

### Introduction

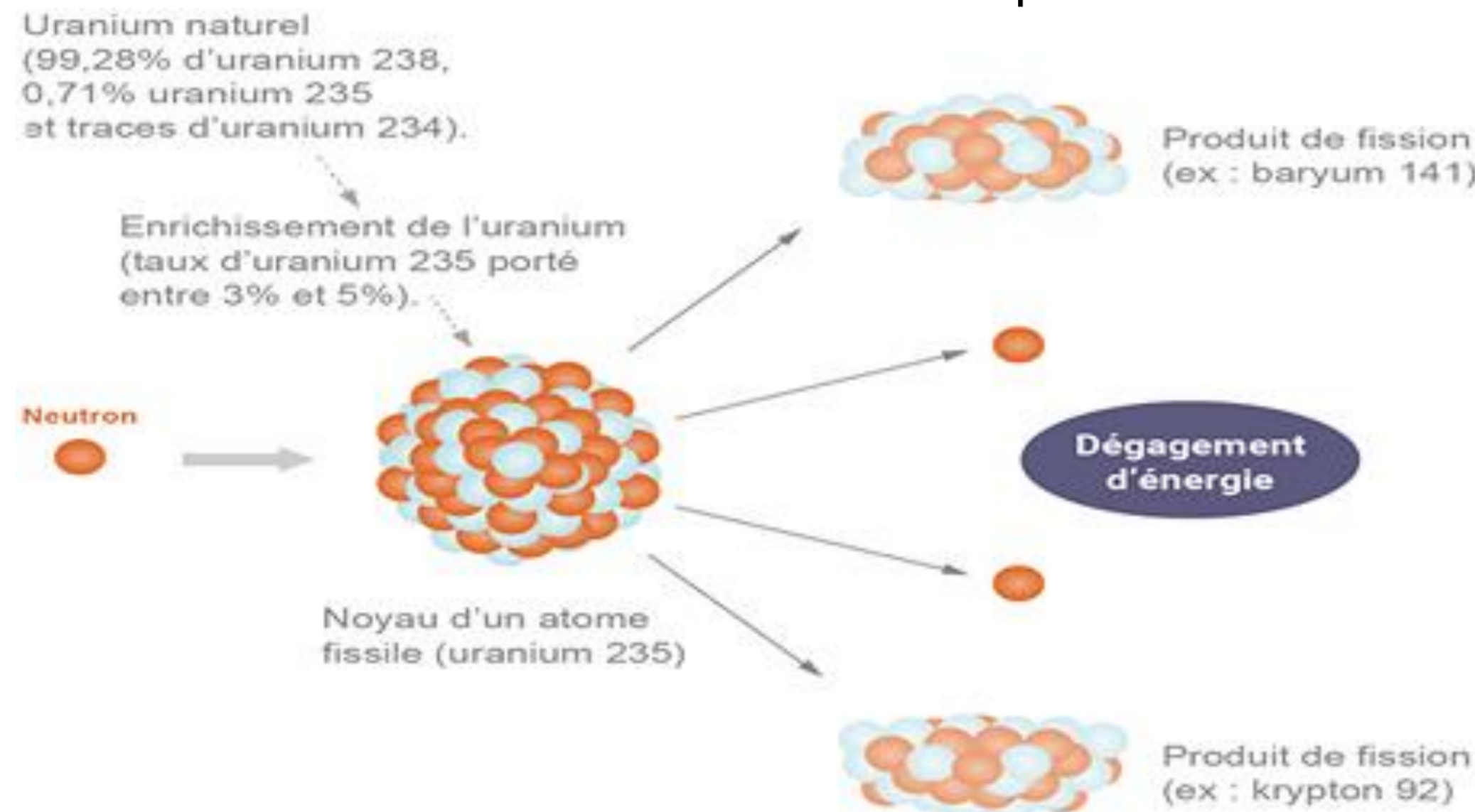
La fusion est la réaction nucléaire qui alimente le Soleil et les étoiles. Potentiellement, c'est une source d'énergie quasiment inépuisable, sûre, et de faible impact sur l'environnement. ITER a pour objectif de maîtriser cette énergie. ITER utilise le Deutérium (non radioactif) et le Tritium (radioactif) comme combustibles. Pour obtenir du deutérium, il suffit de distiller de l'eau, qu'il s'agisse d'eau douce ou d'eau de mer. Cette ressource est largement disponible et quasiment inépuisable. Le tritium peut être produit par l'interaction d'un neutron et d'un atome de lithium qui est un métal léger, présent en abondance dans la croûte terrestre. Ne produisant ni de déchet radioactif de haute activité à vie longue ni de déchets à faible activité à vie longue, ITER est une innovation dans le monde nucléaire. Cela nous amène à la problématique suivante:

