

Toutes les centrales nucléaires suédoises sont équipées d'un système de filtre pour la réduction de pression qui, en cas d'accident de réacteur grave, abaisse la pression dans l'enveloppe de sécurité du réacteur et empêche la libération dans l'atmosphère de quantités dangereuses de produits de fission radioactifs.

## Une technique ingénieuse augmente la sécurité des centrales nucléaires

# Systeme de réduction de pression Filtra-MVSS pour la purification des émissions en cas d'accidents de réacteur

ABB Atom et Fläkt Industri AB, deux entreprises du Groupe ABB, ont développé, sous l'appellation de Filtra-MVSS («Multi Venturi Scrubber System»), un système de filtre pour la réduction de pression efficace pour les centrales nucléaires avec enveloppe de sécurité. La fonction de ce système consiste à réduire, en cas d'accident de réacteur, la pression dans l'enveloppe de sécurité et à limiter la libération de produits de fission, de sorte qu'un revêtement de sol radioactif est largement évité. A cet effet, on abaisse la pression dans des conditions contrôlées et on épure les gaz et les vapeurs produits dans un système épurateur «Multi-Venturi». Ce système a une grande capacité d'adaptation et maîtrise un grand nombre de situations dangereuses possibles.

### D

es systèmes Filtra-MVSS sont utilisés depuis le début de cette année dans dix des douze centrales nucléaires suédoises, à savoir à Ringhals, Oskarshamn et Forsmark. Les deux autres réacteurs - situés à Barsebäck - comprennent, depuis déjà longtemps, deux filtres d'un autre type. Ainsi, la Suède est le premier pays au monde où toutes les centrales nucléaires sont équipées d'un système de filtre pour la réduction de pression.

Les Autorités de surveillance suédoises pour l'énergie nucléaire (SKI) et pour la protection contre le rayonnement (SSI) ont autorisé ces mesures comme appropriées, de sorte que les conditions imposées par l'Etat pour la continuation de l'exploitation des centrales nucléaires suédoises sont remplies au-delà de 1988.

Le système Filtra-MVSS agit comme une soupape de sûreté. Lorsque la pression monte dans l'enveloppe de sécurité de réacteur à la suite d'une grave perturbation, elle est abaissée automatiquement à des valeurs non dangereuses pour celle-là.

Le système est installé aussi près que possible de l'enveloppe de sécurité et est constitué d'un système de tuyauterie pour la réduction de pression et un épurateur Venturi pour l'épuration des gaz.

Cet épurateur est placé dans un réservoir séparé en dehors du bâtiment du réacteur et est constitué d'un grand nombre de tubes de Venturi installés dans une cuve d'eau. Un sécheur à vapeur séparé avec cheminée dans la partie supérieure du sécheur constitue l'étape final.

Lors de la réduction de pression de l'enveloppe de sécurité du réacteur, le mélange gazeux évacué est épuré de produits radioactifs dans les tubes de Venturi et dans la cuve d'eau et

envoyé dans l'atmosphère par le sécheur à vapeur et la cheminée.

La construction du système est basée sur des résultats d'exploitation obtenus avec des dépoussiéreurs par voie humide Fläkt-Venturi qui sont utilisés avec succès dans l'industrie depuis longtemps. La solution technique a été dotée du prix Polhem en 1988, le plus ancien et le plus éminent prix suédois pour prestations notables dans l'industrie et le bâtiment.

### Réduction de pression dans l'enveloppe de sécurité et filtration des gaz

Le système Filtra-MVSS (tableau 1) est une installation passive et autorégulatrice pour la réduction de pression dans l'enveloppe de sécurité et la filtration des gaz sortants, qui sont pollués habituellement par des matières radioactives sous forme de particules solides et d'iode élémentaire gazeux.

«Passif» signifie que, pendant les premières 24 heures après l'activation du système, aucune amenée d'eau ou d'électricité de l'extérieur n'est nécessaire ni une intervention du personnel de service. Ce n'est qu'après 30 heures qu'il faut, le cas échéant, introduire ou extraire de l'eau.

Le système de tuyauterie pour la réduction de pression contient deux branches avec soupapes d'arrêt et membrane éclair (2b). La membrane éclair s'ouvre automatiquement lorsque la pression dépasse une valeur limite prescrite.

