

Étude probabiliste de sûreté – Sûreté et cadre de réglementation

Présentation à la CCSN
Août 2017

V.G. Snell (Ph.D.)

Résumer le travail effectué dans le cadre du contrat de la CCSN 87055-16-0251 :

« Rôle de l'étude probabiliste de sûreté (EPS) dans le domaine de l'analyse de la sûreté et dans le cadre de réglementation »

La Commission canadienne de sûreté nucléaire souhaite retenir les services d'un entrepreneur pour effectuer un examen et produire un rapport qui servira à :

- 1) rassembler des informations sur le rôle réglementaire de l'EPS
- 2) documenter et fournir une discussion indépendante du rôle de l'EPS visant l'ensemble du site

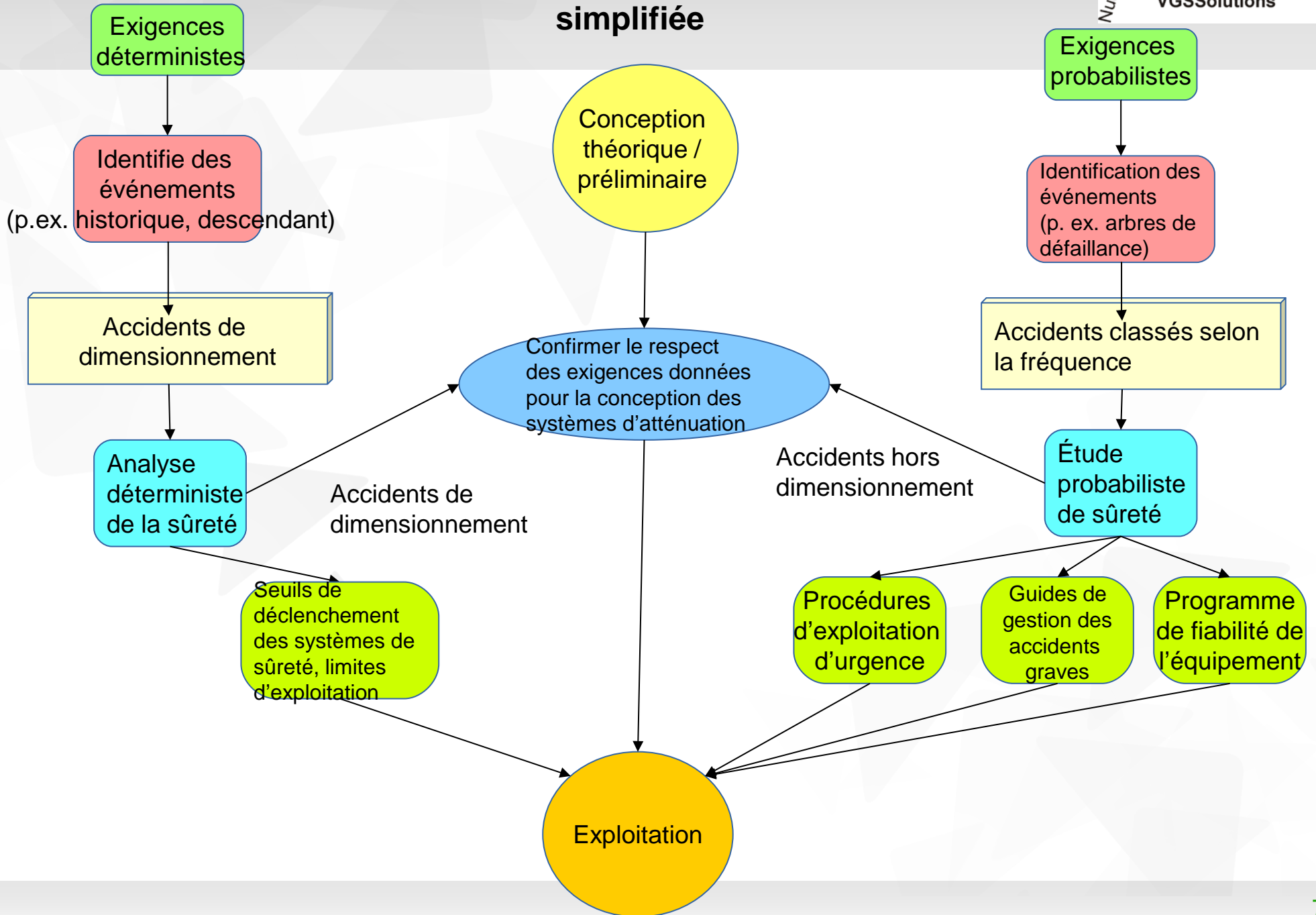
- ▼ Examen de pratiques réglementaires nationales et internationales sélectionnées pour l'analyse déterministe de la sûreté (ADS) et l'EPS
- ▼ Utilisation de l'expérience personnelle
- ▼ Analyse de l'information pour tirer des conclusions et formuler des recommandations
- ▼ Rapport écrit destiné au public : aucun document ni référence protégé
- ▼ Indépendant