**Pourquoi ITER est-il une innovation dans la production des déchets radioactifs ?**

### 1. Principe de fonctionnement

#### REP (Réacteur à Eau Pressurisée)

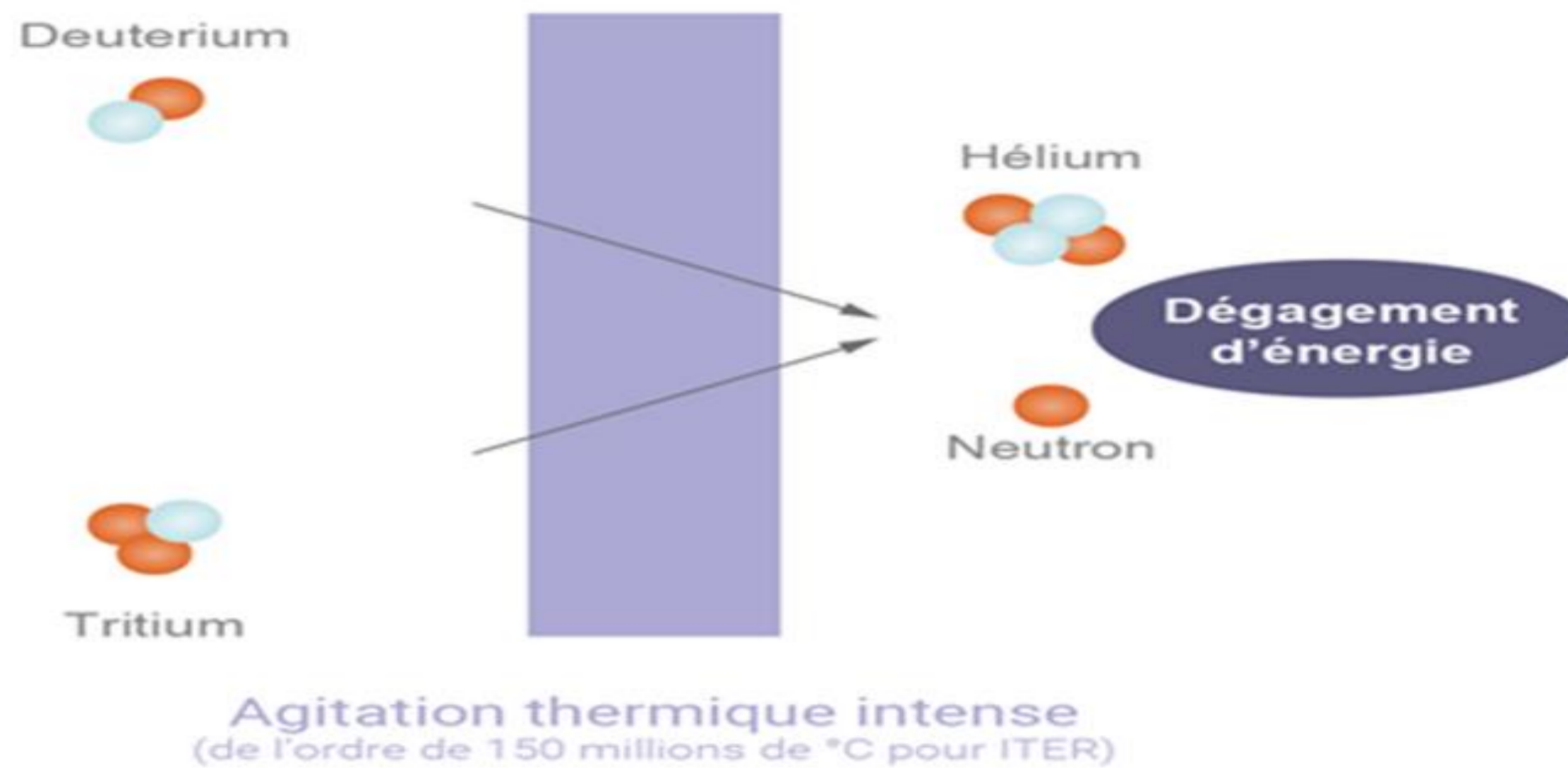
La fission consiste à projeter un neutron sur un atome lourd instable (uranium 235 ou plutonium 239). Ce dernier éclate alors en 2 atomes plus légers. Cela produit de l'énergie, des rayonnements radioactifs et 2 ou 3 neutrons capables à leur tour de provoquer d'autres fissions. C'est le mécanisme de la réaction en chaîne. Aujourd'hui, c'est la fission qui est utilisée dans les centrales nucléaires de production d'électricité.



