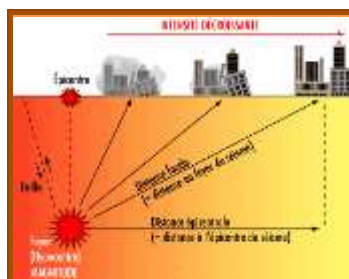




Mise en sécurité d'une installation sur sollicitation sismique



Mise en application de la section II
[Dispositions relatives aux règles parasismiques
applicables à certaines installations]
de l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié

DT 105
Mars 2014

Avant-Propos

A- Contexte

La réglementation française relative aux installations classées soumises à autorisation (selon l'arrêté du 10 mai 2000) prévoit des dispositions parasismiques particulières relatives aux équipements au sein de ces installations (arrêté du 24 janvier 2011 modifiant l'arrêté du 4 octobre 2010).

B- Objet du guide

Le Guide de Méthodologie Générale présente l'ensemble des dispositions parasismiques applicables à ces installations.

Le présent guide a pour objet de préciser les dispositions acceptables visant à mettre en sécurité tout ou partie d'une installation en utilisant l'information même de survenue d'un séisme afin de respecter les exigences réglementaires.

Le guide présente :

- la phénoménologie d'un séisme et l'instrumentation qui peut être mise en place,
- Le principe d'analyse et
- L'architecture, la qualification et la mise en œuvre de systèmes automatisés.

La possibilité d'actions manuelles est également traitée ; des annexes précisent les éléments techniques et traitent d'exemples.

La décision d'installer de tels équipements est du ressort et de la responsabilité de l'exploitant en fonction du résultat d'une étude de risques propre au site concerné.

Table des matières

Avant-propos	
A. Contexte	
B. Objet du guide	
1. Objet du guide, lien avec les autres guides, limites et recommandations	
1.1. Objet du guide	
1.2. Lien avec les autres guides	
1.3. Limites et recommandations	
2. Définitions, documents de références	
2.1. Définitions	
2.2. Documents de référence	
3. Phénoménologie, échelles de temps et stratégies de déclenchements possibles	
3.1. Phénoménologie	
3.2. Ordre de grandeurs des durées mises en jeu	
3.3. Stratégie de déclenchement	
3.3.1. Déclenchement sur mouvements forts	
3.3.2. Déclenchement différé sur mouvements forts	
3.3.3. Déclenchement anticipé sur seuil bas (dite stratégie « onde P »)	
3.4. Valeurs mesurées	
3.4.1. Accélération maximale instantanée	
3.4.2. Contenu fréquentiel des mouvements sismiques	
4. Choix de l'emplacement et du nombre de capteurs sismiques, définition de seuils de déclenchement ...	
4.1. Choix de l'emplacement et du nombre de capteurs sismiques	
4.1.1. Position des capteurs	
4.1.2. Nombre de capteurs	
4.2. Définition des seuils forfaitaires : approche forfaitaire	
4.3. Définition des seuils de déclenchement : approche optimisée	
4.4. Synthèses et exemples	
5. Principes	
5.1. Principes généraux	
5.2. Exemple illustratif	
5.3. Types d'actions envisageables	
5.3.1. Action sur l'inventaire	
5.3.2. Action sur d'autres facteurs de risque	
5.4. Actions opérateurs	
5.4.1. Principes paramètres	
5.4.2. Logique de mise en œuvre des actions manuelles	
6. Architecture et conception	
6.1. Généralités	
6.2. Sous-système capteur	
6.3. Sous-système logique	
6.4. Sous-système actionneur	
6.5. Intégration dans des architectures existantes	
6.6. Contraintes d'architecture	
6.7. Sécurité de fonctionnement	
6.7.1. Sécurité à manque	
6.7.2. Sécurité à émission	
6.7.3. Conception	
6.8. Temps de mission	

7.	Qualification des matériels mécaniques et électriques
7.1.	Généralités
7.2.	Les étapes de qualification
7.3.	Qualification par essais
7.4.	Qualification par analyse.....
7.5.	Limite des méthodes, retour d'expérience
8.	Mise en œuvre
8.1.	Conditions environnementales
8.2.	Maintenabilité
8.3.	Testabilité-.....
8.4.	Exploitation

Annexes

Annexe 1 -	Retour d'expérience de l'instrumentation sismique dans les centrales nucléaires
Annexe 2 -	Description des dispositifs et instrumentations disponibles.....
Annexe 3 -	Normes et documents de référence
Annexe 4 -	Contraintes d'architecture
Annexe 5 -	Études de cas.....

1 Objet du Guide, Lien avec les autres Guides, Limites et Recommandations

1.1 Objet du guide

Le Guide de Méthodologie Générale introduit la possibilité d'utiliser le mouvement sismique dans le but de maîtriser le potentiel de danger de tout ou partie d'une installation.

Le présent guide précise le cadre d'application de dispositifs de mise en sécurité automatisés ou manuels d'une installation sur sollicitation sismique. Après un rappel des phénomènes sismiques (Chapitre 3), et la façon de les détecter (capteurs, grandeurs mesurées, Chapitre 4), il donne la logique de recours à une telle approche et les principes de mise en œuvre (Chapitre 5). Sont ensuite abordées l'architecture et les bases de conception recommandées (Chapitre 6), la qualification (Chapitre 7) et la mise en œuvre (Chapitre 8). Ces six chapitres montrent comment atteindre les objectifs réglementaires aux stades de la conception, de la réalisation, des tests de mise en service et dans la durée de l'exploitation des installations.

Le guide est accompagné d'annexes relatives au retour d'expérience, à la description des dispositifs et instrumentations disponibles, aux normes applicables, aux architectures, enfin à une étude de cas réel à caractère pédagogique.

1.2 Lien avec les autres guides

Le présent guide se fonde sur la méthodologie générale développée pour répondre aux exigences de la réglementation (cf. Guide de Méthodologie Générale). Il est indépendant des autres guides principalement orientés sur la démonstration des performances de tenue aux séismes des ouvrages et équipements. A noter cependant que le présent guide se fonde sur la qualification des équipements présentée dans ces autres guides, hormis la chaîne de mesure sismique et la logique d'action traitées ici.

1.3 Limites et recommandations

L'un des objectifs de ce guide étant de répondre aux exigences de l'arrêté par **des dispositifs actifs** de limitation des conséquences, l'attention des industriels est attirée sur **l'importance des aspects de qualification et de suivi en service** des performances.

Lors de la conception et de la mise en œuvre un soin particulier doit être apporté à l'environnement de la chaîne de détecteurs et d'actionneurs, aux sources d'alimentation afin d'**éviter toutes interactions** avec des matériels/équipements et structures voisins non dimensionnés aux séismes et qui pourraient nuire à la disponibilité des systèmes de mise en sécurité automatisés ou manuels.

S'agissant des systèmes actifs, une réflexion particulière doit porter sur le **déclenchement intempestif** et l'éventualité d'effets adverses dont les conséquences pourraient être acceptables lors d'importants séismes mais ne le seraient pas lors de déclenchements inopinés en fonctionnement normal. A ce titre toutes les situations de fonctionnement doivent être analysées.

Ce document technique ne doit pas être considéré comme exhaustif. Établi de bonne foi, il doit être utilisé comme un guide qui **devra** - dans chaque cas particulier - **être complété ou adapté et vérifié**.

L'Union des Industries Chimiques (UIC) et l'Association Française de génie Parasismique (AFPS) n'acceptent pas de responsabilité dans l'usage qui sera fait de ce document.

Il reflète l'état des connaissances scientifiques et techniques au moment où il a été écrit.

Dans ce guide, les accélérations sont en général exprimées en fraction de l'accélération de la pesanteur "g". Le lecteur devra faire la conversion chaque fois que nécessaire :
 $g \approx 10 \text{ m/s}^2$; $0,01g \approx 0,1 \text{ m/s}^2$.

2 Définitions, documents de référence

2.1 Définitions

Les définitions génériques propres à l'ensemble des guides sont issues du Guide de Méthodologie Générale, on reprend ci-dessous uniquement la signification des acronymes utilisés dans le présent guide :

Équipement à Risque Spécial (ERS) : équipement qui génère de façon directe, en cas de séisme, un scénario menant au phénomène dangereux dont les conséquences relèvent du risque spécial défini par l'arrêté.

Ouvrage Agresseur Potentiel (OAP) : ouvrage ou équipement pouvant être source d'agressions physiques externes (d'énergie cinétique suffisante) d'un ERS ou d'une BPAP (ex : chute d'une cheminée induisant l'endommagement d'un réservoir). L'OAP ne fait pas obligatoirement partie d'une installation classée.

Barrière de Prévention, d'Atténuation d'effets ou de Protection (BPAP) : ouvrage ou équipement dont la perte de fonctionnalité induirait, de façon indirecte, un phénomène dangereux conduisant à des effets létaux sur des zones à occupation humaine permanente (ex : utilité indispensable, dégâts dans la salle de commande ou blessures des opérateurs d'un ERS empêchant la mise en œuvre des procédures de sécurité, perte des moyens d'intervention ou d'extinction). La BPAP ne fait pas obligatoirement partie d'une installation classée.

Capteur¹ : dispositif ou combinaison des dispositifs, qui mesurent l'état du processus (par exemple, transmetteurs, transducteurs, contacteurs de processus, contacteurs de position).

Par extension, ensemble de dispositifs transcrivant un phénomène physique en un signal électrique y compris l'élément primaire de mesure, l'électronique de traitement du signal, l'alimentation.

Logique : fonction assurant la transformation d'information(s) d'entrée en information(s) de sortie, commandant ainsi le processus.

Actionneur² : mécanisme de puissance animant une machine, par exemple moteur électrique faisant tourner une pompe, vérin pneumatique commandant une vanne.

Temps de mission : le temps de mission représente - pour un dispositif - le laps de temps maximum entre la sollicitation de ce dispositif par un événement et l'accomplissement de la fonction attribuée à ce dispositif.

2.2 Documents de référence

- Guide de Méthodologie Générale
- DT 93 Guide méthodologique pour la gestion et la maîtrise du vieillissement des mesures de maîtrise des risques instrumentées (MMRI) et décision du 2 août 2011 du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement reconnaissant le DT 93 comme guide professionnel
 - <http://www.uic.fr/Activites/Sante-securite-environnement/Plan-de-modernisation>
<http://www.cdpd.org/sites/cdpd.groupe-sigma.com/files/publication/plan%20de%20modernisation/DT-93-Guide-mmri.pdf>
- Cahier Technique #30 AFPS Guide méthodologique pour la conception, l'installation et le diagnostic des équipements en zone sismique : b
http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/afps_ct30_guide_equipements_methodologie_generale.pdf

¹ cf. Norme pour les équipements de sécurité NF EN 61511. Cette norme peut, selon les applications, être utilisée comme code ou bonnes pratiques ou être d'application obligatoire retenue par l'exploitant"(voir §5, 6, 7)

² idem

3 Phénoménologie, échelles de temps et stratégies de déclenchements possibles

3.1 Phénoménologie

Lors d'un séisme, l'énergie libérée va se propager sous forme d'ondes élastiques. Ce sont essentiellement ces ondes qui vont provoquer les mouvements de sols en surface.

Il existe plusieurs types d'ondes :

- les ondes de volume qui peuvent se propager dans l'ensemble du volume terrestre,
- les ondes de surface, qui sont des ondes guidées par la surface de la terre, et qui se forme par conversion d'énergie depuis les ondes de volumes.

Dans la catégorie des ondes de volume, on distingue d'une part les ondes de compression (ou onde P) qui engendrent un mouvement parallèle à la direction de propagation de l'onde, et d'autre part les ondes de cisaillement (ou onde S) qui engendrent un mouvement perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. Il existe également différentes ondes de surface, mais il ne semble pas nécessaire de détailler ces dernières dans le présent guide.

Les ondes de volume sont plus rapides que les ondes de surface. De même les ondes P sont plus rapides que les ondes S. En un site donné, ce sont d'abord les ondes P qui seront ressenties (c'est d'ailleurs cette propriété qui a « baptisé » ces ondes, le « P » correspondant à « Primaire »), puis les ondes S (le « S » correspondant à secondaire), et finalement les ondes de surface.

Par ailleurs, les vitesses de propagation des ondes de volume diminuant progressivement à mesure qu'elles se rapprochent de la surface (par suite de la décompression progressives des formations géologiques et de leur altération), les phénomènes de réfraction impliquent un « redressement » des directions de propagation. De ce fait, les ondes de volume arrivent en surface avec un angle d'incidence pratiquement perpendiculaire à la surface (« incidence verticale ») ou tout au moins proche de cette verticale.

Compte tenu de leur nature décrite plus haut, les ondes P engendreront donc essentiellement un mouvement vertical, les ondes S un mouvement horizontal (cf. figure 1 – Propagation des ondes du foyer au site d'étude). Ajoutant à cette caractéristique le fait que l'amplitude des ondes P est en général plus faible que celle des ondes S, on constate que les ondes P sont moins nocives pour les bâtiments que les ondes S.

Le fait que les ondes P (moins nocives) arrivent avant les ondes S (présentant le potentiel destructeur le plus fort) pourra être exploité, dans certains cas, dans le cadre des stratégies de mise en sécurité (cf. figure 2 – Mouvement sismique enregistré sur site).

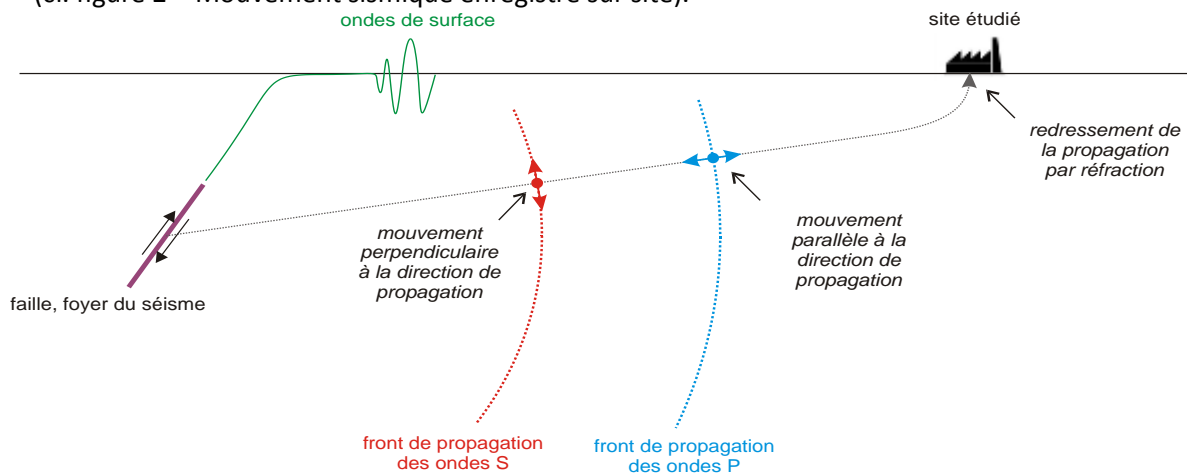


Figure 1 – Propagation des ondes du foyer au site d'étude

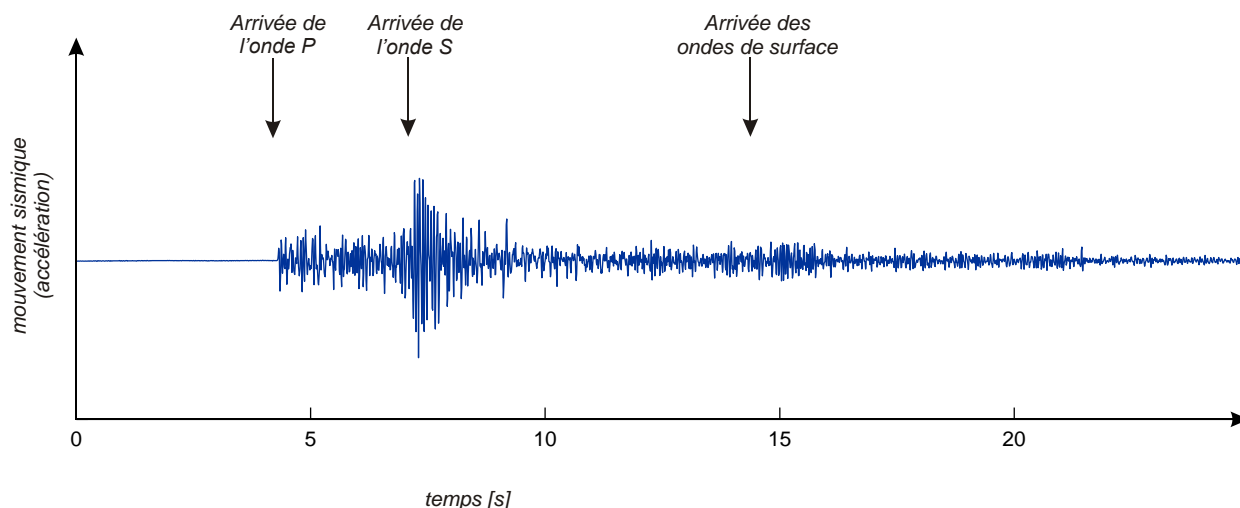


Figure 2 – Mouvement sismique enregistré sur site (exemple)

3.2 Ordre de grandeurs des durées mises en jeu

En zone de sismicité 1 à 4 et, dans l'hypothèse d'une source proche, en zone de sismicité 5, les séismes à considérer dans la cadre de la protection contre le risque sismique sont de magnitude modérée à moyenne. De tels séismes peuvent avoir des effets destructeurs dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres au maximum autour de la zone épacentrale.

Afin de fixer les ordres de grandeur, le temps nécessaire à l'onde P pour parcourir 35 km sera de l'ordre de 7 secondes, le temps nécessaire à l'onde S pour parcourir cette même distance sera de l'ordre de 10 secondes. La différence de temps d'arrivée entre onde P et S est donc de l'ordre de 3 secondes dans cet exemple.

Pour une distance de 5 km, la durée de parcours de l'onde P est de l'ordre de 1 seconde, celle de l'onde S de 1,5 seconde, la différence de temps d'arrivée entre ces deux ondes est donc de l'ordre de 0,5 seconde.

On constate donc que ces différents ordres de grandeur correspondent à des durées courtes qu'il s'agira de mettre en perspective avec les durées nécessaires à la mise en sécurité des composants visés par le présent guide.

Dans les zones de sismicité 5, on peut envisager des séismes de subduction présentant des magnitudes supérieures qui sont susceptibles de créer des dégâts à plus grande distance de la zone épacentrale. Les ordres de grandeur donnés plus haut sont donc à adapter en fonction de la distance considérée (jusqu'à 80 km).

3.3 Stratégie de déclenchement

En fonction des délais dont on dispose pour mettre l'installation étudiée en sécurité, différentes stratégies de déclenchements sont envisageables.

