trois catégories :**
  - **S1 : AG avec perte précoce du confinement (quelques heures)**
  - **S2 : AG avec rejets directs à l'atmosphère avant 24 heures**
  - **S3 : AG avec rejets collectés et filtrés après 24 heures**
- **Seul le terme source S3 est compatible avec la mise en place des contremesures prévues dans le PPI (Plan Particulier d'Intervention)**

Définitions générales
Conséquences radiologiques (1)

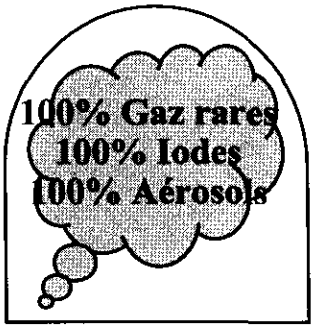
- **Il s'agit de l'impact des produits de fission dans l'environnement :**
  - **Irradiation directe (effet du panache) des individus**
  - **Effets de l'inhalation et de l'ingestion des PF**
  - **Contamination des récoltes et des animaux**
  - **Effets induits dans la chaîne alimentaire**
- **Calcul des conséquences radiologiques**
  - **A partir du terme source d'une séquence accidentelle**
  - **Avec des codes spécialisés tenant compte de manière statistique ou déterministe des conditions météorologiques**

❒ Activités relâchées dans l'environnement (% de l 'inventaire initial cœur)



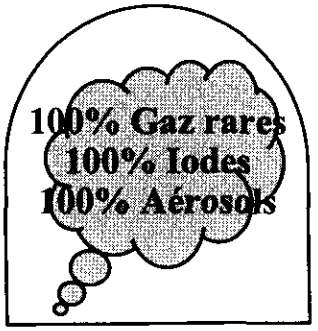
S1

Rejet direct
4h après fusion coeur
80% GR
60% Iodes
40% Césium



S2

Rejet direct
16h après fusion coeur
75% GR
3% Iodes
5.5% Césium



S3 / U5

Rejets indirects
24h après fusion coeur
75% GR
0.85% Iodes
0.35% Césium

EDF PÔLE INDUSTRIE (EDF INDUSTRY)
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES (BASIC DESIGN DEPARTMENT)

EDF
Electricité de France

Définitions générales
Conséquences radiologiques (2)

- **Les effets à moyen terme (quelques jours) sont dominés par les *iodes* qui existent à la fois sous formes gazeuses (I_2, ICH_3) et aérosols (CsI, AgI..).**
  L'organe le plus sensible à l'iode est la thyroïde.

- **Les *césiums* (Cs137 notamment) sont bien représentatifs des effets à long terme.**

Définitions générales
Scénario Accidentel (1)

- **Origine**

  Cumul d'un initiateur accidentel avec la défaillance de systèmes de sauvegarde et d'erreurs opérateurs, conduisant à la **perte d'inventaire primaire et du refroidissement du coeur**
  - ❒**Brèche primaire ou perte d'eau alimentaire GV sans IS**
  - ❒**Perte totale des alimentations électriques**

- **4 étapes**
  - ❒Vidange du circuit primaire ~ **2 heures**
  - ❒Dénoyage et dégradation initiale du cœur ~ **1-3 heures**
  - ❒Dégradation avancée du cœur ~ **1 heure**
  - ❒Rupture de la cuve et phénomènes ultérieurs
    - ✗si érosion du radier par le corium = ICB **qq jours**

Définitions générales
Scénario Accidentel (2)

- **Origines de la perte d'eau primaire**
  - ❒Brèche primaire directe => **fusion à basse pression**
  - ❒Accumulation d'énergie par perte d'eau secondaire, entraînant une évacuation par les soupapes du pressuriseur => **risque de fusion à haute pression**

- **La disponibilité des systèmes (EAS, GV, alimentations électriques) et la conduite menée influent ensuite sur le déroulement des phénomènes du transitoire.**

Définitions générales
Scénario Accidentel (3)

- **Aux différents stades de la séquence, dans l'enceinte de confinement** :
  - ❒Relâchements significatifs de gaz et de corium (en cas de rupture de la cuve) pouvant conduire à la **perte du confinement**
  - ❒**Rejets de produits de fission**

Le terme source va dépendre de l'occurrence et de l'importance de ces deux facteurs

Phénoménologie
Dégradation du cœur (1)

- **Oxydation des gaines**

  $Zr + 2\ H_2O \Rightarrow ZrO_2 + 2H_2 + \sim 6.5$ MJ/kg(Zr)

  - Cinétique de réaction croissante avec la température, significative au-dessus de 1200°C (emballement)
  - Réaction exothermique : **$P_{oxyd} > P_{res}$** pendant la phase d'emballement
  - Rejet d'hydrogène dans l'enceinte **(sur REP 900 100 % Zr oxydé <=> ~ 900 kg H_2)**

- **Relâchement de produits de fission**
  - **700°C-900°C :** Rupture de gaines
  - **1300°C-1800°C :** émission des PF du combustible, selon leur volatilité, dans l'ordre suivant :

Gaz rares, Iode, Césium, Tellures, Baryum, Strontium

Phénoménologie
Dégradation du cœur (2)

- **Phase initiale**
  - Barres de contrôle (Ag-In-Cd et B_4C) : **1300-1500°C**
  - Fusion du Zirconium **~ 1800°C**
    - Dissolution de UO_2 et ZrO_2 par le Zr fondu
    - Formation d'eutectiques U-O-Zr
  - Fusion du mélange UO_2-ZrO_2 : **~ 2500°C**
    - Perte de la géométrie du cœur et relocalisation

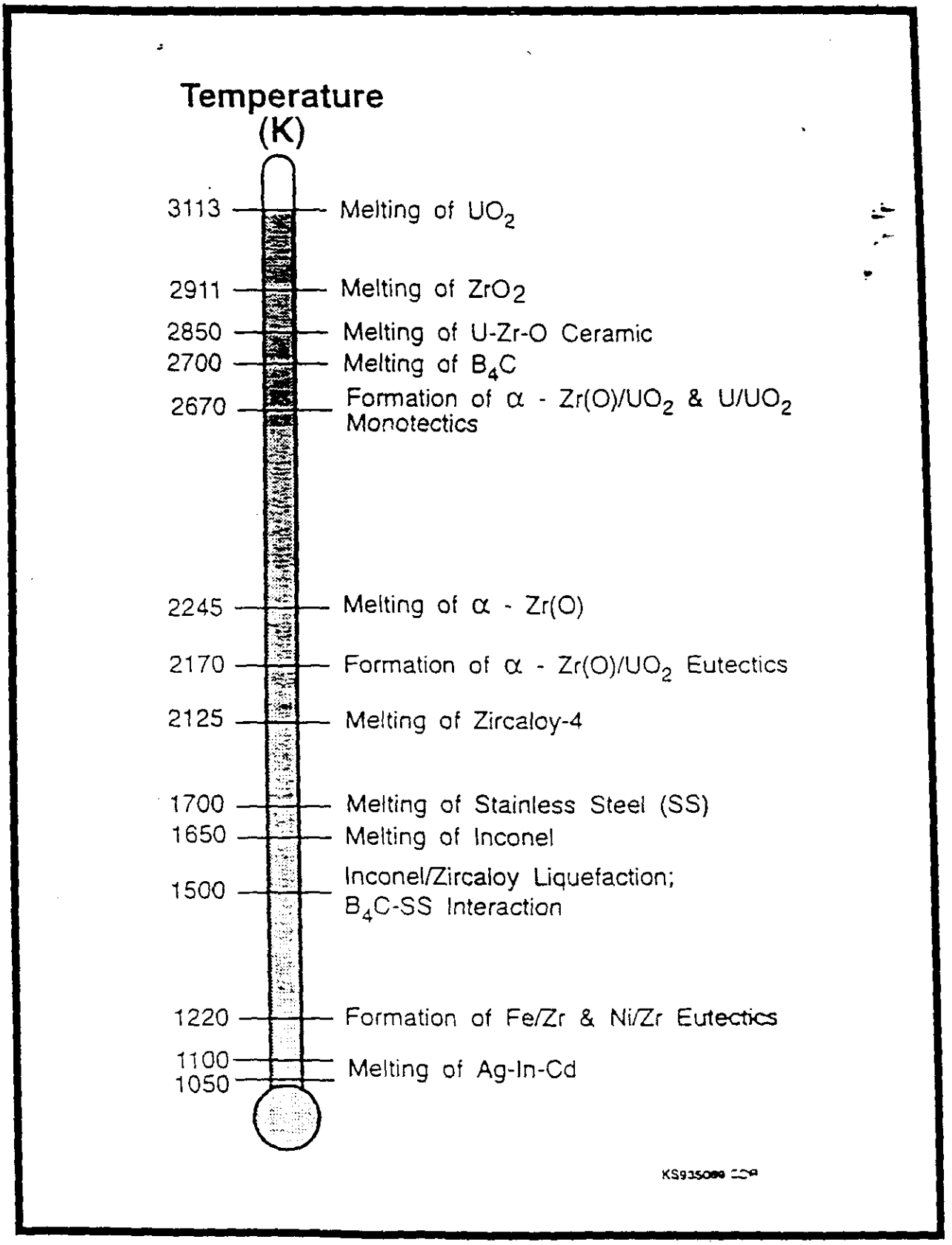


Figure 2-4 Major core material melting points.

Phénoménologie
Dégradation du cœur (3)

- **Phase avancée**
  - **Formation d'un creuset** reposant sur une région inférieure plus froide du cœur : croûte contenant une zone de corium liquide et fragmenté
  - Rupture du creuset puis **relocalisation du corium vers le plénum inférieur** en plusieurs étapes et selon différents chemins
    - Via le centre du cœur (possible avec des baffles renforcées comme sur EPR)
    - Par les côtés, si défaillance de la baffle (le plus probable sur les REP du parc - cf. cas de TMI)
  - Contact entre le corium et l'eau résiduelle du fond de cuve : **Interaction Corium-Eau (ICE)**
  - **Accumulation de corium en fond de cuve** sous forme liquide (*formation d'un* **bain**) *et de* **fragments**

Phénoménologie
Interaction Corium-Eau (1)

- **Situations physiques possibles**
  - Pénétration d'une coulure de corium dans l'eau du plénum inférieur
  - Renoyage du corium par l'IS ou les accumulateurs
  - Ecoulement du corium dans le puits de cuve (si rupture de la cuve et présence d'eau dans le puits de cuve)
- **Conséquences**
  - **Interaction modérée : Fragmentation et trempe du corium - Vaporisation intense**

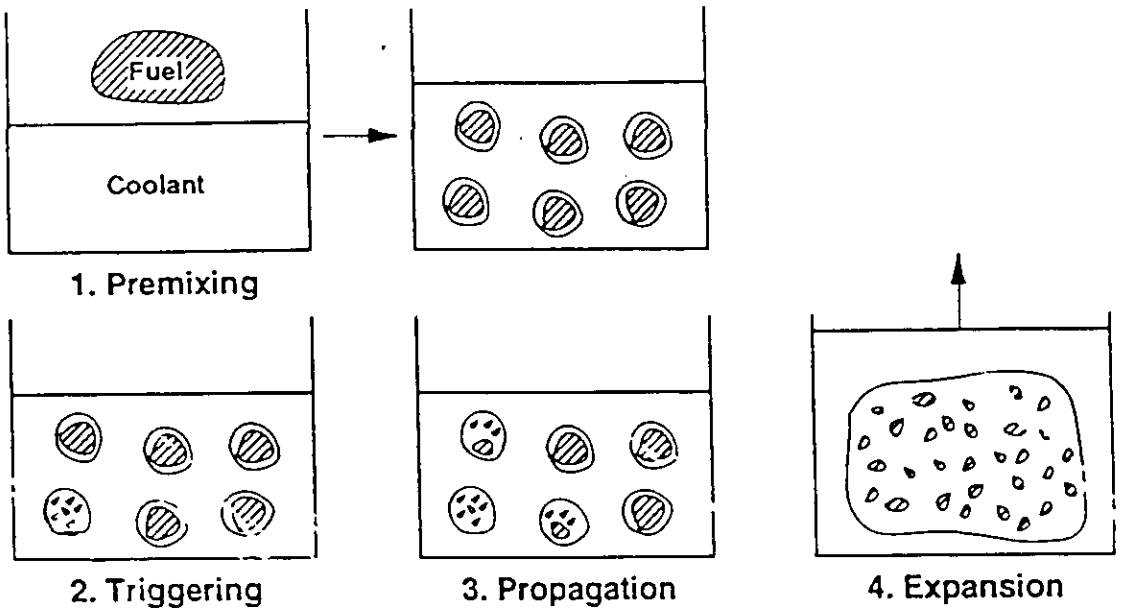
    => **Pressurisation du primaire avec une intensité tolérable**
  - **Interaction violente : explosion-vapeur**

    => **Menace potentielle pour le circuit primaire**

ETAT DES CONNAISSANCES

Constat: Accord général sur:

- Les phénomènes principaux
- L' incapacité actuelle à les modéliser de façon réaliste.



