

JUIN 2025

ANALYSE DES EAUX DÉCONTAMINÉES DE FUKUSHIMA À L'ASNR : CONTEXTE, DIFFICULTÉS ET RÉSULTATS

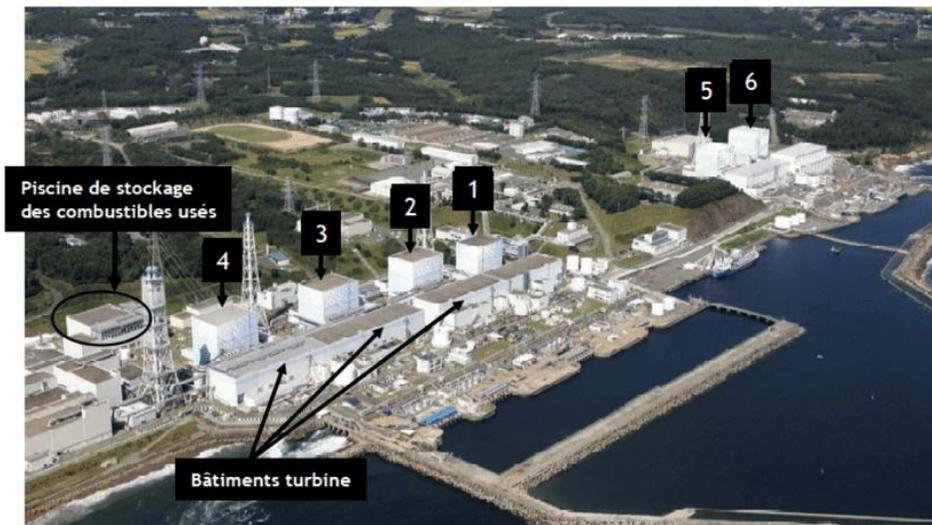
AZZA HABIBI ET KÉVIN GALLIEZ
PSE-ENV/SAME – LE VÉSINET

CENTRALE NUCLÉAIRE DE FUKUSHIMA DAIICHI

6 réacteurs GE BWR

Plage de puissance : 460 - 1100 MWt

Exploitation commerciale à partir de
1971 – 1979 par la Tokyo Electric Power
Company Holdings, Inc (TEPCO)



| Réacteur | Date de construction | Date de mise en production |
|----------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 25/07/1967 | 26/03/1971 |
| 2 | 09/06/1969 | 18/07/1974 |
| 3 | 28/12/1970 | 27/03/1976 |
| 4 | 12/02/1973 | 12/10/1978 |
| 5 | 22/05/1972 | 18/04/1978 |
| 6 | 26/10/1973 | 24/10/1979 |

ACCIDENT

11 mars 2011

DÉROULEMENT

Digues de protection submergées par le tsunami

Inondation des générateurs diesels de secours

Perte du refroidissement dans 3 des 6 réacteurs

Fusion partielle des cœurs des réacteurs 1, 2 et 3

Explosions d'hydrogène dans les bâtiments réacteurs



SITUATION POST-ACCIDENTELLE

Refroidissement des réacteurs

1 JOUR APRÈS LE DÉBUT DE L'ACCIDENT

Injection d'eau de mer dans les réacteurs à l'aide de bateaux et de camions de pompiers pour les refroidir

ENVIRON 2 SEMAINES APRÈS L'ACCIDENT

Remplacement de l'eau de mer par de l'eau douce pour l'injection dans les réacteurs

L'EAU DE REFROIDISSEMENT EST CHARGÉE MAJORITAIREMENT EN ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{89}Sr ET ^{90}Sr (ET D'AUTRES RADIONUCLÉIDES)*

PLUS DE 100 000 L D'EAU DE NAPPE PASSE SOUS LE RÉACTEUR ET EST CONTAMINÉE CHAQUE JOUR

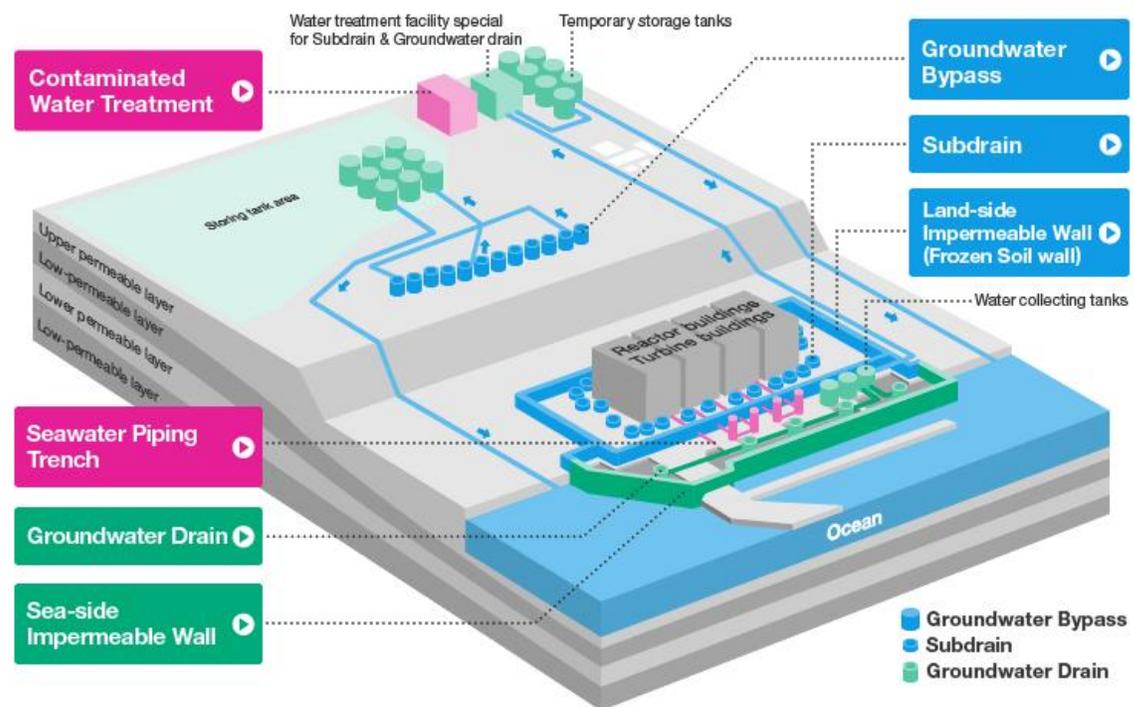


*En 2020, ^{134}Cs = 10 % de ^{137}Cs et plus de ^{89}Sr (51 j)

CIRCUIT DE L'EAU SUR LE SITE DE FUKUSHIMA DAIICHI

Plusieurs processus ont été mis en place par TEPCO :

- ▶ Dérivation de l'eau souterraine
- ▶ Drains : de l'eau souterraine en amont et au niveau du réacteur
- ▶ Barrières imperméables pour prévenir les infiltrations dans la nappe et dans la mer
- ▶ Systèmes de purification de l'eau contaminée
- ▶ Réservoirs de stockage de l'eau