En cas de besoin, le personnel de la salle de commande dans la centrale nucléaire peut ouvrir les soupapes également à la main, par exemple lorsque l'enveloppe de sécurité doit être remplie d'eau pour le refroidissement du cœur de réacteur.

1

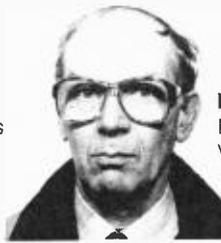
2

3

2



**Leif Lindau**  
Docteur ès sciences appliquées  
Fläkt Industriella Processer AB  
Växjö, Suède



**Lennart Gustavsson**  
Fläkt Industriella Processer AB  
Växjö, Suède

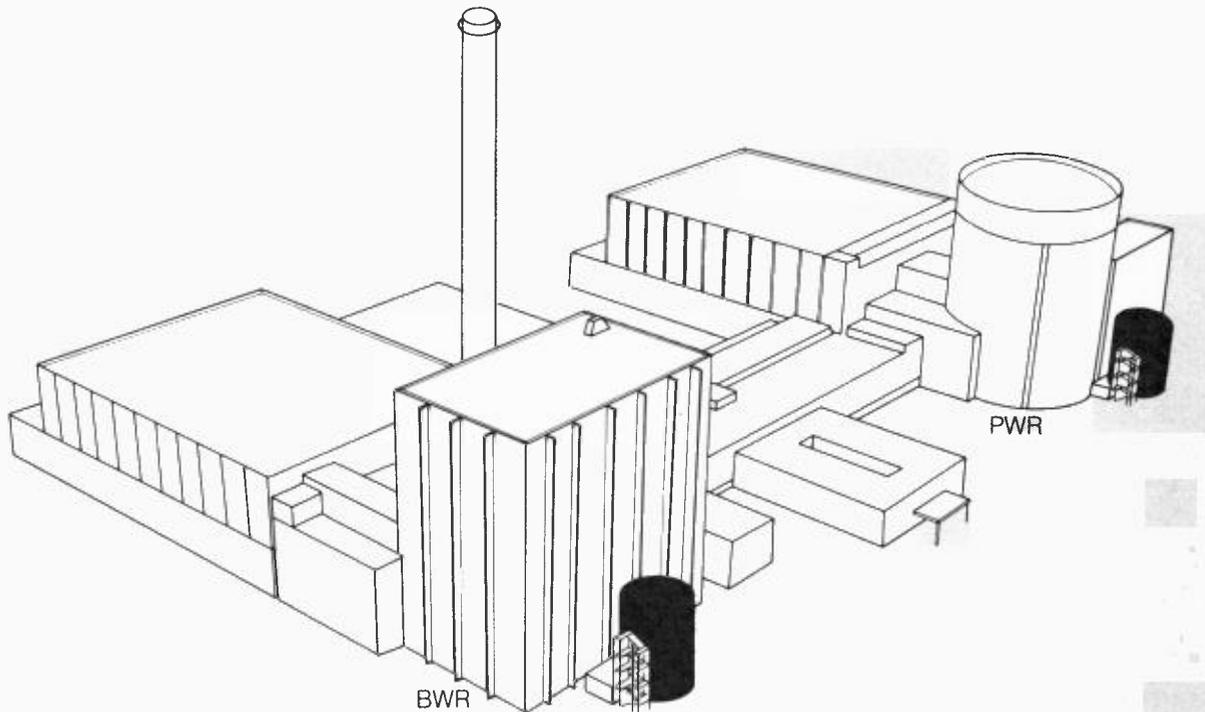


Schéma de principe de la centrale nucléaire Ringhals/Suède avec réacteur à eau bouillante (BWR) et réacteur à eau sous pression (PWR) et avec système de filtre pour la réduction de pression Filtra-MVSS (rouge)

1

**Tableau 1: Caractéristiques techniques du système de filtre pour la réduction de pression Filtra-MVSS**

		Réacteur à eau bouillante (BWR)	Réacteur à eau sous pression (PWR)
Volume total	m <sup>3</sup>	250	400
Volume d'eau	m <sup>3</sup>	180	270
Diamètre intérieur	m	7	7
Volume du sécheur à vapeur	m <sup>3</sup>	8,1	9,1
Facteur sismique <i>g</i>	0,15	0,15	
Pression de construction	MPa	0,3	0,4
Ouverture de la tôle de sécurité	MPa	0,5-0,6	0,5-0,6
Débit de gaz maximal	kg/s	0,1-13	0,1-13
Température de gaz	°C	70-150	70-150
Facteur de décontamination pour iode élémentaire et aérosols			
a) Exigence minimale		100	500
b) Valeur de dimensionnement		500	1500
Puissance de désintégration totale	kW	400	400

