

**Accident nucléaire de Fukushima Dai-ichi**  
**Eaux souterraines sous le site**  
**Situation début mars 2014**

*Ce document est basé sur les informations rendues publiques sur la situation de la centrale de Fukushima Dai-ichi.*

## I. Contexte général : 3 zones à distinguer

Pour appréhender les sources de pollution radioactive de la nappe sous le site, il convient de distinguer 3 zones :

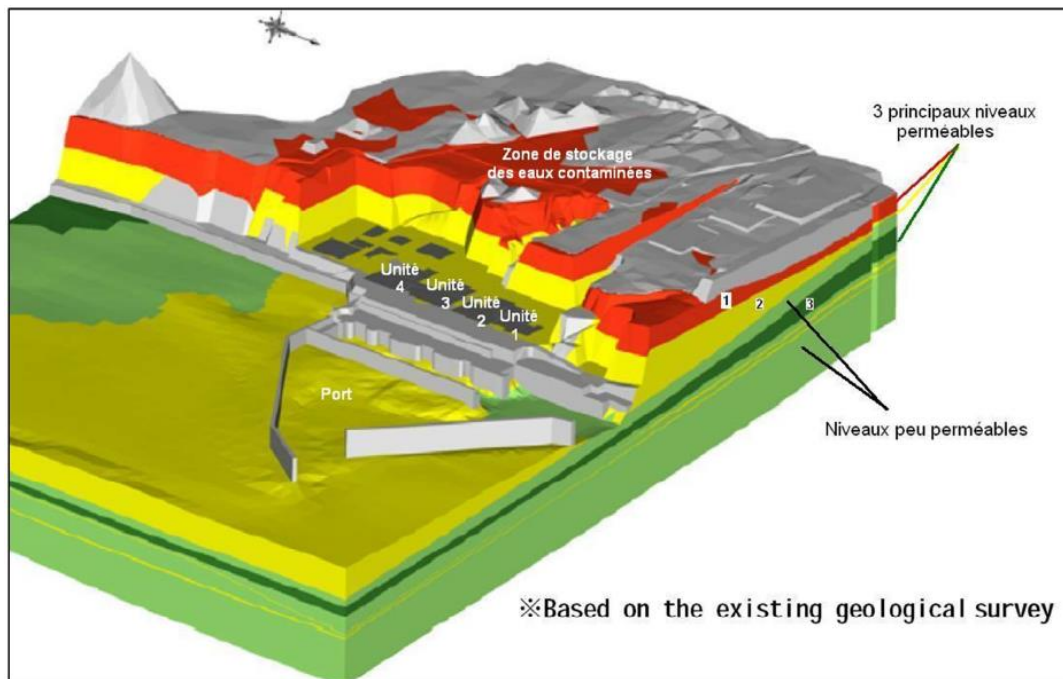
- la zone du « front de mer », située à proximité immédiate du port et comportant les stations de pompage des réacteurs 1 à 4 et un ensemble de galeries techniques et conduites diverses enterrées qui contiennent pour la plupart des quantités importantes d'eau fortement radioactive (issues des eaux injectées dans les réacteurs) ;
- la zone des « bâtiments nucléaires », comportant en particulier les réacteurs 1 à 4 et les bâtiments abritant les turbines. Les sous-sols de ces bâtiments sont remplis d'eau fortement radioactive (de l'ordre de 70 000 m<sup>3</sup>) et ils subissent des entrées d'eau importantes (environ 400 m<sup>3</sup>/jour) en provenance de la nappe ;
- la zone des « entreposages », située en amont des réacteurs et qui est aujourd'hui principalement occupée par des réservoirs d'entreposage d'eau radioactive ou issue des unités de traitement de ces eaux. La capacité d'entreposage est très importante (plus de 430 000 m<sup>3</sup> entreposés actuellement pour une capacité de plus de 470 000 m<sup>3</sup> à ce jour, avec un objectif de 800 000 m<sup>3</sup> en 2015).



*Visualisation des différentes zones sur le site*

Les eaux souterraines s'écoulent naturellement de l'intérieur des terres vers l'océan. Ainsi, sans action particulière, toute pollution parvenant dans les eaux souterraines sur le site de Fukushima Dai-ichi parviendra dans l'océan à plus ou moins long terme.

