

TECHNISCHER BERICHT 80-03

**ÉTUDE CONCEPTUELLE POUR LE
STOCKAGE SOUTERRAIN DÉFINITIF
DE DÉCHETS RADIOACTIFS DONT LA
TOXICITÉ EST DE COURTE DURÉE OU
RESTREINTE**

GREDRA

Bonnard & Gardel, Ingénieurs-conseils S.A.
Société Générale pour l'Industrie, Ing.-cons.
Lausanne

AOÛT 1980

TECHNISCHER BERICHT 80-03

**ÉTUDE CONCEPTUELLE POUR LE
STOCKAGE SOUTERRAIN DÉFINITIF
DE DÉCHETS RADIOACTIFS DONT LA
TOXICITÉ EST DE COURTE DURÉE OU
RESTREINTE**

GREDRA Bonnard & Gardel, Ingénieurs-conseils S.A.
Société Générale pour l'Industrie, Ing.-cons.
Lausanne

AOÛT 1980

RESUME, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONSI RESUME

Les déchets radioactifs dont la toxicité est de courte durée ou restreinte sont ceux qui contiennent en majorité des radioisotopes de vie moyenne relativement courte ou bien, mais en très faible quantité, des radioisotopes dont la vie moyenne est plus longue, ou bien encore des radioisotopes à faible potentiel de danger. L'aménagement de stockage conçu pour recevoir ces déchets est dit dépôt de type A. Il comporte uniquement des barrières techniques visitables et réparables ou garanties pour une durée de 100 ans après remplissage (période de surveillance). Il sera ensuite fermé par un bouchon de béton, par exemple, et pourra être abandonné devenant alors un dépôt définitif. L'isolation des déchets ainsi obtenue assurera que le danger potentiel résiduel, toujours décroissant, soit définitivement écarté.

De mai 1979 à avril 1980 deux études ont été consacrées aux dépôts de type A: analyse des systèmes puis examen plus détaillé d'une variante de disposition retenue. Le présent rapport constitue une synthèse de ces études rédigée en vue d'une plus large diffusion.

L'étude et le rapport sont articulés selon trois phases principales:

- Phase I : analyse des systèmes
- Phase II : analyse des variantes
- Phase III : étude d'une variante de référence.

PHASE I : Analyse des systèmes

Cette phase consiste à recenser les données - tout particulièrement celles relatives aux déchets à stocker et au site - et à examiner les paramètres principaux intervenant dans la conception de l'aménagement.

Sur la base d'informations fournies par la CEDRA, un inventaire général des déchets radioactifs a permis d'évaluer leurs formes et leurs quantités.

Les déchets considérés proviennent:

- de la recherche, la médecine et l'industrie
- de l'exploitation de 8 centrales nucléaires (programme admis représentant 6 GWe)
- du démantèlement de ces centrales au terme de leur vie.

A la livraison au dépôt les déchets se présentent soit en fûts (type A ou B) soit, pour les déchets encombrants, sous la forme de vrac conditionné (pièces d'équipement confinées).

En totalisant les volumes unitaires des divers déchets produits jusqu'en 2030 environ, on obtient un volume total de 100'000 m³ environ qui se subdivise selon la forme des déchets en:

- 40'000 m³ de déchets conditionnés en fûts
- 60'000 m³ de déchets sous la forme de vrac conditionné.

Ou encore, en subdivisant selon la provenance en:

- 10'000 m³ de déchets conditionnés provenant de la recherche, la médecine, l'industrie et l'exploitation des 8 centrales nucléaires
- 90'000 m³ de déchets conditionnés provenant des démantèlements.

L'aménagement est étudié sur un site type, non localisé géographiquement. On a retenu une implantation souterraine sous une couverture de 200 m dans un massif de rocher du type Malm. Le Malm peut se présenter en bancs d'épaisseur importante, il se prête assez bien au creusement de galeries et ne constitue pas une roche très étanche.

Il est apparu que les paramètres principaux entrant dans la conception du dépôt sont:

- la forme et la disposition des cavernes ou des puits
- le poids des unités manutentionnées
- les caractéristiques des barrières.

Pour ce qui est des formes et dispositions des cavités de stockage, on retient les solutions types suivantes:

- longue caverne horizontale unique, étroite (11 m de largeur) désignée par galerie
- cavernes multiples basses (10 m de hauteur) et larges (20 m)
- cavernes multiples hautes (25 m de hauteur) et moyennement larges (15 m)
- grands puits (diamètre D = 40 m, hauteur H = 60 m)
- puits moyens (D = 40 m, H = 45 m)
- petits puits (D = 30 m, H = 35 m)

Pour ce qui est des unités de manutention, 3 types très différents sont admis: 5 t, 50 t, 250 t. Les déchets livrés au dépôt étant en principe constitués d'éléments de poids limité à 2 t, les unités de 50 t et de 250 t nécessitent l'utilisation de conteneurs.

Pour ce qui est des barrières, il est constaté que les déchets sont livrés au dépôt sous forme conditionnée ou confinée, c'est-à-dire munis de barrières efficaces. Une barrière supplémentaire, dite barrière du dépôt, est en mesure d'assurer le confinement général à condition qu'elle soit visitable et réparable ou garantie pour la période requise de surveillance.

Trois types de barrières du dépôt sont ainsi proposés:

- revêtement intérieur des conteneurs par une tôle d'acier
- grandes cuves en béton armé réalisées dans les cavernes ou les puits revêtues d'une peau étanche et reposant sur un plancher rendu étanche par une tôle d'acier
- parois de cavernes ou puits revêtues elles-mêmes d'une étanchéité.

Toutes les variantes engendrées par les combinaisons possibles des divers paramètres sont alors examinées en rapport avec les possibilités de réalisation et le niveau de sécurité évalué et également en rapport les unes avec les autres.

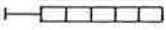


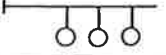
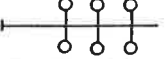
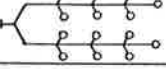


Huit variantes sur un total de 33 sont alors retenues et constituent les variantes préliminaires.

PHASE II : Analyse des variantes préliminaires

Dans cette phase, les variantes préliminaires sont projetées plus en détail, évaluées puis comparées.

Chacune des variantes fait l'objet d'un examen dans ses dispositions constructives et dans les processus de maintenance qui lui sont propres. Des critères de comparaison sont définis: sécurité de confinement (en regard des accidents possibles), exposition du personnel aux radiations, potentiel d'adaptation aux conditions géologiques et à l'évolution des principes de stockage, coûts.

Caractéristiques des variantes retenues

Variante	Forme et disposition des cavités de stockage		Unité de manutention	Caractéristique barrière du dépôt
	Type	Schéma de disposition		
1	Caverne basse		5 t	Cuve
2	Caverne haute		Conteneur 50 t	isolation du conteneur
3	Caverne basse		Conteneur 50 t	isolation du conteneur
4	Grand puits		5 t	Cuve
5	Puits moyen		5 t	Cuve
6	Petit puits		5 t	Cuve
7	Galerie basse		Conteneur 250 t	isolation du conteneur
8	Caverne haute		Conteneur 50 t	Cuve

L'analyse comparative a conduit à retenir des variantes des types 1, 5 ou 8.

Il en résulte les variantes de référence suivantes:

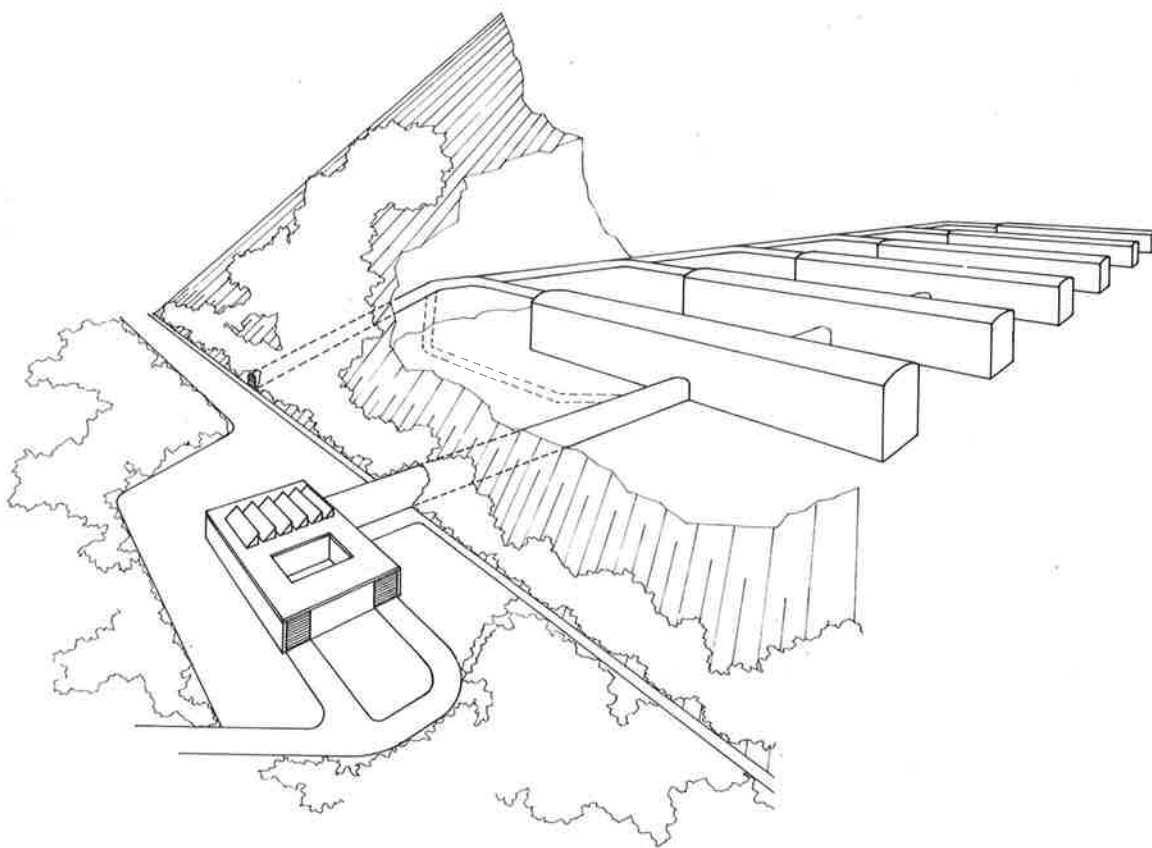
- puits moyens avec cuve et petites unités de déchets
- cavernes basses avec cuve et petites unités de déchets
- cavernes hautes avec cuves étanches et conteneurs

Parmi ces variantes, c'est une solution du type variante No. 8 qui a été retenue pour une étude plus détaillée, sans qu'on en puisse déduire que cette variante puisse être préférée aux autres.

PHASE III : Etude d'une variante de référence

La variante retenue pour étude prévoit que les déchets, avant leur mise en place définitive, sont enfermés dans des conteneurs en béton de 50 t de poids total. Cette opération se déroule au dépôt même ou, éventuellement, sur les chantiers de démantèlement. Le stockage des conteneurs s'effectue dans des cuves étanches de grandes dimensions construites dans des cavernes hautes.

Des dispositions d'ensemble sont définies. D'une façon générale, on trouve un bâtiment de service à l'extérieur, une galerie d'accès et de part et d'autre de celle-ci douze cuves situées deux par deux dans six cavernes disposées transversalement à la galerie.



La délimitation des zones contrôlées est sommairement esquissée et une analyse de la pérennité des ouvrages permet d'inventorier les dispositions complémentaires ou les modifications de conception qui seraient apportées au projet pour surmonter les difficultés constructives qui pourraient être rencontrées.

La barrière du dépôt est prévue sous la forme:

- d'une tôle d'acier avec dispositif de contrôle sous la cuve
- d'une peau de PVC sur les 5 autres faces de la cuve.

Des variantes peuvent être imaginées.

Des dispositions générales sont proposées pour les différents contrôles:

- de la barrière du dépôt
- du circuit des personnes et des choses
- des eaux
- de l'air rejeté

La description puis l'analyse de la manutention permettent d'évaluer la capacité générale des installations. Celle-ci varie suivant le type de déchet. Pour une journée de travail de 9 heures, elle est de 3 à 6 conteneurs selon le type de déchets.

L'irradiation du personnel atteint des valeurs basses grâce à l'emploi des conteneurs et une automatisation relativement poussée. La dose collective annuelle pour une campagne de stockage (définie plus loin) varie de 3 à 7 rem suivant le type de déchet et le déroulement des opérations. La dose individuelle reste inférieure à 1 rem/an.

On a simulé le fonctionnement général des installations en prenant en compte la production des déchets et les opérations de stockage intermédiaire sur les sites des centrales nucléaires. Les campagnes de stockage pour les déchets ne provenant pas du démantèlement se déroulent tous les 7 ans environ, sur une période de 3 à 6 mois au moins.

Les campagnes correspondant aux démantèlements se superposent aux précédentes et on peut évaluer que 19 années seront utilisées partiellement ou en plein pour les stockages durant les 50 ans qui précéderont le remplissage total du dépôt. Le schéma est compatible avec une réalisation par étapes du dépôt; trois étapes de travaux sont prévues:

- la première implique la construction du bâtiment de service et de 4 cuves
- la seconde permet de réaliser 4 nouvelles cuves
- et la troisième les 4 dernières cuves.

Le montant total des dépenses, évalué sur la base des connaissances et des prix actuels, s'élève à Fr. 200 millions. Il comprend le coût des travaux et des équipements ainsi que les frais d'exploitation et de maintenance des installations jusqu'à la fin de la période d'exploitation.

Les ouvrages souterrains, de construction massive et robuste, présentent une sécurité intrinsèque élevée.

La fiabilité du confinement des déchets n'est guère affectée par les accidents d'exploitation ou ceux résultant de faibles perturbations du massif rocheux, sans augmentation importante des venues d'eau.

L'implantation du dépôt dans un rocher de qualité moyenne et à un endroit où des venues d'eau importantes sont difficilement concevables, doit permettre de retenir comme très peu probables les accidents pouvant entraîner la contamination radioactive, de toute façon faible, de quantités d'eau importantes dépassant la capacité de traitement des installations du dépôt.

II CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le projet d'un dépôt fait partie d'un processus itératif d'optimisation de la sécurité du stockage qui comprend notamment les spécifications des déchets admis dans le dépôt ainsi que les analyses de sécurité du dépôt contenant les déchets. D'une façon générale, l'étude a permis d'affiner la notion de dépôt de type A définie dans le concept 1978 de la CEDRA et en a fait apparaître les possibilités de réalisation. On a pu montrer que les conditions géologiques réalistes qui ont été considérées permettent la construction du dépôt. On a constaté que la réalisation et l'entretien d'une barrière artificielle fiable durant 100 ans est une opération réalisable techniquement. Des choix technologiques s'offrent pour surmonter des difficultés qui pourraient être rencontrées en situation réelle.

La protection du personnel d'exploitation face aux radiations sera assurée par une conception adéquate des installations et par une planification soignée des opérations.

Les ouvrages et les équipements peuvent être conçus sans difficultés majeures pour que le risque encouru face aux divers accidents soit réduit à une valeur acceptable.

L'étude a fait apparaître les relations entre les opérations de stockage et de démantèlement des centrales et a fourni des éléments à prendre en compte pour l'examen de cette dernière opération.

Des recherches complémentaires pourraient être entreprises comme:

- l'examen plus large des matériaux pouvant constituer les barrières
- l'inventaire et l'analyse de constructions de même type
- la mise au point des processus à mettre en oeuvre pour le démantèlement des centrales et l'évacuation des déchets
- l'examen plus détaillé du fonctionnement du dépôt: exploitation, personnel et matériel à affecter aux diverses fonctions, surveillance en cours d'exploitation et au-delà
- l'examen de la fermeture du dépôt et de ses répercussions sur le projet
- l'examen de la sécurité du stockage définitif.

<u>TABLE DES MATIERES</u>	<u>Page</u>
RESUME, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	1
I RESUME	1
II CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	8
TABLE DES MATIERES	9
TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX	12
1. INTRODUCTION	13
1.1 La mission	13
1.2 Processus d'étude	14
1.3 Plan du rapport	14
2. HYPOTHESES ET DONNEES DE BASE	15
2.1 Caractéristiques des déchets	15
2.1.1 Définition des déchets et du dépôt	15
2.1.2 Provenance des déchets et période considérée	15
2.1.3 Conditionnement des déchets	16
2.1.4 Radioactivité des déchets	16
2.1.5 Quantités	17
2.2 Le site proposé	20
2.2.1 Site type	20
2.2.2 Topographie	20
2.2.3 Accès, électricité, eau, eaux usées	21
2.2.4 Géologie	21
2.2.5 Hydrogéologie	21
3. CONCEPTION DES INSTALLATIONS DE STOCKAGE	22
3.1 Les objectifs	22
3.2 Les fonctions	23
3.2.1 Inventaire des fonctions	23
3.2.2 L'isolement de l'environnement et les contrôles	23
3.2.3 L'exploitation générale et la manutention	24
3.2.4 La réalisation des installations	27
3.3 Les équipements	28
3.3.1 Inventaire des équipements	28
3.3.2 Les barrières	28
3.3.3 Les locaux et leur équipement	31
3.3.4 Les engins d'exploitation	32

	<u>Page</u>
4. LES VARIANTES ET LEUR EVALUATION	35
4.1 Génération des variantes	35
4.1.1 Critères de génération	35
4.1.2 Tableaux des variantes	36
4.2 Description des variantes	39
4.2.1 Dispositions constructives	39
4.2.2 Manutention pour les diverses variantes	45
4.3 Evaluation des variantes	46
4.3.1 Critères d'évaluation	46
4.3.2 Tableau comparatif des variantes préliminaires	47
4.4 Comparaison des variantes	49
4.4.1 Analyse du tableau comparatif des variantes	49
4.4.2 Suite des études	49
5. ETUDE PLUS DETAILLEE D'UNE VARIANTE (VAR. 8)	51
5.1 Description générale	51
5.1.1 Disposition d'ensemble	51
5.1.2 Bâtiment de service	54
5.1.3 Galeries	54
5.1.4 Cavernes et cuves	54
5.1.5 Zones contrôlées	59
5.1.6 Pérennité des ouvrages	60
5.2 Barrières et contrôles	60
5.2.1 Barrière sous la cuve	60
5.2.2 Barrières sur les faces latérales et à la partie supérieure	62
5.2.3 Variantes d'exécution	62
5.2.4 Contrôle des eaux	63
5.2.5 Contrôle de l'air rejeté	64
5.2.6 Contrôle des personnes et des choses	65
5.3 Manutention	66
5.3.1 Principes	66
5.3.2 Acheminement des déchets, réception et contrôle des convois	67
5.3.3 Déchargement, contrôle, mise en conteneur et stockage temporaire	67
5.3.4 Transport interne et mise en place	68
5.3.5 Engins de manutention	68
5.3.6 Analyse de la manutention	70
5.3.7 Irradiation du personnel	71

	<u>Page</u>
5.4 Exploitation générale et programme des travaux	72
5.4.1 Fonctionnement du dépôt	72
5.4.2 Programme des travaux	75
6. SECURITE	77
6.1 Conditions normales	77
6.2 Analyse des accidents	78
6.2.1 Accidents internes ou liés au revêtement du dépôt (accident de type Ao)	78
6.2.2 Accidents de faible ampleur affectant le massif rocheux, mais sans apport d'eau (A1)	80
6.2.3 Accidents de faible ampleur affectant le massif rocheux, entraînant des venues d'eau importantes (A2)	80
6.2.4 Perturbation grave des massifs rocheux avec arrivée d'eau importante (A3)	80
6.2.5 Accidents résultant d'actes de malveil- lance (M)	81
6.3 Appréciation du risque relatif des différents accidents	81
BIBLIOGRAPHIE	85
ANNEXE 1: Etude détaillée d'une variante Disposition d'ensemble	

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

<u>FIGURES</u>	<u>Page</u>
Fig. 1 : Production cumulée des déchets (1978-2034)	19
Fig. 2 : Conditions du site	20
Fig. 3 : Organigramme des opérations de manutention	26
Fig. 4 : Dispositions de la barrière du dépôt	30
Fig. 5 : Relations fonctionnelles entre les locaux	33
Fig. 6 : VARIANTE 1 / Coupe transversale et ensemble	39
Fig. 7 : VARIANTE 2 / Coupe transversale et ensemble	40
Fig. 8 : VARIANTE 3 / Coupe transversale et ensemble	41
Fig. 9 : VARIANTES 4,5 et 6 / Coupe transversale et ensemble	42
Fig. 10 : VARIANTE 7 / Coupe transversale et ensemble	43
Fig. 11 : VARIANTE 8 / Coupe transversale et ensemble	44
Fig. 12 : Situation générale et coupe en long	52
Fig. 13 : Conteneur	53
Fig. 14 : Bâtiment de service - rez-de-chaussée	55
Fig. 15 : Bâtiment de service - étage	56
Fig. 16 : Coupes des cavernes et de la galerie d'accès	57
Fig. 17 : Galerie d'accès et cavernes, vue intérieure	58
Fig. 18 : Schéma des zones contrôlées	59
Fig. 19 : Détail de la barrière du dépôt	61
Fig. 20 : Contrôle des eaux	63
Fig. 21 : Contrôle de l'air rejeté	65
Fig. 22 : Porte-conteneurs et conteneurs de 40 pieds et 30 t	69
Fig. 23 : Schéma de fonctionnement du dépôt	74
Fig. 24 : Programme des travaux	76
<u>TABLEAUX</u>	
Tableau 1 : Pièces typiques provenant du démantèlement des centrales nucléaires	17
Tableau 2 : Production cumulée des déchets	18
Tableau 3 : Génération des variantes	37
Tableau 4 : Caractéristiques des variantes retenues	38
Tableau 5 : Tableau comparatif des variantes préliminaires	48
Tableau 6 : Risque relatif maximal des différents accidents	83

1. INTRODUCTION

1.1 LA MISSION

En mai 1979, CEDRA a chargé trois groupements d'étude d'approfondir l'examen des dispositions à prendre pour le stockage définitif en cavernes des déchets radioactifs selon le concept 1978.

Le projet P1 est relatif aux stockages définitifs en dépôts dits de type B. Ces dépôts sont réalisés pour recevoir des déchets radioactifs de faible et moyenne activité comprenant surtout des produits de fission, notamment des isotopes de Césium et de Strontium. Pour le confinement de ces déchets, des barrières naturelles et artificielles sont prévues.

Le projet P2, dépôts de type C, étudie l'entreposage des déchets de haute activité en stockage intermédiaire et en stockage définitif. Ces déchets contiennent, en plus des produits de fission, des actinides à longue vie moyenne. Le dépôt doit être tout spécialement conçu en fonction de ces déchets.

Le projet P3, dépôts de type A, est relatif aux déchets dont la toxicité est de courte durée ou restreinte. Pour leur confinement, il est prévu une installation ne comportant que des barrières artificielles visitables et réparables ou garanties pour une durée de 100 ans après remplissage. Durant ce laps de temps - période de surveillance - le dépôt est considéré comme un stockage intermédiaire. A la fin de la période de surveillance, l'installation fermée définitivement et abandonnée constitue alors le dépôt définitif.

GEDRA, Groupement Romand pour l'Etude de l'Entreposage de Déchets Radioactifs, a été chargé de l'étude P3.

Les recherches devaient être orientées vers la définition de solutions techniques et l'examen de leur faisabilité pour le dépôt en périodes d'exploitation et de surveillance. L'examen de variantes d'aménagement et de leurs limites de réalisation doit permettre de dégager des solutions de référence.

