



La surveillance radiologique du site de l'ancienne centrale nucléaire de Lucens

AG ARRAD 15.03.2013

Sybille Estier, Division Radioprotection, OFSP

Diapositive 1

CS2

Brauchen Sie die Tastenkombination ALT + F8 um die Automation aufzurufen.
Klicken Sie anschliessend auf den Knopf "Ausführen"

Catherine Schmied; 15.08.2006



Sommaire de l'exposé

- La genèse de la centrale : conception et construction
- L'accident du 21 janvier 1969 et le démantèlement du réacteur
- La surveillance radiologique mise en place par l'OFSP
- L'augmentation des concentrations de tritium de 2011-2012
- Les résultats de la surveillance rapprochée
- Conclusions

Les illustrations de la première partie de l'exposé sont tirées du dossier de l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN) consacré à la centrale nucléaire de Lucens. -> www.ensi.ch



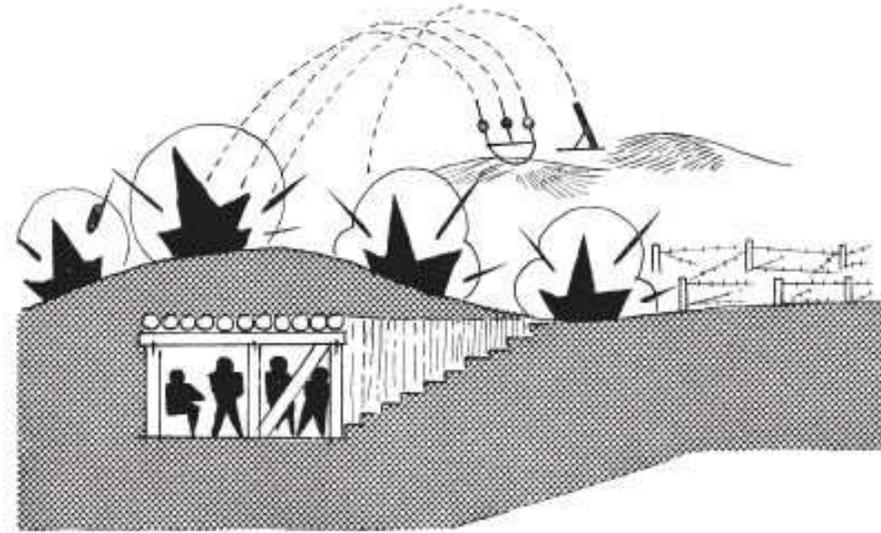
La genèse de la centrale : contexte historique

- Dans les années 50, la confédération met en œuvre un vaste programme de recherche sur l'utilisation de l'énergie atomique. Parallèlement, plusieurs groupes industriels lancent des projets de construction de centrales nucléaires en Suisse, dont 1 en Suisse romande, à Lucens.
- En 1959, le conseil fédéral demandent aux différents groupes industriels de fusionner leurs projets en un unique projet national
 - ➔ Création de la Société nationale pour l'encouragement de la technique atomique industrielle (SNA) en 1961
 - ➔ Objectif : Construction d'un réacteur expérimental suisse, premier pas vers la mise au point d'une centrale nucléaire à usage commercial « made in Switzerland »
 - ➔ La commune de Lucens (VD) est choisie comme lieu d'implantation du réacteur atomique financé par la Confédération



Une centrale nucléaire

- L'implantation sous-terrainne ses preuves, il a été naturel pour la construction de la pr



➔ Protection naturelle contre les dangers extérieurs

- Molasse de la région de Lucens offrait des conditions particulières pour la rétention des radionucléides.

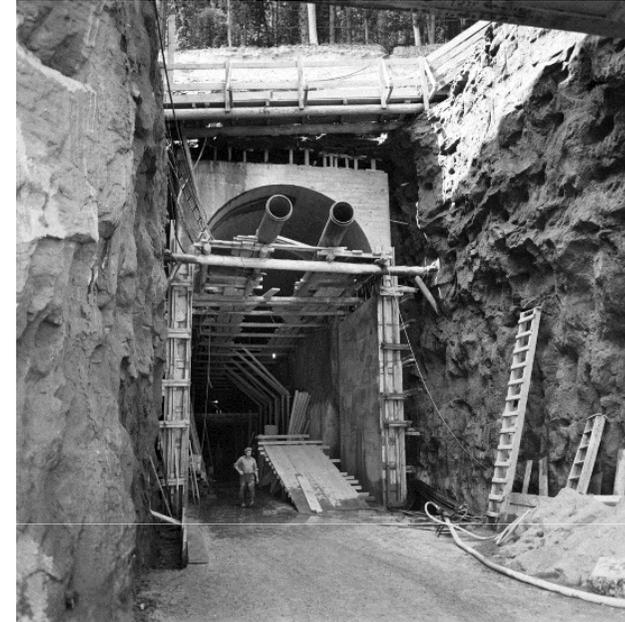
➔ En cas de fuite, les radionucléides sont durablement piégés dans les pores. Décroissance radioactive au cours de leur diffusion à travers la montagne avant leur réapparition dans l'environnement.

- Des problèmes d'étanchéité envers le tunnel d'accès ont par la suite montré les limites du concept et une installation d'évacuation de secours des effluents gazeux avec filtres à charbon actif a été mise en place



La genèse de la centrale : la construction

- 1962 : début de la construction de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens (CNEL). Les travaux durent 5 ans.
- L'installation expérimentale est construite à deux kilomètres au sud-ouest de Lucens, sur la rive gauche de la Broye, le cours d'eau qui devait également assurer l'alimentation des circuits de refroidissement du réacteur
 - ➔ Une galerie d'accès longue de 100 m débouchant sur trois cavernes respectivement destinées au réacteur, à la turbine et à la piscine de stockage des éléments combustibles.





