

RÈGLE N° III.2.f

(10 juin 1991)

Tome III: Production, contrôle et traitement des effluents et déchets.

Chapitre 2: Déchets solides.

Identification de la règle dans le chapitre: f.

OBJET: Définition des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage.

Domaine d'application: Stockage définitif de déchets radioactifs en formation géologique profonde.

STOCKAGE DÉFINITIF DE DÉCHETS RADIOACTIFS EN FORMATION GÉOLOGIQUE PROFONDE

1. Objet de la règle

L'objet de la présente règle est de définir, pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, les objectifs qui doivent être retenus dès les phases d'études et de travaux pour permettre d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage.

Elle traite des points suivants:

- objectif fondamental de sûreté du stockage;
- bases de conception du stockage liées à la sûreté;
- méthodologie de démonstration de la sûreté du stockage;

Elle prend en compte les recommandations émises par les organisations internationales techniquement compétentes (Commission internationale de protection radiologique [CIPR], Agence internationale de l'énergie atomique [AIEA], Agence de l'énergie nucléaire de l'organisation de coopération et de développement économique [OCDE]) et par le groupe de travail présidé par le professeur Goguel à la demande des ministres chargés de l'industrie et de l'énergie. Elle reprend également les réflexions menées entre le SCSIN, l'IPSN et l'ANDRA, notamment dans le cadre du groupe de travail sur le choix des situations à étudier pour la démonstration de sûreté.

L'opérateur chargé des études et de la réalisation du stockage devra rendre compte du SCSIN des conditions d'application de la règle.

2. Définitions

2.1. Déchets concernés

Le stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde est destiné à recevoir:

- les déchets B, qui sont des déchets de faible et moyenne activité massive contenant des quantités significatives de radionucléides de période longue ne permettant pas leur stockage en centre de surface conformément à la RFS I.2;
- les déchets C, qui sont des déchets de haute activité pouvant contenir également des quantités significatives de radionucléides à vie longue.

2.2. La biosphère

La biosphère est constituée de la partie de l'environnement facilement accessible aux activités de l'homme et susceptible d'être une voie de transfert de la radioactivité entraînant une exposition interne (inhalation, ingestion) ou une exposition externe.

La biosphère peut comprendre:

- la zone d'exhaure des eaux souterraines susceptibles d'avoir été affectées par le stockage;
- le système d'écoulement superficiel de ces eaux;
- les sols susceptibles d'être irrigués ou inondés;
- la production végétale ou animale destinée à la consommation humaine;
- l'atmosphère.

2.3. Le système de confinement

Au sens le plus général, le système de confinement est constitué par un ensemble de moyens ou de dispositifs interdisant ou limitant, à un niveau spécifié, tel qu'il sera précisé au chapitre 3, le transfert des matières radioactives vers la biosphère.

Dans le cas du stockage en formation géologique profonde, le système de confinement est constitué des trois barrières suivantes:

- les *colis de déchets*. Ils sont constitués en général d'une matrice dans laquelle les déchets sont incorporés, l'ensemble étant disposé dans un conteneur et éventuellement dans un surconteneur;
- les *barrières ouvragées*. Elles sont constituées des matériaux de rebouchage des cavités de stockage et des forages, de remblayage des galeries et de scellement des puits d'accès;
- la *barrière géologique*. Elle est constituée par les formations géologiques du site.

Les barrières du système de confinement jouent des rôles complémentaires, la barrière géologique assurant un rôle essentiel en particulier à long terme.

2.4. Situations prises en compte

Dans le cadre de l'analyse de sûreté, on retient:

- une situation de référence, correspondant à l'évolution prévisible du stockage au regard des événements certains ou très probables. Elle doit être caractérisée par une grande stabilité de la formation géologique et des écoulements d'eaux souterraines très faibles, voire une absence d'écoulement;
- des situations correspondant à l'occurrence d'événements aléatoires, d'origine naturelle ou associées à des actions humaines, qui se superposent à la situation de référence et qui peuvent conduire à des transferts préférentiels de radionucléides entre le stockage et la biosphère.

Ces situations sont précisées dans le chapitre 5 et l'annexe n° 2.

3. Objectif fondamental

3.1. Objectif

La protection des personnes et de l'environnement à court et à long terme constitue l'objectif fondamental assigné à un centre de stockage de déchets en formation géologique profonde.

Elle doit être assurée envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives dans toutes les situations prises en compte sans dépendre d'un contrôle institutionnel sur lequel on ne peut pas se reposer de façon certaine au-delà d'une période limitée (voir paragraphe 5.2 et annexe n° 2).

A cet égard, le concept retenu pour le centre de stockage devra permettre de « limiter l'impact radiologique à des niveaux aussi faibles qu'on puisse raisonnablement atteindre compte tenu des facteurs techniques, économiques et sociaux » (principe ALARA de la CIPR).

Les caractéristiques du site retenu, l'implantation du stockage, la conception des barrières artificielles (colis, barrières ouvragées) et la qualité de leur réalisation constituent le fondement de la sûreté du stockage.

Au regard de la démonstration de la sûreté, il conviendra de s'assurer de leur adéquation à l'objectif et au principe précités. A cette fin, des évaluations de l'impact radiologique seront effectuées pour vérifier que l'objectif est bien atteint dans toutes les situations prises en compte.

3.2. Critères de radioprotection

Les évaluations de sûreté comprendront la détermination des expositions individuelles exprimées en équivalents de dose. On supposera la constance des caractéristiques de l'homme (sensibilité aux rayonnements, habitudes alimentaires, conditions de vie, connaissances générales sans prise en compte de progrès scientifique, notamment dans les domaines technique et médical).

Il faut distinguer les expositions pouvant résulter du stockage en conditions d'évolution normale de référence et les expositions potentielles susceptibles de résulter d'événements aléatoires venant perturber l'évolution du stockage.

3.2.1. Situation de référence:

- les *équivalents de dose individuels* devront être limités à 0,25 mSv/an pour des expositions prolongées liées à des événements certains ou très probables.