3.3.1 *Déclenchement sur mouvements forts*

La première stratégie présentée consiste à déclencher la mise en sécurité lorsque le mouvement sismique mesuré, au niveau du ou des capteur(s) sismique(s), est déjà fort et atteint des amplitudes susceptibles d'impliquer des accélérations proches ou dépassant le seuil de mise en sécurité du composant considéré, défini plus haut. Cette approche consiste donc à déclencher lorsque les ondes les plus nocives (« ondes S ») agressent déjà le site considéré.

Cette approche ne permet pas de dégager de durée d'anticipation. Son choix implique que l'action de mise en sécurité puisse s'effectuer alors même que l'installation subit, ou a subi, les sollicitations sismiques les plus fortes.

Elle implique également que les éventuels effets (relâchement de polluants par exemple) qui pourraient advenir entre le début de la sollicitation sismique et l'achèvement de l'action de mise en sécurité soient acceptables.

Cette approche présente toutefois l'avantage d'utiliser des seuils de déclenchement relativement haut, ce qui permet de limiter les risques de faux déclenchements du système de mise en sécurité.

3.3.2 *Déclenchement différé sur mouvements forts*

Cette seconde stratégie est une variante de la stratégie précédente. Le déclenchement se fait également sur les phases les plus fortes du mouvement sismique, mais elle n'implique pas directement la mise en sécurité. En revanche, elle initie une temporisation (d'une durée à définir) qui impliquera une mise en position de sécurité différée si un opérateur n'annule pas l'ordre de mise en sécurité au cours de la durée de temporisation.

Cette stratégie est celle qui est la plus appropriée pour éviter les risques de faux déclenchements. Toutefois, c'est également celle qui maximise la durée entre la survenue des mouvements les plus forts et l'achèvement de la procédure de mise en sécurité. Elle implique donc que les éventuels effets (relâchement de polluants par exemple) qui pourraient advenir entre le début de la sollicitation sismique et l'achèvement de l'action de mise en sécurité soient acceptables. C'est justement l'évaluation de ces conséquences qui permet de définir au mieux la durée de la temporisation.

Entre dans cette catégorie les actions initiées par l'opérateur.

3.3.3 *Déclenchement anticipé sur seuil bas (dite stratégie « onde P »)*

La troisième stratégie de déclenchement consiste à valoriser le délai d'arrivée entre onde P et onde S. On met ici à profit le fait que l'amplitude des ondes P est moindre que celle des ondes S et que les ondes S ont un potentiel destructeur plus important de par leur orientation. On cherche alors à déclencher l'action de mise en sécurité en configurant un seuil en accélération relativement bas, correspondant à une fraction du seuil en accélération au-delà duquel on souhaite que l'action de mise en sécurité ait été initiée.

Cette approche présente l'avantage de donner un délai de réaction entre le déclenchement de la mise en sécurité et l'arrivée des ondes les plus nocives. Le gain reste faible et ne présente dès lors d'avantage que pour les actions de mise en sécurité très rapide (< 1 s) ou bien les actions de mise en sécurité qu'il est a minima nécessaire d'initier avant l'arrivée des ondes les plus nocives (même si l'action n'est pas totalement achevée à l'arrivée des ondes S).

Le principal inconvénient de cette stratégie réside dans un taux de faux déclenchements supérieur aux autres stratégies, inhérent au choix d'un seuil plus bas. Par ailleurs, il convient de préciser que même si statistiquement ce risque est faible, pour certaine occurrence de séisme proche, avec des effets de source complexes, l'onde P peut déjà présenter une forte amplitude, donc une nocivité certaine. Il est aussi à noter que même si l'onde P présente des amplitudes plus faibles que les ondes S, l'installation est déjà soumise à des sollicitations sismiques entre l'arrivée de l'onde P et l'arrivée de l'onde S.

3.3.4 *Déclenchement anticipé par instrumentation déportée*

Une dernière stratégie de déclenchement est citée ici **pour mémoire**. Elle semble en effet relativement peu adaptée au contexte français. Il s'agit ici de placer l'instrumentation sismique au plus près de la source sismique potentielle. On cherche alors à détecter les mouvements sismiques le plus tôt possible, avant que les ondes n'aient atteint le site que l'on souhaite protéger.

Si cette stratégie présente l'avantage de dégager les durées de réaction les plus longues, elle présente cependant un certain nombre d'inconvénients :

- elle nécessite de placer une instrumentation à l'extérieur de l'ICPE concernée,
- elle engendre la nécessité d'entretenir et de démontrer fiabilité et disponibilité des systèmes de transmission de l'information entre les détecteurs « déportés » et l'ICPE concernée,

- elle est valide dans la mesure où la source de l'aléa sismique est bien connue et localisée afin d'identifier la zone à instrumenter.

On notera par ailleurs qu'au vu des ordres de grandeur de durée communiqués plus haut, cette stratégie semble peu pertinente en France métropolitaine car les gains de temps potentiels sont faibles.

3.4 Valeurs mesurées

3.4.1. Accélération maximale instantanée

Les études de génie parasismique peuvent faire appel à différents indicateurs de nocivité, plus ou moins complexes. L'un des paramètres les plus couramment utilisés est le spectre de réponse exprimé en accélération qui produit une valeur d'accélération spectrale pour différentes fréquences.

Dans le cadre d'une action de mise en sécurité automatique, il est toutefois difficile et peu fiable de vouloir évaluer des indicateurs complexes en temps réel. Il semble plus opportun d'analyser directement l'accélération du sol instantanément ressentie.

Il convient donc de formuler l'ensemble des termes décrits dans le présent guide en valeur d'accélération maximale instantanée (en « champ libre », cette accélération maximale instantanée correspond à la notion de « Peak Ground Acceleration » ou PGA, cette notion correspond également, si l'on s'exprime en spectre de réponse, au « Zero Period Acceleration » ou ZPA).

3.4.2. Contenu fréquentiel des mouvements sismiques

La bande de fréquences typique des mouvements sismiques présentant une certaine nocivité pour le génie civil et les équipements est comprise entre 0,1 Hz et 35 Hz.

Les capteurs utilisés (accéléromètres : voir annexe 2) permettent, selon la configuration, de filtrer le signal reçu dans une bande de fréquences qui permet de rejeter certains mouvements parasites. Cette bande de fréquences de filtrage des mouvements accélérométriques peut être plus réduite que celle mentionnée plus haut (relative à la bande de fréquences présentant une certaine nocivité pour les installations) ; néanmoins, il ne faudra pas choisir un filtrage excessif : des informations plus précises sont données en annexe 2.

Toutefois, même filtré, ce signal présente un contenu en fréquences élevé. Pour une fréquence dominante de 10 Hz, le signal passera d'un maximum (valeur positive) à un minimum (valeur négative) en 0,05 s.

Cette caractéristique importante est à prendre en considération dans la conception du système de traitement des données. On conseillera le cas échéant d'utiliser des unités d'analyse du signal adaptées, convertissant le signal accélérométrique complexe dans un signal continu « tout ou rien » (ou relai de type contact sec) en cas de dépassement du seuil retenu.

4 Choix de l'emplacement et du nombre de capteurs sismiques, définition des seuils de déclenchement

Le choix de l'emplacement pour installer les capteurs sismiques (accéléromètres) et la définition du seuil de déclenchement de la mise en sécurité ne sont pas indépendants.

Notons que i/ le composant susceptible d'être défaillant en cas de séisme (par exemple un réservoir), ii/ l'actionneur qui permettra de mettre en position de sécurité l'installation (par exemple une vanne) et iii/ le ou les capteurs sismiques ne se trouvent pas nécessairement au même endroit.

Un composant donné (une vanne, un four...) est généralement placé dans un bâtiment ou sur une structure. Or, ces derniers sont susceptibles de modifier le mouvement sismique qui serait enregistré « en champ libre » (c'est-à-dire à la surface du sol, sans aucune perturbation de bâtiments). D'une part, l'interaction sol-structure (effet du bâtiment sur le sol) modifie les mouvements sismiques, d'autre part, la manière dont le bâtiment, la structure, va réagir face aux sollicitations sismiques modifie également les mouvements sismiques (typiquement, les étages élevés d'un immeuble sont soumis à des mouvements sismiques amplifiés par rapports aux étages inférieurs).

Selon l'emplacement qui sera choisi pour placer les capteurs sismiques, ces modifications du mouvement devront être prises en compte.

Nous commencerons par présenter les solutions possibles pour l'emplacement des capteurs sismiques, puis nous présenterons la méthodologie proposée pour définir les seuils de déclenchement.

4.1 Choix de l'emplacement et du nombre de capteurs sismiques

4.1.1 *Position des capteurs*

Différentes solutions sont possibles pour positionner les capteurs sismiques. Trois solutions principales se dégagent :

- En champ libre, c'est-à-dire à l'extérieur des bâtiments et structures (ou éventuellement dans des petits bâtiments sans étages et de petite emprise au sol) et à une distance qui permet de s'affranchir de l'effet de ces derniers sur le sol (typiquement, à une distance de 2 fois la hauteur des bâtiments considérés). Lorsque les sites en champ libre sont bien choisis, cette solution présente l'avantage de minimiser les risques de faux-déclenchement dus aux perturbations anthropiques. Une installation unique (le cas échéant mettant en œuvre plusieurs accéléromètres pour permettre une logique de déclenchement en 2 sur 3 par exemple³) peut être mutualisée pour l'ensemble des actions de mise en sécurité de l'installation. En revanche, elle nécessite une mise en œuvre plus contraignante (site à l'extérieur des bâtiments, longueur de câblage...) et implique de prendre en compte les effets de l'interaction sol-structure et des bâtiments eux-mêmes.
- Installation des accéléromètres dans les parties basses de l'installation (radier, dalle du niveau en contact direct avec les formations géologiques...). Cette solution est un bon compromis entre facilité de mise en œuvre (intérieur du bâtiment) et réduction des risques faux déclenchements. Une telle approche permet également la mutualisation de l'instrumentation pour toutes les actions de mise en sécurité d'un même bâtiment ou structures mais nécessite toutefois, le cas échéant, la prise en compte du comportement des structures ou des bâtiments.
- Installation des accéléromètres au plus près du composant visé par l'action de mise en sécurité. Cette approche permet de s'affranchir de la prise en compte des effets d'interactions sol-structure et du comportement des structures et bâtiments. Par contre elle présente le risque de faux

³ Une telle logique permet d'augmenter la disponibilité en ne déclenchant pas au premier franchissement constaté

déclenchements (zone bruitée, mouvements parasites amplifiés par les structures) et ne permet pas la mutualisation de l'instrumentation pour plusieurs composants.

4.1.2 Nombre de capteurs

Afin d'augmenter la disponibilité du dispositif de détection tout en limitant le risque de déclenchement intempestif, il est conseillé d'utiliser plusieurs capteurs sismiques, installés dans des endroits différents, permettant un déclenchement de la mise en sécurité selon une « logique » donnée (2 sur 2, 2 sur 3,...). En effet, cette approche permet, selon les cas, de préserver la fonction de déclenchement de la mise en sécurité même en cas de panne d'un capteur (diagnostiquée ou non) et également d'éviter une mise en sécurité intempestive si l'un des capteurs est affecté par une accélération purement locale (n'affectant pas les autres capteurs) due à une cause autre qu'un séisme (cf. Chapitre 6 et annexe 4).

De la même manière, les capteurs utilisés (accéléromètres : voir description en annexe 2) peuvent être soit « uni-axiaux » (mesure du mouvement dans une seule direction de l'espace) ou triaxiaux (mesures du mouvement dans les trois directions de l'espace). Il est conseillé d'utiliser des accéléromètres triaxiaux (encore appelés « trois composantes »), notamment dans le cadre d'un positionnement des capteurs en champ libre ou « au radier ». Dans le cas de l'utilisation d'un accéléromètre uni-axial, le choix de l'orientation du capteur devra être motivé. On considère qu'un accéléromètre triaxial a dépassé le seuil retenu dès lors que l'une des trois composantes a dépassé ce seuil. En ce sens, la logique dite « 2 sur 3 » (par exemple) s'entend comme « deux *accéléromètres* sur trois » (ayant chacun déclenché sur au moins une composante) et non pas « deux *composantes* sur trois ».

4.2 Définition des seuils de déclenchement : Approche forfaitaire

On appellera le *seuil de déclenchement* (S_D) le seuil au-delà duquel l'action de mise en sécurité est déclenchée à partir de mesures en temps réel des mouvements du sol.

Dans le cadre d'une approche forfaitaire, permettant de simplifier les études nécessaires, on propose d'adopter les valeurs suivantes comme *seuil de déclenchement* en fonction de l'emplacement choisi pour les capteurs sismique et la stratégie de déclenchement (cf. supra) adoptée :

- capteurs sismique en champ libre ou au radier de l'installation : 0,01 g⁴ ;
- capteur à proximité immédiate du composant susceptible d'être défaillant en cas de séisme : 0,05 g

Le ratio entre ces seuils intègre de manière forfaitaire l'amplification possible due au comportement des structures et bâtiments.

⁴ La valeur de 0,01 g correspond au seuil au-delà duquel un séisme est généralement considéré comme « significatif ». Cette valeur est notamment prise en compte dans le cadre de la réglementation nucléaire (Règle Fondamentale de Sûreté I.3.b dite « Instrumentation sismique ») comme seuil de déclenchement des enregistrements (cf. Annexe 1). Cette valeur ne conduit qu'à de très exceptionnels dépassements sur le territoire métropolitain.

En première analyse, la valeur de 0,01g pourrait paraître faible et trop conservatrice. D'après de récentes études probabilistes et sur le territoire métropolitain, l'occurrence d'accélération dépassant 0,01 g reste toutefois rare. Les périodes de retour de telles accélérations sont de plusieurs dizaines d'années, mêmes dans les zones de sismicité moyenne au sens du zonage. De telles occurrences sont conformes au retour d'expérience, tant des centrales EdF (cf. Annexe 1) que du réseau accélérométrique permanent français (RAP). Quant aux risques de faux déclenchements dus à l'activité anthropique, le filtrage en fréquence des signaux d'entrée, de même que la mise en place d'une stratégie de logique de décision "en 2 sur 3" permettra d'y pallier.

Enfin, nous rappelons que le présent guide propose une stratégie dite "optimisée" qui permet à un exploitant de retenir un seuil plus élevé par le biais d'une démonstration quantifiée.

Cette approche forfaitaire ne s'applique que pour une stratégie de déclenchement sur mouvements forts ou de déclenchement différé sur mouvements forts (cf. § 3.3.1 & 3.3.2).

4.3 Définition des seuils de déclenchement : approche optimisée

Dans le cas où les valeurs de seuils proposées dans le cadre de l'approche forfaitaire sont considérées comme trop bas compte tenu des implications qu'engendreraient de faux déclenchements, une approche dite « optimisée » peut être mise en œuvre.

Dans le cadre de cette approche, on appellera *Accélération nécessaire à la mise en Sécurité* (A_S) la valeur d'accélération - au niveau où est situé le composant dans l'installation - au-delà duquel il est jugé nécessaire de mettre en place un système de mise en sécurité automatisé. Cette valeur peut être déterminée par différentes méthodes commentées dans le Guide de Méthodologie Générale.

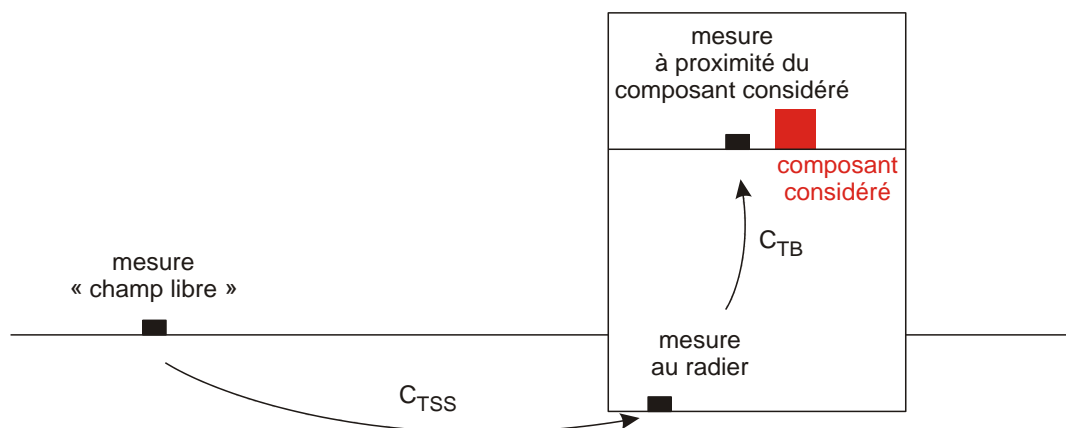
L'accélération nécessaire à la mise en sécurité dépend uniquement de la robustesse du composant considéré et non pas de la zone sismique ciblée.

Il est évident que si l'accélération trouvée pour la mise en sécurité est supérieure à l'exigence réglementaire (tous effets pris en compte notamment les amplifications de spectre dues au positionnement du composant dans l'installation) alors aucune action n'est nécessaire.

Plusieurs valeurs différentes peuvent être définies au sein d'une même installation si plusieurs actions de mise en sécurité sont envisagées et correspondent à des composants de robustesses différentes.

Afin de procéder au calcul, on définit les coefficients suivants :

- C_{TSS} : le Coefficient de Transfert lié à l'interaction Sol-Structure (ratio entre l'accélération ressentie en champ libre et l'accélération ressentie au radier de l'installation),
- C_{TB} : le Coefficient de Transfert lié au Bâtiment ou à la structure (ratio entre l'accélération ressentie au radier de l'installation et l'accélération ressentie au niveau du composant considéré) : (voir dans le Guide de Méthodologie Générale la notion de « Transfert de spectres »),
- F_S : Facteur lié à la Stratégie de déclenchement utilisée. Selon la stratégie de déclenchement (voir § 3.3 ci-dessus) qui sera choisie, notamment en cas de déclenchement sur « onde P », les seuils seront définis en introduisant un facteur complémentaire lié à la stratégie retenue. $F_S = 10$ dans le cadre d'une stratégie « onde P » (cette valeur correspond à une valeur majorée et conservative du rapport d'amplitude attendue entre ondes S et ondes P), $F_S = 1$ dans les autres cas.



Dans le cas général d'accéléromètres placés en **champ libre**, le *seuil de déclenchement*, S_D , est défini comme suit :

$$S_D = A_S / (C_{TSS} * C_{TB} * F_S).$$

Il est à noter que, notamment par suite d'effets d'amplification avec la hauteur des bâtiments (coefficient C_{TB}), le produit ($C_{TSS} * C_{TB} * F_s$) peut conduire à un rapport de plusieurs unités entre A_s et S_D .

Si l'on choisit de placer l'accéléromètre dans les parties les plus basses de l'installation (**radier**, ou dalle du sous-sol en contact direct avec le milieu géologique) le calcul s'affranchit des interactions sol-structure et devient :

- $S_D = A_s / (C_{TB} * F_s)$.

Si l'on choisit de placer l'accéléromètre à proximité immédiate du composant considéré pour la mise en sécurité, la relation simplifiée est la suivante :

- $S_D = A_s / F_s$.

