

# La phase terminale du cycle du combustible en Suède

par G. Schultz\*

Le programme nucléaire suédois est actuellement peut-être mieux défini que celui de la plupart des autres pays du fait des événements qui se sont passés en Suède au cours des quelques dernières années. Après l'arrivée au pouvoir d'un gouvernement non-socialiste en Suède en 1976 au terme d'une longue période, la population a participé de plus en plus activement au débat sur les questions nucléaires. L'aboutissement en a été l'organisation d'un référendum sur l'avenir de l'énergie nucléaire en Suède, tenu en mars 1980.

Trois solutions ont été soumises aux citoyens. La première consistait à achever le programme actuel de 12 réacteurs et à exploiter ces réacteurs pendant leur durée de vie ou pour aussi longtemps que nécessaire. La production d'énergie d'origine nucléaire devait être abolie dès que possible, compte tenu de la demande d'électricité, de la situation de l'emploi et des conditions de vie dans le pays. La deuxième solution comportait, grosso modo, les mêmes éléments que la première avec quelques dispositions d'ordre politique prévoyant que les futures centrales nucléaires importantes devraient faire partie du secteur public. Selon la troisième solution aucune nouvelle centrale nucléaire ne devait plus être construite et les six réacteurs en service devaient être arrêtés dans les dix ans. Les résultats du référendum ont été les suivants: les solutions 1 et 2 ont remporté 58% des votes et la solution 3, 38%. La participation avait été de 75,7%. Ces résultats ont été ensuite interprétés par le Parlement.

Le programme d'orientation en matière de politique nucléaire adopté par le Parlement prévoit l'achèvement des 12 réacteurs et leur exploitation jusqu'en l'an 2010, soit une période d'exploitation de 25 ans pour le dernier réacteur mis en service. Une commission parlementaire a également été constituée et chargée de proposer les moyens d'arrêter les réacteurs nucléaires et de créer d'autres sources de production d'électricité.

On trouvera au tableau 1 ci-après la liste des 12 réacteurs, dont neuf ont déjà été mis en service. Au tableau 2, l'indication des programmes nucléaires de certains pays fournit des éléments de comparaison.

L'état actuel du programme suédois, décrit ci-dessus, constitue une base relativement solide pour planifier la phase terminale du cycle du combustible et le stockage définitif des déchets nucléaires.

\* M. Schultz est un spécialiste employé à la Swedish Nuclear Fuel Supply Co (SKBF), P.O. Box 5864, S-102 48 Stockholm (Suède).

Tableau 1. Les centrales nucléaires en Suède

Centrale	Type de réacteur	Production nette (MWe)	Date de mise en service
Oskarshamn 1	eau bouillante	440	février 1972
Oskarshamn 2	eau bouillante	570	décembre 1974
Ringhals 2	eau sous pression	800	mai 1975
Barsebäck 1	eau bouillante	570	juillet 1975
Ringhals 1	eau bouillante	750	janvier 1976
Barsebäck 2	eau bouillante	570	juillet 1977
Forsmark 1	eau bouillante	900	décembre 1980
Forsmark 2	eau bouillante	900	juillet 1981
Ringhals 3	eau sous pression	915	septembre 1981
			Date de mise en service prévue
Ringhals 4	eau sous pression	915	1982
Forsmark 3	eau bouillante	1050	automne 1985
Oskarshamn 3	eau bouillante	1050	1986

Tableau 2. Importance comparée au plan national de la production nucléoélectrique en 1981

Pays	MW nucléaires	TW(e) nucléaires	Population 10 <sup>6</sup>	kW nucléaires par habitant et par an	Electricité produite: nucléaire par rapport au total en %
Suède	6 400	34,1	8,2	4 200	35
Finlande	2 200	14,0	4,8	2 900	34
Suisse	1 900	14,5	6,4	2 300	28
France	21 600	99,5	54	1 800	38
Canada	5 500	37,8	24	1 600	10
Etats-Unis	57 000	272,4	226	1 200	12
Belgique	1 700	12,2	9,9	1 200	25
Allemagne, Rép. féd. d'	8 600	49,6	61	800	14
Japon	15 000	85,1	118	700	17
Royaume-Uni	7 600	33,2	56	600	13

Source: Banque de données de l'AIEA sur l'économie énergétique.

