

LES ENJEUX DE LA CHIMIE DANS LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

L'importance de la chimie dans le secteur nucléaire

Patrice Bray, Jean-Claude Bernier, Noël Baffier

D'après l'article *Les enjeux de la chimie dans la production d'électricité* de Jean-Pierre West publié dans l'ouvrage « Chimie et enjeux énergétiques », EDP Sciences, 2013, ISBN : 978-2-7598-0973-8

Au cours des années récentes, les préoccupations environnementales se sont imposées à toute l'industrie énergétique.

La maîtrise des installations nucléaires devient un sujet clé, domaine où la chimie joue un rôle majeur [1].

LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PAR UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

La **figure 1** donne une représentation simplifiée d'une centrale nucléaire avec ses trois circuits d'eau.

Dans le circuit primaire, l'énergie thermique libérée lors de la fission nucléaire [2] est

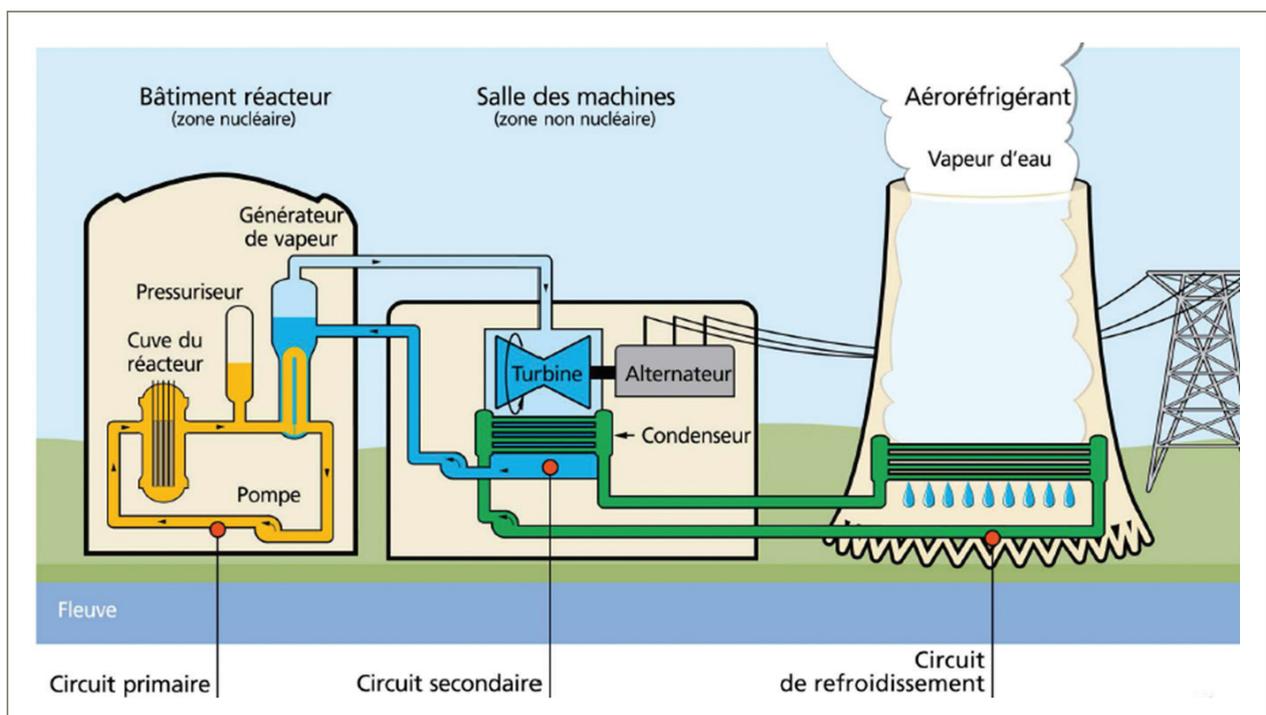
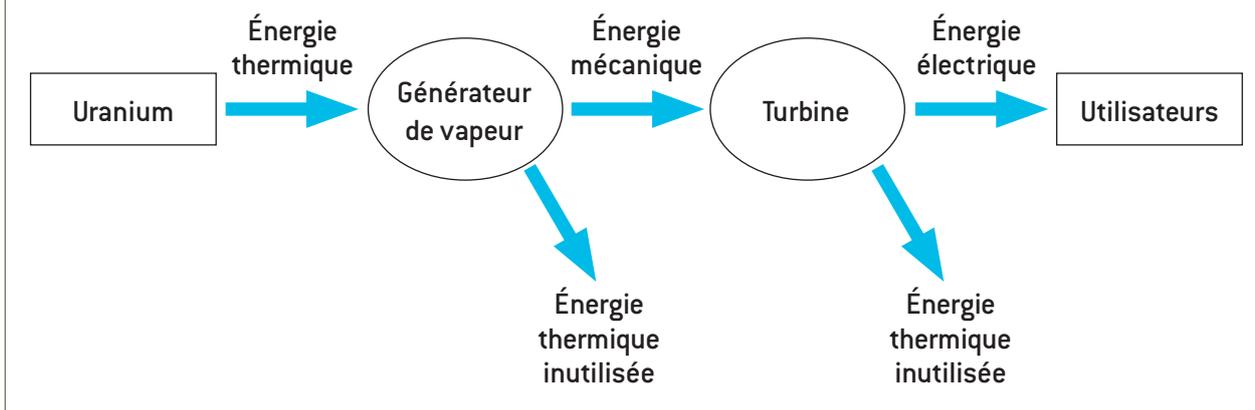