Dans le cadre de ces calculs, il conviendra également de considérer l'erreur de mesure intrinsèque aux capteurs sismiques et éventuellement celle due à la réduction de la bande passante. Cette erreur devra être prise en compte par l'application de marges suffisantes.

4.4 **Synthèse et exemples**

Le choix de la stratégie qui sera retenue (définition du seuil, nombre et emplacement des capteurs, déclenchement sur mouvements forts – anticipé ou différé) dépendra de différents points :

- la disponibilité d'études sur le comportement dynamique des bâtiments et structures, sur l'interaction sol-structure, sur le comportement des composants impliquant la nécessité d'action de mise en sécurité,
- la durée nécessaire à la mise en sécurité,
- l'existence de plusieurs actions de mise en sécurité sur un même site (mutualisation de l'instrumentation sismique),
- les conséquences sur l'exploitation de l'installation (voire sa sécurité) en cas de déclenchement intempestif du système...

On donne ci-après quelques exemples.

Exemple 1

Les déclenchements intempestifs n'ont pas d'influence notoire sur l'exploitation de l'installation. L'action de mise en sécurité est rapide et peut être exécutée en moins d'une seconde (exemple : coupure électrique, vanne pour une canalisation de petit diamètre...). Le calcul de la tenue du bâtiment a été réalisé par des approches dynamiques approfondies : des spectres transférés sont disponibles, l'interaction sol-structure a été calculée. Les coefficients C_{TB} (Coefficient de Transfert lié au Bâtiment) et C_{TSS} (Coefficient de Transfert lié à l'interaction Sol-Structure) sont respectivement de 3,5 et 0,8. La tenue des composants a été calculée et montre que ces derniers sont robustes jusqu'à une accélération de 0,8 g. Plusieurs composants et actionneurs entrent dans la stratégie de mise en sécurité (intérêt à la mutualisation du système).

On choisit de positionner 3 capteurs en champ libre, suivant une logique « 2 sur 3 » pour améliorer la disponibilité de la partie mesure et permettant de mutualiser l'instrumentation pour l'ensemble des composants et actionneurs. On choisit une stratégie de déclenchement anticipée sur onde P. Le seuil est défini comme suit :

- $S_D = A_s / (C_{TSS} * C_{TB} * F_s) = 0,8g / (3,5 * 0,8 * 10) = 0,029 g$
arrondi par défaut à 0.025 g pour dégager une marge.

On notera dans cet exemple que pour certaines configurations zone sismique / classe de sol, la mise en place de l'instrumentation n'est pas nécessaire.

Exemple : zone de sismicité 2, pour une installation existante et une classe de sol B (exprimé en g) :

$$a_g * S = 0.13g * 1.35 = 0.18 g,$$

ce qui est inférieur à la tenue du composant ramenée au champ libre $[0,8/(3.5*0.8) = 0.29 g]$.

Exemple 2

La tenue du bâtiment et des structures est démontrée par des études simples ne permettant pas d'accéder aux spectres transférés. Un seul composant nécessite une action de mise en sécurité. L'exploitant ne dispose pas d'étude sur la tenue du composant lui-même. On choisit ici l'approche forfaitaire en plaçant le capteur (ou l'ensemble des capteurs dans le cadre d'une logique en « 2 sur 3 » pour améliorer la disponibilité de la partie mesure) à proximité du composant à protéger. Le seuil est alors calé à 0,05 g. (On aurait également pu choisir un emplacement au radier ou en champ libre avec un seuil calé à 0,01 g).

Exemple 3

Ici, les déclenchements intempestifs sont particulièrement dommageables pour l'exploitation. Par contre, l'action de mise en sécurité peut être différée d'au moins 10 min car les quantités de polluant qui seraient relâchées dans ce laps de temps restent tolérables (mais pas au-delà). L'exploitant dispose de l'ensemble des études permettant d'optimiser la stratégie de déclenchement et de positionner en champ libre selon une logique en « 2 sur 3 ». Dans cet exemple : $A_S=0,5 g$, $C_{TB} = 2$, $C_{TSS} = 1$. On choisit une stratégie de déclenchement sur mouvement fort différé.

Le seuil est calé à :

- $S_D = A_S / (C_{TSS} * C_{TB}) = 0,5g / (2 * 1) = 0,25 g.$

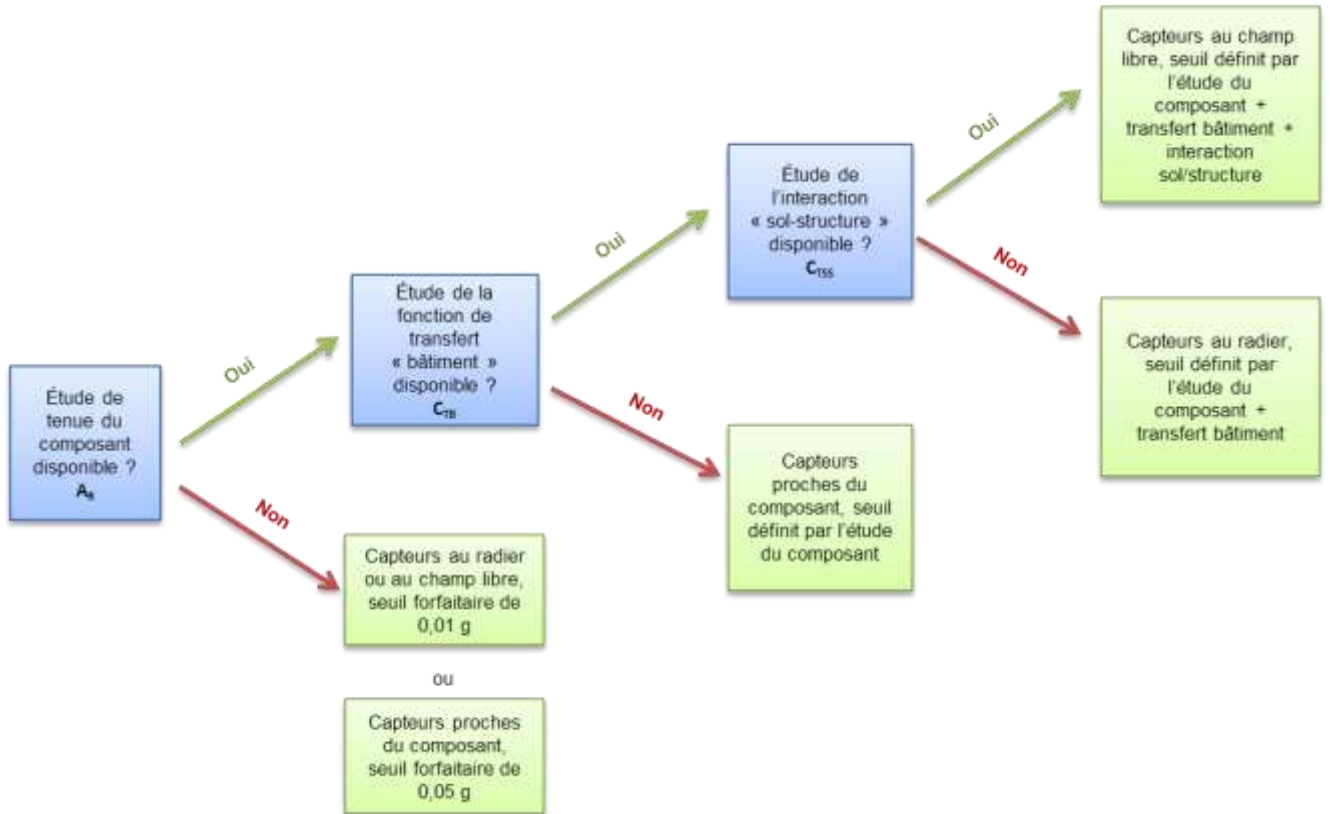
Le système de temporisation, après dépassement du seuil sur au moins deux des trois capteurs n'actionnera la mise en sécurité que si un opérateur n'acquiesce pas l'alarme durant ce laps de temps.

Le tableau et la figure suivante récapitule les différentes approches possibles.

Approche	Emplacement des capteurs	Seuil	Nécessité d'un calcul de tenue ⁵ du composant (définissant l'accélération de mise en sécurité A_S)	Nécessité d'un calcul de comportement dynamique du bâtiment (C_{TB})	Nécessité d'un calcul de l'interaction sol-structure ² (C_{TSS})
Forfaitaire	Champ libre	0,01 g	Non	Non	Non
Forfaitaire	Radier	0,01 g	Non	Non	Non
Forfaitaire	Proche composant	0,05 g	Non	Non	Non
Optimisée	Champ libre	$A_S / (C_{TSS} * C_{TB} * F_S)$	Oui	Oui	Oui
Optimisée	Radier	$A_S / (C_{TB} * F_S)$	Oui	Oui	Non
Optimisée	Proche composant	A_S / F_S	Oui	Non	Non

Dans tous les cas, le comportement des bâtiments, structures et composants durant la phase de mise en sécurité, voire à terme, devra être considéré dans l'étude d'impact.

⁵ Le terme « tenue » d'un équipement ou composant signifie que le comportement sous séisme de l'équipement ou composant satisfait les exigences qui lui sont attribuées pour éviter les phénomènes dangereux au sens de la réglementation.



5 Principes

On traite tout d'abord des (1) **principes généraux**, (2) d'**exemples**. Une liste non exhaustive (3) des **types d'actions** automatiques envisageables est ensuite présentée et complétée en indiquant dans quelles circonstances limitées il pourrait être fait appel à des (4) **actions opérateurs**.

5.1 Principes généraux

5.1.1 *Principe d'action sur détection sismique*

On rappelle que l'objectif général de ce guide est de recommander des dispositions permettant de limiter l'impact d'un séisme. Ces dispositions "s'appliquent aux seuls équipements .../... susceptibles de conduire, en cas de séisme, à un ou plusieurs phénomènes dangereux dont les zones des dangers graves pour la vie humaine .../... dépassent les limites du site.../...".

La sélection des équipements concernés, les seuils réglementaires, les règles de cumul, la localisation pour le calcul d'impact sont exposés dans le Guide de Méthodologie Générale.

Les guides de **dimensionnement** des composants et équipements visent à proposer des dispositions passives afin qu'en toutes circonstances l'inventaire dangereux (toxique ou inflammable) qui pourrait être relâché ne conduise pas à des "phénomènes dangereux dont les zones des dangers graves pour la vie humaine .../... dépassent les limites du site.../...".

Le présent guide, montre comment il sera possible de limiter les conséquences par des actions engagées lors même de la survenue du séisme, soit :

- par une action de sectorisation de l'inventaire dangereux. La sectorisation étant réalisée lors de la survenue du séisme par action manuelle ou bien par action automatique en utilisant le mouvement même engendré par le séisme comme déclencheur de l'action.

Cette sectorisation, qui s'applique aux ERS, vise :

- soit à ne relâcher que des quantités limitées de produits dangereux contenus dans le secteur,
- soit à agir sur ces inventaires pour leur appliquer un traitement comme la vidange, la neutralisation,... ou en retarder, diluer, réguler le relâchement,
- par action sur des facteurs de risques, tant sur ceux qui pourraient s'appliquer aux ERS qu'aux OAP et qui pourraient être déclenchés par le séisme :
 - prévention d'incendie, d'explosion par exemple par aspersion automatique ; ouverture de trappes en cas de crainte d'accumulation d'hydrogène ou d'autres matières explosives non nécessairement dangereuses mais dont l'explosion pourrait conduire – par effet indirect – au relâchement de produits, cette fois-ci, dangereux,
 - isolement de fluide (gaz, hydrocarbure...).

Il appartiendra donc aux exploitants de réaliser une analyse des risques de tels phénomènes dangereux en prenant notamment en considération le caractère de mode commun que constitue la sollicitation sismique. La prise en considération des différents principes de protection mis en œuvre (passif par dimensionnement, actif par actions manuelles ou automatiques) sur leurs installations permettra, par itération d'aboutir à la démonstration du caractère suffisant des dispositions prises.

5.1.2 Principe de sectorisation

On rappellera que l'arrêté demande de raisonner équipement par équipement pour évaluer les effets létaux, sauf s'ils sont reliés entre eux de telle manière que la perte de confinement de l'un conduit à la libération de tout ou partie de l'inventaire de l'ensemble. Le Guide de Méthodologie Générale précise cette notion d'équipement au sens de la réglementation.

A ces fins, il conviendra que l'analyse, conduite par l'exploitant, prennent en compte le fait que des équipements d'une installation, voire d'un site, puissent être en communication et que leur contenu puisse être relâché par une même seule perte de confinement.

De même l'analyse de chaque équipement pourra introduire la notion de *secteur* (subdivision d'un équipement) constitué d'un ensemble de conduites aériennes, de capacités, de procédés... Il n'y a pas nécessité à ce qu'un *secteur* soit un ensemble fonctionnel, c'est un ensemble de composants.

On considérera - dans le présent guide – qu'à un *secteur* peut s'appliquer un ou plusieurs principes de protection :

- protection par des dispositions de conception permettant le maintien de l'intégrité des éléments du secteur (totale ou partielle) de telle sorte que - globalement pour l'équipement - les conséquences soient acceptables au sens de la réglementation. C'est le principe de protection par conception, par nature il s'agira de dispositions passives,
- protection par des dispositifs fondés sur l'utilisation du mouvement sismique pour limiter les conséquences, c'est le principe de protection par prise en compte du mouvement sismique.

Les règles applicables aux secteurs ou parties de secteurs mettant en œuvre le principe de protection par conception sont traitées dans les autres guides (guides de conception et d'analyse du comportement).

Les secteurs mettant en œuvre des actions manuelles ou automatiques peuvent faire l'objet de dispositions constructives robustes au séisme mais – pour l'ensemble des secteurs concernés d'un même équipement - seule l'action permet le respect de l'exigence réglementaire.

En définitive, et pour un équipement donné, l'exploitant montrera que les dispositions prises tant par conception que par action automatique ou manuelle lors d'un séisme permet de respecter l'exigence réglementaire. Cette analyse intégrera l'éventuelle gestion des organes d'isolement entre équipement.

5.1.3 Déclenchement des actions

L'exigence principale sur le dispositif de **détection (capteur)**, de **quantification (logique)** et d'**action** est de pouvoir remplir sa fonction pour des séismes correspondant au séisme réglementaire transféré⁶ et pour la ***durée*** requise ***de*** la ***mission***. Cette exigence s'applique, par extension, aux moyens supports requis (fluide, électricité, contrôle commande...). Ces moyens supports sont soit les moyens normaux, soit des moyens dédiés (batteries, bouteilles sous pression...).

Les dispositifs conçus à sécurité positive tout au long de la chaîne - et dont les organes nécessaires à l'accomplissement de la mission sont dimensionnés au séisme - assurent la fonction en cas de perte d'un ou plusieurs moyens supports.

Concernant le niveau de séisme auquel l'action sera déclenchée, l'attention des exploitants est attirée sur deux facteurs antagonistes. Si l'on distingue les actions qui ont pour but d'isoler un secteur afin de limiter le possible relâchement de produits dangereux ou d'actions visant à prévenir l'incendie, l'explosion..., l'action devrait être engagée à un niveau de séisme inférieur au niveau minimal de ruine du secteur.

⁶ C'est-à-dire au niveau des composants eux-mêmes

Par contre on doit veiller à ce que le déclenchement intempestif ou bien même le déclenchement sur un trop bas niveau de séisme n'entraîne pas d'effets adverses qui pourraient nuire à l'investissement, la production ou bien avoir des conséquences non tolérables sur les populations et l'environnement.

Le Guide de Méthodologie Générale donne les principes de mise en œuvre du diagnostic sismique permettant de définir l'accélération où la ruine d'un secteur ne peut être écartée.

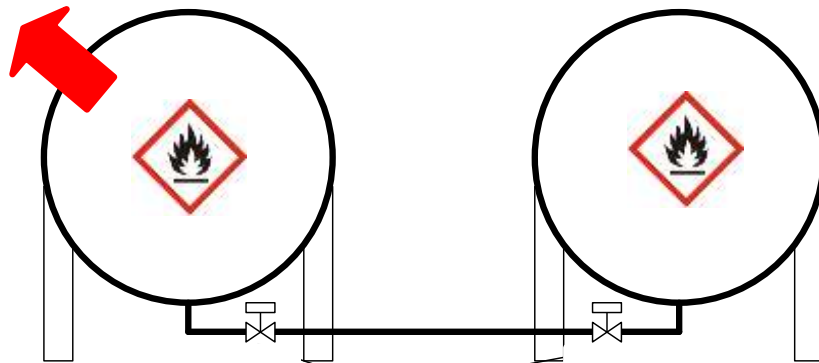
De même le Guide de Méthodologie Générale définit l'approche de diagnostic qu'il convient d'adopter en fonction des zones de sismicité, des classes de sol et de la nature des constructions et des équipements. Il n'appartient pas au présent guide de revenir sur ces notions. Seule la notion de **seuil forfaitaire** introduite au chapitre 4.3 est utilisée dans l'exemple ci-dessous.

5.2 Exemple illustratif

Ces exemples n'ont pas le caractère d'une étude de cas réel comme celle traitée en annexe 5. Il s'agit uniquement d'exemples illustratifs et pédagogiques.

Considérons deux sphères de gaz inflammable reliées par une tuyauterie. En cas de perte de confinement de l'une d'elles, et en l'absence d'isolement le contenu des deux sphères peut donc être répandu.

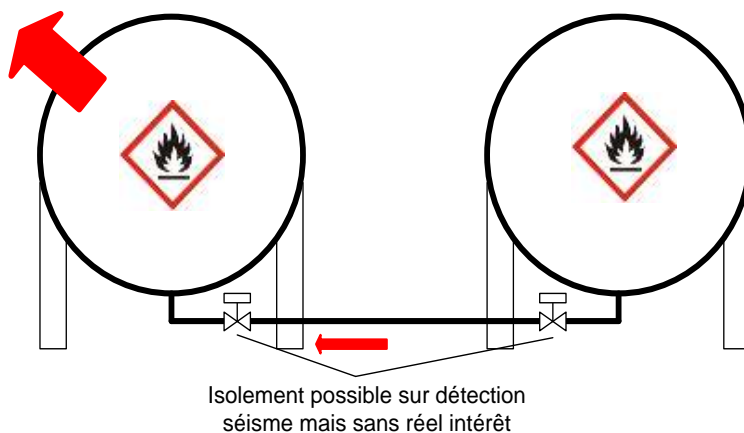
Perte de confinement en cas de séisme



a. Exemple N°1

Pris individuellement, chaque sphère répond aux critères du risque spécial, ce sont - ensemble ou chacune – des ERS. Elles doivent donc faire l'objet de dispositions pour répondre aux exigences de l'arrêté en cas de séisme.