Ce sont ces solutions qui serviront de base au projet général et aux recherches de sites ainsi qu'aux études de sécurité en stockage définitif effectués ultérieurement.

La mission s'est déroulée de mai 1979 à avril 1980 et a fait l'objet de rapports.

1.2 PROCESSUS D'ETUDE

Pour atteindre ces objectifs, trois phases principales sont considérées:

- PHASE I : analyse des systèmes soit recensement des données, analyse des paramètres extérieurs et intérieurs, établissement des programmes fonctionnels et physiques de l'aménagement, inventaire des variantes préliminaires.
- PHASE II : analyse des variantes préliminaires, évaluation de celles-ci sur les plans de la faisabilité technique et de la sécurité et mise en évidence des variantes de référence.
- PHASE III: étude d'une variante de référence de façon plus approfondie en simulant le fonctionnement du dépôt pour permettre un jugement plus complet de la faisabilité, faire apparaître les points particuliers et dégager les solutions correspondantes.

1.3 PLAN DU RAPPORT

Le chapitre 2 "Hypothèses et données de base" et le chapitre 3 "Conception des installations de stockage" représentent la phase I de l'étude. Les différents inventaires portant sur les données, les actions à assurer et les moyens d'action à mettre en oeuvre sont traités de manière aussi exhaustive que possible.

Le chapitre 4 "Les variantes et leur évaluation" définit les variantes de base et les compare des points de vue de la faisabilité technique, de la sécurité de confinement, de l'exploitation et du coût.

Le chapitre 5 "Etude plus détaillée d'une variante" est consacré à l'étude d'une variante de référence. Les éléments concernant les barrières, la manutention et l'exploitation générale y sont tout spécialement analysés.

Enfin, le chapitre 6 "Sécurité" apprécie la sécurité du confinement des déchets en conditions normales tout d'abord puis à l'égard des différents accidents, de gravité croissante, qui pourraient survenir dans la période d'exploitation et de surveillance du dépôt.

2. HYPOTHESES ET DONNEES DE BASE

2.1 CARACTERISTIQUES DES DECHETS

2.1.1 Définition des déchets et du dépôt

La présente étude concerne les déchets radioactifs dont la toxicité est de courte durée ou restreinte. Conformément à la définition de la CEDRA, il s'agit de déchets contenant en majorité des radioisotopes dont la période est relativement courte (au max. quelques années) ou bien, mais en très faible quantité, des radioisotopes dont la période est plus longue ou bien encore, des radioisotopes à faible potentiel de danger (insolubles, à très faible énergie de rayonnement, etc.).

L'aménagement de stockage conçu pour recevoir ces déchets est dit dépôt de type A. Un tel dépôt comporte uniquement des barrières techniques visitables et réparables ou garanties pour une durée de 100 ans (période de surveillance) après remplissage. Il sera ensuite fermé par un bouchon de béton, par exemple, et abandonné, devenant alors un dépôt définitif. L'isolation des déchets ainsi obtenue assurera que le danger potentiel résiduel, toujours décroissant, soit définitivement écarté.

2.1.2 Provenance des déchets et période considérée

Les déchets à stocker dans l'installation sont ceux qui sont produits pendant une durée de 50 ans et qui proviennent de l'utilisation de substances radioactives dans la recherche, en médecine et dans l'industrie ainsi que de l'exploitation et du démantèlement des centrales nucléaires. Pour ces dernières, on a considéré les déchets provenant des centrales actuellement en service et en construction (Beznau I et II, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt) ainsi que de trois nouvelles centrales qui seraient mises en service ultérieurement. On a considéré que l'ensemble de ces centrales avait une puissance totale de 6 GWe et que le démantèlement de chacune de ces installations intervenait après 40 ans d'exploitation.

2.1.3 Conditionnement des déchets

Les déchets doivent être conditionnés pour leur transport selon les règlements /2/, /3/, /7/ et /8/ 1).

Suivant leur nature ou les conditions de transport, le conditionnement des petits éléments s'opère par incorporation dans du béton ou du bitume coulé:

- soit dans des fûts de 200 l (emballage type A)
- soit dans une enveloppe cylindrique de béton de même contenance utile, mais d'un volume total de 1 m³ (emballage type B).

Les déchets encombrants provenant du démantèlement (vrac) doivent être conditionnés dans des conteneurs pour leur transport. Pour certains d'entre eux, on procédera tout d'abord à une opération de confinement (fermeture des orifices au moyen de couvercles soudés).

Pour tous les déchets conditionnés on a pris en compte une masse volumique moyenne de 2,5 t/m³.

2.1.4 Radioactivité des déchets

Pour tous les déchets en fûts, la répartition suivante du débit de dose en surface a été estimée:

0 - 50 mrem/h	65 % du total des fûts
50 - 100 mrem/h	25 % du total des fûts
100 - 200 mrem/h	10 % du total des fûts.

La radioactivité de déchets en vrac typiques est donnée, avant conditionnement, au tableau I.

L'activité de tous les déchets destinés au dépôt étudié est suffisamment faible pour que le dégagement de chaleur résultant de la désintégration radioactive puisse être négligé.

1) Les chiffres entre barres obliques /../ renvoient à la bibliographie p. 85.

Tableau 1 - Pièces typiques provenant du démantèlement des centrales nucléaires.

	Forme	Surface m ²	Poids unitaire en t	Taux de dose en mR/h
1. Cuve du réacteur région du coeur	plaque	2,0	2,7	2 500
2. Cuve du réacteur région hors coeur	plaque	2,0	2,0	500
3. Couvercle de la cuve	plaque sphé- rique bridée	2,0	2,7	25
4. Générateur de vapeur, paroi cylindrique au-dessus de la plaque tubulaire	tôle cintrée	4,5	2,2	20
5. Générateur de vapeur, parois de la chambre à eau	plaque sphérique	-	2,5	100
6. Enveloppe de la pompe primaire	plaque sphérique		3,0	10
7. Tuyauterie primaire typique pour d'autres lots de tuyaux, échangeurs, récipients, etc.	tuyau	l = 3,0 m Ø ext. = 0,82 m	3,5	20

2.1.5 Quantités

Les déchets provenant de la recherche, la médecine et l'industrie correspondent à un total de 75 fûts A par an (15 m³).

L'exploitation d'une centrale nucléaire implique la production de déchets de la catégorie envisagée ici de près de 50 m³ par an pour une installation de 1000 MWe, soit 225 fûts A et 5 fûts B.

Les déchets provenant du démantèlement d'une centrale comportent des parties métalliques et des débris de construction comme ceux résultant par exemple de la démolition de l'écran biologique. Selon leurs dimensions et leur activité, ces déchets sont mis en fûts ou, pour les pièces de grandes dimensions, placés dans de grands conteneurs. Pour une centrale de 1000 MWe équipée d'un réacteur à eau légère (type actuellement le plus répandu), le volume des déchets conditionnés est de 15'000 m³ comptabilisé comme suit:

<u>20'000 fûts A</u>	soit	4'000 m ³
<u>1'000 fûts B</u>	soit	1'000 m ³
<u>5'000 m³ en vrac</u>	soit	<u>10'000 m³</u>
		<u>15'000 m³</u>

La production cumulée des déchets figure au tableau 2 qui prend en compte les déchets des trois provenances analysées ci-dessus et pour le programme des centrales nucléaires considéré en 2.1.2.

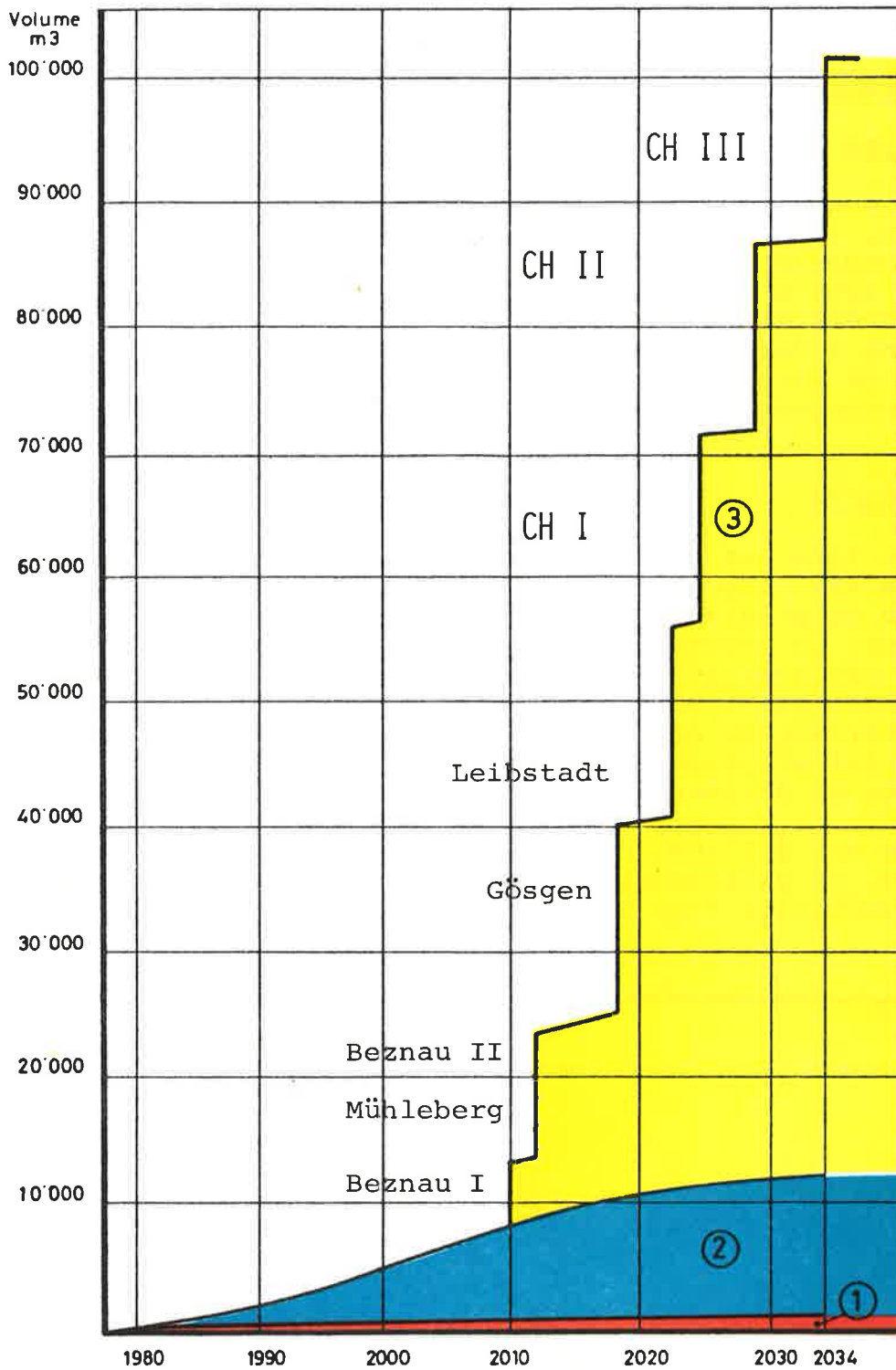
Les trois centrales Beznau I, II et Mühleberg ont été assimilées à une centrale de 1000 MWe. (On considère donc au total 6'000 MWe.) Enfin on a admis que les déchets provenant du démantèlement de réacteurs de recherche étaient compris dans ceux provenant des centrales.

La production cumulée est d'environ 100'000 m3 au total. Le tableau 2 et la figure 1 précisent l'échelonnement de cette production.

Tableau 2 - Production cumulée des déchets

Provenance	Unités	1978	1980	1982	1984	1986	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006
Recherche, médecine, industrie	fûts A	75	225	375	525	675	825	975	1125	1275	1425	1575	1725	1875	2025	2175
	total m3	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435
Exploitation des centrales nucléaires	fûts A	171	779	1724	3006	4671	6336	8451	10566	12681	15246	17811	20376	22941	25506	28071
	fûts B	4	18	39	67	104	141	188	235	282	339	396	453	510	567	634
	total m3	38	173	383	668	1038	1408	1878	2348	2818	3388	3958	4528	5098	5668	6238
Totaux	fûts A	246	1004	2099	3531	5346	7161	9426	11691	13596	16671	19386	22101	24816	27531	30246
	fûts B	4	18	39	67	104	141	188	235	282	339	396	453	510	567	634
	total m3	53	218	458	773	1173	1573	2073	2573	3073	3673	4273	4873	5473	6073	6673

Provenance	Unités	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034
Recherche, médecine, industrie	fûts A	2325	2475	2625	2775	2925	3075	3225	3375	3525	3675	3825	3975	4125	4275
	total m3	465	495	525	555	585	615	645	675	705	735	765	795	825	855
Exploitation des centrales nucléaires	fûts A	30636	33201	35609	37836	40064	42291	44249	46206	47826	48726	49626	50076	50526	50976
	fûts B	681	738	792	841	891	940	984	1027	1063	1083	1103	1113	1123	1133
	total m3	6808	7378	7913	8408	8903	9398	9833	10268	10628	10828	11028	11128	11228	11328
Démantèlement des centrales nucléaires	fûts A		6600	20000	20000	20000	40000	40000	60000	80000	80000	100000	100000	100000	120000
	fûts B		330	1000	1000	1000	2000	2000	3000	4000	4000	5000	5000	5000	6000
	vrac cond. m3		3300	10000	10000	10000	20000	20000	30000	40000	40000	50000	50000	50000	60000
	total m3		4950	15000	15000	15000	30000	30000	45000	60000	60000	75000	75000	75000	90000
Totaux	fûts A	32961	42276	58234	60611	62989	85366	87474	109581	131351	131401	153451	154051	154651	175251
	fûts B	681	1068	1792	1841	1891	2940	2984	4027	5063	5083	6103	6113	6123	7133
	vrac cond. m3		3300	10000	10000	10000	20000	20000	30000	40000	40000	50000	50000	50000	60000
	total m3	7273	12833	23439	23963	24489	40013	40479	55943	71333	71363	86793	86923	87053	102183



- ① Recherche médecine, industrie
- ② Exploitation des centrales nucléaires
- ③ Démantèlement des centrales nucléaires
(vrac conditionné, coeff. de foisonnement = 2)

Fig. 1: Production cumulée des déchets (1978-2034)

2.2 LE SITE PROPOSE

2.2.1 Site type

Comme le confinement est assuré par des barrières artificielles, les conditions du site réel ne jouent qu'un rôle secondaire dans l'analyse. En d'autres termes, le dépôt de type A peut être envisagé en des sites relativement divers et en particulier, il sera aisé de retenir une zone à faible sismicité. Pour fixer les idées, on a choisi un site type, représentatif de conditions réalistes rencontrées fréquemment en Suisse. Il est décrit ci-après.

2.2.2 Topographie

Le site type est constitué par un flanc de montagne incliné à 45° . L'accès aux cavernes de stockage se fait par une ou plusieurs galeries horizontales de 200 m de longueur. La couverture rocheuse à la verticale des cavernes est donc aussi de 200 m au minimum. Les galeries présentent une légère pente de 1 à 2 % vers l'intérieur. A l'extérieur du dépôt proprement dit, le terrain est horizontal et permet une implantation fonctionnelle des ouvrages et bâtiments (fig. 2).

Le site est à l'abri des inondations provenant de l'extérieur, en particulier de la vague résultant de la rupture éventuelle d'un barrage.

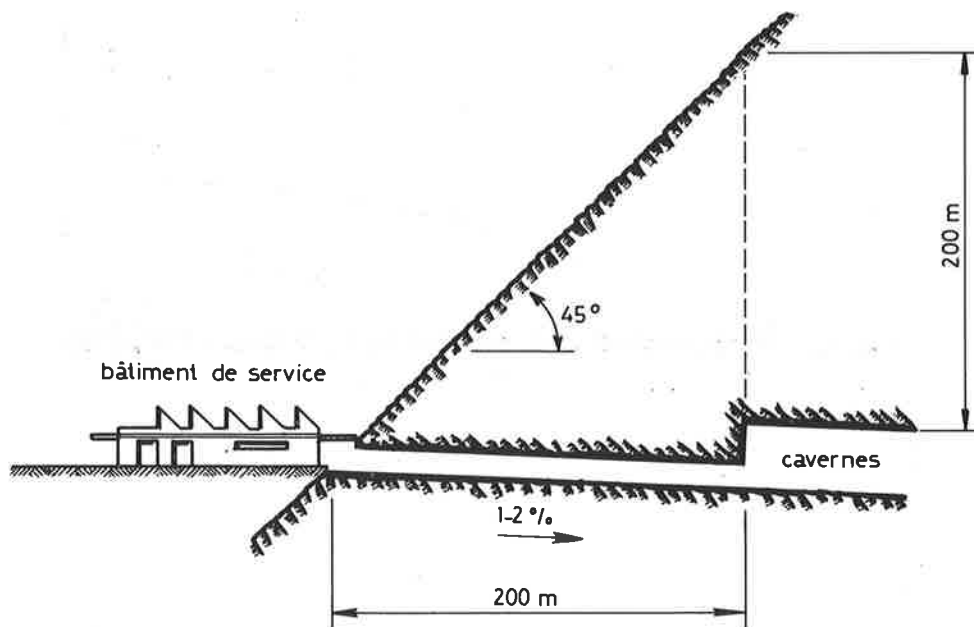


Fig. 2: Conditions du site

2.2.3 Accès, électricité, eau, eaux usées

L'accès au dépôt a lieu par route, uniquement. Les routes sont aménagées de façon à écouler sans restriction le trafic correspondant à l'exploitation du dépôt, en particulier en ce qui concerne les dimensions, le poids et le nombre des convois.

Le raccordement électrique du site est constitué par deux lignes à moyenne tension (6 à 20 kV) réalisant un bouclage. Le raccordement électrique présente une fiabilité élevée.

L'alimentation en eau est suffisante pour pourvoir aux besoins du dépôt (sans traitement préliminaire).

Les eaux usées, après traitement éventuel dans les installations du dépôt, peuvent être évacuées sans limitation dans les eaux de surface (en respectant les dispositions de l'Ordonnance sur le déversement des eaux usées /4/, en ce qui concerne les aspects conventionnels).

2.2.4 Géologie

Du point de vue géologique, l'ensemble des ouvrages souterrains est situé dans un massif de Malm se prêtant bien au creusement de galeries. Cela ne doit pas être interprété comme le fait que le dépôt soit prévu dans le Malm, mais plutôt comme une indication générale permettant d'évaluer les caractéristiques géotechniques de la roche.

2.2.5 Hydrogéologie

Les venues d'eau admises sont de 0 à 10 l/s dans l'ensemble des cavernes de stockage et de 0 à 5 l/s dans les galeries d'accès. Ces débits varient au cours de l'année, mais ne peuvent pas être considérés comme nuls pour une longue période.

La zone excavée est située au-dessus de la nappe du massif, les venues d'eau sont faibles et uniquement conditionnées par l'apport des précipitations; elles restent cependant toujours liées au réseau fissural, karstifié ou non.

3. CONCEPTION DES INSTALLATIONS DE STOCKAGE

3.1 LES OBJECTIFS

Le document /20/ "Elimination des déchets radioactifs en Suisse" définit les objectifs généraux à atteindre pour la constitution d'un dépôt, de type A, qui sont:

- a) Réaliser des installations où la sécurité de confinement est assurée par des barrières artificielles dont la pérennité soit garantie durant une période de l'ordre de 100 ans après le remplissage du dépôt.
- b) Mettre en service des installations où soit assurée une protection maximum du personnel d'exploitation contre les radiations (conformément aux exigences légales).
- c) Mettre en oeuvre des dispositifs de manutention et de stockage tels qu'aucun à-coup dans l'exploitation ne puisse porter préjudice au bon déroulement de l'ensemble du processus.
- d) Rendre facile et sûre la surveillance générale.
- e) Obtenir un coût minimum, mais seulement après avoir satisfait totalement aux objectifs ci-dessus.

Par la suite, la notion de pérennité mentionnée sous a) a été précisée dans le sens que la barrière est, soit intrinsèquement garantie, soit visitable et si nécessaire réparable pendant la durée requise.

Au cours des études, les principes du stockage ont également été précisés. On a distingué ainsi pour le dépôt trois phases principales: exploitation et surveillance, surveillance seule, stockage définitif. Durant les deux premières phases, on procède au stockage des déchets et à la surveillance et la réparation éventuelle des barrières. Le dépôt est alors considéré comme un dépôt intermédiaire. La dernière phase prend naissance à la fermeture totale du dépôt (bétonnage des accès) qui, sans surveillance, est considéré alors comme un dépôt définitif.

Pour assurer le fonctionnement du dépôt en période d'exploitation et de surveillance, on disposera d'un certain nombre de moyens (équipements, organes, processus) qui seront mis en oeuvre dans le cadre des diverses actions. On se propose de passer en revue les actions générales à exercer ou fonctions, puis les moyens d'action ou équipements.

3.2 LES FONCTIONS

3.2.1 Inventaire des fonctions

Une analyse exhaustive du fonctionnement a permis de distinguer trois groupes de fonctions essentiels:

1. L'isolement des déchets de l'environnement par des barrières artificielles et le contrôle des rejets.
2. L'exploitation générale des installations, comprenant aussi la manutention des déchets.
3. La réalisation des installations en mettant en oeuvre des moyens éprouvés et en permettant l'adaptation du dépôt à une situation évolutive.

Les groupes de fonctions 1, 2 et 3 sont respectivement en relation avec les objectifs a, b et c. Les objectifs d et e seront remplis par les groupes 2 et 3 principalement.

3.2.2 L'isolement de l'environnement et les contrôles

L'isolement est réalisé lorsqu'ont été prises toutes mesures utiles pour que les rejets radioactifs dans l'environnement soient inexistantes ou en tout cas notablement inférieurs aux valeurs fixées par les normes ou règlements.

Ces rejets pourraient atteindre l'extérieur directement, mélangés à l'eau ou l'air rejeté ou encore, entraînés par les personnes ou choses sortant du dépôt. L'ordonnance fédérale concernant la protection contre les radiations /5/ énumère les matières à retenir et précise leur degré de nocivité.

Des rejets de substances polluantes d'autre nature sont également réglementés (eaux usées /4/, fumées /11/). Les mesures à prendre sont définies et, dans leur principe, sont identiques à celles qu'il convient de développer pour les substances radioactives.

L'isolement implique la rétention des rejets, leur contrôle et enfin leur traitement si nécessaire. Ce sont les barrières qui opèrent la rétention des rejets.

a) Contrôle de l'eau rejetée

Toutes les eaux rejetées au dehors seront rassemblées, contrôlées et épurées s'il y a lieu. Ces opérations nécessitent la création de réseaux de collecte, de bassins de stockage et d'installations de décontamination. Il apparaît d'emblée souhaitable de rassembler séparément les eaux qui ont circulé à proximité des déchets.

b) Contrôle des rejets gazeux

La ventilation de l'installation souterraine est nécessaire pour permettre une exploitation normale du dépôt. L'air rejeté dans l'atmosphère sera contrôlé et filtré si nécessaire.

c) Contrôle du transit aux entrées

Toute personne ou chose quittant l'installation sera contrôlée et décontaminée si nécessaire. Le contrôle portera également sur les déchets introduits dans le dépôt qui doivent être du type accepté dans l'installation.

3.2.3 L'exploitation générale et la manutention

Cette fonction générale groupe toutes les opérations de manutention des déchets ainsi que celles qui permettent d'assurer pour l'ensemble du dépôt l'alimentation en énergie électrique, en eau, en air, en chaleur, la protection contre l'incendie, la surveillance et la gestion.

