

Accident nucléaire de Fukushima Daiichi
Eaux souterraines sous le site
Situation en janvier 2016

Ce document est basé sur les informations rendues publiques sur la situation de la centrale de Fukushima Daiichi.

I. Contexte général : trois zones à distinguer

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

- la zone du « canal d'amenée », située à proximité immédiate du port au droit des stations de pompage des réacteurs 1 à 4. Peu après l'accident, des eaux fortement radioactives issues des bâtiments des réacteurs ont rempli diverses tranchées et galeries puis se sont déversées dans le port ;
- la zone des « bâtiments nucléaires », comportant en particulier les réacteurs 1 à 4 et les bâtiments associés abritant les turbines. Les sous-sols de ces bâtiments sont remplis d'eaux de refroidissement des réacteurs, fortement radioactives (de l'ordre de 70 000 m³). De plus, ils subissent des entrées d'eaux importantes (environ 200 m³/jour) en provenance de la nappe ;
- la zone des « entreposages », située en amont des réacteurs. Créée après l'accident pour gérer les eaux fortement radioactives pompées sur le site¹, cette zone d'implantation de réservoirs occupe une surface 5 fois plus importante que celle des bâtiments nucléaires. A ce jour, environ 750 000 m³ d'eaux radioactives y sont entreposés.

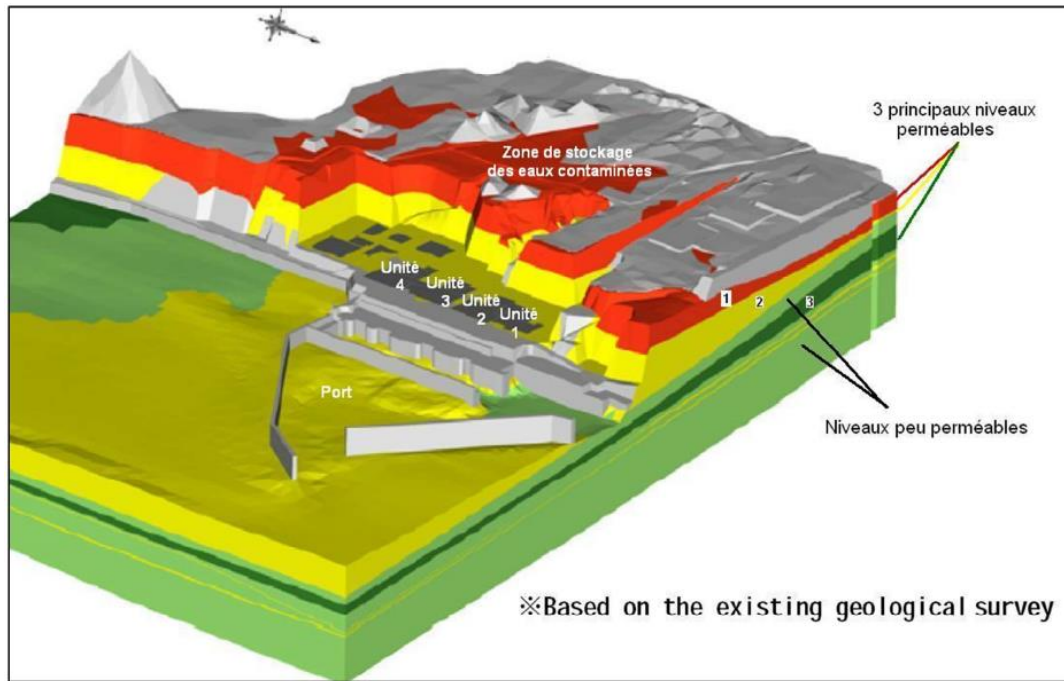


Visualisation des différentes zones sur le site

¹ Voir la note d'information relative à la gestion des eaux radioactives.

Les eaux souterraines s'écoulent naturellement de l'intérieur des terres vers l'océan. TEPCO estime qu'il circule environ 1000 m³/jour dans la zone des bâtiments des réacteurs 1 à 4. Ce débit se répartit entre la nappe superficielle (niveaux perméables n° 1 et 2 de la figure ci-dessous), avec 700 m³/jour, et la nappe captive (niveau perméable n° 3 de la figure ci-dessous), avec 300 m³/jour.