4 PHASES:

1- **PREMELANGE**: CORIUM chute dans l'eau: ≈ 1 s

2- **DECLENCHEMENT** local (écrasement des films vap) ≈ 1 ms
(Onde de presssion, choc,...)

3- **PROPAGATION** ≈ qq ms

4- **EXPLOSION** GENERALISEE ≈ qq ms

EFFETS: Ondes de pression trés fortes
+ Effet "MARTEAU D' EAU"

Phénoménologie
Interaction Corium-Eau (2)

- **Phénomène d'explosion vapeur**
  - ❒Communication quasi-instantanée de l'énergie du corium fragmenté à l'eau ⇒ très forte production de vapeur
  - ❒Génération d'un **pic de pression intense** (qq centaines de bars en qq ms)
  - ❒Réaction en chaîne en **4 phases** (*Prémélange-Déclenchement-Propagation-Expansion*)
  - ❒Son effet peut mettre en cause la tenue de la cuve, du puits de cuve, voire de l'enceinte par effet de missile (**mode α de défaillance du confinement**)

☞**Un consensus entre experts, basé sur le jugement de l'ingénieur et des résultats d'essais et de simulation établit le caractère très improbable du mode α**

Phénoménologie
Rupture de la cuve

- **L'instant de rupture dépend du mode de relocalisation du corium et de son évolution dans le plénum inférieur et, notamment, du niveau de pression dans le primaire**
- **Erosion locale rapide par impact d'une coulure (qq s)**
  Rupture thermomécanique due à l'ablation progresive de la paroi par le corium liquide (de 15 mn à 1-2 h)
- **La possibilité de rétention du corium en cuve par noyage du puits de cuve a été examinée**
  - ❒Puissance du corium évacuée de la cuve par ébullition nucléée
  - ☞**Cette solution n'a pas été retenue sur les REP, en raison, principalement, de l'espace trop limité entre la cuve et le calorifuge**

Phénoménologie
Corium en fond de cuve

- **Composition typique enveloppe du corium d'un REP 900, incluant les structures**
  - **UO_2 : 80 tonnes**
  - **Zr : 20 tonnes**
  - **Fe : 20 tonnes**
  - **Cr : 6 tonnes**
  - **Ni : 4 tonnes**
- **La composition et l'état du corium ne sont pas constants au cours du scénario AG**
- **Puissance résiduelle dans le corium : ~ 70-80 % du total**
- **Stratification dans la partie liquide du corium : couche métallique > couche oxyde**

Phénoménologie
Phénomènes associés (1)

- **Circulation naturelle des gaz chauds**
  - ***Entre le cœur et le plénum supérieur***
  - ***Boucle de convection (si bouchons d'eau dans les branches en U) :***

    plénum supérieur ⇒ branche chaude (partie sup.)
    ⇒ boîte à eau chaude ⇒ épingles GV « chaudes »
    ⇒ boîte à eau froide ⇒ épingles GV « froides »
    ⇒ boîte à eau chaude ⇒ branche chaude (partie inf.)
    ⇒ plénum supérieur

Phénoménologie
[redacted] (2)

- ***Circulation des gaz chaud dans les boucles (chasse des bouchons d'eau dans les branches en U) :***

  plénum supérieur ⇒ branche chaude ⇒ boîte à eau chaude ⇒ épingles GV ⇒ boîte à eau froide ⇒ branche froide ⇒ espace annulaire

- **Risque de rupture induite par effet de fluage**
  - Branche chaude, ligne d 'expansion ou tube GV (cas GV vide)
  - A pression élevée, la rupture induite du RCP intervient généralement avant celle de la cuve

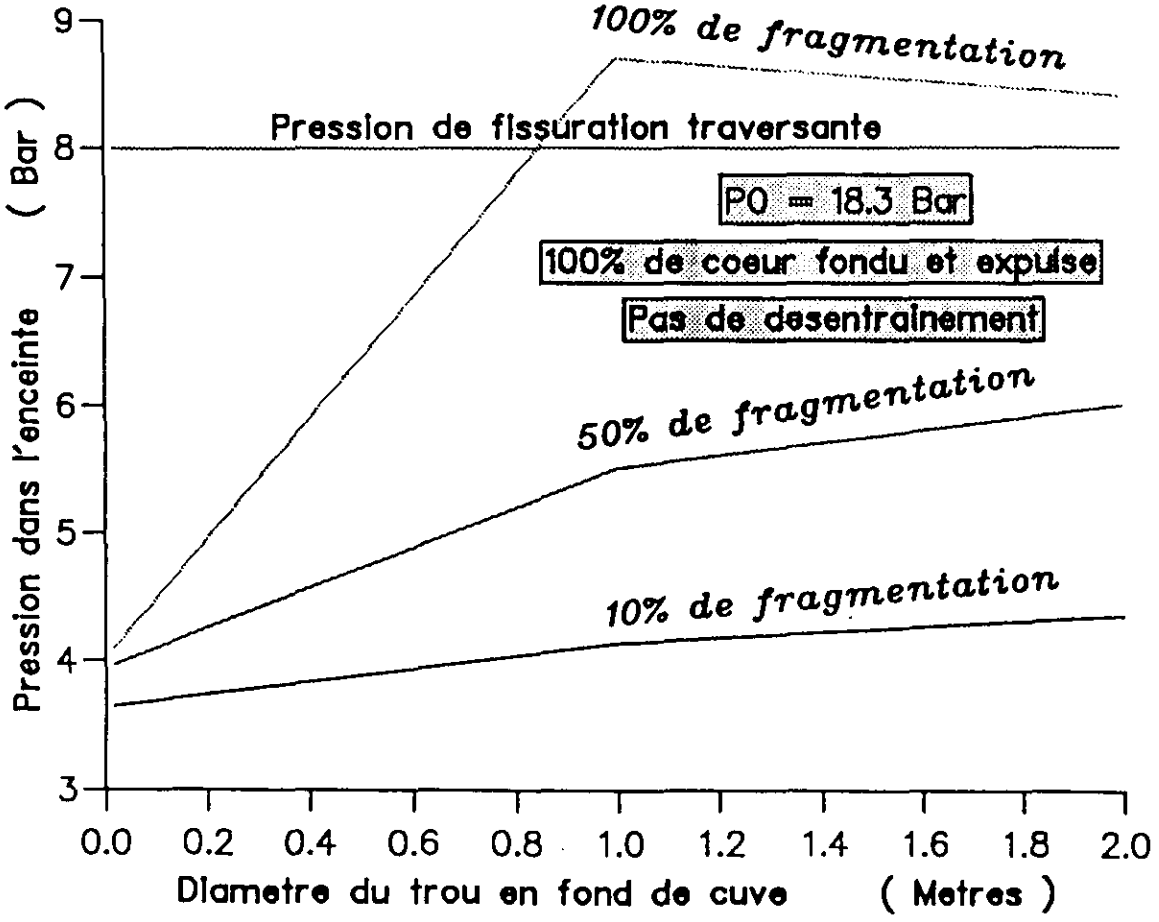
Phénoménologie
E[redacted] (1)

- **En cas de fusion à haute pression, la rupture de la cuve conduit à l'éjection du corium dans le puits de cuve**
  - Entraînement possible du corium hors du puits de cuve
  - Force de soulèvement de la cuve
- **Transfert thermique très rapide entre le corium fragmenté et l'atmosphère de l'enceinte**

=> Phénomène d'échauffement direct de l'enceinte (Direct Containment Heating : DCH)
  - Pics de pression et température dans l'enceinte
  - ☞ **Menace de perte de l'intégrité du confinement**

ETUDE D'UN TRANSITOIRE THERMOHYDRAULIQUE
DE REFERENCE : " H2 SANS IS "

RISQUE DCH (palier P'4)



Phénoménologie
Ejection de corium à haute pression - DCH (2)

- **L'échauffement direct de l'enceinte dépend de nombreux paramètres**
  - Pression à la rupture de la cuve
  - Evolution de la taille de la brèche en fond de cuve
  - Géométrie du bâtiment réacteur
  - Masse, température et composition du corium dans le plénum inférieur (dans une moindre mesure)
- **Augmentation du risque hydrogène**
  - Production d'hydrogène par oxydation des particules métalliques du corium
  - Risque d'initiation d'une combustion hydrogène
- **Enseignements de la R&D**
  - **Si la pression de rupture de cuve est inférieure à 20 bar, le confinement des REP n'estvraisemblablement pas menacé p le DCH**

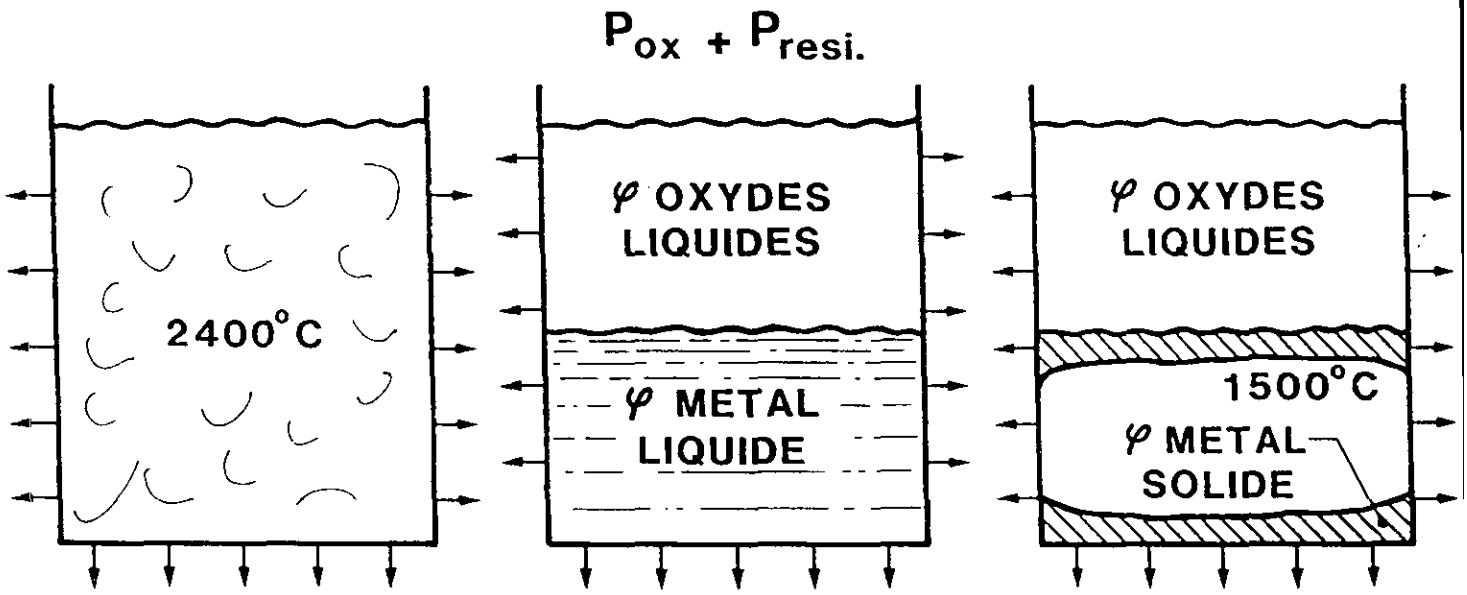
Phénoménologie
Interaction Corium-Béton (1)