Cette valeur correspond à une fraction de la limite annuelle d'exposition du public en situation normale;

- les évaluations seront fondées sur une modélisation de l'évolution du stockage, en particulier des barrières, et sur une modélisation de la circulation des eaux souterraines et du transfert des radionucléides;
- pour une période qui doit être égale au moins à 10 000 ans⁽¹⁴⁸⁾, la stabilité (qui englobe une évolution limitée et prévisible) de la barrière géologique doit être démontrée. La valeur des résultats des prévisions pourra alors être attestée de façon objective, notamment sur la base d'études d'incertitudes explicites. La limite de 0,25mSv/an sera retenue pour juger du caractère acceptable des conséquences radiologiques;
- au-delà de cette période de stabilité de la barrière géologique, les incertitudes sur l'évolution du stockage augmentent progressivement avec le temps; l'activité des déchets aura notablement décliné. Des estimations quantifiées majorantes des équivalents de dose individuels devront alors être faites. Elles seront éventuellement complétées, par des appréciations plus qualitatives des résultats de ces estimations, au regard des facteurs d'évolution de la barrière géologique, de façon à vérifier que le relâchement des radionucléides ne conduit pas à un équivalent de dose individuel inacceptable. Dans cette vérification, la limite de 0,25mSv/an précédemment citée sera conservée comme référence.

3.2.2. Situations hypothétiques correspondant à des événements aléatoires.

Certains événements aléatoires, d'origine naturelle ou associés à des actions humaines, peuvent perturber l'évolution du stockage et éventuellement conduire à des expositions individuelles plus élevées que celles associées à l'évolution de référence du stockage.

Pour maintenir une cohérence entre la limitation des expositions dans la situation de référence et le traitement des expositions potentielles liées à des situations hypo-

(148) Voir rapport Goguel. En tout état de cause, la période de stabilité de la barrière géologique devra être estimée sur la base des résultats des études géologiques menées sur le site.

thétiques, il peut être envisagé d'utiliser la notion de risque (produit de la probabilité d'occurrence de l'événement par l'effet de l'exposition associée) pour tenir compte de la probabilité d'occurrence de chaque situation donnant lieu à une exposition.

Cependant, la définition d'un critère basé sur une limitation du risque individuel ne peut pas se faire sans précautions, dans la mesure où il impliquerait une équivalence discutable entre réduction de la probabilité et réduction des expositions. En outre, il faut s'attendre à des difficultés, voire des impossibilités, dans l'estimation des probabilités des événements pouvant conduire à des expositions.

Dans ces conditions, le caractère acceptable des expositions individuelles associées à l'occurrence d'événements aléatoires sera apprécié en tenant compte du choix des caractéristiques des situations prises en compte, de la durée et de la nature des transferts de substances radioactives dans la biosphère, des caractéristiques des voies d'atteinte de l'homme et de l'importance des groupes exposés.

Par ailleurs, la possibilité d'interventions éventuelles en vue de limiter les conséquences, au cas où des situations du type considéré viendraient à se produire, ne doit évidemment pas être retenue pour la conception du stockage.

C'est pourquoi les expositions individuelles, exprimées en équivalents de dose, associées aux situations hypothétiques dont il apparaît qu'elles doivent être retenues pour la conception du stockage devront être maintenues suffisamment faibles par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes.

4. Bases de conception liées à la sûreté

4.1. Remarques préliminaires

Le site et les barrières artificielles de confinement devront jouer un double rôle:

- protéger les déchets en s'opposant à la fois aux circulations de l'eau au contact des déchets et aux actions humaines intrusives;
- limiter et retarder, pendant le délai nécessaire à une décroissance radioactive suffisante des radionucléides concernés, le transfert vers la biosphère des substances radioactives éventuellement relâchées par les déchets.

Le concept multibarrières a pour mérite de ne pas faire reposer la sûreté du stockage sur une barrière unique, dont la défaillance pourrait, à elle seule, compromettre gravement les deux rôles assignés au stockage rappelés ci-dessus. Les barrières jouent, à cet égard, des rôles complémentaires. Néanmoins, à long terme et après décroissance d'une partie importante de la radioactivité contenue dans les déchets, la barrière géologique et les matériaux de scellement des puits devront pouvoir assurer à eux seuls le confinement.

Toutefois, des objectifs quantitatifs pour les performances de confinement des différentes barrières ne pourront valablement être fixés qu'à l'issue d'un processus itératif, intégrant l'expérience acquise au cours de l'étude de la sûreté des stockages. C'est pourquoi une approche prudente est retenue, consistant à choisir ou concevoir chacune des barrières aussi efficace que raisonnablement possible compte tenu, d'une part, de son rôle dans la sûreté globale du stockage, d'autre part, de l'état des connaissances, des techniques disponibles, et des facteurs économiques.

4.2. Le colis de déchets

La conception des colis de déchets doit permettre d'assurer, d'une part, la sûreté des phases préalables au stockage définitif (entreposage, manutention, transport),

d'autre part, une pérennité suffisante des caractéristiques du colis de déchets ou des matériaux dans lesquels il est placé (températures limites à ne pas dépasser, tenue à l'irradiation...).

La toxicité chimique éventuelle des déchets radioactifs devra être examinée.

Les déchets devront être conditionnés sous forme non dispersable. Les colis devront comporter le moins possible de volumes vides. Ils ne devront pas contenir de produits susceptibles d'accroître significativement la mobilité des radionucléides au travers des barrières de confinement tels par exemple des produits organiques sous forme liquide.

4.2.1. Connaissance des caractéristiques et des propriétés des colis de déchets.

La connaissance des caractéristiques des colis de déchets en cours de fabrication ou dont la fabrication est prévue est nécessaire pour que l'on puisse apprécier leur qualité, disposer de données pour la conception du stockage et la démonstration de sa sûreté et adapter l'architecture du stockage et des barrières ouvragées aux caractéristiques des colis concernés.

