Réacteurs nucléaires et production d’hydrogène

Les réacteurs de génération 4

Le forum international génération 4 a identifié six types de réacteurs (réunion à Paris 2006) :

* GFR Gas Fast Reactor
* SFR Sodium Fast Reactor
* LFR Lead Fast Reactor
* VTHR Very High Temperature Reactor
* SCWR Super Critical Water Reactor
* MSR Molten Salt Reactor

*GFR Gas Fast Reactor*

C’est un réacteur à neutrons rapides refroidi par gaz inerte (hélium ou autre). Certains schémas portent sur un cycle Brayton direct (le gaz passe dans le réacteur puis dans la turbomachine). Dans ce cas, il faudra utiliser un mélange de gaz (argon hélium) pour obtenir une vitesse du son acceptable par la turbomachine. Le rendement pourrait atteindre 48 %.

*SFR Sodium Fast Reactor*

C’est un réacteur refroidi au sodium avec des échangeurs sodium / gaz. La turbomachine est du type Brayton (CO2 ou gaz inerte). Les échangeurs sodium / vapeur de Phénix et Superphénix étaient l’un des points critiques de cette technologie d’où le passage à un cycle Brayton.

*LFR Lead Fast Reactor*

Le plomb (ou un eutectique plomb bismuth), remplace le sodium. C’est aussi un réacteur à neutrons rapides. Le circuit secondaire fonctionne selon le cycle Brayton. Le combustible peut être du type Cermet ou nitrure.

*VTHR Very High Temperature Reactor*

C’est un réacteur à très haute température (1000°C) refroidi à l’hélium). Le modérateur est du graphite. C’est un réacteur intrinsèquement sûr. Des échangeurs chauffent les mélanges de fluides pour produire l’hydrogène. Il peut aussi chauffer de la vapeur d’eau pour électrolyse haute température.

*SCWR Super Critical Water Reactor*

L’eau supercritique est chauffée à 550°C et 25 MPa. Le rendement thermodynamique serait de 44%. Il peut passer pour une simple amélioration de la génération 3 (EPR).

*MSR Molten Salt Reactor*

Le réacteur à sel fondu utilise un mélange de fluorures de sodium, zirconium et d’uranium ou autres actinides. Il serait modéré au graphite (spectre épithermique, avec quelques neutrons rapides). Le circuit primaire est donc très radioactif car tous les produits de fission circulent dans le circuit. Il faut lui associer une usine de retraitement sur place pour séparer progressivement les produits de fission. Il faut un circuit secondaire à sel fondu et un circuit tertiaire à vapeur ou du type Brayton. Il serait bien adapté au cycle thorium / uranium 233.

Tous les réacteurs à neutrons rapides sont capables de recycler l’uranium 238 (non fissile) en plutonium et de détruire tous les actinides.

Les réacteurs à haute température pourront demander l’abandon d’oxyde d’uranium, mauvais conducteur de la chaleur, et le passage à des combustibles carbure ou nitrure. En particulier, pour les réacteurs refroidis par gaz, des billes de carbure d’uranium dans une matrice en matériaux composite sous forme de plaques (grande surface d’échange).

Réacteurs de recherche :

Le réacteur Jules Horowitz installé à Cadarache devrait démarrer en 2025. D’une puissance thermique de 100 MW, il est refroidi par eau sous pression. Il peut recevoir des cannes d’irradiation avec des boucles eau ou sodium et il peut aussi produire des radioéléments à usage médical.

Le projet de réacteur ASTRID a été abandonné en 2019. Il s’agissait d’un réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium de 600 MW thermiques. Le projet était estimé à 5 milliards d’EURO. Le budget du CEA ne permettait pas un tel engagement. L’uranium naturel coûtant moins cher depuis quelques années, le développement de surgénérateur est considéré moins urgent.

Production thermochimique de l’hydrogène

Le cycle thermochimique iode – soufre est étudié par le CEA. Une partie d’un pilote thermochimique a été réalisé par le CEA et livré au Sandia Lab. pour monter un démonstrateur complet.

Le démonstrateur a produit 100 litres / heure d’hydrogène mais a subi de nombreux problèmes d’exploitation.

Le rendement de cycle serait de 40%.

Le cycle comprend trois étapes :

Réaction eau, iode, SO2 formant de l’acide sulfurique et iodhydrique (exothermique, 120°C)

Réaction de décomposition endothermique de l’acide sulfurique formant du SO2 de l’eau et de l’oxygène (850°C)

Réaction de décomposition de l’acide iodhydrique endothermique à 450°C, formant l’hydrogène.

A noter que l’on pourrait aussi effectuer la réaction thermochimique dans une centrale solaire à tour (1 MW, 1000°C) ce qui serait plus rapide à développer que la solution nucléaire.

Perspectives :

Le développement des réacteurs de génération 4 a été retardé dans les différents pays intéressés (France, Japon, USA, GB). La production d’hydrogène par cette voie risque donc d’être retardée.

Références :

Systèmes nucléaires du futur. Génération 4. Clefs CEA N° 55. Eté 2007

Les combustibles nucléaires. Monographie de la DEN (Direction de l’Energie Nucléaire du CEA). Janvier 2008. ISBN 978-2-281-11325-9

L’énergie nucléaire du futur : quelles recherches pour quels objectifs ? Monographie de la DEN (Direction de l’Energie Nucléaire du CEA). 2005. ISBN 2-281-11307-8

AFYPAC Mémento de l’Hydrogène. FICHE 3.2.2