- **Au contact avec le corium, dégradation et érosion verticale et latérale du béton, en deux phases**
- **Lors de l'érosion du béton, relâchement :**
  - De gaz oxydants : H_2O et de CO_2
  - D'oxydes légers : SiO_2, CaO,...
- **Influence de la nature du béton (siliceux ou silico-calcaire)**

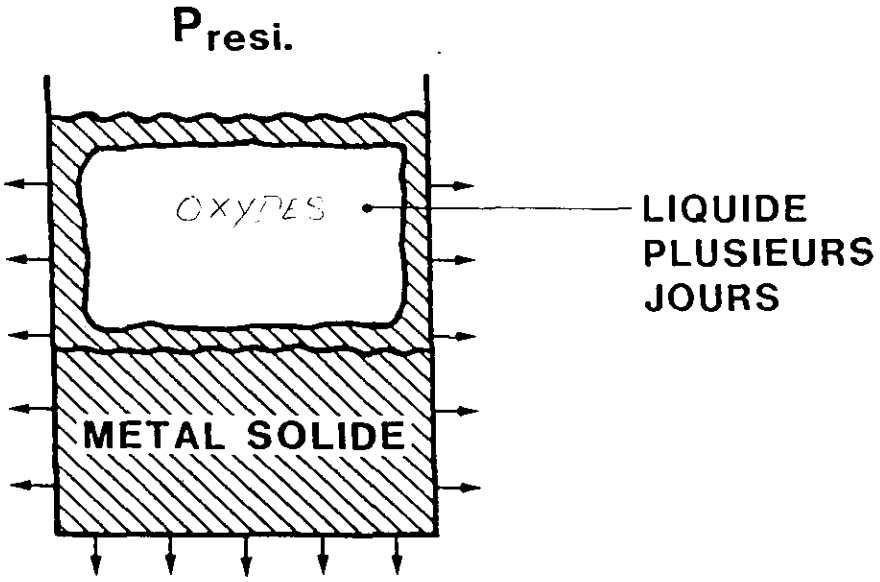
  Plus le béton est silico-calcaire, plus le relâchement de SiO_2 est faible et plus les relâchements de CO_2 et de CaO sont élevés

EDF–SEPTEN

LES 2 PHASES DE L'INTERACTION

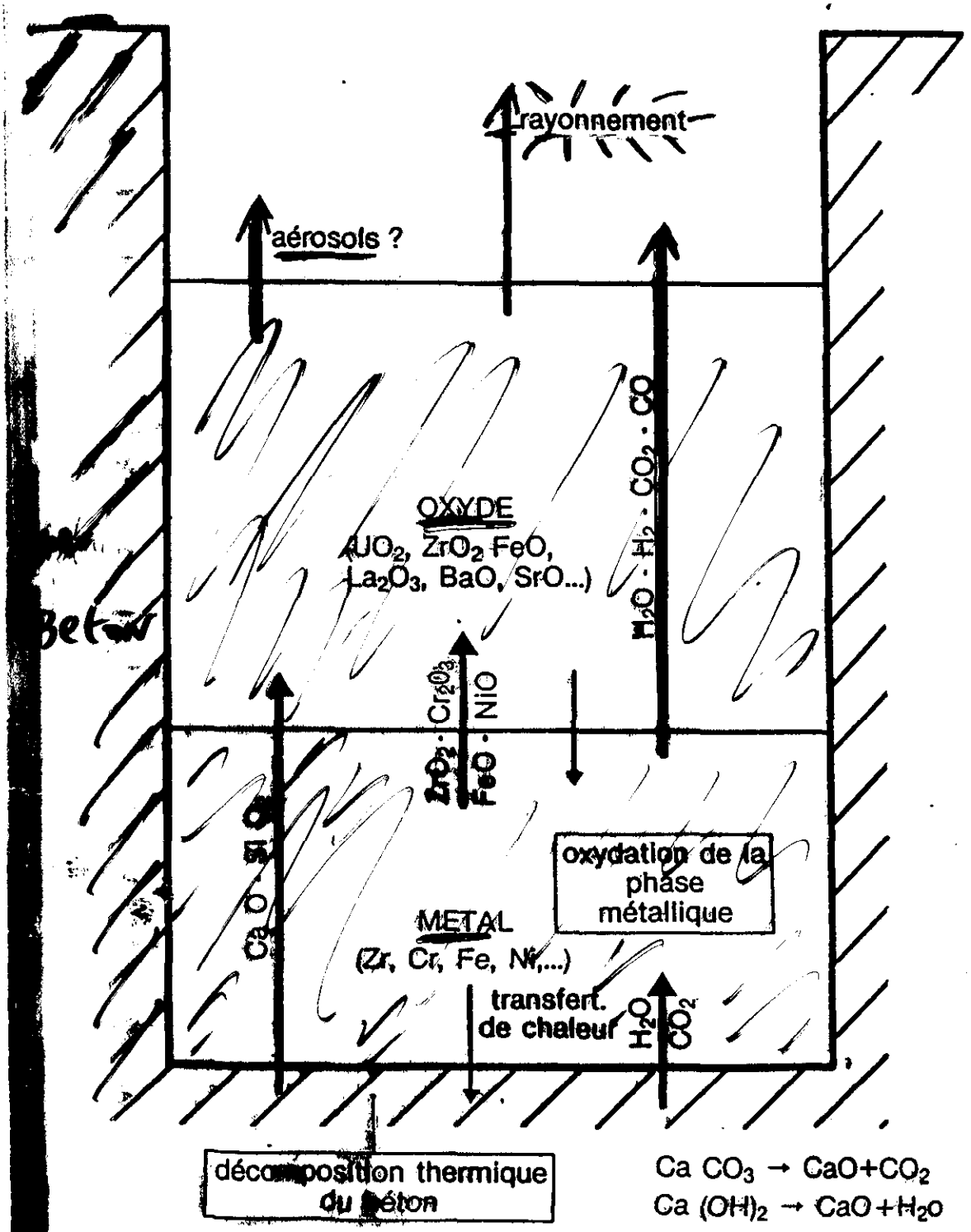


I - PHASE A HAUTE TEMPERATURE 2400°C ⟶ 1500°C



II - PHASE A BASSE TEMPERATURE ≃ 1500°C

INTERACTION CORIUM - BETON



$Ca\,CO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

$Ca\,(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$

Phénoménologie
Interaction Corium-Béton (2)

- **Phase court terme (2400 à 1500°C)**
  - ❒Mélange des oxydes du béton avec les oxydes du corium
    ⇒ Stratification : couche oxyde > couche métallique
  - ❒Réactions intenses d'oxydation entre les gaz H_2O et CO_2 et les métaux du corium (Zr et Cr, essentiellement)
    ⇒ Production de **gaz inflammables (H_2 et CO) dans l'enceinte**
  - ❒**Erosion rapide du béton : 0,5 à 1 m en ~1/2 heure (Estimation maximale)**

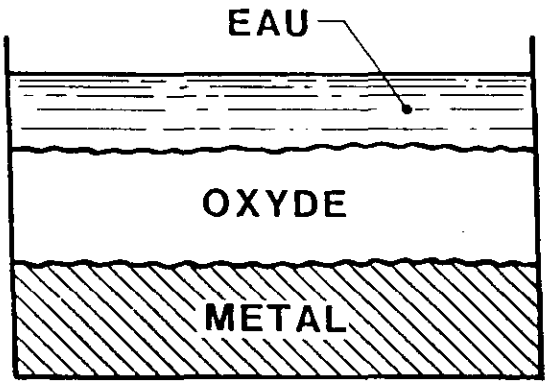
Phénoménologie
Interaction Corium-Béton (3)

- **Phase long terme (<1500°C)**
  - ❒Faible production de gaz
  - ❒Lente érosion du béton : qq cm par heure
  - **=> L'érosion complète du radier est estimée durer 4 jours pour une épaisseur de 4 m**

☞**L'efficacité du noyage du puits de cuve pour arrêter l'interaction Corium-Béton n'est pour l'instant pas démontrée**

EDF–SEPTEN

I.C.B AVEC CORIUM NOYE



DEUX "ECOLES"

EPRI + ...	IPSN, KFK + SEPTEN
Arrêt ICB si	Refroidissement du Corium non démonté
•CORIUM Etalé ≃ 60m REP 900	(∃ Expe. contradictoires)
•CORIUM Noyé rapidement	Représentativité ?

CORIUM Refroidissable ⟷ CORIUM Poreux Fissuré

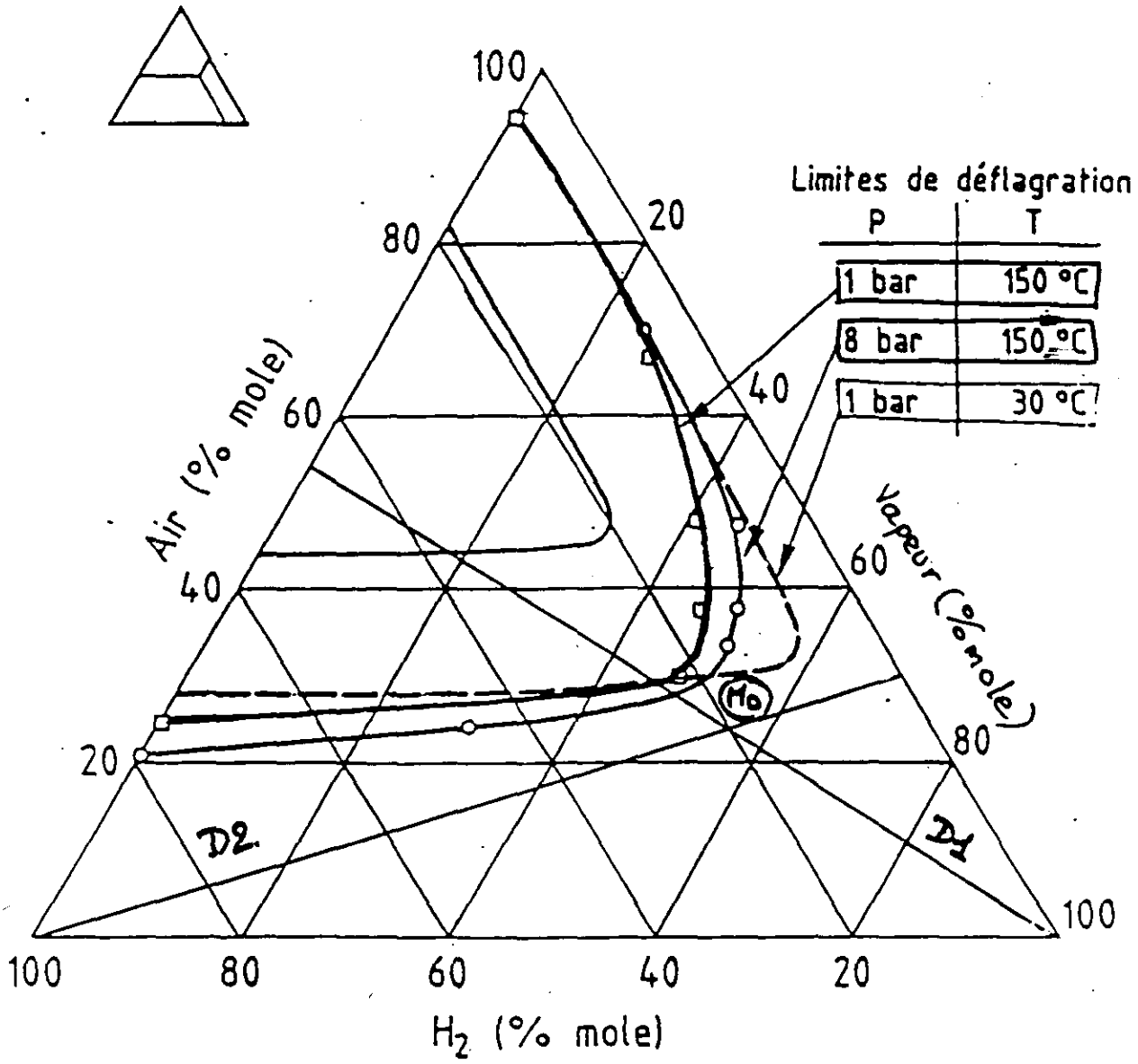
Exp MACE

Phénoménologie
Combustion d'H_2 (et de CO) (1)