### Délimitation des responsabilités

En Suède, les responsabilités relatives aux déchets d'origine nucléaire sont maintenant assez bien réglementées par des lois spéciales. Ces lois sont cependant relativement récentes et, jusqu'en 1976, il n'existait pas de dispositions particulières dans ce domaine. En 1976, de nouvelles conditions ont été imposées à l'industrie nucléoélectrique.

Un exposé général des principes a été fait lorsque le gouvernement non-socialiste a été constitué et il a été suivi d'une loi dite loi de stipulation. Cette loi dispose que l'autorisation de charger un réacteur nucléaire pour la première fois ne peut être donnée que si son exploitant prouve, soit qu'il a passé un contrat de retraitement satisfaisant et est en mesure de stocker définitivement les déchets de haute activité de manière parfaitement sûre, soit qu'il est en mesure de stocker directement le combustible irradié de manière parfaitement sûre. Une disposition spéciale de la loi s'applique cependant à Barsebäck 2 pour lequel seul un contrat de retraitement est nécessaire. La loi a été appliquée à Barsebäck 2, à Ringhals 3 et 4 et à Forsmark 1 et 2, qui tous ont obtenu les autorisations conformément à la loi, grâce aux contrats de retraitement passés avec la Cogema\*, et à une installation pilote où sont vitrifiés des déchets de haute activité provenant du retraitement. Cette vitrification est réalisée sous la direction des compagnies d'électricité, qui en assument intégralement le financement (il s'agit de ce que l'on appelle le projet KBS) [1]. A été aussi abordée la question du stockage définitif du combustible irradié non retraité [2].

La situation d'ensemble relative à tous les déchets nucléaires a été étudiée et il en est résulté une nouvelle législation, dont l'élément le plus important est la loi dite loi de financement. Cette loi est entrée en vigueur, pour partie le 1er juillet 1981 et pour partie le 1er janvier 1982.

Il est maintenant juridiquement établi que le concessionnaire d'une centrale nucléaire est pleinement responsable (techniquement et financièrement) des déchets nucléaires qu'il produit. Au dessus de lui, c'est l'Etat suédois qui assume la responsabilité globale. Afin de dégager des ressources financières nécessaires pour couvrir à plus ou moins long terme les coûts de la phase terminale du cycle du combustible et ceux du déclassement des centrales nucléaires, les compagnies d'électricité doivent payer à l'Etat une redevance proportionnelle à leur production d'électricité nucléaire. Cette redevance est due depuis le 1er janvier 1982, et son taux pour l'année 1982 est de 0,017 SEK/kWh\*\*. Les sommes ainsi perçues sont placées à la Banque de Suède sur un compte portant intérêt. Un nouvel organisme, la Commission nationale du combustible irradié, gère ce compte. Par la suite, la Commission autorisera l'emploi de ces fonds pour la réalisation des objectifs prévus et, dans l'intervalle, pourra s'en servir pour accorder des prêts aux compagnies d'électricité. Chaque année, elle proposera au Gouvernement le taux de redevance à fixer pour l'année suivante. Elle sera saisie pour examen des plans et des mesures prévues par les compagnies d'électricité pour assurer, conformément à leurs responsabilités, la gestion des déchets nucléaires. La responsabilité de toutes les phases

des travaux à réaliser par les compagnies d'électricité — études et réalisations, planification, construction et exploitation, incombe à la Société suédoise du combustible nucléaire (SKBF)\*, qui a été constituée par l'industrie nucléoélectrique suédoise. La société soumettra chaque année à la Commission ses plans concernant la phase terminale du cycle du combustible, etc.