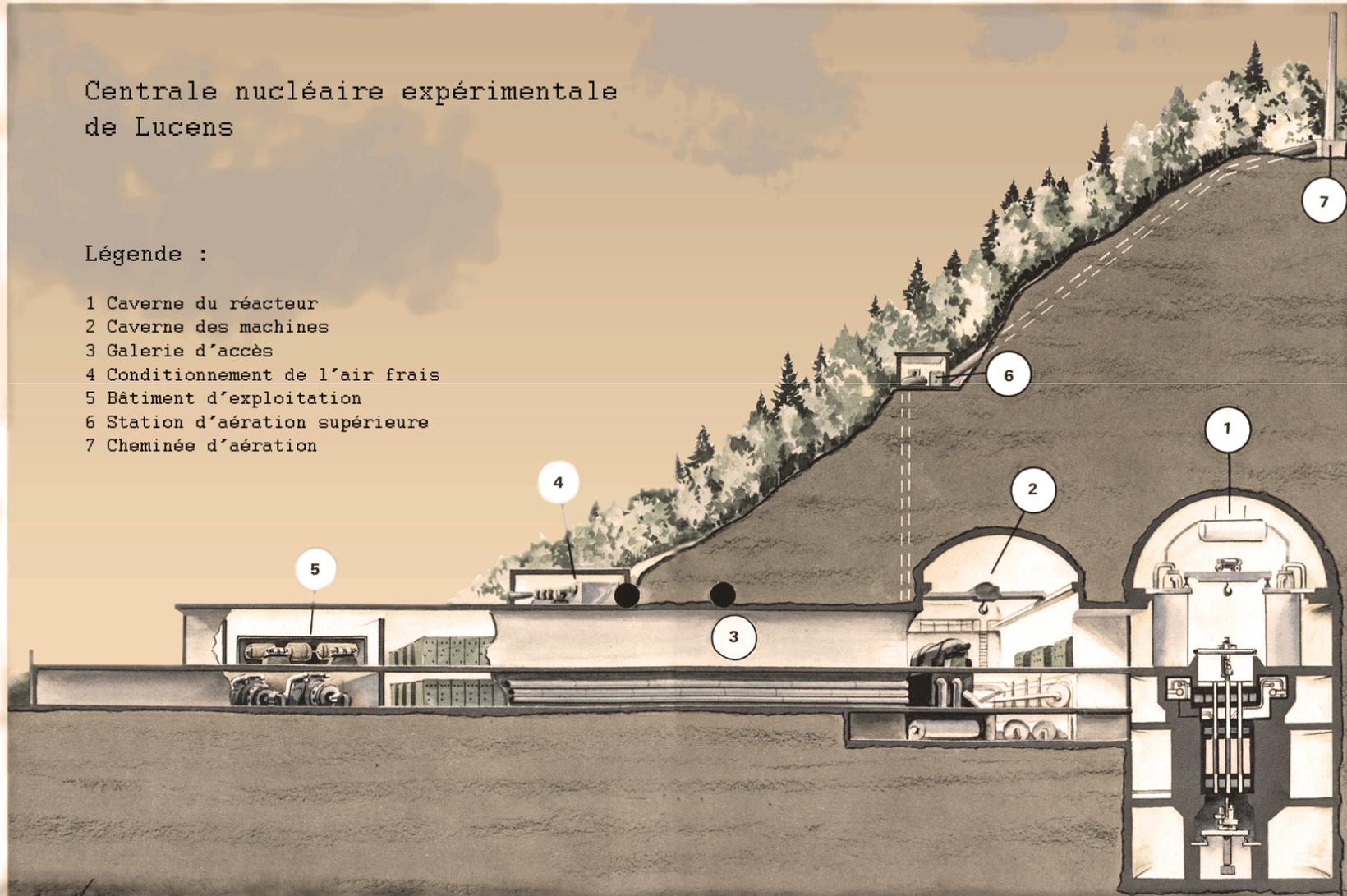
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP
Unité de direction Protection des consommateurs

Centrale nucléaire expérimentale de Lucens

Légende :

- 1 Caverne du réacteur
- 2 Caverne des machines
- 3 Galerie d'accès
- 4 Conditionnement de l'air frais
- 5 Bâtiment d'exploitation
- 6 Station d'aération supérieure
- 7 Cheminée d'aération





La genèse de la centrale : la filière suisse

- La filière choisie était celle d'un réacteur utilisant de **l'uranium naturel** (non enrichi en U-235) comme **combustible**
 - ➔ A l'époque, la production d'uranium enrichi était un monopole des Etats-Unis . La Suisse avait misé sur l'uranium naturel comme combustible, qu'elle espérait trouver sur son sol. Finalement de l'uranium légèrement enrichi fut utilisé comme combustible pour la CNEL
- L'utilisation d'uranium naturel comme combustible imposait l'utilisation **d'eau lourde** ou de graphite **comme modérateur**