- **D'où proviennent l'H_2 et le CO ?**
  - En cuve : **Oxydation des gaines (quantité maximale ~ 900 kg)**
  - Hors cuve : Interaction Corium Béton
- **Reactions très exothermiques H_2-O_2 et (CO-O_2)**
- **Différents régimes de combustion**
  - ***Déflagration*** : la plus probable, sans effet dynamique
  - ***Détonation*** : improbable (énergie d'initiation importante) mais conséquences dramatiques (**mode γ de défaillance du confinement**)
  - Transition possible de la déflagration à la détonation **(TDD)** par accélération de flamme

Phénoménologie
Combustion hydrogène (2)

- **Le régime de combustion dépend de la composition en gaz de l'atmosphère de l'enceinte**
  - Limite d'inflammabilité de l'H_2 prédite par le diagramme de Shapiro
  - La vapeur d'eau, pour l'H_2, et le gaz carbonique, pour le CO, agissent comme des inertants
  - ☞ **Le fonctionnement de l'EAS augmente le risque de combustion hydrogène (condensation de la vapeur)**
- **Conséquences**
  - Augmentation de pression et température dans l'enceinte
  - ☞**Risque de perte de l'intégrité du confinement (mode γ)**



Limites d'inflammabilité pour le mélange ternaire H_2 - H_2O - air

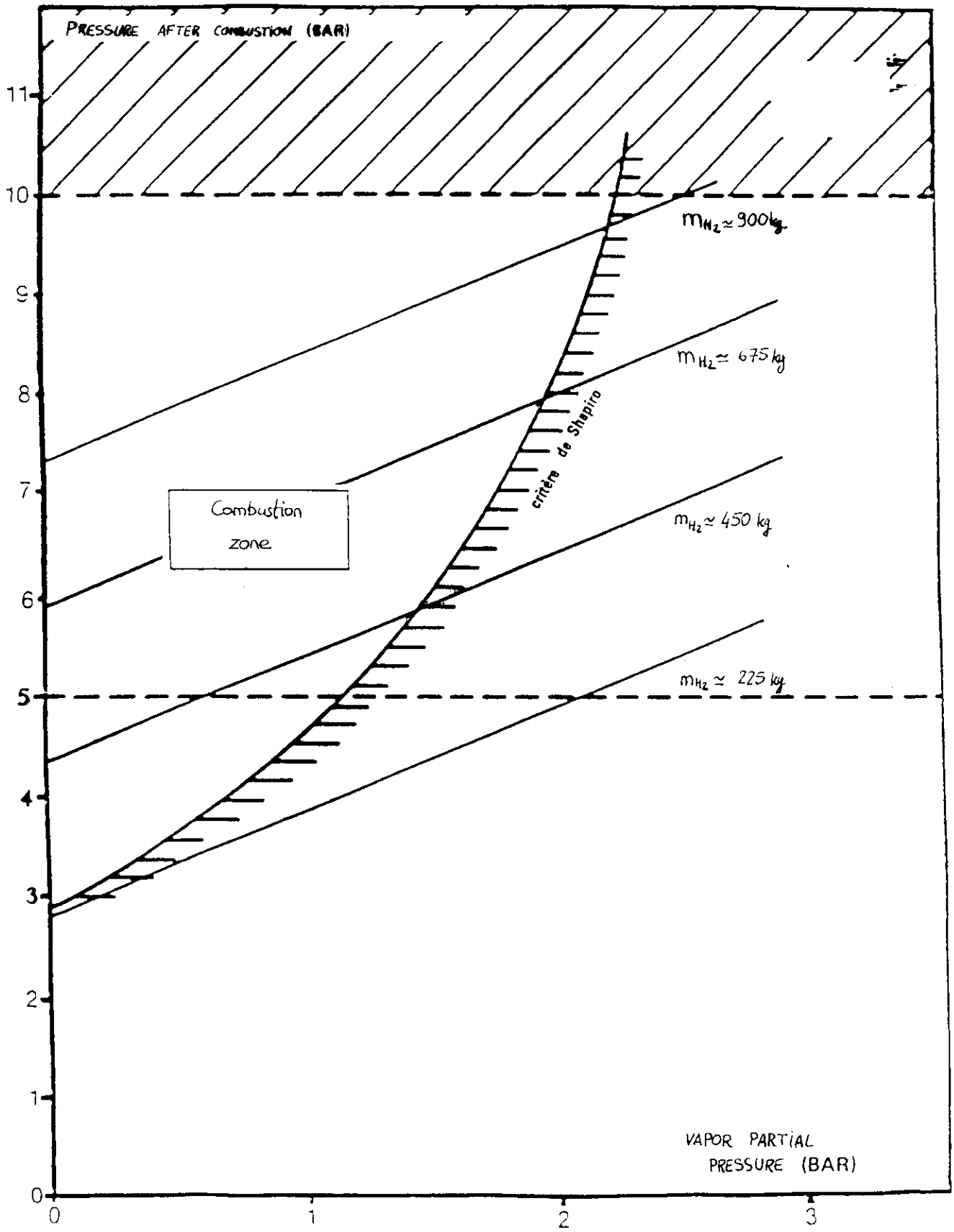
(DIAGRAMME DE SHAPIRO)

D1 : DEPLACEMENT DE Mo POUR $\begin{cases} m(H_2) = \text{cte} \\ m(\text{air}) = \text{cte} \\ m(H_2O) \text{ variable} \end{cases}$

D2 : DEPLACEMENT DE Mo POUR $\begin{cases} m(\text{air}) = \text{cte} \\ m(H_2O) = \text{cte} \\ m(H_2) \text{ variable} \end{cases}$

HYDROGEN COMBUSTION

Reactor building Volume ~ 50 000 m³



Phénoménologie
Défaillance du confinement (1)

- **Classification (Rapport WASH 1400 - Rasmussen- 1975)**
  ⇒ **Cinq modes de défaillance du confinement**
  - **Mode** α : effet missile consécutif à explosion vapeur
  - **Mode** β : défaut d 'étanchéité du confinement
  - **Mode** γ : pressurisation de l 'enceinte due à combustion hydrogène
  - **Mode** δ : pressurisation excessive de l 'enceinte
  - **Mode** ε : erosion et percée du radier
- **A ces cinq modes, il faut rajouter :**
  - Le by-pass direct de l'enceinte par cumul RTV+RTGV
  - La perte d'intégrité de l'enceinte par DCH

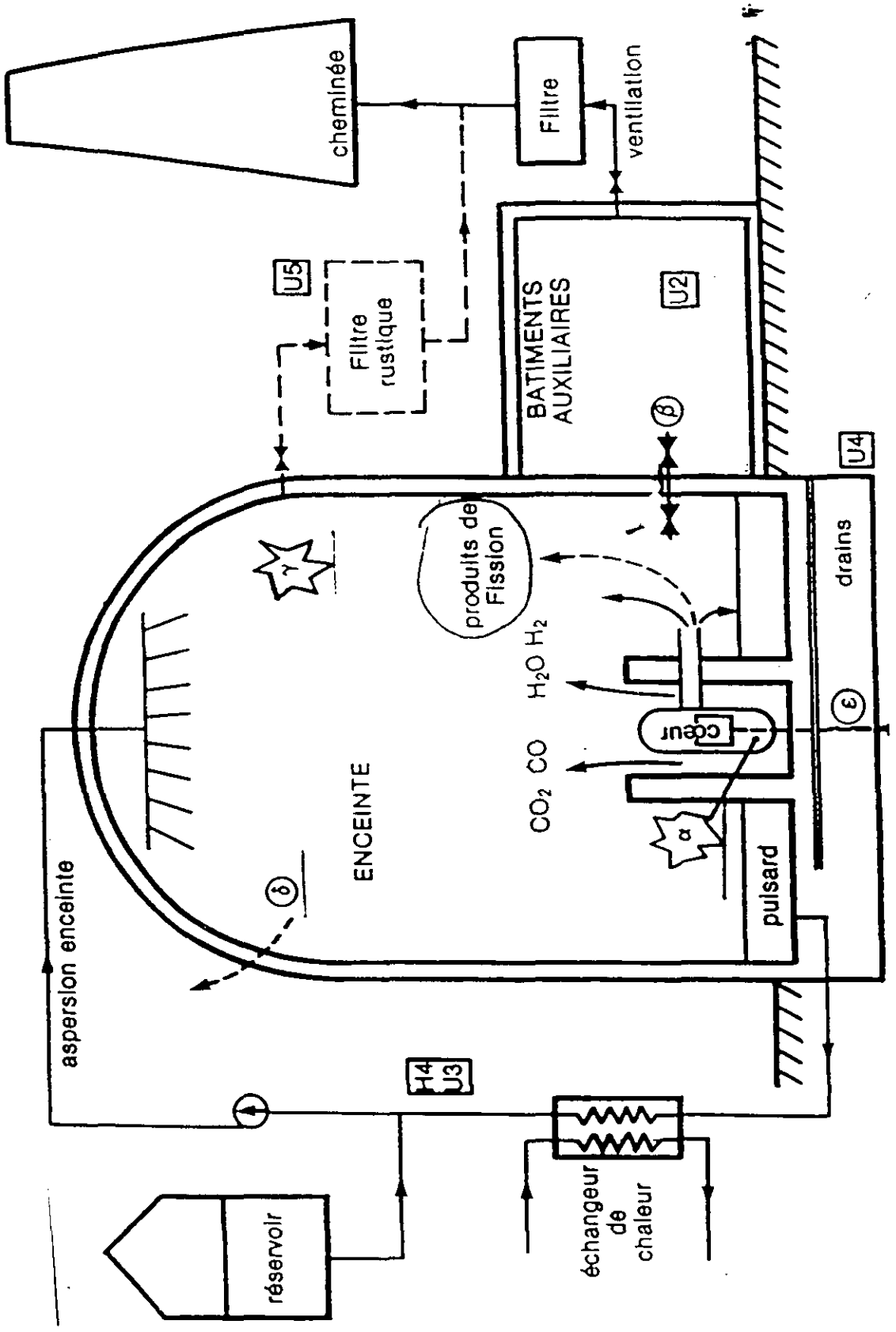
Phénoménologie
Défaillance du confinement (2)

- **Pour éviter les rejets précoces (terme S1)**
  - Les **modes** α, β **et** γ identifiés par Rasmussen et les pertes du confinement par cumul RTV+RTGV et DCH doivent être **proscrits**
- **Pour limiter les rejets sous le terme S3**
  - les **modes** δ **et** ε doivent être **limités**