L'industrie nucléoélectrique suédoise avait dès 1977 appelé par lettre l'attention du Gouvernement sur les engagements financiers qui seraient les siens à l'avenir en ce qui concerne la phase terminale du cycle du combustible, et avait demandé une exonération fiscale pour les fonds propres nécessaires. Plus tard, le Parlement accorda cette exonération et, jusqu'en janvier 1982, ces engagements de l'industrie avaient des fonds propres pour contrepartie. Toutefois, ceux-ci doivent être maintenant utilisés dans la mesure où ils sont nécessaires pour couvrir les coûts des travaux entrepris conformément à la loi de financement.

### Un scénario

Dans le cadre indiqué ci-dessus, SKBF a fait des études générales dont le but est de mieux préciser les mesures techniques qu'il lui faudra prendre et les coûts y afférents. Pour tenter de prévoir l'avenir, elle a choisi un scénario qui est considéré comme prudent, particulièrement en ce qui concerne les calculs économiques. La figure 1 en est la représentation.

On peut estimer que la réalisation de ce scénario entraînerait la production d'environ 7 000 tonnes de combustible nucléaire irradié. La Suède a des contrats de retraitement pour 867 tonnes. Cette dernière quantité sera expédiée à l'usine de retraitement où elle sera stockée avant d'être retraitée. A ce jour, rien n'a été expédié à la Cogema, mais au cours de cet été, 140 tonnes l'auront été à la BNFL\*\*. Les envois à destination de la France, qui comprendront le reste de cette quantité, doivent commencer à la fin de cette année. En vue du stockage des déchets de basse, moyenne et haute activité qui seront renvoyés par la Cogema à l'avenir, la SKBF prévoit qu'ils seront placés dans des installations spéciales de stockage provisoire, jusqu'à ce que leur stockage définitif soit possible. Il n'est pas prévu que le stockage définitif de ces déchets commence avant l'an 2020 au plus tôt.

Pour le combustible irradié non retraité, la première installation indispensable est celle du stockage provisoire, et une installation de ce type est actuellement en construction (des détails sont donnés ci-après); le début de l'exploitation est prévue pour 1985. Autre solution: le stockage définitif direct qui est aussi envisagé actuellement par la SKBF et pour lequel une installation est prévue dans le programme.

Une autre installation dont la Suède aura besoin assez vite devra permettre le stockage définitif des déchets de basse activité et d'activité moyenne provenant de l'exploitation des réacteurs nucléaires. Il est prévu qu'elle sera en service en 1988.

\* Compagnie générale des matières nucléaires, France.

\*\* En avril 1982, 1 SEK valait environ 17 cents des Etats-Unis.

\* Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

\*\* British Nuclear Fuels Limited, Royaume-Uni.