#### Un château d'eau règle automatiquement le nombre des tubes de Venturi à activer

4

Les gaz et vapeurs sortant de l'enveloppe de sécurité traversent le système de réduction de pression et arrivent dans la partie inférieure de l'épurateur de Venturi et de là dans les tuyaux distributeurs. Ces derniers aboutissent aux tubes d'entrée, avec les nombreux tubes de Venturi travaillant en parallèle déjà mentionnés.

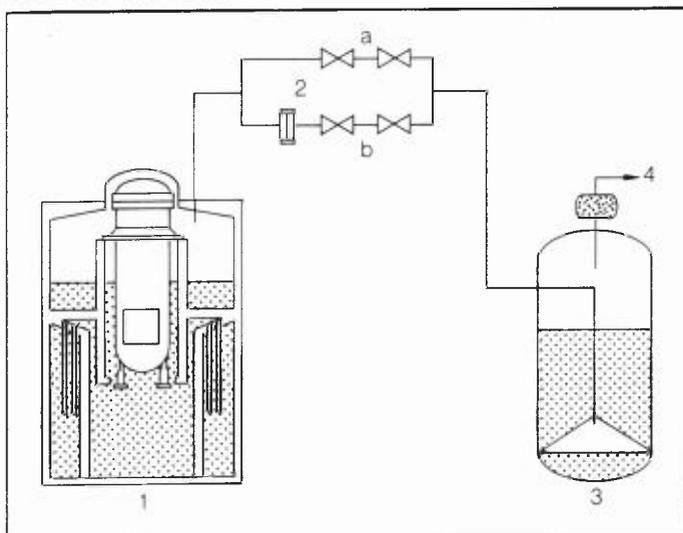
Ici, dans le système Multi-Venturi, a lieu la séparation proprement dite de particules et d'iode. Le débit de passage du système s'adapte – dans un domaine compris entre 0,1 et 13 kg/s – au débit de gaz en mouvement, par le fait que, selon la quantité de gaz arrivant, plus ou moins d'eau est extraite des tuyaux distributeurs inclinés et par conséquent un nombre plus ou moins grand de tubes de Venturi s'ouvrent (château d'eau).

#### Débit de gaz dans le tube de Venturi indépendant de la quantité totale de gaz

Un tube de Venturi est en principe un tube avec un rétrécissement et un tuyau de refoulement. La chute de pression sur le rétrécissement ou «buse» est déterminée par la colonne d'eau entre la sortie du tuyau de refoulement et le niveau du château d'eau. Il s'ensuit que chaque tube de Venturi fonctionne indépendamment du débit total de gaz, avec un débit de gaz presque constant. Lors du changement du débit de gaz et par conséquent de la pression différentielle, le nombre de tubes de Venturi activés varie.



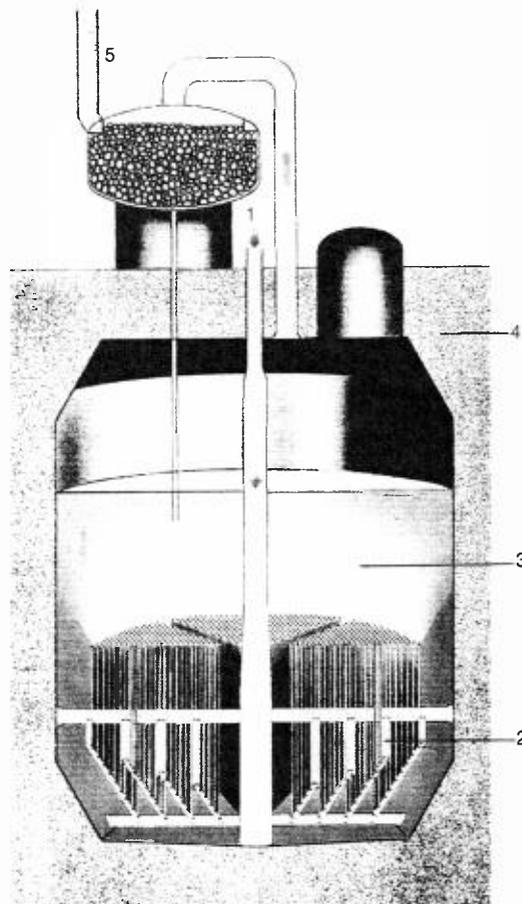
**Kjell Elisson**  
ABB Atom  
Västerås, Suède