DEFAILLANCE DU CONFINEMENT

ANALYSE DE RASMUSSEN (WASH 1400 - 1975)

Mode α : Explosion vapeur
Mode β : Fuite initiale
Mode γ : Combustion d'hydrogène
Mode δ : Surpression Lente
Mode ε : Percée du radier



Phénoménologie
Comportement des Produits de Fission (1)

- **Rejets dans l'environnement en plusieurs étapes**
  - ❒Emission lors de la dégradation du cœur et de l'interaction corium-béton
  - ❒Transport et rétention dans le circuit primaire
  - ❒Transport dans l'enceinte
  - ❒Chemins de fuite à l'environnement (fuites directes/collectées)
- ***Emission du cœur***

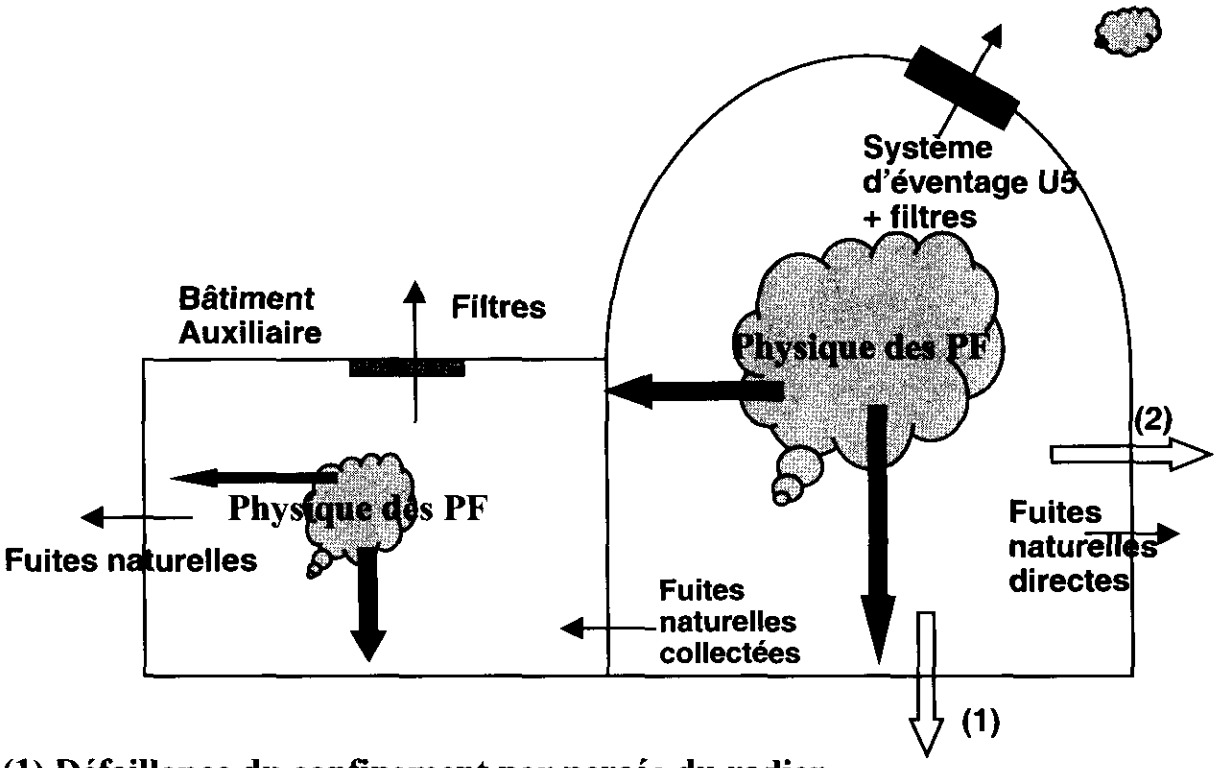
  Distinction entre :
  - ❒**Gaz rares (Xe, Kr) et PF volatils (I, Cs, ..)** : **100%** de l'inventaire initial cœur
  - ❒***Eléments semi-volatils*** (Te, Ba, Ag) : **~ 1 % à 10 %**
  - ❒**Eléments peu volatils** : **~ 0.1 à 1 %**

Phénoménologie
Comportement des Produits de Fission (2)

- **Evolution des PF dans l'enceinte**

  Elle dépend de :
  - ❒**Phénomènes de rétention**
    - ✱Sédimentation, Impaction, Condensation, Solidification, Thermo/Diffusiophorese
  - ❒**Phénomène de réémission**
    - ✱Radiolyse dans les puisards, Evaporation, Resuspension, Réchauffement, Réactions chimiques (Iode)
- **Le fonctionnement de l'aspersion est un moyen très efficace de réduction de la concentration en PF aérosols dans l'enceinte**

[redacted]



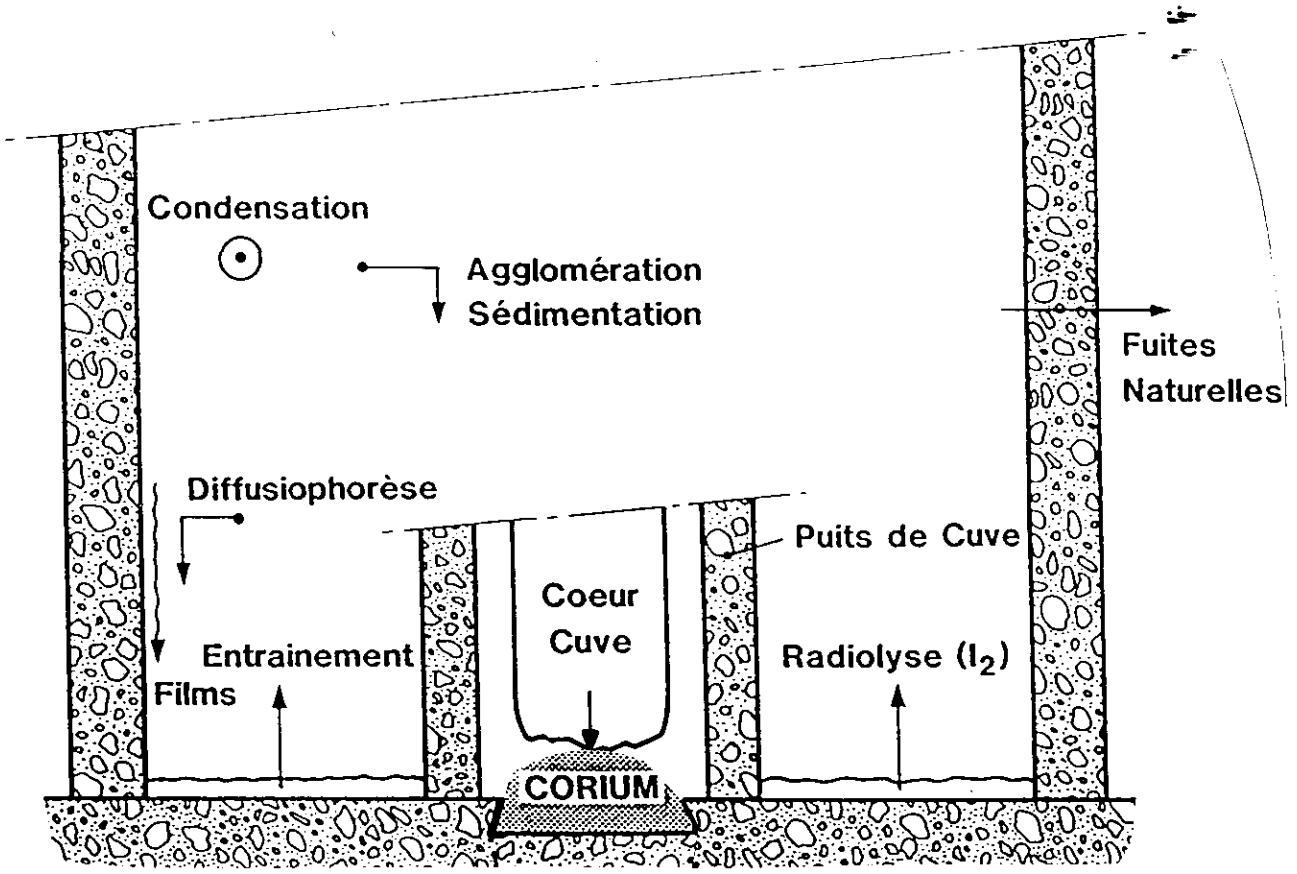
(1) Défaillance du confinement par percée du radier

(2) Défaillance du confinement par fuite induite

EDF PÔLE INDUSTRIE (EDF INDUSTRY)
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES (BASIC DESIGN DEPARTMENT)

EDF
Electricité de France

COMPORTEMENT DES PRODUITS DE FISSION AEROSOLS DANS L'ENCEINTE



Effets favorables :

- Sédimentation
- Agglomération
- Diffusiophorèse
- Thermophorèse
- Condensation

Effets défavorables :

- Fuites naturelles
- Radiolyse
- Entrainement
- Réactions chimiques

Phénoménologie
Comportement des Produits de Fission (3)

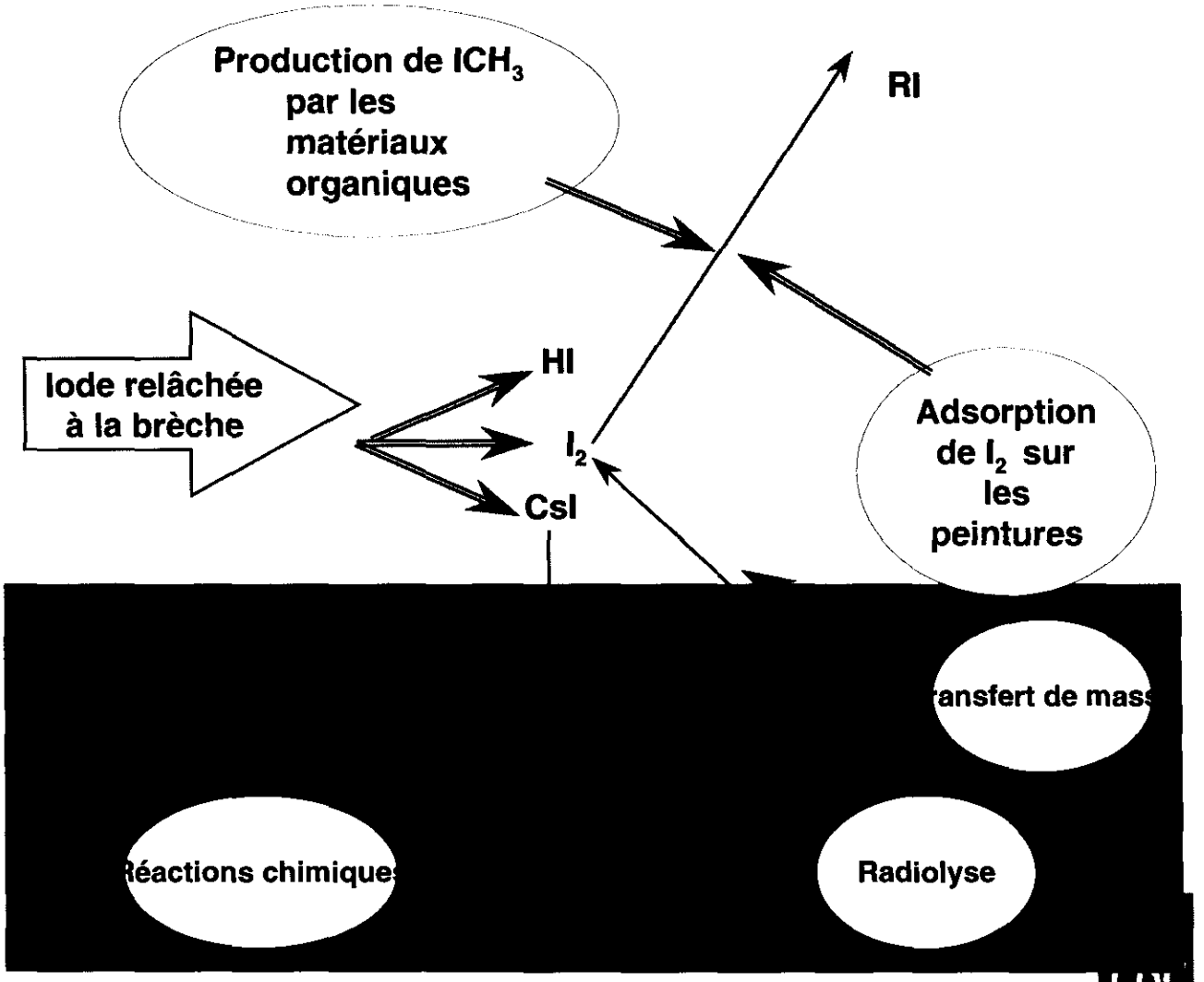
- **Gaz rares (Xe, Kr)**
  - ❒Insensibles à rétention et filtration
- **Aérosols - Petites particules liquides ou solides (Cs, Te)**
  - ❒Sensibles à la sédimentation et autres phénomènes de rétention
- **Cas particulier du comportement de l'iode**
  - ❒Forme majoritaire aérosol (**CsI, AgI**,...)
  - ❒*Forme moléculaire* I_2 : *comportement assimilable à un aérosol*
  - ❒Forme organique **ICH3** : faibles proportions - insensible à la rétention sauf à des filtres spécifiques
  - ❒Absorption par les peintures (I_2) ou dissolution dans les puisards (CsI) => Transferts et réactions chimiques entre formes, dépendant de la radiolyse, du pH ou de la présence d'Ag dans les puisards

