



INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

DEPARTEMENT D'ANALYSE DE SURETE



INIS-XA-N--088

RAPPORT DAS/755

SURETE DE L'ENTREPOSAGE SOUS EAU DES ELEMENTS
COMBUSTIBLES IRRADIES DE L'ETABLISSEMENT DE LA
HAGUE.

GUEZENEC J.Y.*

*IAEA SEMINAR ON SPENT FUEL STORAGE : SAFETY,
ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL ASPECTS.
Vienne, 8-12 octobre, 1990.*

RAPPORT DAS/755

SURETE DE L'ENTREPOSAGE SOUS EAU DES ELEMENTS
COMBUSTIBLES IRRADIES DE L'ETABLISSEMENT DE LA
HAGUE.

GUEZENEC J.Y.*

IAEA SEMINAR ON SPENT FUEL STORAGE : SAFETY,
ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL ASPECTS.
Vienne, 8-12 octobre, 1990.

* DAS/SASLU

Décembre 1990



RESUME

Les combustibles irradiés en attente de retraitement sont entreposés à l'établissement de La Hague dans des piscines dont le fluide est refroidi et épuré en permanence pour maintenir la température, et la pollution radioactive et chimique de l'eau inférieures à des limites préalablement fixées.

Le premier problème de sûreté se pose lors des manutentions des emballages de transport préalables au déchargement des éléments combustibles. L'ouverture des emballages sous eau est pratiquée dans certaines installations. La plus nouvelle, l'atelier To, met en oeuvre le déchargement à sec qui permet de minimiser les risques liés à d'éventuelles chutes d'emballage ainsi que le dépôt de contamination externe sur les ailettes de refroidissement des emballages.

Les autres principaux problèmes de sûreté sont liés au risque de criticité, à la perte éventuelle des circuits de refroidissement et aux conséquences d'événements externes tels que le séisme pour lesquels des dispositions particulières ont été adoptées pour que la probabilité d'occurrence d'accidents aux conséquences importantes soit inférieure à 10^{-7} /an.

Sont également à signaler les risques de détérioration d'assemblages combustibles lors d'éventuelles chutes ou chocs et les possibilités de détérioration du confinement de la piscine, pour lesquels des dispositions de prévention et de surveillance ont été prises.

1/ INTRODUCTION

Les plus récentes piscines de stockage de combustible irradié construites à La Hague dans le cadre des extensions UP3-A et UP2-800, les piscines C, D, E ont des capacités actuelles qui correspondent respectivement à 2000, 4000, 2400 tonnes d'uranium métal initial. Ces capacités pourraient être augmentées par 'densification' des éléments combustibles.

Les puissances maximales sont respectivement 8, 16 et 10 MW. La représentation schématique est donnée figure 1. L'ensemble de ces piscines est associé à l'atelier To de déchargement à sec et sert à alimenter l'atelier T1 (cisailage-dissolution de l'usine UP3-A).

Il est également possible de faire passer des paniers d'éléments combustibles depuis la piscine C vers la piscine NPH ; cette dernière sera directement reliée à l'atelier R1 (cisailage-dissolution de l'usine UP2-800). Le transfert entre les deux piscines se fait par un ascenseur à doubles rampes inclinées : le "saut de puce".

2/ DECHARGEMENT A SEC

L'atelier TO assurera le déchargement des emballages de transport de combustible irradié provenant des réacteurs à eau légère pressurisés et bouillants au rythme de 800 tonnes par an.

La méthode de déchargement mise en oeuvre jusqu'à présent à l'établissement de La Hague était exclusivement la reprise des assemblages sous eau à partir d'un emballage immergé (cas des ateliers NPH et HAO/Nord).

Cette méthode de déchargement, bien que maîtrisée comme en témoigne une expérience de près de 20 ans, a cependant quelques désavantages. Elle nécessite des précautions particulières pour éviter une excessive contamination externe des emballages et des opérations corrélatives de décontamination ; ceci conduit à installer autour de l'emballage une jupe de protection souple ou rigide avant son immersion dans la piscine de déchargement. Ces opérations pénalisent l'exploitation et les manipulations supplémentaires de la charge qui en résultent accroissent le risque de chute.

Le déchargement sous eau conduit à manutentionner, à une hauteur d'une dizaine de mètres, un emballage lourd (130 t) avec un couvercle partiellement débridé dans certaines situations. Les aspects de sûreté de ces opérations ont été examinés et le risque résiduel sur l'atelier NPH a été réduit à des niveaux acceptables grâce à :

- l'installation en fond de piscine de déchargement d'un matelas amortisseur qui évite les détériorations du génie civil en cas de chute,
- l'installation de deux batardeaux entre la piscine de déchargement et la piscine de stockage de combustible pour contenir les effets de l'onde de pression lors d'une chute d'emballage,
- l'amélioration de la fiabilité du pont de manutention de telle sorte que la probabilité d'une chute lors des manutentions soit inférieure à 10^{-5} /an.

Dans le cas de l'atelier To de déchargement à sec, l'emballage ne survole aucune zone sensible. Il a été démontré, par ailleurs, par des essais sur maquette, que lorsque les capots amortisseurs de l'emballage ont été enlevés, opération qui est réalisée à l'entrée dans l'atelier, une chute depuis la plus grande hauteur de manutention ne compromet pas le confinement de l'emballage lui-même.

L'expérience indique en outre de bons résultats obtenus à To pour la limitation de la contamination externe des emballages.

Les autres situations accidentelles plausibles pouvant survenir lors du déchargement à sec sont :

- . la perte du refroidissement d'un emballage (puissance maximale 85 kW), notamment quand les boulons du couvercle sont dévissés, aux divers postes qu'il occupe en position verticale à l'intérieur de l'atelier To,
- . la chute d'un assemblage combustible dans la cellule de déchargement, où l'on refroidit les assemblages dans des puits en eau avant de les charger dans des paniers pour le stockage en piscine.