En se fondant sur une modélisation numérique des écoulements souterrains, TEPCO a estimé que, sur une largeur de 800 m au droit des réacteurs 1 à 4, il circule environ 1000 m<sup>3</sup>/jour répartis entre la nappe superficielle (niveaux perméables n° 1 et 2 de la figure ci-dessous), avec 700 m<sup>3</sup>/jour, et la nappe captive (niveau perméable n° 3 de la figure ci-dessous), avec 300 m<sup>3</sup>/jour.



Source TEPCO - Contexte géologique du site

La distance de la source de pollution à la mer est le paramètre prépondérant en termes de temps d'atteinte de l'océan. De plus, la vitesse de migration dans la nappe diffère selon les radionucléides car ils peuvent interagir plus ou moins fortement avec les terrains traversés. Ainsi, le tritium (<sup>3</sup>H), qui n'interagit pas, migre à la vitesse de l'eau souterraine (1 m/jour en ordre de grandeur). Pour le strontium, la migration est plus lente (1 m/mois en ordre de grandeur) et encore plus lente (quelques cm/jour ou moins) dans le cas du césium.

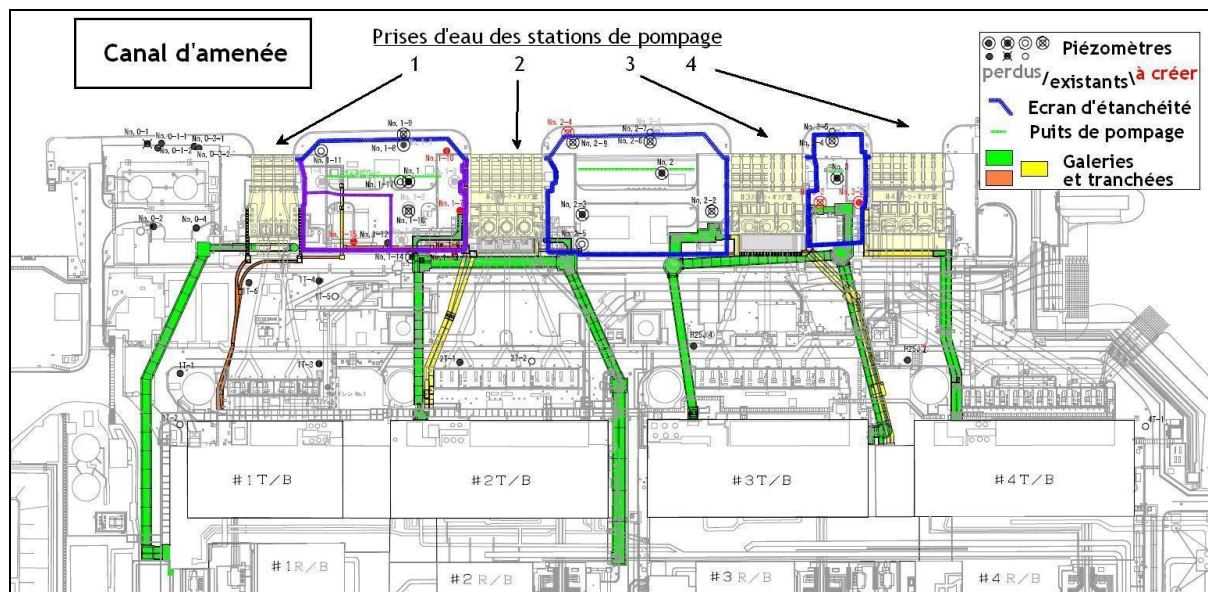
Dans ces conditions, la présence d'un ou plusieurs de ces radionucléides dans les eaux souterraines donne une indication sur la proximité d'une fuite d'eau radioactive dans les terrains. Au plus près de la source de pollution, la surveillance décèle du césium, du strontium et du tritium en forte concentration. Plus en aval, les concentrations diminuent et la surveillance ne décèle plus que du strontium et du tritium, puis uniquement du tritium.