*TEPCO

STOCKAGE DE L'EAU SUR LE SITE DE FUKUSHIMA DAIICHI

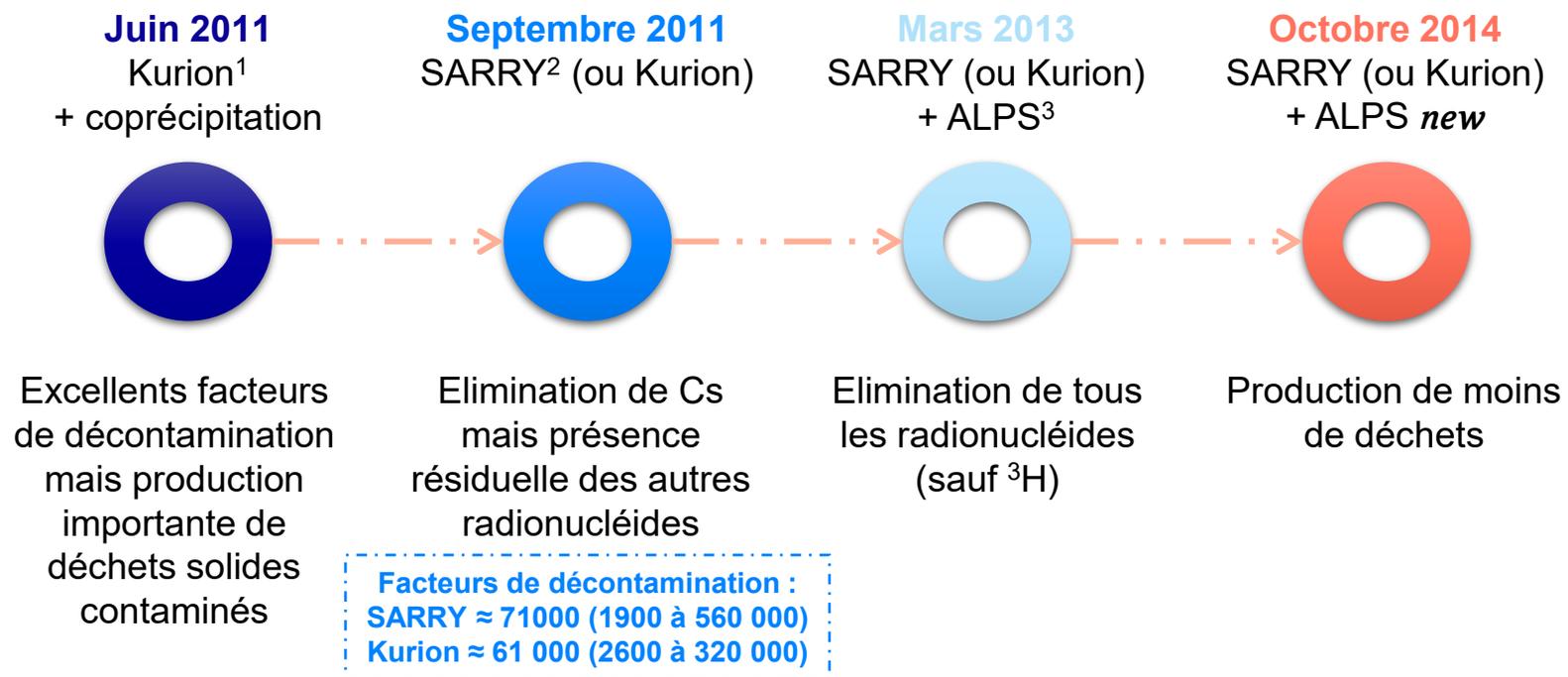
Avant le début des rejets, environ 1,3 million de tonnes d'eau étaient stockées sur le site de Fukushima Daiichi dans plus de 1000 réservoirs

L'eau stockée est un mélange d'eau de mer, de nappe et de pluie ayant ruisselé via le réacteur



SYSTÈMES DE PURIFICATION DE L'EAU CONTAMINÉE

62 radionucléides initialement recensés dans le terme source, dont 2/3 ont déjà décru



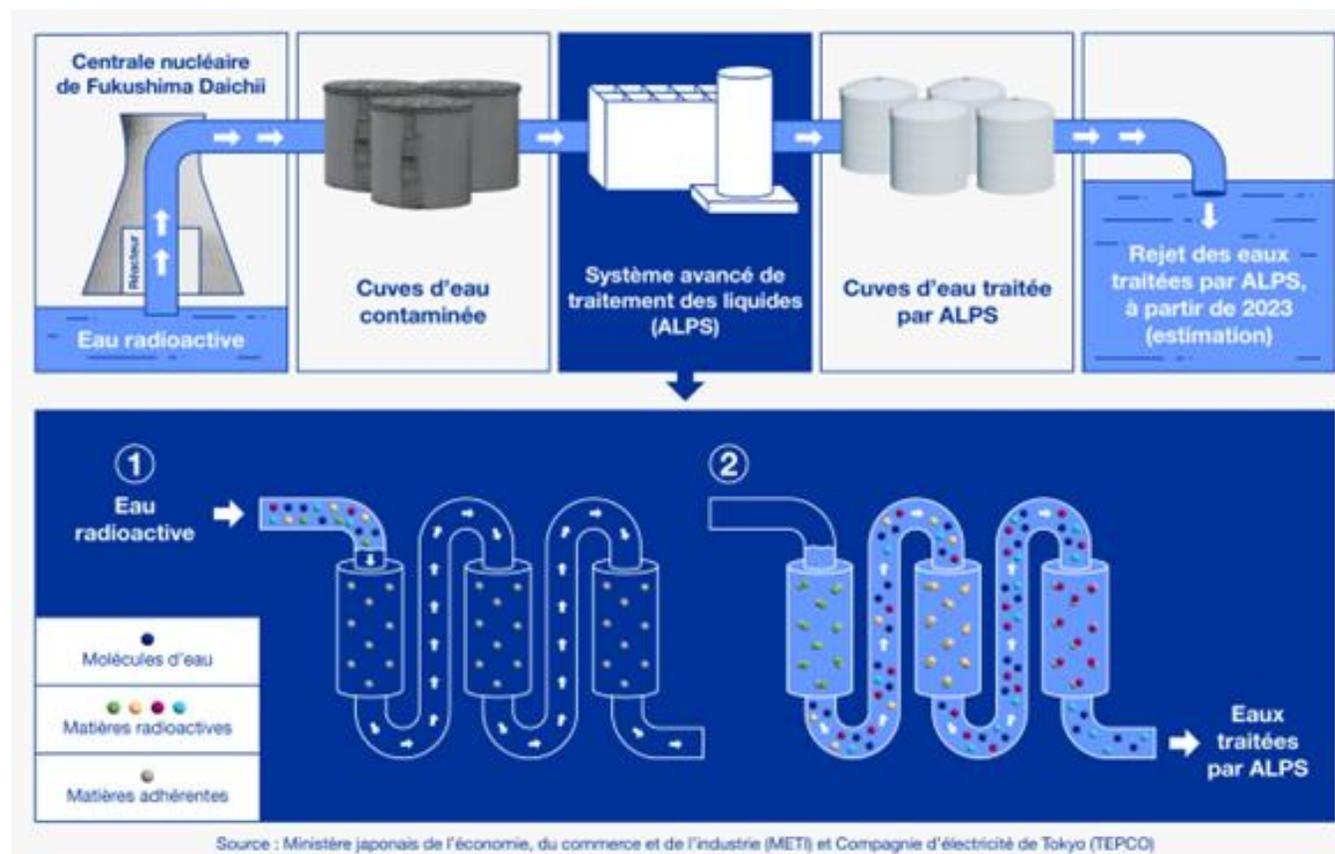
¹Kurion : système composé de colonnes d'échange d'ions avec un matériau absorbant comme la zéolithe