L'analyse de la sûreté diffère de la sûreté

- ▼ La sûreté d'une centrale nucléaire dépend de nombreux facteurs :
 - ▼ Caractéristiques de conception fondamentales
 - ▼ Normes selon lesquelles l'équipement est conçu et fabriqué
 - ▼ Inspections en service
 - ▼ Compétences relatives à l'exploitation
 - ▼ Contrôle de la configuration
 - ▼ Culture de sûreté
 - ▼ Connaissances techniques du réacteur/responsable de la conception
 - ▼ Analyse de la sûreté – Une façon de tester la conception et le fonctionnement des systèmes d'atténuation ainsi que les interventions humaines dans les scénarios d'accident hypothétique

Sujet 1 – Rôle réglementaire de l'EPS

Analyse de la sûreté simplifiée



Analyse déterministe de la sûreté et accidents de dimensionnement

- ▼ Approche habituelle fondée sur l'expérience acquise avec les réacteurs de recherche (p. ex. accidents de criticité) + examen heuristique de « ce qui pourrait mal tourner » dans les réacteurs de puissance
- ▼ Choisir un plus petit ensemble avec des conséquences apparemment limitatives
- ▼ Utiliser des hypothèses pessimistes pour les analyser
- ▼ Utilisés dans la conception des systèmes d'atténuation → accidents de dimensionnement (AD)
- ▼ Prémisse : S'il est possible de démontrer par analyse qu'une centrale pourrait résister à des accidents apparemment limitatifs au moyen d'hypothèses pessimistes, alors elle pourrait résister à un plus grand nombre d'accidents ayant une plus grande probabilité de se produire.

Étude probabiliste de sûreté

- ▼ Répond à trois questions :
 - ▼ Qu'est-ce qui pourrait mal tourner?
 - ▼ Quelle est la probabilité que cela se produise?
 - ▼ Si cela se produit, quelles seront les conséquences?

- ▼ Étude américaine sur la sûreté des réacteurs (RSS) – 1975
 - ▼ Arbres de défaillance pour déterminer la fréquence des événements déclencheurs
 - ▼ Arbres des événements pour déterminer la fréquence de défaillance des systèmes d'atténuation et de confinement

Faits saillants de l'étude RSS

- ▼ Les accidents de dimensionnement les plus graves n'étaient pas nécessairement ceux qui dominaient les risques (grand versus petit accident de perte de réfrigérant primaire).
- ▼ Certaines *combinaisons* d'événements pourraient entraîner la fusion du cœur à des fréquences comparables aux AD.
- ▼ Les séquences de fusion du cœur étaient plus fréquentes que les estimations précédentes, mais avaient moins de conséquences.
- ▼ Les erreurs humaines sont un facteur majeur qui contribue aux accidents.

AD/ADS – Forces et faiblesses

Forces

- ▼ Réponse pessimiste → accidents « réels » moins graves
- ▼ Efforts d'analyse de la sûreté optimisés
- ▼ Peut s'appliquer tôt dans le processus de conception

Faiblesses

- ▼ Inutiles pour les décisions tenant compte du risque – la sélection d'événements peut être incohérente
- ▼ Trompeur pour les procédures de gestion des accidents
- ▼ Faire attention à ce qui est considéré comme prudent
- ▼ Difficile de déterminer les événements combinés ou consécutifs