Ainsi, sans action particulière, toute pollution parvenant dans les eaux souterraines sur le site de Fukushima Daiichi parviendrait dans l'océan à plus ou moins long terme.



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 progression d'une pollution dans la nappe diffère selon les radionucléides car ils peuvent interagir plus ou moins fortement avec les terrains traversés. Ainsi, le tritium (³H), qui n'interagit pas, migre à la vitesse des eaux souterraines (1 m/jour en ordre de grandeur). Pour le strontium, la migration est plus lente (1 m/mois en ordre de grandeur) ; elle est encore plus lente (quelques cm/jour ou moins) dans le cas du césium.

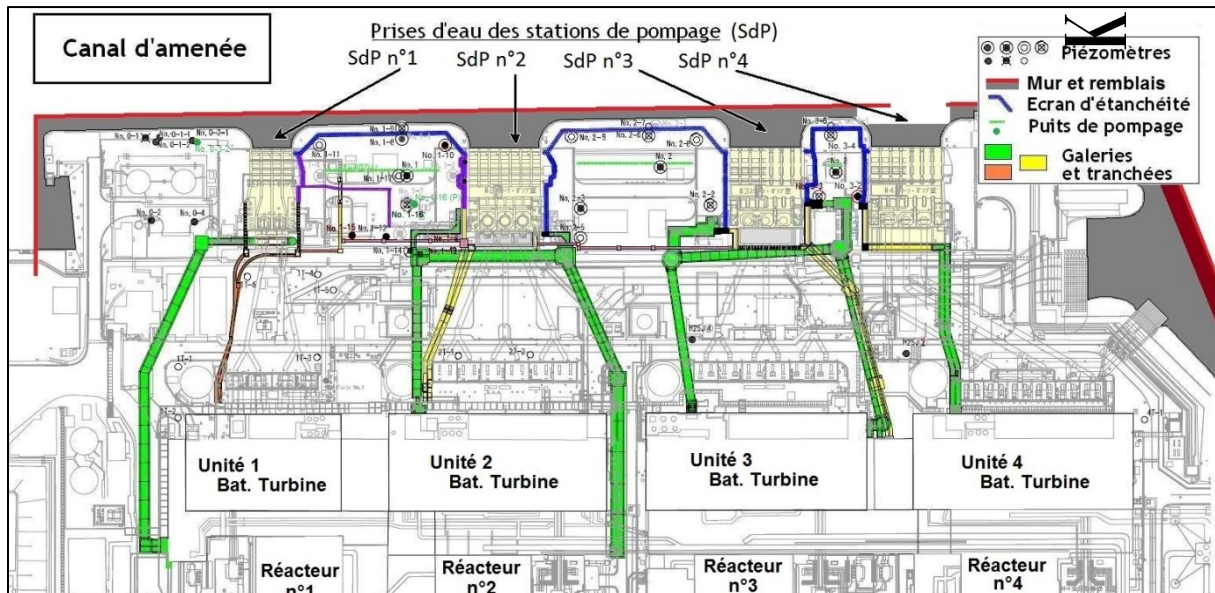
Dans ces conditions, la présence d'un ou de plusieurs de ces radionucléides dans les eaux souterraines donne une indication sur la proximité des fuites d'eaux radioactives dans les terrains. Au plus près de la source de pollution, la surveillance décèle du césium, du strontium et du tritium en forte 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 canal d'amenée

Peu après l'accident de mars 2011, des eaux de refroidissement des réacteurs sont parvenues aux stations de pompage par des galeries, ont rempli diverses tranchées et se sont déversées directement dans le port. Ces eaux fortement radioactives sont à l'origine de la pollution des sédiments et de l'eau du port, mais aussi d'une pollution des sols et des eaux souterraines à proximité des stations de pompage.

Pour limiter les rejets directs à l'océan, TEPCO a bouché des puits d'accès aux galeries en avril-mai 2011. Les rejets dans le port ont ensuite perduré de manière diffuse avec l'écoulement naturel d'eaux souterraines polluées, notamment entre les stations de pompage des réacteurs 1 et 2.