- 1 Réacteur nucléaire avec enveloppe de sécurité
- 2 Système de tuyauterie pour la réduction de pression
  - a avec soupapes actionnées à la main
  - b avec soupapes d'arrêt et membrane de sécurité
- 3 Epurateur de Venturi
- 4 Gaz épuré et séché

Structure de principe du système de filtre pour la réduction de pression Filtra-MVSS

2



- 1 Entrée
- 2 Système de multi-Venturi
- 3 Bassin d'eau
- 4 Réservoir sous pression en béton
- 5 Sécheur à vapeur avec cheminée

Système de Venturi Filtra-MVSS

3

5 La pression statique s'abaisse lorsque les gaz et vapeurs subissent une accélération dans le rétrécissement. Par conséquent, de l'eau de bassin pénètre par un grand nombre de canaux et est immédiatement pulvérisée en petites gouttelettes, qui se mélangent intimement au gaz. Les gouttelettes d'eau ne sont accélérées par le gaz que lentement, de sorte que gaz et vapeurs doivent traverser un épais nuage de gouttelettes d'eau. Les particules radioactives entraînées à cette occasion sont capturées par les gouttelettes d'eau et séparées.

6 La séparation des particules est due avant tout à leur inertie. Du fait de la différence de vitesse et de leur inertie propre, les particules ne suivent que partiellement l'écoulement gazeux - elles entrent donc en collision avec les gouttelettes d'eau.

Avec cette construction, la chute de pression dans le tube de Venturi reste presque constante, également lors de conditions de fonctionnement différentes. Le fait que la chute de pression soit justement la condition principale découle du fait que la séparation de particules des tubes de Venturi reste presque constante.

**Le degré de séparation exigé atteint avec une bonne marge de sécurité**

3 Le gaz sortant des tubes de Venturi activés s'écoule sous forme de petites bulles dans le bassin rempli d'eau et la vapeur contenue dans le gaz se condense. Lors de la remontée des bulles dans l'eau du bassin, le gaz est purifié, en une deuxième étape, de particules solides et de gouttelettes liquides.

L'épurateur de Venturi a un pouvoir séparateur très bon. Les gaz sont débarrassés pratiquement complètement des particules radioactives et d'iode élémentaire. Par contre, les gaz rares radioactifs peuvent traverser l'épurateur et, dans des cas extrêmes, causer au voisinage immédiat de la centrale nucléaire momentanément une intensité de rayonnement élevée. Toutefois, ils se diffusent rapidement dans l'atmosphère et se désactivent rapidement du fait de leurs courtes périodes radioactives - ils ne causent donc aucun dépôt au sol.

Les gouttelettes d'eau entraînées à partir de la surface d'eau par les gaz sont séparées dans un sécheur à vapeur avec filtre à lit de gravier. Le gaz épuré et séché s'échappe finalement par une cheminée.