Les déchets produits sont de très faible activité (TFA), de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), de moyenne et haute activité à vie longue (MA-VL et HA-VL). Sans oublier les faibles activités à vie longue (FA-VL)

#### ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)

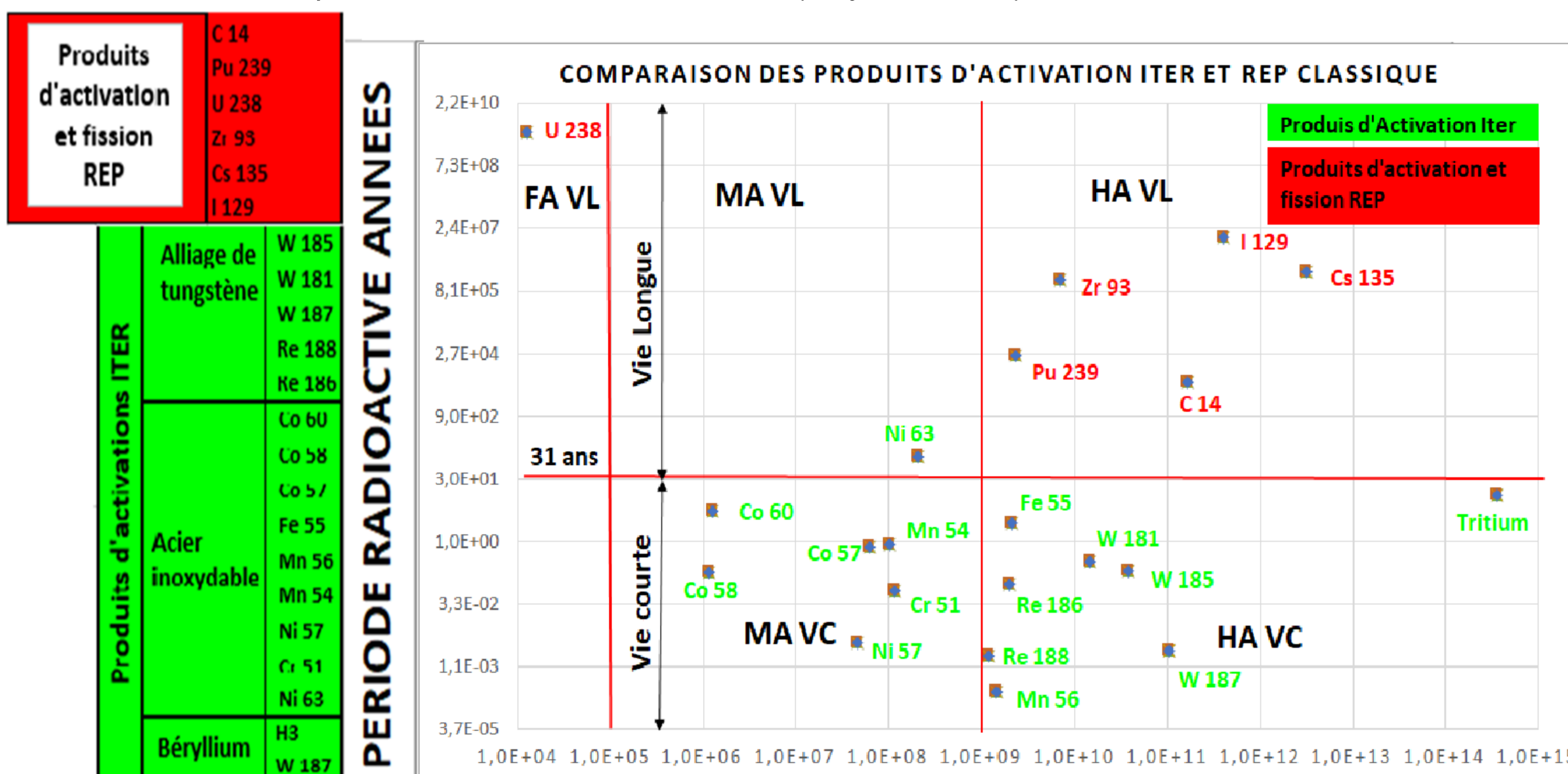
La fusion consiste à rapprocher deux atomes d'hydrogène (deutérium et tritium) à des températures de plusieurs millions de degrés, comme au cœur des étoiles. Lorsque ces noyaux légers fusionnent, le noyau créé se retrouve dans un état instable. Il tente de retrouver un état stable en éjectant un atome d'hélium stable et un neutron libérant alors de l'énergie.