La première situation est maîtrisée du fait de la fiabilité de l'alimentation électrique associée aux délais importants disponibles avant d'atteindre une température excessive sur l'emballage, les murs des cellules ou le combustible.

La deuxième situation conduit à des rejets radioactifs gazeux d'ampleur limitée.

3/ DESCRIPTION D'UNE PISCINE

Exemple de la piscine D

Cet atelier jouxte, à l'Ouest, l'atelier T0.

Le bassin de stockage, qui peut recevoir 737 paniers, est en communication :

- avec l'atelier T0, par un canal (2 navettes de transfert),
- avec l'atelier T1 par deux canaux de transfert,
- avec les ateliers piscine C et piscine E par des canaux de transfert équipés de chariots immergés.

Tous ces canaux peuvent être isolés par des batardeaux.

Le bassin de stockage a une longueur de 82,6 m et une largeur de 16,6 m. Sa profondeur est de 10,6 m, la hauteur d'eau est de 9 m. Il est entièrement recouvert d'un cuvelage en acier inoxydable.

Un pont perche, d'une capacité de 120 kN, permet la manutention des paniers de stockage (figure 2) et dessert les différentes installations mécaniques implantées dans les canaux précédemment cités. Ce pont est télécommandé depuis une salle de commande commune à l'ensemble atelier T0 et piscines C, D, E. Les opérations de stockage et déstockage de paniers étant entièrement automatiques.

Le traitement des eaux de la piscine est assuré par 6 échangeurs immergés qui permettent d'assurer la filtration et l'épuration de l'eau sur des cartouches échangeuses d'ions.

Le système de refroidissement constitué d'échangeurs immergés et d'une centrale de refroidissement externe permet d'évacuer 16 MW dans les conditions nominales.

Le hall du bassin de stockage est équipé d'un pont de 120 kN pour la manutention des divers équipements de la piscine (notamment les échangeurs, les batardeaux et les éléments démontables du pont-perche pour leur entretien). L'utilisation de ce pont fait l'objet de consignes très strictes pour limiter le risque de chute de charges lourdes dans la piscine et notamment sur les paniers contenant des assemblages combustibles. La consigne impose avant tout survol de paniers par une charge, l'examen de la situation par l'ingénieur critiqueur de l'établissement.

4/ ANALYSE DE LA SURETE D'UN STOCKAGE EN PISCINE

4.1. Approche de sûreté

Les accidents potentiels sont classés en trois niveaux (figure 3) suivant leurs conséquences radiologiques et leurs probabilités :

- les accidents qui ont des conséquences pour la personne la plus exposée du public supérieures au seuil S1 (S1 est égal à 30 fois la limite réglementaire de la dose annuelle soit $S1 = 0,15 \text{ Sv}$).

Des dispositions de construction doivent être prises pour que les accidents de cette ampleur aient une fréquence d'occurrence inférieure à 10^{-7} /an, par famille d'événement et par atelier.

- les accidents dont les conséquences radiologiques pour la personne la plus exposée du public sont comprises entre S1 et S2 (S2 étant égal à 1 fois la limite réglementaire de la dose annuelle soit 5 mSv). Il doit être démontré que la fréquence d'occurrence de ces accidents est inférieure à 10^{-5} par an, par famille d'événement et par atelier.
- Les accidents dont les conséquences radiologiques pour la personne la plus exposée du public sont comprises entre S2 et S3 (S3 étant égal à 0,1 fois la limite réglementaire de la dose annuelle). Il doit être démontré que la fréquence d'occurrence de ces accidents est inférieure à 10^{-3} par an, par famille d'événement et par atelier.

Les scénarios accidentels dont la probabilité est inférieure à 10^{-7} /an sont considérés comme hors dimensionnement. Toutefois, certains scénarios de ce type font l'objet de procédures d'urgence décrites dans le plan d'urgence interne (PUI) et, dans certains cas, de quelques dispositions constructives.

4.2. La première barrière : la gaine du combustible

4.2.1. Dégradation progressive des gaines

Il existe une expérience globale dans le monde qui garantit pendant une vingtaine d'années au moins, l'absence de dégradation des gaines en zircaloy stockées. Il a été convenu de manière conservatoire pour les problèmes de corrosion de limiter les concentrations en Cl^- , F^- , SO_4^{--} dans l'eau de piscine à la valeur de 0,15 mg/l.

4.2.2. Dégradation accidentelle des gaines

La rupture des gaines peut provenir de chutes de charges sur les paniers ou de chutes de paniers ou encore de chocs entre des paniers au cours de la manutention.

La prévention des ruptures de gaines repose sur la capacité des paniers à résister aux chocs et sur la limitation de l'énergie des chocs possibles. Les dispositions constructives adoptées sont les suivantes :

- ceintures amortisseuses sur les paniers, vérin de levage des paniers verrouillé même en cas de rupture de canalisation d'huile, limitation de la hauteur de manutention des paniers, vitesse de déplacement horizontal des paniers pleins limitée à 2,8 m/minute, système de limitation d'effort de la perche de manutention sur le panier ;
- la hauteur maximale de manutention des paniers (limitation mécanique) est de 1 m. Lors des manutentions normales, le panier n'est soulevé que de 15 cm. Les évaluations par le calcul ont montré qu'en cas de chute, un panier n'était, ni endommagé, ni source de détérioration du cuvelage de la piscine si la hauteur de chute est inférieure à 1,20 m.

Les dispositifs de conduite du pont-perche qui manutentionne les paniers ont été particulièrement étudiés pour éviter les chocs : ils mettent en oeuvre deux systèmes de conduite, le système de conduite normal qui traite l'ensemble des informations et

actions nécessaires à l'exploitation et le système de conduite de sécurité qui apporte, pour certaines mesures et actions, une redondance par rapport au système de conduite normal.