A partir de décembre 2012, TEPCO a commencé à implanter des piézomètres pour caractériser la contamination des eaux souterraines entre les réacteurs et la mer. Au cours du second semestre 2013, ce réseau a été densifié et un suivi de la contamination a été mis en place. Près de 50 piézomètres ont ainsi été implantés en aval des réacteurs, dont une trentaine sont suivis au moins une fois par semaine.



Source TEPCO - Vue de dessus des galeries et tranchées de la zone du canal d'aménée, entre les réacteurs 1 à 4 et l'océan - Vue des piézomètres - Etat de septembre 2015

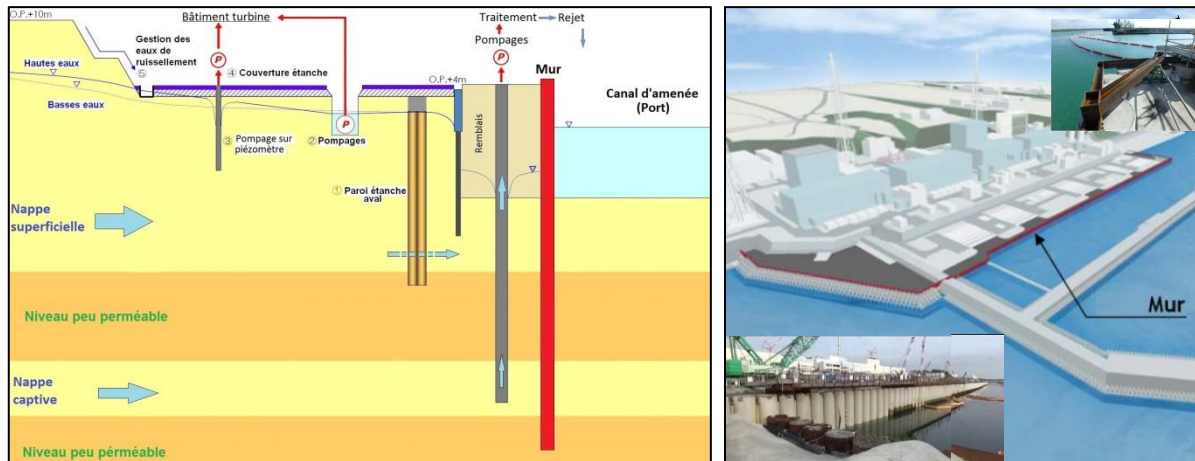
Cette surveillance a permis de confirmer l'origine locale de la contamination de cette zone. La présence simultanée de césium, strontium et tritium dans la nappe indique la proximité des lieux de fuite, les plus fortes concentrations en césium (peu mobile) étant mesurées au voisinage des galeries et tranchées. TEPCO conduit donc, depuis 2013, un programme comprenant des travaux échelonnés dans le temps (mesures d'urgence puis mesures de gestion) afin de limiter la contamination des eaux souterraines (1) et de supprimer les rejets diffus dans le port (2).

(1) Pour limiter la contamination des eaux souterraines, TEPCO a injecté des produits d'étanchéification dans les terrains au contact des galeries et des tranchées et recouvert les sols pour les protéger des infiltrations d'eaux de pluie. Après avoir tenté de bloquer par congélation les échanges d'eaux entre les galeries et les bâtiments turbines des unités 2, 3 et 4 (avril-novembre 2014), TEPCO a procédé à la vidange des eaux en l'associant à une injection de coulis cimentaire par étapes (galeries, puits verticaux de liaison et enfin les interfaces puits-bâtiments turbines) au cours du 1^{er} semestre 2015. Ces opérations ont conduit au pompage et au transfert vers les bâtiments turbines de 11 000 m³ d'eaux fortement radioactives. La galerie de l'unité 1, qui contient des eaux moins radioactives, a été laissée en l'état. TEPCO poursuit ses travaux de pompage dans les réseaux de galeries secondaires et les stations de pompage.