Les déchets produits seront de très faible activité (TFA), puis de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC), et enfin de moyenne activité à vie longue (MA-VL).

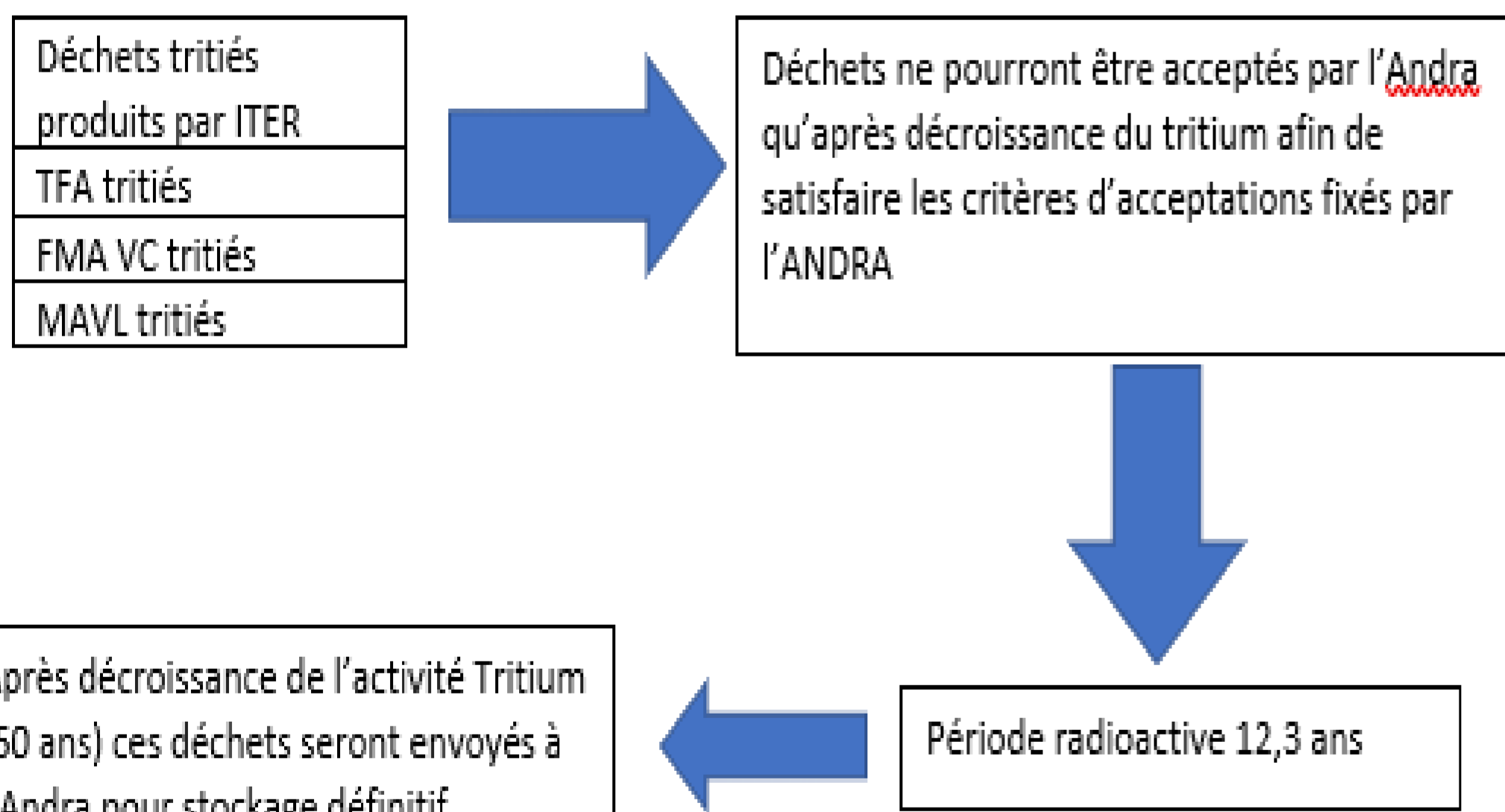
### 2. Inventaire des produits d'activations

