

La sécurité dans une centrale nucléaire

Information aux enseignants



1/7

Mandat de travail	Les élèves mettent dans le bon ordre les descriptions des différentes barrières de sécurité. Ils établissent un lien entre les principes de sécurité et leur mise en œuvre dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire.
Objectif	Les élèves sont capables de nommer et de distinguer les éléments de la sécurité passive et de la sécurité active.
Matériel	Fiches de travail Texte d'information Fiches de solutions
Forme didactique	Travail en groupe (de trois ou quatre élèves)
Durée	30'

Informations complémentaires:

- Les élèves réfléchissent aux principes de sécurité qui sont également utilisés dans d'autres domaines de la technique/du quotidien.
- Des informations complémentaires sont disponibles à la page: <https://www.kernenergie.ch/fr/Sicherheit-in-Kernkraftwerken.html>
- Des nombreuses informations, des rapports mais aussi des articles actualisés sur la sécurité des centrales nucléaires suisses sont disponibles sur le site de l'autorité de sûreté nucléaire suisse (Inspection fédérale de la sécurité nucléaire, IFSN): www.ifs.ch

La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de travail



2/7

Exercice:

Après avoir lu le texte d'information, indique quelle barrière de sécurité est décrite dans chacun des textes.

Les éléments de sécurité passifs



La barrière de sécurité la plus massive, d'une épaisseur de paroi comprise entre 1,5 et 2 mètres, est capable de résister à un crash d'avion.



Le manteau en acier de 20 à 25 cm d'épaisseur entoure les assemblages combustibles, les barres de commande et l'eau du circuit de refroidissement primaire. Avec la tuyauterie attenante, il enferme aussi les produits de fission gazeux qui s'échapperaient éventuellement des gaines et absorbe la majeure partie du rayonnement neutronique et du rayonnement gamma.



Cette cuve est à la fois étanche au gaz et résistante à la pression. Elle est en acier et possède une épaisseur de 4 cm. En cas de fuite dans le circuit primaire (= circuit du réacteur), elle est capable d'absorber et de garder le mélange eau/vapeur qui s'échappe avec les éventuelles substances radioactives qu'il contient.



Le combustible utilisé dans le cadre de la fission nucléaire est le dioxyde d'uranium, pressé en pastilles appelées «pellets» et cuit comme de la céramique. Ce traitement lui confère une structure cristalline solide qui retient les produits de fission radioactifs non gazeux (par ex. le baryum et le krypton).



Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.



Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.

La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de travail



3/7

Exercice:

Le texte suivant contient des exemples concrets de la manière dont fonctionnent les principes de sécurité mentionnés dans le texte d'information dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Attribue à chaque exemple le principe concerné. Plusieurs principes peuvent correspondre à un exemple.

Les éléments de sécurité actifs



En cas d'élévation importante de la température à l'intérieur du réacteur, de l'hydrogène – gaz inflammable – peut apparaître. Afin d'empêcher la formation d'un mélange détonant avec de l'oxygène, l'air présent dans l'enceinte de confinement durant l'exploitation est remplacé par de l'azote gazeux non inflammable.



Les barres de commande empêchent l'activité neutronique lorsqu'elles sont insérées entre les crayons combustibles. Dans le cas d'un réacteur à eau sous pression, les barres de commande sont «rangées» au-dessus des assemblages combustibles. Elles sont maintenues par le biais d'électroaimants. En cas de coupure d'électricité dans la centrale, les électroaimants s'arrêtent et les barres de commande tombent d'elles-mêmes entre les assemblages combustibles, en raison de la force gravitationnelle. En absorbant les neutrons, elles mettent un terme à la réaction nucléaire.



La centrale nucléaire de Gösgen compte au total onze pompes pour l'évacuation de la chaleur/de la chaleur de post-désintégration à l'extérieur du réacteur. Une seule de ces pompes suffit à garantir une évacuation suffisante.



Lorsque la réaction de fission devient trop intense à l'intérieur d'un réacteur, et que la quantité de chaleur qui apparaît est trop importante, l'eau de refroidissement commence à s'évaporer dans la partie des assemblages combustibles. Un mélange eau-gaz se forme alors. Etant donné que le gaz ne ralentit pas suffisamment les neutrons, la réaction de fission nucléaire est diminuée. Il en est de même en cas de perte de liquide de refroidissement en raison d'une fuite.



Au cours des dix premières heures suivant l'arrêt d'un réacteur, le refroidissement nécessaire des crayons combustibles est assuré sans qu'une intervention du personnel d'exploitation ne soit nécessaire.



Si un phénomène extérieur survient (chute d'avion, séisme, etc.) et que les installations techniques telles que l'approvisionnement électrique ou les pompes de refroidissement ne fonctionnent plus, le bâtiment abritant les systèmes d'urgence est utilisé. Celui-ci est conçu de sorte à résister à une chute d'avion ou à un violent séisme sans être endommagé. Il comprend, en double exemplaire, l'ensemble des dispositifs techniques nécessaires au refroidissement de secours du réacteur.