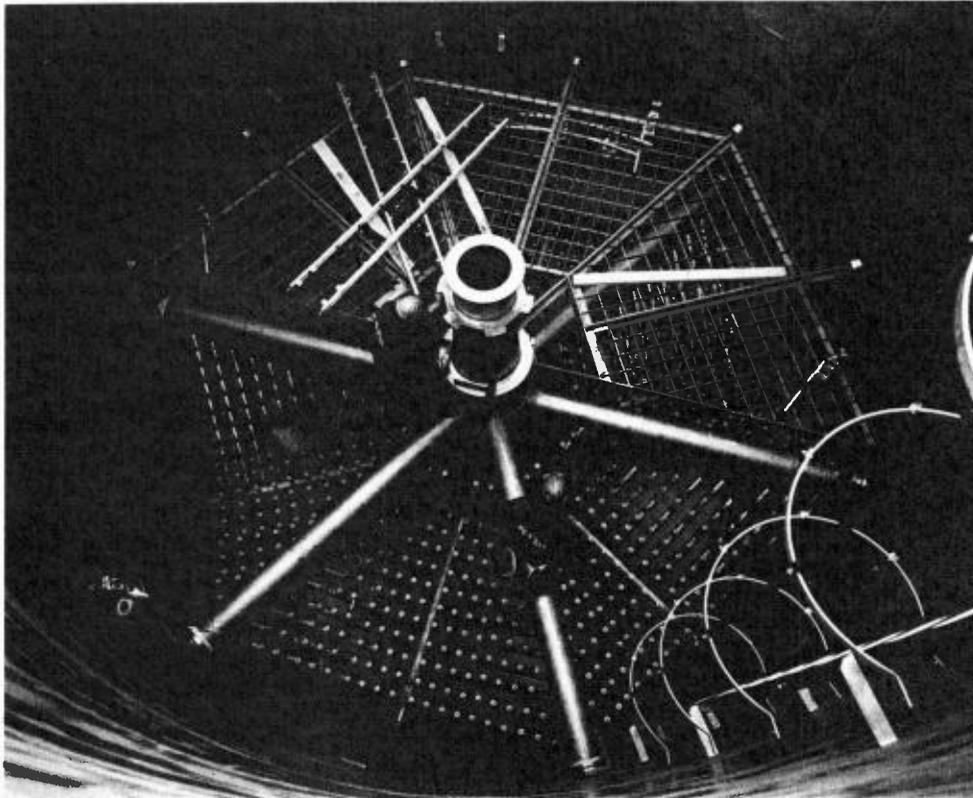
Pour la séparation de l'iode élémentaire radioactif sortant avec le gaz de l'enveloppe de sécurité, on ajoute à l'eau du bassin du thiosulfate de sodium et du carbonate de sodium. L'iode se transforme ainsi en iodure qui se dissout dans l'eau.

Selon les prescriptions des Autorités compétentes suédoises, au maximum 0,1% des matières, qui causent un dépôt au sol radioactif peut provenir de l'enveloppe de sécurité du réacteur. De nombreux calculs et analyses ont montré que cette valeur de séparation limite peut être tenue avec une bonne marge de sécurité également dans des cas très invraisemblables.

**Recherches internationales dans le domaine de la sécurité de réacteurs**

Depuis les années cinquante, le domaine de la sécurité de réac-

La Suède est le premier pays au monde où la totalité des centrales nucléaires sont équipées d'un système de filtre pour la réduction de pression. Le système Filtra-MVSS agit comme une soupape de sûreté. Lorsque la pression monte dans l'enveloppe de sécurité du réacteur à la suite d'un accident grave, elle est ramenée automatiquement à des valeurs qui ne sont pas dangereuses pour l'enveloppe de sécurité.



Système de multi-Venturi au cours du montage dans la centrale nucléaire Ringhals

4

teurs fait l'objet d'intensives recherches. Un tournant important fut la publication en 1975 du rapport dit de Rasmussen aux USA. A ce sujet, les émissions radioactives en tant que suite d'un grave accident de réacteur furent évaluées systématiquement pour la première fois quant à leur grandeur et leur probabilité.

L'accident de réacteur dans la centrale nucléaire américaine Three Mile Island, en mars 1979, a eu un résultat: les efforts de recherches s'intensifièrent partout dans le monde. Avant tout, on essaya d'élucider les phénomènes chimiques et physiques se produisant lors d'une fusion de cœur. De vastes programmes de calcul furent développés et des expériences furent effectuées, souvent en collaboration internationale.

En Suède, dans le cadre d'une association de recherches entre des entreprises d'électricité et les Autorités, le projet «RAMA» fut mis en place en 1983 pour exploiter l'expérience acquise à l'étranger, dans le domaine de programmes d'ordinateur, pour les réacteurs suédois.

Les nouveaux systèmes de sécurité, qui doivent aider à limiter les conséquences d'un accident de réacteur – parmi lesquels aussi le système Filtra-MVSS – sont basés entre autres sur ces connaissances internationales sur la sécurité des réacteurs.