Tout producteur de colis de déchets destinés à un stockage en formation géologique profonde devra réaliser, d'une part, des essais de caractérisation, d'autre part, des mesures ou des évaluations sur les colis produits et établir un dossier de spécifications par famille de colis. Les essais de caractérisation seront effectués, selon les cas, sur des colis, actifs ou inactifs, ou sur des échantillons représentatifs d'un processus industriel bien défini. Les essais, mesures et évaluations ont pour but :

- de déterminer les caractéristiques radioactives des colis de déchets, en particulier l'inventaire de leur contenu radioactif; il est notamment important d'avoir une bonne évaluation de l'activité des radionucléides à période longue, ainsi que de celle des radionucléides volatils;
- de connaître le contenu chimique des colis de déchets afin, notamment, de vérifier qu'ils ne contiennent pas de produits pouvant accroître la solubilité des radionucléides ou pouvant en complexer une fraction notable, altérant ainsi la rétention des radionucléides par les barrières de confinement qu'ils traversent;
- de connaître la nature et les quantités de gaz produits du fait de phénomènes de radiolyse, de corrosion, et d'altération du colis sous irradiation ou sous l'effet des micro-organismes;
- d'évaluer les caractéristiques physiques des colis de déchets: densité, homogénéité, taux de remplissage, pourcentage d'eau incorporée, conductibilité et capacité thermiques, températures caractéristiques, caractéristiques mécaniques...;
- de connaître les propriétés des colis, notamment celles associées à leur capacité initiale de confinement de la radioactivité, et leur évolution:
 - taux de lixiviation par les eaux souterraines;
 - taux de dégazage;
 - tenue mécanique dans les conditions de pression représentatives des stockages;
 - effets d'interactions chimiques (déchets/matrice, déchets ou matrice/matériaux des barrières ouvragées...);
 - effets thermiques (températures maximales admissibles, gradients de température maximaux admissibles);
 - effets de l'irradiation alpha ou bêta-gamma;
 - effets de micro-organismes.

Des études de comportement à long terme des déchets en présence des différentes agressions susceptibles de les affecter (interactions notamment avec les matériaux des

barrières ouvragées et avec la roche, effets des rayonnements ou des micro-organismes) devront être effectuées en vue de déterminer, en particulier, leur taux de dégradation en fonction du temps, la nature des produits de dégradation et les interactions entre ces produits de dégradation et les radionucléides à période longue contenus dans ces colis (colloïdes, complexes...).

Des études devront être menées pour déterminer les formes chimiques stables des radionucléides dans les conditions existant localement (pH, Eh, pCO₂...), ainsi que les relations entre leur solubilité et les caractéristiques du milieu.

L'objectif de ces études est, d'une part, de permettre l'évaluation de la capacité de confinement des colis et de fournir les éléments nécessaires à la démonstration de sûreté, d'autre part, d'estimer l'influence du colis sur la capacité de confinement des autres barrières.

4.2.2. Déchets C.

Pour les déchets C, le colis devra, pendant la période où l'activité des radionucléides à vie courte ou moyenne est dominante, viser à éviter la dissémination des radionucléides qu'il contient, notamment en cas d'occurrence d'un événement aléatoire entraînant la création d'un « court-circuit » de la barrière géologique et survenant pendant cette période.

Au-delà de cette période, les caractéristiques de confinement des colis, telles qu'elles auront été caractérisées, devront contribuer à la limitation de la dissémination des radionucléides.

Pour ce qui concerne les déchets vitrifiés, si les caractéristiques de la matrice placée dans son environnement de stockage étaient susceptibles d'être altérées de façon importante pendant la phase d'activité thermique des déchets, il faudrait protéger cette matrice des effets de cette altération, le cas échéant par une barrière efficace résistant notamment à la corrosion et à la pression pendant cette durée.

4.2.3. Déchets B.

Le colis de déchets B devra limiter la dissémination de substances radioactives qu'il contient en cas d'occurrence d'un événement aléatoire entraînant la création d'un « court-circuit » de la barrière géologique et survenant pendant une période à définir, après la fermeture du stockage. Ainsi, l'évolution des caractéristiques de confinement devra être évaluée pour une durée suffisante au regard de la décroissance des produits de fission à vie courte ou moyenne.

4.3. Les barrières ouvragées

Après remplissage des ouvrages, les vides créés lors de la réalisation du stockage devront être comblés pour rétablir autant que possible l'étanchéité du milieu et éviter que les ouvrages ne constituent des drains préférentiels pour les eaux souterraines et, le cas échéant, pour éviter des tassements préjudiciables aux couches géologiques surmontant la formation d'accueil. Les dispositions prévues à cet égard devront être précisées et justifiées. Par ailleurs, les forages de reconnaissance devront être efficacement scellés dès qu'ils ne seront plus utiles pour la connaissance ou la surveillance du site. Les puits d'accès devront faire l'objet d'un rebouchage assurant une étanchéité d'excellente qualité. Il importe que cette préoccupation soit intégrée dès leur conception.

Ces différents objectifs seront atteints grâce à la mise en place de barrières ouvragées.

On distingue deux types de barrières ouvragées :

- les barrières dites « de voisinage » ont pour rôle d'assurer le comblement des vides entre les colis et la roche d'accueil. Les barrières ouvragées de voisinage sont constituées par le matériau de comblement des cavités de stockage (espace colis-paroi de cavité et espace entre colis) et les bouchons éventuels en tête de cavité. Ces barrières sont particulièrement nécessaires pour les roches dures, la capacité de fluage des formations sédimentaires permettant d'atteindre naturellement cet objectif;
- les barrières dites « de remplissage » ont pour rôle principal de rétablir au mieux l'isolement entre la zone de stockage et la surface; elles sont constituées du (ou des) matériau(x) de remblayage des forages, des galeries de desserte et des puits d'accès, des serremments éventuels en galeries, des serremments en puits d'accès.

Dans le choix des barrières ouvragées de voisinage, il faudra tenir compte des caractéristiques intervenant au regard des fonctions suivantes :

- évacuation de la chaleur dégagée par les déchets;
- réduction de l'intensité des contraintes mécaniques engendrées;
- comportement physico-chimique au regard de la corrosion des conteneurs et de la migration des radionucléides.

Il faudra veiller à ce qu'aucun matériau constitutif de ces barrières n'engendre, par sa présence, des effets négatifs importants sur les performances de confinement de la barrière géologique et des colis de déchets.

Les barrières ouvragées de remplissage, en particulier celles assurant le scellement des puits d'accès, devront avoir une qualité et une longévité en rapport avec le rôle qui leur sera assigné vis-à-vis de la barrière qu'elles sont censées restaurer et compte tenu de la décroissance radioactive des déchets avec le temps.

En particulier, pour les roches sédimentaires, on pourrait compter sur une cicatrisation des vides de la barrière géologique et des barrières ouvragées par fluage de la roche; l'évolution de cette cicatrisation devra être évaluée.

Par ailleurs, il faudra tenir compte, dans les études de conception du stockage, du devenir et de l'influence des volumes d'air ou de gaz enfermés dans les ouvrages, notamment l'air contenu dans le matériau de remplissage ainsi que les gaz (hydrogène notamment) produits par radiolyse, corrosion et effets des micro-organismes.

