

« Fission Liquide - 10 nouveaux paradigmes »

Présentation au Groupe Professionnel Centrale Energies
John Laurie, Fission Liquide, 13 juin 2018

1.

Bonjour,

Je suis très heureux d'être ici avec vous ce soir, donc un grand merci à **Jacky Rousselle** et au Groupe Professionnel Centrale Energies.

Je m'appelle John Laurie – je suis ingénieur et directeur de l'entreprise Fission Liquide.

Je suis, aussi, président d'une nouvelle association qui s'appelle Progrès Nucléaire.

...

L'énergie est la seule devise universelle.

La capacité des humains de comprendre et maîtriser les transformations d'énergie a transformé notre espèce.

2.

Les humains consomment de plus en plus d'énergie.

Toute notre civilisation moderne est fondée sur un socle d'énergie bon marché.

Et aujourd'hui, 85% de notre consommation est l'énergie, sale, de la combustion de carburants fossiles.

3.

Cette combustion est dangereuse pour l'équilibre délicat des gaz autour de notre planète.

A Hawaï, il y a 2 semaines, la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est montée à 411 parties par million.

Les climatologues ont confirmé que cette augmentation de CO2 est la cause principale du réchauffement planétaire.

Mais les débats sur la politique climatique ont trop souvent tenté de rendre l'énergie sale plus chère, que l'énergie propre bon marché

4.

Jim Hansen est un climatologue renommé. A la COP23 il a dit :

« Nous savons depuis des décennies, en fait depuis le début de l'ère nucléaire, qu'il existe de **meilleurs moyens** de produire de l'énergie nucléaire, qui traitent de nombreuses questions liées à l'énergie nucléaire. [Le réacteur à sels fondus] est **un** exemple de l'un des types de technologies que nous devrions avoir disponible en ce moment. »

...

Toute évolution technologique est précédée par un changement philosophique. C'est quand on arrive à penser différemment, quand on challenge sa culture, ses croyances et valeurs, qu'on peut repartir sur une voie différente.

Ce soir je vais parler de 10 nouveaux paradigmes que j'ai observé dans la communauté grandissante autour de la technologie de fission nucléaire à base de combustibles **liquides**.

5.

Un.

La semaine dernière a vu la première réaction en chaîne dans un nouveau réacteur EPR de génération 3, à Taishan en Chine.

Comme la vaste majorité des réacteurs nucléaires sur la planète, l'EPR est un réacteur à eau pressurisée, qui a une seule fonction – produire de l'électricité.

6.

Mais dans le marché mondial de l'énergie, l'électricité ne représente qu'un tiers de la consommation. Il y a aussi un tiers pour la chaleur, et un autre tiers pour la mobilité – les transports.

En France, l'entreprise qui exploite les 58 réacteurs nucléaires s'appelle **Electricité** de France. EDF a fait un excellent travail pour réduire les émissions de CO2 dans le secteur de l'électricité, avec du nucléaire, de l'hydroélectrique, et les autres renouvelables, mais Electricité de France ne produit que de l'électricité !

Alors, faut-il **changer le marché en fonction de la technologie** ? Adopter une politique toute électrique qui exige que tous les secteurs de l'économie s'alimentent en électricité ?

Le premier changement de paradigme est qu'il faut **changer la technologie en fonction du marché**. Les réacteurs nucléaires doivent être capables de fournir une énergie décarbonée qui est compatible avec les secteurs de la chaleur et de la mobilité, et qui est compétitive dans ces marchés.

7.

Mais tant qu'on utilise des combustibles nucléaires solides, il semble très difficile de satisfaire ces besoins.

8.

Le réacteur à eau pressurisée représente une seule voie dans la série de choix technologiques qu'il faut prendre pour définir un concept de réacteur nucléaire.

Plein d'autres voies sont possibles avec les combustibles solides.

Mais il y a aussi la voie de la fission **liquide**, qui reste largement inexplorée, et qui présente des avantages fondamentaux qui peuvent aider à répondre aux besoins du marché.

9.

Deux.

Il y a une énorme confusion entre ce qui est **faisable** et ce qui est **viable**.

Par exemple, la **fusion** nucléaire est tout à fait faisable – aux Etats-Unis un gamin de 14 ans a construit un réacteur à fusion dans son garage.

Si on continue à pomper du temps et de l'argent dans le projet ITER, je pense qu'il finira par fonctionner pendant quelques minutes.

Mais la fusion nucléaire moins chère que le charbon ? Ca, on ne sait pas faire.

10.

Pour être **viable**, toutes les idées de produits et services doivent présenter une proposition **équilibrée** entre valeur, coût et temps qui est attractive pour les investisseurs, les clients et le public, pour le développement d'un marché.

11.