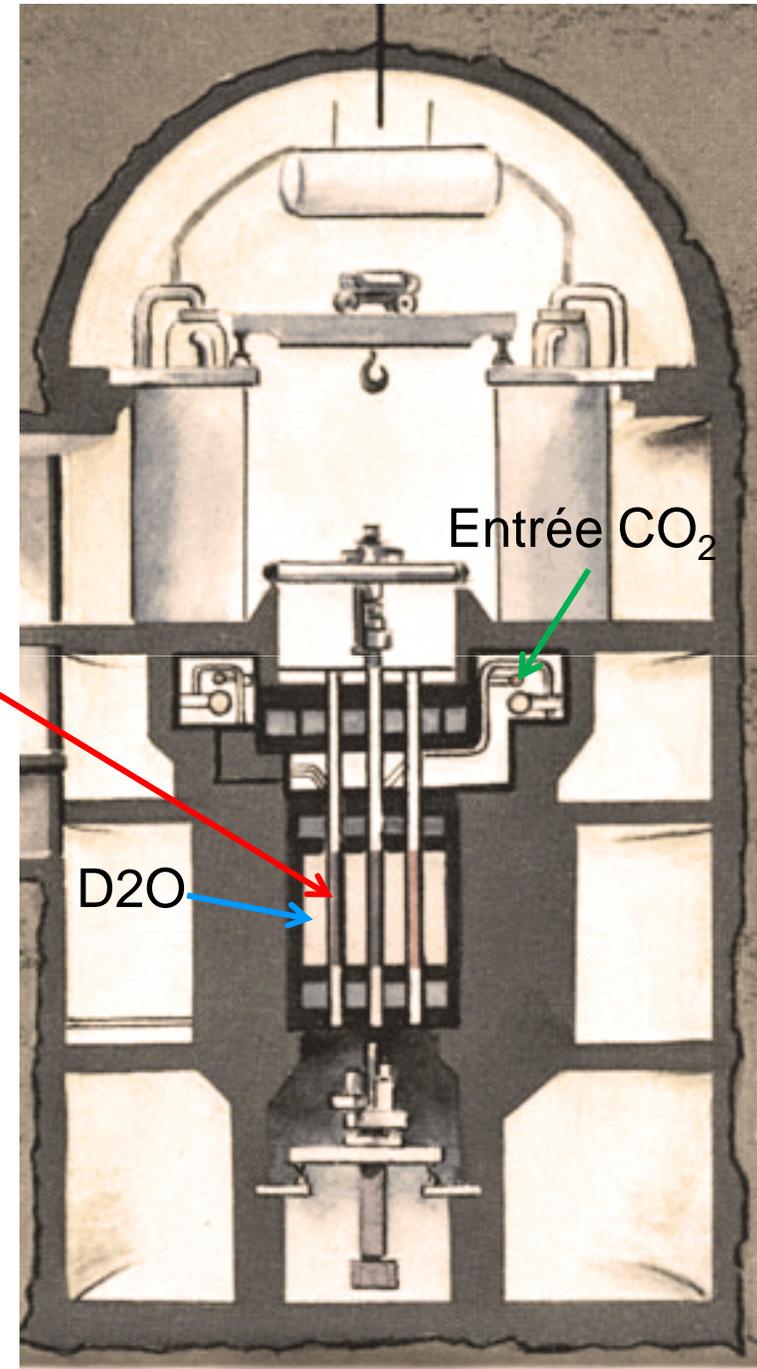
Le rôle du modérateur est de ralentir (« modérer ») les neutrons pour permettre la réaction de fission des noyaux d'U-235

On choisit l'eau lourde (D₂O) qui permettait une meilleure utilisation de l'uranium ainsi que des constructions plus compactes
- Le **dioxyde de carbone** (CO₂) fut choisi comme gaz de refroidissement et caloporteur



Conception du réacteur

- Les barreaux d'uranium métallique étaient logés dans des gaines en alliage de magnésium
- Chaque élément combustible était logé dans son propre **tube de force** (enceinte sous pression)
- Les tubes de force étaient disposés dans un réservoir rempli **d'eau lourde**.
- Le **dioxyde de carbone** (CO_2) circulait dans les tubes de force pour céder ensuite l'énergie libérée par la fission nucléaire à un circuit secondaire par l'intermédiaire d'un échangeur thermique





Conception du réacteur

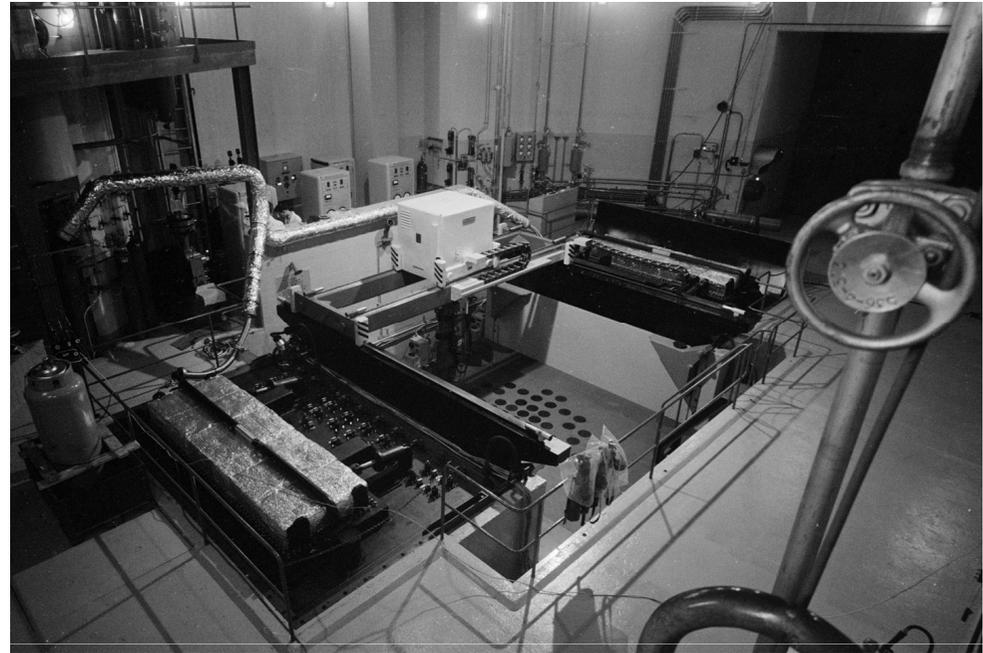
- Cette conception permettait d'éviter la construction d'une grande enceinte sous pression
- L'enceinte de confinement consistait en une paroi d'aluminium, d'asphalte et de béton d'environ 60 centimètres d'épaisseur qui habillait la caverne de réacteur



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

La mise en service

- Le réacteur atteignit l'état de criticité pour la première fois le 29 décembre 1966. S'en suivit une période de tests qui dura jusqu'à avril 1968



- L'exploitation de la centrale nucléaire expérimentale fut transférée le 10 mai 1968 à Énergie Ouest Suisse (EOS). De la mi-août jusqu'à la fin octobre 1968, la centrale fonctionna jusqu'à sa puissance maximale thermique de 30 MW. Le fonctionnement fut ensuite été interrompu par une période de réparation