(2) Dans le but d'éviter que les eaux souterraines polluées atteignent l'océan, TEPCO a mis en place des dispositions complémentaires permettant de capter les eaux souterraines en aval des réacteurs :

- trois dispositifs locaux, constitués d'un écran d'étanchéité réalisé par injection associé à un pompage dans la nappe, ont été implantés au cours du second semestre 2013 entre les stations de pompage 1 et 2, 2 et 3 et 3 et 4. Au nord de la station de pompage de l'unité n° 1, seul un pompage est mis en œuvre. Ainsi, la progression de la contamination vers le port a été enrayerée fin 2013, limitant les rejets diffus. Les pompages se poursuivent pour réduire la pollution locale des eaux souterraines ;
- une seconde barrière d'étanchéité (« mur ») a été implantée dans le port, le long de la digue, entre avril et décembre 2013. Long de près de 900 m et haut d'environ 35 m, le mur est

constitué de tubes métalliques battus dans les terrains à partir du port. Il doit permettre de maîtriser les écoulements dans les nappes superficielle et profonde en aval de l'ensemble du site. En 2014, l'espace entre le mur et la digue a été remblayé et 5 puits de pompage y ont été implantés puis testés en août et octobre 2015. La fermeture du mur a été finalisée en octobre 2015 après l'annonce de la mise en service du dispositif de pompage, de traitement et de rejet des eaux souterraines arrivant en amont du mur. Cependant, la montée des eaux souterraines derrière ce mur désormais fermé a conduit à une légère inclinaison de ce dernier dès novembre 2015. TEPCO a alors conduit des travaux de renforcement et à l'augmentation des pompes pour contrecarrer ce phénomène.



Sur la base de données TEPCO - Barrières d'étanchéité côté port (vues de principe, photos du mur après fermeture et des renforts mis en place suite à son inclinaison)

Après deux années de pompage en continu dans les dispositifs locaux, l'évolution de la pollution des eaux souterraines à proximité du port est résumée dans le tableau suivant.

Secteur	Evolution du marquage <i>maximal</i> par secteur			Parade mise en œuvre
	Mesure	Maximum observé ²	1 ^{ère} quinzaine 2016	
Nord SdP n° 1	Tritium β global Césium 137	76 000 Bq/L 330 Bq/L 81 Bq/L	26 000 Bq/L 140 Bq/L 53 Bq/L	Pompage de l'ordre de 1 m ³ /j
Entre SdP n° 1 et 2	Tritium β global Césium 137 Autres	630 000 Bq/L 9 300 000 Bq/L 200 000 Bq/L ⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ¹⁰⁶ Ru, ¹²⁵ Sb	69 000 Bq/L 660 000 Bq/L 33 000 Bq/L ⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ¹²⁵ Sb	Ecran étanche, pompages de l'ordre d'une à plusieurs dizaines de m ³ /j
Entre SdP n° 2 et 3	Tritium β global Césium 137	13 000 Bq/L 560 000 Bq/L 110 Bq/L	3 700 Bq/L 560 000 Bq/L 23 Bq/L	Ecran étanche et pompage de l'ordre de plusieurs dizaines de m ³ /j
Entre SdP n° 3 et 4	Tritium β global Césium 137	10 000 Bq/L 8 900 Bq/L 520 Bq/L	7 900 Bq/L 4 400 Bq/L 100 Bq/L	Ecran étanche et pompage de l'ordre d'une dizaine m ³ /j

Ces résultats montrent que la décontamination des eaux souterraines est lente du fait des vitesses de migration différentes des radionucléides dans les terrains et vraisemblablement de la persistance d'apports à partir des galeries principales jusqu'à leur vidange par TEPCO au 1^{er} semestre 2015. Par ailleurs, une remontée du marquage reste possible, telle celle constatée à proximité de la station de pompage n° 2 en novembre 2015, dans la mesure où les travaux de pompage dans les réseaux de galeries secondaires et les stations de pompage ne sont pas encore terminés.

² TEPCO soupçonne une surévaluation des plus fortes valeurs en β et Césium 137 du fait de la présence de matières en suspension (MES) contaminées dans les échantillons. Le rôle des MES a été mis en évidence par les écarts importants selon que les mesures sont réalisées avec ou sans filtration préalable des échantillons.

Les eaux contaminées pompées par les dispositifs locaux sont renvoyées vers les bâtiments turbines et ainsi traitées avec l'ensemble des eaux fortement radioactives.

Les eaux souterraines pompées à l'intrados du mur, de l'ordre de 100 m³/jour et, après mélange avec les eaux souterraines pompées autour des bâtiments nucléaires (cf. paragraphe suivant), sont traitées et rejetées dans le port tant qu'elles respectent les limites autorisées³.