Perte de confinement en cas de séisme

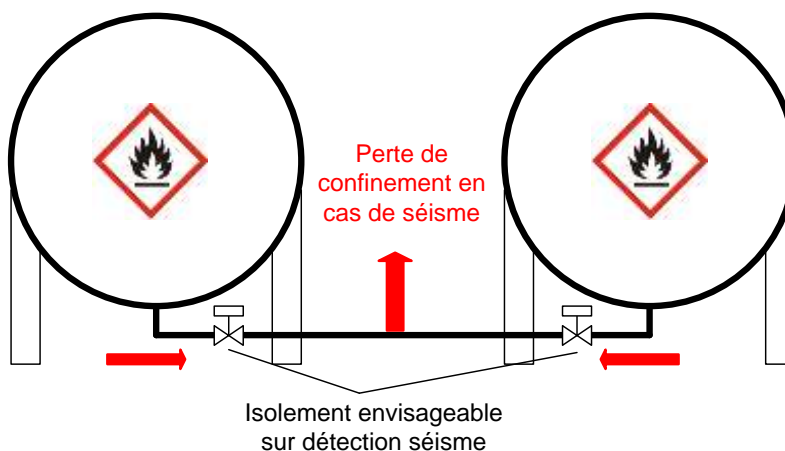


Dans le cas de perte de confinement sur une capacité, l'isolement par le double système de vannes n'est que d'une faible utilité, car :

- l'inventaire que l'on isole peut être négligeable par rapport aux flux et aux quantités présentes dans la capacité

- la perte de confinement d'une seule sphère est déjà suffisante pour satisfaire aux critères du risque spécial.

Conclusion numéro 1 : Le dimensionnement au séisme de chaque sphère est donc inévitable.



En cas de fuite sur la tuyauterie (tuyauterie non dimensionnée au séisme), il convient tout d'abord de vérifier si les phénomènes dangereux associés atteignent les critères du risque spécial.

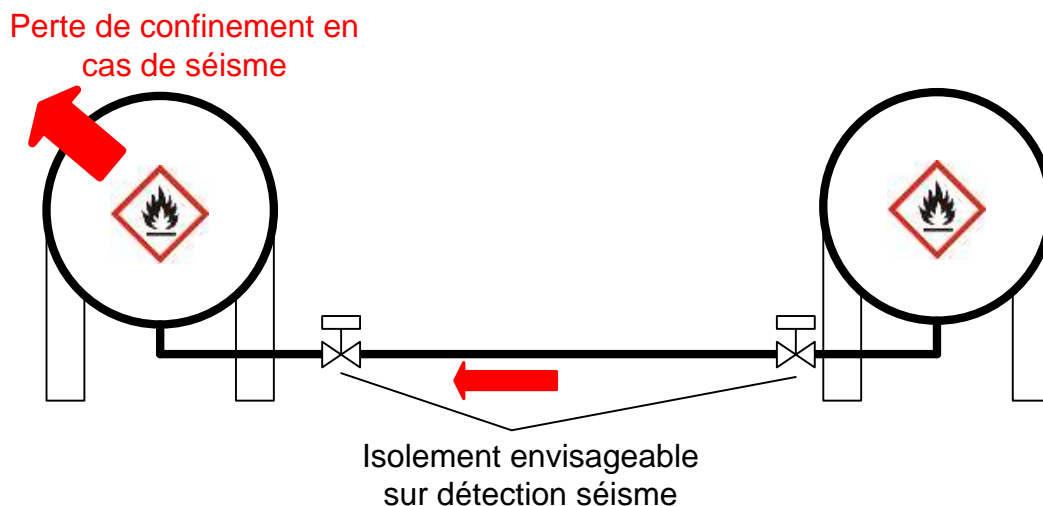
En l'absence de vannes c'est généralement le cas puisque les inventaires des deux sphères s'échapperont par la brèche de la tuyauterie.

Sous réserve que l'inventaire contenu dans la tuyauterie elle-même ne soit pas de nature à conduire à des phénomènes dangereux, alors l'isolement sur détection sismique est une stratégie intéressante car le relâchement par la brèche de l'inventaire contenu dans la tuyauterie n'entraînera pas de phénomène dangereux comme ce serait le cas si elle était toujours reliée aux deux sphères. En pratique il y aura lieu de considérer le volume de produit dangereux qui s'échappera par la brèche durant le temps de fermeture des vannes.

Conclusion numéro 2 : la conduite – non dimensionnée au séisme – doit être équipée de vannes d'isolement dont la fermeture est assurée en cas de séisme.

b. Exemple N°2

Pris individuellement, chaque sphère ne répond pas aux critères du risque spécial, mais le fait d'être reliées entre-elles augmente l'inventaire et en cas de perte de confinement on atteindrait les critères du risque spécial



On rappelle que l'arrêté demande formellement de ne raisonner qu'équipement par équipement pour évaluer les effets létaux. A ce titre le cumul des effets induits par plusieurs équipements n'est pas à prendre en compte sauf s'ils sont reliés entre eux de telle manière que la perte de confinement de l'un entraîne la libération de l'inventaire de l'ensemble.

L'exploitant peut mettre en œuvre deux stratégies distinctes :

- dimensionner chaque sphère à la tenue au séisme, ainsi que la tuyauterie qui les relie et les vannes,
- considérer chaque sphère comme un équipement et isoler les deux sphères sur détection sismique.

Si le choix de la ségrégation de l'inventaire est fait, il repose sur les dispositifs identiques à celui de l'exemple 1 ci-dessus. Notons d'ailleurs que la nécessité du dimensionnement de la conduite qui relie les deux sphères répond aux mêmes critères que ci-dessus.

Les systèmes actifs comprendraient dans les deux exemples ci-dessus :

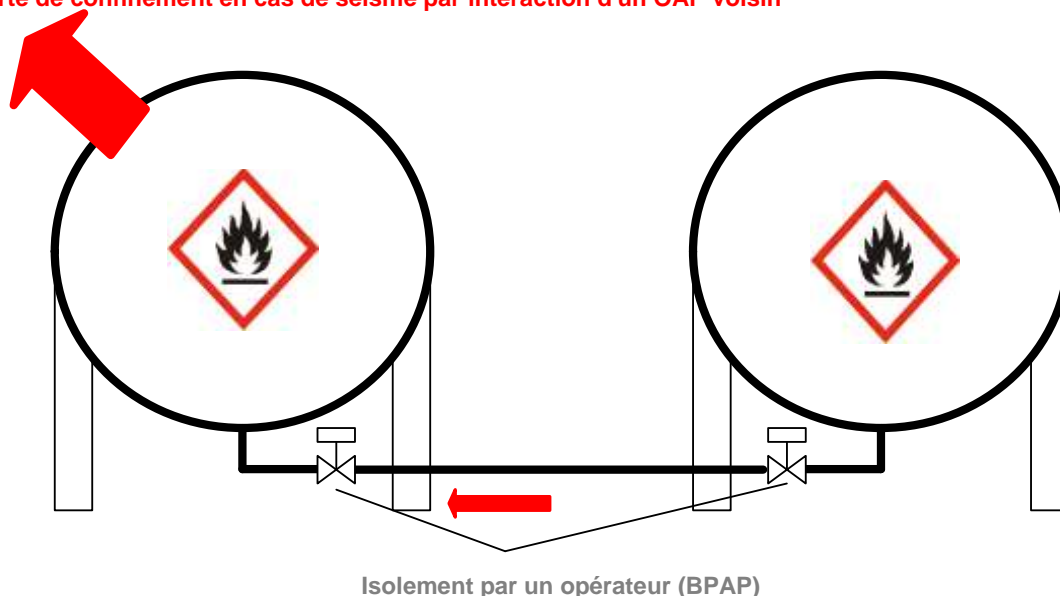
Fonction	Système	Alimentation	Transmission	Tenue
Détection séisme	Mesure, quantification, comparaison au seuil	Oui, mais peut être sauvegardée en local, En cas de conception à sécurité positive ce serait la perte d'alimentation électrique ou tout autre défaut de la chaîne de mesure qui entrainerait la mise en sécurité.	Jusqu'aux actionneurs	Doit tenir le temps de mission requis et pour le niveau de séisme en cours ou en fin de mission, sauf en cas de conception à sécurité positive (avec toutefois dans ce dernier le risque de déclenchement intempestif sur tout type de défaillance)
Isolement	Une ou deux vannes Une vanne si la conduite est dimensionnée Deux dans l'exemple 1 si la conduite n'est pas dimensionnée	Oui, mais peut être sauvegardée en local, peut être passif (pas de courant = fermeture) ou réserve pneumatique locale	Considérer les liaisons entre les armoires de commande et les vannes	Doit tenir le temps de mission requis et pour le niveau de séisme en fin de mission, puis tenir fermé au niveau du séisme réglementaire

c. Exemple N°3

Le guide de méthodologie générale introduit les notions de BPAP (Barrière de Prévention, d'Atténuation d'effets ou de Protection) et l'OAP (Ouvrage Agresseur Potentiel) ; l'exemple ci-dessous rappelle les notions à considérer

On reprend l'exemple N°1 en supposant :

- 1) *que la fermeture des vannes est effectuée en local par un opérateur venu de la salle de commande, à ce titre considéré comme BPAP,*
- 2) *que l'une des sphères – bien que dimensionnée aux séismes - peut-être détruite par un effet d'énergie cinétique généré par un ouvrage situé à proximité, notion d'OAP.*

Perte de confinement en cas de séisme par interaction d'un OAP voisin

L'analyse doit prendre en compte l'agression potentielle que constitue l'ouvrage voisin en cas de séisme :

- soit en s'assurant – pour cet ouvrage – et par des dispositions constructives, administratives, automatiques ou manuelles que l'agression ne pourra se produire pour le niveau de séisme requis,
- soit en renforçant la sphère pour qu'elle puisse résister à de telles agressions.

En complément le respect de la réglementation étant fondé sur l'intervention d'opérateurs venus de la salle de commande, on devra s'assurer que l'opérateur pourra sortir de la salle de commande et pourra se rendre sur place avec les moyens de déplacement ad-hoc pour réaliser son intervention, notamment que l'accès aux vannes sera dégagé.

5.3 **Types d'actions envisageables**

Les actions qu'il est possible d'envisager pour maîtriser les conséquences sont classées en deux séries :

- 1- celles qui visent à intervenir sur l'inventaire de produit dangereux,
- 2- celles qui visent à juguler des phénomènes induits qui pourraient mobiliser les produits dangereux (feu, explosion, réaction chimique...).

Ces listes n'ont pas un caractère exhaustif, elles pourraient être enrichies par les études de cas réels. Le recours à chaque type d'actions doit s'insérer dans une démonstration globale relative aux secteurs et aux équipements d'une installation.

Action sur l'inventaire de produits pouvant être émis

- arrêt de pompes, fermeture de vannes,
- l'inventaire peut-être vidangé dans une capacité sûre ; observons toutefois que le temps de vidange peut être long et probablement incompatible avec la (non)-tenue au séisme des parties d'installation concernées par cette vidange,
- l'inventaire peut être sectorisé comme dans l'exemple ci-dessus limitant les quantités rejetées dans l'environnement,
- l'inventaire peut être neutralisé par action chimique, ou via des rideaux d'eau (produits toxiques ou inflammables),

- gestion appropriée de la ventilation d'un local où des produits dangereux se seraient dispersés : arrêt de la ventilation, isolement du local, filtration appropriée dédiée à la rétention de tout ou partie des produits dangereux.

Action sur d'autres facteurs de risque

Il s'agit ici d'envisager des actions sur d'autres facteurs qui pourraient aggraver le déroulement de la séquence.

Il s'agit donc d'actions essentiellement préventives telles :

- l'aspersion de locaux, le refroidissement
- le confinement de locaux ou au contraire,
- la mise à l'atmosphère (pour prévenir l'explosion),
- la mise en service de recombineurs d'hydrogène⁷,
- le basculement de la ventilation d'une salle de contrôle, d'un local de repli,
- la vidange préventive de fluide inflammable, (vide-vite des réserves quotidiennes des groupes électrogènes), de fluides réactifs (bases et acides)⁸.

Chacune de ces actions (actions sur l'inventaire ou le facteur de risque) doit faire l'objet d'une étude particulière montrant sa performance dans l'environnement attendu, pour le temps de mission nécessaire, pour les niveaux de séisme attendus, en prenant en compte les moyens supports nécessaires à leur fonctionnement. Une attention particulière doit être portée aux interactions avec un environnement non nécessairement robuste au séisme.

Lorsque l'action nécessite de l'énergie pour être activée (électricité, batterie, fluide sous pression), la démonstration de la disponibilité de cette énergie doit faire l'objet de validation par test, retour d'expérience, dimensionnement. On privilégiera des actions passives, à sécurité positive (ou sécurité dite à manque), le recours à des sources d'énergie déportées en local, à proximité des actionneurs.

5.4 Actions opérateurs

5.4.1 Principes, paramètres

Le Guide de Méthodologie Générale envisage la possibilité d'un recours à des actions manuelles par l'opérateur. Le recours à de telles actions est traité dans le présent paragraphe.

On envisage donc ci-dessous que certaines actions de mise en sécurité puissent être engagées par l'opérateur en cas de séisme en application de procédures prédéfinies, ceci en lieu et place d'actions automatiques. L'exploitant devra montrer que de telles actions présentent une robustesse, une disponibilité et des conséquences de même ordre de grandeur que d'autres actions automatiques envisageables.

Nous considérons ci-dessous - en fonction de la zone de sismicité - deux paramètres de telles actions, (1) la disponibilité de l'opérateur, (2) le temps nécessaire à l'opérateur pour engager l'action. **C'est le temps à considérer dans les études de sécurité comme étant le temps séparant l'instant d'arrivée des ondes sismiques et celui de la réalisation de l'action ; ce sera donc le temps durant lequel une séquence accidentelle se développera avant de maîtriser le terme source**, (relâchement possible, début d'incendie...).

⁷ Notons que si l'industriel dispose de recombineurs en service actif permanent et qu'ils sont requis (et dimensionnés) en séisme sans autre action automatique sur le secteur, il s'agira alors de dispositions du type "par conception".

⁸ Notons que d'autres impératifs réglementaires peuvent déjà s'appliquer à la conception de l'installation pour éviter ces facteurs de risques, il s'agira donc de vérifier que ces dispositions sont robustes au séisme réglementaire (c'est le cas par exemple des bacs de rétention situés sous les capacités de stockage)...

Les valeurs indiquées sont les valeurs recommandées, les exploitants pourront justifier des valeurs plus courtes.

Pour l'ensemble des territoires français le zonage se répartit en cinq zones dont les quatre premières couvrent l'ensemble du territoire métropolitain.

Le ressenti des opérateurs est indiqué dans différentes échelles sismiques et sert de base aux préconisations ci-dessous.

Le recours à de telles actions devrait être limité et l'analyse précise. Les renvois du tableau ci-dessous sont à considérer avec attention.

ZONES DE SISMICITÉ	Installations considérées uniquement pour les périodes où des phénomènes dangereux sont redoutés		Opération spéciale avec présence permanente de l'opérateur à proximité immédiate des actionneurs ⁹ dans un environnement dimensionné au séisme de référence ¹⁰
	Installation <u>sans</u> présence permanente (astreinte à domicile)	Installation <u>avec</u> présence opérateurs permanente 24h/24 7j/7	
1 (très faible)	Relève des opérations normales d'exploitation si le diagnostic sismique montre l'innocuité probable du séisme sur les structures, systèmes et composants ; dans le cas contraire idem zone 2		
	Délais d'action ¹¹ recommandé à prendre en compte dans les études de risques pour la première action à engager ¹² sur les équipements (pour les actions suivantes temps à proposer en fonctions du nombre d'opérateurs, des temps d'accès aux actionneurs, des durées d'intervention)		
2 (faible)	Temps de transport de l'agent d'astreinte (qui est réputé avoir ressenti le tremblement de terre ¹³ et se rend sans délai sur l'installation) ¹⁴ + temps maximal d'accès aux organes à manœuvrer + temps de manœuvre + majoration de 30 min (temps de réaction des opérateurs).	Temps maximal d'accès aux organes à manœuvrer + temps de manœuvre + majoration de 30 min (temps de réaction des opérateurs)	5 minutes ¹⁵ (temps de réaction des opérateurs)
3 (modérée)	Le recours à des actions opérateur n'est pas possible car la disponibilité de l'agent d'astreinte et des cheminements ne peut être démontrée.		
4 (moyenne)			
5 (forte) Ne concerne pas la France métropolitaine	Il est alors nécessaire de recourir aux autres principes de protection, par conception ou par détection et mise en sécurité automatisée.	Le recours à des actions opérateur n'est pas possible car l'éventualité de victimes rend improbable l'action opérateur. Il est alors nécessaire de recourir aux autres principes de protection, par conception ou par détection et mise en sécurité automatisée.	

Tableau 2 – Délais d'action des opérateurs

⁹ Par exemple opération de **dépotage**, vidange, remplissage...

¹⁰ Les opérations en plein air - **loin de bâtiments qui ne seraient pas dimensionnés** - entrent dans cette catégorie.

¹¹ L'action à engager le sera sur une indication, disponible à l'opérateur, de dépassement d'un seuil identique à celui discuté pour les actions automatiques (voir paragraphe 3.3.2).

¹² On devra veiller à ce que les **cheminements** opérateurs puissent s'effectuer dans un environnement acceptable pour l'opérateur ou qu'il puisse s'en protéger (masque, combinaison...), les chemins d'accès (y compris l'ensemble des locaux où peut séjourner l'opérateur doit lui permettre de s'en échapper ; les locaux à considérer : dortoirs, salles de repos, salles de commande...) doivent permettre l'évacuation rapide du personnel, les cheminements dégagés et les organes à manœuvrer dimensionnés au séisme de référence.

¹³ A défaut, il faudra démontrer que l'agent d'astreinte pourra être prévenu que la sollicitation sismique a dépassé un seuil convenu sur son installation.

¹⁴ Il faut vérifier qu'il est raisonnable de penser que l'agent d'astreinte pourra sortir de son lieu de séjour, que le véhicule d'intervention sera disponible et le chemin d'accès sera dégagé.

¹⁵ L'action n'est possible que si les organes sont dimensionnés au séisme de référence.

En complément à ces règles à utiliser pour le calcul des conséquences, nous préconisons (1) un entraînement annuel des équipes concernées par ces actions (application de procédures écrites) et (2) une vérification in situ des gestes et itinéraires requis pour effectuer la mission afin de s'assurer de l'absence d'effet d'interaction (chute d'objets, de toitures, obstruction des cheminements).

En pratique, l'opérateur engage les actions de mise en sécurité dès que le séisme dépasse un seuil dont il peut apprécier le dépassement sur son installation. Il s'agira en général d'un sismographe avec indication de dépassement d'un seuil. Les règles de sélection de ce seuil sont identiques à celles qui prévalent pour les mises en sécurité automatiques.