Regardons les critères de valeur et de coût, en commençant avec les réacteurs actuels de la génération 2. Je considère ici la valeur d'abord en termes de la puissance produite, mais aussi en termes de la fiabilité, sûreté, propreté et durabilité.

Quand je passe à la génération 3, comme les EPR, c'est plus puissant et plus sûr, mais c'est aussi plus cher.

Quand j'imagine la future génération 4, donc en France les réacteurs à neutrons rapides à sodium basés sur ASTRID, il y a plus de valeur parce qu'on ferme le cycle de combustible - on répond à la question de la durabilité - mais c'est **encore** plus cher.

Ou bien on peut aller dans l'autre sens avec les petits réacteurs modulaires. Ils sont moins chers, mais aussi moins puissants. Le problème avec les petits réacteurs modulaires, c'est qu'ils sont petits.

Il y a donc un **seuil**, qu'on aimerait bien franchir, mais on n'y arrive pas. L'industrie nucléaire semble résignée à rester dans cette zone jaune.

12.

Mettez-vous à la place d'un investisseur. On lui demande de sortir 9 à 10 milliards d'Euros, qu'il pourra commencer à récupérer dans une dizaine d'années, avec

- on ne sait pas quel prix du marché de l'électricité,
- on ne sait pas quelle situation politique envers le nucléaire, et
- on ne sait pas quel coût de financement...

S'il y a des investisseurs prêts à prendre ce genre de risque, c'est parce que la valeur de l'énergie nucléaire est énorme. Mais c'est un sacré pari !

13.

Le seuil qu'on a vu toute à l'heure est celui de la fission **solide**.

Que ce soit avec des petits réacteurs modulaires,

des grands réacteurs modulaires,

ou des grands réacteurs surgénérateurs qui ferment le cycle de combustible,

la fission liquide représente la possibilité d'aller vers un nouveau seuil, de coût versus valeur, une nouvelle proposition d'équilibre pour le marché.

14.

Trois.

Jean-Marc Jancovici a écrit

en caricaturant à peine, le cout du nucléaire est à 30% un « cout technique » [...] et à 70% le « cout de la précaution » (ce que d'aucuns pourraient appeler le « cout de la trouille »)

Le rôle d'une autorité de sûreté est de travailler de façon rationnelle sur cette trouille, avec un outil qu'on appelle un « arbre de défaillances ». Le dialogue entre un vendeur de réacteur comme Framatome et une autorité de sûreté s'articule autour de cet arbre de défaillances.

15.

Quand on parle de sûreté, on parle en termes de Risque (quelle est la **probabilité** qu'il se passe quelque chose de mauvais), et de Danger (quelle est la **conséquence** si ça arrive).

Avec 60 ans d'expérience dans la conception, construction et exploitation des réacteurs à eau pressurisée, leur arbre de défaillances est largement connu et documenté, et c'est pourquoi le niveau de sûreté de ces machines est excellent. Les risques d'accident sont extrêmement faibles, mais les **conséquences** d'un accident ... ce qu'on veut éviter c'est un nuage qui traverse la moitié de l'Europe, avec de l'iode et du césium radioactifs. Le paradigme actuel est qu'on a tellement de retour d'expérience avec le réacteur à eau pressurisée qu'il est pratiquement impossible de changer le concept. On doit vivre avec les dangers qui sont intrinsèques à ce concept et

continuer à dépenser de l'argent sur des systèmes de contrôle, de refroidissement et de confinement pour réduire les risques. Très bien, mais ça ne change rien au niveau du danger intrinsèque.

La stratégie la plus efficace pour réduire le **coût** de l'énergie nucléaire est de choisir le concept avec la meilleure sécurité intrinsèque. On cherche à éliminer ou réduire les **dangers**.

16.

Le projet ASTRID de génération 4 est un réacteur à neutrons rapides avec un caloporteur sodium qui a beaucoup de valeur. Comme pour Phénix et Superphénix, c'est un surgénérateur et il ferme le cycle de combustible. Mais du point de vue purement de l'autorité de sûreté, ASTRID égale les dangers d'un EPR, moins le danger de la pression, plus un danger augmenté de réactivité chimique de son liquide caloporteur.

17.

Pour un réacteur à sels fondus en revanche, il est possible de faire un grand élagage de l'arbre de défaillances.

- Il fonctionne à pression atmosphérique
- Les produits de fission les plus dangereux sont confinés chimiquement par les sels fondus
- C'est un système homéostatique, auto-stabilisant – il n'y a pas de barres de contrôle
- La chaleur résiduelle peut être évacuée passivement
- Il n'y a pas de réserve de réactivité
- Les sels ont une réactivité chimique extrêmement faible
- Il a une grande marge de sûreté par rapport à la température d'ébullition des sels
- Et il y a des avantages au niveau de la prolifération

18.