A l'égard des chocs entre la charge transportée par le pont-perche et les obstacles en piscine, il existe trois niveaux de protection :

- . l'arrêt du mouvement par les codeurs de position et les verrouillages du système de conduite normal,
- . l'arrêt du mouvement par les codeurs de position et les verrouillages du système de conduite de sécurité,
- . l'arrêt du mouvement par un détecteur d'obstacles (structure métallique entourant la partie supérieure du panier qui s'incline par rapport à la verticale par interaction avec un obstacle en actionnant des capteurs). Les informations et les actions du détecteur d'obstacles sont traitées par le système de conduite normal.

Les conséquences de ruptures accidentelles de gaines ont été évaluées. En cas de rupture sous eau de l'ensemble des aiguilles d'un assemblage combustible une partie du ^{85}Kr contenu dans les gaines serait libérée dans le hall. On a calculé que dans ces conditions, si le personnel présent dans le hall y séjournait pendant 10 minutes, il recevrait un équivalent de dose de l'ordre de 0,4 mSv.

4.2.3. Le risque de criticité

La configuration géométrique et les matériaux constitutifs des paniers de stockage garantissent la sous-criticité pour des assemblages non irradiés (chemise d'acier boré contenant 10 mg/cm² de bore naturel dans les alvéoles des paniers de stockage des assemblages REP) et en conséquence des spécifications techniques précises sont imposées à l'enrichissement de l'uranium des assemblages combustibles autorisés à y être stockés.

Ces caractéristiques sont rappelées ci-après.

Pour les assemblages provenant des réacteurs à eau sous pression :

- section maximale du faisceau de crayons combustibles (19,7 x 19,7) cm² : enrichissement en ^{235}U de l'uranium avant irradiation inférieur ou égal à 3,7 %,
- section maximale du faisceau de crayons combustibles (21,4 x 21,4) cm² : enrichissement en ^{235}U de l'uranium avant irradiation inférieur ou égal à 3,5 %,
- section maximale du faisceau de crayons combustibles (23 x 23) cm² : enrichissement en ^{235}U de l'uranium avant irradiation inférieur ou égal à 3,3 %.

Pour les assemblages provenant des réacteurs à eau bouillante :

- section maximale du faisceau de crayons combustibles (13,45 x 13,45) cm² : enrichissement en ^{235}U de l'uranium avant irradiation inférieur ou égal à 3,5 %.

Les assemblages dont l'enrichissement dépasse ces valeurs ne peuvent être stockés en piscine qu'après accord, au cas par cas, des autorités de sûreté.

Pour faire face à l'augmentation du taux d'enrichissement, il est envisagé de modifier ces caractéristiques et de porter les limites d'enrichissement à 3,75 % et 3,55 % respectivement pour les assemblages de section (21,4 x 21,4) cm² et (23 x 23) cm² à condition qu'un contrôle d'irradiation indique que ces assemblages ont subi un cycle complet d'irradiation en réacteur. Ce contrôle vient compléter les informations figurant sur la fiche suiveuse qui rappellent l'histoire de l'assemblage combustible.

L'atteinte d'un état critique peut provenir d'une déformation des alvéoles d'un panier. A titre indicatif, une configuration comportant trois assemblages combustibles enrichis à 3,5 % et irradiés à 16 000 MWjt/t⁻¹, placés côte à côte, réfléchis par 20 cm d'eau d'une part et 60 cm de béton d'autre part, conduit à un keff de 1,023. Ceci permet de prendre conscience de l'importance des précautions à prendre pour éviter toute sortie des assemblages combustibles hors des paniers.

Les mesures de prévention d'un tel accident sont les mêmes que celles qui sont mises en place pour éviter les chutes et les chocs comme cela a été exposé précédemment.

En outre, la prévention du risque de criticité repose sur la présence obligatoire d'un couvercle verrouillé sur le panier. C'est une garantie de non sortie des assemblages combustibles hors du panier en cas de renversement de celui-ci.

Les conséquences d'un accident de criticité en piscine n'ont pas été évaluées de manière précise. On estime toutefois qu'une excursion critique en piscine aurait des conséquences importantes sur le personnel éventuellement présent dans le hall de la piscine. Rappelons toutefois que, normalement, pour les piscines C, D, E, les opérations de manutention des paniers se font automatiquement à distance sans que cela nécessite la présence de personnel dans le hall de la piscine.

Compte tenu de la conception du stockage et des dispositions de prévention adoptées, un tel accident est considéré comme hors dimensionnement.

4.2.4. Chute d'un objet lourd sur un panier

Dans certaines piscines, il existe un pont de maintenance (120 à 200 kN) pour manutentionner des équipements comme les échangeurs, les batardeaux.

Ce pont de maintenance peut dans certains cas être utilisé en même temps que le pont-perche. Dans ces situations, assez peu fréquentes, la prévention des accidents repose sur des consignes qui imposent que :

- le pont-perche soit conduit en local par un opérateur embarqué,
- le pont-perche ne transporte que des paniers vides.

Pour d'autres opérations, le pont-perche pourra être maintenu en position de garage par consigne .

Dans les documents d'exploitation, des consignes interdisent le survol des paniers remplis d'éléments combustibles. En cas de dérogation, après analyse de sûreté notamment par l'ingénieur critique de l'établissement, des mesures spécifiques sont prises au cas par cas.

4.3. Barrière entourant l'eau de piscine

L'eau de la piscine est maintenue à une activité volumique très basse, de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$ Ci/m³, par des systèmes d'épuration intégrés (Nymphéas ioniques).

L'origine de la radioactivité est essentiellement le cobalt 60. Les combustibles défectueux sont stockés dans des "bouteilles" semi-étanches qui empêchent notamment au ¹³⁷Cs de contaminer la piscine.

Une rupture de confinement (béton et cuvelage) de la piscine, avec passage de l'eau dans la nappe phréatique, constitue un accident de faible importance (rejet de l'ordre de S3) mais dont les conséquences ultérieures du fait de l'échauffement du combustible pourraient être importantes.