Avec la vidange des galeries, la mise en place de barrières étanches et les pompages, TEPCO considère ainsi avoir réussi à réduire au minimum les relâchements diffus d'eaux souterraines contaminées vers l'océan.

III. La zone des bâtiments nucléaires

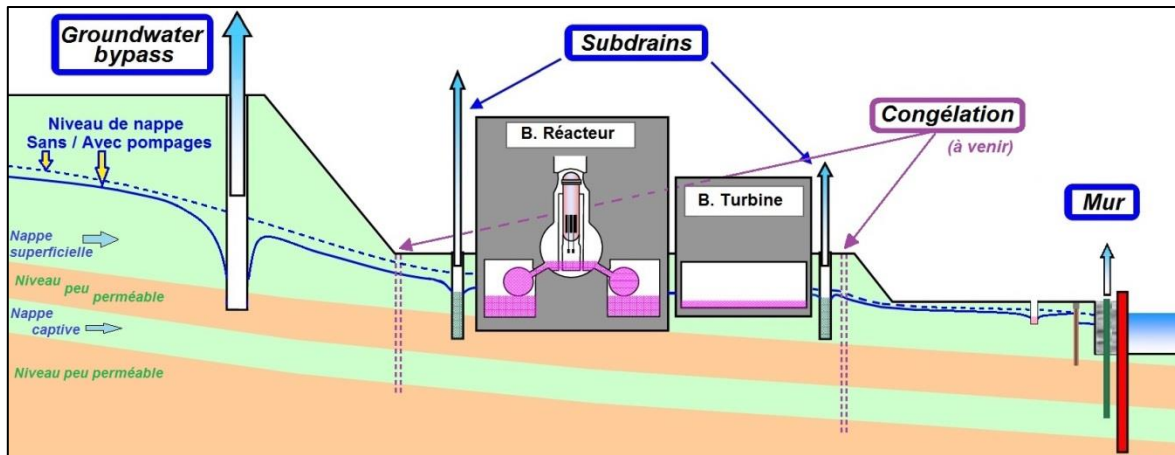
L'objectif premier de TEPCO est de maintenir le refroidissement des réacteurs accidentés en injectant environ 325 m³/jour d'eaux qui se polluent au contact du combustible et se répandent ensuite dans les parties basses des bâtiments. Le séisme de mars 2011 ayant affecté l'étanchéité de ces bâtiments, TEPCO est contraint de maintenir un niveau dans les bâtiments inférieur à celui de la nappe, afin d'éviter de contaminer cette dernière. Des eaux souterraines s'infiltrent ainsi dans les sous-sols (de l'ordre de 200 m³/jour) puis s'y polluent.

A l'extérieur des bâtiments, la surveillance des eaux prélevées dans le système de drainage implanté à leur périphérie montre une pollution de la nappe très modérée (autour de 5000 Bq/L en tritium à l'aval du réacteur 4, de 200 à 500 Bq/L en césium autour du réacteur 2) par rapport aux eaux contenues dans les bâtiments (de l'ordre de 10⁶-10⁷ Bq/L en césium et 10⁶ Bq/L en tritium). Il y a donc des indices de fuite pouvant résulter 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 des unités 1 à 3 après l'implantation de 11 piézomètres.

Afin de limiter les infiltrations d'eaux souterraines dans les sous-sols des bâtiments, sans risquer pour autant la pollution de ces eaux souterraines, TEPCO a conduit les actions suivantes :