Phénoménologie
Comportement des Produits de Fission (4)

- **Relâchement des PF dans l'environnement**

  Influence de :
  - ❒**Systèmes de ventilation et de filtration**
  - ❒**Chemins de fuites**
    - ✱Fuites directes
    - ✱Fuites indirectes via BAN et EEE (1300, N4)
  - ❒**Défaillances du confinement**
  - ❒**Ouverture du système d'éventage de l'enceinte U5**

[redacted]



EDF PÔLE INDUSTRIE (EDF INDUSTRY)
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES (BASIC DESIGN DEPARTMENT)

EDF
Electricité de France

Contexte réglementaire
Absence de démarche générique

- **Le domaine des AG se singularise par** :
  - Absence de réglementation initiale
  - Complexité de la phénoménologie => Base de connaissance incomplète, évolutive et entachée d'incertitudes
  - Multitude de configurations physiques et risques à évaluer
  - Difficulté de définir des accidents enveloppe
- **Enjeu commun : tolérabilité des conséquences radiologiques <=> rester sous S3**
- **Démarche d'étude**
  - Traitement des problèmes soulevés au cas par cas
  - Débat de sûreté et démarche spécifique à chaque pays

Contexte réglementaire
Exemple américain

- **Traitement des AG par la NRC dans le cadre des IPE (Individual Plant Examination)**, sur la base d'études probabilistes (PRA)
- **Compromis coût-bénéfice** => modifications matérielles limitées compte tenu de la faible probabilité d'occurrence
- **Maintien de moyens de recherches (financement NRC, EPRI, chaudiéristes)** pour faire progresser les connaissances et les modélisations, en support de l'évaluation des risques et de leurs conséquences

Contexte réglementaire
Situation en France

- **Refus de l'AS de traiter le risque AG avec des objectifs uniquement probabilistes**

  => Caractère enveloppe et conservatif de la démarche d'analyse

- **Un critère d'acceptabilité reconnu**
  - **Compatibilité avec l'application du PPI**
  - **En pratique, le terme source doit rester inférieur à S3 et le confinement maintenu pendant au moins 24 heures**
- **Imposition par la DSIN à EDF d'une démarche d'amélioration continue**
  - **Traitement des risques les plus importants même si peu probables**

Améliorations apportées
Conduite de l'installation en AG

- **Mise en place des procédures ultimes (post TMI)**
  - **U1** : Sauvegarde du cœur (dépressurisation primaire / **risque DCH**)
  - **U2** : Surveillance du confinement (**mode** β)
  - **U3** : Matériels mobiles de secours RIS et EAS à long terme
  - **U4** : Aménagement visant à différer le bypass enceinte par percée du radier (**mode** ε)
  - **U5** : Eventage et filtration de l'enceinte (**mode** δ)
- **Traitement des AG dans le cadre de l'Organisation Nationale de Crise (ONC), sur la base de documents guide**
  - **GIAG :** Guide de Gestion des Accidents Graves
  - **GAEC :** Guide d'Action des Equipes de Crises, volets « Confinement » et « Systèmes »

Améliorations apportées
Modifications matérielles

- **Mise en place du système d'éventage U5**
- **Implantation de recombineurs catalytiques**
  Prévue sur tous les REP (échéance 2005 pour P'4) pour traiter le risque H2 (**mode** γ)
- **Mise en place d'une instrumentation dédiée à la détection et à la gestion des AG**
  - Mesures de niveaux GV, pression enceinte, hydrogènemètre
  - Qualification aux conditions AG : P&T, irradiation
- **Changement prévu des boulons du tampon matériel** => augmentation de la pression d'ouverture du système U5

Améliorations apportées
Tendances pour les REP futurs

- **Prise en compte du risque AG à la conception**
- **Dispositifs de prévention**
  - Echangeurs sur le système RIS (EPR)
  - Réservoir PTR à l'intérieur de l'enceinte (EPR)
  - Automatisation de procédures (EPR)
  - Systèmes de sauvegarde passifs (AP600)
- **Moyens de mitigation**
  - Rétention passive du corium en cuve (AP600)
  - Soupapes de dépressurisation du primaire dédiées aux AG (EPR)
  - Recombineurs d'hydrogène (EPR)
  - Collecte du corium dans le puits de cuve puis étalement et noyage sous eau du corium dans un local dédié (EPR)

Dossiers en cours

- **Points abordés lors des précédents GP consacrés aux AG (GP n°4 en 1999-2000)**
  - Risques de fusion en pression
  - Risque hydrogène
  - Instrumentation pour la gestion de l'accident
  - Comportement des matériels en situation AG
- **Etudes en cours**
  - Dimensionnement des recombineurs
  - Réévaluation du terme source **S3** (évolution des connaissances)
  - Réalisation de l'EPS de niveau 2 (présentation interne mi-2000)

☞ **Large utilisation, avec amélioration continue, du code MAAP (EPRI) de simulation globale des accidents graves par EDF**

☞ **Prise en compte du REX du programme AG de R&D**

Questions ouvertes

- **Renoyage du cœur dégradé** : stabilité des structures, production de vapeur et H_2
- **Modes de formation du corium**
- **Interaction corium-eau** : Caractère non explosif de l'interaction en conditions réacteur
- **Comportement des PF** : chimie de l'iode, relâchement des PF peu volatils
- **Echauffement direct de l'enceinte** : Confirmation du maintien de l'intégrité du confinement pour une rupture de cuve sous 20 bars
- **Interaction corium-béton** : refroidissement du corium par noyage du puits de cuve

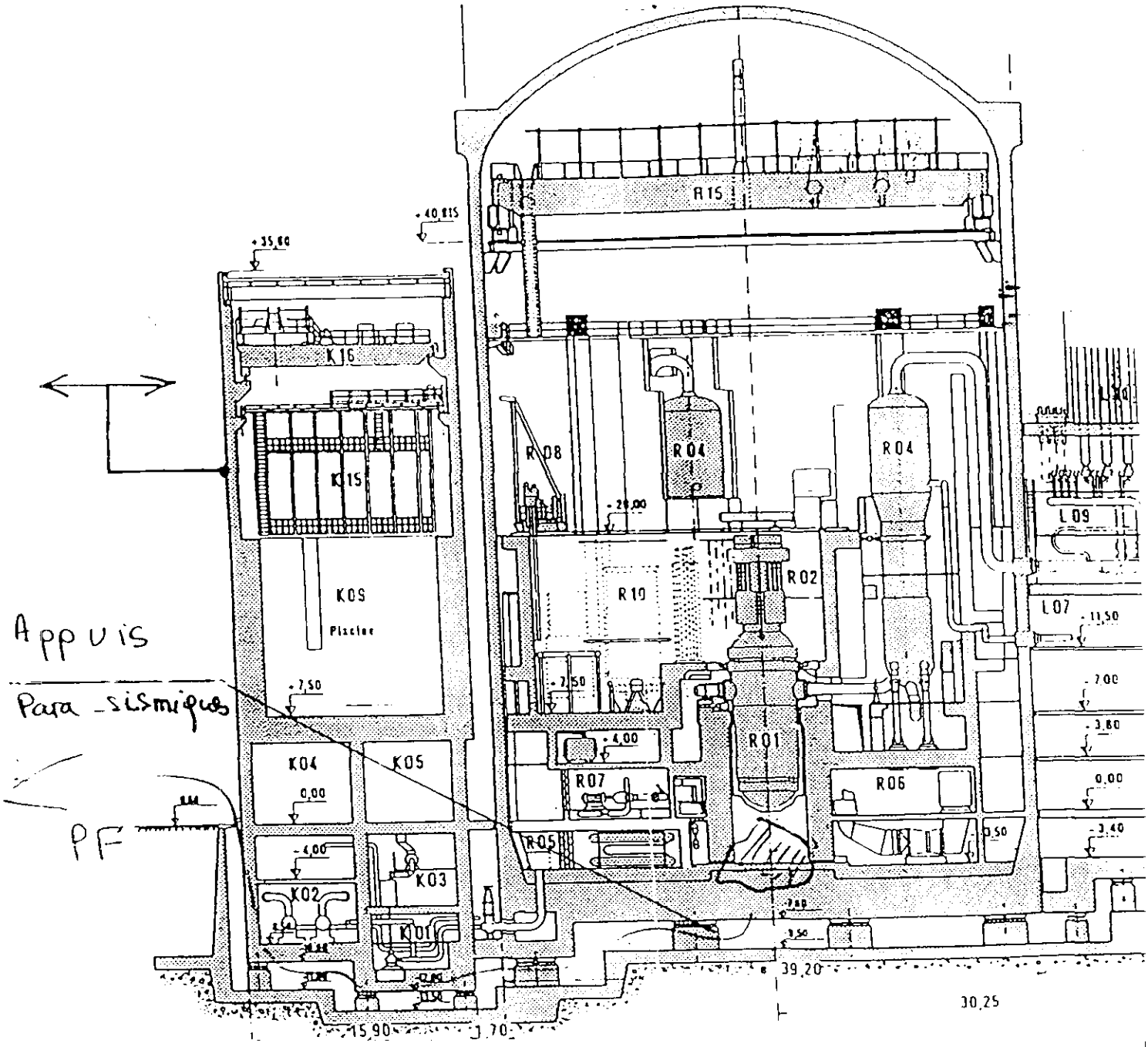
Etude de cas : U4 à CRUAS
Particularité de CRUAS

- **CNPE de CRUAS : 4 réacteurs CP2 à 8 km de Montélimar sur un site sismique**
- **Dispositions préventives**
  - ❒Enceinte renforcée : (Pdim = 6 Bar)
  - ❒Radier Spécifique (plots antisismiques - Cave)

☹**En cas d'accident grave avec percée du radier, risque de rejets directs à l'atmosphère sans filtration par le sol (efficacité 10 à 100)**

Etude de cas : U4 à CRUAS
Historique du dossier (1)