Il n'existe pas d'évènement initiateur interne à l'atelier capable de mettre en danger le confinement de la piscine (perçement du béton de structure et de la peau d'étanchéité).

Cette situation, qui conduit au dénoyage des éléments combustibles est un accident de probabilité inférieure à 10^{-7} /an et ne pourrait se produire que dans des situations très exceptionnelles telles que :

- un séisme d'intensité supérieure au SMS,
- une chute d'avion de gros tonnage (la probabilité de cette chute est estimée très inférieure à 10^{-7} /an),

Les mesures pouvant être appliquées dans une telle éventualité pour limiter les conséquences radiologiques sont envisagées dans le cadre du plan d'urgence interne.

A l'égard des petites fuites du cuvelage, qui sont possibles suite à un poinçonnement local, il faut noter que la conception des piscines C, D, E dont la partie inférieure du bassin est accessible, rend impossible le passage de l'eau dans l'environnement à l'insu de l'exploitant.

Il existe en outre sous le cuvelage en acier inoxydable un système de détection de fuite qui permet une localisation grossière de la fuite. Il est tout à fait possible d'envisager des réparations du cuvelage.

4.4. Permanence du refroidissement

La perte de refroidissement pendant une durée prolongée conduirait à l'ébullition de l'eau de la piscine, à l'assèchement complet de la piscine puis à une situation accidentelle analogue à celle résultant de la vidange brutale de la piscine par perte du confinement. Les conséquences seraient certainement supérieures au seuil S1. Il convient donc d'obtenir l'assurance que ce scénario accidentel a une probabilité inférieure à 10^{-7} par an.

Prenons comme exemple le cas de la piscine E, conçue pour évacuer une puissance de 10 MW.

4.4.1. Situation normale

En situation normale, l'évacuation de la puissance est obtenue (figure 4) :

- par 10 échangeurs thermiques "Nymphéa" immergés, équipés d'une moto-pompe à hélices assurant la circulation de l'eau de piscine dans un faisceau tubulaire d'échangeur,
- un circuit externe à la piscine (en surpression par rapport à la piscine) composé de deux collecteurs sur lesquels sont raccordées en parallèle les parties secondaires des échangeurs Nymphéas (5 par collecteur en situation normale). Ces deux collecteurs sont alimentés par une pompe unique (une pompe est en secours). Chaque collecteur est susceptible d'assurer le débit nécessaire pour les conditions normales d'évacuation de puissance,
- le circuit externe à la piscine est lui-même refroidi par 5 aéroréfrigérants en parallèle (2 ventilateurs par aéroréfrigérant) sur lesquels débitent les deux collecteurs.

Cet ensemble est dimensionné pour maintenir l'eau de la piscine à 40° C pour une température de l'atmosphère extérieure de 17° C et pour une puissance à évacuer de 10 MW (45° C si la température extérieure dépasse 17° C). Le circuit peut être relié aux circuits de refroidissement des piscines C et D par des tronçons de tuyauteries en attente.

Une boucle de régulation agit sur les ventilateurs des aéroréfrigérants (vitesse et nombre) pour maintenir la température de l'eau à la sortie de ceux-ci à 27° C.

Des vannes placées à chaque entrée et à chaque sortie d'échangeur et d'aéroréfrigérant permettent d'isoler un élément défaillant.

La protection contre le gel dans les bras morts du circuit externe est assurée par des circuits de traçage électrique et par "glycolage" permanent de l'eau du circuit.

4.4.2. Situations dégradées de fonctionnement

4.4.2.1. Conception de l'alimentation électrique

La fiabilité du refroidissement des piscines dépend en grande partie de la fiabilité de l'alimentation électrique.

Un soin particulier a été apporté à la conception et à la réalisation de l'alimentation électrique des nouvelles usines de La Hague notamment en ce qui concerne les systèmes importants pour la sûreté c'est-à-dire ceux dont la défaillance conduirait à terme à des conséquences supérieures au seuil S1.

L'alimentation en énergie électrique est conçue de la manière suivante (figure 5) :

- l'alimentation normale est assurée par deux lignes extérieures de 90 kV. La distribution de la puissance sur le site est assurée par deux voies séparées sur lesquelles sont répartis de manière équilibrée les tableaux électriques des équipements. Les tableaux analogues pouvant être couplés sont situés dans des salles électriques différentes. Chaque ligne extérieure, chaque voie peut reprendre l'ensemble de la puissance correspondant au fonctionnement normal,

- en cas de manque de tension sur les deux lignes externes, une centrale autonome interne composée de 3 groupes diesels de 7 MW chacun débite sur les deux voies A et B et permet, après délestage de certains équipements, le maintien des ateliers en état de veille,
- en cas de défaillance de la distribution interne sur les deux voies ou de défaillance simultanée des lignes externes et de la centrale autonome, les récepteurs importants pour la sûreté peuvent être réalimentés par des groupes diesels de sauvegarde dimensionnés au séisme.

4.4.2.2. Conséquences du manque de tension

En cas de manque de tension du réseau externe, la réalimentation par la centrale autonome n'est effective que pour la moitié des moteurs de pompe d'échangeurs thermiques et la moitié des moteurs de ventilateur dans un délai de 20 minutes après le manque de tension externe.

Dans cette situation, pour la puissance nominale de 10 MW, la température de l'eau de la piscine se stabilise à 65° C. Cette température est atteinte, à partir d'une situation normale (40-45° C), en 200 heures environ. Le fonctionnement de très longue durée dans cette situation n'est toutefois pas acceptable du fait qu'à partir d'environ 60°C, les résines échangeuses d'ions perdent leurs caractéristiques.