## II. La zone du front de mer

Peu de temps après l'accident de mars 2011, des déversements directs d'eaux fortement radioactives transitant des réacteurs vers les stations de pompage par des galeries, caniveaux et conduites, ont été à l'origine d'une bonne partie de la pollution radioactive encore observée actuellement dans les sédiments et dans l'eau du port. Certains puits d'accès aux galeries ont alors été bouchés.

Des rejets dans l'océan ont ensuite perduré de manière diffuse avec le déversement d'eaux souterraines polluées, notamment dans l'espace situé entre les stations de pompage des réacteurs 1 et 2. TEPCO a alors commencé à implanter des piézomètres pour caractériser la contamination des eaux souterraines entre les réacteurs et la mer. De 3 piézomètres en décembre 2012, ce réseau a été étendu au cours du 2<sup>nd</sup> semestre 2013. Il en comprend actuellement 38 en aval des réacteurs et l'implantation de nouveaux piézomètres se poursuit en fonction des besoins.

Entre les stations de pompage des réacteurs 1 et 2, les investigations conduites montrent que la pollution de la nappe provient d'infiltrations dans le sol d'eaux fortement radioactives à partir des galeries, caniveaux et conduites enterrés. TEPCO a initié un programme de vidange et de bouchage de ce réseau de galeries.



Source TEPCO - Vue de dessus des galeries et tranchées de la zone du front de mer, entre les réacteurs 1 à 4 et l'océan - Vue des piézomètres - Etat à fin février 2014

Ces fuites expliquent la présence des plus fortes concentrations mesurées au voisinage de ces conduites, ainsi que la présence simultanée de césium, strontium et tritium dans cette zone éloignée des réacteurs. Toutefois, il faut noter que la hausse des teneurs en césium observée dans un piézomètre en juillet 2013 (33 000 Bq/L)<sup>1</sup>, qui a provoqué une inquiétude sur une possible dégradation de la maîtrise des fuites d'eau polluée vers le port, est très certainement un artéfact dû à la présence dans les échantillons de fines particules de terrains pollués<sup>2</sup>.

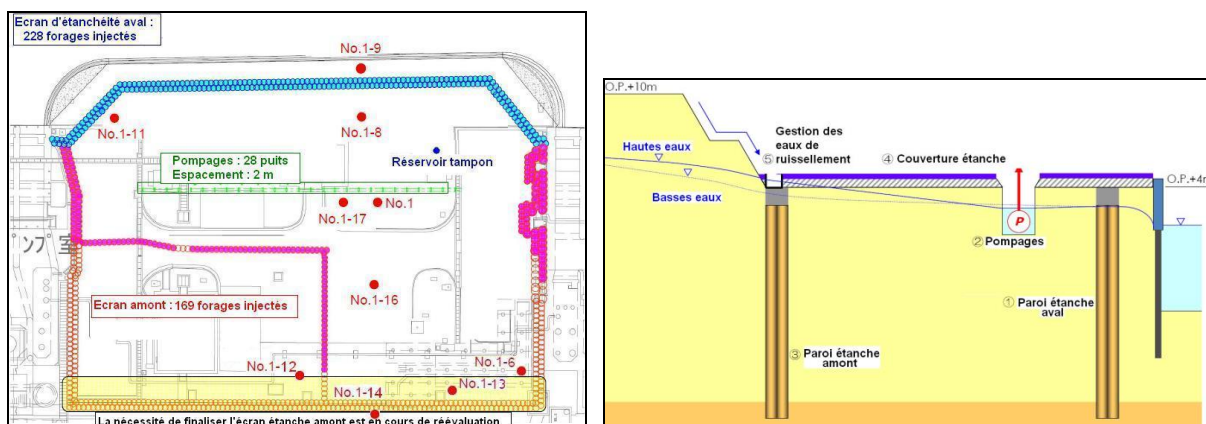
Pour éviter que les eaux souterraines polluées parviennent dans l'océan, TEPCO a mis en place un écran d'étanchéité côté océan et des pompages d'eau de nappe entre les stations de pompage des réacteurs 1 et 2. Depuis août 2013, ce dispositif a permis de diminuer significativement la contamination de la nappe en bord de mer et les rejets diffus. Cependant, les radionucléides ayant des vitesses de migration différentes, la décontamination est lente. Ainsi, les teneurs en tritium ont diminué et sont maximales autour des pompages (100 à 200 000 Bq/L). Pour le césium, le marquage reste maximal au plus près des galeries ayant fui (> 10 000 Bq/L). Le strontium progresse lentement, dépassant 10<sup>6</sup> Bq/L à 20 m en amont des pompages. Devant de telles teneurs, TEPCO envisage de compléter son dispositif en implantant une barrière absorbante destinée à piéger spécifiquement le strontium.