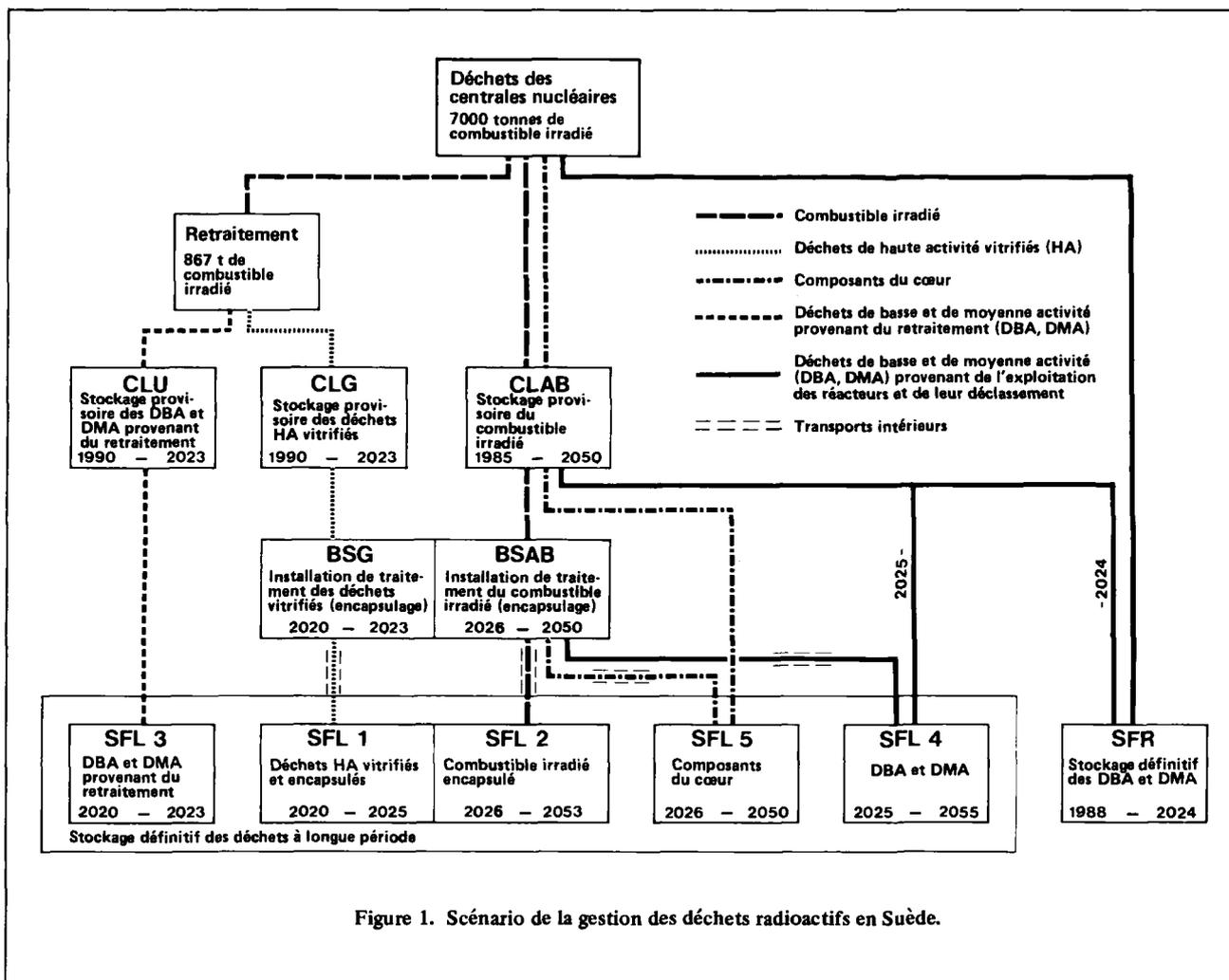


Figure 1. Scénario de la gestion des déchets radioactifs en Suède.

**Travaux en cours**

Les études ont pour objet d'obtenir les éléments d'information nécessaires pour la réalisation de l'opération de stockage et de montrer que le stockage définitif peut s'effectuer dans d'excellentes conditions de sûreté. Tout est prévu dans le programme, et aujourd'hui l'accent est mis sur les interactions de nature très complexe déchet - milieu - barrières artificielles.

Des sondages ont été entrepris et un certain nombre de sites seront prospectés. L'objectif est de caractériser les sites selon leur capacité aquifère et la roche cristalline en place, et d'obtenir ainsi suffisamment d'éléments d'information pour choisir un site de stockage définitif. Il est prévu d'effectuer ce choix autour de l'an 2000.

Il y a lieu de mentionner aussi que l'étude des propriétés fondamentales des roches cristallines suédoises se fait pareillement dans le cadre d'un projet de recherche quadriennal de l'OCDE\*, appelé le projet STRIPA. L'administration en est confiée à la SKBF. Y participent aussi le Canada, les Etats-Unis, la Finlande, la France, le Japon et la Suisse. Dans l'ancienne mine de fer

\* Organisation de coopération et de développement économiques.

désaffectée de Stripa en Suède, une formation contiguë de roche cristalline en place fait l'objet d'études.