- l'implantation d'un dispositif de 12 puits de pompage en amont des bâtiments (« *Groundwater bypass* »). Opérationnel depuis l'été 2013, ce dispositif a été mis en œuvre à partir d'avril 2014. Il conduit à rejeter régulièrement de l'eau (environ 250 m³/jour) après des contrôles³, en accord avec les différentes autorités du pays ainsi que les associations locales de pêcheurs.
- la réhabilitation des 27 puits de drainage et la réalisation de 15 nouveaux puits en périphérie des bâtiments (« *subdrains* ») afin de compléter le rabattement de la nappe. Avant l'accident, ce réseau permettait de rabattre la nappe au contact des unités 1 à 4 par pompage de 850 m³/jour. Après une phase de test conduite sur 14 puits en août 2014, la mise en service de ce dispositif, le traitement et le rejet des eaux dans le port ont reçu l'accord de l'autorité de sûreté japonaise début 2015 puis des autorités et des associations locales en septembre 2015. Environ 350 m³/jour sont pompés autour des bâtiments, sont ensuite traités et doivent respecter les mêmes critères de rejet que celles des eaux pompées en amont du mur mentionné au précédent chapitre³ ;
- la recherche des zones d'infiltration d'eaux souterraines dans les bâtiments en vue de procéder à des travaux de colmatage. Ce travail de longue haleine nécessitera l'examen systématique des quelques 800 passages existant au travers des murs extérieurs des unités 1 à 4 ;
- le déploiement d'un dispositif de congélation des terrains sur une trentaine de mètres de profondeur autour des unités 1 à 4, suite aux travaux d'un groupe d'experts mandatés par les autorités et à plusieurs phases d'expérimentation. Entre juin 2014 et octobre 2015, TEPCO a réalisé 1552 forages de congélation et des 332 forages de suivi de la température des terrains. Depuis avril 2015, TEPCO teste le procédé sur 18 emplacements (58 forages), côté colline.

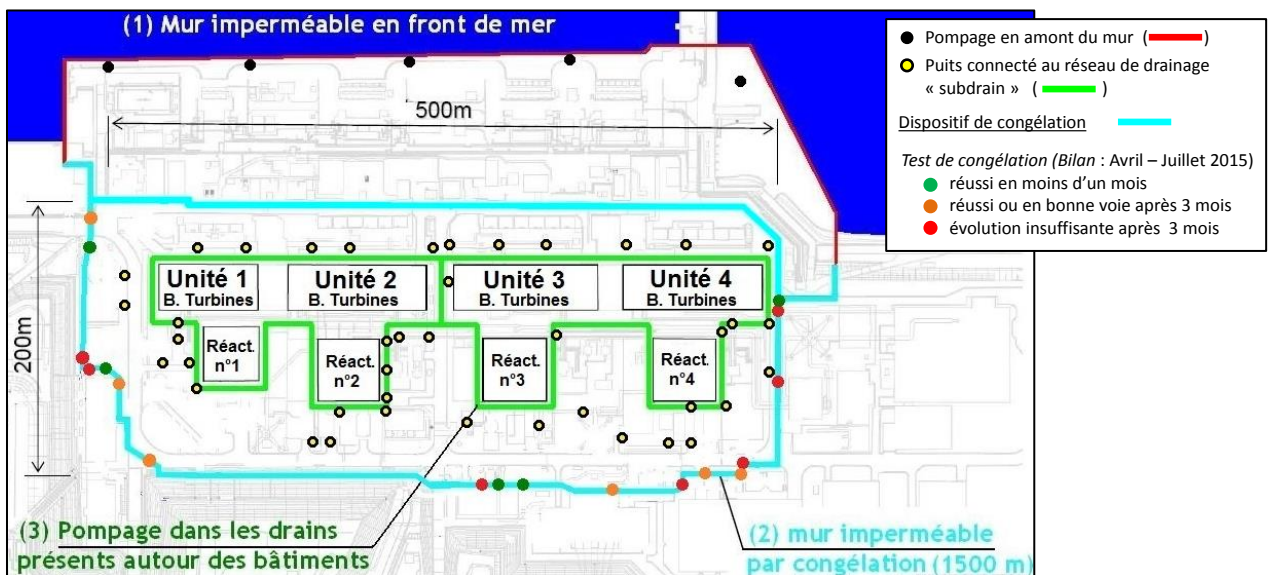
³ TEPCO s'impose, en accord avec les autorités et les associations de pêche, des valeurs limites de contamination inférieures aux valeurs de rejet légales figurant dans la réglementation : moins de 1 Bq/L en césium 137, moins de 1 500 Bq/L en tritium et moins de 3 Bq/L ou de 5 Bq/L en β global (strontium essentiellement) selon le dispositif.



Source TEPCO - Effet des dispositifs de pompage « Groundwater bypass » et « subdrains » avant la mise en service du dispositif de congélation des terrains.

Le bilan à ce jour de ces différents dispositifs est détaillé ci-après.