EPS – Forces et faiblesses

Forces

- ▼ Fournit un risque comparatif → optimisation des ressources
- ▼ Très efficace tôt dans la conception
- ▼ Évalue l'équilibre entre les interventions automatiques et de l'opérateur
- ▼ Portes d'accès aux accidents hors dimensionnement (AHD), y compris les accidents graves
- ▼ Fondement des procédures d'exploitation d'urgence, des guides de gestion des accidents graves
- ▼ Cerne les effets de falaise

Faiblesses

- ▼ Ne prédit pas le risque absolu
- ▼ Caractéristiques des événements uniques très rares?
- ▼ Erreurs logicielles
- ▼ Défaillances de cause commune subtiles
- ▼ Structures et systèmes entièrement passifs
- ▼ Culture de sûreté
- ▼ Actes malveillants

EPS dans les décisions de nature opérationnelle

- ▼ Changements proposés à la conception
- ▼ Défectuosités de l'équipement lié à la sûreté
- ▼ Optimisation de l'entretien, des essais et des inspections
- ▼ Nouveaux problèmes

- ▼ **Les forces et les faiblesses de l'EPS et de l'ADS sont complémentaires – il faudrait utiliser les deux.**

- ▼ Existe depuis longtemps
- ▼ Accident du réacteur de recherche NRX – Il faut repenser complètement la philosophie des réacteurs de recherche.
 - ▼ Contrôler la fréquence des accidents graves pour respecter l'objectif de sûreté en limitant la fréquence de défaillance des systèmes fonctionnels et l'indisponibilité des systèmes de sûreté
- ▼ Douglas Point – fondement de l'analyse du risque
 - ▼ Faiblesse : traitement des défaillances ayant une cause commune
 - ▼ Mais a donné aux concepteurs et aux exploitants des outils précis pour mesurer la réussite – première mondiale

Autorisation des grands réacteurs CANDU



- ▼ Éloignement des techniques probabilistes
 - ▼ Défaillance unique/double, et plus tard C-6
 - ▼ Fiabilité requise des systèmes de sûreté → techniques d'EPS
- ▼ Matrices de conception en matière de sûreté
 - ▼ Utilisées par les concepteurs pour combler les faiblesses des ADS
 - ▼ EPS de portée limitée
 - ▼ Critères d'acceptation proposés par les concepteurs → *nombreux* changements
 - ▼ L'EPS est maintenant effectuée pour tous les CANDU

- ▼ Non mentionnée dans la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* ni dans le Règlement de catégorie I
- ▼ La CCSN a un grand pouvoir discrétionnaire.
- ▼ Précisée dans la série des REGDOC et de RD de la CCSN
 - ▼ REGDOC-2.4.2, *Analyse probabiliste de la sûreté – portée*
 - ▼ RD/GD-369, *Permis de construction d'une centrale nucléaire*, suppose que l'EPS est facultative (« devrait »)
 - ▼ REGDOC-2.5.2, *Conception*, utilise le verbe « doit »

Recommandation 1 : La prochaine révision du RD/GD-369 devrait tenir compte du REGDOC-2.5.2, c.-à-d. indiquer que l'EPS est une exigence pour obtenir un permis de construction.

Réacteurs non producteurs de puissance

- ▼ Publication du résumé de l'EPS du réacteur NRU
- ▼ Aucune autre publication trouvée pour d'autres réacteurs non producteurs de puissance, seulement des références
- ▼ La portée devrait être adaptée pour correspondre aux risques inhérents et à la complexité du réacteur non producteur de puissance.

Recommandation 2 : La CCSN devrait s'assurer qu'une EPS adéquate est réalisée au moment approprié pour les réacteurs non producteurs de puissance et qu'un résumé est mis à la disposition du public.

- ▼ Objectifs de sûreté numériques de la CCSN
 - ▼ Limites pour la fréquence des dommages au cœur, les petites émissions et les grandes émissions de matières radioactives
- ▼ Pour assurer la conformité, il faut une EPS.
- ▼ Les problèmes avec un critère réussite/échec – suppose *incorrectement* :
 - ▼ la précision de l'EPS
 - ▼ que le risque change abruptement lorsqu'on dépasse cette limite
 - ▼ que les centrales sont moins acceptables sur le plan de la sûreté que les nouvelles conceptions

Recommandation

Recommandation 3 : La CCSN devrait expliquer la signification de ses objectifs de sûreté d'une façon qui reconnaît les incertitudes inhérentes au risque acceptable et aux moyens utilisés pour le calculer.