Des moyens de transport sont indispensables à la réalisation du scénario suédois concernant la phase terminale du cycle du combustible. Toutes les centrales nucléaires suédoises sont côtières, ce qui a motivé le choix d'un système de transport maritime, en cours d'équipement. Un navire spécialement conçu est en construction aux Ateliers et Chantiers du Havre en France; sa livraison est prévue pour la fin du mois d'août de cette année. Le navire a été conçu par la Société suédoise Salén Technologies AB; le propriétaire, responsable de l'exploitation, sera la société Sofrasam, filiale française de la SKBF (SKBF 68% et Cogema 32%) et l'armateur-affrèteur sera la Compagnie Maritime des Chargeurs Réunis. Les premières missions du navire consisteront à transporter le combustible nucléaire irradié de la Suède vers la France. Ultérieurement, lorsqu'aura été mise en service (en 1985) l'installation destinée au stockage provisoire du combustible irradié appelée Clab, le navire devrait aussi transporter du combustible irradié depuis les centrales nucléaires jusqu'à cette installation qui est située à Oskarshamn, site de l'une des centrales.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
Longueur hors tout	90,60 m
Largeur	18,00 m
Hauteur	6,65 m
Tirant d'eau	4,00 m
Port en lourd	env. 1900 t.
Port en lourd utile	env. 1200 t.
Puissance des machines	2 x 1590 CV
Vitesse	11 nœuds

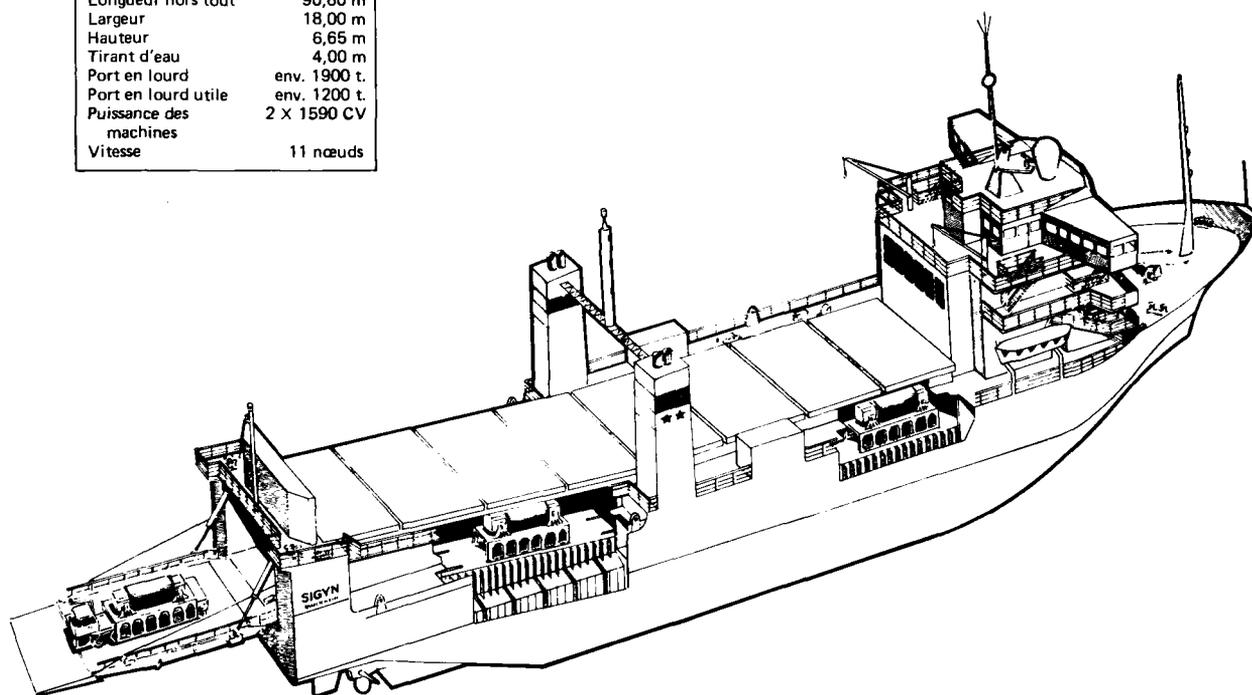


Figure 2. Le navire de transport vu en perspective.