Pour définir ces opérations la quantité des déchets d'une part et leurs caractéristiques d'autre part jouent un rôle déterminant. Comme précisé en 2.1.3, les déchets arrivent au dépôt conditionnés pour leur transport, partiellement en fûts, partiellement sous une autre forme pour ceux provenant du démantèlement des centrales.

a) Rythme d'arrivée des déchets

Le rythme d'arrivée dépend du rythme de production et des temps de séjour en installations de stockage intermédiaire. Il sera plus important pour les déchets provenant du démantèlement.

Pour la période où intervient le premier démantèlement et en admettant le stockage en un an et demi pour une opération de démantèlement de deux ans (coefficient de pointe 1,33), le volume annuel à stocker est de:

- 14'490 fûts A, 690 fûts B et 6'650 m3 de vrac conditionné

Pour le rythme journalier on prévoit un coefficient de pointe de 1,5 tenant compte des interruptions diverses (vacances, pannes, etc.) et on obtient un volume journalier à stocker de:

- 90 fûts A, 5 fûts B et 37,5 m3 de vrac conditionné.

b) Mode de stockage

Les installations de manutention doivent être conçues en fonction du mode de stockage prévu. Celui-ci peut être envisagé sous quatre formes:

- disposition arbitraire ou sans ordre des déchets (fûts notamment)
- empilement régulier de fûts
- rangement des déchets dans des conteneurs de 50 t env. puis empilement des conteneurs
- idem mais avec très gros conteneurs de 250 t env.

c) Exposition aux radiations

Les opérations de manutention sont conçues de manière à réduire au minimum l'exposition du personnel d'exploitation aux radiations. L'ordonnance fédérale concernant la protection contre les radiations /5/ prescrit les mesures à prendre. Dans les grandes lignes elle précise que pour le personnel d'exploitation:

- la dose individuelle ne doit pas dépasser 5 rem/an
- la dose annuelle collective doit être fixée en fonction de l'effectif
- il convient de limiter autant que faire se peut l'irradiation (principe ALARA)

On retiendra comme valeur d'étude pour le personnel d'exploitation du dépôt une dose individuelle maximale de 1 rem/an.

d) Opérations de manutention

Les différentes opérations de manutention se déroulent selon l'organigramme de la fig. 3.

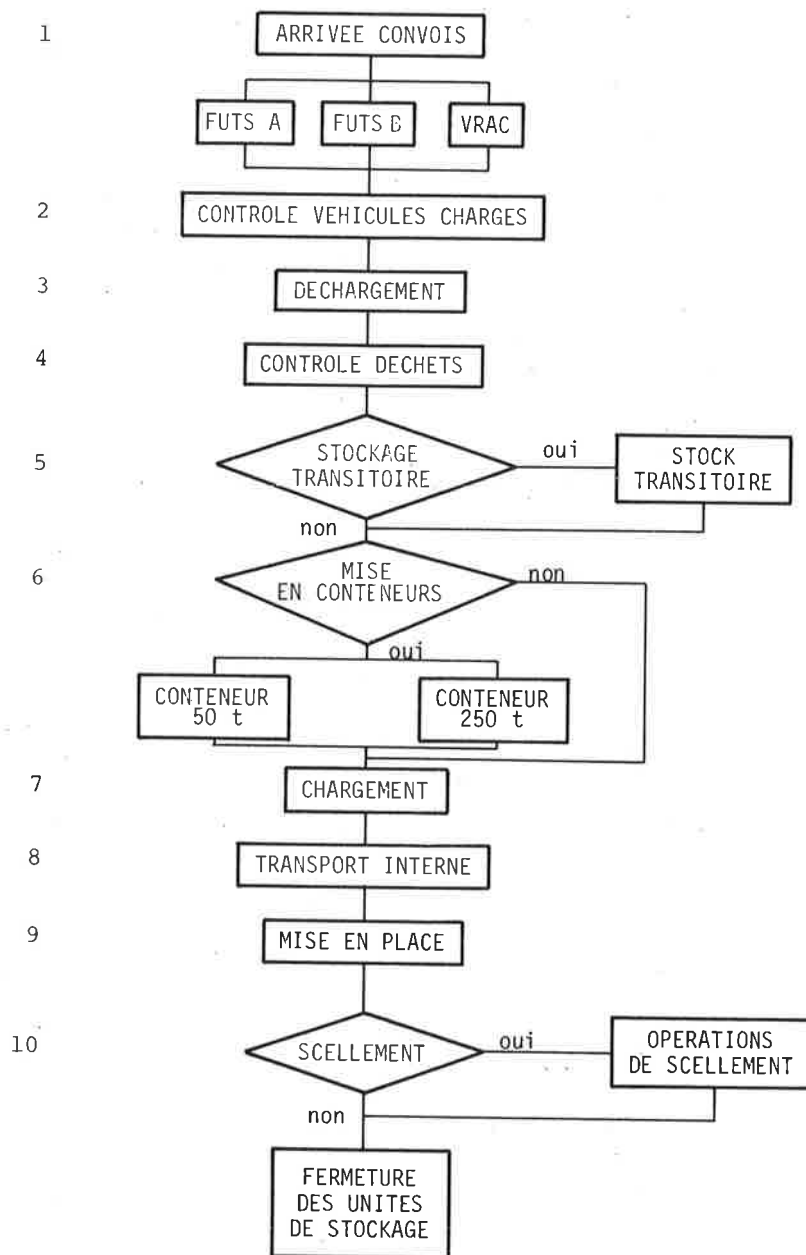


Fig. 3: Organigramme des opérations de manutention

La numérotation des opérations est reprise sur la fig. 5.

3.2.4 La réalisation des installations

a) Dispositions constructives générales

Le dépôt sera fractionné en différentes excavations souterraines reliées aux locaux d'exploitation et à l'extérieur par un réseau de galeries.

Il pourra s'agir de cavernes, de galeries ou de puits. Les dimensions et dispositions de ces ouvrages seront adaptées à la qualité et l'étendue de la roche environnante, en recherchant l'économie maximum du projet.

Pour la présente étude, et sur la base de la définition de la roche donnée en 2.2, on a prévu des constructions ne mettant en oeuvre qu'un minimum de soutènement bétonné dans un coffrage, c'est-à-dire en recourant principalement aux techniques des ancrages et du béton projeté.

Les dimensions maximales retenues sont ainsi les suivantes:

- portée maximum des cavernes: 20 m
- hauteur maximum des cavernes: 25 m
- diamètre maximum des puits: 40 m

b) Pérennité et fiabilité des ouvrages et équipements

Parmi les différentes techniques d'exécution, le choix se portera sur celles qui sont les plus éprouvées et les plus sûres.

La fiabilité offerte par les différents équipements qui peuvent être envisagés sera également analysée en se référant à des installations réelles de même type.

c) Souplesse d'adaptation

Il est apparu qu'il était avantageux de procéder à une réalisation par étapes qui permet, de réduire les délais de mise à disposition des premiers locaux, de tenir compte des expériences réalisées et de s'adapter si nécessaire à des variations du programme général de livraison. Deux solutions sont possibles: extension et exploitation du dépôt simultanément ou en phases successives. On limitera à trois le nombre des phases d'extension pour des raisons pratiques.

On peut désigner par potentiel de généralisation, la souplesse d'adaptation présentée par les variantes, tant dans leur réalisation technique (construction par étapes ou non par exemple) que dans leur capacité à pouvoir être adaptées à une constitution du sous-sol et à des sites différents.

3.3 LES EQUIPEMENTS

3.3.1 Inventaire des équipements

Les équipements peuvent être classés en trois catégories principales:

- a) les barrières
- b) les locaux et leur équipement
- c) les engins d'exploitation

Les barrières sont principalement en rapport avec l'isolement à réaliser entre le dépôt et la biosphère, les locaux et leur équipement avec la manutention des déchets et la réalisation des installations, et enfin les engins d'exploitation avec la manutention des déchets.

3.3.2 Les barrières

3.3.2.1 Les barrières en général

Les déchets livrés au dépôt comportent au moins une barrière de protection:

- la matrice de scellement - dont le rôle essentiel est de rendre le taux de lixiviation aussi bas que possible - et/ou une enveloppe métallique.

Leur mise en dépôt par empilement aura pour effet de rendre un contrôle individuel de la barrière difficile. Il convient donc de réaliser dans le dépôt une isolation complémentaire: la barrière du dépôt.

Pour les déchets du type envisagé, cette barrière est suffisante pourvu que son efficacité puisse être garantie pour 100 ans au moins. L'efficacité peut être obtenue par des dispositions particulières et par un choix et un dimensionnement adéquats des matériaux constituant la barrière. Parmi les dispositions pouvant être envisagées, celles qui permettent de rendre la barrière visitable et réparable sont tout particulièrement retenues.

En plus de la barrière du dépôt destinée au contrôle des eaux circulant dans le dépôt, les filtres des installations de ventilation et les dispositions prises dans les sas pour le contrôle du personnel

et du matériel qui sortent du dépôt représentent également des barrières au sens large.

3.3.2.2 Description de la barrière du dépôt

Les déchets en fûts ou en conteneurs peuvent, de façon générale, être directement stockés dans une excavation revêtue ou prendre place dans une cuve en béton construite dans l'excavation. Bien qu'ils puissent être rendus très étanches, les bétons ne sont pas aptes à constituer une barrière d'efficacité totale. Il convient donc d'envisager celle-ci sous la forme de matériaux étanches fixés à un élément en béton.

Les matériaux qui peuvent être envisagés pour constituer les barrières sont principalement:

- la tôle d'acier posée en blindage ou en sandwich
- les étanchéités souples: feuilles de plastique, multicouche, bitume, plastiques projetés, etc.

Différentes possibilités se présentent pour l'emplacement des barrières:

1. liées au conteneur si celui-ci existe (à l'intérieur, en sandwich, à l'extérieur)
2. liées à la cuve en béton si celle-ci existe (à l'intérieur, en sandwich, à l'extérieur)
3. contre le revêtement de l'excavation.

3.3.2.3 Choix de la barrière du dépôt

Une analyse systématique des barrières portant sur leurs matériaux constitutifs et leurs emplacements a été entreprise. Les critères pris en compte pour l'évaluation de leur qualité ont été les suivants:

Contrôles	possible ou non
Entretien	possible ou non
Pérennité	
Efficacité	
Coûts estimatifs globaux	

On a constaté que:

- l'étanchéité posée en sandwich ne peut être suffisamment garantie
- seule la tôle d'acier présente des garanties suffisantes pour une barrière non visitable et non réparable

- le plancher des locaux de stockage ne peut pratiquement pas être muni d'une barrière visitable et réparable; il s'ensuit qu'il ne peut être rendu étanche qu'au moyen de tôle d'acier.

Trois dispositions subsistent en définitive:

1. Tôle d'acier à l'intérieur des conteneurs si ceux-ci existent.
2. Tôle d'acier sur le fond de l'excavation et tôle ou étanchéité souple à l'extérieur d'une cuve si celle-ci existe.
3. Tôle d'acier appliquée contre le revêtement de l'excavation.

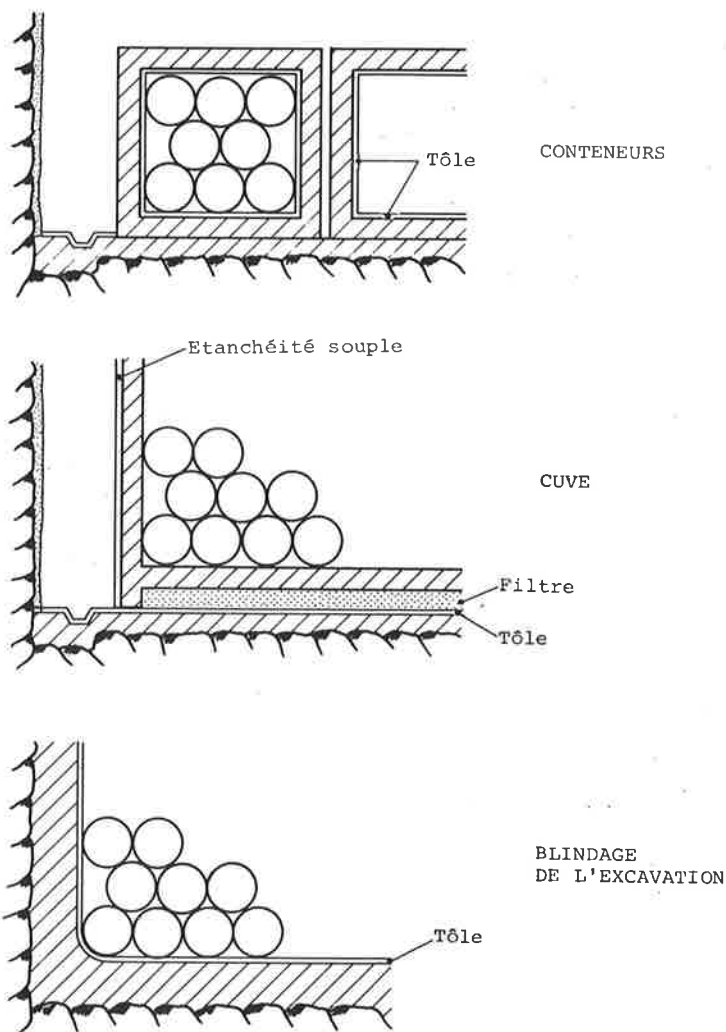


Fig. 4: Dispositions de la barrière du dépôt

3.3.3 Les locaux et leur équipement

3.3.3.1 Programme des locaux

Une analyse des besoins fonctionnels a permis de grouper les locaux en 6 unités:

- A surveillance
- B intendance
- C gestion
- D contrôle et manutention
- E infrastructure technique
- F stockage

Les surfaces des locaux dépendent:

- du volume et de la forme des déchets livrés
- des caractéristiques des véhicules de livraison
- du nombre de personnes occupées dans le dépôt
- des contrôles techniques à effectuer
- du système de manutention
- des systèmes d'isolement et des dispositions adoptées pour le stockage

Elles ont été évaluées pour une construction échelonnée et pour la phase la plus intensive d'exploitation du dépôt.

Les valeurs préliminaires obtenues par groupes sont les suivantes:

A surveillance:	50 m ²
B intendance:	85 m ²
C gestion:	160 m ²
D contrôle et manutention:	env. 1000 m ²
E infrastructure technique:	selon équipements adoptés
F stockage:	selon dispositions adoptées

3.3.3.2 Zones contrôlées

Au sens des ordonnance et directives en vigueur (/5/, /21/), l'ensemble du dépôt est considéré comme zone de radio-protection, et les endroits et les locaux dans lesquels des personnes peuvent recevoir une dose accumulée supérieure à 0,5 rem/an constituent des zones contrôlées.

L'irradiation ne pouvant provenir que du rayonnement émis par les déchets conditionnés, la zone contrôlée s'étendra à tous les locaux et endroits où sont manutentionnés ou stockés les déchets ainsi qu'à ceux avec lesquels ils communiquent directement.

Les exigences constructives concernant les zones contrôlées portent notamment sur :

- l'aménagement des accès
- les installations de ventilation
- le contrôle et le traitement des eaux usées
- les écrans de protection contre les radiations
- les revêtements des surfaces
- les installations fixes de surveillance des radiations

Elles n'interviennent pas au stade de la comparaison entre variantes de disposition mais doivent être prises en compte pour les études de détail des variantes.

3.3.3.3 Relations fonctionnelles entre locaux

La fig. 5 schématise les relations fonctionnelles entre locaux.

Il n'y est pas tenu compte:

- de l'implantation des locaux en plan ou en élévation
- de l'importance proportionnelle des surfaces
- du nombre de cavernes ou puits réservés au stockage

3.3.4 Les engins d'exploitation

3.3.4.1 Exploitation générale de l'installation

Les machines et dispositifs d'exploitation font appel à des technologies connues.

On peut rappeler les plus importants:

- installation de ventilation y compris filtres et le réseau complet de distribution et de reprise
- installations de récolte, contrôle et traitement des eaux rejetées
- installations de chauffage
- installations sanitaires
- installation électrique avec locaux haute et basse tension, groupe électrogène, réseaux éclairage et force
- laboratoire et son équipement
- ateliers d'entretien et leurs équipements
- dépôts des pièces de rechange et d'accessoires et leurs équipements

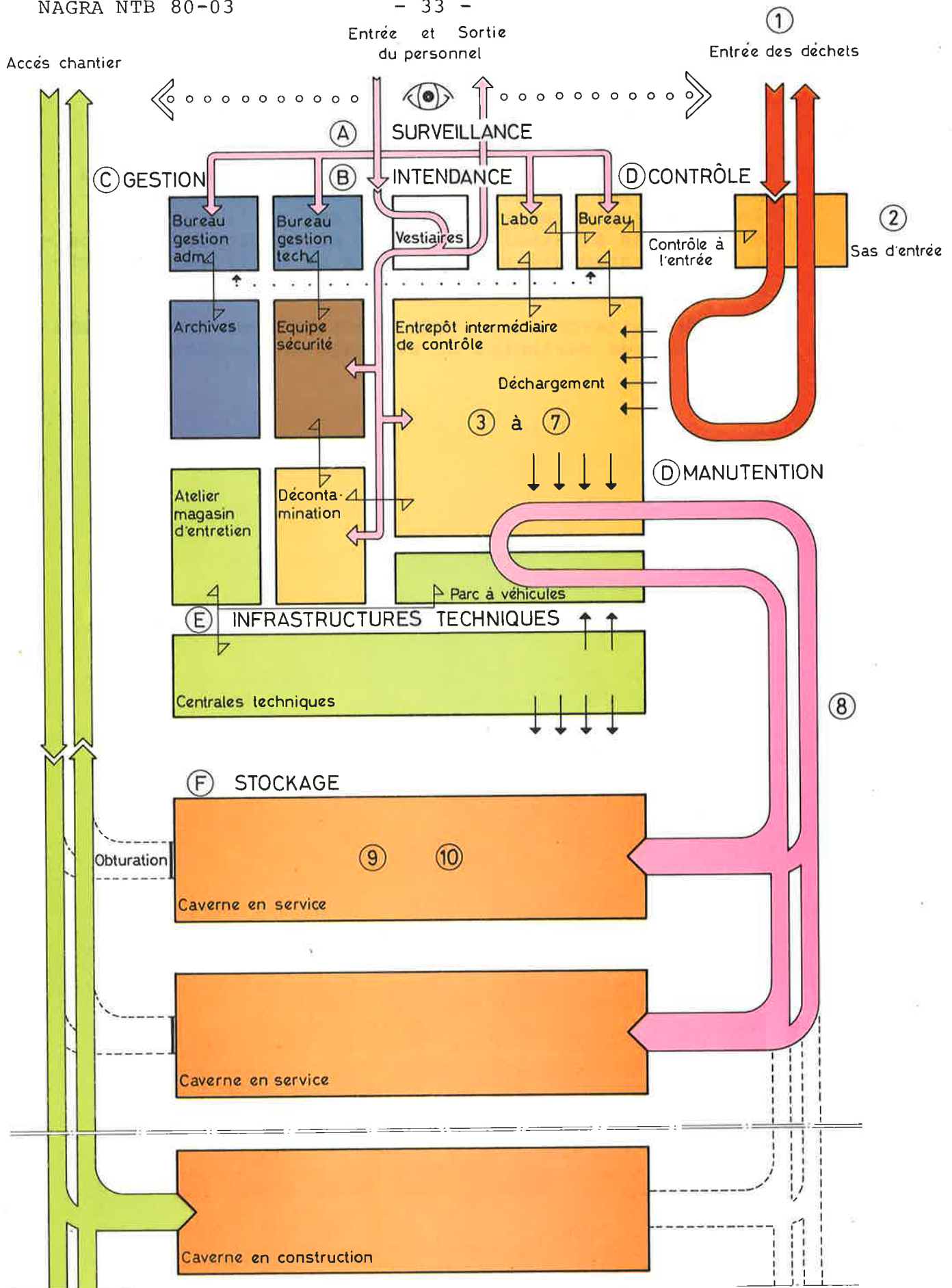


Fig. 5 : Relations fonctionnelles entre les locaux.

3.3.4.2 Manutention des déchets

Les engins nécessaires aux opérations de manutention sont du type: chariot élévateur à fourche, pont-roulant, porte-conteneur, chariots sur rails ou pneus, dispositifs éventuels pour mise en conteneurs, dispositifs semi-automatiques éventuels de contrôle des arrivées.

Ils nécessiteront une étude spéciale pour être adaptés aux diverses variantes de stockage envisagées.

4. LES VARIANTES ET LEUR EVALUATION

4.1 GENERATION DES VARIANTES

4.1.1 Critères de génération

L'analyse des éléments du chapitre 3 concernant la conception des installations de stockage a mis en évidence trois paramètres principaux intervenant pour la génération des variantes.

Ce sont:

- les dispositions constructives générales (3.2.4.a)
- le mode de stockage (3.2.3.b)
- le choix de la barrière du dépôt (3.3.2.3)

Un inventaire plus détaillé des dispositions constructives générales permet de distinguer les formes et dispositions suivantes des unités d'excavation:

- en caverne:
 - . longue caverne unique: galerie
 - . cavernes multiples basses (env. 10 m de hauteur)
 - . cavernes multiples hautes (env. 25 m de hauteur)
- en puits.

A l'exception de la solution en galerie, dont seule la section est variable, les diverses variantes peuvent différer entre elle par le choix du volume de l'unité d'excavation et par le mode de groupement de ces unités.

Le mode de stockage peut être aussi caractérisé par le poids des unités manutentionnées. On a prévu:

- manutention directe des fûts et de vrac conditionné en unités de 5 t.
- manutention par conteneurs de 50 t. remplis de fûts ou d'éléments en vrac
- manutention par conteneurs de 250 t. remplis comme ci-dessus.

Cette dernière variante n'est envisagée qu'en liaison avec la solution en galerie.

Il est évident qu'à chaque mode de stockage ainsi qu'à chaque disposition constructive correspond un mode propre de manutention.

Pour le choix de la barrière du dépôt, trois dispositions ont été retenues:

- tôle d'acier à l'intérieur des conteneurs
- tôle d'acier sur le fond de la caverne et cuves de grandes dimensions munies d'une étanchéité sur les faces latérales et supérieures.
- tôle d'acier appliquée contre le revêtement de l'excavation.

La barrière du premier type ne peut bien entendu être envisagée que pour les installations prévoyant des conteneurs.

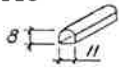

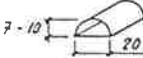



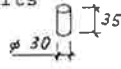

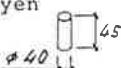

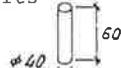

4.1.2 Tableaux des variantes

Le tableau 3 montre les diverses combinaisons possibles des trois paramètres et signale schématiquement celles qui présentent un certain intérêt, celles que l'on peut écarter à priori avec en notes sommaires, les raisons de la mise à l'écart.

On constate que:

- Les solutions prévoyant une isolation de l'excavation sont toujours moins intéressantes.
- Les solutions en puits les mieux adaptées sont celles qui prévoient une cuve intérieure avec isolation sur la face extérieure et des déchets en unités de 5 t.
- Les cavernes basses conviennent à la fois aux déchets en unités de 5 t. et aux conteneurs 50 t.
- Les cavernes hautes sont principalement adaptées aux conteneurs de 50 t.
- La solution en galerie convient à tous les types d'unités de manutention mais c'est le gros conteneur de 250 t. qui paraît à priori le plus intéressant pour cette solution.