Figure 1 – Schéma de principe d'une centrale nucléaire. Il s'agit de comprendre et contrôler la chimie de l'eau des trois circuits.

Chaîne énergétique de la production d'électricité dans une centrale nucléaire



transportée par l'eau jusqu'au générateur de vapeur. La turbine dans le circuit secondaire va permettre de transformer l'énergie mécanique de la vapeur en énergie électrique. Le circuit de refroidissement va permettre de liquéfier la vapeur et ainsi de la réinjecter dans le générateur de vapeur (voir l'encadré **Chaîne énergétique de la production d'électricité dans une centrale nucléaire**).

LES CAUSES D'USURE DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

La principale cause d'usure des circuits est la corrosion (3) des matériels (pompes, vannes, canalisations) par l'eau circulante chauffée à température élevée (voir l'encadré **Qu'est-ce que la corrosion ?**). Il va être nécessaire de parfaitement comprendre les réactions chimiques qui ont lieu afin limiter ce phénomène. En effet, les oxydes métalliques obtenus lors de la corrosion des matériels dans le circuit primaire peuvent devenir radioactifs et donc dangereux pour

les intervenants chargés de la maintenance, cela augmentera le temps d'arrêt de la centrale pendant l'entretien. Les oxydes métalliques qui se forment dans le circuit secondaire peuvent entraîner l'encrassement des tubes générateurs de vapeur. On a vu certaines situations où des générateurs de vapeur ont été colmatés¹ par ces produits de corrosion et ont dû être remplacés, opérations longues et coûteuses.

Un autre problème se pose, l'eau dans le circuit de refroidissement est issue des cours d'eau environnants, les sels minéraux dissous dans l'eau peuvent former un dépôt lors de la vaporisation de l'eau utilisée pour refroidir le circuit secondaire.

Tous ces facteurs doivent être pris en compte afin de diminuer les périodes d'arrêt des centrales nucléaires et augmenter leur durée de vie (4). Il

1. Bouchés

Qu'est-ce que la corrosion ?

La corrosion est une transformation chimique au cours de laquelle se produisent des échanges d'électrons. Un métal va libérer des électrons qui seront récupérés par une autre espèce chimique comme, ici, le dioxygène.

Il s'agit d'une oxydation du métal.

Exemple : Le fer va pouvoir libérer des électrons : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3 \text{e}^-$ (e^- : symbole de l'électron).

Le fer métallique se transforme alors en ion fer III.

Lorsque le métal est en contact avec le dioxygène, il va pouvoir se former un oxyde métallique qui est composé d'ions métallique et d'ions oxygène.

Formation de l'oxyde de fer Fe_2O_3 :



faut donc maîtriser au mieux les transformations chimiques qui se produisent.

INTERVENTION DE LA CHIMIE POUR AUGMENTER LA DURÉE DE VIE DES CENTRALES NUCLÉAIRES

Il y a différentes voies possibles pour lutter contre la corrosion dans les circuits primaire et secondaire des centrales nucléaires comme l'utilisation d'anodes sacrificielles ou la protection des canalisations par phénomène de passivation.

La protection par anode sacrificielle

Les échanges d'électrons au cours de la corrosion entre le métal et le dioxygène entraînent la dégradation du métal et la formation d'oxydes métalliques dans la canalisation. La protection par anode sacrificielle fait intervenir un autre métal comme le titane par exemple. En effet, certains métaux donnent plus facilement leurs électrons que d'autres. Lorsqu'ils sont en contact, le métal qui libère ses électrons le plus facilement va se transformer. L'autre métal jouera le rôle de conducteur permettant ainsi aux électrons libérés de circuler et d'aller jusqu'au dioxygène, un courant électrique va apparaître (voir figure 2) :