Le navire (figure 2) est construit pour la navigation au long cours et il est conçu de manière que la cargaison puisse être embarquée soit au moyen d'un véhicule utilitaire empruntant une rampe arrière, soit au moyen de grues par les écoutilles dont les panneaux constituent la partie supérieure de la cale. Celle-ci a un double vaigrage et des ballasts. Le navire est équipé de machines et d'hélices jumelées. Il dispose d'un pousseur d'étrave et de gouvernails jumelés, et il est aussi classé comme brise-glaces. Les parois entre la cale et le rouf et entre la cale et la salle des machines font fonction de bouclier anti-rayonnements. Il s'ensuit que les aires de travail et les postes d'équipage ne seront assujettis à aucune contrainte particulière relative à la protection contre les rayonnements.

SKBF est également engagé dans la construction d'une installation de stockage provisoire pour le combustible irradié appelée Clab, dont les caractéristiques sont les suivantes:

Capacité de stockage: 3000 tonnes d'uranium  
 Cadence de réception: 300 tonnes d'uranium par an  
 Cinq bassins de stockage, dont un en réserve  
 Environ 3000 m<sup>3</sup> d'eau par bassin

Hauteur d'eau approximative: 12,5 m  
 Température de l'eau durant l'exploitation: 32°C  
 Température du bassin prévue à la conception: 100°C.

Le combustible nucléaire irradié résultant de l'exploitation des réacteurs suédois jusque vers l'an 2000 peut être placé dans cette unité de stockage, dont la capacité est prévue pour 3000 tonnes d'uranium et à laquelle s'ajoutent les bassins de stockage situés sur les sites des réacteurs.

Les bassins de Clab seront aménagés dans une cavité rocheuse d'environ 65 000 m<sup>3</sup>, dont les dimensions seront de 120 m de long, 21 m de large et 27 m de haut. L'épaisseur des roches de couverture sera de 25 à 30 m. Clab est situé sur le site des réacteurs d'Oskarshamn, près de la petite ville du même nom, au sud de la Suède. La figure 3 est une perspective cavalière de cette installation. Le coût total en est estimé à environ 1,2 milliard de SEK (au prix de 1981).

D'autre part, la Suède a besoin d'une installation pour le stockage définitif des déchets de basse activité et d'activité moyenne provenant de l'exploitation des réacteurs. Cette installation de stockage sera elle aussi