Tableau 3: Génération des variantes

Type d'excavation	Poids des unités de manutention t	Caractéristiques de la barrière du dépôt		
		isolation dans le conteneur	isolation à l'ex- térieur de la cuve	isolation de l'excavation
Galerie 	5		+	o
	50	+	/	/
	250	+ variante 7	/	/
Caverne basse 	5		+ variante 1	o
	50	+ variante 3	/	/
Caverne haute 	5		+	ox
	50	+ variante 2	+ variante 8	/
Petit puits 	5		+ variante 6	ox
	50	o	o	o
Puits moyen 	5		+ variante 5	ox
	50	o	o	o
Grand puits 	5		+ variante 4	ox
	50	o	o	o

Légende:



type de barrière impossible à réaliser pour les unités de manutention données



variantes retenues pour étude

+

variantes intéressantes

/

variantes moins intéressantes que celle qui est proposée dans la même ligne

o


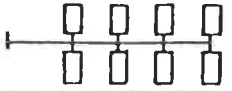
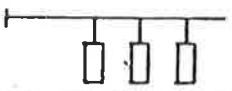
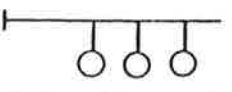
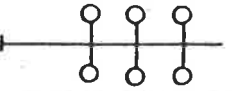
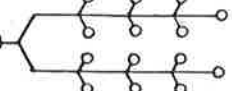

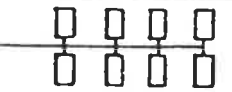
variantes peu intéressantes à cause de la perte de place

ox

variantes peu intéressantes à cause de la perte de place et de la difficulté à rendre la barrière visitable

Le tableau 4 définit les caractéristiques principales des variantes retenues.

Tableau 4: Caractéristiques des variantes retenues

Variante	Forme et disposition des cavités de stockage		Unité de manutention	Caractéristique barrière du dépôt
	Type	Schéma de disposition		
1	Caverne basse		5 t	Cuve
2	Caverne haute		Conteneur 50 t	isolation du conteneur
3	Caverne basse		Conteneur 50 t	isolation du conteneur
4	Grand puits		5 t	Cuve
5	Puits moyen		5 t	Cuve
6	Petit puits		5 t	Cuve
7	Galerie basse		Conteneur 250 t	isolation du conteneur
8	Caverne haute		Conteneur 50 t	Cuve

4.2 DESCRIPTION DES VARIANTES

4.2.1 Dispositions constructives

VARIANTE 1 (fig. 6)

Les déchets sont stockés en fûts rangés et en conteneurs de 5 t environ (dimensions approximatives 1 x 1 x 2 m) dans des cavernes basses. Les cuves intérieures en béton armé, posées sur un plancher étanche sont munies d'une barrière d'étanchéité sur les faces latérales. Elles sont fermées par un couvercle, préfabriqué par éléments, muni également d'une barrière.

La caverne est unique, les cuves constituant des unités de stockage sont séparées les unes des autres.

On ne prévoit qu'une galerie d'accès pour une construction en une étape et deux galeries latérales pour une construction échelonnée du dépôt.

Dimensions principales:

Excavation (largeur x hauteur) :	20 m x 10 m
Longueur totale:	1530 m environ
comportant:	15 cuves de 100 m

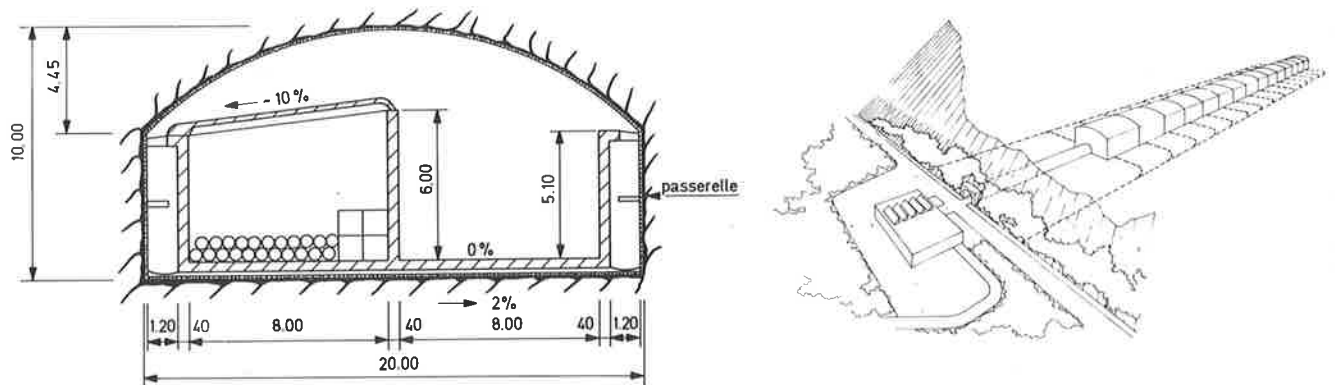


Fig. 6: VARIANTE 1 / Coupe transversale et ensemble

VARIANTE 2 (fig. 7)

Les déchets sont stockés en conteneurs de 50 t (env. 2 x 2 x 5 m) dans des cavernes hautes.

Barrière à l'intérieur du conteneur.

Les cavernes sont disposées en dents de peigne des deux côtés de la galerie d'accès. Une galerie supplémentaire est prévue pour une construction échelonnée du dépôt.

Dimensions principales:

Excavation (largeur x hauteur) :	15 m x 27 m
Longueur des cavernes:	140 m
Nombre de cavernes:	5
Nombre de cuves:	10

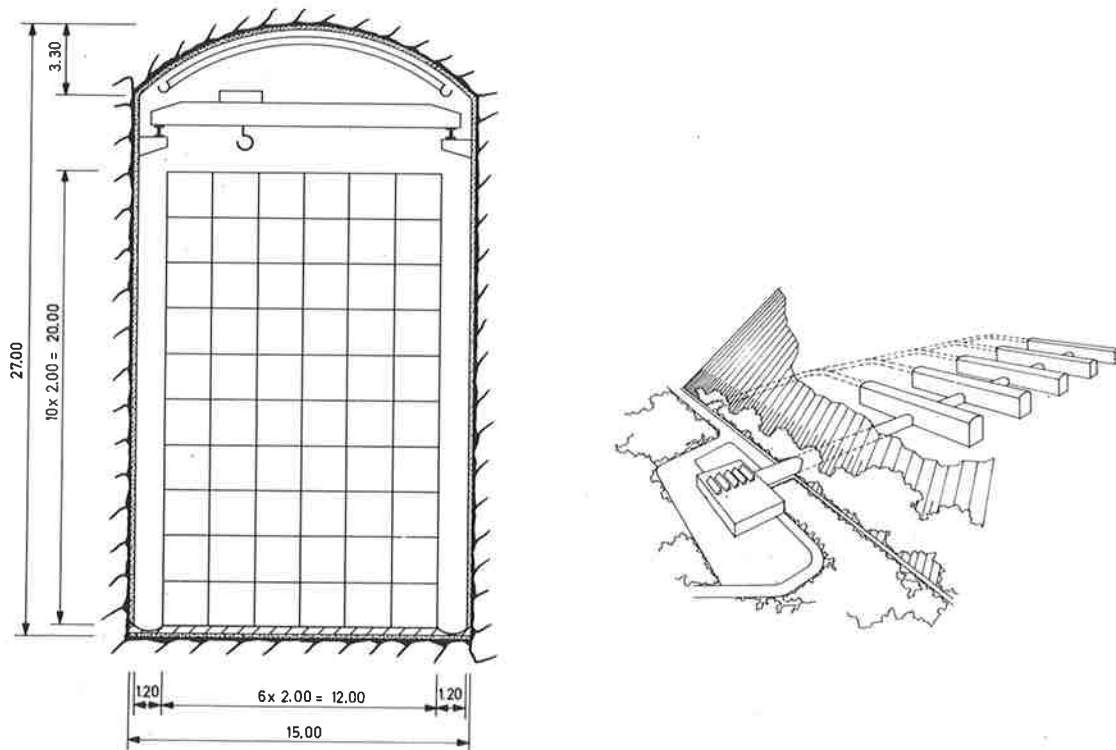


Fig. 7: VARIANTE 2 / Coupe transversale et ensemble

VARIANTE 3 (fig. 8)

Les déchets sont stockés en conteneurs de 50 t (env. 2 x 2 x 5 m) dans des cavernes basses.

Barrière à l'intérieur des conteneurs.

Les cavernes sont disposées en dents de peigne sur la galerie d'accès. Une galerie supplémentaire est prévue pour une construction échelonnée du dépôt.

Dimensions principales:

Excavation (largeur x hauteur) : 21 m x 10 m
Longueur des cavernes: 200 m
Nombre de cavernes: 7

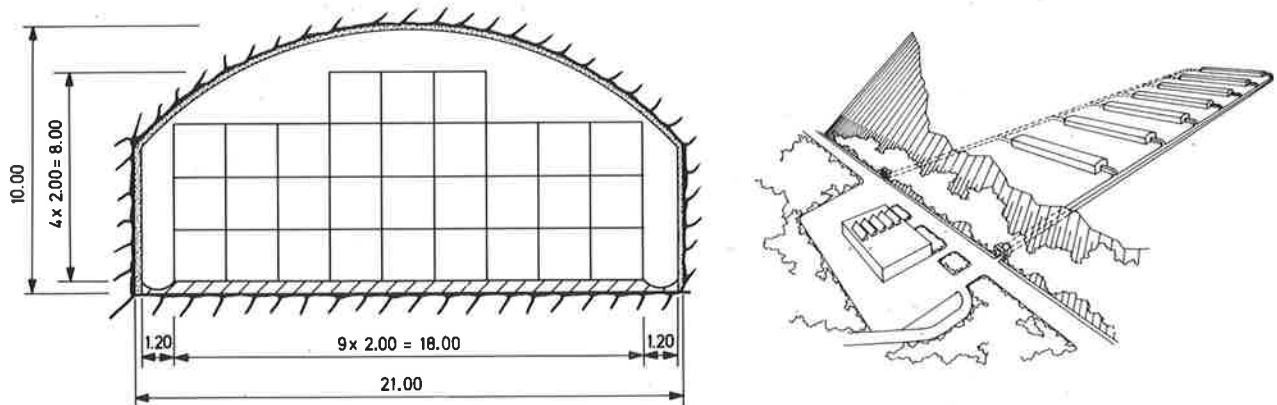


Fig. 8: VARIANTE 3 / Coupe transversale et ensemble

VARIANTES 4, 5 et 6 (fig. 9)

Les déchets sont stockés en fûts et en conteneurs de 5 t environ (1 x 1 x 2 m) dans des puits.

Une cuve intérieure en béton armé posée sur un plancher étanche et munie d'une barrière d'étanchéité sur la face latérale reçoit les déchets. Les déchets sont bloqués par injection de coulis argile-ciment ou produits similaires par couches horizontales.

Les puits sont desservis par un réseau de deux galeries superposées: accès en haut, évacuation de l'eau en bas.

Une galerie supplémentaire est prévue pour une construction échelonnée du dépôt.

Dimensions principales:

Variantes:	4	5	6
Diamètre du puits:	40 m	40 m	30 m
Hauteur:	58 m	44 m	37 m
Nombre de puits:	4	6	12

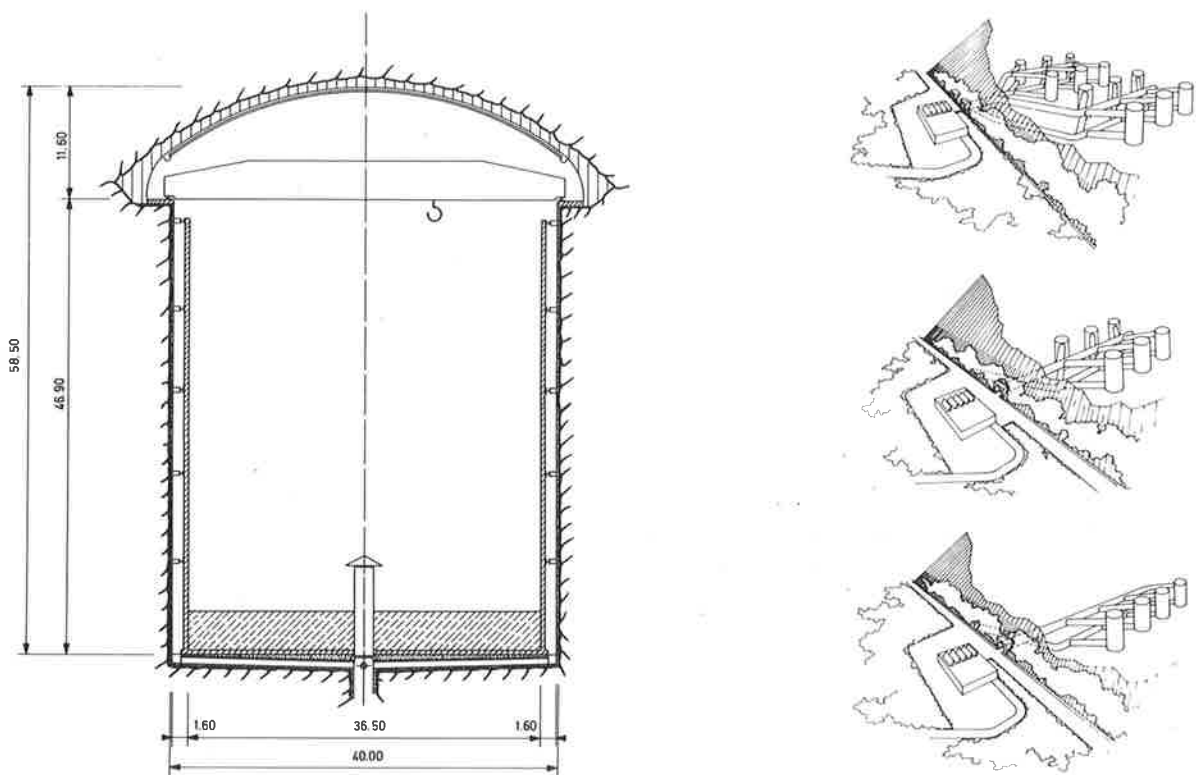


Fig. 9: VARIANTES 4,5 et 6 / Coupe transversale et ensemble

VARIANTE 7 (fig. 10)

Les déchets sont stockés en conteneurs de 250 t (dimensions extérieures 6 x 4 x 4 m) dans une galerie rectiligne.

La barrière est constituée par une tôle d'acier à l'intérieur du conteneur.

La longue galerie est rectiligne et de section constante sur toute sa longueur pour permettre le déplacement des conteneurs sur une voie spéciale.

La solution ne se prête pas à une construction du dépôt par étapes.

Dimensions principales:

Excavation (largeur x hauteur): 11 m x 8 m
Longueur totale: 6'000 m

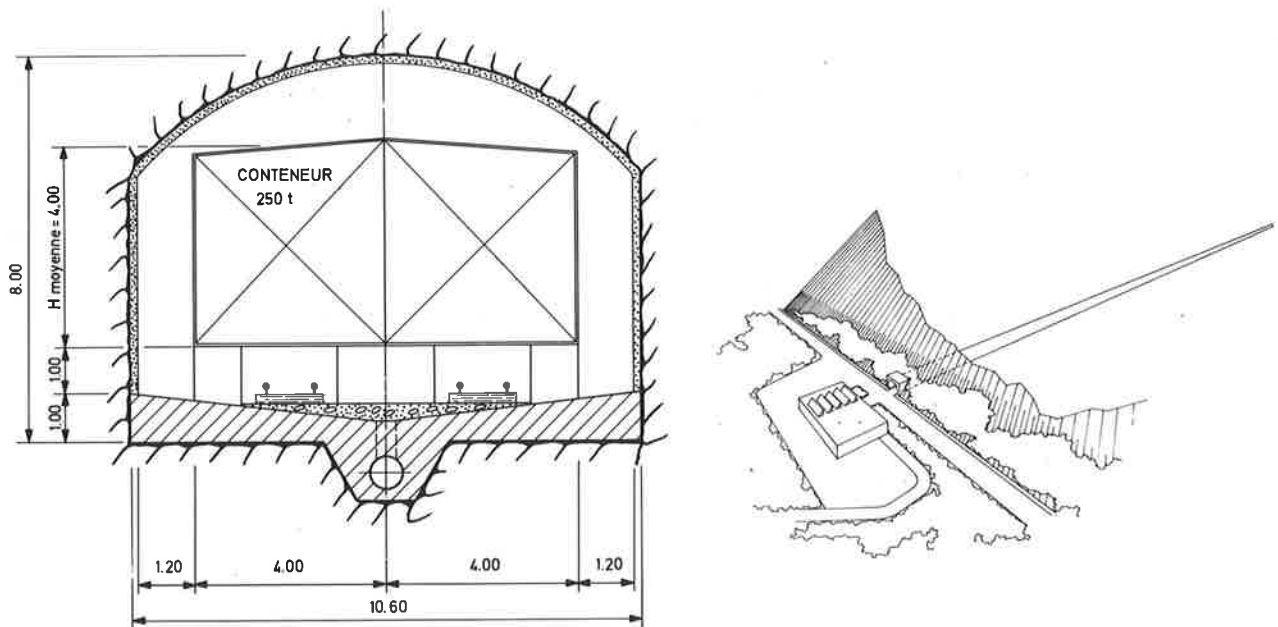


Fig. 10: VARIANTE 7 / Coupe transversale et ensemble

VARIANTE 8 (fig. 11),

Les déchets sont stockés en conteneurs de 50 t (env. 2 x 2 x 5 m) dans des cavernes hautes.

Une cuve intérieure en béton armé posée sur un plancher étanche et munie d'une barrière d'étanchéité sur les faces latérales et supérieure reçoit les conteneurs.

Les cavernes sont disposées en dents de peigne, des deux côtés de la galerie d'accès. Une galerie supplémentaire est prévue pour une construction échelonnée du dépôt.

Dimensions principales:

Excavation (largeur x hauteur) :	16 m x 27 m
Longueur des cavernes:	140 m
Nombre de cavernes:	5
Nombre de cuves:	10

Nota: les dispositions sont très semblables à celles de la variante 2.

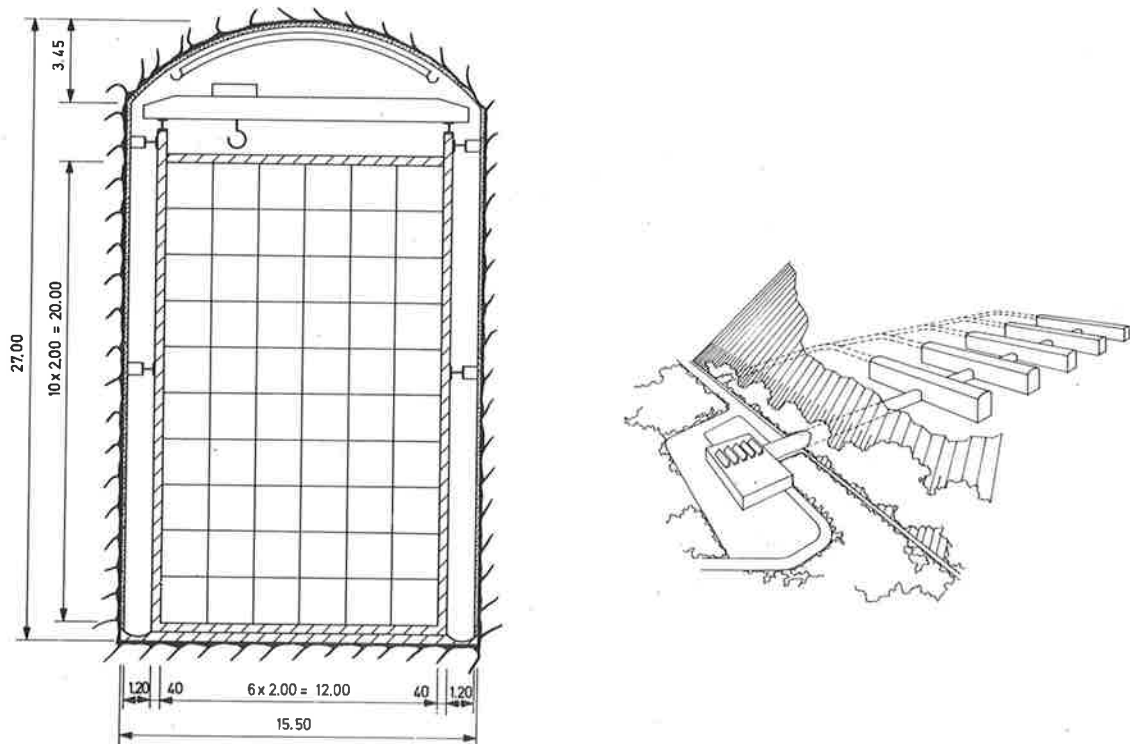


Fig. 11: VARIANTE 8 / Coupe transversale et ensemble

4.2.2 Manutention pour les diverses variantes

Les opérations de contrôle et de déchargement des véhicules de transport requièrent les mêmes équipements pour toutes les variantes: chariots élévateurs à fourche et ponts-roulants dans les locaux de contrôle.

Les variantes qui prévoient une mise en conteneurs (2, 3, 7, 8) doivent être équipées d'installations permettant la manutention des conteneurs vides, leur remplissage, leur fermeture et leur chargement sur un engin de transport, soit: pont-roulant, chariot à fourche, porte-conteneurs. Celles qui prévoient un stockage en petites unités de 5 t (1, 4, 5, 6) ne seront équipées que de chariots élévateurs.

Le transport interne s'exécute au moyen de porte-conteneurs pour le premier groupe de variantes, et par remorques sur rails ou pneus pour les autres. La variante 7 dispose d'un système sur rail mû par un engin pousseur ou par un treuil.

La mise en place dans les cuves de stockage s'effectue:

- par un pont-roulant pour les cavernes hautes (2, 8)
- par un chariot élévateur pour les cavernes basses (1, 3)
- par un pont-roulant tournant dans les puits (4, 5, 6)
- par un système de vérin permettant d'abaisser le conteneur pour le déposer sur ses appuis dans la galerie (7).

Quatre postes de travail permettent l'exécution des opérations dans les variantes en caverne basse (1, 3) tandis que cinq sont nécessaires pour les autres.

En un premier temps, on a évalué les doses d'exposition auxquelles serait soumis le personnel pour une exploitation n'ayant recours qu'à des moyens usuels. Les valeurs qui vont de 60 rem/an environ (manipulation en conteneurs) à 100 rem/an environ (manipulation en fûts) ne sont pas compatibles avec les principes de radioprotection retenus en 3.2.3 c) (1 rem/an et par personne).

Il est donc nécessaire d'augmenter l'automatisation des opérations de manutention.

Ces évaluations montrent de plus que l'emploi des conteneurs permet d'obtenir une réduction sensible de l'exposition du personnel aux radiations.

4.3 EVALUATION DES VARIANTES

4.3.1 Critères d'évaluation

Quatre critères principaux ont été définis.

a) Sécurité de confinement

La sécurité de confinement est traitée plus en détail dans le chapitre 6.

L'intégrité des barrières dans les conditions normales de fonctionnement est garantie de manière identique pour toutes les variantes. Il a été admis en effet que les barrières étaient soit visitables et réparables soit réalisées de manière à pouvoir être garanties pour 100 ans au moins.

Les conséquences des accidents ne sont par contre pas identiques pour chaque variante. On a donc apprécié de manière relative la sécurité pour les types d'accidents définis en 6.2 (voir tableau 5).

Type A0 - accidents internes ou liés au revêtement du dépôt

Type A1 - accidents de faible ampleur affectant le massif rocheux mais sans apport d'eau

Les variantes qui prévoient la manipulation de fûts ou de petites unités sont jugées plus sûres à l'égard de ces deux types d'accidents.

Type A2 - accidents de faible ampleur affectant le massif rocheux, avec venue d'eau importante

Les impacts de ce type d'accident sont pratiquement de même importance pour toutes les variantes.