²SARRY (Simplified Water Retrieval and Recovery System) : plus compact et plus facile à entretenir que Kurion avec le même principe de fonctionnement

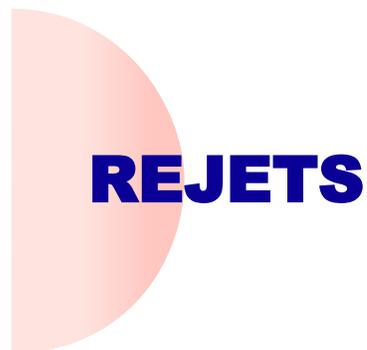
³ALPS : Advanced liquid processing systems

ALPS – ADVANCED LIQUID PROCESSING SYSTEMS (SYSTÈME AVANCÉ DE TRAITEMENT DES LIQUIDES)

Elimination des radionucléides sauf ^3H
24 août 2023 ➡ début des rejets dans l'océan Pacifique



| | Regulatory limit (RL) (Bq/L) |
|-------------------|------------------------------|
| ³ H | 60000 |
| ¹⁴ C | 2000 |
| ⁵⁴ Mn | 1000 |
| ⁵⁵ Fe | 2000 |
| ⁶⁰ Co | 200 |
| ⁶³ Ni | 6000 |
| ⁷⁹ Se | 200 |
| ⁹⁰ Sr | 30 |
| ⁹⁹ Tc | 1000 |
| ¹⁰⁶ Ru | 100 |
| ¹²⁵ Sb | 800 |
| ¹²⁹ I | 9 |
| ¹³⁴ Cs | 60 |
| ¹³⁷ Cs | 90 |
| ¹⁴⁴ Ce | 200 |
| ¹⁴⁷ Pm | 3000 |
| ¹⁵¹ Sm | 8000 |
| ¹⁵⁴ Eu | 400 |
| ¹⁵⁵ Eu | 3000 |
| ²³⁴ U | 20 |
| ²³⁸ U | 20 |
| ²³⁷ Np | 9 |
| ²³⁸ Pu | 4 |
| ²³⁹ Pu | 4 |
| ²⁴⁰ Pu | 4 |
| ²⁴¹ Pu | 200 |
| ²⁴¹ Am | 5 |
| ²⁴⁴ Cm | 7 |



REJETS CONTRÔLÉS DANS LA MER DURANT LA PÉRIODE D'ASSAINISSEMENT DU SITE, ESTIMÉE À 30 ANS

10 RÉSERVOIRS DE STOCKAGE INDIVIDUELS DE 1 000 m³ CHACUN (PRÉALABLEMENT DILUÉS)

LES CARACTÉRISTIQUES ET L'ACTIVITÉ GAMMA DE L'EAU TRAITÉE PAR ALPS ET REJETÉE DANS LA MER SONT ALORS DÉTERMINÉES EN TEMPS RÉEL PAR TEPCO (<https://www.iaea.org/topics/response/fukushima-daiichi-nuclear-accident/fukushima-daiichi-alps-treated-water-discharge/tepc-data>)

DES STRATÉGIES DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EXPOSITION DE LA POPULATION ONT ÉTÉ MISES EN PLACE PAR LE GOUVERNEMENT AFIN DE S'ASSURER DE LA CONFORMITÉ DES REJETS AVEC LA RÉGLEMENTATION ET ÉVALUER LEUR IMPACT

TEPCO RÉALISE DES CONTRÔLES CROISÉS AVEC D'AUTRES LABORATOIRES JAPONAIS DANS LE CADRE D'ANALYSES DE L'EAU REJETÉE ET DE L'ENVIRONNEMENT AUTOUR DE L'INSTALLATION

Onze ans après Fukushima, le Japon face à un nouveau défi : le rejet en mer des eaux traitées

euro
news.

TOUT COMPRENDRE - LE JAPON COMMENCE À REJETER LES EAUX DE FUKUSHIMA EN MER, UN PROJET CONTROVERSÉ

BFM TV.

Le Japon autorise le rejet des eaux de Fukushima, malgré les oppositions multiples

Au Japon, inquiétude autour du projet de rejet des eaux usées de la centrale de Fukushima

FRANCE
24

LE Grand Continent
L'opposition menée par Pékin contre le rejet en mer des eaux de la centrale de Fukushima

RÔLE DE L'AIEA

Afin d'avoir une contre-expertise et une acceptation internationale, le gouvernement japonais a sollicité l'AIEA



L'AGENCE A FAIT APPEL À DES EXPERTS DE DIFFÉRENTS PAYS INTERNATIONALEMENT RECONNUS AFIN DE JOUER LE RÔLE DE TIERS DE CONFIANCE INDÉPENDANTS

ÉCHANTILLONNAGE INDÉPENDANT EN 2022, 2023 ET 2024 AFIN DE CORROBORER LES RÉSULTATS D'ANALYSE PUBLIÉS PAR TEPCO

MEMBRES DU RÉSEAU DES LABORATOIRES D'ANALYSE POUR LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ ENVIRONNEMENTALE (ALMERA) :

- Le Laboratoire Spiez (**LS – Labor Spiez**), Suisse
- Le Laboratoire national de Los Alamos (**LANL**), États-Unis d'Amérique
- l'Institut coréen de sûreté nucléaire (**KINS**), République de Corée
- l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (**ASNR**), via Le Service d'analyses et de métrologie de l'environnement (**SAME**), France
- Le China Institute for Radiation Protection, People's Republic of China (**CIRP**) en 2024

L'ASNR A ÉTÉ SOLlicitÉE POUR 2025 ÉGALEMENT, AVEC UNE PARTICIPATION À UNE MISSION DE PRÉLÈVEMENT SUR LE SITE DE FUKUSHIMA

COMPARAISONS INTERLABORATOIRES ORGANISÉES PAR L'AIEA

3 comparaisons interlaboratoires organisées

ASNR/SAME : 2 participations

2022 : résultats (rapport AIEA : First interlaboratory comparison on the determination of radionuclides in alps treated water)

2024 : résultats exploités *a posteriori* car problème de livraison

Pas de participation à l'analyse des échantillons marins (eau, poisson, algues) car il faut participer aux prélèvements

2025 : participation du SAME à la mission de prélèvement du procédé ALPS. Analyses en cours.