#### Des conditions extrêmes constituent la base pour les exigences de sécurité

Après des études approfondies, une panne de courant complète de 24 heures, dans le cas d'un réacteur, fut choisie comme condition pour les analyses et pour les exigences que doit rem-

plir le nouvel équipement. Une défaillance de l'alimentation en électricité entraîne l'arrêt du refroidissement du cœur de réacteur. Dans le cas de quelques réacteurs, on supposa de plus qu'un deuxième système de refroidissement entraîné par vapeur tombe également en panne.

Le choix de telles conditions extrêmes pour la construction de systèmes de sécurité montre bien que d'autres situations d'urgence d'une importance moindre doivent également être maîtrisées.

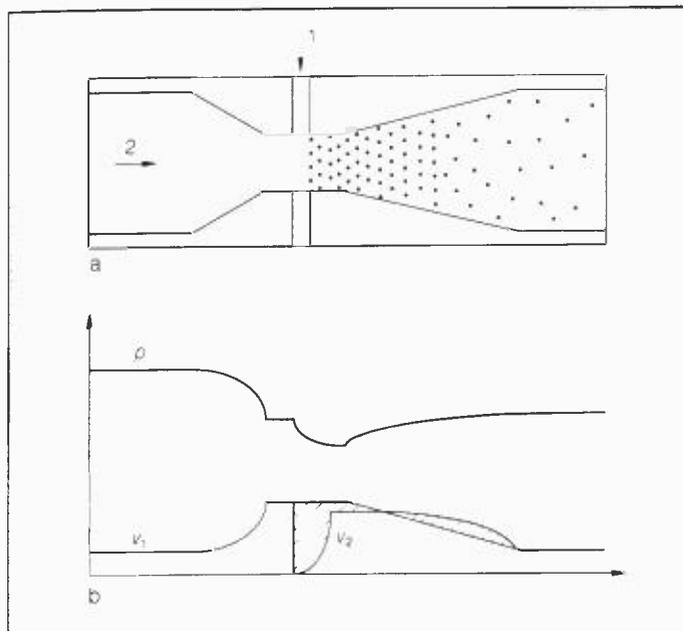
Une panne d'électricité totale est très improbable. En effet, pour que cela arrive, des événements nombreux, complètement indépendants les uns des autres, devraient se produire simultanément, parmi lesquels on peut citer les suivants:

- la totalité des lignes arrivantes et partantes de la tranche de centrale concernée sont interrompues et le restent.
- le passage à l'alimentation de secours de la tranche échoue.
- tous les deux à quatre groupes électriques de secours de l'alimentation en électricité primaire de la centrale tombent en panne.
- l'installation de turbines à gaz commune de la centrale n'est pas en ordre de marche.
- l'alimentation de secours par d'autres tranches de centrale ne fonctionne pas.

#### Prévention d'un accident et limitation d'avaries

Sous l'effet de l'accident de réacteur dans la centrale Three Mile Island, le Gouvernement suédois ordonna une nouvelle étude de

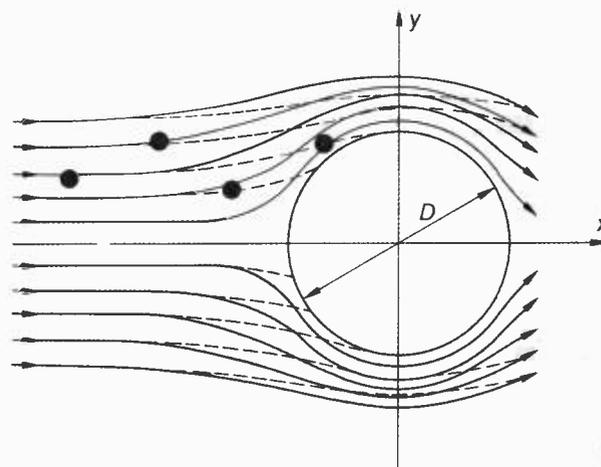
Le système Filtra-MVSS est une installation passive et autorégulatrice pour la réduction de pression dans l'enveloppe de sécurité, avec filtration des gaz produits. Au cours des 24 premières heures après l'activation du système, aucune amenée d'eau ou d'électricité n'est nécessaire, ni d'ailleurs une intervention du personnel de service.