5.4.2 Logique de mise en œuvre des actions manuelles

La logique de mise en œuvre est de même nature que celle envisagée pour les actions automatiques :

- sectorisation,
- identification des actions automatiques et manuelles dans le secteur,
- vérification de la tenue au séisme de référence des actionneurs et de leur environnement,
- calcul de l'impact du secteur prenant en compte les actions automatiques et manuelles (avec les paramètres propres à la zone de sismicité et des spécificités d'exploitation), cumul sur l'équipement,
- vérification du respect de la réglementation pour l'impact induit,
- rédaction des procédures,
- vérification in situ,
- entraînement des équipes.

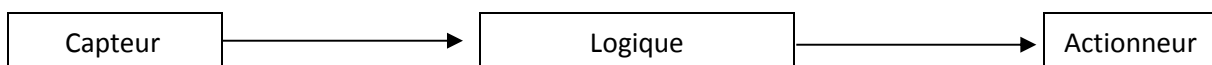
6 Architecture et conception

Cette partie vise à déterminer l'architecture et la conception des dispositifs de mise en sécurité automatisés : éléments utilisés, mise en œuvre ainsi que la sécurité de fonctionnement.

6.1 Généralités

Un dispositif de mise en sécurité automatisé d'une installation sur détection sismique est composé de trois sous-systèmes :

- Sous-système **capteur**.
- Sous-système **logique**.
- Sous-système **actionneur** (éléments finaux).



L'ensemble des trois sous-systèmes (capteur, logique, actionneur) doit s'appuyer sur du matériel soit construit sur des critères spécifiques (par exemple suivant la norme NF EN 61 511) soit éprouvé par l'usage (cf. guide DT93).

Le bon fonctionnement des éléments composants cette couche de protection doit être vérifiée régulièrement. Cela peut être à travers le fonctionnement normal du procédé soit dans le cadre d'un processus formel de vérification.

6.2 Sous-système capteur

Il comprend le ou les capteurs de détection du mouvement sismique, l'électronique de traitement du signal primaire, les câblages et les éléments d'interface (barrière d'isolement galvanique, de sécurité intrinsèque etc.) jusqu'aux entrées du sous-système logique.

L'information délivrée après traitement peut être :

- Logique (détecteur Tout Ou Rien).
- Analogique, représentant une grandeur physique sur une échelle de mesure.

Ces signaux sont en général de nature électrique : présence ou absence de tension pour le TOR, 4-20 mA ou 1-5V pour l'analogique.

Dans le cas d'utilisation de matériel délivrant également des informations par communication numérique ces informations serviront uniquement en supervision et non pour la mise en sécurité des installations.

Les capteurs devront être évalués par rapport à la norme NF EN 61 508 (ou NF EN 13849) ou être considérés éprouvés par l'usage (cf. guide DT93).

Ils devront être étalonnés périodiquement par un laboratoire, en lien avec les préconisations du fournisseur de matériel.

Dans l'intervalle d'étalonnage, son bon fonctionnement peut être établi par comparaison avec d'autres capteurs du site ou externes (par exemple avec des capteurs situés sur des sites industriels voisins ou d'autres plus éloignés en cas d'événement sismique régional de faible amplitude).

Les capteurs utilisés devront au minimum avoir une plage de fonctionnement :

- en fréquence de 1 à 20 Hz¹⁶
- en accélération la plage devra s'étendre au-delà de la valeur du seuil. Si l'on souhaite exploiter les signaux a posteriori on prendra une plage de $\pm 1g$
- le déclenchement d'une information pouvant conduire à une mise en sécurité sera réalisé à partir du signal délivré sur l'un quelconque des trois axes d'accélération (x, y ou z).

6.3 Sous-système logique

Il comprend l'ensemble des traitements nécessaires à l'exécution d'une commande vers les éléments finaux à partir d'un ou plusieurs sous-systèmes capteur.

Il peut être :

- Un système de traitement à logique programmable, dans ce cas :
 - un automate programmable de sécurité (APS),
 - un automate programmable industriel (API),
 - un système numérique de contrôle commande (SNCC).

Les cartes d'entrées/sorties font partie intégrante de ce sous-système.

- Un système à base de logique statique de sécurité. Dans ce cas il est uniquement composé d'éléments non programmables.
- Un système à base de logique à relais électromécaniques de sécurité. L'équipement convertissant un signal analogique en un seuil logique fait partie de ce système.

Autant que possible, l'utilisation d'éléments certifiés suivant la norme NF EN 61 508 sera privilégiée. Seule cette norme garantit un fonctionnement en sécurité positive (voir § 6.7), l'utilisation de SNCC ou d'API ne permet pas d'obtenir des niveaux de fiabilité que seul un APS peut atteindre. Le recours à des SNCC ou des API dans le cas d'une haute fiabilité nécessitera la qualification des ces équipements au séisme.

Le déclenchement sera de type à réarmement, c'est à dire qu'une fois le déclenchement réalisé, la sortie reste en défaut jusqu'à ce que la situation revienne à la normale et qu'une action humaine acquitte le basculement.

La phénoménologie sismique est rapide (de l'ordre de 50ms, voir § 3.4) alors que les temps de cycle des éléments logiques sont plus longs (de l'ordre de 50 à 200ms pour les APS, ~0 à 300ms pour les API, 200 à 500ms voir plus pour les SNCC). Ces temps doivent être pris en compte dans la conception des dispositifs automatiques de mise en sécurité.

Il sera ainsi plutôt préconisé d'utiliser un capteur intégrant directement la détection du seuil.

¹⁶ L'utilisation, par filtration, d'une bande de fréquences légèrement réduite par rapport à celle présentée au paragraphe 3.4 permet d'éliminer certaines perturbations, sans incidence significative sur le calage des seuils.

L'utilisation d'une bande restreinte à 1-12Hz nécessitera la prise en compte d'une correction de 20% sur les valeurs de seuils (sauf pour le seuil forfaitaire).

En tout état de cause l'adoption d'une logique en 2 sur 3 permet de réduire les déclenchements intempestifs.

C'est le sous-système logique qui compare la valeur mesurée au seuil de déclenchement (forfaitaire ou issu du calcul tenant compte de la position du capteur, du composant, de la stratégie et des marges liées aux incertitudes comme indiqué au Chapitre 4).

6.4 Sous-système actionneur

Il comprend le ou les actionneurs (éléments terminaux de puissance) mettant en sécurité le procédé, en incluant les composants d'interfaces, le câblage depuis les sorties du sous-système logique.

Les actionneurs peuvent être par exemple :

- des vannes Tout Ou Rien équipées d'un servomoteur. Ce dernier pouvant être une combinaison d'éléments électrique, pneumatique, hydraulique,
- des vannes de régulation, là aussi composées d'éléments électrique, pneumatique, hydraulique,
- des machines tournantes (pompes, compresseurs etc.).

6.5 Intégration dans des architectures existantes

Dans ce guide, les installations sont considérées en fonctionnement normal (pas de mise en sécurité en cours) et les Moyens de Maîtrise des Risques Instrumentés (MMRI) existants ne sont pas sollicités.

Dès lors, les sous-systèmes logiques et/ou actionneur nécessaires à la mise en sécurité sur détection sismique peuvent s'appuyer sur des équipements existants s'ils répondent aux exigences requises pour les missions à accomplir.

Ainsi des vannes existantes qui sectionnent les flux entrant dans une colonne de distillation, des pompes de remplissage de stockages utilisées en tant qu'éléments de sécurité pour prévenir les risques des études de dangers pourront être utilisées dans le cadre de ce guide.

6.6 Contraintes d'architecture

La mise en place de dispositifs de mise en sécurité automatisé sur détection sismique apporte un risque de déclenchement intempestif supplémentaire pour l'exploitant.

Il est cependant possible d'augmenter la disponibilité de l'installation en mettant en place une architecture redondante : chaque sous-système peut avoir des éléments redondants permettant de répondre à cette problématique.

Si le procédé à mettre en sécurité n'entraîne pas de longues phases de redémarrage, une seule détection sismique en lien directe avec la fermeture d'une vanne (par exemple) pourra répondre au besoin.

A contrario, en cas de procédé à redémarrage, le recours à des logiques de vote pour la détection permettra de ne pas affecter la disponibilité de l'installation pour la partie instrumentation.

L'annexe 4 apporte des éléments de réponse.

6.7 Sécurité de fonctionnement

Le fonctionnement des sous-systèmes peut être de deux natures :

- sécurité à manque (ou sécurité positive), "fail-safe" en anglais,
- sécurité à émission.

6.7.1 *Sécurité à manque*

La sécurité à manque se définit par le fait qu'un équipement se met dans un état sûr dès qu'un problème survient. C'est-à-dire que la coupure de l'énergie d'alimentation, la rupture ou le défaut de l'un des composants, la coupure du câble assurant la transmission du signal ou toute autre défaillance entraîne le passage en sécurité de l'équipement concerné.

En d'autres termes, l'état de fonctionnement normal est indiqué par un signal énergisé (relais électrique sous tension, signal analogique haut) alors que l'état de danger (détection d'un séisme ou défaillance de l'équipement) est indiqué par le manque du signal.

Ainsi la rupture du câble assurant la transmission entre le capteur et la logique de traitement sera vue comme un état de danger et traitée comme tel.

6.7.2 Sécurité à émission

La sécurité à émission demande la mise en énergie d'un équipement pour assurer la mise en sécurité d'une installation : soit, par exemple, le démarrage de pompes de vidange, de groupes électrogènes.

La tenue au séisme du ou des sous-systèmes en sécurité à émission (capteur(s), logique ou actionneur(s)) devra alors être considérée ainsi que les interfaces et moyens supports (câble, alimentation...).

6.7.3 Conception

Au sein d'un système complet (capteur+logique+actionneur), chacun des sous-systèmes peut être de nature différente : détection et traitement logique en sécurité positive et actionneur en sécurité à émission par exemple.

Dans le cadre de la qualification au séisme, seuls les équipements en fonctionnement par sécurité à émission devront "tenir" au séisme, les équipements en sécurité positive se mettant, par nature, en état sûr même en cas d'atteinte à leur intégrité.

Les éléments en sécurité positive sont à mettre en œuvre en priorité au vu de leur conception.

Il faudra veiller à ce que la mise en sécurité des installations soit maintenue après l'occurrence de l'événement sismique et que des effets adverses (effondrement de structure, autres effets avec énergie cinétique) ne remettent en cause leur efficacité.

Chacun de ces trois sous-systèmes nécessite - en général - des moyens supports en énergie électrique, pneumatique, hydraulique qui peuvent être intégrés au sous-système le rendant autonome (en permanence ou pour le temps de mission minimal nécessaire) ou s'appuyer sur des supports en énergie externes ; il conviendra alors de s'assurer que leurs performances soient compatibles avec les missions à accomplir par les sous-systèmes.

La nature du risque sismique est à même de détruire ou tout du moins de rendre inopérant les commandes ainsi que les moyens supports. La perte par exemple des câbles de liaison vers les actionneurs devra être prise en compte.

6.8 Temps de mission

Le temps de mission correspond à l'intervalle de temps entre la détection de l'événement sismique et la mise en sécurité de l'installation.

Ce temps comprend :

- le temps de détection (ici, dans le cas de l'instrumentation sismique, de l'ordre de quelques secondes),
- le temps de traitement de l'information par la logique (de 50 à 200ms dans le cas d'un automate de sécurité),
- le temps de réaction de l'actionneur (variable suivant l'organe concerné : instantané pour une alimentation électriques à plusieurs dizaines de secondes pour des vannes de gros diamètre).

Ce temps de mission doit être compatible avec la cinétique du procédé à mettre en sécurité et les effets adverses engendrés.

7 Qualification des matériels mécaniques et électriques

7.1 Généralités

Dimensionner des structures de génie civil pour résister aux effets d'un séisme se conçoit aisément. Pour les équipements mécaniques et électriques qui se trouvent à l'intérieur, il n'est pas question de dimensionnement mais de qualification, c'est-à-dire une vérification a posteriori du bon comportement d'un matériel par des moyens divers. Dans les démarches de qualification des matériels, on a coutume de distinguer deux grandes classes de méthodes qui sont :

- la qualification par essais,
- la qualification par analyse.

Cette distinction est importante suivant que l'on s'intéresse à des installations neuves ou existantes. En effet, la qualification nécessitant comme son nom l'indique des infrastructures spécialement dédiées à ces procédés et les matériels à tester, il est difficile d'imaginer pour des installations déjà en fonctionnement depuis longtemps de démonter les équipements et de les acheminer vers les laboratoires pour les tester.

Comme indiqué au paragraphe précédent le recours à des architectures à sécurité positive permet de s'affranchir de la défaillance de l'équipement fusse sous la sollicitation sismique car alors la défaillance même du sous-système capteur ou logique ou actionneur entrainera une indication de mise en sécurité ou la mise en sécurité proprement dite de l'installation.

Dans le cadre du présent guide on considère que le concepteur et l'exploitant ont recours à de telle architecture à sécurité positive. Dans le cas contraire ils devront apporter la démonstration de la robustesse des sous-systèmes concernés au niveau du séisme (transféré) réglementaire. On donne ci-dessous néanmoins quelques éléments méthodologiques de qualification.

7.2 Les étapes de la qualification

La qualification des matériels se réalise en plusieurs étapes :

- 1) Dresser une liste des matériels à qualifier,
- 2) Définir les matériels notamment grâce à un dossier d'identification,
- 3) Déterminer les différentes contraintes ou conditions de fonctionnement auxquelles ils sont soumis, tant en conditions normales d'exploitation que lors de séismes,
- 4) Analyser les différents types de matériels et en déduire leurs analogies et leurs points sensibles,
- 5) Élaboration d'une stratégie et d'un programme de qualification,
- 6) Vérification de la cohérence et la représentativité des essais et analyses prévues,
- 7) Réalisation des essais et interprétation,
- 8) Synthèse des résultats et établissement de la note de qualification.

7.3 Qualification par essais

La qualification par essais a pour but de démontrer qu'un matériel satisfait aux exigences requises en matière de séisme notamment vis à vis de leur opérabilité pendant et après un séisme. La procédure décrivant le déroulement de la qualification d'un équipement est généralement contenue dans un cahier des charges (ou un programme d'essai), établi en fonction des normes ou recommandations en vigueur (CEI 68-3-3/UTE C 20420, ANSI, ENDESA, IEEE, etc.). On a recours à des moyens d'essais importants tels que les tables vibrantes ou des vibreurs.

7.4 Qualification par analyse

Une autre façon de procéder est la qualification par analyse, qui fait appel uniquement au raisonnement. On distingue :

- l'analyse par calculs,
- l'analyse par analogie (on raisonne en comparant le matériel à qualifier à un matériel analogue déjà qualifié),
- l'analyse par retour d'expérience (on raisonne en s'appuyant par exemple sur des résultats d'exploitation),
- l'analyse par "jugement de l'ingénieur" (ex : il n'est pas prévu de qualification au vieillissement des matériels mécaniques car il est faible et compensé par un entretien préventif).

Les méthodes par analyse sont notamment utilisées pour :

- maintenir la qualification d'un matériel lorsque celui-ci fait l'objet de modifications
- identifier les types de défauts plausibles, ainsi que la façon dont ils se manifesteraient,
- qualifier une série de matériels à partir de la qualification de un ou plusieurs modèles,
- qualifier des matériels auxquels la méthode par essais s'avère inapplicable.

7.5 Limite des méthodes, retour d'expérience

Ces différentes méthodes présentent donc des limites qui peuvent être rédhibitoires. Les méthodes analytiques sont excellentes pour vérifier l'intégrité structurelle mais pas pour évaluer les capacités fonctionnelles. Par exemple, les problèmes électriques tels que des courts-circuits, des battements de relais résultant d'une secousse sismique ne peuvent être capturés par analyse. Il est possible d'utiliser des bases de données concernant le comportement de nombreux matériels, soit lors de séismes réels, soit lors d'essais sur table vibrante.

La méthode de qualification définit un certain nombre de critères à respecter pour établir une analogie. Il n'existe pour l'instant qu'une base de données ; elle se trouve aux USA et est la propriété du SQUG (Seismic Qualification Utility Group).

Créé en 1980, le SQUG regroupe trente-deux exploitants de centrales et d'installations industrielles et nucléaires. L'Europe compte un certain nombre de membres, l'Espagne (UNESA), Suède (OKG, Vattenfall), EDF, CEA et Tractebel Engineering. Tout membre du SQUG a accès aux produits, outils, formation et support technique pour l'utilisation de la méthodologie SQUG sur ces installations. Il s'agit d'une méthode déjà mise en œuvre sur les installations d'EDF et du CEA.

8 Mise en œuvre

La mise en œuvre des dispositifs de mise en sécurité sur détection sismique doit prendre en compte un certain nombre d'éléments :

- les conditions environnementales (tenue en temps normal d'exploitation vis-à-vis des environnements chimiques, ionisants, salins etc.),
- la maintenabilité,
- la testabilité,
- l'exploitation,
- le vieillissement.

8.1 Conditions environnementales

L'instrumentation sismique (capteurs, logique, actionneurs, moyens supports) doit prendre en compte les perturbations à savoir les chocs/vibrations, la corrosion, la foudre, les interférences électromagnétiques, la température, l'humidité, la malveillance (particulièrement en champ ouvert), en tant que de besoin les zones ATEX (ATmosphères EXplosives, suivant les normes EN 60079 et EN 61241), l'espacement idéal pour les logiques de vote, l'ancrage au sol sur radier...

En cas d'une stratégie de détection multi capteurs sur radier ou en champ libre, l'espacement entre les détecteurs sera de quelques centaines de mètres au maximum.

Pour ce qui est des chocs et vibrations tels que ceux induits par les marteaux piqueurs, les camions, les forages de pieux, les travaux de génie civil (tirs à l'explosif par exemple), la séparation géographique des capteurs ainsi que des logiques de vote permettent de s'affranchir de ces éléments perturbateurs. De plus, les fréquences de ces événements perturbateurs ne sont pas toujours communes avec les phénomènes sismiques. Les capteurs sont par ailleurs équipés de filtres permettant de resserrer la zone de fréquence à surveiller.

Certains capteurs ont une gamme de mesure 0,1-35Hz, voire plus conforme à la bande de fréquences d'intérêt comme indiqué au paragraphe 3.4. Comme indiqué au chapitre 6, le filtrage et l'utilisation du signal dans une gamme de 1 à 20 Hz¹⁷ n'est néanmoins pas préjudiciable et permet d'éviter les déclenchements intempestifs liés à d'autres phénomènes.

Il faudra cependant veiller à ce que la proximité de machines tournantes ne perturbe pas les capteurs. Certaines pompes peuvent avoir en effet des fréquences de résonance dans la gamme mesurée.

8.2 Maintenance

Dès la conception, les procédures de by-pass/inhibition ainsi que l'accès, l'isolement doivent être pris en compte et décrits (voir les chapitres 4 et 6 du guide DT93).

La maintenance peut être corrective (sur panne, défaut auto-diagnostiqué ou autre ; par inspection visuelle par exemple) ou préventive. Cette dernière peut se dérouler à intervalle régulier (sur indication du fabricant ou suivant usage), être conditionnelle sur surveillance de paramètres définis par le fabricant. Elle est indispensable et décrite.