En cas de manque de tension du réseau externe, associé à un défaut de réalimentation par la centrale autonome, mais avec réalimentation par un des deux groupes électrogènes de sauvegarde, des moteurs d'une pompe de circulation et de cinq ventilateurs d'aéroréfrigérants, les échangeurs thermiques fonctionnant alors en thermosiphon, la température de l'eau de piscine se stabilise à 79°C en 200 heures environ.

4.4.2.3. Perte totale du refroidissement

La défaillance complète de l'alimentation électrique conduit, suivant la situation initiale, à l'ébullition de l'eau de la piscine dans des délais relativement longs (cas de la piscine E) :

Température initiale	Délai pour atteindre l'ébullition (heure)
40°C	115
65°C	65
79°C	29

Les délais minima pour atteindre l'ébullition dans les diverses piscines, à leur charge thermique maximale, à partir du régime nominal de refroidissement, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Délai (heure)
Piscine C	105
Piscine D	69
Piscine E	115

Compte tenu de ces délais, qui autorisent des réparations en cas de défaillance d'un équipement, une étude fiabiliste a été réalisée pour évaluer la probabilité d'atteindre l'ébullition.

La probabilité de cette situation pour la piscine E est de $1,5 \cdot 10^{-8} \text{an}^{-1}$ du fait des pannes électriques et de $8 \cdot 10^{-10} \text{an}^{-1}$ du fait des pannes hydrauliques, soit au total une probabilité de $1,6 \cdot 10^{-8} \text{an}^{-1}$. Les pannes de mode commun concernant les refus de démarrage des trois groupes diesels de la centrale autonome et des groupes diesels de sauvegarde ont été prises en compte dans ces calculs de fiabilité. Les valeurs obtenues, qu'il faut considérer comme des ordres de grandeur, montrent toutefois qu'une situation d'ébullition par perte totale du refroidissement est extrêmement improbable.

4.4.2.4. Situation ultime

Les structures de la piscine ont été dimensionnées pour résister à une température de 100°C sans fissuration du béton. En cas de perte prolongée de refroidissement, l'ensemble des trois piscines C, D, E, à leurs charges thermiques maximales (34 MW), ce qui représente un cas enveloppe hypothétique, produirait une évaporation de $50 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, les éléments combustibles commenceraient à être dénoyés au bout d'une douzaine de jours. La parade à cette éventualité met en oeuvre sur chacune des piscines, un dispositif d'eau d'appoint dimensionné au SMS (tuyauterie de sauvegarde), permettant d'effectuer un apport d'eau suffisant pour compenser l'évaporation à partir de l'extérieur des bâtiments.

4.5. Dimensionnement au séisme

Le dimensionnement au séisme des bassins des piscines C, D, E, de leurs équipements et de leurs annexes a été examiné avec beaucoup d'attention.

Les études sismotectoniques et les recherches historiques ont conduit les géologues et les organismes de sûreté à définir pour le site de La Hague une intensité pour le séisme maximal historique vraisemblable (SMHV) de VII dans l'échelle MSK.

Pour le dimensionnement des installations, l'intensité du séisme retenu est celle du séisme majoré de sécurité, d'un degré supérieur à celle du SMHV dans l'échelle MSK (SMS = SMHV + 1 = VIII), ce qui se traduit par un spectre de réponse de résonateurs calé à 0,2 g dans les deux sens orthogonaux horizontaux et à 0,13 g dans le sens vertical.

Les piscines C, D, E forment un ensemble en forme de U lié rigidement par le radier du fond des piscines. Ce radier repose sur des patins en néoprène qui reprennent les efforts statiques du poids des piscines et les déplacements thermiques et permettent à l'ensemble de se déplacer horizontalement lors d'une sollicitation sismique.

Le dimensionnement au séisme a consisté à vérifier que, pour la sollicitation correspondant au SMS, sont maintenus :

- le confinement des matières radioactives,
- l'état sous-critique,
- le refroidissement.

Les équipements n'assurant pas une fonction importante pour la sûreté (pont de manutention, échangeurs ioniques intégrés...) ont été dimensionnés de manière telle que leur détérioration ou leur chute ne puisse pas mettre en danger les fonctions ci-dessus.