La réaction de fission dans un REP crée une quantité importante de déchets HAVL, alors que la réaction de fusion produit des déchets à vie courte (majorité < 1 an).



Source: Synthèse à partir de l'Andra et rapport ASN et mise en forme personnelle

#### Schéma expliquant le « circuit » de la gestion des déchets tritiés



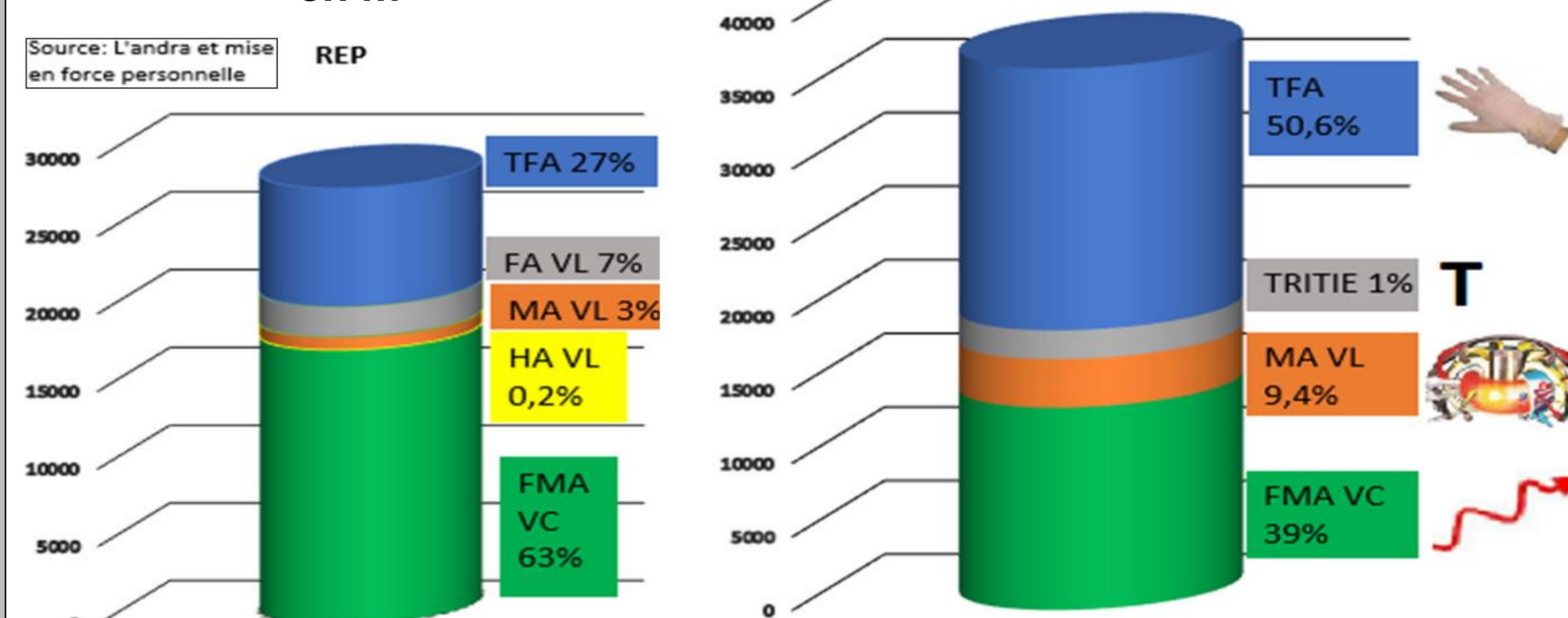
Source: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920379613007205>