- **1981** : Premier examen du problème avec l 'AS
  - ⇨**Installation d'un cendrier**
- **1984/1985** : Mise en exploitation
- **26/03/86** : Cendrier accepté par SCSIN
- **Fin 1986** : Doute du DAS/ rayon de percement du radier et effet de pression dans l 'enceinte
- **16/06/87** : Demande SCSIN pour fin 1987 de l'étude d'un confinement de la cave étanche à 5 bar et fusible au séisme
- **03/1989** : réponse EDF - Dispositif non strictement **nécessaire**
- **27/10/90** : Demande DSIN de proposition EDF d'une solution pour fin 1991 - Sinon **Arrêt du CPN**

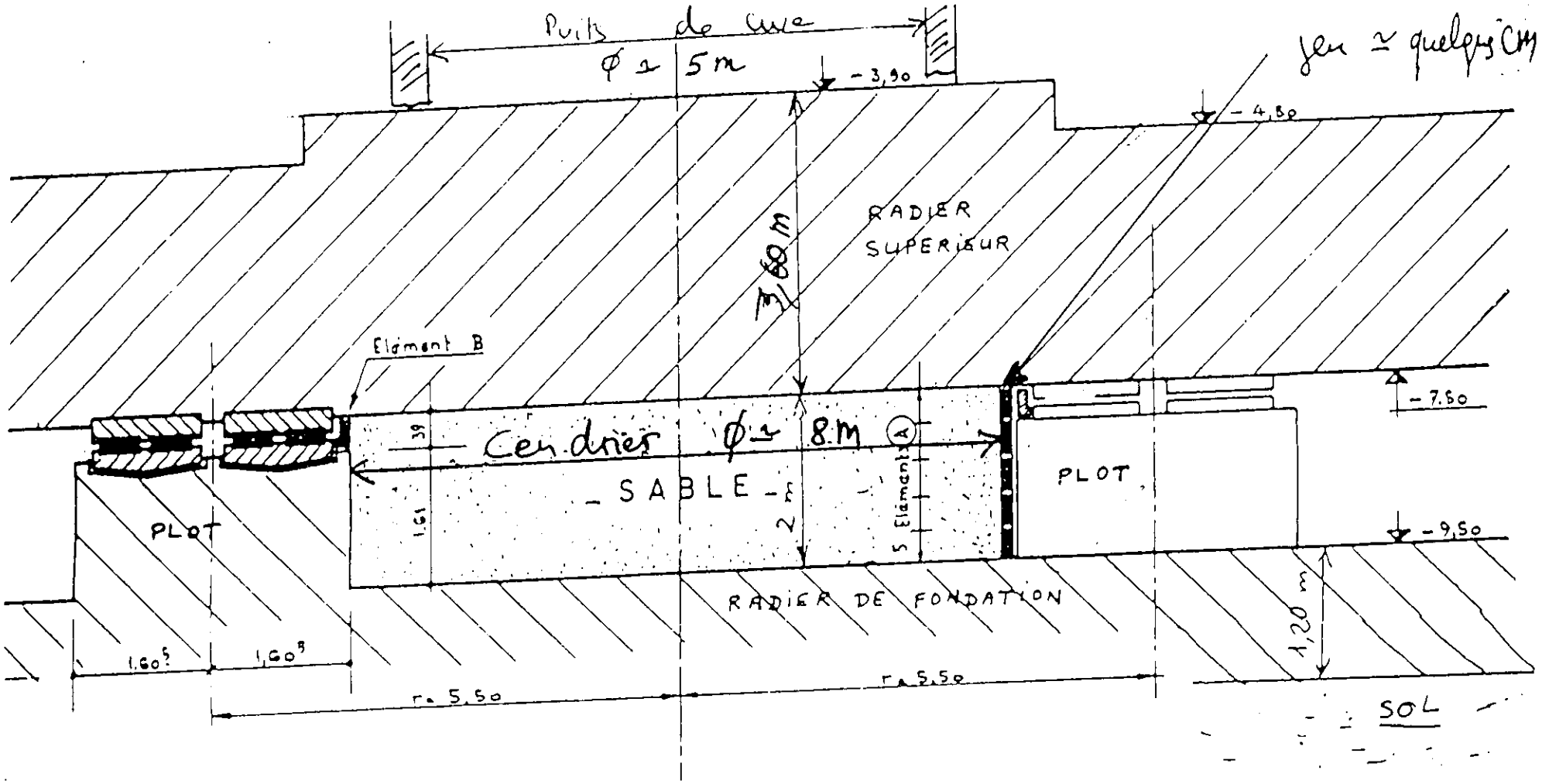


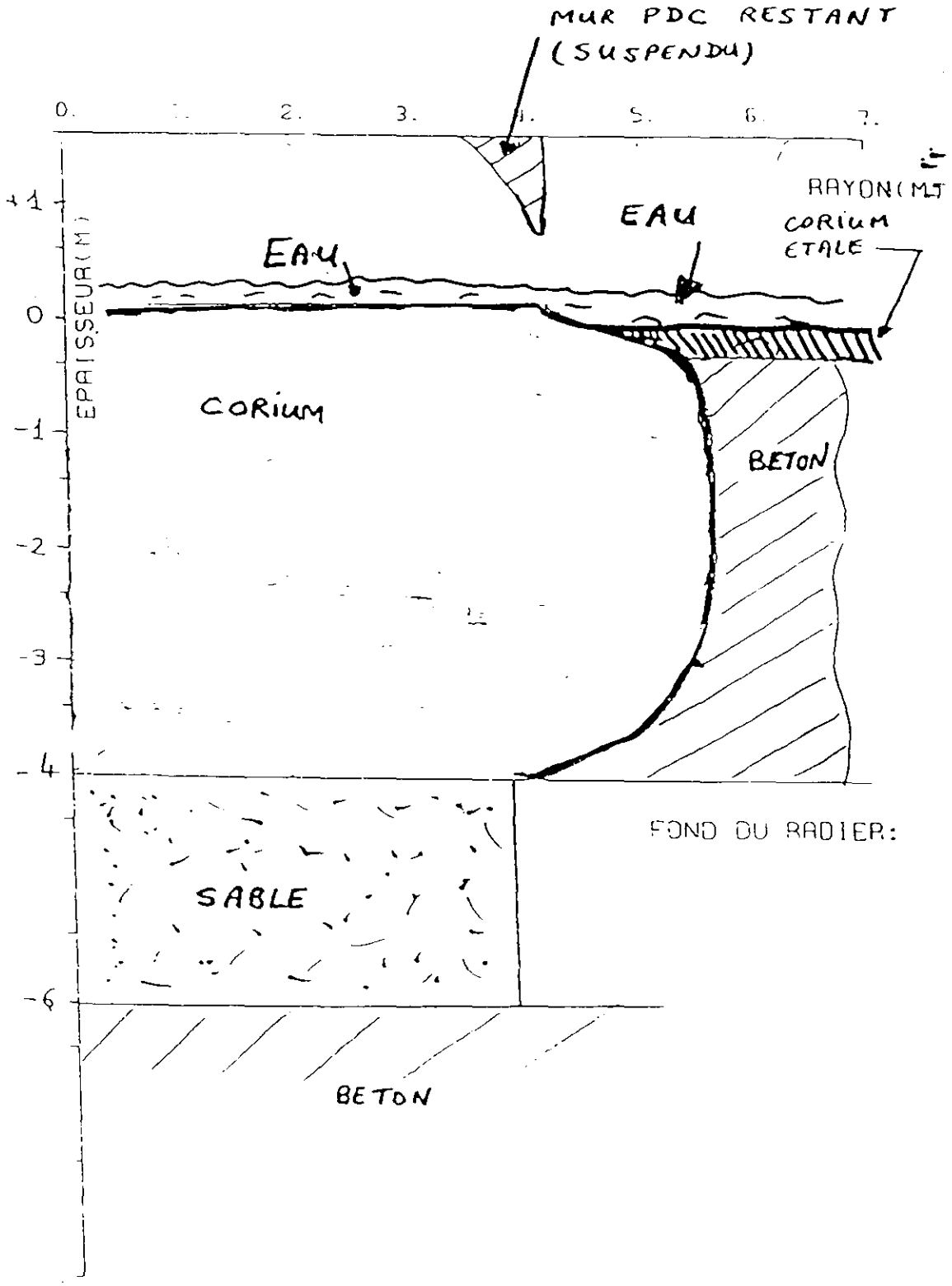
En cas d' accident **très très grave:**

INTERACTION CORIUM BETON

-----> Percement du radier ?

-----> Rejets Directs: **Sans filtration par le sol**
(efficacité 10 à 1000)


Puits de cuve
φ ≃ 5m
jeu ≃ quelques cm
-3,90
-4,80
-7,50
-9,50
RADIER SUPERIEUR
3,60 m
Elément B
Cendrier φ ≃ 8m
SABLE
PLOT
PLOT
5 Eléments
RADIER DE FONDATION
1,20 m
1,60
1,60
r = 5,50
r = 5,50
SOL


MUR PDC RESTANT
(SUSPENDU)
0.
2.
3.
5.
6.
7.
RAYON (M)
+1
0
-1
-2
-3
-4
-6
EPAISSEUR (M)
EAU
EAU
CORIUM
ETALE
CORIUM
BETON
FOND DU RADIER:
SABLE
BETON

Etude de cas : U4 à CRUAS
Historique du dossier (2)

- **Solution de principe définie le 14/06/1991**
  - ❒Mur avec joint souple
  - ❒20 MF pour les 4 tranches
- **Mais est-ce la bonne solution ?**
  - ❒Etat des connaissances évolutif
  - ❒Expérience du cendrier

➔Réalisation d'études complémentaires

Etude de cas : U4 à CRUAS
Etude de rejets (1)

- **Scénario accidentel**
  - ❒ Perte totale et prolongée du refroidissement du combustible et de l'enceinte après APRP (perte RIS et EAS)
  - ❒ Evénements et hypothèses caractéristiques
    - ✱ Fusion du cœur (émission PF) : 1 h
    - ✱ Percée de la cuve : X h
    - ✱ Pressurisation enceinte (U5) : 1 j
    - ✱ Non rabattement PF
    - ✱ Non injection de soude
    - ✱ Erosion et percement du radier : 3 j

☹Il s'agit d'un scénario très pénalisant pour le terme source

Etude de cas : U4 à CRUAS
Etude de rejets (2)

- **Trois phases d'évaluation**
  - **Phase 1** - Fuites normales avant percée
  - **Phase 2** - Bouffée au percement : Rejets volumiques, entraînement par décompression
  - **Phase 3** - Rejets après percée du radier : Radiolyse, Entraînement par ébullition
- **Résultats d'étude**

  Les rejets sont acceptables (< S3) si :
  - **Puisards basiques** (production I2 limitée)
  - **Décompression lente de l'enceinte** (pas de bouffée au percement)
  - **PF dilués dans une grande quantité d'eau basique dans la cave**

EDF PÔLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

STAGE « SURETE A LA CONCEPTION » - SFP LA PEROLLIERE

Etude de cas : U4 à CRUAS
Solution retenue (1)

- **Solution idéale**
  - Assure la maîtrise des rejets
  - Faible coût
  - Ne pénalise pas les cas moins graves
- **Solutions envisagées**
  - **R&D sans action immédiate** : rejetée par la DSIN
  - **Mur d'étanchéité dans la cave** : en réserve
  - **Noyage complet de la cave et du puits de cuve + injection complémentaire de soude + dépressurisation de l'enceinte avant percement**

  => Solution retenue par EDF

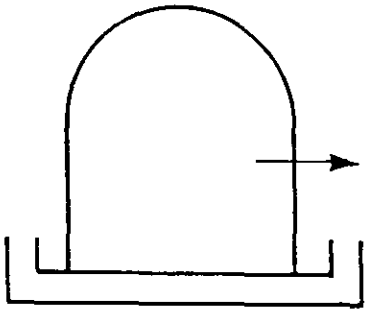
EDF PÔLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