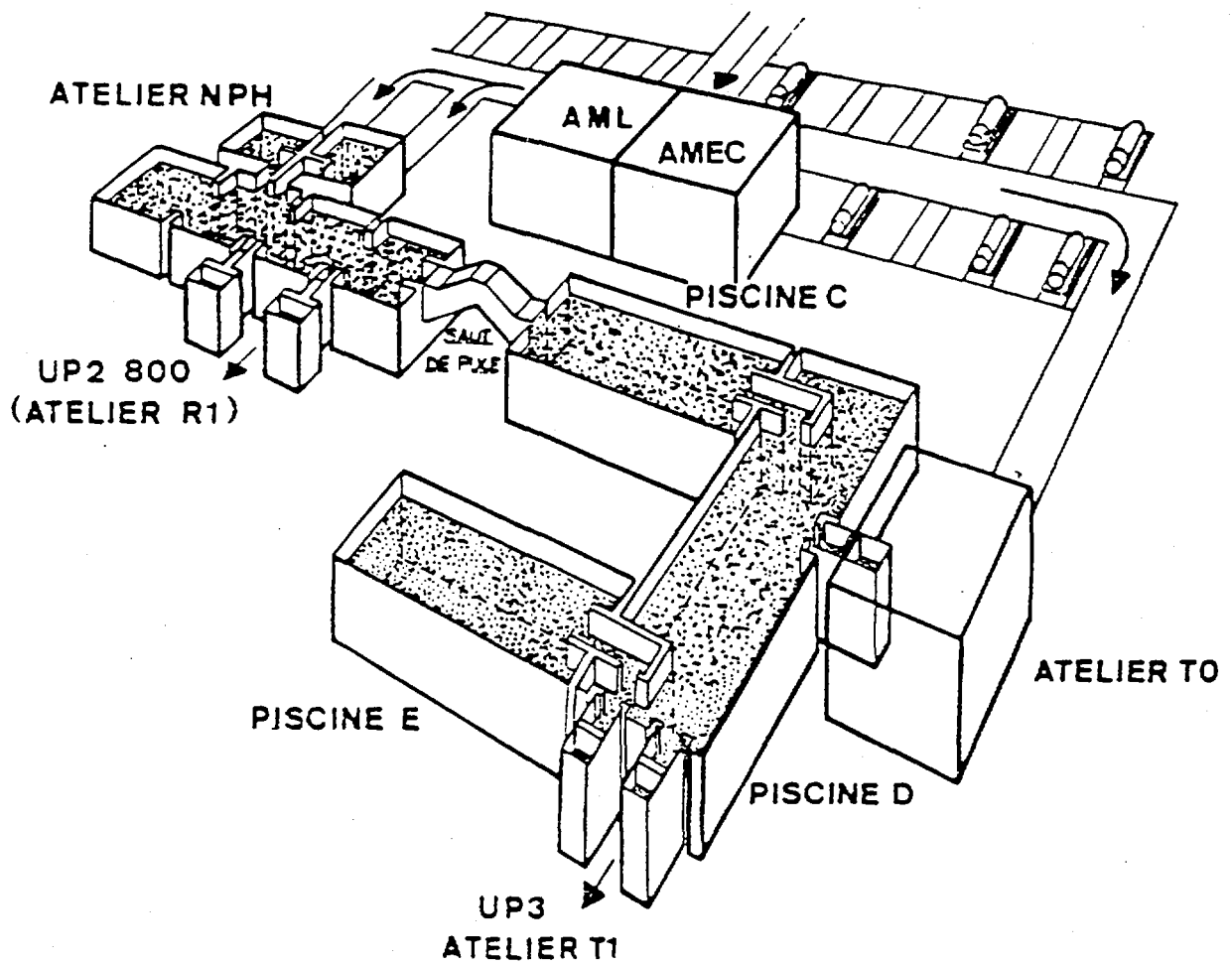
5/ RISQUES DUS A LA CHUTE D'UN PROJECTILE AERIEN

L'étude de l'aviation commerciale, de l'aviation militaire et de l'aviation générale a conduit à classer les chutes d'avions comme des accidents de probabilité inférieure à $10^{-7}/\text{an}^{-1}$ par atelier et par famille d'avions. Ces événements n'ont par conséquent pas été retenus pour dimensionner les piscines.

Des études ont cependant été réalisées pour évaluer les conséquences de l'impact d'un monomoteur de 2000 kg (Cessna 210) dont le moteur de 200 kg et 80 cm de diamètre constitue le noyau pénétrant. Les conclusions indiquent qu'un mur de béton de 50 cm n'est pas traversé par ce projectile, animé d'une vitesse de 150 ms^{-1} . Dans le cas où le projectile tomberait sur la surface de la piscine, son ralentissement par l'eau pourrait conduire à des ruptures de crayons combustibles sans déformer les alvéoles des paniers de manière significative, ni compromettre gravement l'étanchéité de la piscine.