Les opérations de maintenance doivent faire l'objet d'un suivi (soit inscrit dans un plan de maintenance général, soit dans un plan particulier applicable à un équipement).

¹⁷ Cf. note en bas de page du §6.2.

8.3 Tests de fonctionnements

Les tests de fonctionnement ont pour but de vérifier que les dispositifs de mise en sécurité sur détection sismique respectent leurs exigences et leurs performances.

La périodicité des tests est définie par :

- l'architecture,
- les diagnostics éventuels,
- les arrêts d'exploitation,
- les données de fiabilité disponibles (d'après le fabricant, le retour d'expérience, les bases de données).

Ces tests peuvent être partiels : validation d'une ou plusieurs parties de la chaîne complète, tout en veillant à avoir un recouvrement de la totalité de la chaîne.

Le contenu des tests doit montrer le bon fonctionnement de chaque élément et de l'ensemble de la chaîne, en ayant le plus de profondeur possible.

La comparaison d'événements réels avec d'autres capteurs implantés sur d'autres sites permet également de s'assurer du bon fonctionnement de tout ou partie de la chaîne.

8.4 Exploitation

L'exploitant doit s'assurer que les spécifications de départ des dispositifs de mise en sécurité sur détection sismique soient conservées tout au long de leur cycle de vie et maintenir un historique détaillé du matériel :

- sollicitations,
- défaillances,
- déclenchements intempestifs,
- modifications,
- processus de maintenance : habilitation, accord de by-pass,
- essais périodiques,
- connaissances et formations des personnels exploitants et de maintenance.

Annexe 1 - Retour d'expérience de l'instrumentation sismique dans les centrales nucléaires

Toutes les centrales nucléaires sont équipées d'instrumentation sismique. A l'étranger et en France, la pratique réglementaire prévoit que l'arrêt sûr du réacteur d'une centrale nucléaire, le refroidissement du combustible et le confinement des produits radioactifs puissent être assurés, y compris en cas ou à la suite de séismes sur le site de l'installation considérée.

Dans les pays très sismiques comme le Japon et la côte Ouest des États-Unis, l'instrumentation sismique a pour but d'arrêter automatiquement le fonctionnement du réacteur en provoquant la chute des barres de contrôle dans le cœur. Ceci n'est pas sans inconvénient car si l'arrêt d'une tranche prend quelques centièmes de secondes, le redémarrage prend plusieurs jours voire semaines et, si le séisme n'a pas provoqué de dégâts, le coût d'arrêt d'exploitation est prohibitif. C'est pour cela qu'en France, il n'y a pas d'arrêt automatique sauf, par le passé, pour les réacteurs à neutrons rapides qui sont aujourd'hui en démantèlement.

1. Rôle de l'instrumentation sismique

En cas de séisme significatif ressenti sur le site d'une centrale, l'exploitant doit être immédiatement alerté et donc disposer d'alarmes et de mesures fournies par une instrumentation sismique appropriée, afin d'être en mesure de prendre rapidement les dispositions adéquates pour mettre et maintenir les tranches de la centrale dans l'état de sécurité considéré pour chacune d'elles comme le plus sûr après l'apparition du séisme ou pour en poursuivre l'exploitation.

L'instrumentation sismique aura donc notamment pour but le déclenchement d'alarmes avec indication immédiate du niveau d'un séisme perçu par la centrale et l'enregistrement des mouvements sismiques des structures qui constituent les données nécessaires à l'analyse du comportement des équipements importants pour la sûreté sous l'action du séisme ressenti. L'analyse des enregistrements précités pourra permettre, le cas échéant, la vérification des modélisations utilisées pour le calcul des structures.

Cette instrumentation devra être capable de fournir des mesures représentatives des mouvements du sol et de différents planchers des îlots nucléaires, afin de permettre l'application de consignes d'exploitation prévues en cas de séisme.

2. Caractéristiques, localisation en entretien de l'instrumentation sismique

2.1 Nature des informations fournies

Chaque site sera équipé d'un système d'instrumentation sismique capable de délivrer les informations suivantes :

- une alarme dans chaque salle de commande des tranches et des accélérogrammes obtenus, dès l'apparition d'un séisme significatif (accélération supérieure à 0,01 g),
- un affichage immédiat d'une information représentative du niveau de séisme ressenti,
- des enregistrements mécaniques des pics d'accélération permettant de confirmer les indications fournies par les enregistrements précédents.

2.2. Caractéristiques requises pour les matériels.

2.2.1. Enregistrement des accélérations.

Les accéléromètres triaxiaux donnent les accélérogrammes des composantes horizontales et verticales en champ libre et en certains points des ouvrages précisés au § 2.3. Les appareils permettant d'obtenir les enregistrements ont une bande passante couvrant la gamme des fréquences sismiques couramment retenues (0,1 à 35 Hz).

Cet appareillage permet de mesurer des accélérations avec une étendue d'échelle allant au minimum de 0,01 g à 1 g.

Un premier dépouillement de ces enregistrements devra pouvoir être effectué par l'exploitant sur le site.

La mise en marche des enregistrements se fait à partir de déclencheurs réglés à un seuil correspondant à un séisme significatif. Le dépassement de ce seuil engendrera une alarme en salle de commande de chaque tranche du site. Dans ce cas, les enregistrements seront poursuivis pendant une durée d'environ 30 secondes après l'apparition de la dernière secousse dont l'accélération dépasse 0,01 g. La bande passante des déclencheurs pourra être limitée à l'intervalle de 1 à 20 Hz afin d'éviter des déclenchements intempestifs par des phénomènes autres que des séismes.

Les appareillages précités auront une alimentation électrique autonome ou secourue.

2.2.2. Enregistrements mécaniques de pics d'accélération

Un certain nombre d'appareils de mesures complémentaires autonomes, simples, et ne nécessitant pas d'alimentation électrique permettent de fournir les valeurs maximales approximatives des accélérations ressenties en divers points des structures ; ils peuvent être composés d'une lame vibrante encastrée, de fréquence et amortissement donnés, permettant d'enregistrer à l'aide d'un stylet graveur l'accélération maximale atteinte.

2.3. Localisation des matériels.

Pour l'implantation des matériels de mesure sismique, on distingue deux types de sites :

- les sites dits homogènes dont les caractéristiques géologiques et géotechniques sont homogènes et dont la topographie de surface est régulière,
- les autres sites sont dits hétérogènes.

2.3.1. Sites homogènes

Sur un site homogène à plusieurs tranches, seule une tranche pourra être munie d'une instrumentation sismique.

Les **accéléromètres** triaxiaux seront localisés :

- au niveau du radier du bâtiment du réacteur,
- en un ou plusieurs niveaux du bâtiment du réacteur suffisamment élevés pour avoir des amplifications des accélérations significatives et également pour permettre d'estimer avec une meilleure précision les effets auxquels sont soumis certains composants importants pour la sûreté situés au-dessus du radier. Ces accéléromètres seront implantés approximativement sur la même verticale,
- au niveau du radier d'un autre bâtiment renfermant des systèmes importants pour la sûreté et dont les fondations sont différentes de celle du bâtiment du réacteur,
- en champ libre. Le champ libre correspond aux emplacements où le mouvement du sol peut être considéré comme non perturbé par la proximité des bâtiments lourds c'est-à-dire si sa distance par rapport aux bâtiments est au moins égale à 100 mètres pour les installations nucléaires.

Ces accéléromètres triaxiaux seront disposés de telle sorte que leurs trois directions orthogonales respectives coïncident entre elles suivant les axes principaux des bâtiments de la tranche instrumentée.

Les **déclencheurs** sont implantés :

- au niveau du radier du bâtiment du réacteur,
- au niveau du radier d'un autre bâtiment renfermant des systèmes importants pour la sûreté et dont les fondations sont différentes de celle du bâtiment du réacteur.

L'appareil de **surveillance**, situé dans ou à proximité de la salle de commande, fournira les accélérations maximales mesurées dans le bâtiment réacteur à un niveau suffisamment élevé.

Les **enregistreurs** mécaniques de pic d'accélération seront répartis de façon appropriée dans les installations et notamment sur le dôme du bâtiment du réacteur et en salle de commande.

2.3.2. Sites hétérogènes

Sur un site hétérogène, outre l'instrumentation prévue sur un site homogène, seront installés :

- un accéléromètre triaxial supplémentaire en champ libre placé dans une zone de caractéristiques géologique et mécanique ou de topographie différente de celle qui est déjà instrumentée,
- un accéléromètre triaxial au niveau du radier de chacun des bâtiments des réacteurs.

2.4. Entretien des matériels

La vérification du fonctionnement des divers appareils sont programmées pour s'assurer de leur aptitude à remplir leur fonction.

Ces contrôles périodiques, établis par l'exploitant portent notamment sur le fonctionnement des alarmes, la vérification et l'étalonnage des appareils, le fonctionnement des enregistreurs et des sources électriques d'alimentation.

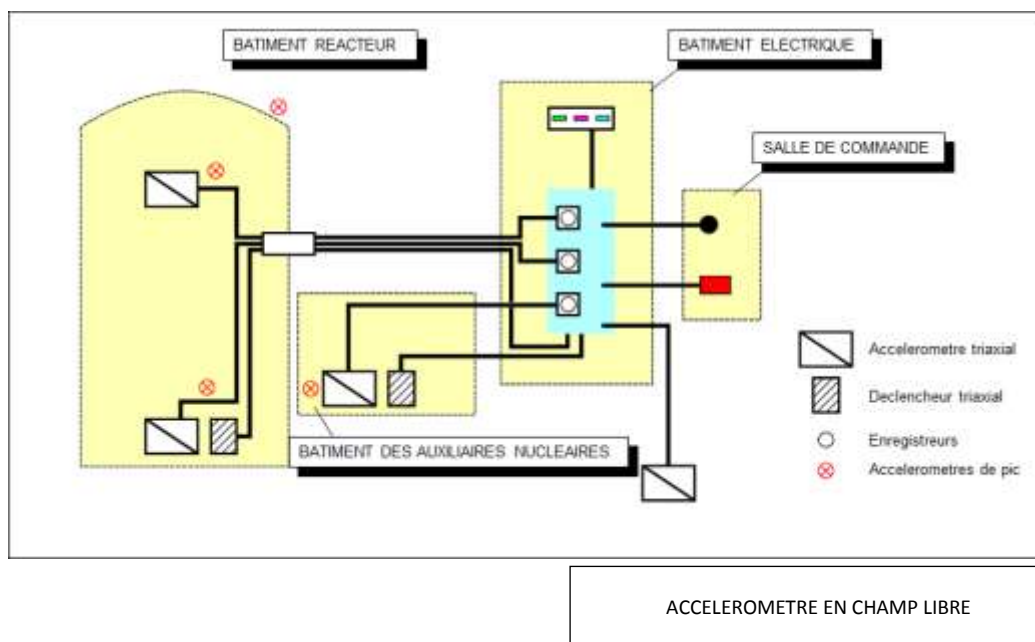
Des actions de formation du personnel sont entreprises régulièrement et des exercices d'alerte peuvent également être déclenchés soit en interne soit à l'initiative de l'Autorité de sûreté.

2.5. Conduite après un séisme

En cas de dépassement significatif du niveau de séisme provoquant une alarme, engendrée par les déclencheurs, en salle de commande des diverses tranches du site, la lecture des données fournies par l'appareil de surveillance et, si nécessaire, un premier dépouillement des accélérogrammes enregistrés permettront de constater si le pic d'accélération correspondant au spectre d'amplitude moitié du spectre de dimensionnement adapté au site est dépassé en l'un quelconque des points de mesure.

En cas de dépassement du niveau de séisme correspondant au spectre d'amplitude moitié du spectre de dimensionnement adapté au site sur l'une quelconque des mesures, l'exploitant devra immédiatement rejoindre l'état de sécurité considéré, pour chaque tranche, comme le plus sûr.

La reprise de l'exploitation ne pourra être effectuée qu'après justification auprès de l'Autorité de sûreté des installations nucléaires (ASN) de l'innocuité du séisme sur le comportement ultérieur de l'installation.



2.6. Retour d'expérience

Le dernier séisme d'intensité importante survenu en Alsace est le séisme de Sierentz du 15 juillet 1980 de magnitude locale ML 4,9. Son intensité épicentrale a atteint VI-VII MSK correspondant à de légers dommages (chutes de tuiles, fissuration et chutes de parties de cheminées, fissuration de murs...). Cet événement très fortement ressenti dans tout le département du Haut-Rhin, ainsi que dans le Territoire-de-Belfort, les Vosges, le nord-ouest de la Suisse et le sud-ouest de l'Allemagne, a également été ressenti plus faiblement dans le Bas-Rhin, dans le Doubs, en Haute-Saône, en Moselle et en Meurthe-et-Moselle. Il a été suivi par pas moins de huit répliques d'intensité épicentrale supérieure ou égale à IV MSK.

Ce séisme a été ressenti à la centrale nucléaire de Fessenheim et l'accélération enregistrée était de 0.018g donc supérieure à la limite de déclenchement de l'accéléromètre en champ libre (0.01g). Il n'y a eu aucun dégât compte tenu de la faiblesse de la secousse mais il a permis d'avoir les enregistrements aux endroits stratégiques de la centrale et de valider les méthodes de calculs en comparant les spectres de dimensionnement et les enregistrements réels. A noter que la secousse a provoqué un arrêt d'urgence non pas à cause du séisme mais par mise en survitesse de la turbine de la salle des machines. C'est le seul séisme enregistré dans une centrale française ayant entraîné un dépassement de seuil.

Annexe 2 - Description des dispositifs et instrumentations disponibles

1. Sismomètres et accéléromètres

La très grande majorité des instruments de mesure des mouvements du sol employés en sismologie repose sur le principe simple d'un dispositif « masse – ressort – amortisseur » dont le support est solidaire avec le sol. C'est le mouvement relatif de la masse par rapport au sol qui est mesuré directement ou indirectement. Au cours de l'histoire de la sismologie, différents systèmes (mécanique, optique, électrique, électronique analogique ou numérique...) ont été mis en œuvre pour enregistrer les mouvements.

Selon la fréquence propre du système « masse – ressort – amortisseur » qui a un impact direct sur la sensibilité du dispositif, il est possible de distinguer deux grandes familles d'instrument de mesure :

- Les vélocimètres (encore appelés sismomètres) qui mesurent la vitesse de déplacement du sol. Ils sont très sensibles et saturent pour des mouvements moyens à forts. Ils sont réservés à l'analyse des mouvements faibles.
- Les accéléromètres qui mesurent l'accélération du sol. Ils sont réservés à la mesure des mouvements modérés à forts. Selon leur configuration, ils peuvent enregistrer des mouvements en deçà du mg jusqu'à plusieurs g.

Ce sont les accéléromètres qui doivent être retenus pour l'équipement des chaînes de mise en sécurité des installations ou pour déclencher les actions manuelles par les opérateurs .

2. Différents types d'accéléromètres

Les accéléromètres permettant de disposer de la plus grande dynamique sont, à l'heure de la rédaction du présent guide, les accéléromètres à asservissement ou à contre-réaction (« forced-balanced ») dans lesquels un dispositif complémentaire analyse le déplacement instantané de la masse et pilote un système de rappel de la masse vers sa position initiale. C'est l'énergie nécessaire au maintien de la masse dans cette position qui est alors mesurée et est représentative du mouvement du sol. La dynamique qu'autorise ce type de matériel n'est toutefois pas nécessairement utile pour les applications visées par le présent guide.

En parallèle de ces systèmes classiques « macroscopiques » largement utilisés en sismologie, il est important de mentionner les accéléromètres de type « MEMS » (Microsystème électromécanique : « MicroElectroMechanical Systems ») dans lesquels des composants de très petite taille, associés à un principe de mesure capacitif, permettent également la mesure de l'accélération. A l'heure de la rédaction du présent guide, ces dispositifs sont moins sensibles que les accéléromètres classiques. Toutefois, leur sensibilité est désormais suffisante pour les applications de mise en sécurité discutées dans ce guide. Par ailleurs, la très large diffusion de ces dispositifs (aéronautique, système d'air-bag, smartphone...) implique que le niveau de qualification de démonstration de la fiabilité des MEMS est aujourd'hui supérieur aux accéléromètres classiques. La plupart des constructeurs de dispositifs accélérométriques associés à la gestion de seuils de déclenchement proposent aujourd'hui des accéléromètres de type MEMS.

Les accéléromètres peuvent être mono-composantes (mesure de l'accélération dans une direction unique) ou tri-composantes (mesure de l'accélération dans les trois directions de l'espace : il s'agit ici en fait de dispositif intégrant trois accéléromètres au sens strict dans un même boîtier).

3. Unités d'analyse et d'acquisition : fonctions possibles

Les accéléromètres sont généralement associés à des unités d'analyse et d'acquisition qui peuvent assurer différentes fonctions :

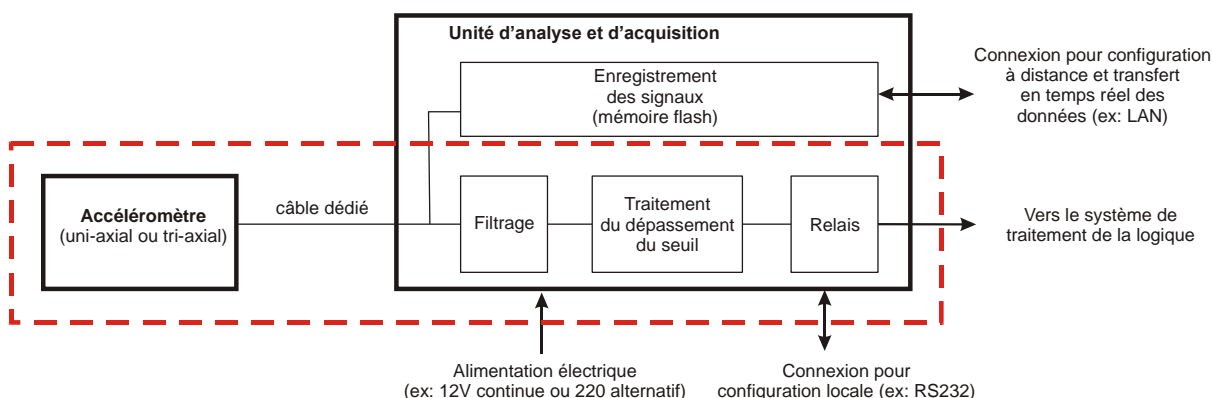
- alimentation en énergie de l'accéléromètre,
- conversion analogique numérique du signal selon le dispositif,
- filtrage (analogique ou numérique) des signaux mesurés,
- analyse (analogique ou numérique) des signaux pour l'ouverture ou la fermeture de relais en cas de dépassement d'un seuil déterminé (c'est bien sûr ici la principale fonction qui nous intéresse dans ce guide),
- enregistrement (aujourd'hui essentiellement numérique) des signaux, soit uniquement des événements dépassant certains critères ou bien, enregistrement continu (compte tenu de faible coût, de la fiabilité et de la capacité des moyens de stockage de type mémoire « flash », l'enregistrement continu n'est plus une contrainte et est largement privilégié pour les équipements neufs).
- système informatique permettant, via différents protocoles (RS232, LAN, etc.) la configuration des précédentes fonctions, le diagnostic, le routage des enregistrements vers des serveurs de données distants, etc.