L'accident du 21 janvier 1969 (1)

- La mise en service définitive de l'installation expérimentale a lieu le 21 janvier 1969. A 4h23, le réacteur atteint le seuil de criticité, puis la puissance est progressivement augmentée
- A 17h20, quelques minutes après avoir atteint le palier de 40% de puissance, un arrêt automatique du réacteur se produit. Il est suivi quelques secondes plus tard, par plusieurs explosions
- Le personnel en salle de commande constate immédiatement que le circuit primaire est endommagé mais que le réacteur a pu être mis à l'arrêt en toute sécurité; il prend les mesures d'urgence adéquates pour maintenir l'installation dans un état stable





L'accident du 21 janvier 1969 (2)

- Un défaut de refroidissement a entraîné la fusion de l'élément combustible N° 59. Le métal en fusion (uranium-magnésium) s'est finalement enflammé dans le CO₂, ce qui a provoqué une libération massive de produits de fission radioactifs dans le caloporteur et l'arrêt d'urgence automatique du réacteur.
- L'enveloppe de pression de l'élément combustible concerné a éclaté. L'onde de pression s'est développée dans le réservoir du modérateur et a provoqué la rupture d'un des éléments de sécurité contre la surpression (disque de rupture).
- Par cette ouverture, 1100 kg d'eau lourde, un mélange en fusion de magnésium et d'uranium ainsi que du caloporteur contaminé ont été projetés dans la caverne de réacteur.





L'accident du 21 janvier 1969 (3)

- Une seconde après environ, une réaction chimique entre l'eau lourde et le métal en fusion a déclenché une seconde explosion
- La surpression a entraîné la rupture des quatre autres disques de rupture du réservoir de modérateur, avec de nouvelles projections de matière radioactive dans l'écran biologique servant d'enceinte de confinement
- Le débit de dose dans la caverne atteint 1 Sv/h, essentiellement du fait de la présence de radionucléides de courte période tels que le rubidium-88 et le krypton-88





Les conséquences radiologiques de l'accident (1)

- La commission d'enquête sur l'accident de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens rend son rapport en 1979



- Selon ce rapport, la dose reçue par la population avoisinante par les gaz rares radioactifs a été inférieure à 0,1 mrem (1 micro-Sv) et se situait, pour les aérosols (essentiellement des isotopes d'iode) avec 0,001 mrem, bien en dessous de la limite de détection



Les conséquences radiologiques de l'accident (2)

- L'irradiation de la population est essentiellement imputable au tritium. Il a été rejeté dans l'environnement lors de la décompression de l'enceinte de confinement puis lors de la ventilation mise en place pour assécher la caverne du réacteur au cours des semaines qui ont suivi l'accident
- Conclusion du rapport : « La dose imputable au rejet de tritium est, avec un maximum de 5 mrem (0,05 mSv), négligeable comparée à la dose naturelle à laquelle est exposée la population et qui représente près de 100 mrem (1 mSv) par an dans la zone de Lucens



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Les conséquences radiologiques de l'accident

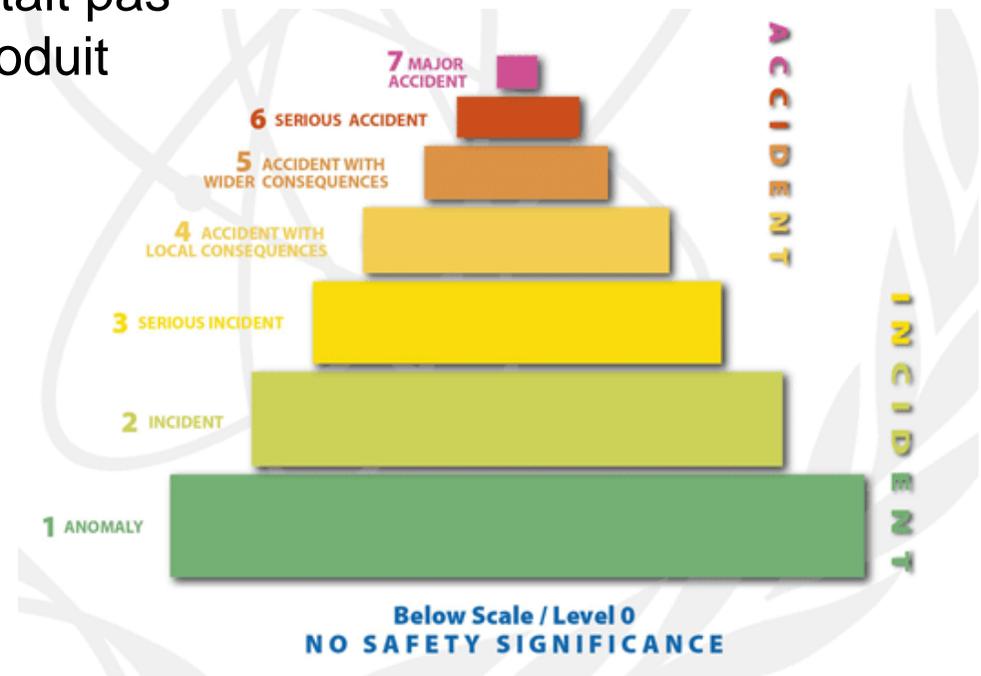


- Toujours selon le même rapport,
« les quantités de tritium déversées dans la Broye sont également négligeables, car la contamination résultante ne correspond qu'à une fraction des concentrations maximales admissibles dans l'eau du robinet telles que définies dans l'Ordonnance sur la radioprotection (de 1963) ».
- Le personnel du réacteur expérimental a été exposé à une irradiation supérieure à celle subie par la population. Mais cette irradiation ne correspondait toutefois « qu'à une fraction de l'irradiation admissible fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection pour les personnes exposées aux rayonnements ionisants du fait de leur activité professionnelle ».