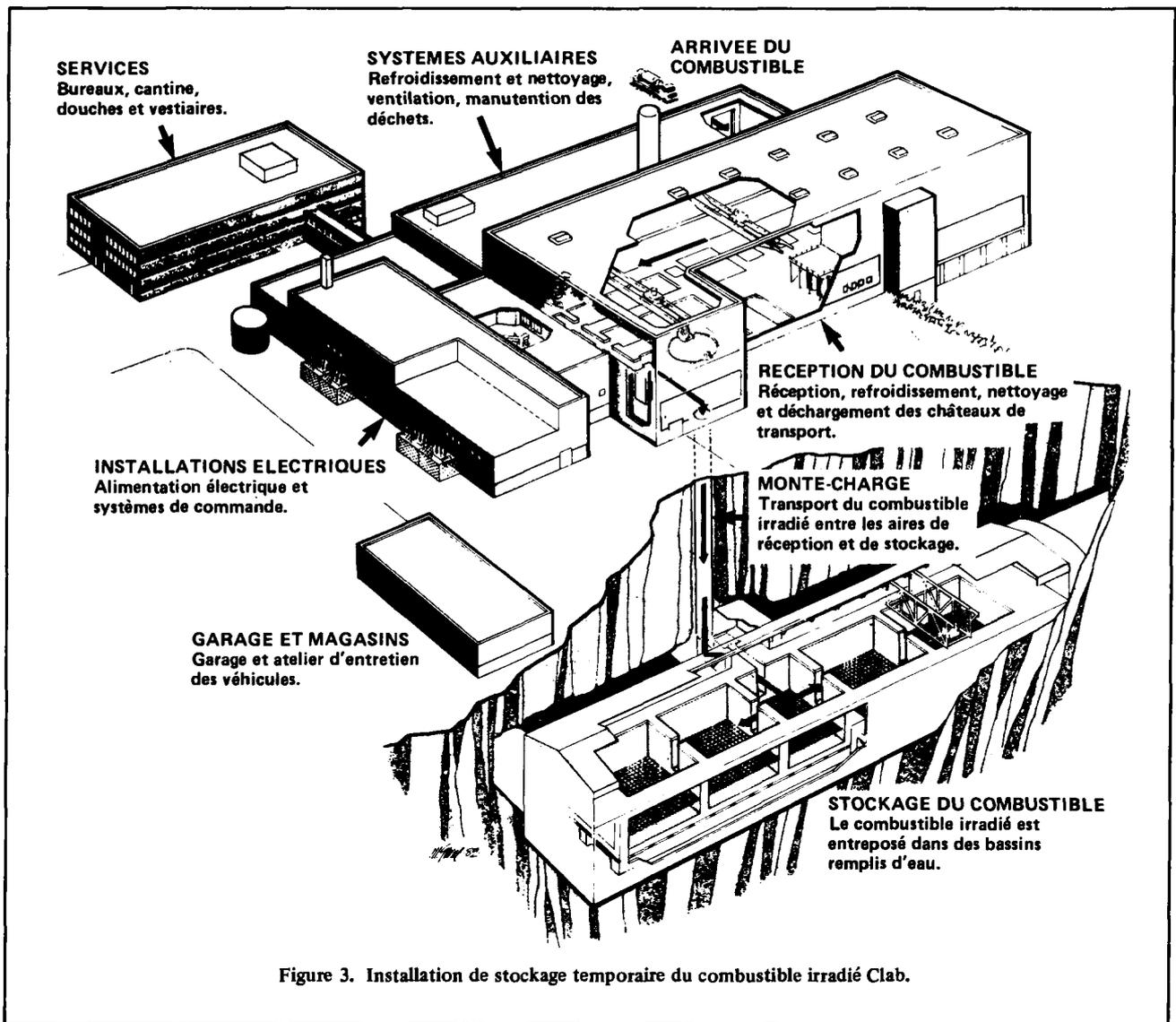


Figure 3. Installation de stockage temporaire du combustible irradié Clab.

aménagée à l'intérieur d'une cavité rocheuse. Les plans en sont à un stade avancé et la demande, en conformité avec la loi sur la protection de l'environnement, a été présentée au Gouvernement à la fin du mois de mars 1982. Cette installation se situera sur le site de Forsmark. Le volume total de la cavité rocheuse sera de l'ordre de 500 000 m<sup>3</sup>, celui disponible pour le stockage avoisnerait les 250 000 m<sup>3</sup>. Il est envisagé de creuser cette cavité sous la mer Baltique en utilisant des tunnels partant du rivage, où se situera l'entrée de l'installation. La cavité sera protégée par 50 m de roches, au-dessus desquelles il y aura la mer sur 5 à 10 mètres de haut.

Cette installation aura la capacité nécessaire pour le stockage définitif des déchets de basse et moyenne

activité résultant de l'exploitation des réacteurs suédois, conformément au programme d'orientation du Parlement concernant l'exploitation des réacteurs. Il est prévu que l'installation sera prête pour recevoir des déchets en 1988. Le coût total, y compris celui du fonctionnement jusqu'à la fermeture définitive du site de stockage, est estimé à environ 1,1 milliard de SEK (au prix de 1982).

#### Références

- [1] Handling of spent nuclear fuel and final storage of vitrified high-level reprocessing waste, KBS, déc. 1977.
- [2] Handling and storage of unprocessed spent nuclear fuel, KBS, sept. 1978.