Remarque : D'autres pays utilisent une fourchette d'acceptabilité.

L' EPS du côté des opérations – Prise en compte du risque

- ▼ Gestion de la configuration de la centrale pendant les arrêts
- ▼ Analyse des événements
- ▼ Optimisation de la protection contre la surpuissance neutronique
- ▼ Inspection en service qui tient compte du risque
- ▼ Demande de modification des intervalles d'essais/d'entretien
- ▼ Demande de modification des Lignes de conduite pour l'exploitation
- ▼ Reclassification des ruptures de gros tuyaux

Recommandation 4 : La CCSN devrait encourager l'industrie nucléaire à résumer publiquement l'utilisation faite de l'EPS dans les activités quotidiennes.

Comparaison des pratiques internationales – 1

	<i>Objectifs de sûreté numériques requis</i>	<i>EPS requis dans conception préalable au projet</i>	<i>EPS requis pour le permis de construction</i>	<i>EPS requis pour le permis d'exploitation</i>	<i>EPS requis pour le bilan périodique de sûreté</i>	<i>EPS utilisé dans les spécifications techniques, etc.</i>	<i>EPS utilisé pour produire des règlements tenant compte des risques</i>
Canada	√	<i>Examen de la conception des fournisseurs</i>	√	√	√	√	√
Royaume-Uni	√	√	√	√	√	√	√
États-Unis	Guide	<i>Homologation de la conception</i>	-	-	-	√	√
Finlande	√	-	√	√	√	√	√
Argentine	√	-	√	√	√	√	√
France	-	-	-	-	√	√	√
Allemagne	-	-	-	-	√	√	√

Comparaison des pratiques internationales – 2



- ▼ Enquête non exhaustive de tous les pays
- ▼ Tous les pays comparés utilisent l'EPS pour tenir compte du risque dans leur approche réglementaire.
- ▼ Les É.-U., la France et l'Allemagne ne donnent pas à l'EPS un rôle officiel dans la réglementation des centrales.
- ▼ L'EPS est utilisée dans la réglementation officielle au Canada, au R.-U., en Argentine et en Finlande.
- ▼ Le R.-U. met l'accent sur le processus d'EPS à l'étape de la conception avant même une demande de permis (c.-à-d. dans le cadre du système de gestion de projet).

Conclusion du sujet 1 : Le Canada suit généralement les meilleures pratiques mondiales dans sa façon d'utiliser l'EPS dans la réglementation.

Sujet 2 – EPS visant l'ensemble du site

- ▼ Les sites à tranches multiples posent clairement un défi.
 - ▼ Jusqu'à présent, les EPS reposent sur une seule tranche, avec un certain traitement incomplet des effets sur plusieurs tranches.
 - ▼ En Ontario, les centrales se partagent des portions des systèmes de sûreté (confinement, refroidissement d'urgence du cœur, alimentation d'urgence en eau et électricité).
- ▼ Multiplier le nombre d'EPS visant une seule tranche par le nombre de tranches pourrait être une grave erreur.
 - ▼ Multiplie le nombre d'EPS visant une seule tranche par le nombre de tranches pourrait être une grave erreur.
 - ▼ Sous-estime le risque parce qu'elle n'examine pas en profondeur tous les effets touchant plusieurs tranches
- ▼ Autres sources de matières radioactives – piscines de combustible utilisé

Enjeux généraux pour l'ensemble du site

- ▼ Effets hors site pouvant avoir des effets sur les événements sur le site de la centrale
- ▼ Interactions inattendues entre les composants de la centrale
- ▼ Interactions inattendues entre les tranches
- ▼ Conditions négatives inattendues sur le site (p. ex. rayonnement, débris, manque de communication, défaillance organisationnelle)
- ▼ Effets de falaise
- ▼ Temps de mission approprié pour les mesures d'atténuation et l'équipement
- ▼ Performance humaine dans les événements touchant plusieurs tranches
- ▼ La difficulté d'estimer la probabilité que de rares événements externes destructeurs se produisent mène à leur exclusion prématurée de l'examen.