QUANTIFICATION DES RADIONUCLÉIDES INCL

^2H , ^{79}Se , $^{125\text{m}}\text{Te}$, ^{151}Sm , ^{238}Pu , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{154}Eu , ^{239}Pu , ^5Fe , ^{234}U , ^{241}Pu , ^{60}Co , ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^{238}U , ^{241}Am , ^{63}Ni , ^{125}Sb , ^{147}Pm

LES LABORATOIRES DU RÉSEAU ALMERA ONT OBTENUS LES RÉSULTATS POUR DES RADIONUCLÉIDES EN UN SEUL TERME SOURCE

LES LABORATOIRES AVAIENT LA LIBERTÉ DE CHOISIR LES MÉTHODES D'ANALYSE À UTILISER ET LES RÉFÉRENCES DES RÉSULTATS



VALEURS DE RÉFÉRENCE

Nombre de résultats ASNR : ~30

Résultats significatifs 2022 : 11

Résultats significatifs 2024 : 7

De 10^{-5} à 10^{+5} Bq/L : 10 ordres de grandeurs
à analyser sur un seul échantillon

Matrice complexe

ACTIVITÉS VOLUMIQUES DE RÉFÉRENCE DES
PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES DEMANDÉS PAR L'AIEA
Activités en Bq/L

| | 2022 | 2024 |
|--------------------|----------|----------|
| ^3H | 152300 | 212100 |
| ^{14}C | 14,01 | 10,62 |
| ^{134}Cs | 0,0212 | - |
| ^{137}Cs | 0,4705 | 0,216 |
| ^{90}Sr | 0,405 | 1,210 |
| ^{234}U | 0,00071 | 0,00108 |
| $^{235}\text{U}^*$ | 0,000031 | 0,000033 |
| ^{238}U | 0,00068 | 0,00096 |
| ^{60}Co | 0,376 | 0,387 |
| ^{63}Ni | 2,57 | 3,75 |

*Moyenne des participants, pas de valeur de référence donnée par l'AIEA

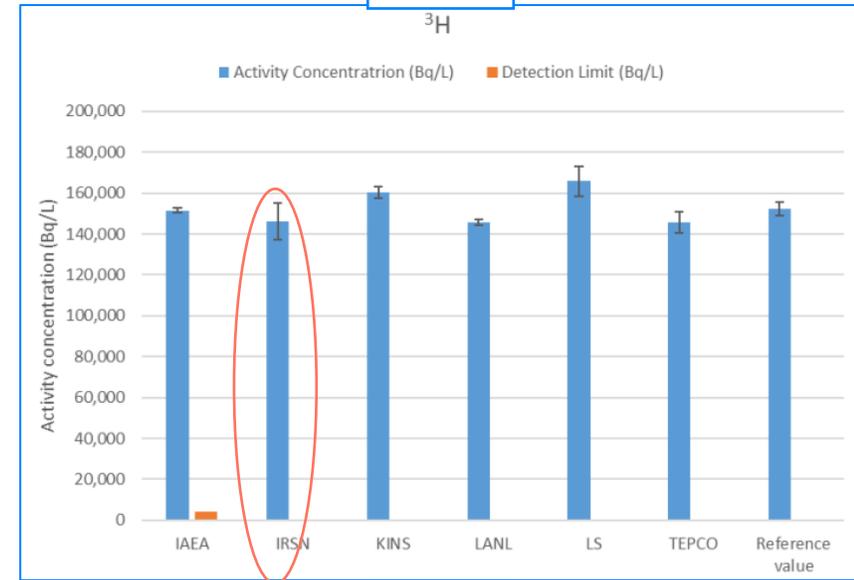
MESURE DU TRITIUM

Mesure par scintillation liquide après distillation à froid pour séparer le tritium des autres radionucléides

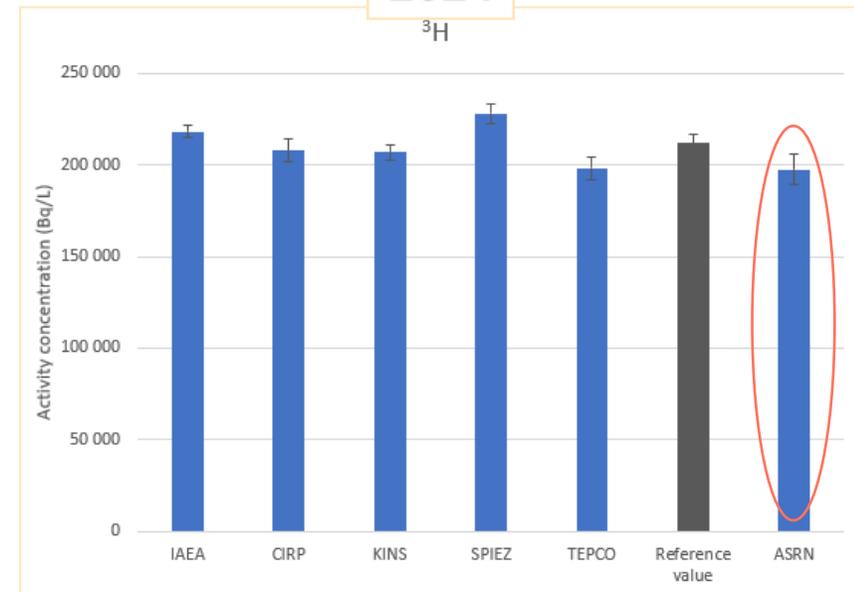
| | 2022 | 2024 |
|---------------|--------|--------|
| Ecart relatif | -4,1 % | -6,8 % |
| Score ζ | -0,65 | -1,51 |

VALIDÉ

2022



2024



MESURE DU CARBONE 14

Mesure par scintillation liquide après précipitation de carbonate de baryum (voir poster n°8 Jaegler et Petitfrère)

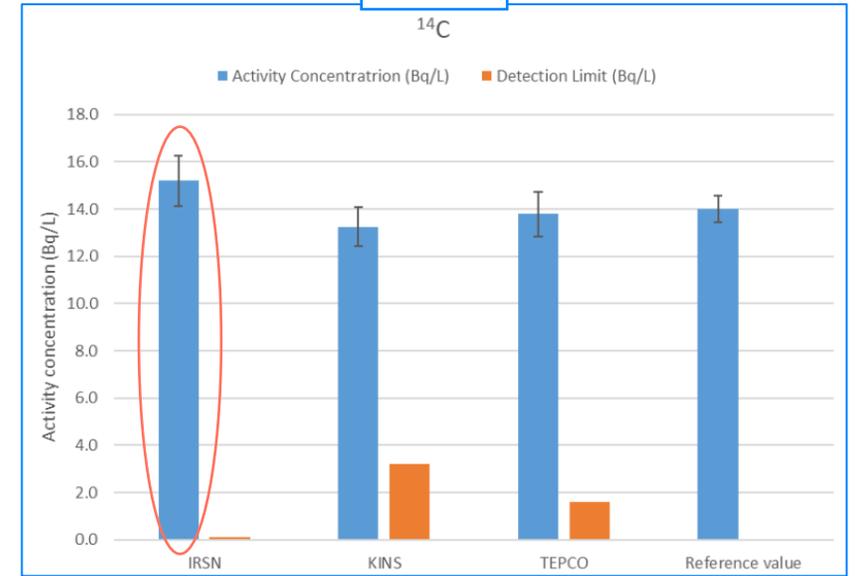


| | 2022 | 2024 |
|---------------|--------|--------|
| Ecart relatif | 8,49 % | 6,97 % |
| Score ζ | 0,98 | 0,94 |