Compte tenu de ces considérations, les performances des barrières ouvragées devront être définies et justifiées.

4.4. La barrière géologique, critères techniques de choix de site

La barrière géologique doit assurer, à long terme, une capacité d'isolation suffisante des radionucléides. Ses caractéristiques dépendent du site du stockage.

Les investigations à mener sur les sites devront être guidées par des protocoles rigoureux ajustés aux exigences des modélisations quantitatives et des spécificités des sites, mettant en œuvre les méthodes et outils disponibles les mieux adaptés. A cet égard, l'annexe 1 présente des orientations relatives aux investigations à mener sur les sites, depuis la surface et en laboratoire souterrain.

4.4.1. Critères essentiels.

Ces critères concernent, d'une part, la stabilité du site et, d'autre part, son hydrogéologie.

Stabilité :

La stabilité du site devra être telle que les éventuelles modifications des conditions initiales dues aux phénomènes géologiques qui peuvent survenir (glaciation, sismicité, mouvements néotectoniques) restent acceptables au regard de la sûreté du stockage.

En particulier, pour une période qui doit être égale au moins à 10 000 ans, la stabilité (qui englobe une évolution limitée et prévisible) doit être démontrée.

Ces phénomènes devront être évalués, pour chaque site reconnu, de façon qualitative et quantitative en se reportant à la situation actuelle, au passé proche (historique) et surtout au passé plus ancien (quaternaire et éventuellement fin du tertiaire). Ceci permettra d'apprécier les valeurs des paramètres les caractérisant ainsi que leurs variations, et d'en examiner l'influence. Pour cela, il sera en règle générale nécessaire de considérer l'environnement géologique régional de chaque site.

Hydrogéologie :

L'hydrogéologie du site devra être caractérisée par une très faible perméabilité de la formation hôte et un faible gradient de charge hydraulique. Un faible gradient régional hydraulique sera par ailleurs recherché de préférence pour les formations environnantes de la formation hôte.

Des mesures hydrogéologiques devront être réalisées sur une zone beaucoup plus large que le site de stockage de façon à bâtir des modèles d'écoulement prenant en compte les flux depuis les zones d'alimentation jusqu'aux exutoires. Ces schémas régionaux devront permettre de simuler l'intensité et la direction des circulations souterraines.

Il faudra prendre en compte les discontinuités ou les hétérogénéités dont la nature et la géométrie pourraient tendre à amoindrir significativement l'efficacité de la barrière géologique. Ces objets devront donc être repérés et caractérisés avec la plus grande attention, de façon, s'il y a lieu, à les éviter au niveau du site.

4.4.2. Critères importants.

Propriétés mécaniques et thermiques :

Elles conditionnent la faisabilité du stockage, c'est-à-dire la possibilité de concevoir un stockage n'altérant pas significativement la barrière géologique. En outre, le milieu de stockage choisi doit permettre une conception des cavités de stockage ne nécessitant pas d'interventions pour reprise du gabarit pendant leur remplissage.

Des études, notamment à l'aide d'une amélioration couplée des phénomènes thermiques et mécaniques, devront être effectuées pour étudier l'influence du mode et des séquences de mise en place des déchets sur les effets mécaniques dans le stockage et en particulier du temps de refroidissement préalable et de la densité du stockage des déchets. Ces études spécifiques devront permettre de déterminer les paramètres physiques correspondants et de préciser l'influence de ces phénomènes.

Propriétés géochimiques :

Elles jouent un rôle important dans la sûreté à long terme d'un stockage de déchets radioactifs parce qu'elles peuvent avoir un effet sur l'altération des barrières artificielles et qu'elles gouvernent les phénomènes de rétention des radionucléides éventuellement relâchés.

Une description quantitative des propriétés géochimiques du système devra être établie pour l'analyse des conditions de transfert des radionucléides.

Des analyses minéralogiques des matériaux de la formation hôte devront être effectuées et leur évolution géochimique modélisée en fonction de la température et de l'irradiation. On étudiera particulièrement le rôle des minéraux argileux.

Respect d'une profondeur minimale :

Le site devra être choisi de façon que la profondeur envisagée pour le stockage garantisse que les performances de confinement de la barrière géologique ne seront pas affectées de façon significative par les phénomènes d'érosion (notamment à la suite d'une glaciation), par l'effet d'un séisme, ou par les suites d'une intrusion « banale ».

On devra considérer que l'épaisseur de la zone superficielle pouvant être ainsi perturbée est de l'ordre de 150 à 200 mètres.

Absence de stérilisation de ressources souterraines :

Au plan de la gestion du sous-sol, le site devra être choisi de façon à éviter des zones dont l'intérêt connu ou soupçonné présente un caractère exceptionnel.

4.5. Le concept de stockage

L'implantation du stockage dans la formation géologique devra se situer :

- dans les milieux cristallins, au sein d'un bloc-hôte exempt de grandes failles, celles-ci étant susceptibles de constituer des secteurs de circulation hydraulique privilégiée. Les modules de stockage devront être réalisés à l'abri de la fracturation moyenne, celle-ci pouvant toutefois être traversée par les ouvrages d'accès ;
- dans les roches sédimentaires, au sein d'un milieu exempt de grandes hétérogénéités et à une distance suffisante des aquifères environnants.

La présence des déchets (charge thermique) et des matériaux rapportés et de remplissage ne doit pas affecter significativement les propriétés de confinement des barrières.

A cet égard, lors des travaux de caractérisation des différentes barrières, la détermination des valeurs limites admissibles des températures et des déformations devra faire l'objet d'une attention particulière.

Les perturbations résultant du creusement des ouvrages devront être réduites autant que possible. La conception ou l'implantation des puits d'accès devront, d'une part, permettre de limiter le risque de circulation des eaux, d'autre part, prendre en compte l'objectif d'un scellement efficace en fin d'exploitation.