L' EPS à tranches multiples Seabrook (1983)

- ▼ Malgré un partage limité, la fréquence des dommages au cœur (FDC) touchant les deux tranches était près de 10 % de la fréquence des dommages touchant une tranche.

Risque métrique	Valeur moyenne
FDC touchant une centrale à une seule tranche	$2,3 \times 10^{-4}$ /année-réacteur
FDC touchant une centrale à 2 tranches	
- Dommages au cœur d'un réacteur	$4,0 \times 10^{-4}$ /année-réacteur
- Dommages au cœur des 2 réacteurs	$3,2 \times 10^{-5}$ /année-réacteur
Total	$4,3 \times 10^{-4}$ /année-réacteur

Techniques visant les tranches multiples

- ▼ EPS pour l'ensemble du site
 - ▼ Mêmes forces et faiblesses que l'EPS pour une seule tranche
 - ▼ Rien n'empêche son utilisation.
 - ▼ EPS pilote pour l'ensemble du site lancée par l'industrie nucléaire canadienne
 - ▼ La USNRC a entamé une EPS de niveau 3 pour l'ensemble du site.
 - ▼ D'autres commencent ou ont commencé à le faire :
 - ▼ Europe : Méthodologies avancées d'évaluation de la sûreté : EPS élargie
 - ▼ Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) : échange d'information

Autres techniques qui ne sont pas des EPS

- ▼ Équipement d'atténuation en cas d'urgence (Canada)
- ▼ Stratégies d'adaptation diverses et souples (É.-U)
- ▼ Évaluation des menaces et des risques (industrie de la sécurité)
- ▼ Analyse de la séquence d'anomalies (tests de résistance) (AIEA)

Avantages d'une EPS visant l'ensemble du site

- ▼ Méthode systématique pour déterminer les vulnérabilités
- ▼ Exactitude des effets sur la santé
- ▼ Données physiques sur les mécanismes d'accident et les interdépendances
- ▼ Permet d'analyser l'efficacité des stratégies d'atténuation des risques

La qualité des résultats dépend des données.
Rôle continu des approches déterministes

Recommandations – 1

- ▼ **Recommandation 5 : En principe, l'EPS visant l'ensemble du site offre des renseignements que les méthodes déterministes ne peuvent fournir. Cela sera confirmé par l'EPS pilote visant l'ensemble du site effectuée par l'industrie nucléaire canadienne à la centrale de Pickering. Nous recommandons d'attendre les résultats de ce projet pilote avant d'inclure l'EPS visant l'ensemble du site dans le cadre de réglementation. Si les renseignements en valent la peine, alors il serait logique d'établir des exigences réglementaires à leur égard. Plus particulièrement, nous recommandons de ne pas nécessairement résoudre les débats concernant les objectifs de sûreté pour l'ensemble du site avant que le projet pilote soit terminé. Bien qu'il soit coutume d'établir les exigences avant de procéder aux analyses, nous sommes d'avis que pour une étude pilote, les résultats viendront éclairer les exigences quant à ce qui est acceptable et pour les incertitudes de la méthodologie.**

Recommandations – 2

Recommandation 6 : Puisque l'utilité d'une EPS visant l'ensemble du site dépend dans une large mesure de la qualité de la méthodologie, nous encourageons une interaction informelle au début du processus entre la CCSN et l'industrie nucléaire canadienne au sujet de la méthodologie proposée.

EPS visant plusieurs tranches

Conclusion du sujet 2 : À l'heure actuelle, le Canada est le chef de file mondial dans l'application possible d'une EPS visant l'ensemble du site grâce au projet pilote de l'industrie nucléaire canadienne en cours à la centrale de Pickering, en supposant que ce projet sera terminé dans des délais raisonnables.

Conclusions générales

- ▼ Les analyses probabilistes et déterministes de sûreté sont complémentaires et d'importance égale. Le Canada rejoint les pratiques exemplaires quant à son utilisation des EPS dans la réglementation.
- ▼ L'application d'une EPS visant l'ensemble du site est une extension de son utilité et fournira des renseignements précieux à l'égard de la sûreté des sites à plusieurs tranches.