Les accéléromètres peuvent être insérés dans le boîtier des unités d'acquisition ce qui évite d'avoir un câble externe reliant accéléromètre et l'unité d'analyse.

A l'intérieur d'une unité d'analyse et d'acquisition, les différentes fonctions peuvent faire appel à des technologies différentes impliquant des niveaux de qualification et de fiabilité différents.

La partie d'analyse des signaux associée au déclenchement d'actions de mise en sécurité (ouverture / fermeture de contacts secs au-delà d'un certain seuil) peut être réalisée avec un système numérique simple et de bas niveau, voire avec un système analogique permettant une qualification associée à un haut niveau de fiabilité. La partie enregistrement des signaux, supervision globale, qui n'est pas directement associée à des fonctions de sécurité peut correspondre à un système numérique de plus haut niveau, piloté par un système d'exploitation standard.

Il est important que le dispositif d'analyse permettant le traitement des dépassements des seuils présente une bonne fiabilité. Par ailleurs, le délai de traitement des seuils (entre le dépassement effectif d'une accélération donnée au niveau du sol et l'ouverture / fermeture du relais) doit être pris en compte. Selon les dispositifs, ce temps peut aller de quelques dizaines de ms à plus d'une seconde. Dans le cas d'une stratégie de mise en sécurité anticipée « sur onde P », ce point peut être particulièrement critique.



Bloc diagramme de l'ensemble « accéléromètre – unité d'analyse et d'acquisition ». Ici, l'accéléromètre est à l'extérieur de l'unité d'analyse et d'acquisition. Les composants entourés d'un tireté rouge sont ceux dont le niveau de qualification doit être le plus élevé.

Fondamentalement, seule la fonction d'analyse du signal en vue d'actions déclenchées sur seuils ou d'avertissement des opérateurs est indispensable au vue des objectifs du présent guide. En ce sens, l'enregistrement de signaux complets (et a fortiori l'enregistrement continu des mouvements du sol) peut paraître superflu. Néanmoins, compte tenu des dispositifs aujourd'hui disponibles, nous considérons que l'enregistrement des signaux présente des avantages importants qu'il convient de considérer :

- en cas de mouvements forts, le fait de disposer de signaux enregistrés permettra un meilleur diagnostic a posteriori du comportement de l'installation lors du séisme,
- en cas de séisme notable dans une région donnée mais qui n'a pas engendré de dépassement de seuils sur le site considéré, le fait de bénéficier d'enregistrements (dont le maximum est donc en deçà des seuils de mise en sécurité) permet de faire la démonstration aux autorités de régulation et au grand public que le système était opérationnel et de justifier ainsi la non mise en sécurité de l'installation,
- le fait de pouvoir analyser et visualiser en temps réel le mouvement du sol est l'un des éléments permettant de s'assurer du bon fonctionnement du dispositif.

On notera que s'il est décidé de procéder à des enregistrements de signaux complets sur seuils (donc sans toutefois choisir un enregistrement continu), les seuils d'enregistrement retenus ne correspondent en rien avec ceux associés aux mises en sécurité automatique. On pourra, par exemple, choisir des seuils d'enregistrement significativement plus bas que ceux retenus pour les actions de sécurité.

Avec les systèmes actuellement disponibles sur le marché, l'enregistrement des signaux de quelques dizaines de secondes avant le dépassement du seuil à quelques minutes après ne pose pas de difficulté.

4. Architectures possibles

Différentes approches pour intégrer les dispositifs accélérométriques dans le système de traitement de la logique de l'installation peuvent être abordées.

Les accéléromètres, au sens strict, peuvent être directement intégrés mais le type d'information qu'ils génèrent (tensions variables oscillant rapidement jusqu'à des fréquences de quelques dizaines de Hz) est délicat à traiter directement par les systèmes classiques de traitement de logique.

Sauf exceptions, on privilégiera donc l'utilisation d'unité d'analyse et d'acquisition qui se chargeront de traiter les signaux générés par les accéléromètres et restitueront l'information au système de traitement de la logique sous forme d'un contact sec (relais d'ouvrant dans le cas d'une logique positive ou de fermant en cas de dépassement du seuil).

L'accéléromètre peut être placé soit directement à l'intérieur de l'unité d'analyse et d'acquisition ou à proximité immédiate (les liaisons par câble se feront donc principalement avec les liaisons standard des systèmes de traitement de la logique). On peut également choisir d'utiliser des câbles de plus grande longueur entre accéléromètres et unités d'analyse et d'acquisition (jusqu'à quelques centaines de mètres) à condition de gérer les risques d'induction de forte tension due à la foudre (les fabricants d'accéléromètres disposent en général de dispositif de protection ad hoc). Cette solution sera probablement la plus facile à mettre en œuvre dans le cas d'accéléromètres placés en champ libre à l'extérieur de tout bâtiment.

5. Installation des accéléromètres

L'installation des accéléromètres ne présentent pas de difficulté particulière. On fixe généralement une platine métallique (fournie par les constructeurs) au radier ou sur une dalle béton avec des chevilles métalliques à expansion traditionnelles. L'accéléromètre est ensuite vissé à cette platine. Il s'agira dans cette installation de respecter l'horizontalité du capteur (niveau à bulle généralement intégré) et de l'orienter (selon le Nord ou une direction privilégiée de l'installation).

Dans le cas d'une installation en champ libre sans structure préexistante, on conseille de réaliser un regard d'au moins 50 cm de profondeur au fond duquel une petite dalle béton (hors d'eau) aura été coulée, sans liaison avec les bords verticaux du regard. On conseille en outre la mise en place d'un grillage entourant le regard, à quelques mètres de ce dernier afin de limiter l'accès et donc les risques de faux-déclenchement.

6. Filtrage en fréquence

Les mouvements du sol peuvent être associés à des fréquences très différentes. Les fréquences qui peuvent effectivement « agresser » le génie civil et les équipements sont typiquement comprises entre 0,1 et 35 Hz alors que les instruments de mesure peuvent présenter des bandes passantes plus larges. Afin de limiter les risques de faux déclenchement par des « bruits parasites » qui seraient à une fréquence supérieure ou inférieure à la bande passante donnée ci-dessus, on pourra appliquer un filtrage en fréquence avant l'analyse du dépassement du seuil. Cette possibilité de filtrage est généralement présente dans les unités d'analyse et d'acquisition et est souvent configurable. Ce filtrage pourra d'ailleurs être « plus étroit » que la bande 0,2 et 35 Hz sans toutefois être réduite à moins de 1 - 20 Hz.

Annexe 3 - Normes de référence

- NF EN 61508 Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables, relatifs à la sécurité.
 - Partie 1 : prescriptions générales
 - Partie 2 : exigences pour les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité
 - Partie 3 : exigences concernant les logiciels
 - Partie 4 : définitions et abréviations
 - Partie 5 : exemples de méthodes de détermination des niveaux d'intégrité de sécurité
 - Partie 6 : lignes directrices pour l'application de la CEI 61508-2 et CEI 61508-3
 - Partie 7 : présentation de techniques et mesures

- NF EN 61511 Sécurité fonctionnelle : Systèmes instrumentés de sécurité pour les industries de transformation.
 - Partie 1 : cadre, définitions, exigences pour le système, le matériel et le logiciel
 - Partie 2 : lignes directrices pour l'application de la CEI 61511-1
 - Partie 3 : conseils pour la détermination des niveaux d'intégrité de sécurité

- EN ISO 13849 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité (ex EN 954).
 - Partie 1 : principes généraux de construction
 - Partie 2 : validation

Annexe 4 – Contraintes d'architecture

Dans un but de fiabilité et/ou de disponibilité de l'installation, il est possible de réaliser différentes architectures sur chaque sous-système :

- 1oo1 (**1 out of 1** ou 1 parmi 1) : chaque élément est unique.
- 1oo2 : 2 sous-systèmes sont en redondance. Il y a déclenchement si au moins l'un des deux détecte une situation l'exigeant.

Dans ce cas la sécurité est privilégiée mais les déclenchements intempestifs peuvent être plus nombreux.

- 1oo2D (d pour diagnostics) : un auto diagnostic est intégré permettant de déceler une dérive de l'un des éléments. Il y a déclenchement si au moins l'un des deux (*non diagnostiqué en défaut*) détecte une situation l'exigeant.

Dans ce cas la sécurité est privilégiée mais les déclenchements intempestifs sont moins nombreux.

- 2oo2 : 2 sous-systèmes sont en redondance. Il y a déclenchement si les deux détectent simultanément. Non recommandé.
- 2oo3 : 3 sous-systèmes sont en redondance. Il y a déclenchement si deux d'entre eux détectent simultanément une situation l'exigeant. Dans ce cas la sécurité est accrue ainsi que la disponibilité (moins de déclenchements intempestifs). L'installation est cependant plus complexe.
- NooM (avec $N < M$) : de manière générale, N sous-systèmes en redondance dans un ensemble plus vaste.

Ces architectures sont l'équivalent des votes (1/2, 2/3 etc.).

La redondance peut être homogène (par exemple 2 capteurs identiques, 2 vannes TOR) ou hétérogène (fermeture d'une vanne TOR et arrêt d'une pompe par exemple pour les actionneurs, si chacun des organes suffit à mettre en sécurité l'installation), on parle alors également de diversification.

Annexe 5 - Études de cas : Exemple d'un stockage de gaz

SOMMAIRE :

1-INTRODUCTION

- 1.1-Principe général de mise en sécurité du site
- 1.2-Principe de mise en sécurité du site de stockage spécifiquement pour le risque sismique
- 1.3-Limites de l'annexe
- 1.4-Maintenance

2-INSTALLATIONS EXISTANTES ET IDENTIFICATION DES ÉQUIPEMENTS À PROTÉGER

3-DÉTECTION LOGIQUE ET IMPLANTATION DES CAPTEURS

- 3.1-Description des capteurs
- 3.2-Description de l'automate de sécurité (APS ESD)
- 3.3-Test de fonctionnement
- 3.4-Stratégie de vote
- 3.5-Enregistrement des données accélérométriques du site

4-INTÉGRATION DANS L'EXISTANT

5-ACTIONNEURS

- 5.1-Vanne de coupure
- 5.2-Lien entre l'APS et la vanne
- 5.3-Réarmement de la vanne

SIGLES ET LEXIQUE

1. Introduction

La présente annexe est une étude sur plan visant à installer un dispositif de mise en sécurité automatisé à l'aide de capteurs sismiques pour un stockage souterrain de gaz naturel. Le but de cette annexe est de proposer des dispositions de mise en sécurité en cas de séisme, selon la réglementation en vigueur à la date de parution du guide et ce, à l'aide de la méthodologie décrite dans le corps du texte de ce guide.

On considère que le stockage souterrain est un projet neuf, situé en zone de sismicité 4 selon le décret du 22 octobre 2010. On suppose que le site de stockage est soumis à l'arrêté du 24 janvier 2011, car la présence de certaines installations le classe SEVESO AS.

Les installations d'un site de stockage ont pour objectif d'injecter ou de soutirer du gaz stocké en sous-sol, et aussi de l'acheminer au réseau de transport.

- En phase de soutirage, le gaz est désulfuré (le cas échéant), déshydraté, odorisé puis compté avant d'être livré au réseau de transport.
- En phase d'injection, le gaz est compté depuis le réseau de transport, comprimé (le cas échéant), puis injecté dans le sous-sol par des puits d'exploitation via des réseaux de canalisation (collecte).

La salle de contrôle du site permet de contrôler le bon fonctionnement des installations et de les opérer à distance. Il y a un opérateur présent à tout moment dans la salle de contrôle.

Il existe des stockages en nappes aquifères et en cavité saline. On se place, pour le cas théorique présenté, dans la situation d'un stockage en cavité saline. Les schémas de la Figure 1 (a.) et (b.) donnent un aperçu d'une coupe d'un stockage en cavité saline et d'une coupe de cavité.

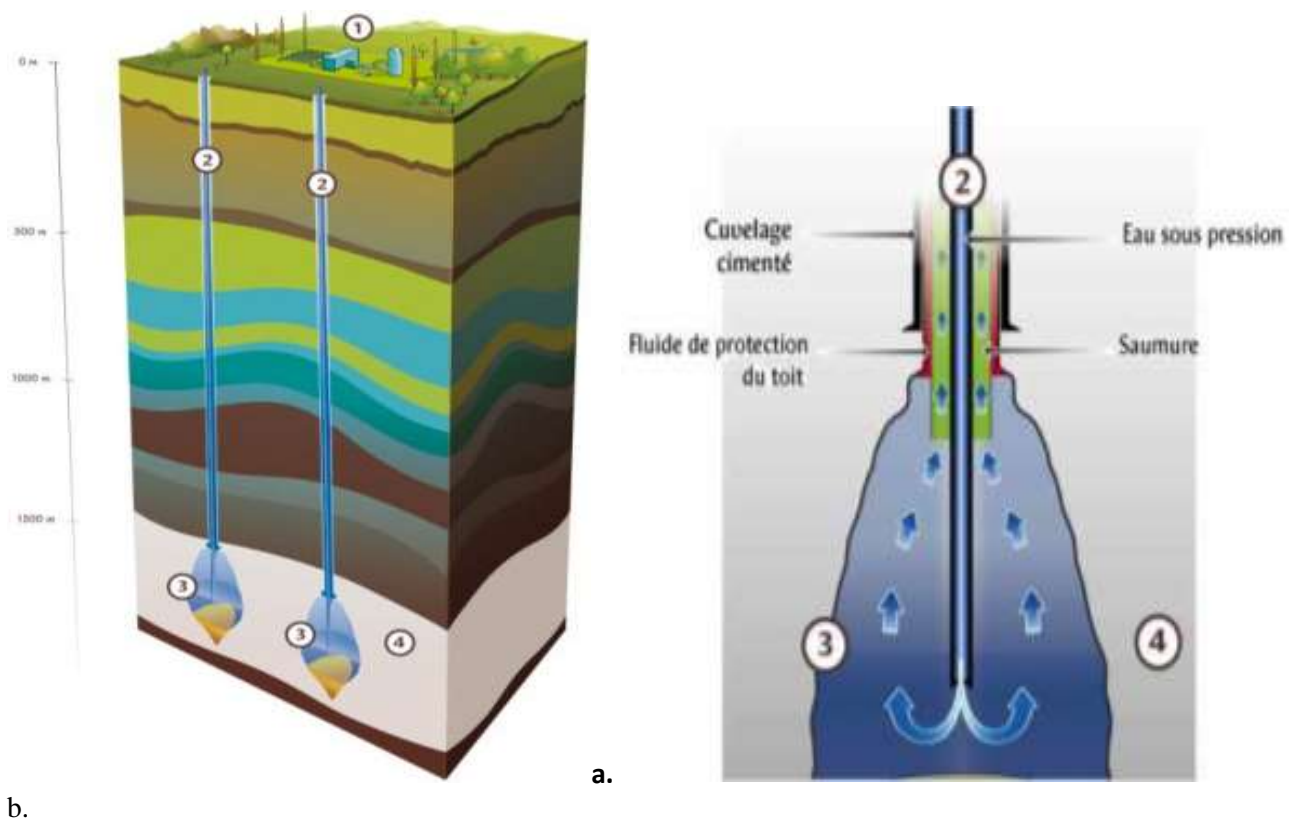


Figure 1 (a.) Coupe schématique d'un stockage en cavité saline. (1) Station centrale, (2) Puits d'exploitation, (3) Cavité saline, (4) Couche sel de gemme.

(b.) Puits d'une cavité saline. (2) Puits d'exploitation, (3) Cavité saline, (4) Couche sel de gemme.

1.1 Principe général de mise en sécurité du site

Comme décrit dans les études de dangers (EDD), un tel stockage se décompose fonctionnellement en cinq ateliers¹⁸ comme suit :

- atelier Réservoir : cet atelier comprend les installations méthanol, rampes de comptage, manifold puits et plateforme puits,
- atelier Traitement : cet atelier comprend la désulfuration (uniquement pour les stockages en nappe aquifère), la déshydratation et leurs auxiliaires,
- atelier Compression : cet atelier est constitué de machines de compression utilisées pour la compression à l'injection et éventuellement pour la compression en fin de soutirage,
- atelier Interconnexion : cet atelier est constitué de canalisations permettant de relier le stockage au réseau de transport,
- atelier Services : cet atelier comprend les installations auxiliaires nécessaires au fonctionnement des autres ateliers (gaz carburant, air service, odorisation et contrôle du gaz, etc.).

Le principe général de mise en sécurité des installations est l'isolement automatique de l'atelier (ou des ateliers) concerné(s), suite à détection d'un phénomène dangereux. Dans certains cas, l'atelier peut être décomprimé automatiquement.

Les équipements (puits, collectes, stations) peuvent être mis en sécurité automatiquement dans des situations ultimes :

- isolement de l'atelier : Mise en Sécurité Atelier – MSA,
- isolement et mise à l'évent vers une plate-forme d'évent dédiée : Mise en Sécurité Ultime – MSU,
- isolement vis-à-vis du réservoir : Mise en Sécurité Puits – MSP,
- isolement vis-à-vis du réseau de transport : Mise en Sécurité Transport Stockage – MSTs.

Par exemple, un feu gaz s'arrêtera de lui-même par manque de combustible (phénomène à cinétique rapide). Les actions de mise en sécurité automatiques, sont aussi possibles depuis la Salle de Contrôle via l'opérateur (redondance).

Pour les puits (voir la Figure 2 pour leur répartition géographique), un organe de sécurité de subsurface situé à 30 m de profondeur (robinet), isole automatiquement le puits en cas de chute anormale de pression en tête de puits. Cette Mise en Sécurité Puits (MSP) est aussi possible depuis la salle de contrôle en redondance.

La canalisation vers le réseau de transport (stockage en antenne) est interruptible par une vanne de Mise en Sécurité Transport Stockage (MSTs) prise dans un massif béton et enterrée. Cette mise en sécurité réseau transport (MSTs) est aussi possible depuis la salle de contrôle en redondance.

Les commandes des vannes d'isolement sont à sécurité positive (mise en position de sécurité en cas de perte de fluide moteur) avec une seule chaîne de commande.

La mise en sécurité du site est donc, en base, assurée par des matériels de sécurité autonomes et indépendants, fonctionnant selon le principe de la sécurité positive. De plus, la présence d'un agent de conduite en permanence (24h/24h), en salle de contrôle contribue à la sécurité du site. En effet, la salle de contrôle est le lieu où peuvent être déclenchés les dispositifs d'isolement des différents ateliers du site en redondance.

¹⁸ Le terme atelier est réservé aux cinq fonctions du stockage qui sont : « Réservoir » ; « Traitement » ; « Compression » ; « Interconnexion » ; « Service ». Les puits font partie de l'atelier réservoir. La plate-forme d'évent n'est pas un atelier.