<sup>1</sup> Pour plus d'informations, lire la note correspondante à l'adresse suivante :

[http://www.irsn.fr/FR/Actualites\\_presse/Actualites/Documents/IRSN\\_Seisme-Japon\\_Contamination-sol-pacifique\\_10072013.pdf](http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_Seisme-Japon_Contamination-sol-pacifique_10072013.pdf)

<sup>2</sup> TEPCO a mis en évidence la présence de matières en suspension (MES) polluées en réalisant des mesures sur des échantillons bruts et filtrés. La présence de MES dans les prélèvements d'eau est normale lors de la mise en service d'un piézomètre. Cependant, pour le piézomètre n°1-2 qui a été implanté dans des terrains pollués par les fuites du caniveau voisin, ces MES étaient déjà polluées en césium.





Sur la base de données TEPCO - Ecrans d'étanchéité dans la zone du front de mer (exemple entre les stations de pompage des réacteurs 1 et 2)

Entre les autres stations de pompage, TEPCO a implanté des dispositifs similaires pour diminuer les rejets diffus dans l'océan, même si la surveillance conduite dans ces secteurs n'avait rien révélé d'équivalent. Ainsi, entre les stations de pompage des réacteurs 2 et 3, le dispositif de pompage démarré en décembre 2013 permet de récupérer des eaux de nappe dont la teneur en strontium dépasse 100 000 Bq/L. Le dispositif de pompage entre les stations de pompage des réacteurs 3 et 4 a été implanté mais n'est pas encore exploité.

En outre, des travaux sont en cours pour compléter, d'ici septembre 2014, ces dispositifs locaux par une barrière d'étanchéité (« mur ») en bordure d'océan, d'environ 900 m de long, afin d'intercepter les écoulements souterrains en aval de l'ensemble du site. Ces travaux avaient été initiés en avril 2013, avant la détection de valeurs élevées de radioactivité dans la zone du front de mer au cours de l'été 2013.



Sur la base de données TEPCO - Barrière d'étanchéité côté port

Au final, la présence de césium dans les eaux du port est imputable, pour l'essentiel, aux déversements directs d'eaux fortement radioactives survenus en 2011. La pollution des eaux souterraines dans la zone du front de mer n'a, quant à elle, qu'une influence locale sur le marquage des eaux du port en tritium et, dans une moindre mesure, en strontium.

Les dispositions prises par TEPCO apparaissent de nature à limiter les relâchements vers l'océan, voire à les empêcher si elles sont totalement efficaces. Toutefois, les pompages de nappe associés conduisent à augmenter les flux d'effluents à gérer.