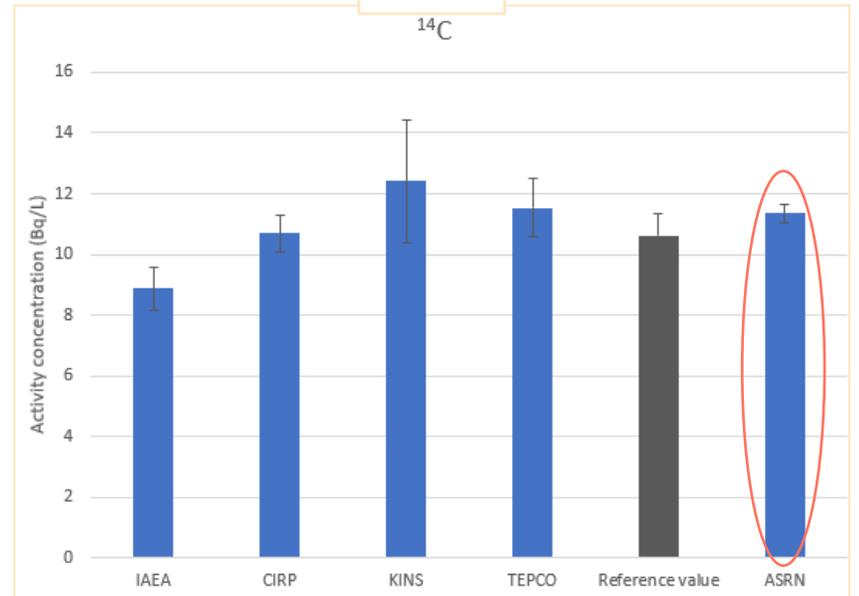
VALIDÉ



2022



2024

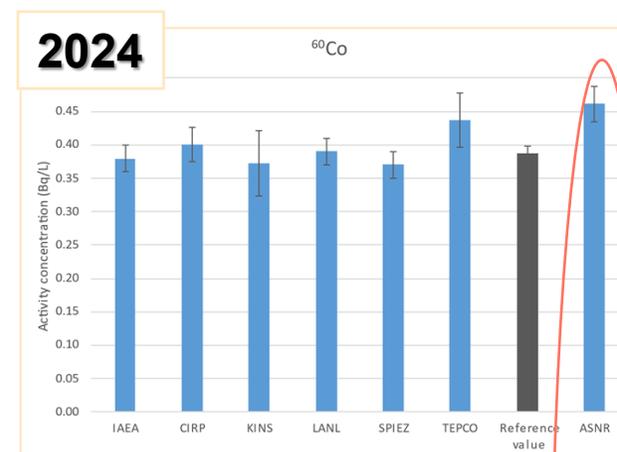
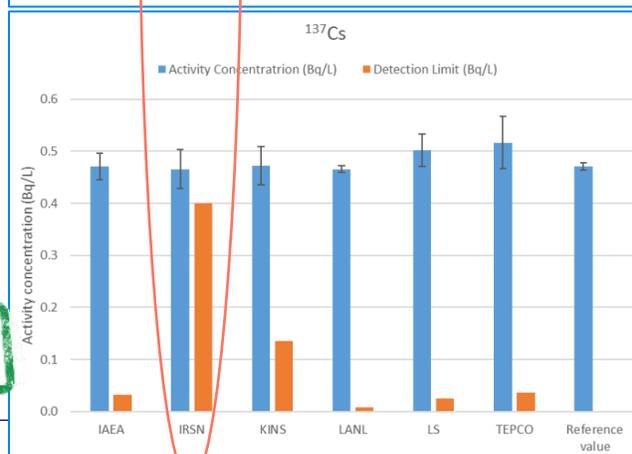
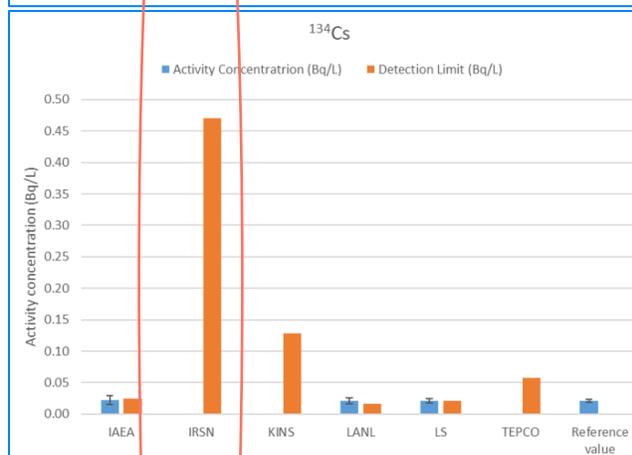
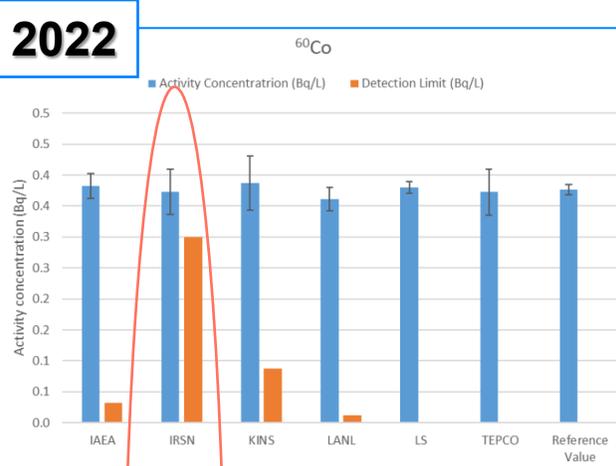


MESURE DES ÉMETTEURS GAMMA

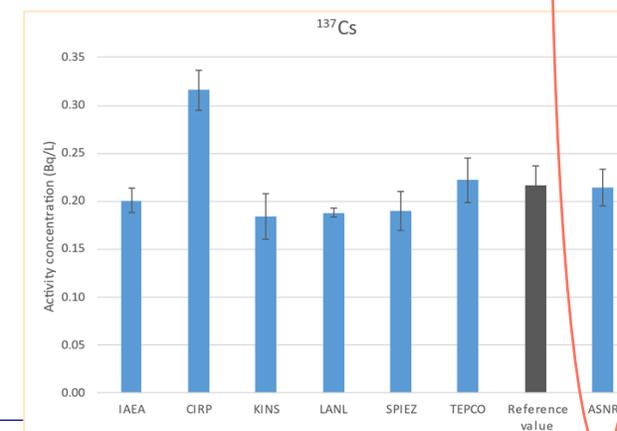
Mesure par spectrométrie gamma sur 500 ml (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co)

| | | 2022 | 2024 |
|---------------|-------------------|---------|---------|
| Ecart relatif | ^{60}Co | -0,80 % | 19,12 % |
| | ^{134}Cs | <LD | <LD |
| | ^{137}Cs | -0,96% | -0,93% |
| Score ζ | ^{60}Co | -0,08 | 2,62 |
| | ^{134}Cs | <LD | <LD |
| | ^{137}Cs | -0,12 | -0,07 |