STAGE « SURETE A LA CONCEPTION » - SFP LA PEROLLIERE

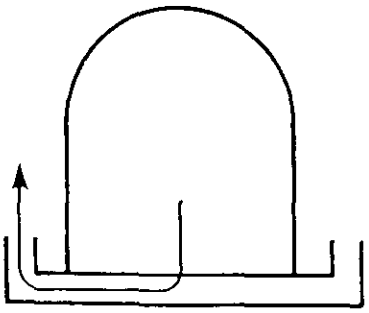
ETUDE DE REJETS

3 PHASES D'EVALUATION

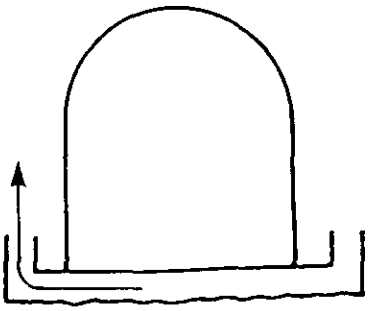
1ère : Fuites "normales" avant percée



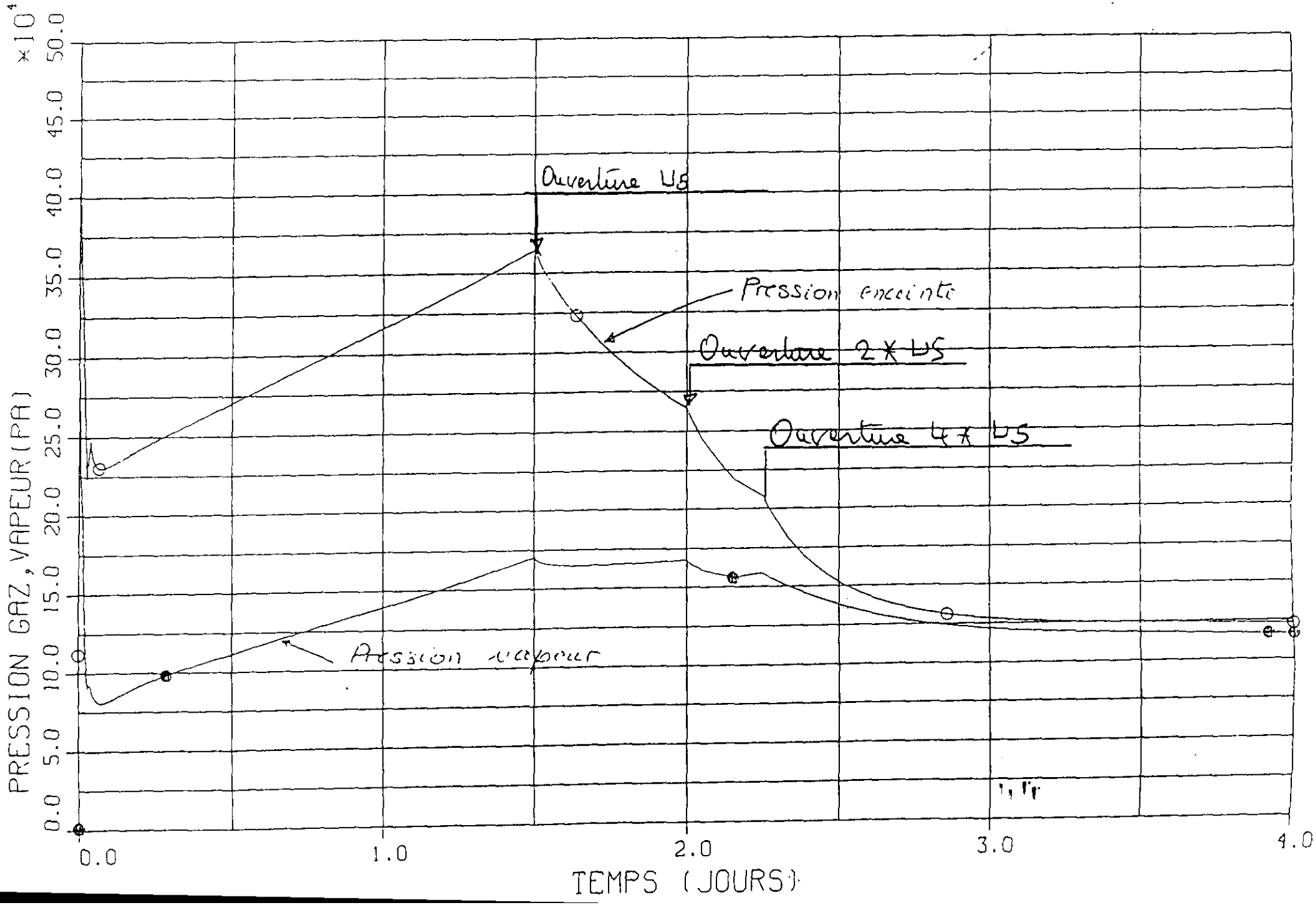
2ème : "Bouffée" au percement :
- Rejet volumique
- Entrainement par décompression



3ème : Rejets après percée du radier :
- Radiolyse
- Entrainement par ébullition



OUVERT.U5 A 1.5J,2×U5 A 2J,4×U5 A 2.5J

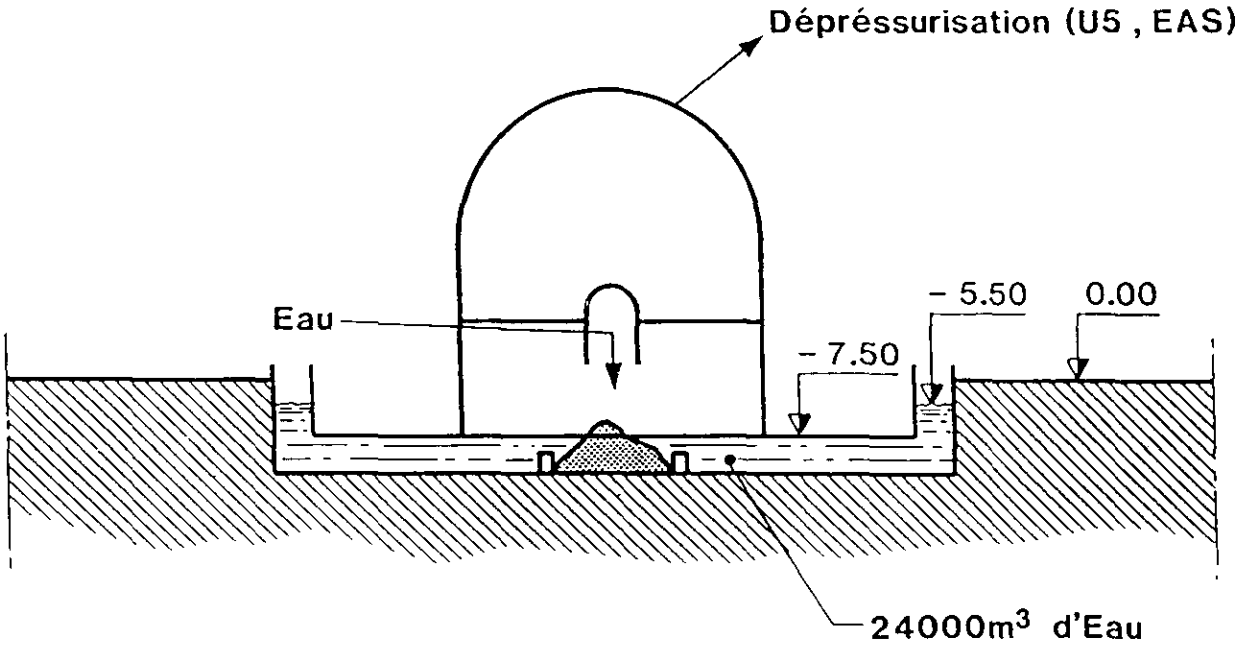


EDF–SEPTEN

SOLUTION AVEC NOYAGE DE LA CAVE ET DU PUITS DE CUVE

+

DEPRESSURISATION ENCEINTE



PRINCIPE :

Avant percée du radier :

- Injection de soude dans BR
- Injection d'eau dans cave et puits de cuve
- Dépressurisation enceinte par modification du circuit U5

Etude de cas : U4 à CRUAS
Solution retenue (2)

- **Avantages**
  - Rejets tolérables (< S3) : radiolyse faible, forte dilution et filtration des PF par l'eau
  - Autonomie en eau de plusieurs mois après remplissage - Appoint requis à long terme ~ 5 kg/s
  - Pas d'agression thermique du deuxième radier (T< 100°C)
  - Décompression préalable de l'enceinte : percement lent du radier
  - *Coût modéré : l'essentiel des dispositions est pris après l'accident* (Remplissage par réseau incendie, 5 m3 de soude à 50 %)
- **Inconvénients**
  - Volume d'eau contaminée très important (24000 m3) - Décontamination techniquement possible
  - Débit de dose sur site important mais gérable

Synthèse

- **Spécificité du domaine des accident graves**
  - Absence de référentiel sûreté
  - Base de connaissance incomplète et évolutive
  - ☞ Il restera toujours des questions ouvertes
- **Objectif unique**
  - **Maintenir le terme source < S3**
  - Pour y parvenir, priorité à donner à la maîtrise du confinement
- **Démarche d'analyse de sûreté spécifique en France**
  - Maintien d efforts suffisants en R&D AG (intégrer l'état de l'art)
  - Réalisation d'études avec des codes scénarios permettant d'identifier **les risques les plus probables** et de définir la **couverture de ces risques par des stratégies de conduite et modifications matérielles**

EDF PÔLE INDUSTRIE

SERVICE ÉTUDES ET PROJETS
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

EDF
Electricité de France

BORDEREAU DE DIFFUSION

Diffusé le (voir code barres ci-dessus)

Référence du document diffusé : **E-N-T-TH/99-00370 B** Page : 1/1

Titre du document diffusé : **« Démarche Sûreté à la Conception » - Thème 16 « Accidents Graves »**

Emetteur : **O. WEBER** Département : T Poste : 75 74

Division : TH

Suite à donner : "/" pour action, "o" pour info.

Diffusion Septen	Commentaire	Nombre de copies du bordereau seul	Nombre de documents complets ou partiels	
Direction				
Département Théorie	4 premières pages	1		
Département Système et Installation				
Département Matériels				
Département Sûreté Nucléaire (si la note est IPS)	4 premières pages	1		
SN : MM MORANGE, GOETTER	Document complet	2		
Département Combustible				
Chef de projet concerné (préciser)				
Chef de l'entité rédactrice : M. LAMBERT	*Document complet*	1		
Ingénieur rédacteur	Document complet	1		
Pôle Fonds Documentaire (FDE si IPS)				
TH : MM DUMONTET, DROULAS, RANVAL, BACHERE , Mlle DUPLAT	Document complet	5		
FP	4 premières pages	1		

Diffusion EDF :	Commentaire			
DPN/UNIPE : Mme DELAMARE	Document complet	1		

Diffusion hors EDF :	Commentaire			
SFP/CF La Perollière : M. MAYER	Document complet	1		

Nombre total de documents (partiels et complets) : **14**

Nombre total de copies du bordereau seul :

Ce document est archivé au FDU avec le document diffusé

Approbateur		
Nom	Date	Visa
M. LAMBERT	14/01/01	

12-14, AVENUE DUTRIÉVOZ - 69628 VILLEURBANNE CEDEX - FRANCE - TÉL. : 04 72 82 77 77 - FAX : 04 72 82 70 00

ENTREPRISE CERTIFIÉE ISO 9001 PAR L'AFAQ (certificat N°QUAL/1999/11 616) - EDF - RCS PARIS B 552 081 317