5. Démonstration de la sûreté du stockage

5.1. Remarques préliminaires

Afin de vérifier que les objectifs de conception du stockage sont atteints, l'évaluation de la sûreté post-fermeture devra porter sur les trois aspects complémentaires suivants :

- justification du caractère favorable des performances de chacune des barrières de confinement, et du concept de stockage vis-à-vis de la sûreté globale du stockage ;
- évaluation des perturbations apportées par la création du stockage et vérification que ces perturbations restent acceptables vis-à-vis du niveau de qualité choisi pour chacune des barrières, en particulier de la barrière géologique ; on considérera notamment les perturbations liées au creusement du stockage, et aux effets thermiques, thermomécaniques et hydrogéologiques associés à la charge thermique des colis ainsi que les modifications éventuelles des écoulements et des caractéristiques chimiques de la formation géologique ;
- évaluation du comportement futur du stockage et vérification que les expositions individuelles sont acceptables. L'approche retenue consistera à étudier

un nombre limité de situations représentatives des différentes familles d'événements ou séquences d'événements et telles que les conséquences associées soient les plus élevées parmi celles des situations de la même famille. Les familles d'événements ou de séquence d'événements retenues sont celles considérées comme envisageables dans l'ensemble de celles *a priori* possibles.

5.2. Considérations générales sur les évaluations des expositions individuelles

L'évaluation des expositions individuelles consiste à estimer le comportement futur prévisible du stockage à partir de l'état initial du site tel que défini à l'issue du programme de reconnaissance, et compte tenu de sa présence, les effets éventuellement induits sur l'homme, dans les différentes situations précisées en 5.3 et en annexe 2.

Les évaluations des expositions individuelles à long terme nécessitent de disposer des éléments suivants :

- ensemble des données décrivant le stockage : inventaire de l'activité stockée, caractéristiques des différentes barrières, architecture du stockage, biosphère, conditions aux limites. Ces données doivent être soit des données pessimistes, soit des données moyennes (ou probables) complétées par des fourchettes d'incertitudes et des estimations de la variation possible avec le temps ;
- données de base telles que celles nécessaires à l'identification des espèces relâchées (spéciation) et à l'évaluation de leurs effets radiologiques sur l'homme ;
- liste et caractéristiques des situations à prendre en compte, ou scénarios ;
- modèles de calcul.

La présentation des résultats devra permettre d'apprécier :

- les expositions individuelles associées au stockage pour les différentes situations étudiées ;
- les paramètres et phénomènes importants ;
- les performances des différentes barrières (notamment en matière de confinement de la radioactivité) vis-à-vis du rôle qui leur est assigné.

5.3. Situations prises en compte

Les événements et processus constitutifs des situations retenues dans le cadre de l'analyse de sûreté devront être modélisés et caractérisés. Cette caractérisation sera largement itérative dans la mesure, en particulier, où la définition des situations considérées est susceptible d'être affinée en fonction de l'évolution des connaissances sur les barrières et leur comportement.

En ce qui concerne la localisation dans le temps de ces situations, on se référera aux périodes suivantes :

- une période « initiale » de 500 ans, correspondant à la conservation de la mémoire du stockage, permettant de rendre extrêmement peu probable l'intrusion humaine dans la zone du stockage. Elle correspond par ailleurs à une décroissance importante de l'activité des radionucléides à vie courte ou moyenne ;
- une période intermédiaire de 50 000 ans, caractérisée par l'absence de glaciation majeure ;
- la période postérieure à 50 000 ans dans laquelle on prendra en compte notamment l'occurrence de glaciations majeures.

5.3.1. Situation de référence.

Les événements à considérer sont :

- les événements liés à la présence du stockage : l'impact de ce dernier se traduira par la mise en jeu de processus associés à l'émission de chaleur, à des

modifications mécaniques, physico-chimiques ou encore à la désaturation du milieu naturel autour du stockage. L'ensemble des processus de dégradation progressive des barrières artificielles (corrosion des contenants et des matrices de confinement, vieillissement des barrières ouvragées et des scellements...) devra être considéré ;

- un ensemble d'événements naturels très probables (changements climatiques, subsidence et surrection). Les changements climatiques (géodynamique externe) s'accompagnent de processus tels que les cycles d'érosion-sédimentation, les modifications de l'hydrologie de surface et des circulations en profondeur.

5.3.2. Situations hypothétiques correspondant à des événements aléatoires.

Les événements pris en compte dans ces situations seront soit des événements de même nature que ceux retenus dans la situation de référence, mais d'ampleur exceptionnelle, soit des événements très incertains quant à leur date d'occurrence et leur déroulement. Ces événements seront répartis en deux catégories, ceux d'origine naturelle et ceux liés à l'activité humaine :

- les événements d'origine naturelle à considérer seront au moins les suivants : changements climatiques majeurs, activité sismique, subsidence et surrection exceptionnelles, diapirisme, activité magmatique, chute de météorites. Certains de ces événements pourront, selon les sites, ne pas être retenus après analyse justificative.

Concernant l'activité sismique, il sera retenu un niveau d'activité sismique susceptible d'être rencontré au cours des diverses périodes étudiées. Des incertitudes existent sur les niveaux sismiques possibles sur des périodes sensiblement supérieures à la période historique. L'existence d'une borne physique des niveaux sismiques dans une région pourrait constituer une donnée limite à considérer, compte tenu du contexte sismo-tectonique ;

- les événements liés à l'activité humaine concernent les intrusions humaines directes ou indirectes (forages, mines, cavité, constructions de surface ou de subsurface), les défauts de colis (aléas sur les conditions de dégradation ou manque de respect de spécifications), les défauts de barrières ouvragées (défauts de scellement liés au manque de respect de spécifications de mise en place, de fabrication, défauts conceptuels), les changements climatiques liés à l'activité humaine (effet de serre), les défauts de la barrière géologique se traduisant par des anomalies de cette barrière (aléas sur la connaissance du site, instructions anciennes...).

Les situations à retenir pour chacun des types de site envisagés (granite, schiste, sel, argile) seront au moins celles qui figurent dans l'annexe 2.

5.4. Modélisation

Le comportement du stockage est déterminé par le comportement des différents sous-systèmes qui le constituent et qui sont interdépendants. A cet égard, il est habituel de distinguer les différents sous-systèmes ou champs suivants :

- le champ proche, qui comprend les colis, les matériaux de remplissage des cavités, des galeries et des puits (barrières ouvragées) et la partie de la barrière géologique directement affectée par le stockage de déchets ;
- le champ lointain, qui est la partie de la barrière géologique non directement affectée par la présence du stockage ;
- la biosphère.