Quatre.

Imaginez que vous achetez un nouveau lave-linge.

Un technicien arrive chez vous avec les pièces pour assembler le caisson, la porte et le tambour, et s'installe dans votre cuisine pour souder ensemble les pièces en métal. Ca ne doit pas prendre très longtemps.

Un autre technicien arrive avec le câblage, le contrôleur et les tuyaux de plomberie.

Ils travaillent toute la journée dans votre cuisine.

Puis, au moment de monter la porte ils vous informent qu'il y a un problème avec la pièce.

Ils reviennent le lendemain, puis un troisième jour pour tout tester.

A la fin du troisième jour vous pouvez enfin charger du linge et faire une campagne d'essais.

Puis ils partent, en vous laissant une facture 2 fois plus chère que prévu.

C'est un peu comme ça qu'on fabrique une centrale nucléaire aujourd'hui.

19.

Certains produits complexes sont mieux fabriqués **en usine**.

NuScale est le leader mondial dans les petits réacteurs modulaires.

Leur centrale contient jusqu'à douze réacteurs à eau pressurisée, chacun de puissance 60MWe.

Traditionnellement, l'industrie nucléaire a toujours cherché à construire des réacteurs les plus puissants possibles.

20.

Ici le paradigme est de chercher des réductions de coût considérables en construisant des réacteurs intégrés et modulaires en usine, puis en les livrant par route, par rail ou par bateau.

21.

Cinq.

Pourquoi les petits réacteurs modulaires sont petits ?

22.

Parce qu'il faut les passer sous les ponts.

Le diamètre du réacteur est contraint par la hauteur sous les ponts.

Ensuite la densité de puissance qu'on peut installer dans cette taille de réacteur, et le dimensionnement du système de refroidissement déterminent la puissance maximale de chaque réacteur.

Donc pour profiter de la modularité, la stratégie de livraison est déterminante.

23.

La stratégie de Terrestrial Energy est d'adopter cette architecture de petit réacteur modulaire intégral.

Mais avec un réacteur à sels fondus, une densité de puissance plus importante est possible.

Ici, chaque unité-cœur a une puissance de 190MWe, et ça passe toujours sous les ponts.

24.

Le module du réacteur à sels fondus de Moltex Energy est rectangulaire.

C'est un peu moins efficace pour la performance neutronique du réacteur, mais ça permet de livrer plusieurs modules qui passent sous les ponts, et de les placer ensemble dans une piscine de sels fondus pour former un seul grand réacteur modulaire.

25.

Les usines de Thorcon sont des constructions navales.

Le transport, des réacteurs à sels fondus **ET** des centrales complètes, est par voie maritime, donc il n'y a pas de ponts.

Ca permet d'utiliser une architecture d'unité cœur remplaçable, mais avec des cannettes plus grandes et plus puissantes.

Par contre, ça contraint l'emplacement des centrales à des sites en bord de mer ou sur les rives des grandes rivières.

26.

Six.

Le paradigme actuel dans le nucléaire est que le réacteur coûte tellement cher qu'il doit avoir une durée de vie **la plus longue possible**.

Un EPR par exemple doit être en service pendant 60 ans.

Pourquoi pas plus de 60 ans ?

27.

Dans une réaction en chaîne nucléaire, un neutron impacte un atome d'uranium, qui se sépare en deux petits atomes – les produits de fission.

Mais cette réaction produit également de nouveaux neutrons, qui entretiennent la réaction.

Il y a donc des milliards de neutrons qui volent dans tous les sens, avec des énergies importantes.

28.

Voici un matériau solide, avec des atomes bien organisés dans une structure matricielle.

Quand un neutron vient l'impacter, il va déplacer des atomes.

Une fois le neutron ralenti, les atomes se restructurent, mais il reste des trous et des imperfections dans la structure.

Après des milliards d'impacts, la matière peut être affaiblie et devenir cassante.

29.

Le réacteur intégral à sels fondus de Terrestrial Energy utilise un modérateur en graphite.

Le graphite est affaibli par le flux de neutrons, ce qui lui donne une durée de vie de 7 ans.

Après sept ans, on livre un nouvel unité-cœur et on laisse le premier refroidir pendant 7 ans.

Après quatorze ans, on déplace la première cannette dans un silo de stockage, et on livre une 3^{ème} cannette, puis c'est reparti pendant 7 ans.

Et ainsi de suite.

Du coup, pour tous les **autres** matériaux dans le cœur, on n'est pas embêté de les faire fonctionner **le plus longtemps possible**.

On contourne le problème des matériaux.

30.

Moltex Energy adopte une autre stratégie pour éviter les problèmes de matériaux.

Leurs assemblages de combustible classiques contiennent un combustible liquide à sels fondus.