Type A3 - accidents de grande ampleur avec venue d'eau importante

Les degrés de sécurité relatifs offerts par chaque variante dépendent de la structure générale du dépôt.

Type M - accidents résultant d'actes de malveillance

La plus grande sécurité pour ce type d'accidents est offerte par les variantes où les déchets sont rassemblés en très gros ensembles.

b) Exposition du personnel de manutention

Les considérations du paragraphe 4.2.2 sont reprises pour la comparaison des variantes.

c) Potentiel de généralisation

Le potentiel de généralisation est défini en 3.2.4 c). L'appréciation de ce critère a conduit essentiellement à pénaliser les puits de grandes dimensions qui ne peuvent trouver place que dans des bancs très épais de rocher de bonne qualité.

d) Coût

La comparaison des coûts est effectuée en considérant:

- les intérêts et amortissements pour les investissements de génie civil d'une part et des équipements de manutention d'autre part
- les frais d'exploitation dépendant principalement du nombre de postes de travail nécessaires (voir 4.2.2).

A ce stade de l'étude, l'évaluation des frais par année d'exploitation conduit à des valeurs comprises entre Fr. 3'500'000.-- et Fr. 5'500'000.-- pour une construction échelonnée des ouvrages.

4.3.2 Tableau comparatif des variantes préliminaires

Le tableau 5 permet la comparaison entre les diverses variantes sur la base des critères définis ci-dessus. Il résulte de calculs globaux et d'appréciations d'ensemble et sous une forme très simplifiée, il précise les classements relatifs des variantes pour chacun des critères de jugement retenus.

Tableau 5: Tableau comparatif des variantes préliminaires

CRITERES PRINCIPAUX												
No	Variante		Sécurité de confinement en cas d'accidents					Globale	Exposition du personnel	Potential de généralisation	Intérêts + frais Rangs	
	Disposition	Type de barrière	Types d'accidents								Construction échelonnée	en une étape
			A0	A1	A2	A3	M					
1	Caverne basse	Cuve	3	2	2	3	1	*		*	4	1
2	Cavernes hautes	Conteneurs 50 t avec tôle	1	1	2	2	1		*	*	6	6
3	Cavernes basses	Conteneurs 50 t avec tôle	1	1	2	2	1		*	*	7	7
4	Grands puits	Cuve	2	2	2	3	3	*			1	2
5	Puits moyens	Cuve	2	2	2	3	3	*		*	2	3
6	Petits puits	Cuve	2	2	2	3	3	*		*	3	4
7	Galerie	Conteneurs 250 t avec tôle	1	2	2	3	3	*	*	*	-	8
8	Cavernes hautes	Cuve	1	2	1	2	1		*	*	5	5

1, 2, 3 degrés de sécurité relatifs pour chaque type d'accidents, dans l'ordre croissant

* classement favorable de la variante

4.4 COMPARAISON DES VARIANTES

4.4.1 Analyse du tableau comparatif des variantes

Les conclusions que l'on peut tirer du tableau comparatif (tabl. 5) sont:

- a) Pour les variantes 2, 3 ou 8 (avec conteneurs), il conviendra d'améliorer la sécurité de confinement en cas d'accidents par des mesures appropriées.
- b) Pour les variantes 1, 4, 5 ou 6 (avec manipulation de fûts), des dispositions devront être mises au point pour diminuer l'exposition du personnel au rayonnement radioactif (l'utilisation de conteneurs est favorable à la protection du personnel).
- c) La variante 4 présente un potentiel de généralisation moins favorable que celui des autres.
- d) La variante 7 ne permet pas une construction échelonnée et se trouve être la plus onéreuse.

4.4.2 Suite des études

- a) Bien qu'intéressante du point de vue constructif, la variante 7 (galerie) doit être abandonnée principalement parce qu'elle ne permet pas une construction du dépôt par étapes et par conséquent peu d'ajustement à l'exécution.
- b) Les variantes 4, 5 et 6 (puits) forment un ensemble de projets très semblables. On peut retenir qu'en cas de construction en puits, il conviendrait d'envisager les dimensions qualifiées de "moyennes" ici.
- c) Les variantes 1 et 3 (cavernes basses) diffèrent surtout par le type de barrières. On retient la variante 1 et l'on note que pour son étude plus poussée, il conviendra de rechercher une meilleure solution pour la protection du personnel (type variante 8 par ex.).
- d) Les variantes 2 et 8 (cavernes hautes) diffèrent surtout par le type de barrières. La variante 8 est plus intéressante et peut être retenue.

L'étude devrait donc s'orienter pour les solutions et dans les directions suivantes:

- puits moyens avec cuves et petites unités de déchets (améliorations de la protection du personnel)
- cavernes basses avec cuve et petites unités de déchets (améliorations de la protection du personnel)
- cavernes hautes avec cuve étanche et déchets en conteneurs sans barrière (amélioration de la sécurité en cas d'accidents).

C'est cette dernière possibilité - donc la variante 8 - qui a été retenue pour une étude au niveau d'un avant-projet, sans qu'on en puisse déduire que cette variante doive nécessairement être préférée aux autres solutions considérées comme intéressantes. Ce sont principalement la facilité de manutention et la protection du personnel contre les radiations qui ont conduit à la retenir pour une étude plus détaillée. Celle-ci permettra de vérifier si l'exposition du personnel aux radiations y est bien rendue minimum par le choix des conteneurs et par l'introduction d'automatismes plus poussés dans la manipulation. On pourra évaluer ensuite les possibilités d'application de cette solution aux cavernes basses ou aux puits.

5. ETUDE PLUS DETAILLEE D'UNE VARIANTE (VAR. 8)

5.1 DESCRIPTION GENERALE

5.1.1 Disposition d'ensemble (fig. 12 et annexe 1)

On rappelle que le site est constitué par un flanc de montagne incliné à 45° et qu'une terrasse horizontale permet l'accès, la construction d'un bâtiment de service extérieur et le développement d'une zone réservée aux installations extérieures de chantier.

La variante prévoit le stockage en conteneurs dans une cuve construite dans une caverne haute.

Le bâtiment de service n'est pas directement adossé au versant. Il est relié au début de la galerie d'accès par un passage de section semblable à celle de la galerie d'accès. Une paroi du passage est démontable pour permettre la liaison à l'aire d'installations de chantier en période de construction, sans transiter par le bâtiment de service.

La galerie d'accès longue de 610 m dessert les six cavernes de stockage de 139 m de long placées à cheval sur elle, à 210 m de l'entrée puis tous les 80 m. Elle présente un point bas à 210 m de l'entrée, les pentes étant de 2 % dans les deux sens. Trois élargissements de la galerie d'accès constituent des niches de rebroussement pour la circulation des porte-conteneurs. La situation en plan de la galerie et la distance entre cavernes devront être définies en fonction du sous-sol.

Les six cavernes reçoivent chacune deux cuves, de part et d'autre de la galerie centrale.

La galerie de construction est implantée parallèlement à la galerie d'accès et débouche au niveau supérieur des cavernes par six embranchements.

Toute l'eau drainée dans l'installation souterraine est rassemblée au point bas de la galerie d'accès pour y être contrôlée puis refoulée sur le bâtiment de service et traitée si nécessaire.

La fig. 13 représente le conteneur prévu et son mode de remplissage; 9'400 conteneurs environ seront nécessaires.

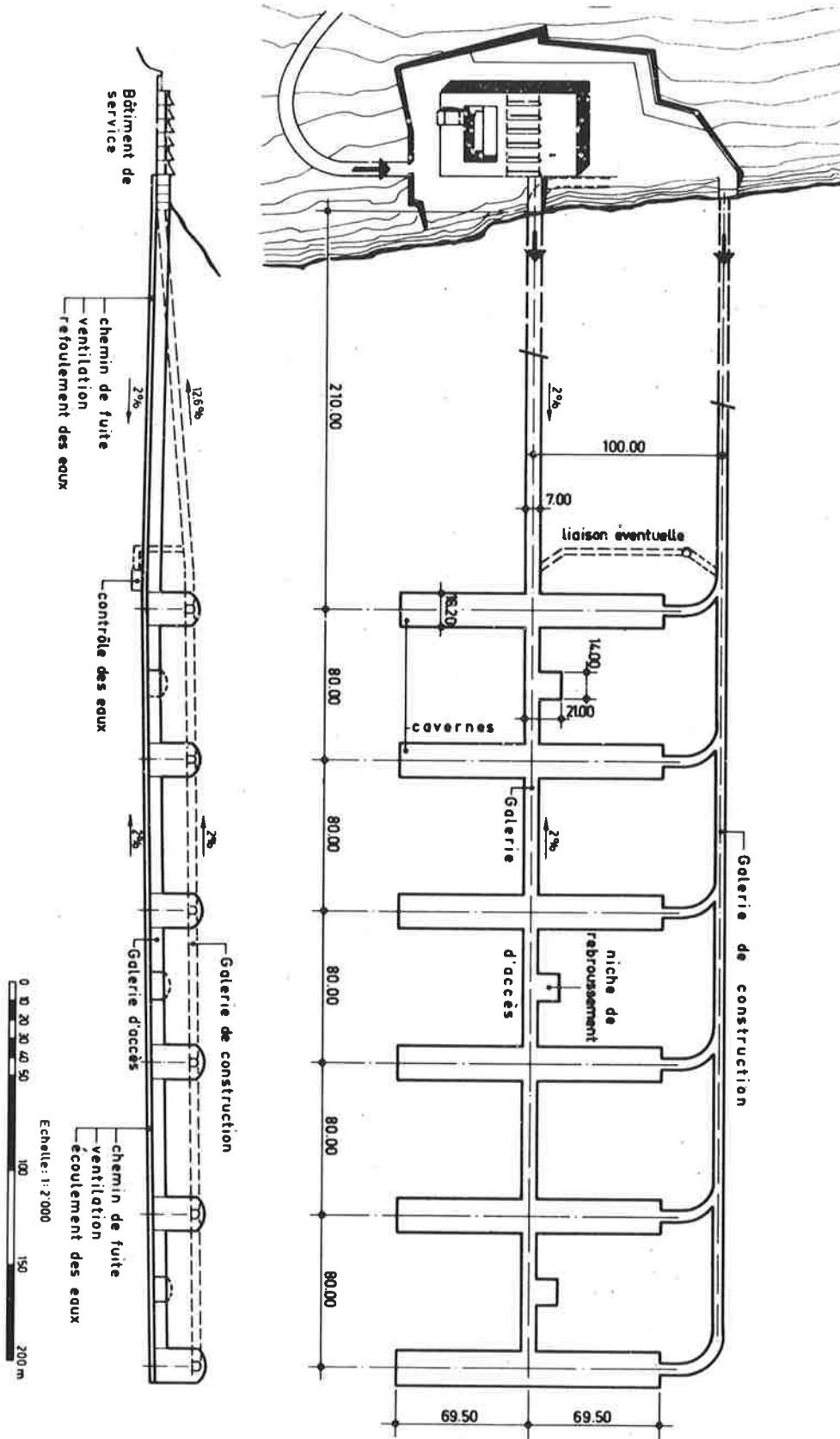


Fig. 12: Situation générale et coupe en long

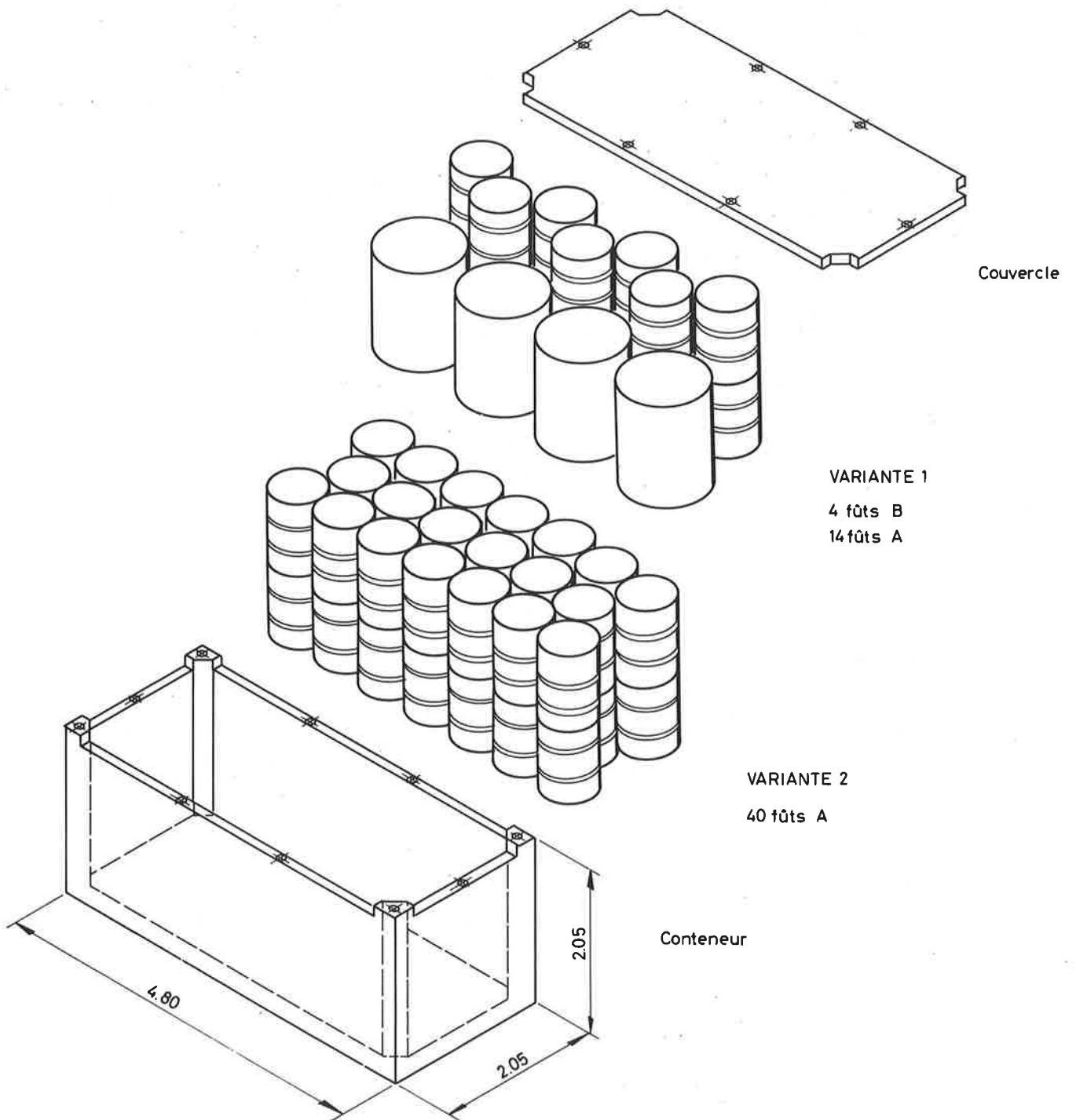


Fig. 13: Conteneur

5.1.2 Bâtiment de service

D'une façon générale, les locaux d'exploitation ont été groupés à l'extérieur, dans le bâtiment de service.

Une solution compacte a été retenue en relation avec les critères de: sécurité, possibilités d'extension, relations fonctionnelles et meilleure adaptabilité au site. La solution présente un échelonnement clair des zones contrôlées (voir 5.1.5), une surveillance aisée, et un schéma simple des circuits des personnes et des choses.

Le bâtiment renferme tous les locaux de surveillance générale, d'intendance, de gestion, des infrastructures techniques ainsi que la partie des locaux de contrôle et de manutention concernant le déchargement des convois, la mise en conteneurs et le chargement des porte-conteneurs.

Les fig. 14 et 15 donnent de plus amples détails.

5.1.3 Galeries

La galerie d'accès (fig. 16) a un profil d'excavation de 7 m de large et de 8,30 m de hauteur moyenne. Elle comprend: en partie supérieure la voie de circulation et les câbles de force et en partie inférieure, la gaine générale de ventilation (aspiration), ainsi qu'une galerie de fuite et d'écoulement des eaux.

La galerie de construction présente une section d'excavation de 25 m² environ.

5.1.4 Cavernes et cuves (fig. 16 et 17)

Les cavernes présentent une section d'excavation avec piedroits verticaux et voûte en arc de cercle. La largeur est de 18 m et la hauteur totale de 27 m environ. Le soutènement est réalisé en principe au moyen d'ancrages et d'un revêtement de gunite armée. La cuve a les dimensions suivantes: 14,70 m de large, 18,45 m de haut et 62,35 m de longueur, permettant d'y loger respectivement $3 \times 9 \times 29 = 783$ conteneurs.

Un espace de 1,20 m entre cuve et revêtement d'excavation et des passerelles de visite permettent le contrôle et l'entretien de l'étanchéité.

Les cuves sont garnies de conteneurs au moyen d'un pont-roulant circulant sur ses murs. Au niveau inférieur des portes, fermées en exploitation normale, permettent si nécessaire l'accès à l'intérieur de la cuve pour des contrôles divers ou pour l'introduction de convois exceptionnels.