VALIDÉ



Non reporté par l'AIEA
ASNR : Cs-134 < 2,490E⁻⁰¹ Bq/L
Autres participants < LD également

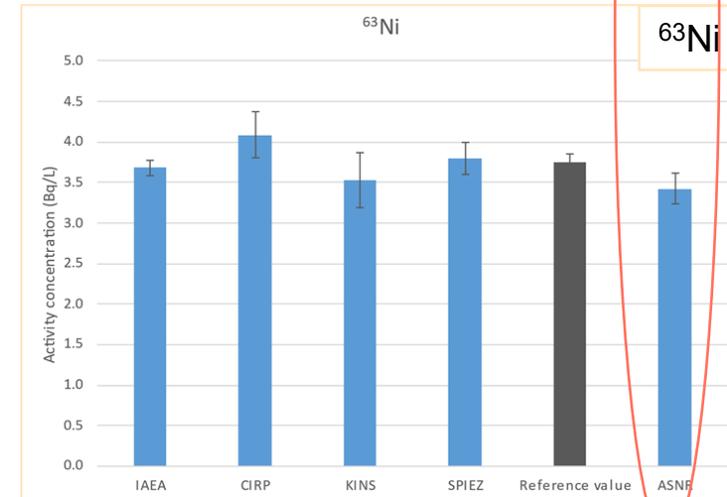
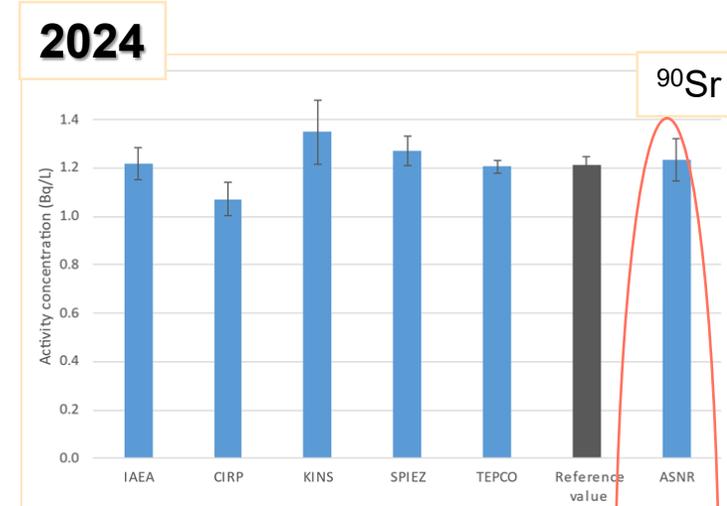
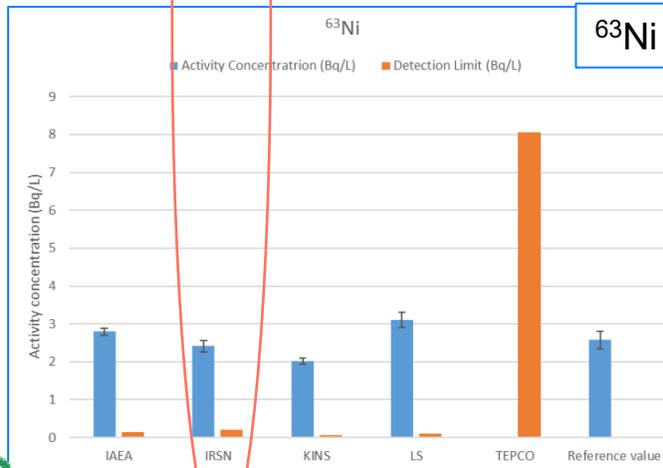
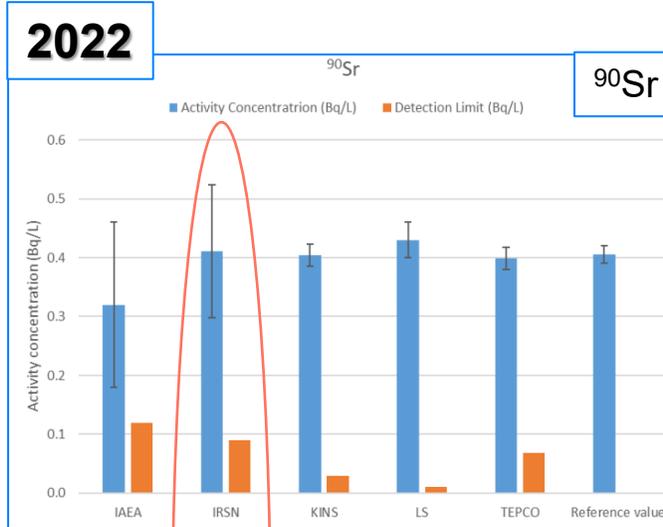


MESURE DES AUTRES ÉMETTEURS BÊTA

Mesure par scintillation liquide après séparations sur colonne pour la mesure du ^{63}Ni et ^{90}Sr (protocoles différents)

| | | 2022 | 2024 |
|---------------|------------------|---------|---------|
| Ecart relatif | ^{90}Sr | 1,48 % | 1,82 % |
| | ^{63}Ni | -6,23 % | -8,64 % |
| Score ζ | ^{90}Sr | 0,05 | 0,23 |
| | ^{63}Ni | -0,57 | -1,50 |

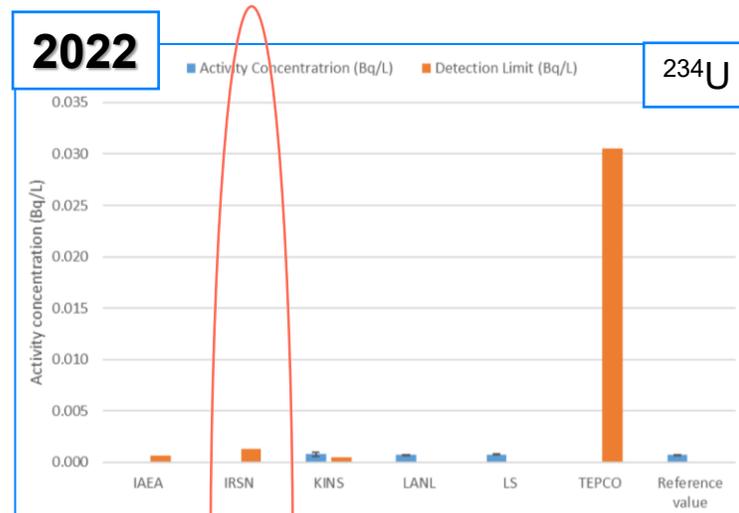
VALIDÉ



MESURE DE L'URANIUM ISOTOPIQUE

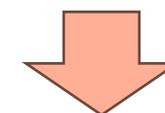
Traitement chimique + mesure par ICP-MS (traceur ^{233}U)

| | | 2022 | 2024 |
|---------------|--------------------|--------|--------|
| Ecart relatif | ^{234}U | <LQ | <LQ |
| | $^{235}\text{U}^*$ | 3,53 % | 7,79 % |
| | ^{238}U | <LQ | <LQ |
| Score ζ | ^{234}U | <LQ | <LQ |
| | $^{235}\text{U}^*$ | 0,39 | 0,59 |
| | ^{238}U | <LQ | <LQ |