Classification actuelle de l'accident

- Le rapport de la commission d'enquête a par la suite été l'objet de critiques et controverses
- L'accident de Lucens serait actuellement classé au niveau 4 ou 5 de l'échelle internationale d'évaluation des événements nucléaires (INES), classification qui n'existait pas encore à l'époque où il s'est produit





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Décontamination et démantèlement du réacteur

- A partir du 03 mars 1969, le personnel équipé de combinaisons de protection pressurisées pouvait accéder à la caverne pendant des durées prolongées. Les travaux de décontamination ont alors pu commencer. Le réacteur a été démantelé au cours des années suivantes
- L'installation a été définitivement désaffectée en 1991/93 par remplissage de la caverne du réacteur et de la piscine d'entreposage du combustible par du béton, avec mise en place d'un système de drainage. La fiabilité de ce système de drainage a dû être démontrée





Réhabilitation du site

- La majeure partie du site, à l'exception d'une parcelle où était stockés 6 six conteneurs contenant des déchets radioactifs, a été dénucléarisée sur décision du conseil fédéral en 1995.
- L'Office fédéral de la santé publique est toutefois chargé d'assurer la surveillance radiologique du site pendant 30 ans.
- En 2003, les six conteneurs de déchets radioactifs restants ont été transférés au centre de stockage intermédiaire pour déchets radioactifs (ZWILAG) de Würenlingen.
- La dernière parcelle a été soustraite à la législation sur les installations nucléaires en 2004.
- L'ancienne caverne des machines abrite aujourd'hui le dépôt de conservation des objets culturels du Canton de Vaud



La surveillance de la radioactivité dans l'environnement

- Art. 104 à 106 de l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP) règlent la surveillance de la radioactivité dans l'environnement
 - L'OFSP surveille les rayonnements ionisants et la radioactivité dans l'environnement

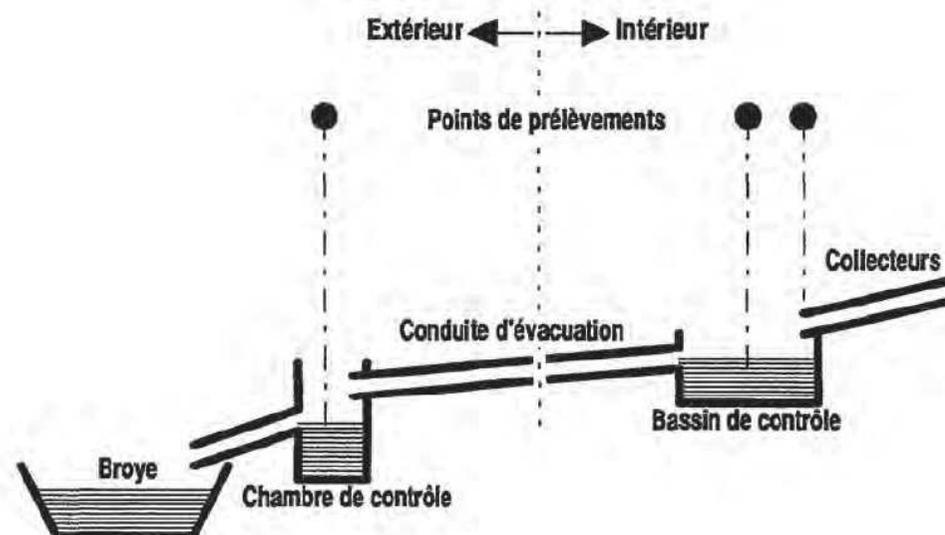
- L'OFSP coordonne le programme national de surveillance et est également chargé de la publication des résultats

- Plusieurs laboratoires de mesure participent à la surveillance
 - Laboratoires de la confédération
 - Laboratoires des cantons (denrées alimentaires)
 - Laboratoires spécialisés d'universités et de centres de recherche



La surveillance radiologique du site de l'ancienne centrale de Lucens

- Le programme de surveillance mis en place après le déclassement du site se résume au prélèvement, tous les 15 jours, de deux échantillons d'eau du système de drainage
 - L'un dans le bassin de contrôle (bassin de collecte des eaux de drainage provenant des 9 drains principaux de la caverne)
 - Le second dans la chambre de contrôle (juste avant le rejet dans la Broye)





La surveillance radiologique du site de l'ancienne centrale de Lucens

- L'Institut de Radiophysique (IRA), à Lausanne, a été mandaté par l'OFSP pour mesurer les émetteurs gamma et le tritium (^3H) dans les mélanges mensuels des échantillons du bassin et de la chambre de contrôle, ainsi que pour effectuer des analyses du Strontium-90 sur une base bimestrielle.
- Les prélèvements sont effectués par un membre du personnel du dépôt de conservation des objets culturels du Canton de Vaud.