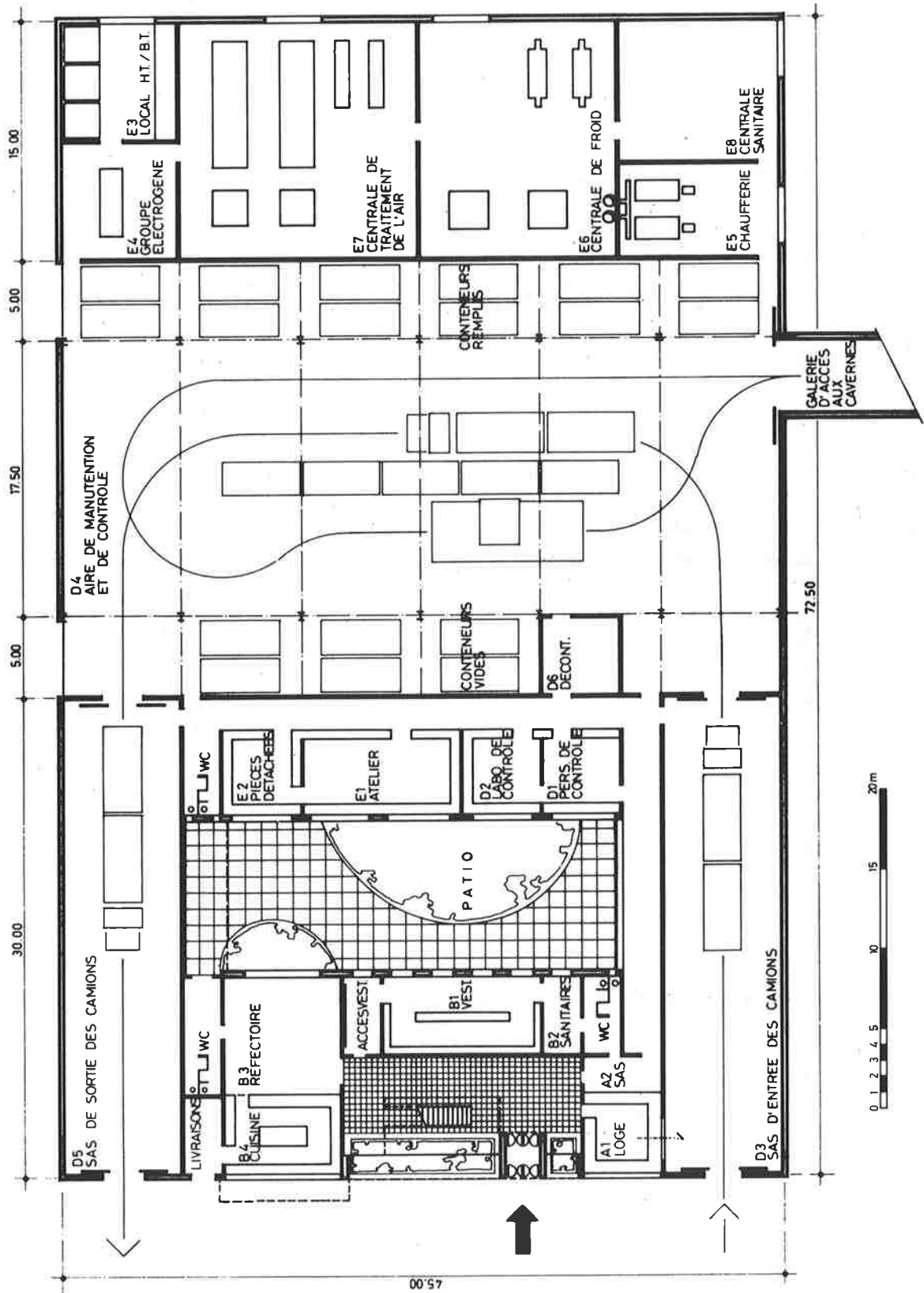


Fig. 14: Bâtiment de service - rez-de-chaussée

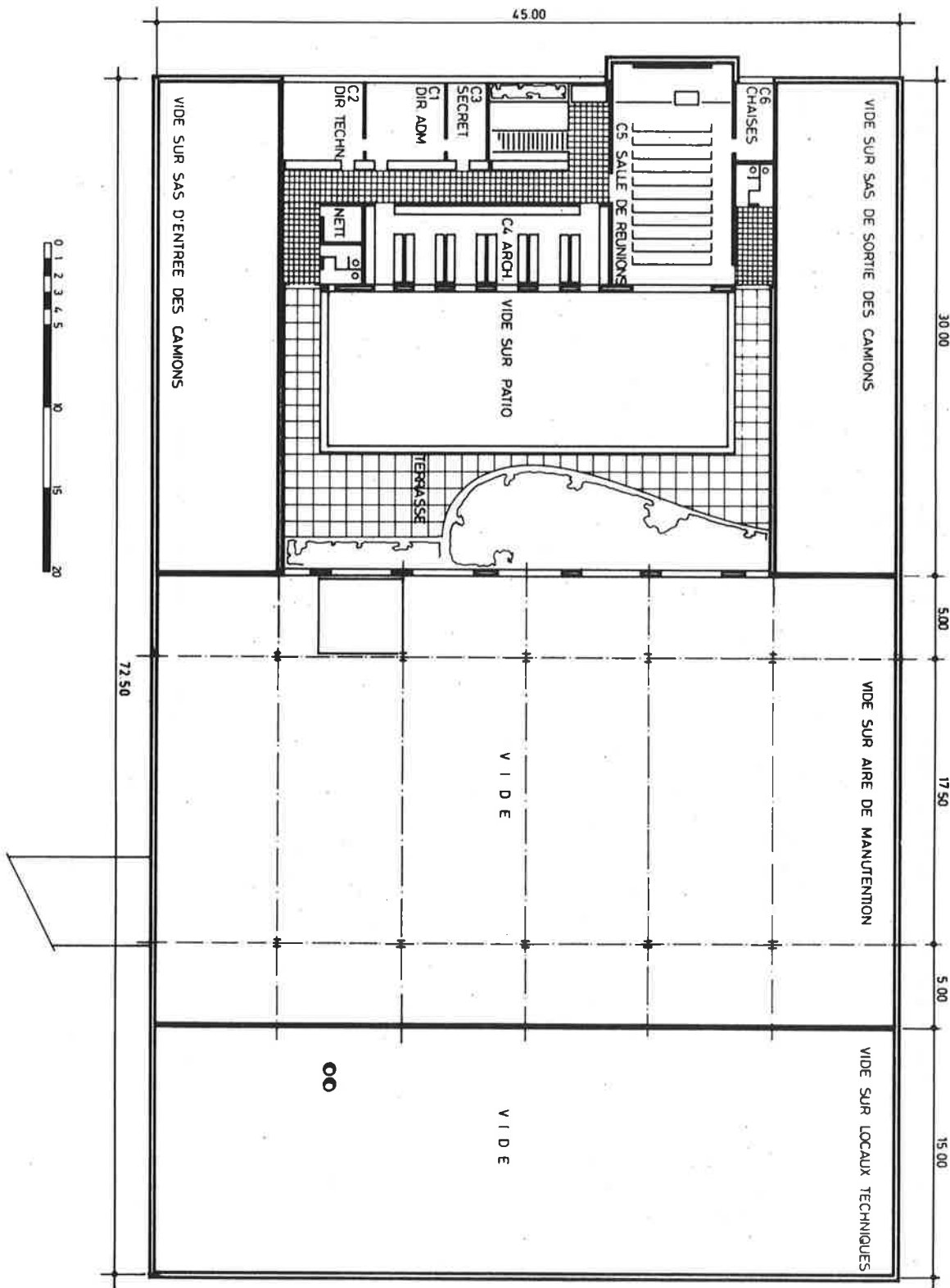
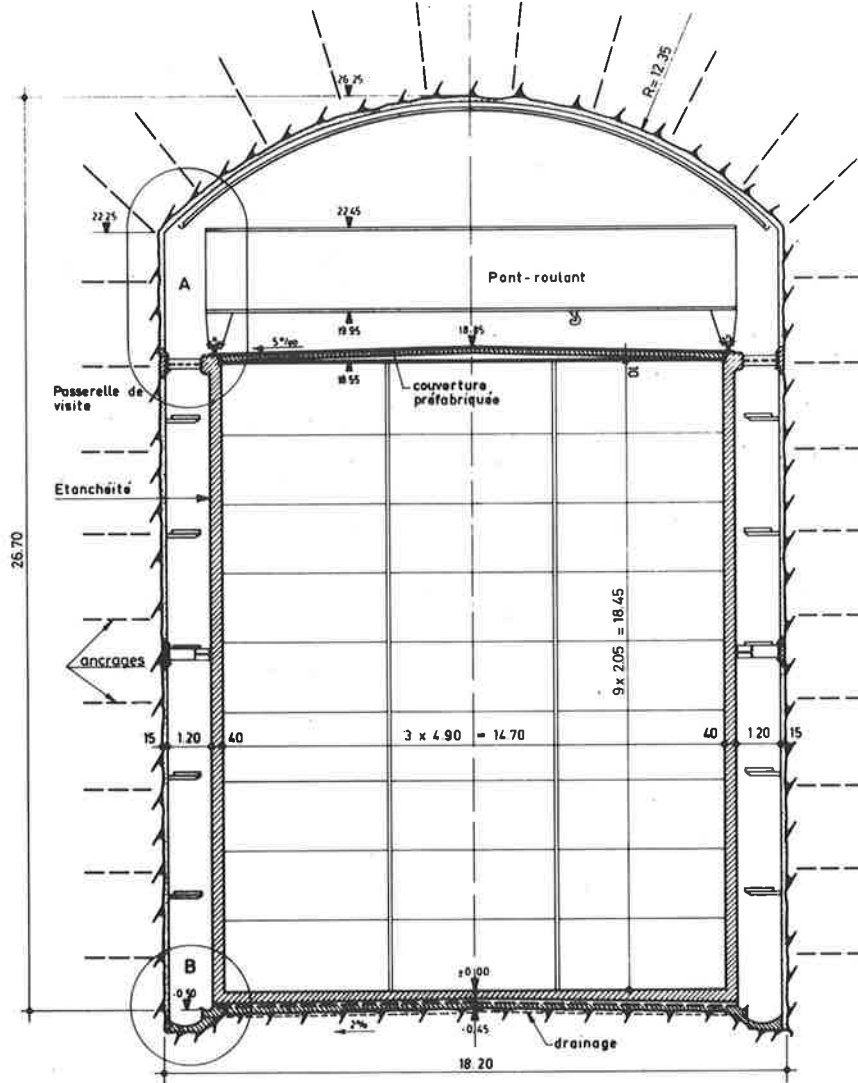


Fig. 15: Bâtiment de service - étage



Caverne

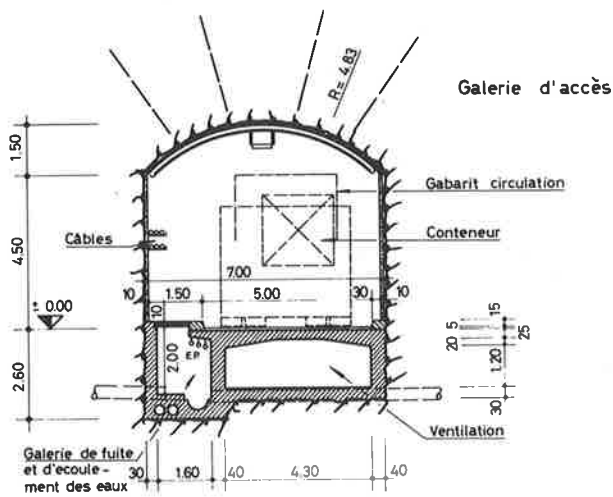


Fig. 16: Coupes des cavernes et de la galerie d'accès (détails A et B, voir fig. 19)

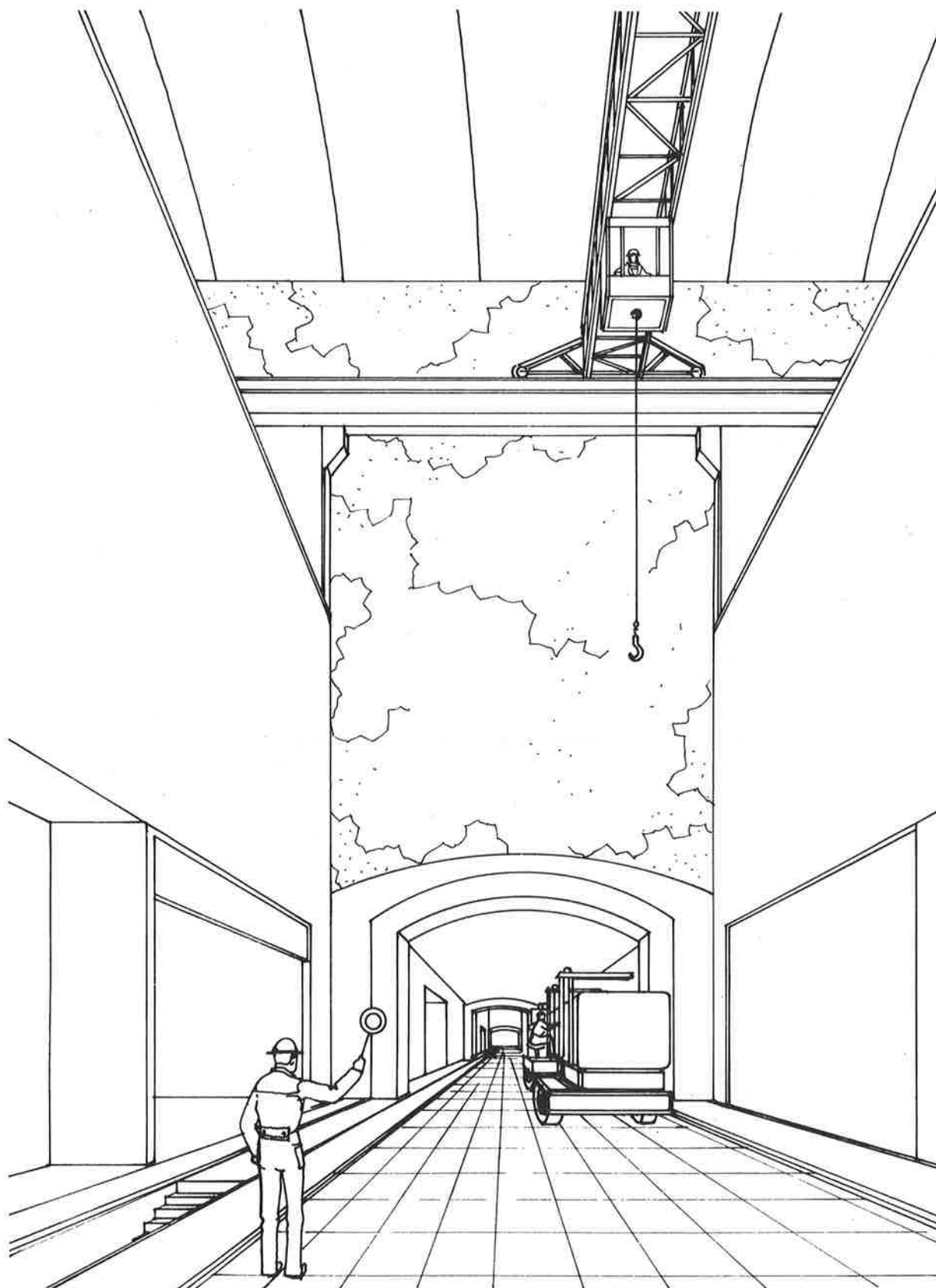


Fig. 17: Galerie d'accès et cavernes, vue intérieure

La couche étanche, à l'extérieur de la cuve est posée à la construction; à la partie supérieure par contre, elle n'est réalisée qu'après remplissage et fermeture au moyen d'éléments préfabriqués.

La ventilation des zones de travail, des espaces entre cuve et caverne et, si nécessaire, de la cuve est obtenue à partir de gaines greffées sur le conduit inférieur de la galerie d'accès.

5.1.5 Zones contrôlées

L'ensemble du domaine clôturé du dépôt constitue la zone de radio-protection. Une zone jaune (contamination superficielle comprise entre 10^{-4} et 10^{-3} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) comprend tous les locaux dans lesquels les déchets conditionnés sont manutentionnés (contamination superficielle admissible 10^{-4} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$). Une zone jaune intermédiaire comprend tous les locaux et emplacements qui communiquent avec ceux de la zone jaune.

Les zones contrôlées jaune et jaune intermédiaire constituent un domaine fermé et compact, elles ne sont accessibles aux personnes qu'après passage dans des vestiaires surveillés et comprenant des installations de décontamination.

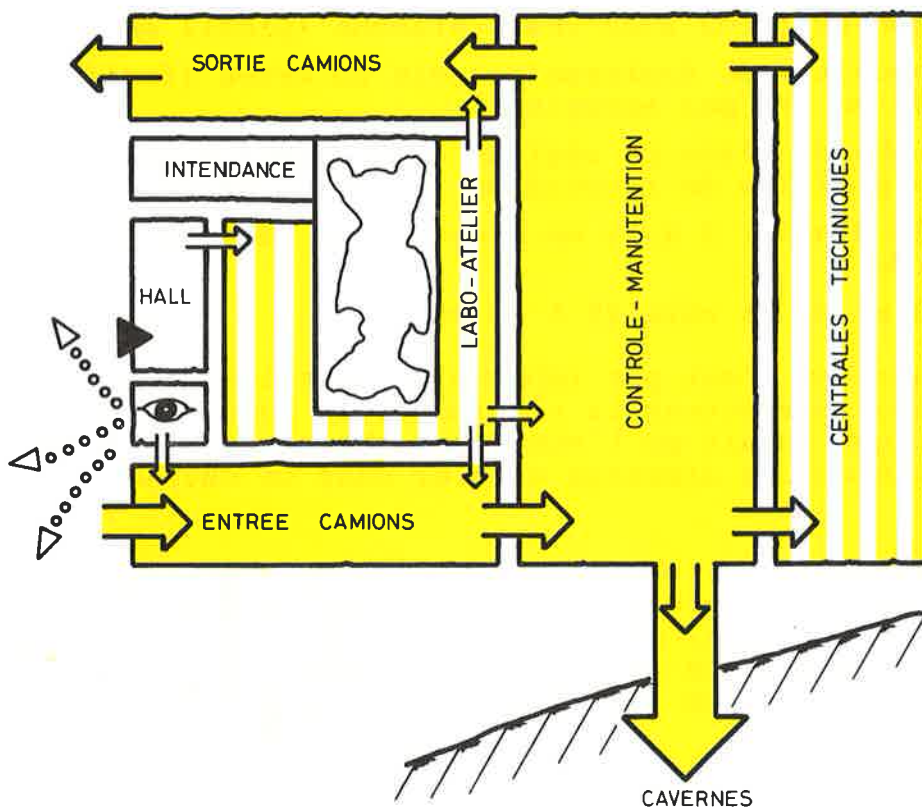


Fig. 18: Schéma des zones contrôlées

5.1.6 Pérennité des ouvrages

La pérennité des ouvrages pour une période de plus de 100 ans est assurée sans difficulté pour les installations extérieures et les galeries qui sont accessibles sans précautions très particulières.

La pérennité du béton des cuves peut être garantie en procédant aux analyses nécessaires et en bétonnant dans toutes les règles de l'art.

La pérennité des cavernes devra être étudiée en situation réelle. Des dispositions peuvent être envisagées pour maîtriser une situation moins favorable que celle de l'étude de principe (revêtement complet, ancrages, etc.).

5.2 BARRIERES ET CONTROLES

5.2.1 Barrière sous la cuve (fig. 19)

Pour constituer la barrière sous la cuve, le dispositif suivant est réalisé (couches dans l'ordre de leur exécution, soit du bas vers le haut):

- drainage superficiel du rocher du radier avec écoulement dans les rigoles latérales
- béton de forme avec chape étanche (profil en toit)
- dispositif de drainage au sein du béton (feuille gaufrée en PVC par exemple)
- couche de béton de réglage dans laquelle sont fixés les profilés de raccord de la tôle d'étanchéité
- tôle d'acier 5 à 10 mm d'épaisseur relevée sur les bords
- radier de la cuve 25 à 40 cm.

La barrière n'est pas réparable, mais les dispositifs de drainage permettent la récolte et le contrôle séparés de l'eau qui aurait pu l'atteindre. Elle offre la même pérennité qu'une armature d'acier dans un ouvrage en béton armé.

Les liquides qui pourraient s'écouler dans la cuve et s'infiltrer jusque sur la face supérieure de la tôle, à travers le béton, peuvent être décelés par des orifices de contrôle munis de bouchons étanches traversant la tôle en ses parties relevées.

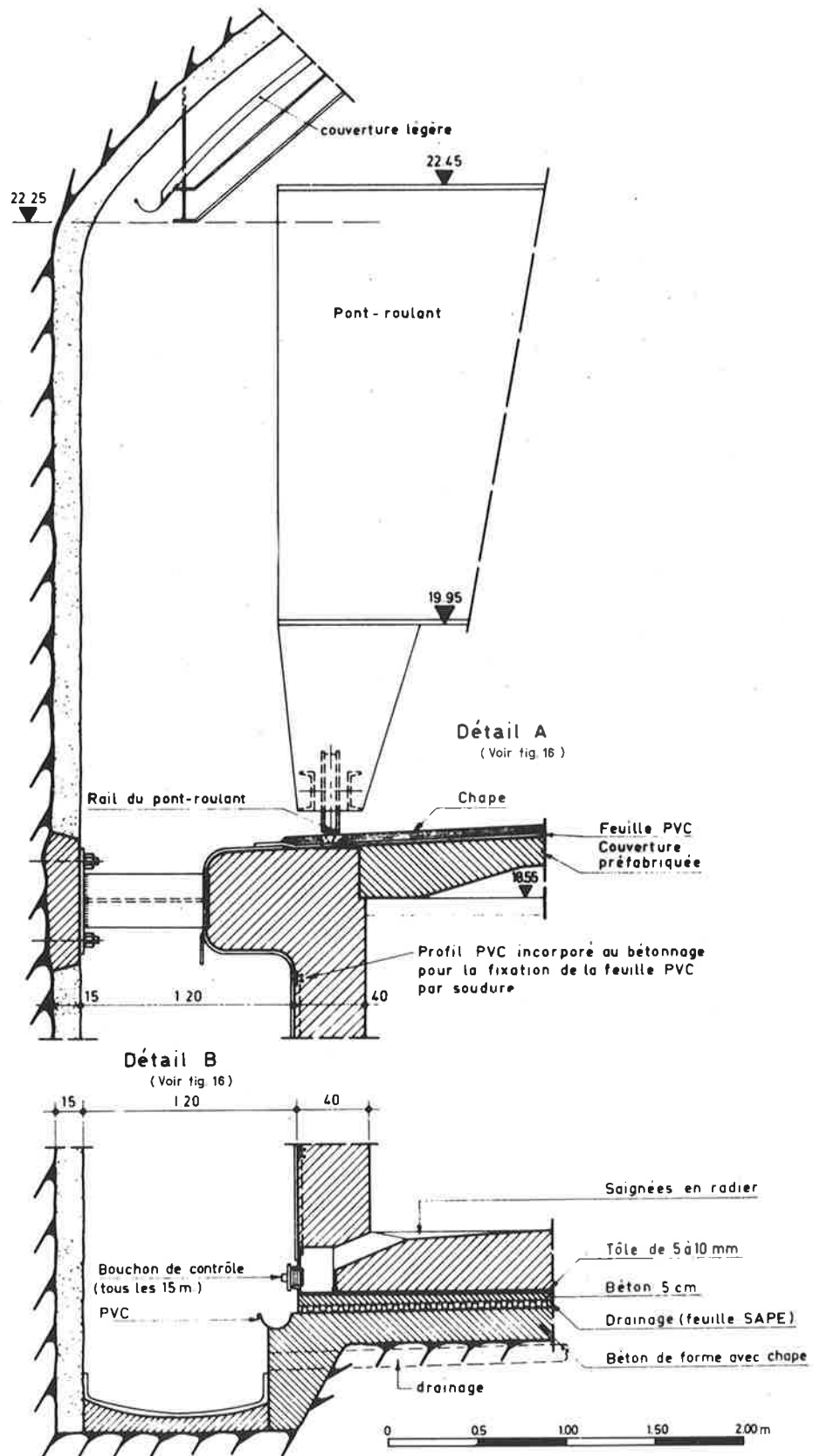


Fig. 19: Détail de la barrière du dépôt

5.2.2 Barrières sur les faces latérales et à la partie supérieure (fig. 19)

La barrière fixée à la face extérieure de la cuve et sur le couvercle est réalisée au moyen de feuilles PVC soudées à l'air chaud entre elles et contre des profilés de PVC noyés dans le béton. Des essais doivent préciser la nature définitive du matériau de la feuille et l'épaisseur de cette dernière.

Les raccords avec l'acier sont effectués par collage.

La couche étanche est testée après sa pose au moyen de palpeurs électriques et de ventouses, selon les procédures utilisées pour les citernes par ex. Les mesures peuvent être répétées en tout temps.

La barrière est ainsi visitable, contrôlable et réparable. On peut imaginer un dispositif de contrôle par mise en dépression de l'intérieur de la cuve.

5.2.3 Variantes d'exécution

A ce stade de l'étude, des variantes peuvent être signalées.

Si l'acier paraît difficilement pouvoir être remplacé par un autre matériau en radier, il n'en va pas de même pour la feuille en PVC. On peut citer comme matériaux de remplacement possible: l'acier, le cuivre, l'aluminium revêtu de matière synthétique flexible, les complexes à base de bitume, etc.

Les avantages du PVC sont en première analyse, sa facilité de pose et de réparation, la connaissance de son comportement en génie civil et en particulier en ouvrages souterrains.

5.2.4 Contrôle des eaux

On distingue deux catégories d'eaux:

- les eaux souterraines dont le débit peut être évalué à 10 ou 20 l/s (2.2.5). Elles se divisent suivant le réseau de récolte en (voir 3.2.2.a) :
 - . eaux recueillies à proximité immédiate des déchets
 - . eaux provenant des autres emplacements
- les eaux d'exploitation: inst. sanitaires, laboratoire, décontamination, centrale de ventilation, défense incendie, etc.
Leur débit est faible, de l'ordre de quelques m³ par jour.

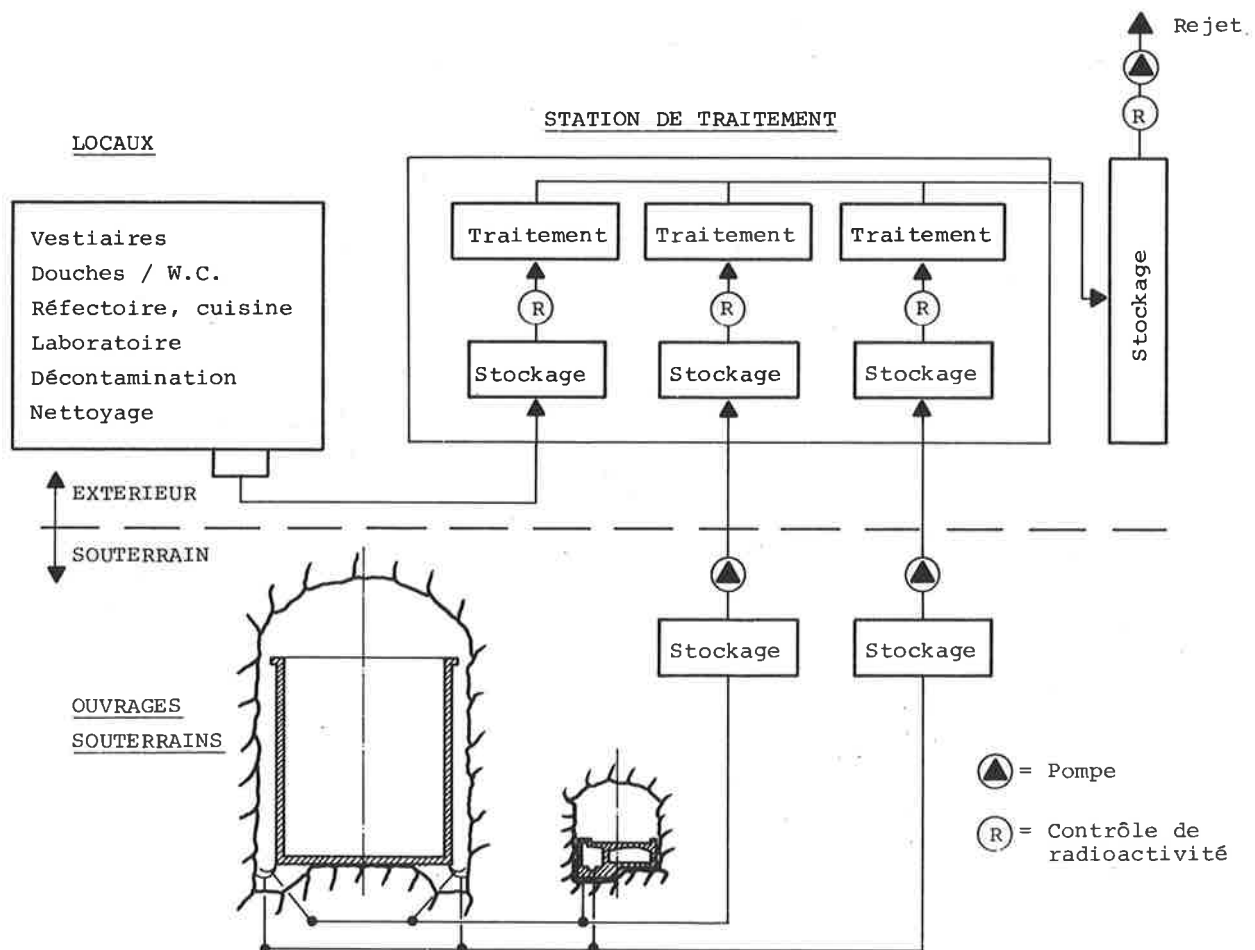


Fig. 20: Contrôle des eaux

Le principe du traitement consiste à contrôler les eaux du point de vue de leur contamination éventuelle et à les traiter si besoin est. Le schéma de la fig. 20 décrit l'installation dans son principe. Les débits en cause et les risques de contamination conduisent à distinguer trois réseaux principaux:

- eaux des locaux annexes
- eaux de l'intérieur des galeries et cavernes
- eaux de drainage de la roche.