- ▶ sans anode sacrificielle, le fer se dégrade en se transformant en rouille (mélange d'oxydes de fer (FeO et Fe₂O₃) et d'hydroxydes de fer (Fe(OH)₂ et Fe(OH)₃) selon le bilan réactionnel suivant :

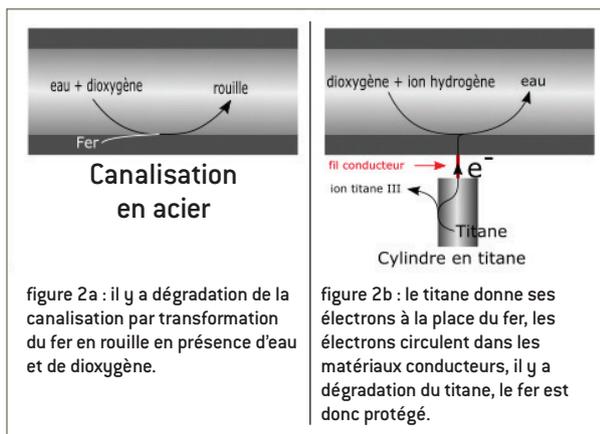
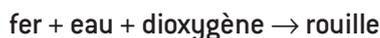
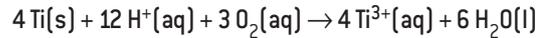


Figure 2 – Protection des canalisations par anode sacrificielle © P. Bray.

- ▶ avec anode sacrificielle, le titane va libérer ses électrons à la place du fer ($\text{Ti} \rightarrow \text{Ti}^{3+} + 3 \text{e}^-$), les électrons vont être transférés au dioxygène et

aux ions hydrogène dans la canalisation par l'intermédiaire du fer ($4 \text{H}^+ + \text{O}_2 + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$), il se produit alors la transformation chimique suivante :

titane + dioxygène + ions hydrogène → ions titane III + eau



L'anode sacrificielle va donc se dégrader à la place du fer et la canalisation sera protégée.

Le phénomène de passivation

Une autre méthode de protection est l'utilisation des propriétés des oxydes métalliques formés. Les oxydes métalliques se forment à la surface de contact entre le métal et l'eau. Certains oxydes métalliques tel que les oxydes de chrome sont imperméables à l'eau et au dioxygène contrairement à la rouille, ils vont donc pouvoir protéger le métal.

L'inox est un alliage¹ contenant des atomes de fer et de chrome (5). La canalisation en inox va être protégée par la couche d'oxyde de chrome se formant sur sa paroi (voir figure 3), ce phénomène s'appelle la passivation.

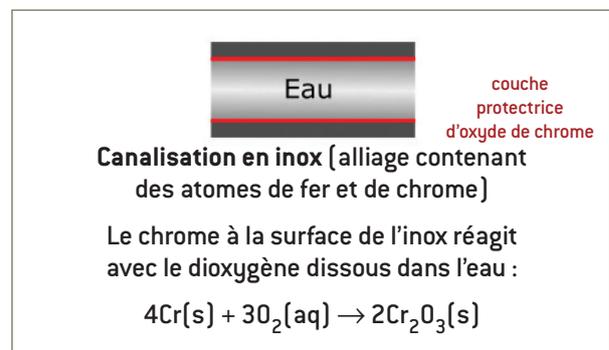


Figure 3 – Le phénomène de passivation © P. Bray.

L'identification précise des causes de vieillissement accéléré des centrales nucléaires permet des actions ciblées améliorant la durée de vie des installations, de prévenir les risques pour les personnes et pour l'environnement.

1. Alliage : Solide composé d'un mélange d'éléments chimiques dont un au moins est un métal (exemple : l'acier est un alliage composé de fer et de carbone). Le but est d'avoir un matériau ayant des propriétés physiques différentes.

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] La chimie et sa R et D dans l'industrie nucléaire
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-chimie-et-sa-rd-dans-l-e2%80%99industrie-nucl%C3%A9aire>

[2] De l'uranium à l'énergie nucléaire (vidéo)
<http://www.mediachimie.org/ressource/de-l-uranium-%C3%A0-l%C3%A9nergie-nucl%C3%A9aire>

[3] Oxydoréduction et corrosion (video)
<http://www.mediachimie.org/ressource/oxydor%C3%A9duction-et-corrosion>

[4] Noël aux tisons
<http://www.mediachimie.org/actualite/no%C3%ABl-aux-tisons>

[5] Acier inoxydable (produit du jour de la SCF)
<http://www.mediachimie.org/ressource/produits-du-jour-de-la-soci%C3%A9t%C3%A9-chimique-de-france#acier>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Noël Baffier, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech

Patrcie Bray, professeur de physique chimie

Syoën Grégory, professeur agrégé de physique chimie, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie