

Vendredi 12 août 2011

## Le corium de Fukushima (1) : description et données



*Corium : c'est le mot tabou de Tepco. Pourquoi l'entreprise responsable de la plus grande catastrophe nucléaire au monde n'en parle jamais ? Tout simplement parce que c'est la matière la plus dangereuse jamais créée par l'homme, une sorte de magma incontrôlable et ingérable, aux conséquences incalculables. Étant donné que beaucoup d'informations contradictoires circulent sur cette matière rare et mal connue, cet article va essayer de faire le point des connaissances actuelles.*

On ne communique pas beaucoup sur le sujet dans le milieu du nucléaire, sauf entre experts. En effet, c'est la bête noire du monde de l'atome, car cette matière n'existe qu'en cas d'accident grave. Three Mile Island en 1979, Tchernobyl en 1986 et Fukushima en 2011 ont produit chacun leur corium. Si l'on connaît aujourd'hui les coriums des deux premiers accidents cités, on ne sait pas grand-chose de celui de Fukushima, car il faudra attendre des années avant que celui-ci ne se refroidisse et que l'on puisse l'approcher. Pour autant, on peut essayer d'évaluer sa nature, son action et ses conséquences.

Pour réaliser cet article, j'ai tiré beaucoup d'informations du forum technique de Radioprotection Cirkus. Merci donc à tous les contributeurs de ce forum, avec une mention particulière pour Jansson-Guilcher, et évidemment à "invité" qui a initié ce [fil d'info](#) très instructif. Pour des raisons techniques liées au blog, cet article a été séparé en 2 parties consultables sur deux pages différentes.

### Sommaire

#### Le corium de Fukushima

##### partie 1 : description et données

1. Définition du corium
2. Matière de tous les extrêmes
3. Quand le corium de Fukushima s'est-il formé ?
4. Combien de tonnes de combustible ont fondu ?
5. Aspect et composition du corium
6. Progression du corium

##### partie 2 : effets et dangers

7. Que se passe-t-il quand le corium rencontre du béton ?
8. Que se passe-t-il quand le corium rencontre du métal ?
9. Que se passe-t-il quand le corium rencontre de l'eau ?
10. Que veulent dire les termes « Melt-down », « Melt-through » et « Melt-out » ?
11. Possibilité de contenir le corium
12. Dangers du corium



#### 1. Définition du corium

Le corium est un magma résultant de la fusion des éléments du cœur d'un réacteur nucléaire. Il est constitué du combustible nucléaire (uranium et plutonium), du gainage des éléments combustibles (alliage de zirconium) et des divers éléments du cœur avec lesquels il rentre en contact (barres, tuyauteries, supports, etc.). Le terme « corium » est un néologisme formé de *core* (en anglais, pour le cœur d'un réacteur nucléaire), suivi du suffixe *ium* présent dans le nom de nombreux éléments radioactifs : uranium, plutonium, neptunium, américium, etc.

#### 2. Matière de tous les extrêmes

Le corium est la matière des six extrêmes : il est extrêmement puissant, extrêmement toxique, extrêmement radioactif, extrêmement chaud, extrêmement dense et extrêmement corrosif.

##### Extrêmement puissant

Le combustible fondu est le constituant principal du corium. Or ce combustible est formé à l'origine d'assemblages de crayons contenant des pastilles. Dans le réacteur n°1 de Fukushima Daiichi, le cœur était composé de 400 assemblages constitués de 63 crayons de combustibles chacun. Les réacteurs 2 et 3 étaient quant à eux composés, chacun, de 548 assemblages, constitués eux-mêmes de 63 crayons de combustibles. Sachant qu'un crayon contient environ 360 pastilles, on peut en déduire que dans les trois réacteurs concernés, il y a plus de 33 millions de pastilles en jeu.



Et comme chaque pastille est supposée délivrer autant d'énergie qu'une tonne de charbon, on comprend pourquoi le corium développe une chaleur énorme en totale autonomie.

**Extrêmement toxique**

Le corium contient un nombre important d'éléments en fusion, interagissant entre eux sans cesse, et produisant des gaz et des aérosols. C'est la toxicité de ces émanations qui est problématique, car les particules émises sont extrêmement fines, invisibles à l'œil nu et, en suspension dans l'air, peuvent se déplacer avec les vents jusqu'à faire le tour de la terre. Toutefois, plus on s'éloigne de la source, plus ces particules et ces gaz sont dilués dans l'atmosphère et présentent moins de danger. C'est donc le Japon en premier lieu qui est victime des effets de toxicité des éléments diffusés. Néanmoins, si la concentration de particules diminue avec la distance, au final le bilan en maladies reste le même mais réparties différemment (1).

Exemple d'élément toxique : l'uranium. C'est un toxique chimique pour le rein, mais il peut aussi toucher les poumons, les os et le foie. Il a aussi des effets sur le système nerveux, comparables à ceux d'autres poisons métalliques comme le mercure, le cadmium ou le plomb. L'uranium peut enfin augmenter la perméabilité cutanée et avoir des effets génétiques.

**Extrêmement radioactif**

Le corium émet tellement de radioactivité que personne ne peut s'en approcher sans décéder dans les secondes qui suivent. Il avoisine 28 téraBecquerels par kg, soit, pour un corium de 50 tonnes, plus d'un million de téraBecquerels (un becquerel correspond à une désintégration par seconde, un million de TBq correspond à 10 puissance 18 désintégrations par seconde).

Comme le corium est critique, ou localement critique, c'est-à-dire qu'il présente des réactions de fission nucléaire, rien n'est modélisable et tout peut arriver. Ce que l'on sait, c'est qu'au fur et à mesure que les éléments lourds se regroupent, la masse critique augmente et donc la réaction ainsi que la température. Par effet de coefficient de température négatif, la réaction tend à diminuer et donc aussi la température. Il s'établit ainsi un cycle d'augmentation et de réduction du volume de ce noyau très actif, la période de ce cycle dépendant de la masse, de la densité, de la forme et de la composition du corium.

Cet effet de « respiration » du corium est sans doute à mettre en corrélation à Fukushima avec les mesures changeantes de pression, de température et de radioactivité données par Tepco au fil des mois suivant la catastrophe.

**Extrêmement chaud**

Areva, par la voix de François Bouteille, explique que le corium a une température de 2500°C. Mais en fait, selon son environnement, il peut monter encore de 400°C car la température de fusion de l'oxyde d'uranium est de l'ordre de 2900°C. En fait, sa température varie entre 2500 et 3200 °C. Pour comparaison, la température de la lave d'un volcan se situe entre 700 et 1200°C. Cette chaleur importante, produite par la désintégration des produits de fission, peut faire fondre la plupart des matériaux qu'il rencontre, comme l'acier ou le béton. C'est pour cela qu'il est incontrôlable, car personne ne peut l'approcher et il détruit tout sur son passage.

Une autre source de chaleur est l'oxydation des métaux par réactions chimiques à chaud avec l'oxygène atmosphérique ou la vapeur d'eau.

Les chercheurs ont du mal à étudier le corium et les essais qu'ils effectuent sont loin de la réalité puisqu'ils travaillent sur des magmas n'ayant souvent pas la même composition, avec des températures plus faibles (souvent de 500 à 2000°C) et des masses 50 à 500 fois moins importantes que celles des cœurs de Fukushima. Toutefois, parmi une multitude de paramètres étudiés, ils déterminent que la cuve en acier d'un réacteur recevant un bain de corium en son fond devient fragile à partir de 1000°C.

A Tchernobyl, il a fallu 6 à 7 mois pour obtenir un "arrêt à froid" de la masse de corium. Mais 18 ans après l'accident, en 2004, on mesurait encore une température de 36°C à proximité du combustible fondu (2).

A Fukushima, la dernière feuille de route de Tepco (3) en juillet - tout comme l'[analyse de l'IRSN](#) - annonce un "arrêt à froid" des réacteurs pour janvier 2012 : l'entreprise en effet ne communique que sur les réacteurs, pas sur le corium. Et pour cause, il faudra probablement quelques dizaines d'années avant un refroidissement de celui-ci. Il faut donc voir l'expression "arrêt à froid" comme une façade de communication minimisant la catastrophe.

**Extrêmement dense**

Le corium a une densité de l'ordre de 20, c'est-à-dire environ trois fois plus importante que l'acier. Concrètement, cela signifie qu'un mètre cube de corium pèse 20 tonnes (contre 1 tonne pour 1 m<sup>3</sup> d'eau). Le volume des différents coriums est estimé par Jansson-Guilcher de 1 à 1,5 m<sup>3</sup> (20/30 tonnes) pour le réacteur 1 et de 3 à 4 m<sup>3</sup> (60/70 tonnes) pour les réacteurs 2 et 3. On peut ainsi mieux imaginer ce qu'une telle masse peut produire comme pression sur une très faible surface. Mais s'il s'avère que l'ensemble du corium puisse se congoloméner, par exemple en cas de l'effondrement d'un fond de cuve, les masses en jeu sont évidemment plus importantes et l'attaque du béton ou du sol est d'autant plus renforcée.

**Extrêmement corrosif**

Le corium est capable de traverser la coque en acier d'une cuve et la dalle de béton qui la supporte. La cuve principale (RPV = Reactor Pressure Vessel) fait 16 à 17 centimètres d'épaisseur. La cuve secondaire dite "de confinement" (appelée aussi Drywell ou PCV = Pressure Containment Vessel) est beaucoup plus mince, de l'ordre de 2 à 6 cm, mais doublée d'un bouclier de béton. Enfin, la dalle de béton de base, appelée aussi radier, devrait avoir en théorie une épaisseur de 8 mètres. Toutes ces protections peuvent être traversées par le corium par corrosion (Se reporter aux paragraphes 7 et 8).

**3. Quand le corium de Fukushima s'est-il formé ?**

La panne du système de refroidissement de la centrale de Fukushima Daiichi a eu lieu le 11 mars 2011, mais on ne sait pas encore exactement la ou les causes (tremblement de terre, tsunami, et possible erreur humaine pour le réacteur 1). Quoiqu'il en soit, après deux mois de dissimulations, Tepco a finalement reconnu que les cœurs des réacteurs 1, 2 et 3 avaient fondu. Le réacteur 1 n'a plus été refroidi durant 14 heures et 9 minutes, le 2 durant 6 heures et 29 minutes et le 3 durant 6 heures et 43 minutes ([lien](#)).

**4. Combien de tonnes de combustible ont fondu ?**

D'après les [données](#) connues des combustibles des réacteurs de Fukushima Daiichi, on connaît les masses de combustible des trois coriums :

- corium 1 : 69 tonnes
- corium 2 : 94 tonnes
- corium 3 : 94 tonnes

soit une masse totale de combustible en fusion de 257 tonnes.

Pour comparaison, le corium de Three Mile Island avait une masse d'environ 20 tonnes et celui de Tchernobyl de 50 à 80 tonnes. A Fukushima, les coriums ont donc une masse jamais égalée, ce qui explique entre autres les difficultés que rencontrent les experts pour modéliser l'accident.



Corium de Tchernobyl

Quant au corium 3, il faut préciser que celui-ci contient du plutonium issu du combustible MOX. Ce dernier étant constitué de plutonium à 6,25%, et le cœur du réacteur 3 contenant 32 assemblages sur les 548 présents, on peut évaluer à au moins 300 kg la masse de plutonium issu du MOX contenue dans le corium 3, sans compter le plutonium provenant du combustible usé contenu dans les 516 autres assemblages (4).

A ces données, il faut ajouter les tonnes de matériaux divers qui structurent les cœurs et qui peuvent avoir été emportés dans la masse en fusion, ce qui représente quelques tonnes supplémentaires.

Pour autant, l'expérience montre qu'une partie du corium reste dans les cuves percées s'il est suffisamment refroidi. Cela dépend en fait de l'état des cuves. Si le corium est passé par une ouverture minime de la cuve, une partie peut être restée attachée aux parois subsistantes. En revanche, si le cœur a fondu entièrement, le fond de cuve peut s'ouvrir complètement et dans ce cas, le corium résiduel est extrêmement faible.



### 5. Aspect et composition du corium

Le corium ressemble à de la lave en fusion, avec une consistance pâteuse, entre liquide et solide. Quand il rencontre une masse froide, ou quand il se refroidit avec le temps, une croûte peut se former, limitant ainsi les échanges de température. La croûte peut exister en surface, refroidie par exemple par de l'eau. Elle peut aussi être verticale, contre les parois d'une cuve en béton. Mais à Fukushima, le corium est actif, ainsi aucune possibilité de refroidissement n'est envisageable ou attendue pour l'instant. Si croûte il y a, elle doit être bien mince.

Les éléments constituant le corium n'ayant pas la même masse, ils migrent selon leur densité, les plus lourds (métaux) se retrouvant au fond et les plus légers (oxydes) en surface. Mais si la chaleur est trop intense, la production de gaz est importante et tout est brassé. Dans ce cas, les éléments les plus lourds ont tendance à se rassembler au centre.

Le corium est composé d'un certain nombre de métaux en fusion provenant de la fonte des différents éléments du cœur. Le zirconium, provenant des gaines de combustible, est le plus observé car il réagit avec l'eau en produisant du dioxyde de zirconium et de l'hydrogène. D'autres métaux se retrouvent dans cette « soupe », formant une couche dense contenant des métaux de transition tels que le ruthénium, le technétium ou le palladium, de l'indium, du cadmium, du zircaloy, du fer, du chrome, du nickel, du manganèse, de l'argent, des produits de fission métalliques, et du tellure de zirconium.

La couche superficielle se compose principalement à l'origine de dioxyde de zirconium et de dioxyde d'uranium, éventuellement avec de l'oxyde de fer et des oxydes de bore, puis elle finit par concentrer également des oxydes de strontium, de baryum, de lanthane, d'antimoine, d'étain, de niobium et de molybdène.

### 6. Progression du corium

Si l'on se réfère à une [étude](#) réalisée par l'*Oak Ridge National Laboratory* qui évoque une simulation d'accident de ce type dans un réacteur à eau bouillante similaire à ceux de Fukushima Daiichi, on sait qu'il suffit de 5 heures pour que le cœur ne soit plus recouvert d'eau, 6 heures pour que le cœur commence à fondre, 6h30 pour que le cœur s'effondre, 7 heures pour que le fond de la cuve lâche, et 14 h pour que le corium traverse une couche de 8 m de béton avec une progression de 1,20 m/h (5). On peut donc raisonnablement supposer que la cuve du réacteur 1 de Fukushima Daiichi a été traversée par le corium dès le soir du 11 mars et que cette pâte incandescente est passée sous la dalle dès le 12 mars 2011.

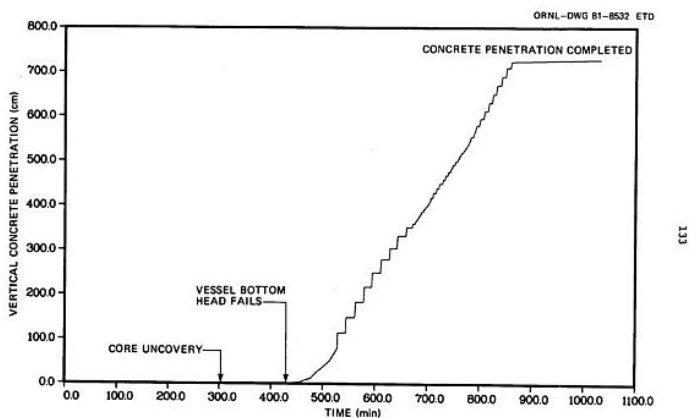
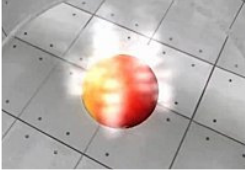


Fig. 9.21 Vertical concrete penetration.

Quant aux coriums des réacteurs 2 et 3, on sait qu'en 6 heures, ils ont eu le temps de se former et de fragiliser le fond de cuve, voire de la percer, en particulier pour le 3 (panne de 6h et 43min). Des éléments de preuves, provenant de sources internes à Tepco, mais non encore officialisées, indiquent que les réacteurs 2 et 3 ont bel et bien fondu, le numéro 3 s'étant même effondré dans sa cuve (6).

D'après Jansson-Guilcher, intervenant qualifié dans le [forum](#) technique de *Radioprotection Cirkus*, « une cavité a été ajoutée sous le réacteur. En fait, le sous-bassement n'est pas plein. Pour limiter les répercussions sismiques, les Japonais ont "allégé" la dalle pour constituer un corps creux, sensé être plus résistant aux séismes qu'une dalle pleine ». Cette cavité pourrait faire communiquer les 4 réacteurs de Fukushima Daiichi par des tunnels de dépressurisation. Si cette information est confirmée, le corium n'a pas à traverser 8 mètres de béton, mais beaucoup moins, ce qui facilite sa progression verticale vers le sol géologique, d'autant plus qu'à Fukushima, il n'a rien été prévu pour permettre son étalement.

Dans le cas d'une descente du corium dans le sol, deux scénarios sont possibles. Soit celui-ci se rassemble au même endroit, et dans ce cas, il forme un puits d'environ 0,80 m de diamètre et descend à la verticale ; sa vitesse de progression est inconnue, mais doit être assez rapide comparée à la vitesse dans du béton qui est d'environ 1 m/jour. Soit il se disperse dans diverses directions, profitant de structures de sols moins dures ou s'infiltrant dans des failles rocheuses. Dans ce deuxième cas, il perdrait de sa puissance en se divisant en de multiples tentacules.



Avec une température de 2500 à 3000°C, il semble impossible qu'il reste coincé quelque part. Pourtant, d'après d'autres contributeurs dans d'autres forums et sites, le corium pourrait ne pas avoir traversé la dalle de béton le séparant du sol. L'explication serait que la masse de corium arrivée sur le radier serait trop faible pour engendrer une criticité. Mais là, personne n'est encore allé voir, donc tout n'est que suppositions.

Il y aurait pourtant des façons simples pour connaître à la fois l'avancée du corium et ses caractéristiques physico-chimiques, à commencer par une spectrographie et une spectroscopie aérienne ou satellitaire. On a aussi la possibilité de faire des relevés utilisant plusieurs gammes de fréquences comme l'infrarouge. Bien qu'il soit probable que les Japonais ont ces renseignements, 5 mois après la catastrophe, rien n'est communiqué à ce sujet.

(1) "Le sort qui est réservé habituellement aux travailleurs du nucléaire devient en définitive le sort de la population mondiale car il faut bien comprendre que la dispersion des radioéléments n'enlève rien à leur action ; leur concentration diminue mais leur rayon d'action s'étend en conséquence et, au final, le nombre de maladies engendrées par les accidents nucléaires majeurs reste le même, il est juste réparti différemment."

source :

<http://www.gen4.fr/blog/2011/07/les-infos-de-fukushima-et-dailleurs-317.html>

(2) *L'Express*, 6/12/2004 : "Tchernobyl, la catastrophe à petit feu"

source :

<http://www.dissident-media.org/infonucleaire/sarcophage2.html>

(3) La dernière feuille de route est décrite ici :

<http://news.lucaswhitefieldhixson.com/2011/07/japan-and-tepco-revise-roadmap-to.html>

(4) On peut toutefois se poser la question de la pertinence de l'information de 32 assemblages de MOX. D'après un [article](#) d'Andréa Fradin, un responsable d'Areva aurait déclaré que le cœur du réacteur 3 était chargé de 30% de MOX, ce qui change complètement la donne. Je reviendrai sur ce sujet dans un autre article.

(5) Cette vitesse de 1,20 m/h est en totale discordance avec Areva qui annonce un percement du béton par le corium avec une progression de moins d'un mètre par jour ([lien](#)). Il est vrai qu'il existe différents types de béton, présentant plus ou moins de densité et de résistance. La quantité de corium doit jouer aussi beaucoup. La différence peut s'expliquer également en fonction du moment d'attaque : la phase d'érosion rapide du radier en béton dure environ une heure et progresse sur environ un mètre de profondeur, puis ralentit à plusieurs centimètres par heure, et s'arrête complètement si le corium refroidit en dessous de la température de décomposition du béton (environ 1100 °C).

(6) Cf. « [Révélations sur la crise de Fukushima Daiichi](#) », *Courrier international*, 18 mai 2011.

(Illustrations tirées d'une animation du METI et du site de l'IRSN)

Pour lire la suite, cliquer sur ce [lien](#) :

<http://fukushima.over-blog.fr/article-le-corium-de-fukushima-2-effets-et-dangers-81400782.html>

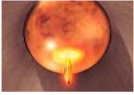
Par Pierre Fetet Publié dans : [au japon](#) Communauté : [Fukushima blogs](#)

---

CRÉER UN BLOG GRATUIT SUR [OVER-BLOG.COM](#) - [CONTACT](#) - [C.G.U.](#) - [RÉMUNÉRATION EN DROITS D'AUTEUR](#) - [SIGNALER UN ABUS](#) - [ARTICLES LES PLUS COMMENTÉS](#)

Vendredi 12 août 2011

## Le corium de Fukushima (2) : effets et dangers



Cette page est la deuxième partie de l'article

« Le corium de Fukushima ».

Pour revenir à la première partie, [cliquer ici](#) :

<http://fukushima.over-blog.fr/article-le-corium-de-fukushima-1-description-et-donnees-81378535.html>

### Sommaire

#### Le corium de Fukushima

##### partie 1 : description et données

1. Définition du corium
2. Matière de tous les extrêmes
3. Quand le corium de Fukushima s'est-il formé ?
4. Combien de tonnes de combustible ont fondu ?
5. Aspect et composition du corium
6. Progression du corium

##### partie 2 : effets et dangers

7. Que se passe-t-il quand le corium rencontre du béton ?
8. Que se passe-t-il quand le corium rencontre du métal ?
9. Que se passe-t-il quand le corium rencontre de l'eau ?
10. Que veulent dire les termes « Melt-down », « Melt-through » et « Melt-out » ?
11. Possibilité de contenir le corium
12. Dangers du corium

#### 7. Que se passe-t-il quand le corium rencontre du béton ?

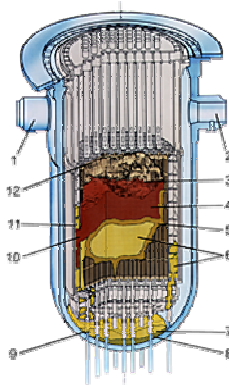
Au contact du corium, le béton se vitrifie puis se décompose et ce, de plus en plus vite au fur et à mesure de l'augmentation de la masse qui s'accumule au même endroit. Un béton siliceux a un point de fusion à 1300°C. Un corium à 2800°C le transforme ainsi en divers gaz et aérosols : chaux vive ( $\text{CaO}$ ), silice ( $\text{SiO}_2$ ), eau et gaz carbonique, mais aussi monoxyde de carbone et hydrogène qui peut être produit en de grandes quantités à cette occasion.

La chaux vive, à l'état solide, réagit habituellement avec l'eau en produisant de la chaleur et de la chaux éteinte ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Il est probable que des phases de condensation de la chaux entretiennent ainsi la chaleur du corium.

Du tellure est aussi relâché au fur et à mesure de la décomposition du tellure de zirconium.

Tous ces produits, entre autres, se mélangent donc et interagissent continuellement, alimentant l'énergie du magma.

L'interaction corium-béton comme celui du bouclier inférieur de Fukushima Daiichi produit une fulgurite au point d'attaque, c'est-à-dire que le béton se vitrifie et forme un tube - dont la structure cristalline est proche de celle des céramiques - et se désolidarise du reste de la masse de béton car sa structure moléculaire est différente. Ensuite cette fulgurite, d'un diamètre de quelques centimètres à quelques dizaines de cm selon la masse de corium, peut servir de conduit pour le reste de la masse en fusion. La structure moléculaire des fulgurites procure à celles-ci une faible conductivité thermique et de ce fait, le reste de la masse de béton ne peut pas ou plus agir comme dissipateur thermique.



#### 8. Que se passe-t-il quand le corium rencontre du métal ?

Il y a peu de métaux qui résistent à des températures de 2500 à 3000°C. De plus, ces métaux sont rares et ne possèdent pas les propriétés mécaniques de l'acier. C'est pourquoi les cuves des réacteurs sont toujours fabriquées en acier. Tout va bien si la température est maîtrisée. Mais en cas de panne du système de refroidissement, la cuve peut subir de graves dommages causés par la montée de la température et de la pression. Le point de fusion du fer étant à 1538°C, on peut comprendre pourquoi une cuve ne résiste pas longtemps à un corium puissant comme celui de Fukushima.

Par ailleurs, dans une atmosphère inerte, l'alliage argent-indium-cadmium provenant des barres de contrôle produit du cadmium. En présence d'eau, l'indium forme les instables oxydes d'indium et hydroxyde d'indium qui s'évaporent et forment un aérosol. L'oxydation de l'indium est inhibée par une atmosphère riche en hydrogène. Le césium et l'iode des produits de fission volatiles réagissent pour produire l'iode de césium, qui se condense aussi sous forme d'aérosols.

Le bain de corium est donc un milieu multiconstituant et multiphasique (liquide, solide, gaz) dont la composition et les propriétés physiques évoluent constamment au cours de ses interactions avec les éléments de son environnement.

#### 9. Que se passe-t-il quand le corium rencontre de l'eau ?

L'eau est « craquée » à partir de 850°C par thermolyse, ce qui signifie qu'elle subit, à cause de la chaleur, une réaction de décomposition chimique en deux éléments : l'oxygène et l'hydrogène. Dans le même temps, l'eau subit une radiolyse, qui est le « craquage » de la molécule d'eau par la forte radioactivité, en donnant des radicaux libres d'hydrogène et d'hydroxyde. Dans les deux cas, en expérimentation, on constate autour du corium la formation d'une bulle de gaz formée d'hydrogène, d'oxygène et de vapeur, plus ou moins importante suivant la quantité de corium, son activité et sa température. De ce fait, l'eau n'est jamais vraiment en contact avec la masse en fusion.

La radiolyse et la thermolyse participent à la perte d'énergie du corium sur le long terme mais pas à un refroidissement à proprement parler, sauf à partir du moment où le corium a perdu son état de criticité.



Vapeur fortement radioactive  
du réacteur 1  
(début juin 2011)

#### 10. Que veulent dire les termes « Melt-down », « Melt-through » et « Melt-out » ?

On rencontre parfois ces mots dans les articles concernant la fonte des cœurs de réacteurs nucléaires. Ce sont des mots anglais qui n'ont pas d'équivalents en français.

« **Melt-down** » (ou « Meltdown ») est un terme général faisant référence à la fusion d'un cœur de réacteur nucléaire à la suite d'un grave accident nucléaire. Lors de cet événement, les barres de combustible fondent et s'effondrent sur elles-mêmes. Si le refroidissement n'est pas rétabli suffisamment tôt, elles se retrouvent dans le fond de la cuve sous la forme d'un corium.

Le « **Melt-through** » est la suite logique du « Melt-down ». Suite à la fusion du cœur d'un réacteur nucléaire et du percement de la cuve, – le melt-through de la cuve du réacteur peut prendre de quelques dizaines de minutes à plusieurs heures – le corium peut poursuivre son avancée en traversant le fond de l'enceinte de confinement. S'il n'est pas étalé, refroidi ou piégé dans une cavité prévue à cet effet, il arrive finalement à perforer la dalle de béton de base du réacteur.

Animation du ministère de l'Industrie du Japon sur le Melt-through dans un réacteur du type de Fukushima.

Le « **Melt-out** » correspond à la phase finale de cet accident majeur. Le combustible fuit à l'extérieur des différentes barrières de confinement des réacteurs, soit la cuve du RPV et l'ampoule du Drywell : il atteint le sol géologique, continue sa descente – plus ou moins rapidement selon la nature du terrain – et diffuse une forte radioactivité dans l'environnement. Il est probable que l'on doive ce nouveau mot à Hiroaki Koide, de l'Université de Kyoto, car l'expression semble apparaître pour la première fois dans un [article](#) rapportant ses propos. Ce phénomène est aussi connu sous le nom de « syndrome chinois », en référence à des travaux évoqués pour la première fois par le physicien Ralph Lapp en 1971 (7), mais surtout à un film catastrophe sorti quelques jours avant l'accident de Three Mile Island. A ce propos, il est peu probable que le corium puisse rejoindre le magma, et de toute manière impossible qu'il puisse dépasser le noyau terrestre.

#### 11. Possibilité de contenir le corium

Comme le souligne la [synthèse R&D relative aux accidents graves dans les réacteurs à eau pressurisée : Bilan et perspectives](#) (2006, IRSN-CEA), « il n'est pas possible, sur la base des résultats des essais réalisés (...), de conclure actuellement quant à la possibilité de stabilisation et de refroidissement d'un bain de corium en cours d'ICB [interaction corium-béton] par injection d'eau en partie supérieure. Les progrès dans ce domaine sont malaisés du fait des difficultés technologiques (effets de taille, ancrage de croûte, représentativité du mode de chauffage, ...) auxquelles se heurte la réalisation d'essais en matériaux réels à une échelle suffisamment grande. »

Donc pour ce qui concerne le corium, l'arrosage des réacteurs de Fukushima est bien une mesure de pis-aller. En fait, l'eau apportée n'est pas destinée à refroidir l'ensemble du cœur initial mais à maintenir en place le corium résiduel. Celui-ci, dont la masse réduite n'engendre plus de criticité, peut en effet être refroidi.



Vidéo d'un corium

contenu dans un creuset :  
expérience du CEA  
diffusée par l'IRSN

[http://www.irsn.fr/FR/popup/Pages/Experience\\_Vulcano.aspx](http://www.irsn.fr/FR/popup/Pages/Experience_Vulcano.aspx)

Le pire des cas serait un corium qui s'engouffrerait ou s'enfermerait dans le béton ou le sol, ce qui non seulement offrirait la meilleure forme possible pour conserver son intégrité, augmenterait le nombre de neutrons récupérés, mais en plus, la masse deviendrait, de facto, inaccessible, ce qui le rendrait impossible à refroidir.

C'est ce cas de figure qui semble se produire actuellement à Fukushima pour au moins l'un des réacteurs (n° 1). D'où l'idée de construire une enceinte souterraine qui limiterait la

dissémination de la radioactivité dans le sol. Mais Tepco, entreprise privée exsangue, ne paraît pas être pressée de protéger l'environnement car ce projet, s'il était soumis aux actionnaires, ne serait sans doute pas accepté car trop coûteux.

Lors de l'accident de Tchernobyl, les Soviétiques n'avaient pas hésité à construire une dalle de béton sous le réacteur pour empêcher la descente du corium. Pourquoi les Japonais n'ont pas fait la même chose ? Peut-être à cause du coût, peut-être à cause de la présence de l'eau, peut-être parce que c'était trop tard ?

## 12. Dangers du corium

Les dangers du corium sont nombreux et vont s'inscrire malheureusement dans la durée. D'où l'absence de communication de Tepco sur le sujet...



Le **premier** danger est la formation d'hydrogène. On connaît bien le danger de ce gaz qui a provoqué les explosions dans bâtiments des 4 premiers réacteurs au cours des premiers jours de la catastrophe. C'est ainsi que l'hydrogène, l'élément le plus simple et le plus abondant de l'univers, est aussi le gaz le plus redouté dans l'industrie nucléaire.

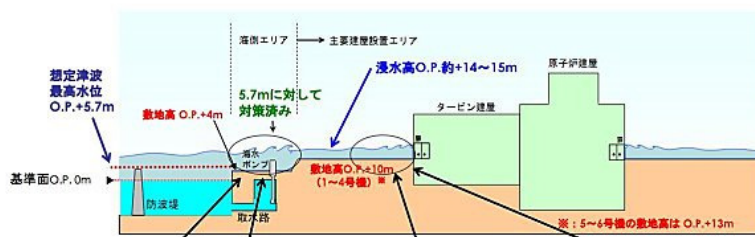
Or le corium, une fois constitué, continue à en fabriquer. On a vu plus haut comment : en craquant l'eau par thermolyse et par radiolyse, mais aussi lors de la vaporisation du béton. C'est pourquoi Tepco injecte régulièrement de l'azote dans les réacteurs, afin d'atténuer les effets explosifs de l'hydrogène en présence d'oxygène. Une nouvelle explosion pourrait être catastrophique, car les bâtiments ont déjà beaucoup souffert – en particulier le n° 4 dont la structure est devenue instable – et les piscines de combustible usé sont perchées à plus de 20 mètres de hauteur. Ce serait donc véritablement un désastre si l'une d'elle venait à lâcher.

Le **deuxième** danger est précisément la faculté qu'a le corium de fragiliser le béton. Dans le cas où il y a Melt-through, le corium le traverse sans problème, mais son action va avoir une conséquence sur la solidité des fondations : lors du refroidissement de la fulgurite, il se produit un changement de phase qui a la particularité de produire une forte augmentation de volume ; ainsi les parois de béton en contact, mais désolidarisées mécaniquement des fulgurites, sont détruites par effet de compression. On peut donc s'attendre, avec le refroidissement du bouclier inférieur dans les mois à venir, à une destruction d'éléments massifs de la structure en béton de soutènement, ce qui pourrait avoir plusieurs effets négatifs : fragilisation des bâtiments réacteurs et apparition de failles supplémentaires où l'eau hautement radioactive utilisée continuellement pour le refroidissement pourrait s'échapper dans l'environnement, accentuant la pollution.

Un **troisième** danger a longtemps été évoqué dans les premières semaines de la catastrophe : la possibilité d'une explosion de vapeur. Le corium, dans sa descente souterraine, pourrait rencontrer une masse d'eau qui, sous la chaleur du magma, la transformerait immédiatement en vapeur qui, avec la pression engendrée, provoquerait une énorme explosion si l'eau n'est pas dans un milieu ouvert. C'est ce que redoutaient déjà les soviétiques à Tchernobyl ; pour éviter ce grave danger, ils avaient vidé la piscine de suppression de pression avant que le corium ne l'atteigne. A Fukushima, on peut se demander si le même scénario ne s'est pas produit car le 4 avril, Tepco a commencé à vider 11 500 tonnes d'eau. Le porte-parole du gouvernement, Yukio Edano, annonçait à l'occasion : « Nous n'avons pas d'autre choix que de rejeter cette eau contaminée dans l'océan comme mesure de sécurité » (8). Quant au porte-parole de Tepco, il pleurait en annonçant la nouvelle. Pleurerait-il parce qu'il déversait de l'eau faiblement radioactive dans la mer ou parce qu'il savait que le corium allait définitivement être perdu ? Dans cette hypothèse, le corium (de quel réacteur ?) aurait mis plus de trois semaines pour atteindre les sous-sols de la centrale.

Quant à la possibilité de rencontrer brutalement une masse d'eau naturelle, cela est peu probable. En effet, une nappe phréatique n'est pas un lac souterrain, mais une masse d'eau répartie dans le sol entre les éléments le constituant. Si le corium traverse cette nappe, il ne rencontrera pas suffisamment d'eau à la fois pour provoquer une explosion. Cela provoquera en revanche des jets de vapeur, voire des geysers, qui pourront apparaître n'importe où à la surface, passant dans les failles et les interstices du sol. Et cela constitue le **quatrième** danger, celui de la contamination de l'environnement. L'eau, au contact avec le corium, se charge d'uranium, de plutonium, de cobalt, de césium, etc. à des niveaux extrêmement élevés et se trouve donc fortement contaminée. Si elle parvient à sortir de terre, la pollution se propagera dans l'atmosphère sous forme de vapeurs, de gaz ou d'aérosols radioactifs. Si la vapeur se condense dans le sol, elle polluera irrémédiablement le sol, et les radionucléides rejoindront inévitablement la nappe phréatique.

Un autre grand danger, le **cinquième**, est celui que le corium rencontre la nappe aquifère en relation avec la mer. Après tout, les réacteurs ne sont situés qu'à 200 mètres du rivage, et les sous-sols des bâtiments réacteurs sont clairement en dessous du niveau de la mer, comme cela apparaît dans un plan du METI (Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie). Donc si un corium a réellement traversé le radier, il s'est probablement trouvé en contact avec un niveau géologique en relation avec l'océan, car la centrale est construite sur des roches sédimentaires de type « grès », assez perméable à l'eau car souvent fracturée. Or, une contamination continue de la mer durant des dizaines d'années pourrait créer des dommages considérables pour l'ensemble du littoral oriental de l'archipel.



On a aussi également beaucoup parlé dans les forums d'un risque d'explosion nucléaire, hypothèse qui a été reprise dans quelques articles. Le terme de « explosion nucléaire » avait déjà été employé de manière incorrecte dans les médias pour des explosions d'hydrogène. En fait, dans une centrale nucléaire, une explosion n'est pas forcément nucléaire. En revanche, une explosion d'hydrogène dans une centrale nucléaire rejette de la radioactivité dans l'environnement. Même s'il reste de grandes interrogations sur la nature des explosions de l'unité 3, il ne faut pas faire d'amalgame.

En octobre 1999, un accident de criticité a eu lieu au Japon à Tokai-Mura : lors d'une phase de mélange de composants, le dépassement de la masse critique d'uranium enrichi avait déclenché un « début d'explosion atomique » (9). Pour autant, les défenseurs de l'énergie nucléaire ont toujours affirmé qu'une centrale nucléaire ne pouvait pas exploser comme une bombe atomique. Il y a du vrai et du faux. Une explosion nucléaire implique un emballement de la réaction en chaîne. Or cet emballement peut être plus ou moins important. Quand il est important, c'est que le combustible est très pur et très enrichi. On ne rencontre ça que dans une bombe. Dans une centrale nucléaire en fonctionnement normal, le combustible peut être sujet à un emballement suite à une erreur de manipulation ou une panne du système de refroidissement, mais il ne donnera jamais une explosion atomique du type bombe H car l'environnement, les taux et la nature des combustibles ne le permettent pas. En revanche, cet emballement, même minime, peut conduire à une explosion nucléaire – **sixième** danger – mais à des niveaux d'énergie comparable à celle des explosions conventionnelles, c'est-à-dire des millions de fois plus petite qu'une explosion nucléaire militaire (10).

En outre, il reste encore une grande inconnue, c'est le comportement des différents coriums engendrés par la catastrophe du 11 mars. Ils ont chacun des masses et des compositions différentes, selon ce qu'il y avait au départ dans chaque réacteur et ce qu'ils ont « mangé » sur leur passage. La modélisation de l'activité de coriums d'une aussi grande masse n'a jamais été réalisée, et l'accident de Fukushima devient une « expérience », sauf que cette expérience se fait et se fera dans un milieu non confiné aux dépens de la population japonaise au premier chef, mais aussi de la population mondiale puisqu'elle est partie pour durer des dizaines d'années. L'idée défendue par le milieu nucléaire de se servir du retour d'expérience de Fukushima pour réaménager le parc nucléaire mondial existant est donc un leurre puisque l'on ne connaîtra réellement ce qui s'est passé que dans des décennies.

D'où l'utilité de réclamer en urgence un moratoire sur l'emploi de l'énergie nucléaire, au moins pour les centrales les plus vieilles, afin de ne plus prendre le risque d'une telle catastrophe.

(7) LAPP (Ralph E.), "Thoughts on nuclear plumbing", *The New York Times*, 12 déc. 1971, p. E11.

(8) Source : « [Fukushima : 11.500 tonnes d'eau radioactive à la mer](#) », Le Figaro, 5 avril 2011.

(9) Source : « [Tokaï-Mura.1999 : Un accident de criticité au Japon](#) », site *La radioactivité.com*

(10) Source : « [Une centrale nucléaire peut-elle exploser comme une bombe nucléaire ?](#) »



En France, il existe un laboratoire spécialement conçu pour étudier le corium : le *Laboratoire d'études du corium et du transfert des radioéléments* (LETR, anciennement LEPF). Celui-ci fait partie du *Service d'études et de modélisation de l'incendie, du corium et du confinement* (Semic) de la *Direction de prévention des accidents majeurs* (DPAM). Situé sur le centre de recherches de Cadarache, dans sud-est de la France, il est dirigé par Didier Vola. L'étude du corium en fusion est donc en lui-même un domaine de recherche : des programmes d'essais sont organisés : MASCA (thermochimie du corium), FOREVER, ou VULCANO (écoulement du corium), LHF (perçement de la cuve), QUENCH (renoyage du corium), ainsi que tous les tests portant sur le refroidissement du corium hors cuve. Voici quelques liens pour ceux qui veulent approfondir le sujet :

<http://www-lqit.obs.uif-grenoble.fr/users/peyrotm/documents/rapportCEA.pdf>

[http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/sfi/dir/user-3775/documents/actes/Congres\\_2007/communications/134.pdf](http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/sfi/dir/user-3775/documents/actes/Congres_2007/communications/134.pdf)

<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001391/>

<http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/aktis-lettre-dossiers-thematiques/RST/RST-2005/Documents/F5RST05-3.pdf>

<http://www.sar-net.org/upload/s2-presentationoverviewcoriumbonnet.pdf>

[http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Formation\\_recherche/Theses/Theses-soutenues/DPAM/Documents/2010-these-introini.pdf](http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Formation_recherche/Theses/Theses-soutenues/DPAM/Documents/2010-these-introini.pdf)

[http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/Publications\\_documentation/BDD\\_public/DSR/SAGR/Documents/rapport\\_RetD\\_AG\\_VF.PDF](http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/Publications_documentation/BDD_public/DSR/SAGR/Documents/rapport_RetD_AG_VF.PDF)

<http://article.nuclear.or.kr/jknsfile/v41/JK0410575.pdf>

<http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/outils-scientifiques/Codes-de-calcul/Pages/Le-systeme-de-logiciels-ASTEC-2949.aspx>

#### Articles sur le corium

(et en particulier les excellents articles de [Trifouillax de Gen4](#)) :

[Le corium : les bases techniques](#) (Gen4)

[Corium](#) (Wikipédia)

[La "non-stratégie" de Tepco sur le corium de Fukushima](#)(Gen4)

[Le METI avait prévu le pire au Japon : Le Melt-through](#)(Gen4)

[D'après un ancien dirigeant de l'Agence Japonaise de l'Energie Atomique, il pourrait s'être produit un "re-melting" dans l'ex-réacteur n° 3](#) (Gen4)

[Fukushima : après le "Melt-through", le "Melt-out" : le corium attaque les nappes phréatiques](#) (Blog de Fukushima)

#### Revenir à la première partie

[Le corium de Fukushima \(1\) : description et données](#)

Par Pierre Fetet Publié dans : [au japon](#) Communauté : [Fukushima blogs](#)

CRÉER UN BLOG GRATUIT SUR [OVER-BLOG.COM](#) - [CONTACT](#) - [C.G.U.](#) - [RÉMUNÉRATION EN DROITS D'AUTEUR](#) - [SIGNALER UN ABUS](#) - [ARTICLES LES PLUS COMMENTÉS](#)