- Pour le « groundwater bypass », les eaux pompées présentent un marquage en tritium du fait de fuites provenant des zones d'entreposage (cf. paragraphe suivant) et TEPCO suspend les pompages des puits dépassant 1 500 Bq/L. De plus, des développements bactériens dans les forages entraînent des arrêts pour nettoyage. Après plus d'une année de pompage, TEPCO estime que ce dispositif a permis de réduire les infiltrations dans les bâtiments de 400 à 300 m³/jour (constat à l'été 2015).
- La mise en service des pompages dans les puits de drainage autour des bâtiments (« subdrains ») a ensuite permis de réduire les infiltrations dans les bâtiments de 300 à 200 m³/jour (constat fin 2015) selon TEPCO. Cependant, le maintien d'un niveau de nappe stable autour des bâtiments est rendu difficile du fait des infiltrations d'eau de pluie. De plus, TEPCO escomptait une diminution des apports en eaux souterraines vers la zone du port, ce qui n'est pas encore le cas.
- Pour la congélation des terrains, le test a montré des résultats encourageants. Mais, depuis le mois d'août et le début de la saison pluvieuse, l'augmentation des apports en eaux souterraines a conduit à une remontée de la température sur tous les forages.



Sur la base de données TEPCO- Dispositifs de congélation des sols et « subdrains »

IV. La zone des entreposages

Depuis juin 2011, TEPCO entrepose des eaux fortement radioactives dans des réservoirs installés progressivement en amont des bâtiments nucléaires. La mise en œuvre de traitements des eaux a permis à TEPCO de diminuer leur contenu radiologique⁴.

En 2013 et 2014, plusieurs incidents ont conduit à des relâchements d'eaux fortement radioactives qui ont atteint la nappe superficielle.

TEPCO a alors réalisé des travaux pour limiter l'occurrence de nouveaux déversements, réduire leurs conséquences en contenant autour des cuves les fuites ou les eaux de pluie et réaménager et surveiller le réseau de collecte des eaux pluviales.

Après plusieurs années de surveillance de la nappe, l'évolution de la pollution des eaux souterraines au niveau de la zone des entreposages est résumée dans le tableau suivant.

Secteur d'entreposage	Evolution du marquage <i>maximal</i> par secteur			Parade mise en œuvre
	Détection de	Maximum observé	1 ^{ère} quinzaine 2016	
Réservoir R4	Tritium	3 400 Bq/L	570 Bq/L	Pas estimée nécessaire. Captage en aval par le <i>Groundwater bypass</i>
Réservoir R6	Tritium	3 800 Bq/L	130 Bq/L	
Réservoirs H4	Tritium β global	790 000 Bq/L 710 000 Bq/L	24 000 Bq/L 9 900 Bq/L	Pompage local d'octobre à décembre 2013. Captage par le <i>Groundwater bypass</i>
Réservoirs H6	Tritium β global	7 000 Bq/L 260 Bq/L	990 Bq/L Non détectable	Pas estimée nécessaire
<i>Groundwater bypass</i> (en aval de R4, R6 et H4)	Tritium	3 100 Bq/L	880 Bq/L (n° 10 > 1 500 Bq/L)	Pompages depuis avril 2014

Les niveaux atteints ont nettement diminué, mais les piézomètres les plus proches présentent encore des fluctuations brutales de marquage en cas de pluies importantes. En aval de ces zones, seul le tritium est détectable et perturbe le fonctionnement des pompages du « *groundwater bypass* ». Avec des teneurs dépassant 1500 Bq/L, le puits n° 12 a été arrêté deux fois entre mai et août 2014 et le puits n° 10 est à l'arrêt depuis juillet 2015 (en novembre 2015, il atteignait encore 3100 Bq/L).

Suite aux fuites d'eaux fortement radioactives survenues dans la zone des entreposages en 2013 et 2014, seul le tritium est détecté en aval. Depuis la mise en service du « *groundwater bypass* » en avril 2014, la plupart des eaux souterraines polluées issues de cette zone est captée par ce dispositif.

En conclusion générale, il apparaît que les dispositions mises en œuvre par TEPCO permettent de contenir l'essentiel de la pollution des eaux souterraines dans l'emprise de la centrale de Fukushima Daiichi.

⁴ Voir la [note d'information relative à la gestion des eaux radioactives](#).