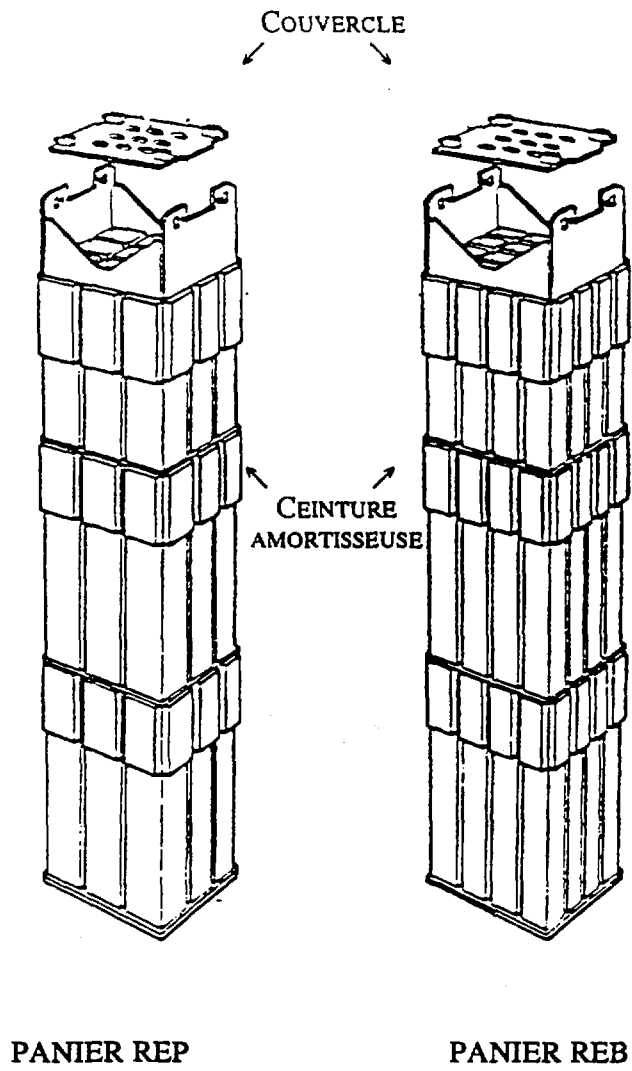
AML = ATELIER DE MISE SUR LORRY

AMEC = ATELIER DE MAINTENANCE ET D'ENTRETIEN DES CHATEAUX



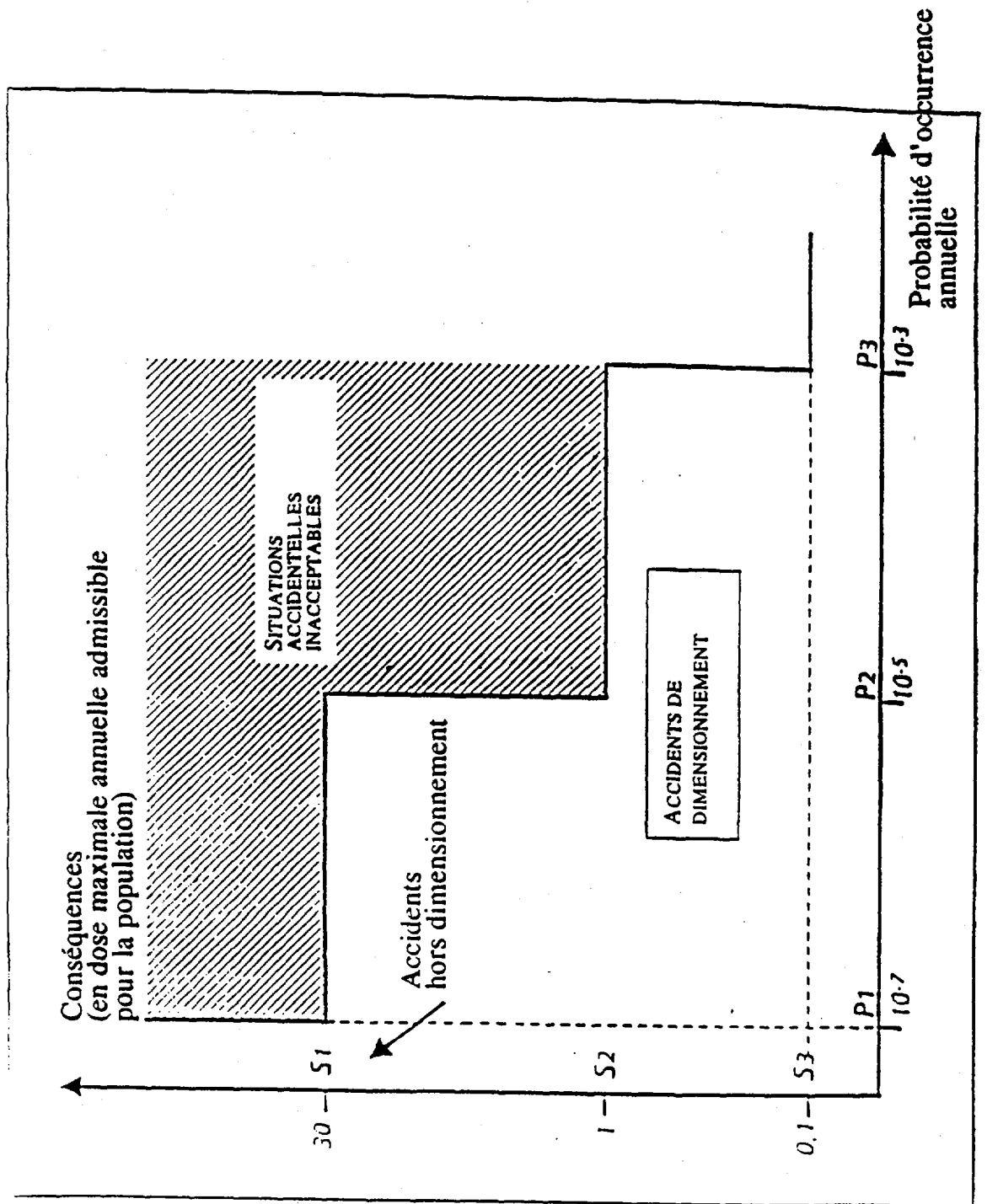
PISCINES D'ENTREPOSAGE DE COMBUSTIBLES IRRADIES DE LA HAGUE

Figure 1



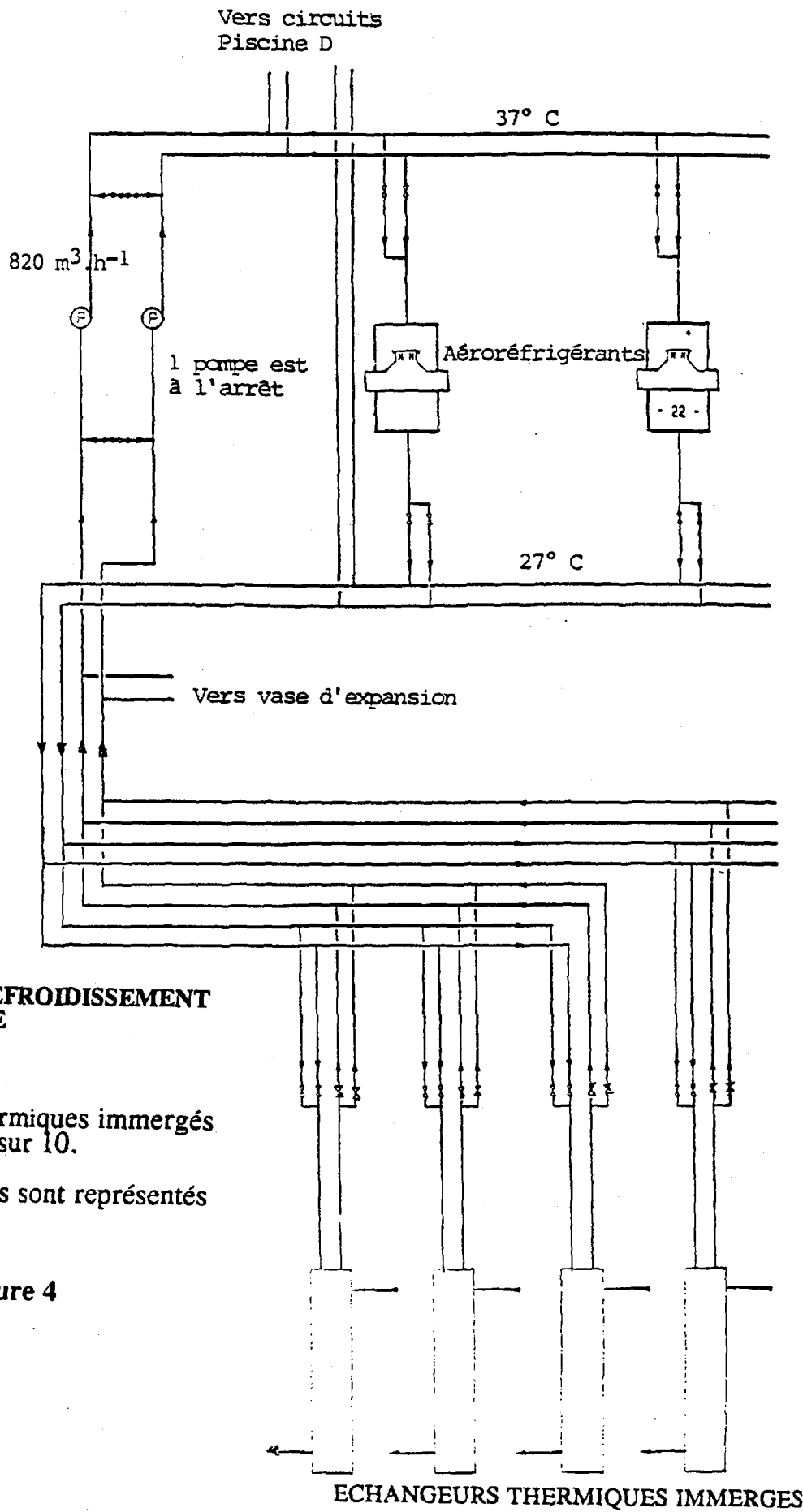
PANIER DE STOCKAGE D'ASSEMBLAGES COMBUSTIBLES