5.2.5 Contrôle de l'air rejeté

La quasi totalité des locaux sont ventilés artificiellement. Le rôle de cette ventilation est de:

- permettre l'accès des locaux souterrains en exploitation
- éviter la dispersion de produits radioactifs libérés accidentellement
- contribuer à la bonne conservation des installations de stockage (y compris les dispositifs de surveillance).

Les locaux sont ventilés par groupes fonctionnels:

- groupe intendance et contrôle
- groupe locaux techniques
- groupe stockage (galerie d'accès et cavernes).

Les locaux sont maintenus en dépression. Des sas avec portes étanches sont placés entre l'extérieur et les premiers groupes de locaux et entre groupes de locaux en dépression l'un par rapport à l'autre.

Le principe de traitement consiste à contrôler l'air extrait des locaux du point de vue de sa contamination et à le diriger sur des filtres pour retenir les particules radioactives si besoin est.

Le schéma de la fig. 21 décrit l'installation dans son principe.

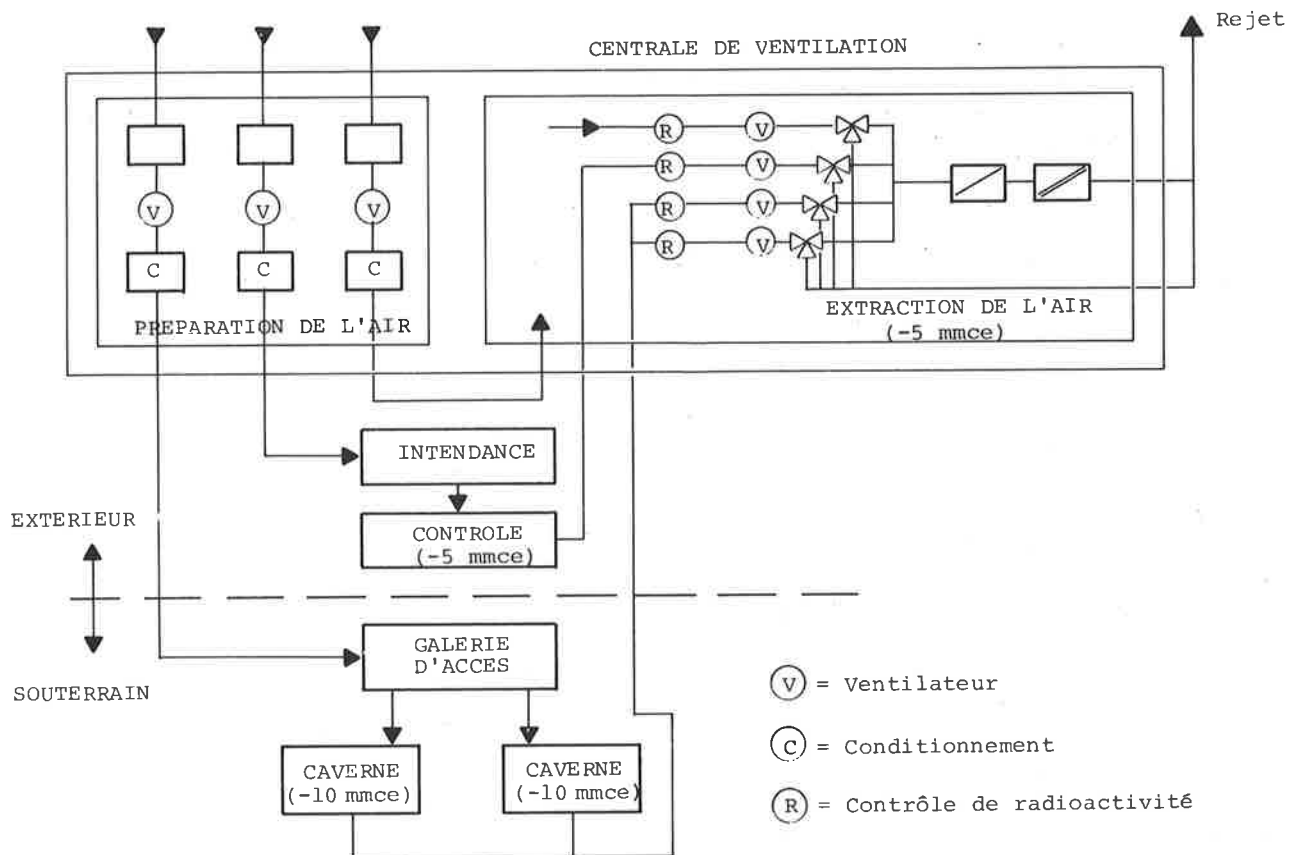


Fig. 21: Contrôle de l'air rejeté

5.2.6 Contrôle des personnes et des choses

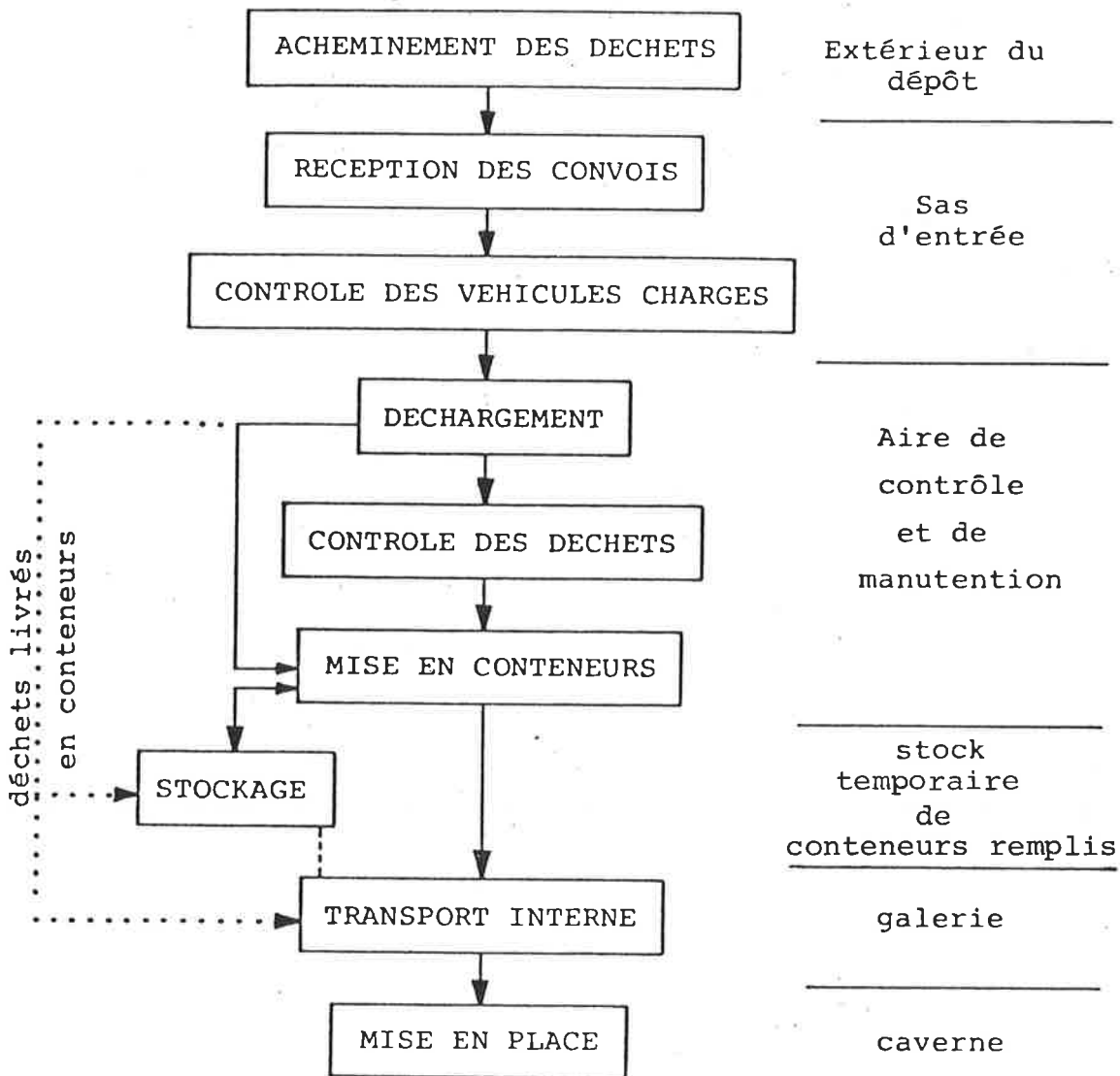
Les dispositifs assurant la surveillance des échanges avec l'extérieur sont principalement:

- Les sas d'isolement des convois à l'entrée et à la sortie avec installations de contrôle et de décontamination.
- Le sas d'entrée du personnel en zone jaune intermédiaire et le local de décontamination entre zones jaune et jaune intermédiaire.

5.3 MANUTENTION

5.3.1 Principes

Les opérations de manutention assurent le transfert des déchets entre les convois qui les acheminent sur le site et les cavernes de stockage. L'organigramme suivant présente les opérations de manutention et les lieux où elles se déroulent.



5.3.2 Acheminement des déchets, réception et contrôle des convois

Le poids maximum d'un convoi routier normal est de 28 t. /12/. Un convoi comportera donc au maximum:

30 fûts A (15 à 20 t.)
ou 8 fûts B (20 t. env.)
ou 4 unités de 2 m³ de vrac conditionné (20 t. env.)

Les déchets de démantèlement mis en conteneurs de 50 t. au chantier sont transportés par convois exceptionnels.

Le convoi qui se présente au dépôt subit un premier contrôle administratif avant d'être autorisé à pénétrer dans le sas d'entrée où il est contrôlé visuellement puis par mesures de radioactivité et enfin préparé pour le déchargement (débâchage, abaissement des ridelles, etc.).

5.3.3 Déchargement, contrôle, mise en conteneur et stockage temporaire

Les déchets sont déchargés du convoi, introduits dans une enceinte de mesure pour le contrôle de l'emballage et la mesure de radioactivité (contrôle par échantillonnage suivant les cas) puis rangés dans les conteneurs. Le couvercle du conteneur est mis en place par un chariot élévateur à fourche puis boulonné. Toutes ces opérations peuvent être plus ou moins automatisées.

Selon que les déchets livrés comportent plus ou moins de fûts A, de fûts B et de vrac conditionné, le rythme de remplissage varie fortement. Un conteneur non complètement rempli doit être déposé en zone de stockage temporaire dans l'attente de livraison permettant de compléter son contenu. Pour limiter les opérations de manutention, il sera nécessaire de livrer les déchets selon un planning établi de telle façon que les conteneurs soient remplis au maximum tout en diminuant les manoeuvres de stockage temporaire.

Composition des déchets

En se basant sur l'analyse des déchets du chapitre 2, on constate que deux grandes classes de déchets se présentent:

Classe I: déchets provenant de l'exploitation des centrales nucléaires, ou de la recherche, la médecine et l'industrie. Leur composition est telle que lors du remplissage des conteneurs:

82 % des conteneurs sont remplis totalement de fûts A

18 % des conteneurs contiennent des fûts A et B

Classe II: déchets provenant du démantèlement. Leur composition est telle que lors du remplissage des conteneurs:

30 % des conteneurs sont remplis totalement de fûts A

20 % des conteneurs renferment des fûts A et B

50 % des conteneurs contiennent des déchets en vrac conditionné

5.3.4 Transport interne et mise en place

Le porte-conteneur de 50 t (voir fig. 22) assure le transport interne dans la galerie d'accès et alimente ainsi le pont-roulant qui procède à la mise en place des conteneurs. On mettra au point des dispositifs de positionnement précis pour assurer un bon arrangement des conteneurs.

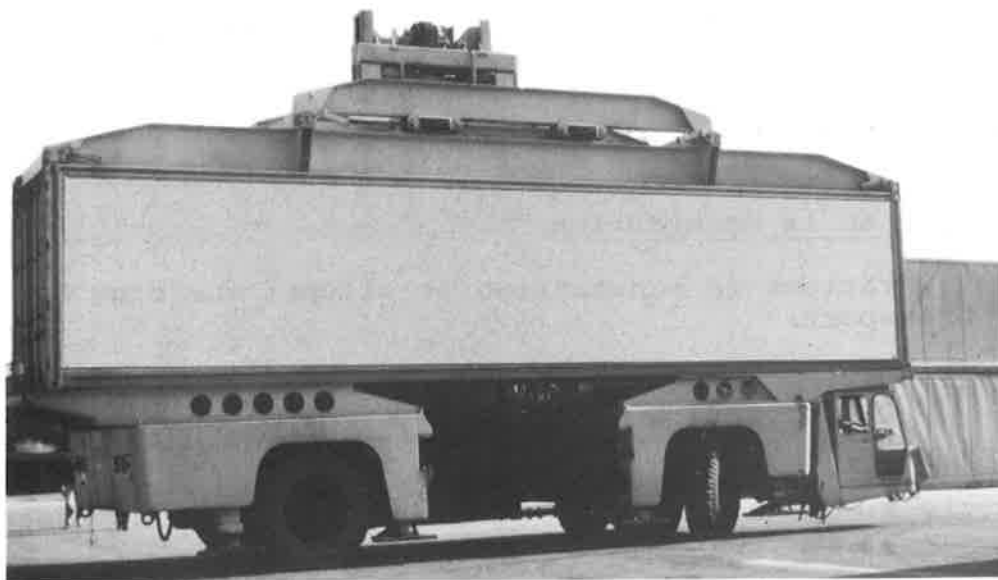
5.3.5 Engins de manutention

Le parc d'engins de manutention comprend au minimum:

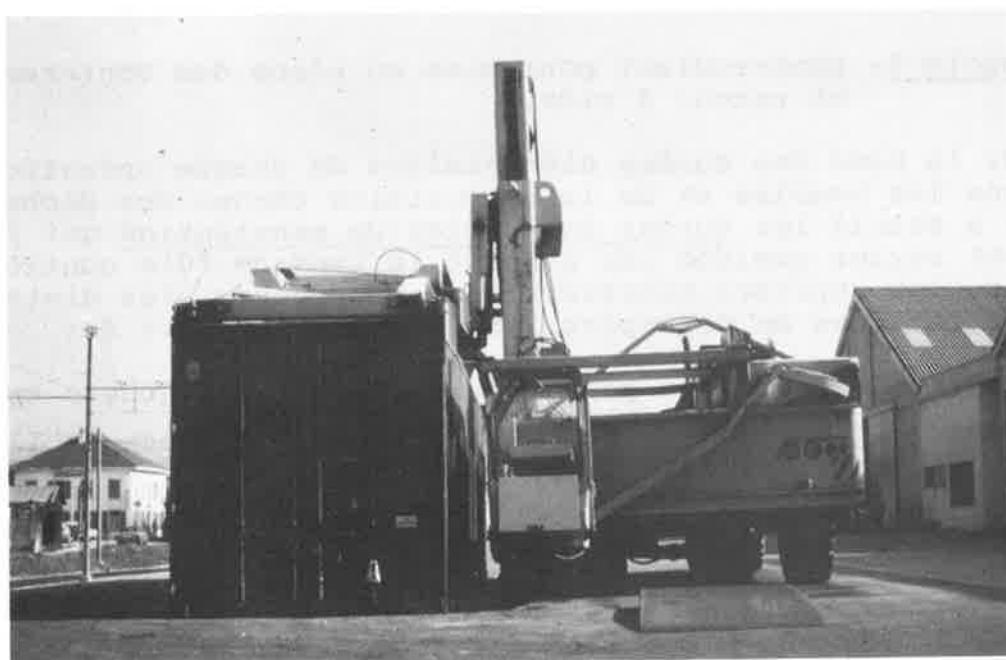
- un chariot-élévateur à fourches, charge 5 t
- un pont-roulant (15 t) pour le déchargement des convois et la mise en place des conteneurs
- un porte-conteneur de 50 t
- deux ponts-roulants pour la mise en place dans les cuves.

L'équipement général comprend:

- un équipement de contrôle des camions pouvant comporter une installation de télévision en circuit fermé, un portique mobile équipé d'instruments de mesure, le tout télécommandé en partie ou en totalité
- un dispositif automatique ou semi-automatique pour le remplissage des conteneurs
- une enceinte de mesure de la radioactivité pour le contrôle individuel des déchets
- une enceinte de protection pour les déchets endommagés



Transport de conteneurs



Déchargement d'un wagon

- un dispositif de positionnement des conteneurs dans les cuves.

Quatre personnes au minimum sont nécessaires pour effectuer les opérations de manutention.

5.3.6 Analyse de la manutention

Les opérations de manutention se situent sur cinq boucles de transport:

Boucle 1: transport par convois routiers entre lieux de provenance des déchets et dépôt avec retour à vide.

Boucle 2: déchargement, contrôle et mise en conteneurs par pont-roulant principalement.

Boucle 3: mise en stockage temporaire du conteneur et retour sur l'aire de mise en conteneurs.
Cette boucle n'est pas parcourue par tous les conteneurs.

Boucle 4: transport par porte-conteneur entre l'aire de manutention et les cavernes avec retour à vide.

Boucle 5: pont-roulant pour mise en place des conteneurs et retour à vide.

Sur la base des durées élémentaires de chaque opération dans les boucles et de la composition connue des déchets, on a établi les durées des cycles de manutention qui peuvent varier quelque peu suivant le taux de fûts contrôlés, les reprises nécessaires de conteneurs, les distances internes de transport, etc. Les durées sont de:

- 3 heures environ par conteneur pour les déchets type I*
- 1 3/4 " " " " pour les déchets IIa*
avec vrac livré en petites unités
- 1 1/2 heures environ par conteneur pour les déchets IIb*
avec vrac livré en conteneurs.

Les cadences maximales suivantes pourront être obtenues pour la mise en place avec les installations prévues et pour une exploitation de 9 heures:

- déchets I : 3 conteneurs par jour
- déchets II : 6-7 conteneurs par jour

En travaillant à deux équipes, on peut doubler la cadence sans modifier les installations.

* types de déchet: voir 5.3.3

Le rythme prévu pour l'arrivée des déchets (3.2.3.a) était, pour les déchets I et II mélangés, de 90 fûts A, 5 fûts B et 37,5 m³ de vrac conditionné. Il y correspond environ 5½ conteneurs. Le rythme maximum prévu pourra donc être tenu pratiquement sans travail de nuit.

5.3.7 Irradiation du personnel

Les doses d'irradiation par objets sont calculées sur la base de l'inventaire établi en 2.1.4.

Le conteneur procure une atténuation du taux de dose de l'ordre de 5.

Les opérations qui donnent lieu à irradiation du personnel sont données ci-après avec l'estimation de la dose maximum reçue au cours d'une opération:

- la réception du convoi (boucle 1) 3,33 mrem
- le déchargement d'un conteneur 50 t 0,64 mrem
 (boucle 2, convoi exceptionnel)
- la pose du couvercle du conteneur 0,18 mrem
 (boucle 2)
- le déplacement d'un conteneur 0,10 mrem
 (boucle 3)
- le transport interne (boucle 4) 0,10 à 0,23 mrem
 (suivant distance)

On constate que la préparation du convoi (enlèvement bâche, etc.) est l'opération qui donne lieu à la plus forte irradiation, et de beaucoup. Des recherches doivent être entreprises pour la diminuer (véhicules spéciaux, systèmes automatiques, etc.).

Sur la base des valeurs ci-dessus et des durées et fréquences des opérations de manutention définies en 5.3.6, on peut déterminer la dose collective journalière qui est de:

- 14 mrem/j pour les déchets I
- 34 mrem/j pour les déchets IIa (vrac livré en petites unités)
- 16 mrem/j pour les déchets IIb (vrac livré en conteneurs)

La dose collective annuelle serait comprise entre 3 rem et 7 rem suivant que l'on travaille sur un type de déchets ou sur l'autre et suivant que la cadence maximum soit observée toute l'année ou une partie de l'année. Comme un effectif de 4 à 7 personnes est attribué aux opérations de manutention donnant lieu à irradiation, la

dose individuelle maximale reste inférieure à 1 rem/an (3.2.3.c).

En comparant ces valeurs à celles déterminées préliminairement en 4.2.2, on constate que le mode de manipulation et les automatismes prévus ont bien permis une réduction très importante de la dose collective annuelle.

En rapportant les doses d'irradiation aux types de déchets, on obtient d'une façon générale: 0,2 mrem/tonne pour les déchets en petites unités et 0,02 mrem/tonne pour les livraisons en conteneur, ou encore:

3,6 mrem par convoi de fûts A (0,12 mrem/fût A)
4,2 mrem par convoi de fûts B (0,52 mrem/fût B)
3,5 mrem par convoi de vrac en unités de 2 m³
(0,9 mrem/unité)
0,8 mrem par convoi de vrac en conteneur
(0,8 mrem/conteneur).

5.4 EXPLOITATION GENERALE ET PROGRAMME DES TRAVAUX

5.4.1 Fonctionnement du dépôt

Le fonctionnement du dépôt s'étend sur une très longue période et plusieurs scénarios d'exploitation peuvent être imaginés. D'une façon générale, on trouvera des périodes d'activité de stockage entrecoupées de périodes d'inactivité et de périodes d'extension des travaux puis enfin une période de surveillance seule précédant la fermeture du dépôt.

L'équipe d'exploitation est évaluée au total à 19 personnes pendant les périodes d'activité, elle est réduite à 12 en dehors de ces périodes.

Un schéma de fonctionnement a été établi sur les bases suivantes:

- a) Production des déchets selon 2.1.5 et tableau 2.
- b) Les dépôts intermédiaires dans lesquels transitent les déchets avant d'être acheminés au dépôt général ont une capacité d'absorption de 10 ans. Ils seront vidés tous ensemble tous les 7 ans des 2/3 de leur contenu au moins.
- c) Les déchets provenant du démantèlement sont acheminés au dépôt général dès l'année du démantèlement et dans une période aussi courte que possible (de l'ordre de 18 mois).

- d) Les travaux de construction s'intercalent entre les périodes d'activité et sont conduits de manière telle que deux cuves soient toujours à disposition. Quatre cuves sont construites dans chacune des trois étapes de réalisation.
- e) Les périodes d'interruption d'exploitation pour les travaux de construction s'étalent sur 4 ans pour la première étape et sur 3 ans pour les suivantes (voir 5.4.2).

Le graphique de la fig. 23 représente le fonctionnement du dépôt.

Les lignes 1 à 7 indiquent les durées d'exploitation des centrales nucléaires et le fonctionnement de leurs dépôts intermédiaires.

Dans la zone 8 apparaît le volume total stocké amputé tous les 7 ans des livraisons au dépôt, compté en conteneurs, pour tous les déchets sauf ceux provenant du démantèlement. Y figurent également, selon une autre représentation, les déchets de démantèlement également comptés en conteneurs.

La ligne 9 est la transcription chiffrée de la zone 8.

En 10 figurent les périodes d'activité du dépôt avec leurs prolongations éventuelles pour le stockage des déchets de démantèlement.

En 11 sont précisées les dates de remplissage des cuves, ce qui permet de déterminer en 12 les dates ultimes de mise à disposition des cuves et les dates de construction.