Les modèles sont des représentations simplifiées des phénomènes réels : il devra être montré, d'une part que ces représentations ne laissent pas de côté des phénomènes importants, d'autre part que les simplifications des phénomènes ont un caractère suffisamment pessimiste. L'ensemble des simplifications effectuées devra être justifié.

Compte tenu de l'importance de la modélisation, un soin particulier devra être porté à la validité des modèles et des données. Pour cela, il sera en particulier nécessaire de participer à des intercomparaisons de modèles.

Dans le domaine de la biosphère, il n'apparaît pas possible de prévoir l'évolution locale de l'environnement sur de très longues périodes ; par contre, les grands événements climatiques régionaux prévisibles pourront être pris en compte en faisant appel à la notion de biosphères-types, représentatives des différents états que pourrait prendre à plus grande échelle la biosphère, compte tenu de ces événements.

Par ailleurs, pour la modélisation de la biosphère, on retiendra des groupes critiques hypothétiques, représentatifs des individus susceptibles de recevoir les doses les plus élevées parmi lesquels des individus vivent au moins partiellement en autarcie.

5.5. Etudes de sensibilité des évaluations des expositions individuelles

L'évaluation des expositions individuelles devra être accompagnée de fourchettes d'incertitude ou de tout élément pertinent visant à démontrer son caractère pessimiste. Des études de sensibilité devront par ailleurs être effectuées afin de mettre en évidence les paramètres les plus importants et de justifier les hypothèses simplificatrices effectuées par l'évaluation des conséquences radiologiques.

Les analyses de sensibilité permettent d'identifier les points sur lesquels devrait porter en priorité l'effort de définition (situations prises en compte), de compréhension et de hiérarchisation des processus mis en jeu (modèles) ou de caractérisation (paramètres) pour accroître la crédibilité des résultats des évaluations.

Elles contribuent à l'appréciation de l'incertitude sur les résultats des évaluations des expositions individuelles à partir des incertitudes sur l'ensemble des facteurs (scénarios, modèles, techniques numériques, valeurs des paramètres...) entrant dans la démarche ayant conduit à ces résultats.

6. Assurance de la qualité

Les opérations relatives à la conception, à l'évaluation et à la réalisation des barrières de confinement feront l'objet de procédures d'assurance de la qualité. En particulier, il faudra veiller à :

- se doter de moyens de contrôle adéquats concernant les colis de déchets ;
- mener, suivant les règles de l'assurance de la qualité, les études de conception des barrières ouvragées compte tenu du rôle qui leur sera assigné dans la sûreté ;
- mener les opérations de caractérisation de sites suivant des protocoles d'études, d'analyse et d'essais bien définis.

Dans le cadre de l'élaboration de la démonstration de sûreté et des évaluations des expositions individuelles, l'élaboration des codes et la gestion des données nécessaires aux évaluations feront l'objet de procédures d'assurance de la qualité.

- la formation suprasalifère (niveaux marneux, à sulfates, anhydrite, gypse, brèches de dissolution);
- les limites supérieure, inférieure et latérale de l'ensemble salifère, au contact de sa couverture et de son *substratum* (phénomènes de dissolution, remaniements);
- la géométrie du socle compris au sens de *substratum* de la série salifère, en particulier pour ce qui est des accidents l'affectant; la répercussion et l'expression de ces accidents sous-jacents dans la série évaporitique devront être appréhendées.

Pour l'hydrogéologie superficielle et latérale, une interprétation détaillée des résultats du bilan hydrologique à l'échelle de chaque bassin versant, en vue d'avoir une estimation de l'alimentation des aquifères superficiels, devra être effectuée.

Pour l'ensemble des aquifères, un schéma hydrogéologique régional mettant en évidence les zones d'alimentation, les discontinuités éventuelles, les exutoires et les relations entre les aquifères ainsi qu'un bilan hydrogéologique devra être établi.

Une étude hydrogéologique locale devra être effectuée. Elle devra mettre en évidence, d'une part, les caractéristiques géométriques des aquifères (nature lithostratigraphique, morphologie, continuité...) et des niveaux imperméables, d'autre part, leurs caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité, transmissivité, porosité...) en tenant compte notamment de l'influence de la fracturation des terrains et de tous les autres éléments nécessaires pour quantifier les flux (par exemple les pompages locaux).

Ces évaluations hydrogéologiques devront permettre d'appréhender les risques de dissolution.

Les éléments suivants devront être étudiés :

- différents facteurs à l'origine des mouvements d'ensemble verticaux actuels et leurs effets combinés;
- conséquences (modifications éventuelles de l'hydrographie et de l'hydrogéologie) des mouvements définis et leur quantification (vitesses d'érosion, de transport, de sédimentation);
- contexte sismotectonique régional.

Les objets structuraux ayant été actifs durant le plioquaternaire devront être définis aussi précisément que possible.

Les études précédentes seront fondées sur l'histoire sédimentologique et paléogéographique du plioquaternaire, appuyée sur une échelle chronostratigraphique détaillée.

4.3. Site en formation argileuse

La nature et l'importance des hétérogénéités à l'intérieur de la formation hôte sur le plan hydrogéologique et géotechnique devront être déterminées localement.

Les discontinuités verticales (flexures et failles) et horizontales (biseaux sédimentaires, discordances, changements de faciès) pouvant notamment jouer un rôle éventuel dans l'hydrogéologie locale, devront être localisées et identifiées.

Ces travaux devront notamment inclure une interprétation des données géologiques locales en termes de sédimentologie régionale (reconstitution paléogéographique locale) de façon à déterminer les moteurs (directions et nature) ayant agi durant la sédimentation.

Une description de l'hydrogéologie superficielle à l'échelle locale, en vue d'avoir une estimation de l'alimentation des aquifères superficiels, devra être effectuée.

Les éléments suivants devront être déterminés pour l'ensemble des formations, aussi précisément que possible :

- un schéma hydrogéologique régional mettant en évidence les zones de mise en charge et de décharge et les relations entre aquifères ainsi qu'un bilan hydrogéologique préliminaire;
- un schéma hydrogéologique local mettant en évidence :
 - les caractéristiques géométriques des aquifères (nature lithostratigraphique, morphologie, continuité...) et des niveaux semi-perméables et imperméables;
 - leurs caractéristiques hydrodynamiques (porosité, perméabilité, transmissivité...) aussi bien verticales que horizontales en tenant compte notamment de la fracturation des terrains et de tous autres éléments nécessaires pour quantifier les flux;
 - leurs caractéristiques géochimiques, notamment leur salinité;
 - les paramètres hydrodynamiques et la géométrie d'éventuelles discontinuités verticales pouvant mettre en relation différents niveaux stratigraphiques.