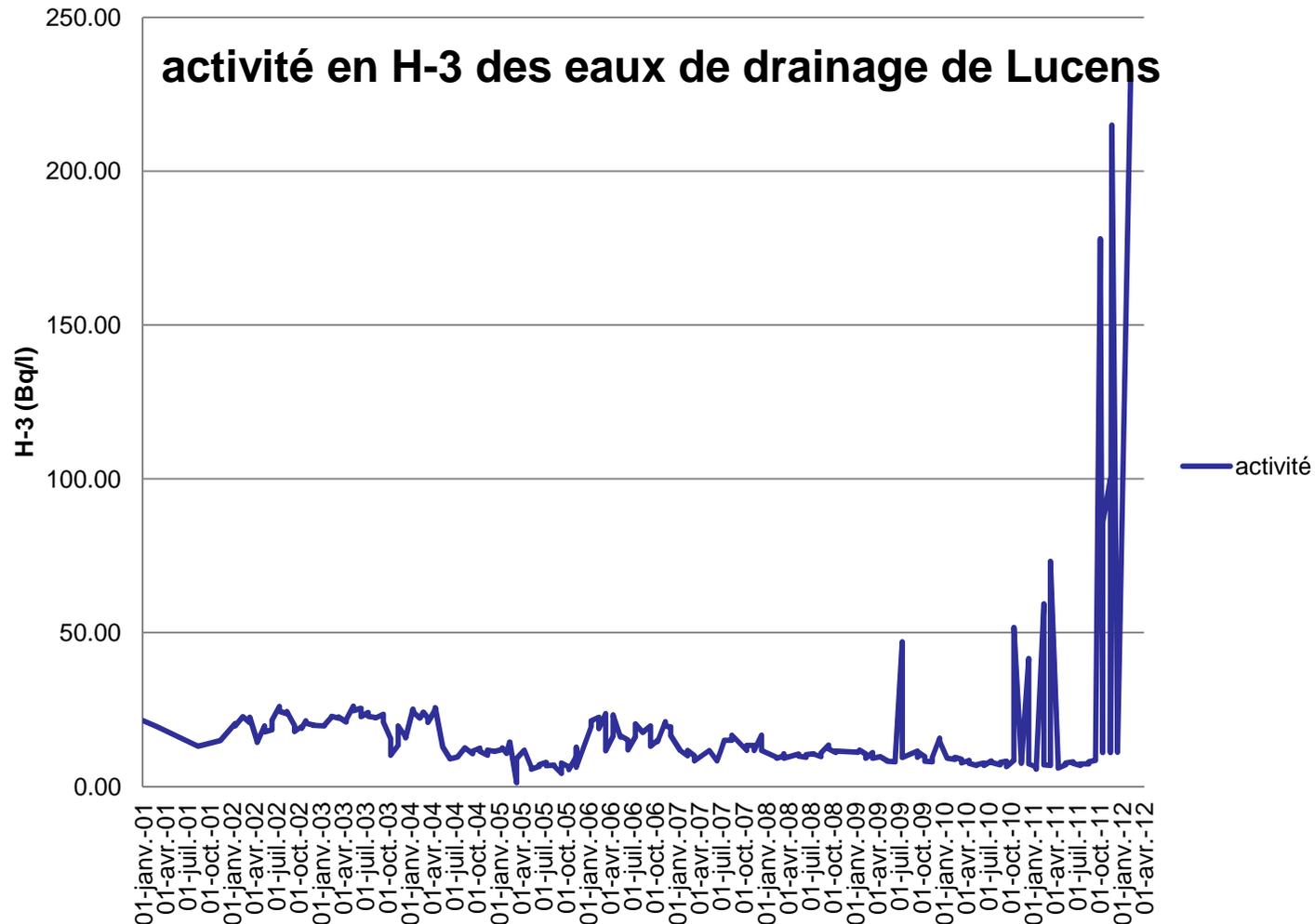


Les résultats de la surveillance jusqu'en 2010

- Les teneurs en tritium mesurées se situaient, jusqu'à début 2010, entre 10 et 20 Bq/l (valeur moyenne d'env. 15 Bq/l) alors qu'une eau de surface ne dépasse habituellement pas 3 Bq/l
 - ➔ Traces de l'accident de 1969
- Aucun émetteur gamma (Césium 134 et 137, Cobalt-60) n'a pu être mis en évidence dans les échantillons d'eau (Concentrations inférieures à la limite de détection (LD) de 0.2-0.5 Bq/l).
- Concentrations en Strontium-90 < LD = 5-7 mBq/l



L'augmentation des concentrations de tritium enregistrées en 2011-2012





L'augmentation des concentrations de tritium enregistrées en 2011-2012

- Activité maximale en tritium :
230 Bq/l en février 2012
Cet échantillon présentait une activité mesurable en Césium-137 de 0.5 Bq/l
- Aucune activité en Strontium-90 supérieure à la limite de détection



- Les valeurs enregistrées sont nettement inférieures à la valeur limite d'immission fixées dans l'ORaP à 12'000 Bq/l pour le tritium dans les eaux accessibles au public et ne représentent aucun danger pour la santé, mais l'augmentation justifie un suivi approfondi de la situation



Mesures prises par l'OFSP au printemps 2012

- Mise en place d'une surveillance en continu des eaux de drainage (un prélèvement manuel par sondage est insuffisant) :
A partir de la mi-avril un prélèvement journalier manuel a été effectué dans la chambre et le bassin de contrôle, jusqu'à l'installation de collecteurs automatiques le 02 mai 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP
Unité de direction Protection des consommateurs

Prélèvements au bassin de contrôle





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP
Unité de direction Protection des consommateurs

Prélèvements à la chambre de contrôle





Mesures prises par l'OFSP au printemps 2012

- Mise en place d'une surveillance en continu des eaux de drainage (un prélèvement manuel par sondage est insuffisant) :
A partir de la mi-avril un prélèvement journalier manuel a été effectué dans la chambre et le bassin de contrôle, jusqu'à l'installation de collecteurs automatiques le 02 mai 2012
- Analyse détaillée du système de drainage, examen de l'inventaire et prélèvements complémentaires d'échantillons sur le site afin de déterminer l'importance des fuites de radioactivité et, si possible, d'en déterminer l'origine