Chaque assemblage passe 4 ans dans le réacteur.

La composition chimique du sel de refroidissement dans la piscine autour du cœur protège les autres composants du flux de neutrons.

Le sel contient du zirconium,

Le zirconium contient des impuretés de hafnium,

Et le hafnium est très efficace pour absorber les neutrons qui s'échappent du cœur, avant qu'ils impactent les matériaux.

31.

Sept.

C'est quoi le thorium ?

Pourquoi on parle souvent de réacteurs à thorium ?

32.

Le rêve du thorium fait fantasmer les internautes.

- 3 à 4 fois plus de thorium sur la planète que d'uranium,
- Moins de déchets,

- Une bonne résistance à la prolifération

Mais il reste beaucoup d'inconnus dans le développement d'un réacteur au thorium qui nécessitent plus de recherche, et l'urgence planétaire est de trouver le plus rapidement possible une source d'énergie décarbonée qui est moins chère que le charbon. Si vous êtes venu pour le thorium, restez pour le réacteur.

33.

Le thorium est la cerise sur le gâteau. Le réacteur à sels fondus **est** une voie vers le rêve du thorium.

Quand on parle dans les milieux scientifiques de l'avenir long terme des humains et de l'énergie nucléaire, il est très intéressant d'intégrer dans la réflexion les possibilités offertes par le cycle de combustible au thorium.

Mais quand on parle avec des gens qui pensent à plus court terme (comme les politiciens, le grand public ou les financiers ...), il vaut mieux parler de réacteurs à combustible **liquide**.

34.

Huit.

L'énergie nucléaire a eu une enfance difficile. Elle est née en 1942 pendant la deuxième guerre mondiale - la priorité était de l'utiliser pour fabriquer une bombe.

35.

Pour concevoir une bombe nucléaire, on a besoin d'une équipe de physiciens. Et donc il s'est développé autour de cette technologie une **délire épouvantable**

que la fission nucléaire, c'est la physique. Mais pour concevoir un **système d'énergie** nucléaire on a besoin aussi

de la chimie. La vraie place de la fission nucléaire est à l'**interface** entre la physique et la chimie.

Mais ça pose un problème, parce que les physiciens et les chimistes parlent deux langues différentes.

Les physiciens, qui ont porté les concepts des réacteurs de la première ère nucléaire, ont du mal à faire des compromis pragmatiques avec des chimistes.

36.

Pour démarrer la deuxième ère nucléaire, un troisième acteur entre en jeu – l'architecte atomique.

Son rôle dans le système est de porter le concept avec le plus de potentiel pour le **client**.

Et d'utiliser toutes les astuces dans les boîtes à outils de la physique **ET** de la chimie pour développer une technologie avec le potentiel de concurrencer les carburants fossiles sur tous les marchés de l'énergie.

37.

Neuf.

Une nouvelle ère nucléaire aura certainement besoin d'évolutions dans l'organisation des institutions qui la gouvernent.

38.

Seuls les concepts avec un fort potentiel de valeur, de coût et de temps arriveront à traverser la vallée de la mort entre la recherche et la commercialisation.

39.

Dans un paradigme où on doit refuser de lancer un projet de développement si le chiffrage de l'avant projet n'est pas compétitif avec le charbon, comment l'**organisation** doit changer pour mettre l'économique **avant** la neutronique ?

(pas à la **place** de la neutronique – la neutronique est **très** importante)

40.

Et comment doit-on faire évoluer la gouvernance du secteur nucléaire, mise en place dans les années 40, pour montrer aux français qu'on sépare définitivement

le nucléaire civil, qui est une opportunité pour l'avenir de l'humanité, qu'il faut gérer avec une culture d'ouverture,

du nucléaire militaire, qui est une menace qu'il faut gérer avec précaution dans une culture du secret.

41.

Dix.

Entrer dans la deuxième ère nucléaire nécessitera des changements culturels difficiles.

42.

Le nucléaire est aujourd'hui dans une situation délicate.

78% des français pensent que les centrales nucléaires contribuent à l'effet de serre.

L'échec au niveau de la communication est total.

43.

Les ennemis de la fission liquide sont

- L'ignorance
- le dogmatisme
- le protectionnisme
- le conservatisme dans la sûreté, et
- le court-termisme

Mais il y a des signes positifs. Des entreprises. Des projets de recherche. Du financement...

44.

Et une petite communauté grandissante de gens qui ont décidé de **parler** de cette nouvelle génération de réacteurs, qui essayent de faire sortir le message. Voici **ma** génération.

45.

(vidéo)

46.

Le titre de cette conférence pose la question :

Les Réacteurs à Sels Fondus : une filière pour le nucléaire du futur ?

La réponse est **OUI !**

Merci.