1 Eau  $\rho$  Pression  
2 Gaz  $v_1$  Vitesse du flux de gaz  
 $v_2$  Vitesse des gouttelettes d'eau

Dans la partie hachurée, le flux de gaz et les gouttelettes d'eau ont des vitesses différentes  
Flux de gaz à deux phases dans un tube de Venturi (a) et l'allure de pression et de vitesse correspondante (b)

5



Lignes d'écoulement du liquide (trait continu) et parcours des particules lentes (trait interrompu) lors de la collision avec une gouttelette d'eau de diamètre  $D$ , entraînant la séparation de la particule

6

la sécurité de réacteurs. Pour augmenter la sécurité, la Commission chargée de cette étude proposa toute une série d'améliorations, ayant pour but d'empêcher autant que possible l'apparition d'un accident ou tout au moins d'en limiter les conséquences.

En 1981, le Gouvernement et le Parlement suédois décrétèrent une loi d'après laquelle la totalité des centrales nucléaires suédoises devaient être, jusqu'au 31 décembre 1988, complétées de telle sorte que, en cas d'un grave accident avec de nombreuses avaries dans le cœur du réacteur, les conséquences d'éventuelles émissions radioactives soient limitables.

Comme l'ont montré de nombreuses études des Autorités et des entreprises d'électricité, la surpression créée dans l'enveloppe de sécurité du réacteur lors d'un grave accident peut être réduite par l'intermédiaire d'un système de filtre spécial. Ainsi, en même temps, le risque d'un dépôt au sol de matières radioactives durable et important diminue.

7

#### 99,9% des matières radioactives ne doivent pas s'échapper de la centrale nucléaire

En février 1986, le Gouvernement suédois a formulé les conditions suivantes:

- en cas d'accidents de réacteur graves avec nombreuses avaries du cœur, les émissions doivent rester limitées à 0,1% des produits de fission radioactifs dans le foyer du réacteur.
- il faut surtout empêcher l'émission de matières qui peuvent entraîner un dépôt au sol radioactif, avant tout césium, iode et tellure.

Indépendamment de l'importance des dommages, 99,9% des matières radioactives ne doivent donc pas s'échapper de la centrale nucléaire.

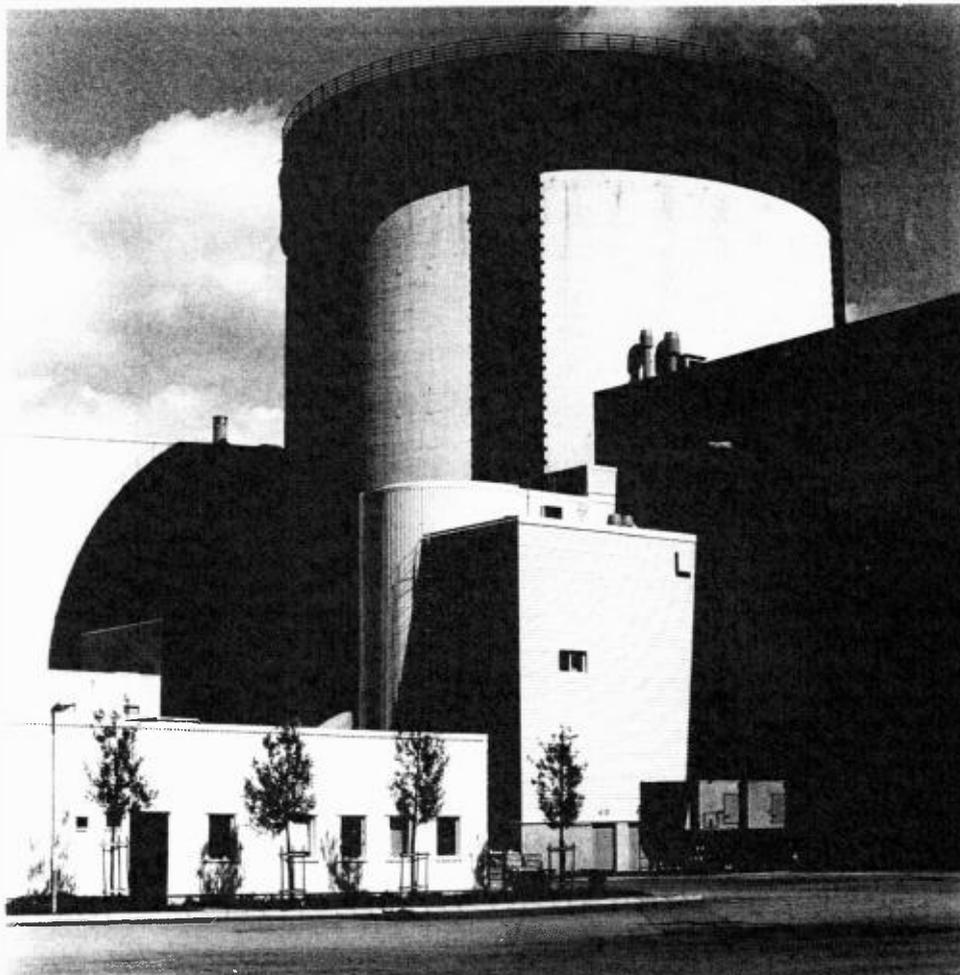
Le système de sécurité des réacteurs nucléaires est constitué d'un «réseau de protection» échelonné, qui tient compte aussi bien des manques techniques que des insuffisances humaines. En cas de défaillance d'une fonction de sécurité, une autre doit se charger immédiatement de la tâche.