Au plan de la géodynamique à l'échelle régionale et locale, devront être effectuées :

- une synthèse des données de sismotectonique à l'échelle régionale;
- une reconnaissance des objets structuraux qui ont pu jouer un rôle dans les déformations récentes locales.

ANNEXE N° 2

Sélection de situations à prendre en compte dans le cadre de l'analyse de sûreté

La méthode retenue pour apprécier la qualité des sites sur le plan de la sûreté est de type déterministe. Elle consiste à étudier un nombre limité de situations représentatives des différentes familles d'événements ou de séquences d'événements tels que les conséquences associées soient les plus élevées de celles des situations de la même famille. Cette approche repose sur une sélection d'événements considérés comme raisonnablement envisageables.

Elle comporte les étapes suivantes : identification des événements susceptibles d'intervenir, classement des événements en fonction de leur probabilité ou de leur origine (le dépôt, l'homme, des processus naturels), tri des événements selon des critères faisant intervenir leur probabilité, les effets induits par rapport à d'autres événements de probabilité comparable, ou de l'importance de l'impact radiologique, combinaison d'événements, pour former des scénarios, tri des scénarios.

Cette méthode a conduit à la première sélection de situations à prendre en compte qui est présentée ci-dessous.

1. Situation de référence

Les événements à considérer seront :

- les événements liés à la présence du stockage : l'impact de ce dernier se traduira par la mise en jeu de processus associés à l'émission de chaleur, à des modifications mécaniques, physico-chimiques ou encore à la désaturation du milieu naturel autour du stockage. L'ensemble des processus de dégradation

progressive des barrières artificielles (corrosion des conteneurs et des matrices de confinement, vieillissement des barrières ouvragées et des scellements...) devra être considéré;

- un ensemble d'événements naturels très probables (changements climatiques, subsidence et surrection). Les changements climatiques (géodynamique externe) s'accompagnent de processus tels que les cycles érosion/sédimentation, les modifications de l'hydrologie de surface et des circulations en profondeur.

Dans un premier temps, une évaluation des expositions individuelles pourra être effectuée en supposant une absence d'évolution des caractéristiques des barrières de confinement et un régime permanent des écoulements. Les exutoires seront constitués par les cours d'eau et des pompes peu profonds d'alimentation en eau. Pour le site salifère, cette évaluation ne sera pas effectuée en raison de l'absence d'écoulements permanents d'eau dans la formation hôte.

L'étude de l'évolution du système due à la présence du stockage et aux événements naturels certains devra alors montrer que les conséquences de cette évolution sont suffisamment faibles pour que l'on puisse raisonnablement estimer que les résultats obtenus sans la prendre en compte sont pertinents pour juger du caractère acceptable des expositions individuelles. Cette étude prendra en compte les événements et processus présentés ci-après.

1.1. Situation évolutive du système due à la présence du stockage

Les effets des travaux de creusement des cavités de stockage sur les propriétés hydrauliques de la roche et l'influence des effets transitoires autour des ouvrages sur le comportement hydraulique seront appréciés.

En ce qui concerne le dégagement thermique des déchets C, il faudra évaluer :

- les déformations et les contraintes induites par les effets thermomécaniques sur la formation hôte;
- leurs conséquences sur les écoulements et la migration des radionucléides, en prenant en compte les particularités de chaque milieu (fracturation du granite, fracturation et anisotropie du schiste, hétérogénéités sédimentaires pour le sel et l'argile);
- les effets de thermoconvection éventuels;
- les conséquences de l'ensemble des effets ci-dessus sur les formations sus-jacentes, pour les sites argileux et salifères. En particulier, il faudra vérifier pour un site salifère que les déformations des bancs qui jouent le rôle de barrière hydraulique ne conduisent pas à leur rupture;
- pour un site argileux :
 - l'importance des phénomènes de déshydratation des minéraux argileux en fonction de la température et de la distance au stockage;
- pour un site salifère :
 - le comportement d'inclusions fluides en présence du gradient de température prévisible, et en particulier leur distance maximale de migration;
 - le risque de diapirisme compte tenu des irrégularités créées à l'interface sel-couverture.

1.2. Situation évolutive du système aux événements naturels

L'évolution prise en compte dans la situation de référence correspond à celle due aux événements naturels prévus sur une période de 100 000 ans, celle ultérieure étant considérée comme relevant des scénarios à événements aléatoires d'origine naturelle.

1.2.1. Changements climatiques.

Une glaciation du type würm à 60 000 ans (telle que prévue par la théorie de Milankovitch) sera envisagée, l'ensemble des sites se trouvant en contexte périglaciaire. L'influence de la présence d'un pergélisol ou de la baisse du niveau des mers (de l'ordre de 100 m) sur l'érosion et ses conséquences éventuelles sur les écoulements d'eau en profondeur seront évaluées.

1.2.2. Mouvements verticaux.

L'amplitude des mouvements verticaux (subsidence et surrection) et les mécanismes associés seront évalués sur la base des observations réalisées sur les sites. Les effets défavorables envisageables sur les écoulements souterrains seront appréciés.

2. Situations hypothétiques correspondant à l'occurrence d'événements aléatoires d'origine naturelle

2.1. Changements climatiques majeurs

Une glaciation de type Riss ancien après 160 000 ans avec une évaluation pessimiste de l'extension des glaces sera prise en compte. Les sites seront selon leur localisation géographique en contexte périglaciaire, ou en condition glaciaire. L'analyse sera analogue à celle du scénario de référence.

2.2. Mouvements verticaux exceptionnels

Les valeurs de ces mouvements seront évaluées à partir de données correspondant à des périodes d'activité parosystémique, observées au cours du plioquaternaire.

2.3. Activité sismique

Les caractéristiques d'un séisme maximal physiquement possible seront recherchées sur la base du contexte tectonique des sites. Il faudra évaluer le degré de perturbation envisageable au niveau du système hydrogéologique des sites. En particulier, l'évolution de la perméabilité d'un milieu fracturé soumis à des stimulations sismiques sera appréciée pour les sites cristallins.