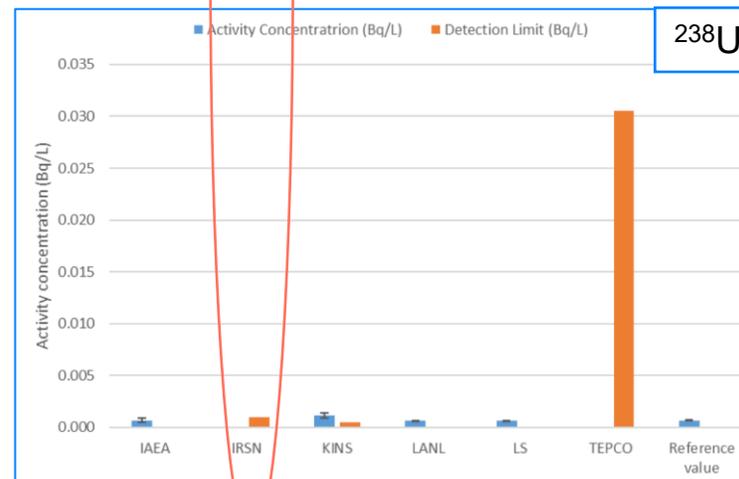


Même tendance en 2024

Résultat < LD mais appareils de mesure des autres participants plus performants (TIMS, ICP-HR-MS ou ICP-MC-MS)



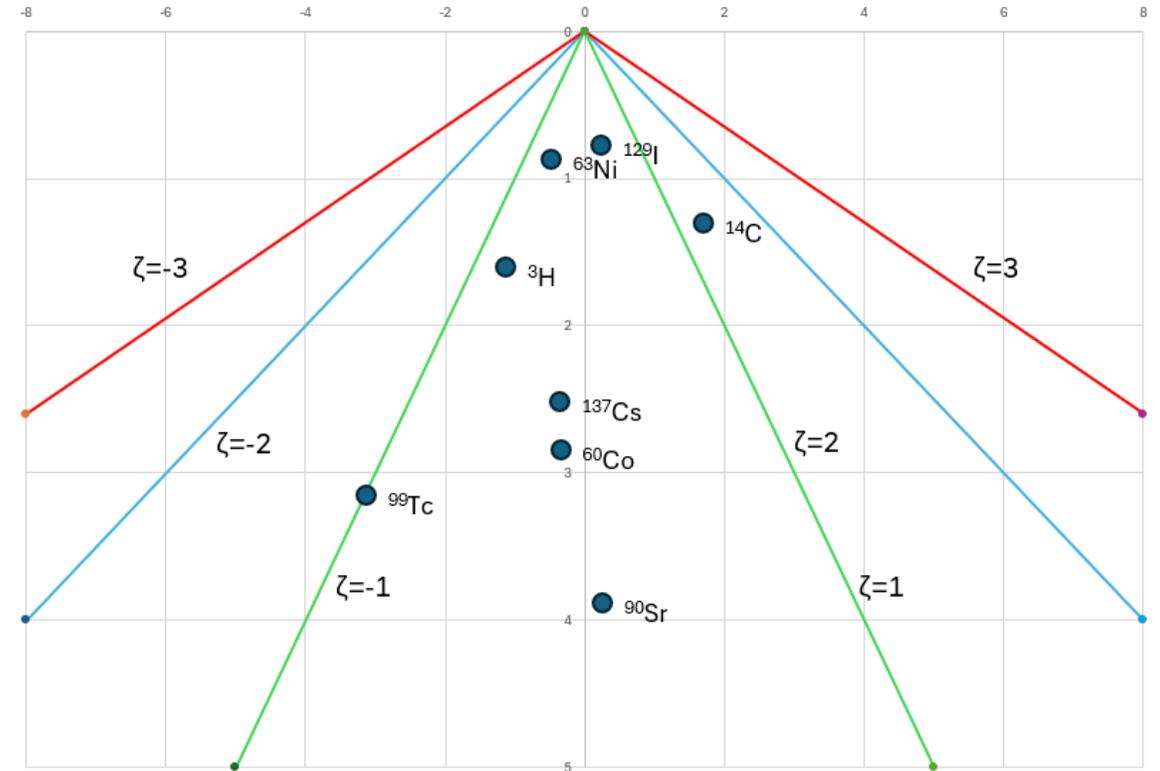
Facteur 10 avec la LD de TEPCO



*Moyenne des participants (2 résultats significatifs, pas de valeur de reference données par l'IAEA)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

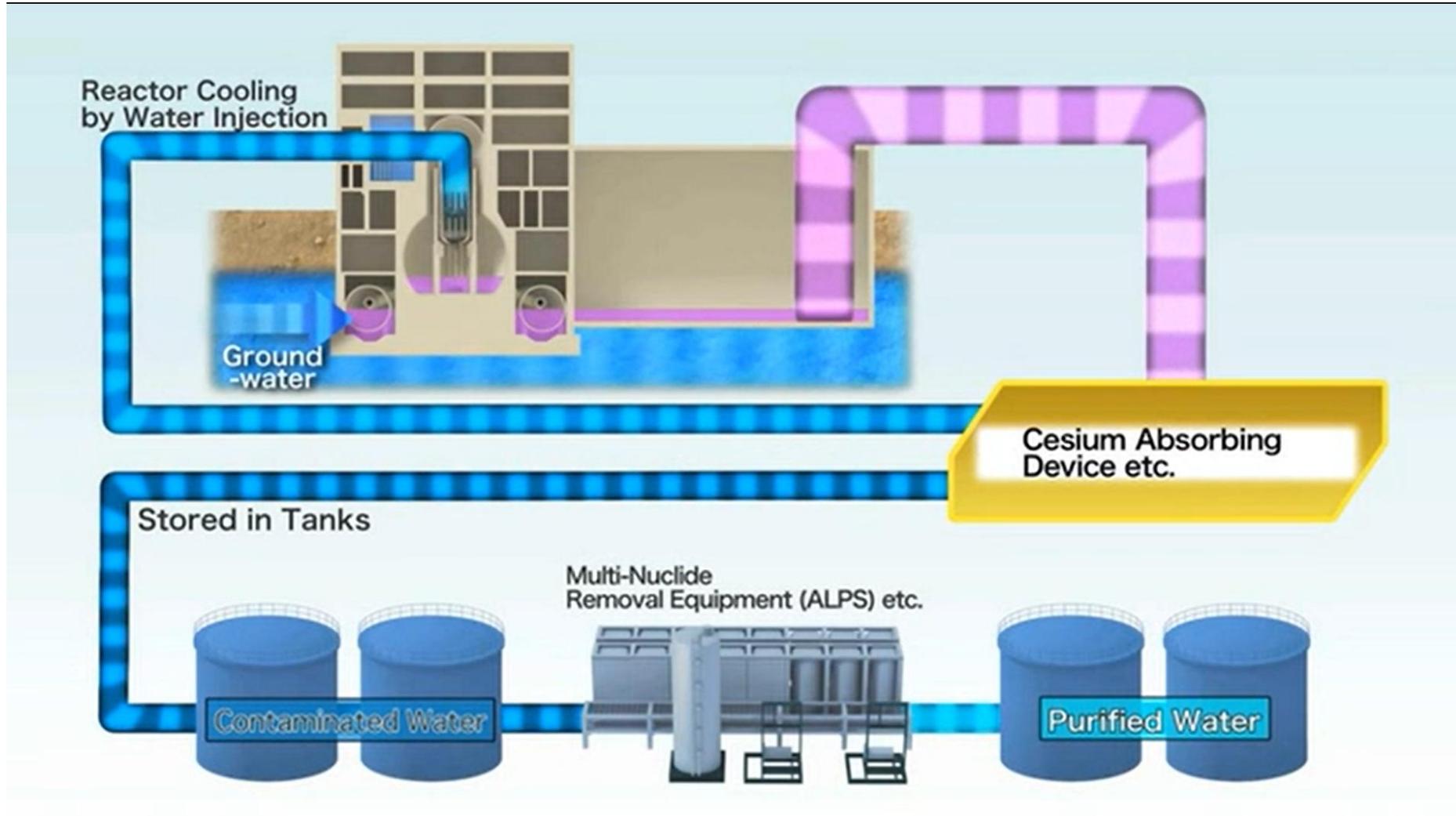
- RECONNAISSANCE INTERNATIONALE DE L'EXPERTISE DE L'ASNR ET DU SAME
- CONFIRMATION DES RÉSULTATS PUBLIÉS PAR TEPCO
- MISE EN ŒUVRE DE TECHNIQUES D'ANALYSE ROBUSTES
- EXCELLENTE JUSTESSE DES RÉSULTATS DE L'ASNR
- MAINTENIR NOS PERFORMANCES POUR LES PROCHAINS EXERCICES
- PARTICIPATION À LA MISSION DE PRÉLÈVEMENT EN MARS 2025 ET NOUVELLE SOLlicitATION DE L'AIEA POUR 2026