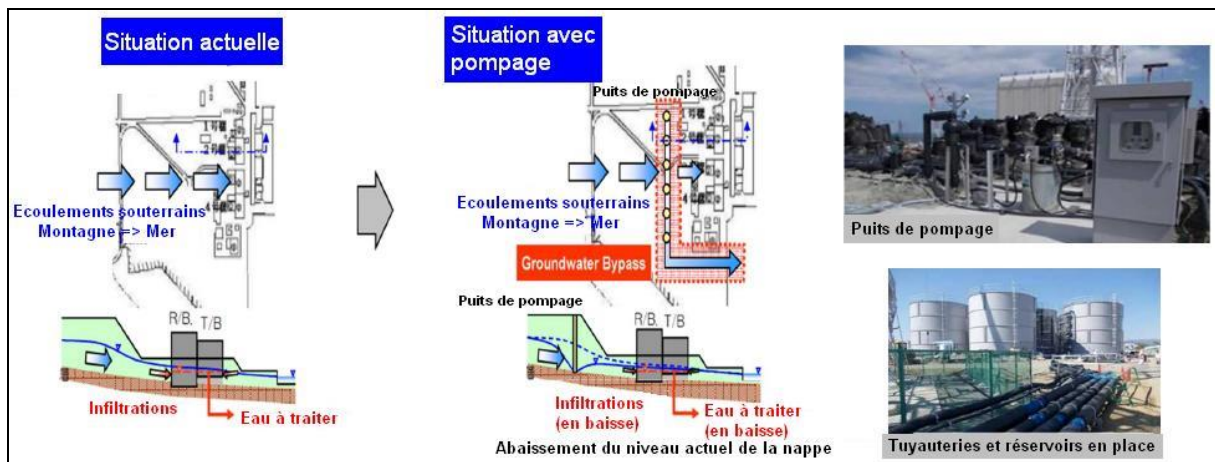
### III. La zone des bâtiments nucléaires

L'objectif premier de TEPCO dans les bâtiments nucléaires est de maintenir le refroidissement des réacteurs en injectant environ 350 m<sup>3</sup>/jour d'eau qui se pollue au contact du combustible et se répand ensuite dans les parties basses des bâtiments.

Suite au séisme de mars 2011, l'étanchéité de ces bâtiments n'est plus assurée et les eaux souterraines s'y infiltrent (de l'ordre de 400 m<sup>3</sup>/jour) puis s'y polluent. De façon à éviter que la pollution ne s'échappe, TEPCO est contraint d'évacuer ces eaux et de maintenir un niveau d'eau dans les bâtiments inférieur à celui de la nappe, ce qui a comme effet secondaire de favoriser les infiltrations.

A l'extérieur des bâtiments, la surveillance des eaux collectées dans le système de drainage implanté à leur périphérie montre une pollution de la nappe très modérée (autour de 500 Bq/L en césium à l'aval des réacteurs 1 et 2, autour de 5000 Bq/L en tritium à l'aval du réacteur 4) par rapport aux eaux contenues dans les bâtiments (de l'ordre de 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> Bq/L en césium et 10<sup>6</sup> Bq/L en tritium). Il y a donc des indices de fuite résultant probablement du niveau atteint en 2011 par les eaux radioactives dans les bâtiments nucléaires, mais pas d'indice de fuite actuelle significative. Ce constat a été confirmé en aval des bâtiments turbines avec l'implantation de 10 piézomètres dont deux captant la nappe profonde, et en amont des bâtiments réacteurs après la création de 11 piézomètres sur les 17 prévus.

Afin d'abaisser le niveau de nappe autour des bâtiments et ainsi limiter les infiltrations d'eaux souterraines, TEPCO a prévu un dispositif de pompage en amont des bâtiments (« groundwater bypass »), complété par des pompages dans les puits de drainage situés en périphérie des bâtiments.



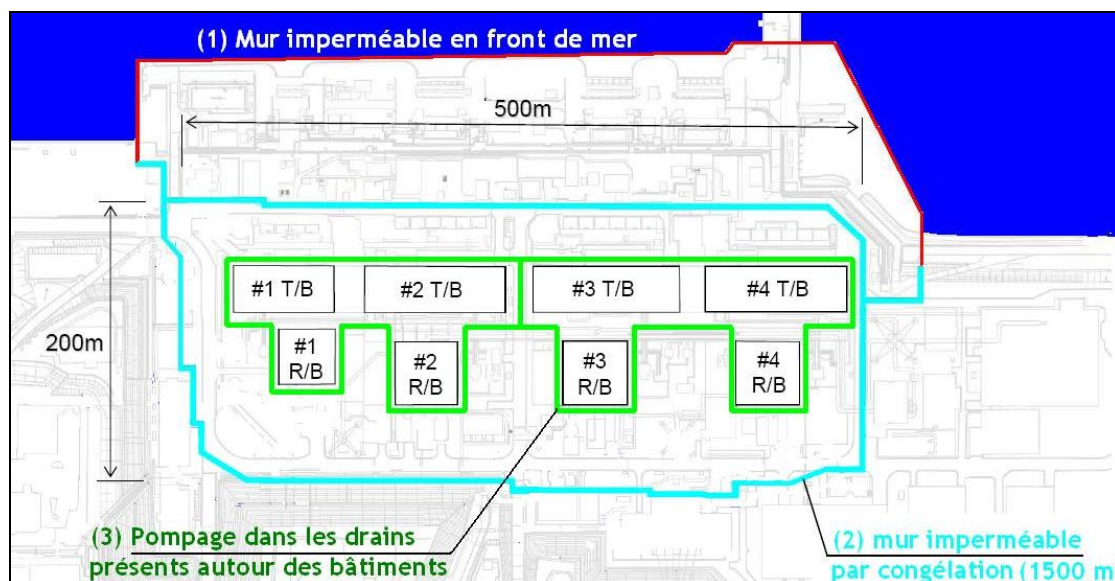
Source TEPCO - Dispositif de pompage « Groundwater bypass »