3. Situations hypothétiques correspondant à l'occurrence d'événements aléatoires de caractère conventionnel

3.1. Intrusion humaine

Pour ce type de situation, il faut fixer une date minimale avant laquelle aucune intrusion humaine involontaire ne peut se produire en raison du maintien de la mémoire de l'existence du stockage. Cette mémoire dépend de la pérennité des mesures qui peuvent être mises en œuvre : l'archivage, les documents institutionnels résultant de la réglementation, le marquage de surface... Dans ces conditions, la perte de mémoire de l'existence du stockage peut être raisonnablement située au-delà de 500 ans. Cette valeur de 500 ans sera retenue comme date minimale d'occurrence d'une intrusion humaine.

La définition des caractéristiques des situations d'intrusion humaine retenues est fondée sur les hypothèses pessimistes suivantes :

- la connaissance de l'existence du stockage et de son emplacement est oubliée;
- le niveau de technologie qui est employé est le même qu'aujourd'hui.

3.1.1. Forage exploratoire traversant le stockage.

Pour tous les sites, la situation consiste en un forage traversant le stockage avec extraction de carottes. L'exploitation de carottes constituées de déchets de haute activité donne lieu à une exposition externe qui sera évaluée en fonction du type d'examen effectué sur celle-ci.

3.1.2. Exploitation d'une mine.

Pour les sites cristallins, le scénario est exclu du fait de l'absence d'intérêt minier des sites étudiés.

Pour le site argileux étudié, il est exclu compte tenu de l'absence d'intérêt particulier pour les formations existantes aux profondeurs envisagées pour le stockage.

Pour le site salifère, on envisagera l'exposition des travailleurs lors de l'exploitation d'une mine atteignant le dépôt.

3.1.3. Forage exploratoire abandonné et mal scellé traversant le stockage.

Pour les sites cristallins, il faudra étudier les conséquences liées aux modifications des écoulements et des temps de migration des radionucléides.

Pour les sites sédimentaires, il faudra étudier les conséquences liées à la mise en communication d'aquifères ou entre un aquifère et le stockage.

3.1.4. Forage d'exploitation d'eau à usage alimentaire ou agricole dans un aquifère profond.

La plausibilité d'un pompage d'exploitation d'eau à usage alimentaire ou agricole dans un aquifère profond sera précisée en fonction des ressources en eau. L'influence du pompage vis-à-vis des écoulements sera appréciée en vue de l'évaluation des expositions individuelles.

3.1.5. Géothermie et stockage de chaleur.

Cette situation n'est pas étudiée car les sites retenus ne devront pas présenter d'intérêt particulier de ce point de vue.

3.1.6. Autres situations d'intrusion envisageables pour un site salifère.

3.1.6.1. Création d'une cavité par dissolution interceptant le stockage.

La saumure extraite de la cavité est destinée à fournir du sel pour l'alimentation humaine. L'exposition individuelle due à l'ingestion sera évaluée.

Dans cette évaluation, on prendra notamment en considération le mode d'exploitation du sel, la géométrie de la cavité, l'architecture du stockage, les caractéristiques des déchets, l'état des colis au moment de l'intrusion, le taux et la nature des insolubles contenus dans la formation salifère.

A titre de variante, seront également examinées :

- la création d'une cavité par dissolution et l'utilisation du sel à des fins autres qu'alimentaires ;
- l'exploitation du sel par doublet à des fins alimentaires.

3.1.6.2. Cavité lessivée ayant intercepté le stockage et abandonnée.

La poche de saumure résultant du lessivage d'une cavité et subsistant à l'issue de l'exploitation peut être en communication avec l'aquifère supérieur du fait d'un mauvais scellement du puits d'exploitation. L'eau de cet

aquifère après pompage peut servir à l'alimentation humaine ou à des fins agricoles. Les conséquences des expositions individuelles seront évaluées en prenant en compte les voies de transfert eau de boisson et consommation des produits agricoles issus de cultures arrosées avec cette eau.

A titre de variante, seront examinées :

- la mise en communication d'aquifères supérieurs avec le stockage après l'abandon d'une exploitation du sel par doublet ;
- la mise en communication avec les aquifères supérieurs d'une mine à proximité du stockage par les puits d'exploitation de la mine mal scellés après exploitation.

3.2. Défaut d'une barrière

Par défaut d'une barrière, il faut comprendre défaillance par rapport au rôle attribué à cette barrière dans la situation de référence.

3.2.1. Barrière géologique.

L'origine du défaut est un aléa lié au niveau de connaissance du site, compte tenu des moyens d'investigation employés :

- site cristallin : on envisagera une zone de fracture importante, conductrice dans une zone proche du stockage et non détectée compte tenu des moyens mis en œuvre ;
- site argileux : au cas où les conditions de sédimentation permettent la formation de lentilles de sable, on envisagera la présence de telles lentilles non détectées, qui peut augmenter sensiblement la perméabilité ;
- site salifère : on envisagera la présence de poches de saumure proches du stockage et non détectées lors de la reconnaissance si leur absence ne peut être démontrée par ailleurs.

3.2.2. Barrières ouvragées.

Le défaut des barrières ouvragées peut avoir pour origine un défaut de conception du scellement d'un puits d'accès ou des galeries, ou le manque de respect de spécifications relatives aux matériaux ou à leur mise en place.

On étudiera les conséquences liées à la défaillance du scellement des puits d'accès et/ou des galeries.

Pour les sites sédimentaires, on pourra prendre en compte les effets de fluage permettant notamment une cicatrisation du stockage.

Enfin, l'importance des phénomènes de subsrosion qui peuvent se déclencher au toit du sel entre deux puits d'accès mal scellés sera évaluée.

3.2.3. Colis de déchets.

Pour une première évaluation, le cas d'un défaut de conditionnement de colis pourra être pris en compte au niveau de l'évaluation d'incertitude associée à la situation de référence.

3.3. Changements climatiques liés à l'activité humaine

Ce type de scénario (effet de serre) aura pour conséquence une remontée du niveau des mers, dont les effets seront étudiés dans le cadre de l'évaluation des conséquences liées aux changements climatiques d'origine naturelle (période interglaciaire).

IV. RÈGLES APPLICABLES
AUX ÉTUDES DE FONCTIONNEMENT

(Pour mémoire)

V. RÈGLES GÉNÉRALES CONCERNANT PLUSIEURS SYSTÈMES,
STRUCTURES OU ÉQUIPEMENTS

(Pour mémoire)