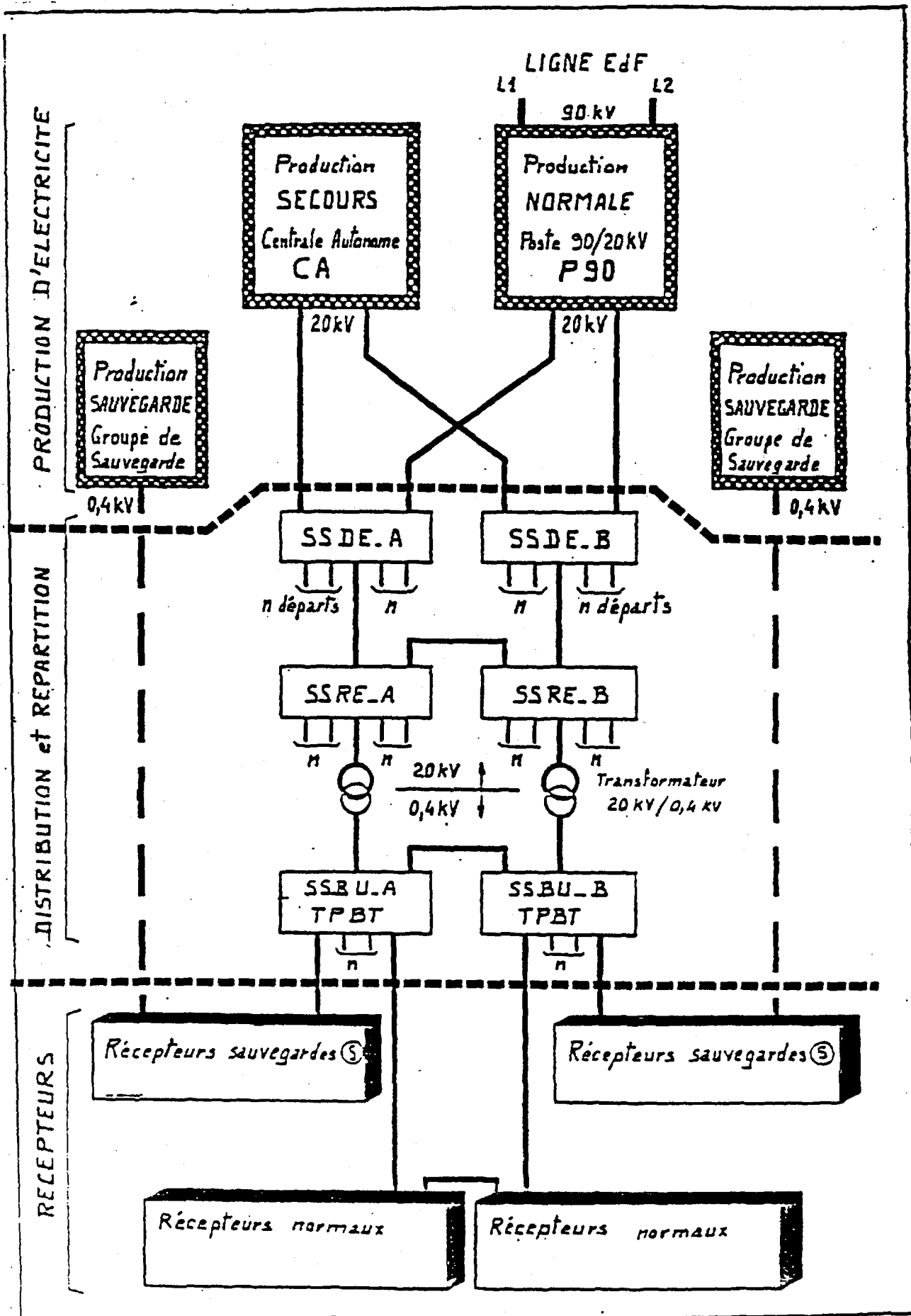
Figure 2



GRAPHE D'ACCEPTABILITE DES SITUATIONS ACCIDENTELLES

Figure 3





DISTRIBUTION DE PUISSANCE ELECTRIQUE DES USINES DE LA HAGUE

Figure 5