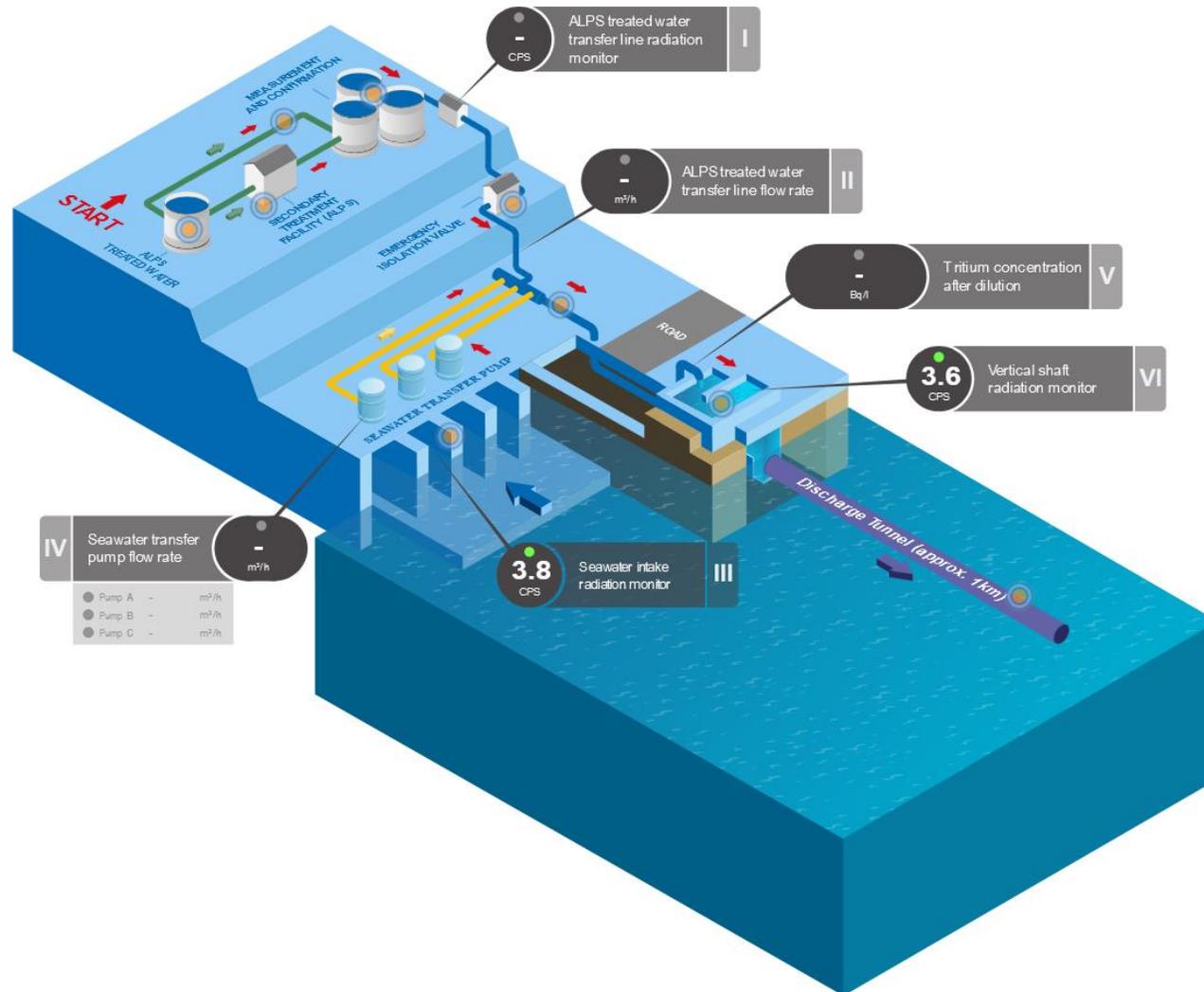




MERCI POUR VOTRE ATTENTION









PRÉLÈVEMENT

10 RÉSERVOIRS DE STOCKAGE INDIVIDUELS DE 1 000 M³ CHACUN

LES RÉSERVOIRS SONT INTERCONNECTÉS ET LEUR CONTENU EST MIS EN CIRCULATION PAR POMPAGE.

AVANT L'ÉCHANTILLONNAGE POUR CET ILC (ESSAI D'INTERCOMPARAISON), LA CIRCULATION ET L'AGITATION ONT ÉTÉ EFFECTUÉES DE LA MÊME MANIÈRE PAR TEPCO PENDANT 14 JOURS AFIN D'ASSURER L'HOMOGENÉITÉ ENTRE LES ÉCHANTILLONS.

UN VOLUME DE 25,3 L D'EAU TRAITÉE PAR ALPS A ÉTÉ PRÉLEVÉ POUR CHAQUE LABORATOIRE PARTICIPANT : 5 X 5 L DANS DES CUBITAINERS EN PLASTIQUE ET 3 FOIS 100 ML DANS DES FLACONS EN VERRE AMBRÉ (AVANT DILUTION DU TRITIUM).