Ce dispositif est opérationnel depuis l'été 2013, mais n'a pas été activé.

Par ailleurs, un groupe d'experts mandatés pour examiner la situation a proposé une nouvelle solution permettant de confiner la nappe autour des bâtiments nucléaires. Elle consiste à ceinturer complètement les bâtiments à l'aide d'un écran étanche, par congélation des terrains jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur. Dans ces conditions, il serait possible d'arrêter les infiltrations d'eaux souterraines en pompant dans les drains autour des bâtiments.

Après une phase d'étude théorique et d'expérimentation, le groupe d'expert estime que ce dispositif pourrait être opérationnel vers mi-2015. En janvier 2014, TEPCO a lancé un test grandeur nature en utilisant ce procédé pour isoler les galeries encore remplies d'eau fortement contaminée (depuis les rejets directs à l'océan de 2011) à leur jonction avec les bâtiments turbines des unités 2 et 3.

A l'échelle du site, le déploiement d'un tel dispositif est techniquement complexe avec des travaux à réaliser dans un environnement irradiant et devant s'adapter à la présence de nombreux obstacles enterrés (câbles, galeries,...).



Sur la base de données TEPCO- Projet de congélation des sols

L'IRSN souligne qu'il est important de s'assurer que la solution finalement retenue permettra d'arrêter les infiltrations d'eaux souterraines dans les bâtiments nucléaires, tout en évitant que les actuels points d'infiltration (fissures, jonctions défailtantes...) ne deviennent par la suite des zones de fuite des eaux radioactives contenues dans les bâtiments vers les eaux souterraines. A cet égard, les dispositifs envisagés nécessiteront une attention particulière de TEPCO en vue de maîtriser la baisse conjointe du niveau de la nappe et du niveau des eaux radioactives dans les bâtiments pour éviter une fuite des eaux des bâtiments vers la nappe.

Par ailleurs, le concept de confinement par congélation des terrains nécessite des apports constants en énergie. Il apparaît plutôt adapté à une période courte, par exemple le temps de vidanger les bâtiments nucléaires et de restaurer leur étanchéité.

#### IV. La zone des entreposages

En avril 2013, des fuites notables ont été constatées sur des réservoirs enterrés implantés plus à l'intérieur des terres<sup>3</sup>, ce qui a donné lieu à l'implantation de 8 piézomètres. La surveillance des eaux souterraines a détecté des teneurs de l'ordre de 3000 Bq/L en tritium en aval de 2 de ces 7 réservoirs.

Depuis, il a été fait état d'autres fuites sur des réservoirs d'eau radioactive, l'une d'elle ayant été particulièrement importante (300 m<sup>3</sup>). La pollution du réseau pluvial voisin montre qu'une partie de ces eaux a pu parvenir à l'océan, à l'extérieur du port. Toutefois, la fuite ayant pollué les terrains autour de la zone d'entreposage, ces infiltrations ont également pollué les eaux souterraines. C'est pourquoi TEPCO a initié une surveillance des eaux souterraines et lancé la réalisation de 13 nouveaux piézomètres. Les premiers résultats ont montré, au plus près du réservoir qui a fui, la présence de tritium (150 000 Bq/L, le 13 septembre 2013) et de strontium (3 200 Bq/L, le 8 septembre 2013) et des teneurs nettement plus faibles en aval.