La sécurité dans une centrale nucléaire

Texte d'information



4/7

La sécurité dans une centrale nucléaire

La sécurité est un thème clé des débats autour des centrales nucléaires. Le paragraphe suivant explique ce que le terme de «sécurité» implique en termes de conception et d'exploitation d'une centrale nucléaire, ainsi que les dispositifs de sécurité techniques et les mesures qui garantissent que l'installation ne représente aucun danger pour l'environnement.

Le rayonnement en lien avec la radioactivité peut être nocif pour l'homme. C'est pourquoi, dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire, il est primordial qu'aucune substance radioactive ne s'échappe du réacteur (cette interdiction s'applique également pour les usines chimiques qui fonctionnent avec des substances hautement toxiques).

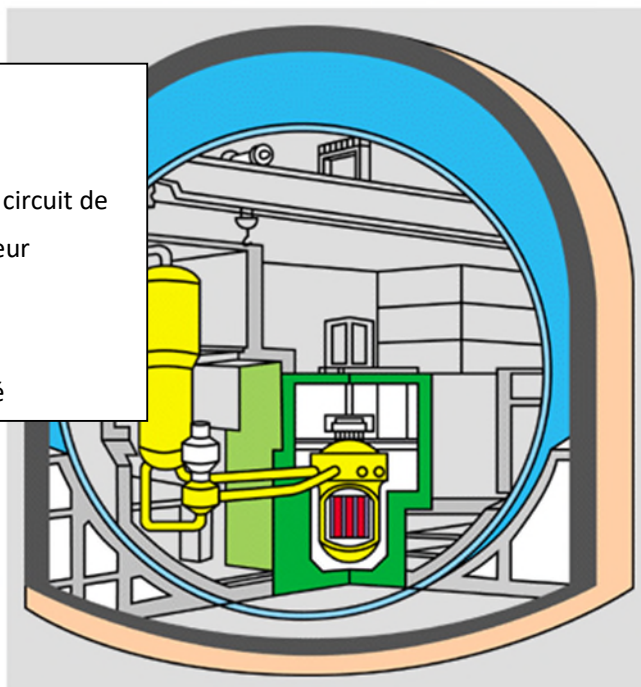
Les éléments de sécurité passifs (barrières de sécurité)

Pour empêcher qu'une substance ne soit rejetée dans l'environnement, celle-ci doit être parfaitement «emballée». Dans les réacteurs à eau légère utilisés en Europe occidentale, les substances et le rayonnement radioactifs sont contenus dans l'installation par le biais de six barrières de sécurité. Les voici, en partant de l'intérieur vers l'extérieur:

1. La structure cristalline rigide du combustible
2. Les gaines métalliques étanches au gaz des crayons combustibles
3. L'enveloppe qui entoure le circuit de refroidissement du réacteur (appelée cuve de pression dans les réacteurs à eau bouillante)
4. L'enveloppe en béton (également appelée écran thermique)
5. L'enceinte de confinement («Containment» en anglais)
6. L'enveloppe externe en béton armé

Sicherheitsbarrieren

- Combustible
- Gaine
- Enveloppe qui entoure le circuit de refroidissement du réacteur
- Protection en béton
- Enceinte de confinement
- Enveloppe en béton armé



La sécurité dans une centrale nucléaire

Texte d'information



5/7

Les éléments de sécurité actifs

Ces six barrières successives ne permettent pas pour autant de garantir à 100% le confinement sûr des matières radioactives. C'est pourquoi il est important qu'en plus de ces barrières, une exploitation fiable soit rendue possible grâce à la mise en œuvre de plusieurs principes :

1. Le principe de la sécurité en cas de défaillance: chaque erreur déclenche une réaction de protection immédiate (principe «Fail-Safe»).
2. Le principe selon lequel les parties d'installations sont redondantes et indépendantes les unes des autres (principe de redondance).
3. Le principe de l'analyse préventive des dysfonctionnements possibles et de la mise en place des contre-mesures nécessaires.
4. Le principe de la rétroaction passive: Les systèmes sont conçus de sorte qu'en cas de défaillance entraînant une évolution non souhaitable, ils ralentissent d'eux-mêmes.
5. Le principe de baisse des erreurs de commande en raison du déclenchement automatique de contre-mesures en cas de défaillance.

L'objectif: une gestion sûre des défaillances possibles

Les centrales nucléaires sont des installations techniques dans lesquelles fonctionnent des machines dans des conditions parfois extrêmes (pression et température élevées), et ce quasiment toute l'année. A chaque fois qu'il est question de machines, des dysfonctionnements peuvent survenir, et ce en dépit d'une qualité optimale du matériel et d'un personnel parfaitement formé. C'est le cas aussi dans les centrales nucléaires. De fait, l'objectif principal des mesures de sécurité consiste toujours à limiter les impacts d'une défaillance à la centrale nucléaire seule, quelles que soient les circonstances. Les environs de la centrale ne doivent en aucun cas être touchés.