Le système de filtre pour réduction de pression Filtra-MVSS soutient ces dispositifs. Mais, bien entendu, le but prioritaire consiste à éviter de prime abord une grave avarie.

#### Des barrières de sécurité multiples réduisent le risque d'émissions radioactives

Dans une centrale nucléaire, la sécurité est une nécessité absolue pour une production d'électricité sûre et économique. Pour obtenir un maximum de sécurité et protéger l'environnement contre des émissions radioactives, le cœur des réacteurs nucléaires suédois est entouré de plusieurs barrières de protection.

Le combustible (uranium) se trouve dans des tubes étanches aux gaz en zirconium. Toutes les matières radioactives sont combinées en un matériau qui supporte des températures élevées sans être endommagé. Le combustible dans le cœur est entouré d'eau, qui sert de modérateur et de fluide calorporteur. L'enveloppe de sécurité a une épaisseur d'environ 1 m et est en béton précontraint avec une gaine d'acier étanche aux gaz. Elle est dimensionnée pour pouvoir supporter, avec une grande sû-



Réacteur à eau sous pression de la centrale nucléaire Ringhals, sur la côte ouest suédoise. Devant le réacteur: le système de filtre pour la réduction de pression Filtra-MVSS.

7

reté, la pression pouvant apparaître en cas de ruptures de tubes les plus graves envisageables. Lors d'une combinaison hypothétique, extrêmement improbable, de plusieurs défaillances graves dans le système de sécurité et d'une panne d'électricité de longue durée aussi bien dans le réseau public que dans l'installation électrogène de secours, la pression dans l'enveloppe de sécurité dépasserait la valeur de dimensionnement admise au début. Dans ce cas, l'eau se vaporiserait dans l'enveloppe de sécurité et de l'hydrogène se formerait en plus. L'hydrogène est produit surtout par la réaction dite métal-eau, entre vapeur d'eau et zirconium, à haute température.

Dans cette situation, une quantité énorme d'aérosols radioactifs avec des particules d'un ordre de grandeur de 1  $\mu\text{m}$  peut se trouver dans l'espace d'air de l'enveloppe de sécurité. Dans le cas d'une émission non contrôlée, ces particules seraient libérées et causeraient, dans le voisinage, un dépôt radioactif sur le sol.

#### Résumé des idées directrices

Les mesures choisies en Suède pour la limitation des émissions sont basées sur les considérations suivantes:

- en premier lieu, le cœur concerné dans la cuve du réacteur doit être refroidi par eau. Au cas où le cœur fondrait et traverserait la cuve du réacteur, il doit être entouré par l'eau de l'enveloppe de sécurité. Le refroidissement du cœur par eau entraîne la réduction de la pression. Mais si une fourniture d'eau de refroidissement suffisante ne peut pas être assurée à

temps, la pression doit pouvoir être abaissée par un système de filtre pour la réduction de pression. Ce système doit en même temps séparer la majeure partie des substances radioactives.

- le cœur de réacteur endommagé peut être amené dans un état stable par le refroidissement par eau et par la réduction de la pression.