<sup>3</sup> Pour plus d'informations, lire la note correspondante à l'adresse suivante : [http://www.irsn.fr/FR/Actualites\\_presse/Actualites/Pages/20130410\\_fukushima-fuite-eau-radioactive.aspx](http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20130410_fukushima-fuite-eau-radioactive.aspx)

Malgré le décapage de terres contaminées, la présence d'eau polluée a été relevée dans les fossés en périphérie de la zone des entreposages lors du passage du typhon Whipa (16 octobre 2013) et la teneur en tritium de la nappe à proximité du réservoir qui avait fui en août a atteint 790 000 Bq/L le 17 octobre 2013. Au cours du mois suivant, la teneur en strontium a atteint 700 000 Bq/L, ce qui a amené TEPCO à pomper dans la nappe. Ce pompage permet d'abaisser la contamination de la nappe à moins de 20 000 Bq/L en tritium et en strontium en aval du réservoir qui a fui.

Fin février 2014, le débordement de 100 m<sup>3</sup> d'un réservoir d'entreposage s'est déversé hors de la rétention du réservoir, polluant les terrains et atteignant vraisemblablement la nappe. TEPCO a déjà décapé 130 m<sup>3</sup> de terres contaminées et annoncé la réalisation de 3 nouveaux piézomètres.

A ce jour, les niveaux détectés en aval de la zone des entreposages ne traduisent pas une pollution importante de la nappe par rapport à celle relevée dans les autres zones du site. Cependant, le tritium a atteint la zone du « groundwater bypass ». Sur les 12 puits du dispositif, 5 ont des teneurs en tritium comprises entre 100 et 1000 Bq/L. Ce constat a conduit TEPCO à proposer, début février 2014, des critères de rejet en mer des eaux pompées sur ce dispositif, conformément aux recommandations de l'autorité de sûreté japonaise (NRA) : moins de 1 Bq/L en césium 137, moins de 5 Bq/L en strontium et moins de 15 000 Bq/L en tritium.

**Les eaux souterraines polluées par les fuites dans la zone des entreposages peuvent contourner les dispositifs d'étanchéité mis en place autour des bâtiments nucléaires et dans la zone du front de mer, puis parvenir à l'océan hors de la zone portuaire. Les éléments dont disposent actuellement l'IRSN ne montrent pas une situation préoccupante pour ce qui concerne le transfert via la nappe de la pollution détectée. En effet, seul le tritium, radionucléide peu radiotoxique et mesuré à un niveau relativement faible, est susceptible de parvenir à l'océan dans des délais courts. Cependant, la présence de plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> d'effluents fortement chargés notamment en tritium et en strontium, entreposés pour une durée indéterminée sur une zone toujours plus étendue, nécessite une grande vigilance.**

## V. L'enjeu : traiter et rejeter

L'enjeu principal pour la maîtrise de la pollution des eaux souterraines à l'échelle du site de la centrale de Fukushima Dai-ichi réside dans la capacité de TEPCO à maîtriser les eaux radioactives et à résorber rapidement les volumes d'effluents entreposés. Dans cet objectif, il s'agira notamment de pouvoir traiter à la fois les effluents entreposés, les eaux souterraines pompées et les volumes d'effluents produits chaque jour dans les bâtiments nucléaires, mais aussi de garantir une efficacité suffisante de traitement pour pouvoir rejeter dans l'océan les eaux ainsi traitées, après obtention des autorisations correspondantes.

Ainsi, TEPCO a annoncé en janvier 2014, des mesures pour l'augmentation rapide des capacités de traitement des effluents hautement contaminés :

- la mise en production complète de l'unité de décontamination multi-radionucléides (ALPS), de façon à traiter 750 m<sup>3</sup>/j sur 3 lignes de traitement indépendantes,
- la construction, courant 2014, d'une unité ALPS « haute performance » dotée d'une capacité de traitement de 500 m<sup>3</sup>/j sur une seule ligne.

La construction d'une seconde unité ALPS est également envisagée.