Seul le Tritium pose problème. En effet, la mobilité exceptionnelle de ce nucléide, que ce soit sous forme gazeuse (hydrogène tritié) ou liquide (eau tritiée), rend son confinement difficile. Les systèmes de « détritiation » participent à la fonction de confinement d'ITER. Les systèmes sont conçus pour collecter le tritium gazeux rejeté à l'intérieur de l'installation en fonctionnement normal, en période de maintenance ou en cas de situations accidentelles/incidentelles. Les systèmes assurent la « détritiation » et la mise en dépression des salles.

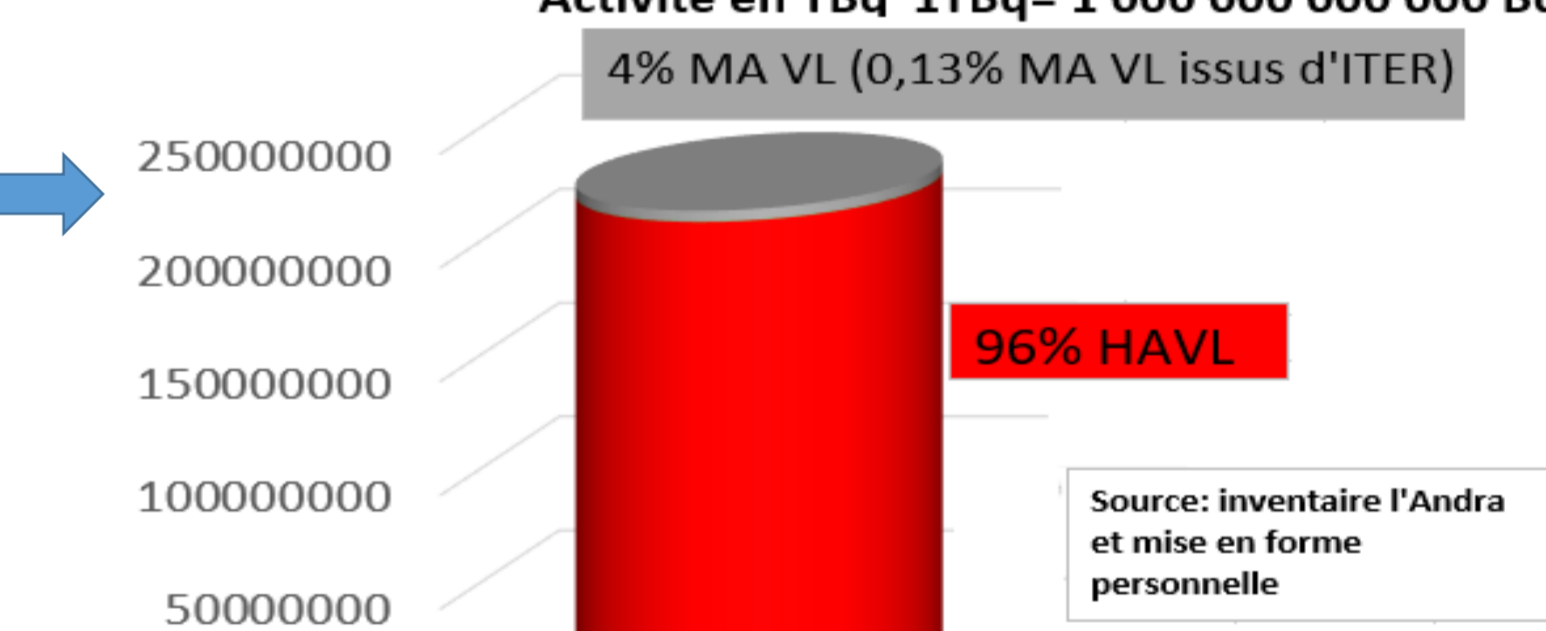
### 3. Comparaison des déchets REP/ITER

ITER en terme de volume, produit un peu plus de déchets qu'un REP mais il s'agit majoritairement des déchets FMA VC et TFA (90% du volume). En outre, on voit que les REP classique produisent des HA VL et FA VL. ITER montre bien évidemment son innovation dans la production de déchets. Il n'y aura donc aucun problème lors du démantèlement de ce prototype.