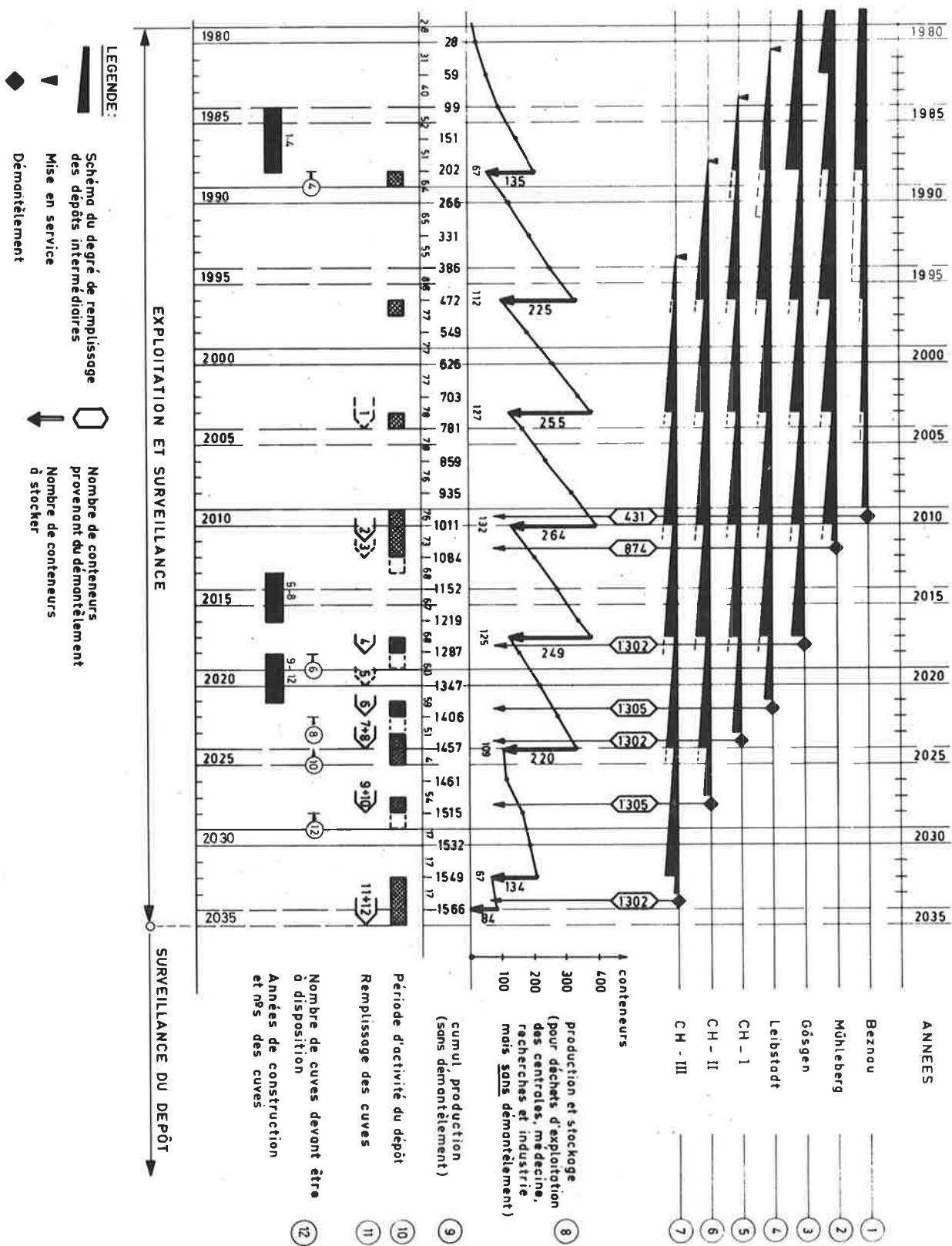


Fig. 23: Schéma de fonctionnement du dépôt

5.4.2 Programme des travaux

Le programme de la fig. 24 met en évidence les étapes principales des travaux pour le bâtiment de service et pour les constructions souterraines.

La durée des travaux du bâtiment de service est de 22 mois; la première étape des constructions souterraines s'étend sur 48 mois, la seconde et la troisième étape sur 42 mois (interruption d'exploitation 36 mois).

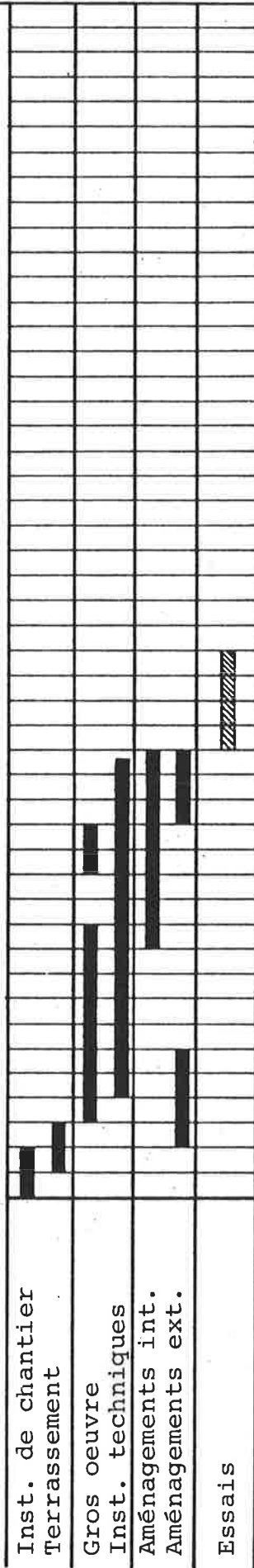
Lors de la première étape, la galerie d'accès est prolongée jusqu'à l'axe de la caverne suivante puis dans l'axe de celle-ci jusqu'à l'extrémité opposée à la galerie de construction de la future caverne.

A la reprise des travaux, on procède comme suit:

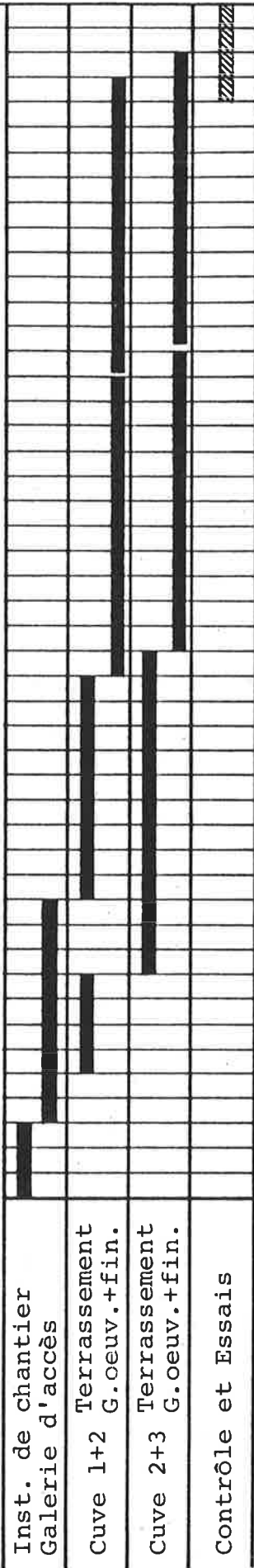
- forage de la galerie de construction jusqu'aux deux cavernes suivantes
- excavation et étayage, à partir de cette galerie, des zones hautes de la caverne
- forage d'un puits de liaison jusqu'à la galerie inférieure excavée en étape précédente
- ARRET D'EXPLOITATION avec mise en place des installations de ventilation auxiliaires pour le chantier dans la galerie d'accès, mise en service d'un sas anti-poussière et d'un dépotoir de clarification des eaux sur cette galerie
- excavation et étayage des étapes inférieures des cavernes (évacuation par la galerie d'accès)
- bétonnage et finitions (alimentation par la galerie d'accès)
- REPRISSE DE L'EXPLOITATION.

mois 5 10 15 20 25 30 35 40 45 48

B A T I M E N T D E S E R V I C E



E T A P E I N I T I A L E A V E C D E U X D O U B L E S C U V E S



E X T E N S I O N A V E C D E U X D O U B L E S C U V E S

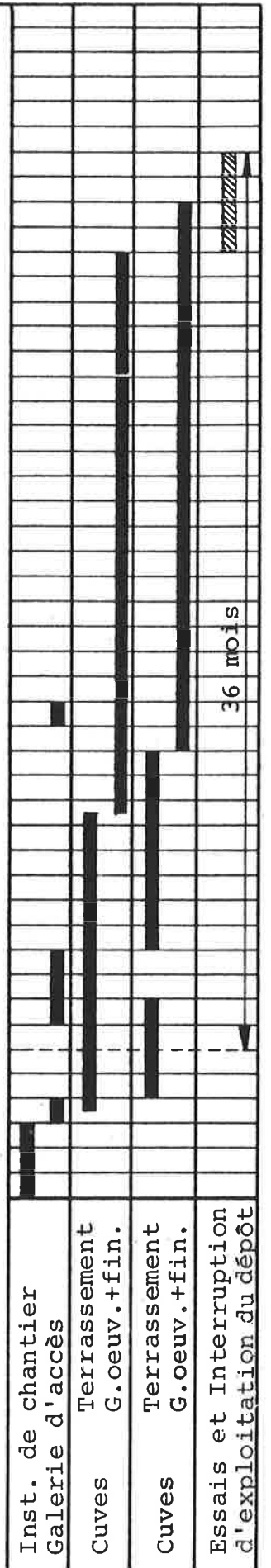


Fig. 24: Programme des travaux

6. SECURITE

Il convient de préciser d'emblée le caractère qualitatif de l'analyse effectuée. Une analyse détaillée et approfondie des accidents sera effectuée ultérieurement, dans le cadre d'un projet plus élaboré, de façon à parvenir à des estimations quantitatives des risques et des conséquences correspondants.

Les considérations qui suivent s'appliquent quant aux principes à toutes les variantes étudiées. Pour ce qui est du détail, elles concernent plus particulièrement la variante 8 qui a été étudiée de façon plus approfondie.

Cette étude de la sécurité ne porte que sur la période d'exploitation et de surveillance du dépôt.

6.1 CONDITIONS NORMALES

A l'intérieur du dépôt, les déchets conditionnés sont soumis à des conditions normales en ce qui concerne l'humidité et l'agressivité de l'air, ce qui contribue à préserver les enveloppes de conditionnement (fûts).

Pour ce qui est de l'installation proprement dite, les structures de ces ouvrages souterrains ont un caractère massif et robuste, ce qui leur confère une sécurité intrinsèque importante.

Le principal souci au niveau de la conception de l'ouvrage est de réaliser une barrière d'isolement du dépôt qui soit étanche à l'eau.

Les questions qui se posent quant au comportement normal de l'installation concernent la tenue des matériaux dans le temps en regard des problèmes de résistance et d'étanchéité.

Bien qu'il s'agisse de cavernes d'assez grande portée et surtout de grande hauteur, la tenue des cavernes proprement dites et de leurs revêtements peut être considérée, sur la base de l'expérience de ce genre de constructions (réalisées en Suisse, en particulier pour des centrales hydroélectriques), comme assurée pour une durée de l'ordre de 100 ans ou plus. Cette appréciation tient compte du fait que des conditions géologiques moyennes ont été admises, c'est-à-dire un rocher bien choisi et de qualité courante.

La pérennité des ancrages précontraints, si ceux-ci sont utilisés à la confortation du rocher, devra être tout particulièrement analysée.

Pour ce qui est du béton des cuves, l'expérience montre que la pérennité peut être assurée pour une durée de 100 ans. Pour leur étanchéité, il est certain que l'on ne dispose actuellement pas d'une expérience suffisante pour donner des assurances d'intégrité à long terme concernant les revêtements en matière plastique. Il est, par conséquent, prévu de pouvoir inspecter et contrôler ces dispositifs et les réparer si nécessaire. Le dispositif d'étanchéité du fond de la cuve, réalisé en acier et noyé dans le béton, donne les garanties de durée désirables.

6.2 ANALYSE DES ACCIDENTS

Différents accidents de gravité croissante sont analysés quant à leurs conséquences sur l'intégrité du dépôt et son aptitude à assurer le confinement des déchets radioactifs qui y sont entreposés.

Disons d'emblée que la sécurité de l'ouvrage n'est véritablement menacée que dans l'hypothèse d'une perturbation sur le massif rocheux, accompagnée de venues d'eau importantes.

6.2.1 Accidents internes ou liés au revêtement du dépôt (accident de type Ao)

a) Accident lors de la manutention entraînant la chute d'une unité de déchets, incendie d'un véhicule

Lors d'un tel accident, l'activité normale se trouve interrompue. Le personnel peut sortir du dépôt par la voie normale ou par la galerie de secours.

Une contamination radioactive éventuelle du sol est détectée et la contamination de l'air peut être mesurée.

La chute d'un conteneur en caverne, en particulier dans une cuve, peut entraîner des dégâts au conteneur en cours de manutention et à ceux qui sont déjà entreposés dans le dépôt. Les déchets peuvent se trouver localement répandus. Ils doivent être évacués et l'emplacement éventuellement décontaminé. Des dégâts peuvent aussi survenir à la cuve et devront être réparés.

Ainsi, le confinement général des déchets déjà stockés n'est pas affecté. Après remise en état de l'installation, l'exploitation normale du dépôt peut être reprise.

L'incendie d'un véhicule est traité de la manière usuelle dans les ouvrages souterrains, à savoir: extinction au moyen de l'appareillage de bord, arrêt de la ventilation dans les locaux concernés, évacuation du personnel qui n'est pas impliqué dans la lutte contre l'incendie.

L'utilisation de conteneurs procure une protection des déchets face à l'incendie du véhicule qui les transporte.

b) Défectuosité de l'équipement électrique

On considère ici les défauts qui peuvent affecter les équipements de contrôle de l'air, d'éclairage ou de mesures conduisant à un court-circuit, à une faible explosion ou à un début d'incendie.

Ces accidents sont traités de manière usuelle (ainsi que c'est le cas, par exemple, pour l'incendie du véhicule précité).

c) Amenée d'eau supérieure à la normale

De façon générale, quelle que soit l'importance et la durée de la venue d'eau, on a avantage à évacuer les eaux tant que les contrôles indiquent qu'elles ne sont pas contaminées par des substances radioactives.

Il convient de remarquer que, tant que l'augmentation des venues d'eau est peu importante, par exemple reste de l'ordre de quelques dizaines de litres par seconde, des travaux de captage ou d'obturation peuvent être effectués rapidement pour réduire le débit à une valeur proche de la valeur initiale.

d) Rupture d'un ancrage de la roche ou projection d'une éclisse de roche

Tant que cet accident n'est pas accompagné de modifications importantes du régime des eaux, il peut tout au plus causer des dégâts aux ouvrages ou à l'équipement. Ces dégâts peuvent être réparés sans affecter la fiabilité ou durée du confinement.

e) Incendie, explosion, faible arrivée de grisou

Les accidents de ce type sont semblables à ceux traités aux paragraphes a) et b) ci-dessus.

6.2.2 Accidents de faible ampleur affectant le massif rocheux, mais sans apport d'eau (A1)

Ces accidents résultent de séismes, de mouvements tectoniques. Ils peuvent conduire à des déformations et des fissurations des revêtements des cavernes, des cuves, éventuellement des conteneurs. Il est très peu probable que les conteneurs remplis de déchets en vrac injectés au coulis de ciment soient fissurés et que les fûts placés dans des conteneurs qui se fissureraient soient endommagés.

Ces dégâts peuvent être réparés, ce que permet l'accessibilité des cuves et la réversibilité du stockage des conteneurs.

6.2.3 Accidents de faible ampleur affectant le massif rocheux, entraînant des venues d'eau importantes (A2)

On se trouve dans la situation où, face aux venues d'eau, l'intégrité des cuves et conteneurs peut être atteinte. L'eau peut donc entrer en contact avec les fûts ou les déchets en vrac. En ce qui concerne les fûts, l'eau n'est pas contaminée tant que l'intégrité des enveloppes est préservée. Si ce n'est pas le cas, du fait par exemple de la corrosion à long terme des enveloppes métalliques des fûts, l'eau devient faiblement contaminée du fait de la lixiviation des matrices de conditionnement, éventuellement au-delà des normes de consommation.

Pour ce qui est du vrac confiné, l'eau peut être contaminée par la mise en circulation des substances radioactives fixées sur la surface extérieure des pièces (contamination superficielle) et de produits de corrosion. Ainsi, dans les deux cas des fûts ou des déchets en vrac, l'eau peut être contaminée.

Le débit, s'il est important, ne peut être retenu ni traité; l'eau évacuée est au contact de l'eau de surface et même souterraine. Il s'agit donc d'un accident que l'on doit qualifier de grave. Des travaux doivent être entrepris, qui peuvent durer plusieurs mois, pour dériver l'eau de la ou des cuves fissurées, ou en extraire les conteneurs.

6.2.4 Perturbation grave des massifs rocheux avec arrivée d'eau importante (A3)

Cet accident, résultant de très fortes perturbations tectoniques, implique la dislocation de galeries ou de cavernes. L'intégrité des cuves, conteneurs et fûts est affectée. La gravité de l'accident résulte des venues d'eau importantes, comme c'est le cas pour l'accident A2

précédent. La situation est aggravée par la difficulté fortement accrue d'effectuer des travaux de dérivation de l'eau ou d'évacuation des conteneurs.

6.2.5 Accidents résultant d'actes de malveillance (M)

Les actes de malveillance dans les installations extérieures (bâtiment de service et aires de manutention) sont assimilables aux accidents a) et b) du type A₀ traités ci-dessus. Il s'agit d'accidents possibles, n'entraînant pas d'atteintes à l'environnement, mais qui peuvent, par contre, nécessiter des travaux de décontamination, localement, et de remise en état des installations concernées. L'exploitation du dépôt peut s'en trouver affectée pendant un certain temps.

En ce qui concerne la partie souterraine, des accidents du type A₁ ne semblent pas pouvoir être exclus dans la mesure où des personnes malintentionnées et suffisamment équipées pourraient avoir accès à la partie intérieure du dépôt.

Le fréquence ou la probabilité d'actes de malveillance dépend directement des intentions des personnes et des mesures prises pour empêcher d'agir celles qui chercheraient à nuire à l'installation.

A cet égard, la conception des ouvrages, en particulier sous l'aspect de la surveillance et des circulations, joue un rôle essentiel.

Enfin, des mesures de police internes doivent permettre de réduire ce risque à une valeur acceptable.

6.3 APPRECIATION DU RISQUE RELATIF DES DIFFERENTS ACCIDENTS

Le risque (fréquence et importance des conséquences) des différents accidents est apprécié selon les deux critères suivants:

- fiabilité du confinement
- conséquences sur l'état du dépôt.

Le premier critère concerne la sécurité des environs du dépôt et le second, les conséquences techniques et économiques de l'accident.

Le tableau no. 6 donne la synthèse des appréciations que l'on peut formuler.

On remarquera tout d'abord qu'il n'y a pas d'énergie potentielle stockée dans le dépôt et, par conséquent, pas de risque de dispersion de ce fait.

On constate enfin que les seuls accidents susceptibles de conséquences graves en ce qui concerne le confinement sont liés à des venues d'eau importantes, conduisant à des débits supérieurs à la capacité de traitement et de rétention des installations (A2 et A3). Ces accidents graves sont peu à très peu probables.

Les accidents affectant le massif rocheux, mais sans venue d'eau (A1), doivent être considérés comme étant de gravité moyenne pour ce qui est des conséquences pour le dépôt, mais peu graves en ce qui concerne le confinement des déchets.

Les accidents résultant d'actes de malveillance (M) doivent être retenus comme possibles. Leurs conséquences peuvent être comparables à celles de l'accident précédent (A1) donc peu graves sur le confinement des déchets et de gravité moyenne sur le dépôt.

Les différents accidents du type A0 sont peu graves pour le confinement des déchets et peuvent être de gravité moyenne pour les effets sur le dépôt pour certains d'entre eux.

On doit cependant admettre que les accidents de maintenance ou l'incendie d'un véhicule (A0 a) et des défauts de l'équipement électrique (A0 b) peuvent se produire plusieurs fois pendant la durée d'exploitation du dépôt.

Les amenées d'eau supérieures à la normale (A0 c) sont très peu probables, peu graves pour le confinement, mais de gravité moyenne en ce qui concerne le dépôt. La rupture d'un ancrage de la roche ou la projection d'une éclisse de roche (A0 d) est peu probable, peu grave pour le confinement, mais de gravité moyenne pour le dépôt.

Il en va de même des incendies, explosions et faibles arrivées de grisou (A0 e). Les dégâts aux ouvrages et à l'équipement peuvent être réparés. Ils peuvent néanmoins imposer un arrêt plus ou moins prolongé de l'exploitation.

Tableau 6 - Risque relatif maximal des différents accidents

PROBABILITES	C O N S E Q U E N C E S					
	Confinement			Etat du dépôt		
	peu graves	moyennes	graves	peu graves	moyennes	graves
Plusieurs fois	Ao a) et b)			Ao a) et b)		
Possible	M				M	
Peu probable	Ao d) et e) A1				Ao d) et e) A1	
Très peu probable	Ao c)		A2 A3		Ao c)	A2 A3

GEDRA - Groupe Romand d'Etudes
d'Entreposage de Déchets Radioactifs

BONNARD & GARDEL
Ingénieurs-conseils SA

SOCIETE GENERALE POUR L'INDUSTRIE
Ingénieurs-conseils

Venturalet - 11/11 - pflsdm 11. Betsche

BIBLIOGRAPHIE

- /1/ Loi fédérale sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique et la protection contre les radiations (23 déc. 1959; état le 1er avril 1979)
- /2/ Règlement concernant les transports par chemin de fer et par bateaux (Règlement de transport) (du 2 oct. 1967; état le 1er oct. 1977 et modification du 15 nov. 1978)
- /3/ Ordonnance relative au transport des marchandises dangereuses par route (SDR) (du 24 mai 1972; état le 1er janv. 1979)
- /4/ Ordonnance sur le déversement des eaux usées (du 8 déc. 1975)
- /5/ Ordonnance concernant la protection contre les radiations (du 30 juin 1976)
- /6/ Ordonnance concernant le ramassage et l'expédition des déchets radioactifs (du 18 mars 1977)
- /7/ Règlement international (Suisse) concernant le transport des marchandises dangereuses par chemin de fer (RID/RSD) (approuvé le 2 novembre 1977)
- /8/ Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) (état au 1er oct. 1978)
- /9/ Arrêté fédéral concernant la loi sur l'énergie atomique du 6 octobre 1978
- /10/ Mesures prises en prévision de l'aménagement d'un dépôt de déchets radioactifs. Ordonnance sur les mesures préparatoires (24 oct. 1979)
- /11/ Directive visant à limiter le dégagement de fumées des foyers domestiques et industriels (chauffage et chaufferies) (du 7 fév. 1972)
- /12/ Ordonnance sur les règles de la circulation routière (OCR du 13 nov. 1962)

- /20/ UCS CEDRA 9 février 1978
Elimination des déchets radioactifs en Suisse.
- /21/ ASK-R-07 7.7.1977
Richtlinien für die Strahlenschutzzone in Kernanlagen
- /22/ ASK-R-14 PROJET 27.2.1978
Richtlinien für die Konditionierung und Zwischenlagerung
schwach- und mittelaktiver Abfälle in Atomanlagen
- /23/ KSA; KÜR; ASK-R-11 7.1978
Richtlinie für Kernanlagen
Ziele für den Schutz von Personen vor ionisierender
Strahlung im Bericht von Kernkraftwerken
- /24/ NAGRA 16.8.1978
Detaillierte Uebersicht über die auffallenden Mengen an
radioaktiven Abfällen in der Schweiz
- /25/ NAGRA NIB 15 5.1979
Zwischenbericht über das Verhalten künstlicher Barrieren
bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle
- /26/ NAGRA NIB 16 5.1979
Ergänzungen zur Klassifizierung schwach- und mittelaktiver
Abfälle