Le principe de sécurité premier d'une centrale nucléaire

En cas de fonte du combustible suite à une surchauffe (fusion du cœur), et donc si celui-ci perd sa structure cristalline (1^{re} barrière), les matières radioactives qui s'échappent du réacteur nucléaire représentent un danger pour l'homme. Le dioxyde d'uranium ne peut alors plus retenir les produits de fission radioactifs. Le réacteur nucléaire doit donc être conçu de sorte à s'arrêter automatiquement en cas de surchauffe. Suite à un arrêt de la réaction de fission nucléaire, les crayons combustibles continuent cependant à produire une chaleur dite de post-désintégration, qui doit être évacuée au moyen d'un caloporteur afin d'éviter toute surchauffe ultérieure. Le refroidissement des crayons combustibles à l'arrêt doit donc lui aussi être assuré.

Résumé

Dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire, l'objectif principal est d'éviter toute fuite de radioactivité dans l'environnement. Pour ce faire, il convient d'empêcher une surchauffe et une fusion du cœur du réacteur. En cas de menace de surchauffe, le réacteur doit pouvoir être arrêté de manière sûre et rapide. Le refroidissement du réacteur à l'arrêt et l'évacuation de la chaleur de post-désintégration doivent être garantis.

La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de solutions



6/7

Solutions:

Les éléments de sécurité passifs

- 6 La barrière de sécurité la plus massive, d'une épaisseur de paroi comprise entre 1,5 et 2 mètres, est capable de résister à un crash d'avion.
- 3 Le manteau en acier de 20 à 25 cm d'épaisseur entoure les assemblages combustibles, les barres de commande et l'eau du circuit de refroidissement primaire. Avec la tuyauterie attenante, il enferme aussi les produits de fission gazeux qui s'échapperaient éventuellement des gaines et absorbe la majeure partie du rayonnement neutronique et du rayonnement gamma.
- 5 Cette cuve est à la fois étanche au gaz et résistante à la pression. Elle est en acier et possède une épaisseur de 4 cm. En cas de fuite dans le circuit primaire (= circuit du réacteur), elle est capable d'absorber et de garder le mélange eau/vapeur qui s'échappe avec les éventuelles substances radioactives qu'il contient.
- 1 Le combustible utilisé dans le cadre de la fission nucléaire est le dioxyde d'uranium, pressé en pastilles appelées «pellets» et cuit comme de la céramique. Ce traitement lui confère une structure cristalline solide qui retient les produits de fission radioactifs non gazeux (par ex. le baryum et le krypton).
- 4 Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.
- 2 Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.

La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de solutions



7/7

Les éléments de sécurité actifs

3

En cas d'élévation importante de la température à l'intérieur du réacteur, de l'hydrogène – gaz inflammable – peut apparaître. Afin d'empêcher la formation d'un mélange détonant avec de l'oxygène, l'air présent dans l'enceinte de confinement durant l'exploitation est remplacé par de l'azote gazeux non inflammable.

1

Les barres de commande empêchent l'activité neutronique lorsqu'elles sont insérées entre les crayons combustibles. Dans le cas d'un réacteur à eau sous pression, les barres de commande sont «rangées» au-dessus des assemblages combustibles. Elles sont maintenues par le biais d'électroaimants. En cas de coupure d'électricité dans la centrale, les électroaimants s'arrêtent et les barres de commande tombent d'elles-mêmes entre les assemblages combustibles, en raison de la force gravitationnelle. En absorbant les neutrons, elles mettent un terme à la réaction nucléaire.

2

La centrale nucléaire de Gösgen compte au total onze pompes pour l'évacuation de la chaleur/de la chaleur de post-désintégration à l'extérieur du réacteur. Une seule de ces pompes suffit à garantir une évacuation suffisante.

4

Lorsque la réaction de fission devient trop intense à l'intérieur d'un réacteur, et que la quantité de chaleur qui apparaît est trop importante, l'eau de refroidissement commence à s'évaporer dans la partie des assemblages combustibles. Un mélange eau-gaz se forme alors. Etant donné que le gaz ne ralentit pas suffisamment les neutrons, la réaction de fission nucléaire est diminuée. Il en est de même en cas de perte de liquide de refroidissement en raison d'une fuite.

5

Au cours des dix premières heures suivant l'arrêt d'un réacteur, le refroidissement nécessaire des crayons combustibles est assuré sans qu'une intervention du personnel d'exploitation ne soit nécessaire.

2/3

Si un phénomène extérieur survient (chute d'avion, séisme, etc.) et que les installations techniques telles que l'approvisionnement électrique ou les pompes de refroidissement ne fonctionnent plus, le bâtiment abritant les systèmes d'urgence est utilisé. Celui-ci est conçu de sorte à résister à une chute d'avion ou à un violent séisme sans être endommagé. Il comprend, en double exemplaire, l'ensemble des dispositifs techniques nécessaires au refroidissement de secours du réacteur.