#### A) Production des déchets en m³



#### B) Comparaison de l'Activité



Mais encore, ce qui le démarque des REP est le fait qu'il ne produit pas de déchets HA VL ! Le graphique prouve que la présence des HA VL en faible quantité représente 96% de l'activité totale des déchets !

#### 4. Remarque

→ Les matériaux (déchets d'ITER) utilisés peuvent être recyclés ou réutilisés dans les 100 ans (quasi décroissance de tous les produits de fusion) qui suivent la mise à l'arrêt de l'installation.  
→ L'entreposage se fera dans des bâtiments situés sur le lieu du projet ITER et le stockage se fera à l'ANDRA. ITER produit autant de déchet volumique qu'un REP classique, avec une radiotoxicité moins élevée.

#### Comparaison déchets Fusion ET Fission

	✓	✗
REP fission		-Problème de stockage de gestion des déchets HAVL et FA VL dans les REP classiques. -Beaucoup de produits de fission (plutonium, césium, strontium...) -Actinides créés (americium, thorium, radon, neptunium...)
ITER fusion	-Pas de problème d'entreposage et stockage -Produit de fusion obtenu est l'Hélium qui est non-radioactif.	-1% de déchets Tritiés qui seront « détritiés » dans des cellules chaudes

Source: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920379613007205>

### Conclusion

ITER est actuellement en assemblage, les premiers essais seront prévus pour 2025. Il va permettre de réduire la production de déchets, car le produit de fusion obtenu est l'hélium un gaz non radioactif. Les produits d'activation d'ITER présentent majoritairement des déchets à Vie Courte à l'exception du Nickel 63. Le recyclage du prototype sera possible au bout de 100 ans. Une énergie inépuisable sera alors disposée, utilisant seulement de l'hydrogène et du lithium pour produire de l'électricité. Une fusion bien maîtrisée, remplacerait 8 tonnes de charbon par 1 gramme d'hydrogène. En effet, cela permettrait de diminuer les centres de production d'électricité à charbon et donc diminuer le rejet de CO2. Les conséquences sur le réchauffement climatique décroîtront. Un accident nucléaire de type Fukushima ne peut pas se produire dans un réacteur de fusion. Les conditions propices aux réactions de fusion sont difficiles à atteindre. En cas de perturbation, le plasma se refroidit en l'espace de quelques secondes et les réactions cessent. En outre, la quantité de combustible présente dans l'enceinte est insuffisante pour alimenter les réactions au-delà de quelques secondes et une « réaction en chaîne » est inconcevable du point de vue de la physique.

### Bibliographie

- Jérôme Pamela, Jean-Michel Bottereau, Daniel Canas, Christelle Decanis, Karine Liger, Frédéric Gaune, ITER tritiated waste management by the Host state and first lessons learned for fusion development, Fusion Engineering and Design, Volume 89, Issues 9–10 2014
- S. Rosanvallon, B.C. Na, M. Benchikhoun, J. Elbez Uzan, O. Gastaldi, N. Taylor, L. Rodriguez Article history: Fusion Engineering and Design ITER waste management. Available online 23 June 2010
- S. Rosanvallon, D. Torcy, J.K. Chon, A. Dammann, Waste management plans for ITER, Volumes 109–111, Part B, 2016, Pages 1442–1446
- Qi Yang, Tongqiang Dang, Dongchuan Ying, Guozhong Wang, Michael Loughlin, Activation analysis of coolant water in ITER blanket and divertor, Fusion Engineering and Design, Volume 87, Issues 7–8, 2012, Pages 1310–1314, -L.W. Packer, P. Batistoni, B. Colling, K. Drozdowicz
- S. Jednorog, M.R. Gilbert, E. Laszowska, D. Leichte, J.W. Mielinski, M. Pillon, I.E. Stamatelatos, T. Vasilopoulou, A. Wójcik-Gargula, Status of ITER material activation experiments at JET, Fusion Engineering and Design, Volume 124, 2017, Pages 1150–1155, -P.-H. Rebut, ITER: the first experimental fusion reactor, Fusion Engineering and Design, Volume 30, Issues 1–2, 1995, Pages 85–118