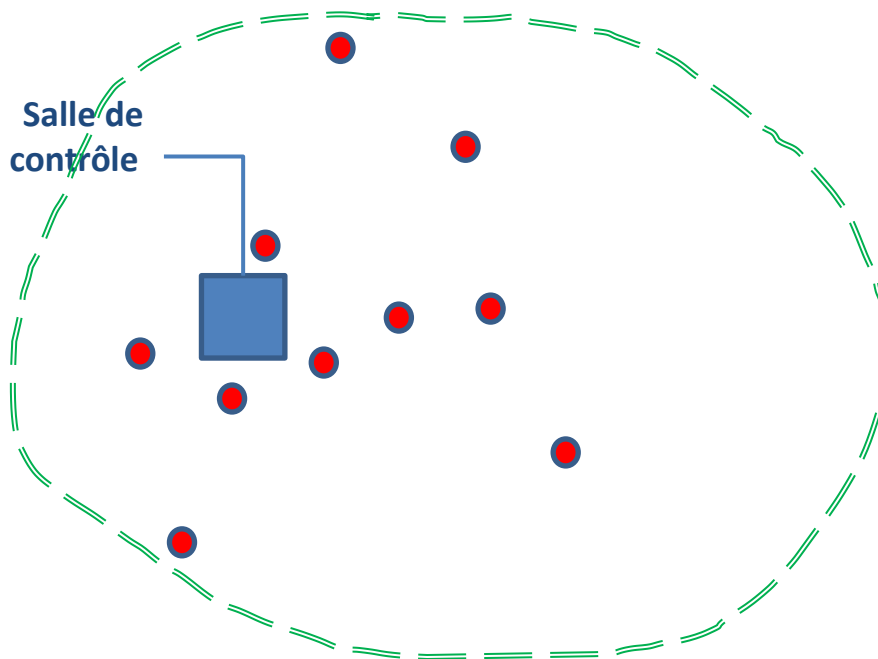


Figure 2. Schéma du site de stockage. Limite du site (trait pointillé). Salle de contrôle (carré). Implantation des têtes de puits (points).

1.2 Principe de mise en sécurité du site de stockage spécifiquement pour le risque sismique

Les équipements classés risque spécial et reliés au dispositif de mise en sécurité automatisé via l'automate de sécurité situé en salle de contrôle et à sécurité positive sont :

- les vannes de sectionnement transport stockage¹⁹,
- les vannes de subsurface puits et
- la salle de contrôle.

1.3 Limites de l'annexe

La présente annexe se limite à justifier une méthodologie de mise en sécurité de l'installation et ne dépasse pas ce cadre. La tenue des équipements est supposée validée et est traitée par ailleurs.

De même, il n'est pas apporté de justifications quant à la suffisance des dispositions prises vis-à-vis de l'impact résiduel car ce n'est pas l'objet de cette annexe. On suppose qu'en cas de séisme, avec les mesures prises et décrites dans cette annexe, les effets ne sortent pas des limites du site ou n'atteignent pas de lieu d'occupation humaine permanente.

1.4 Maintenance

Les opérations détaillées de maintenance des capteurs ne sont pas rédigées dans la présente annexe. En effet, ces opérations dépendent du matériel qui serait choisi le cas échéant. Les préconisations de maintenance seront explicitées au moment de la mise en œuvre réelle.

L'étalonnage est en général effectué par un laboratoire accrédité.

2. Installations existantes et identification des équipements à protéger

On donne au schéma de la Figure 3, une vue partielle des équipements supposés existants qu'il convient d'isoler en cas de survenue d'un séisme. Sur ce schéma sont représentées les chaînes logiques qui interagissent entre elles. La chaîne logique est à sécurité positive.

¹⁹ Ces vannes ne sont pas directement reliées à l'APS mais y sont reliées par l'intermédiaire de la chaîne à sécurité positive.

Deux chaînes de sécurité sont définies :

- La sécurité PSD (Process Shut Down)
- La sécurité ESD (Emergency Shut Down, sécurité de haut niveau dans laquelle sera intégrée la détection sismique)

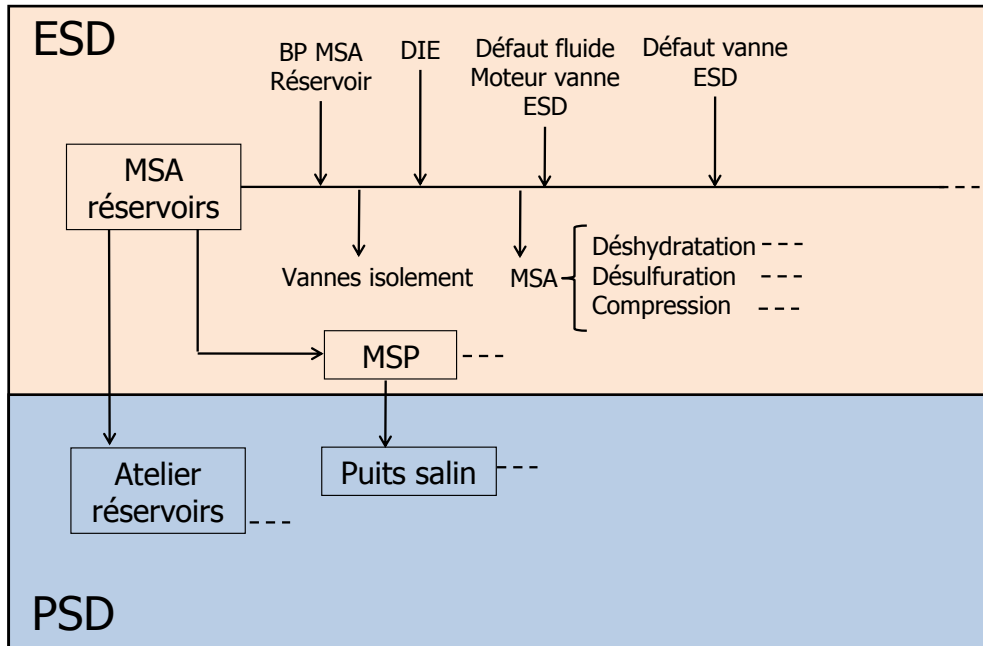


Figure 3. Schéma partiel de la mise en œuvre de la sécurité avec les automates ESD/PSD : Emergency Shut Down / Process Shut Down. On ne représente que l'essentiel de la chaîne logique. Les lignes en trait pointillé représentent les connexions avec les autres parties de l'installation (non représentées).

Concernant le schéma de la Figure 3, il est à noter que la mise en sécurité (MSA) Réservoir provoque l'arrêt d'urgence (AU) de l'Atelier réservoir ainsi que la mise en sécurité (MSP) Puits, et cette dernière provoque l'arrêt d'urgence (AU) Puits.

Ces indications n'ayant pas été reportées afin de ne pas alourdir le schéma de la Figure 3.

3. Détection logique et implantation des capteurs

3.1 Description des capteurs

Le capteur est composé d'un accéléromètre qui va convertir l'information d'un système masse-ressort amorti en signal électrique et d'une station d'acquisition qui va convertir le signal électrique en accélération. La centrale d'acquisition effectue le traitement du signal et est capable d'envoyer à l'automate de sécurité un signal-seuil de déclenchement de la mise en repli de l'installation. La centrale d'acquisition doit envoyer un signal d'alerte lors d'une perte de signal d'un ou des accéléromètres (garantie de sécurité positive).

Le seuil du capteur est fixé forfaitairement à 0,01 g pour tout le site du stockage. Les capteurs seront placés selon le schéma de la Figure 4, loin de tout élément perturbateur tel que les passages de route, les rails de chemin de fer, les engins de chantier, les compresseurs et autres éléments générant des vibrations.

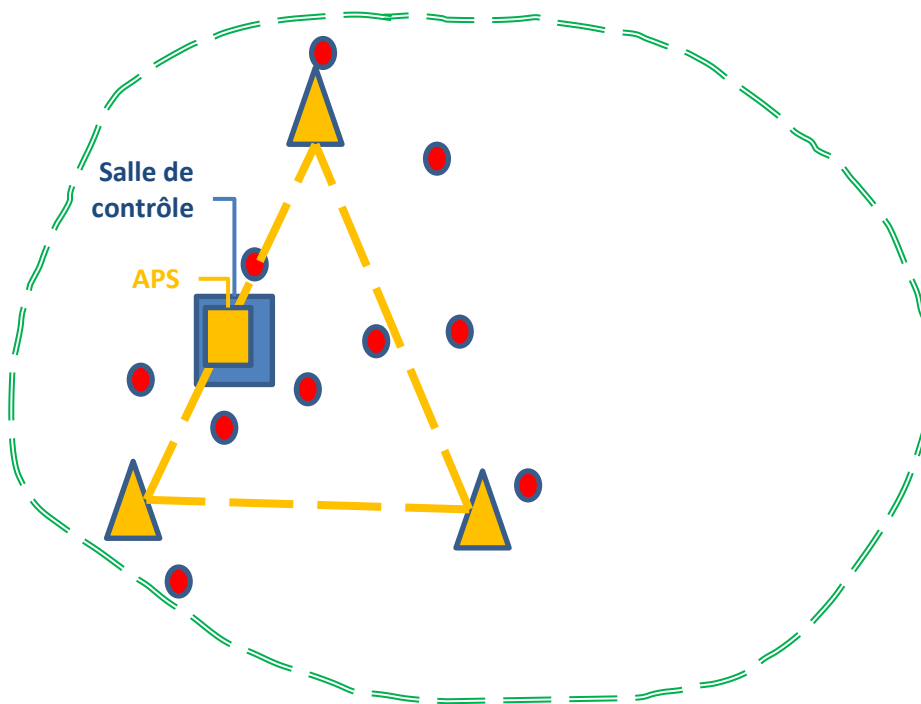


Figure 4. Implantation schématique de la logique de commande des capteurs (triangles). L'Automate de Sécurité (APS, petit carré dans le grand carré) est situé en salle de contrôle.

3.2 Description de l'automate de sécurité (APS ESD)

En ce qui concerne l'automate de sécurité (APS ESD), toutes les boucles de sécurité ESD sont certifiées par un organisme indépendant selon l'IEC 61508 pour permettre le traitement de fonctions de sécurité ESD SIL2. Ces APS ESD sont dédiés et indépendants des autres automatismes de pilotage et de sécurité PSD (Process Shut Down).

Les APS ESD sont redondés en alimentation, CPU et carte de communication. Ils sont connectés à un réseau sécurité ESD double anneaux.

3.3 Test de fonctionnement

Afin de vérifier périodiquement le fonctionnement des capteurs, il est possible d'implémenter un test qui envoie un signal de déclenchement.

3.4 Stratégie de vote

Nous retenons dans cette étude de faire du vote en 2oo3 (2 out of 3) pour les capteurs. Cette stratégie permet d'éviter les déclenchements intempestifs. On peut éventuellement prévoir un 4^{ème} capteur afin d'avoir un capteur à disposition lorsque le 3^{ème} est en phase de maintenance.

3.5 Enregistrement des données accélérométriques du site

Il peut être intéressant de relever et d'enregistrer les données accélérométriques afin de conserver leur historique. Cependant, il est conseillé de séparer la partie logique dédiée au déclenchement de la mise en repli de la partie logique dédiée à l'enregistrement pur et simple des données accélérométriques.

4. Intégration dans l'existant

Sur le schéma de la Figure 5, on fait apparaître l'insertion du signal envoyé par le capteur dans la logique de commande existante. On distinguera les deux parties dédiées l'une à l'envoi du signal de déclenchement de la mise en repli, l'autre – non représentée sur la figure – dédiée à l'enregistrement des données pour archivage.

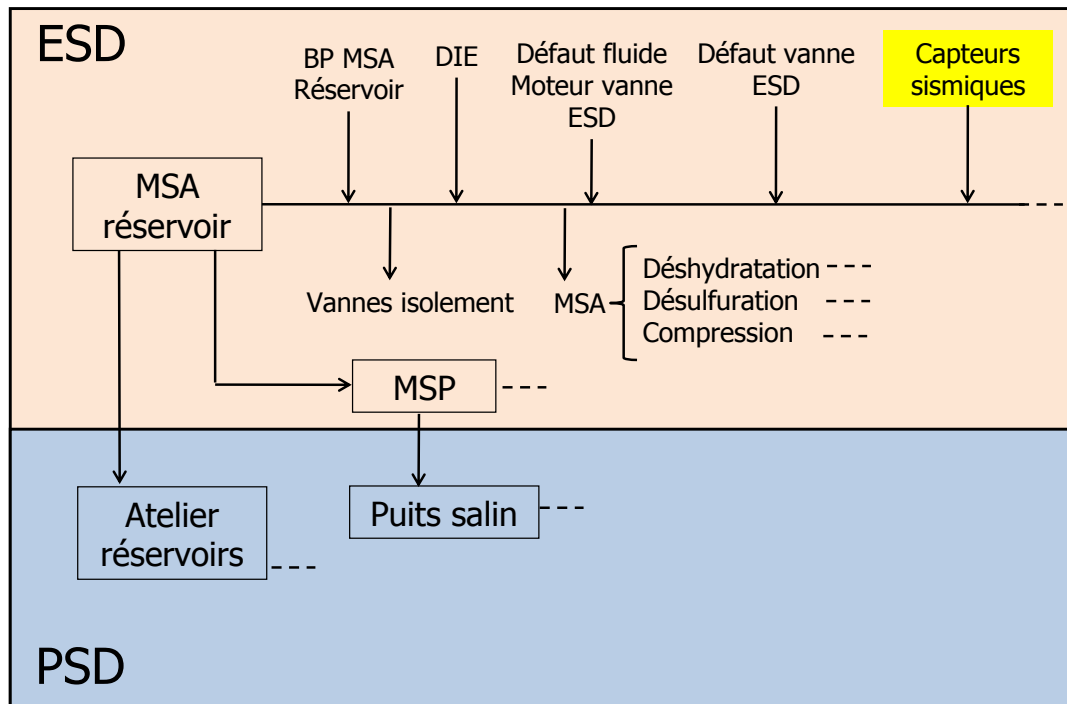


Figure 5. Schéma ESD/PSD avec lien capteurs sismiques

5. Actionneurs

5.1 Vanne de coupure

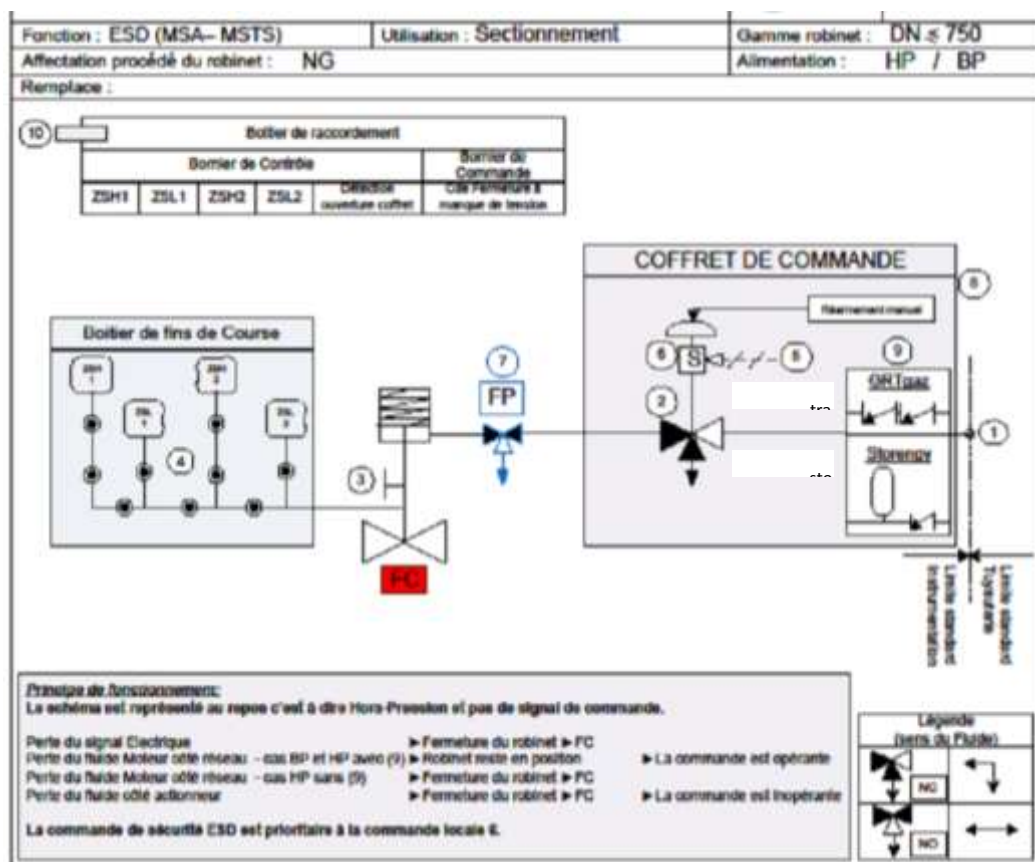


Figure 6. Schéma d'un actionneur pneumatique simple effet utilisé en sectionnement entre le réseau transport et le stockage.



Figure 7. Enterrement d'une vanne de mise en sécurité.

5.2 Lien entre l'APS et la vanne

- La vanne est maintenue ouverte via une sortie TOR 24 Vcc alimentant une électrovanne sur l'actionneur de la vanne de sécurité. L'APS met cette sortie à 0 sur déclenchement de sécurité.
- Logique de sécurité entre APS et vanne à manque.
- La vanne est à sécurité positive comme le montre le schéma de la Figure 6.

Un calcul de dimensionnement au séisme de l'ensemble (sol ; tronçon de tuyauterie ; massif support en béton) a été réalisé en dynamique temporelle et prouve la tenue de l'ensemble. Un calcul de vérification au glissement du massif support a été réalisé et prouve la tenue au glissement du massif support (voir Figure 7).

5.3 Réarmement de la vanne

Il est possible malgré toutes les précautions citées plus haut qu'un déclenchement intempestif intervienne et qu'une vanne soit fermée suite à l'envoi d'un signal par l'APS. Il est donc utile de prévoir dans la mise en œuvre des actionneurs une temporisation pour permettre une levée de doute par l'opérateur en salle de contrôle.

Durant ce temps, l'opérateur peut arrêter le déclenchement des fonctions de sécurité ou l'activer immédiatement sans attendre la fin de la temporisation.

Sigles et lexique

APS : Automates Programmables de Sécurité

BP : Bouton-Poussoir

DIE : Détection Incendie Extérieure

EDD : Étude De Dangers

ESD : Emergency Shut Down ;

MSA : Mise en Sécurité Atelier (par exemple, Atelier Compression, Atelier Déshydratation, etc.)

MSP : Mise en Sécurité Puits (isolement des puits)

MSTS : Mise en Sécurité Transport Stockage (isolement des canalisations du réseau de transport)

MSU : Mise en sécurité ultime (mise à l'évent)

PSD : Process Shut Down