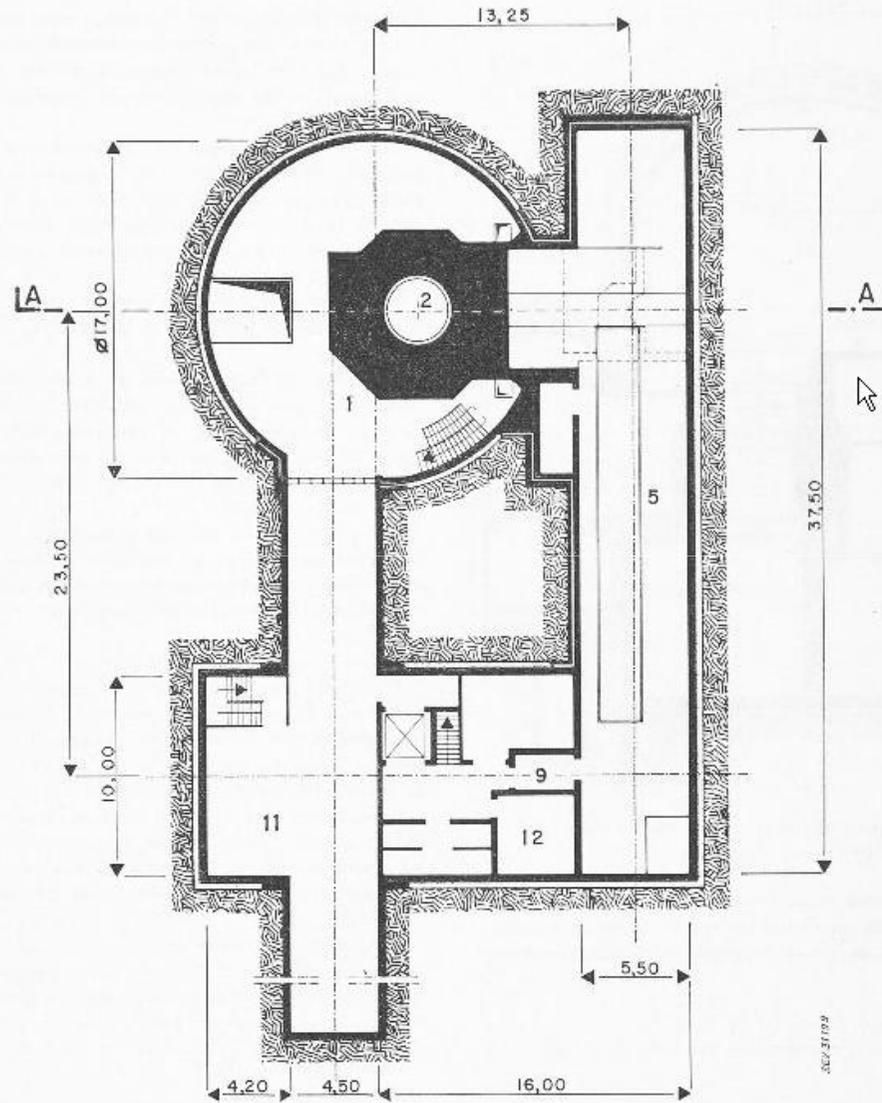
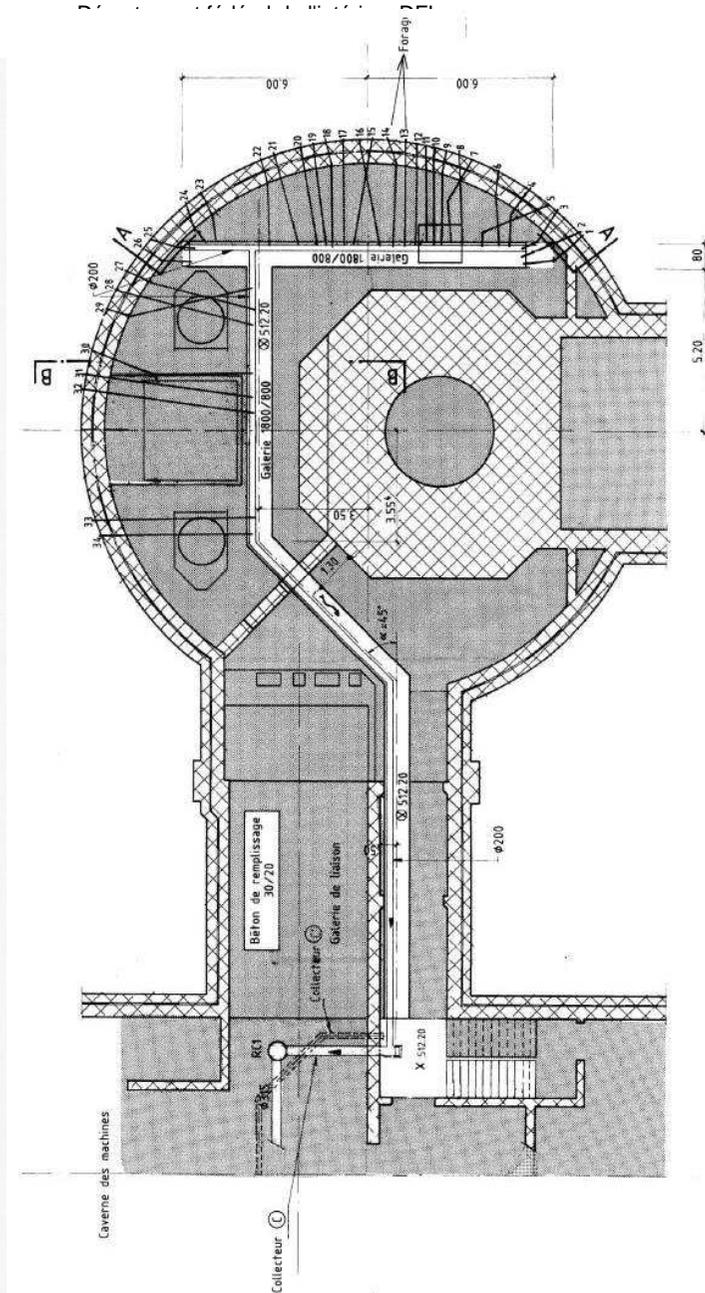


Fig. 5. — Coupe horizontale de la caverne (cote 508,30).

- | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 Caverne du réacteur | 5 Caverne de la piscine à combustible | 11 Local d'appareillage électrique |
| 2 Réacteur | 9 Sas pour le personnel | 12 Ventilation de la caverne de la piscine |





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP
Unité de direction Protection des consommateurs

Prélèvements au drain N° 4 (caverne du réacteur)



Prélèvements aux drains latéraux ainsi qu'au drain N° 3 (piscine de stockage du combustible)





L'inventaire des radionucléides présents après décontamination

- Le rapport de sécurité sur la désaffectation de la centrale nucléaire de Lucens publié en 1988 sur mandat de la SNA contient un inventaire des radionucléides présents dans la caverne avant que celle-ci ne soit bétonnée.
- Ce rapport mentionne les activités suivantes (en date du 1.1.1988)

Strontium-90	: 0.12 Ci (4.4 GBq)	(provenant de 400 g d'Uranium faiblement enrichi se trouvant de façon dispersée dans la caverne)
Yttrium -90	: 0.12 Ci (4.4 GBq)	
Césium- 137	: 0.17 Ci (6.3 GBq)	
Plutonium-239	: 0.003 Ci (100 MBq)	
Divers alpha	: 0.0003 Ci (10 MBq)	
Cobalt-60	: 0.4 Ci (15 GBq)	(produits d'activation)
Argent-108	: 0.09 Ci (3.3 GBq)	



L'inventaire des radionucléides présents après décontamination

- L'inventaire en tritium a été établi sur la base d'entretiens avec l'ancien directeur de la centrale, J.P. Buclin.
 - ➔ 5 tonnes d'eau lourde ont été expulsées à l'intérieur de l'écran biologique lors de l'accident, la plupart a ensuite été récupérée
 - ➔ Toutefois une quantité estimée à environ 200 kg d'eau lourde a été relâchée durant les trois premiers jours avec les fuites de CO₂ dans le rocher autour du réacteur de la centrale
 - ➔ Ceci correspondait à environ 30 Ci de tritium. Il en reste aujourd'hui environ 1 Ci (37 GBq)

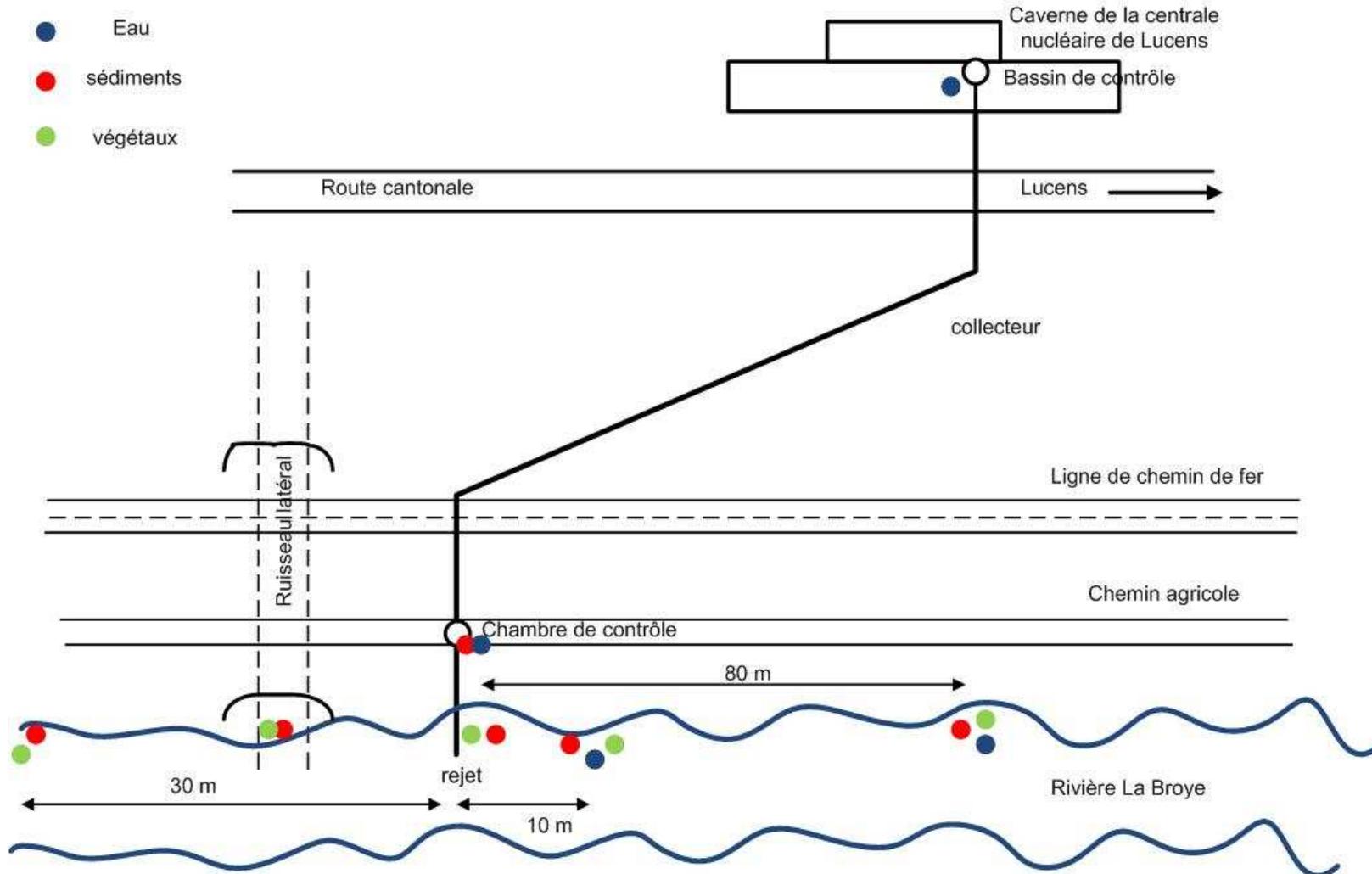


Mesures prises par l'OFSP au printemps 2012

- Mise en place d'une surveillance en continu des eaux de drainage (un prélèvement manuel par sondage est insuffisant) :
A partir de la mi-avril un prélèvement journalier manuel a été effectué dans la chambre et le bassin de contrôle, jusqu'à l'installation de collecteurs automatiques le 02 mai 2012
- Analyse détaillée du système de drainage et prélèvements complémentaires d'échantillons sur le site afin de déterminer l'importance des fuites de radioactivité et, si possible, d'en déterminer l'origine
- Organisation d'une campagne de prélèvements d'échantillons d'eaux et de plantes aquatiques dans la Broye pour s'assurer que les concentrations, notamment en tritium et en Césium-137, sont restées faibles dans l'environnement.



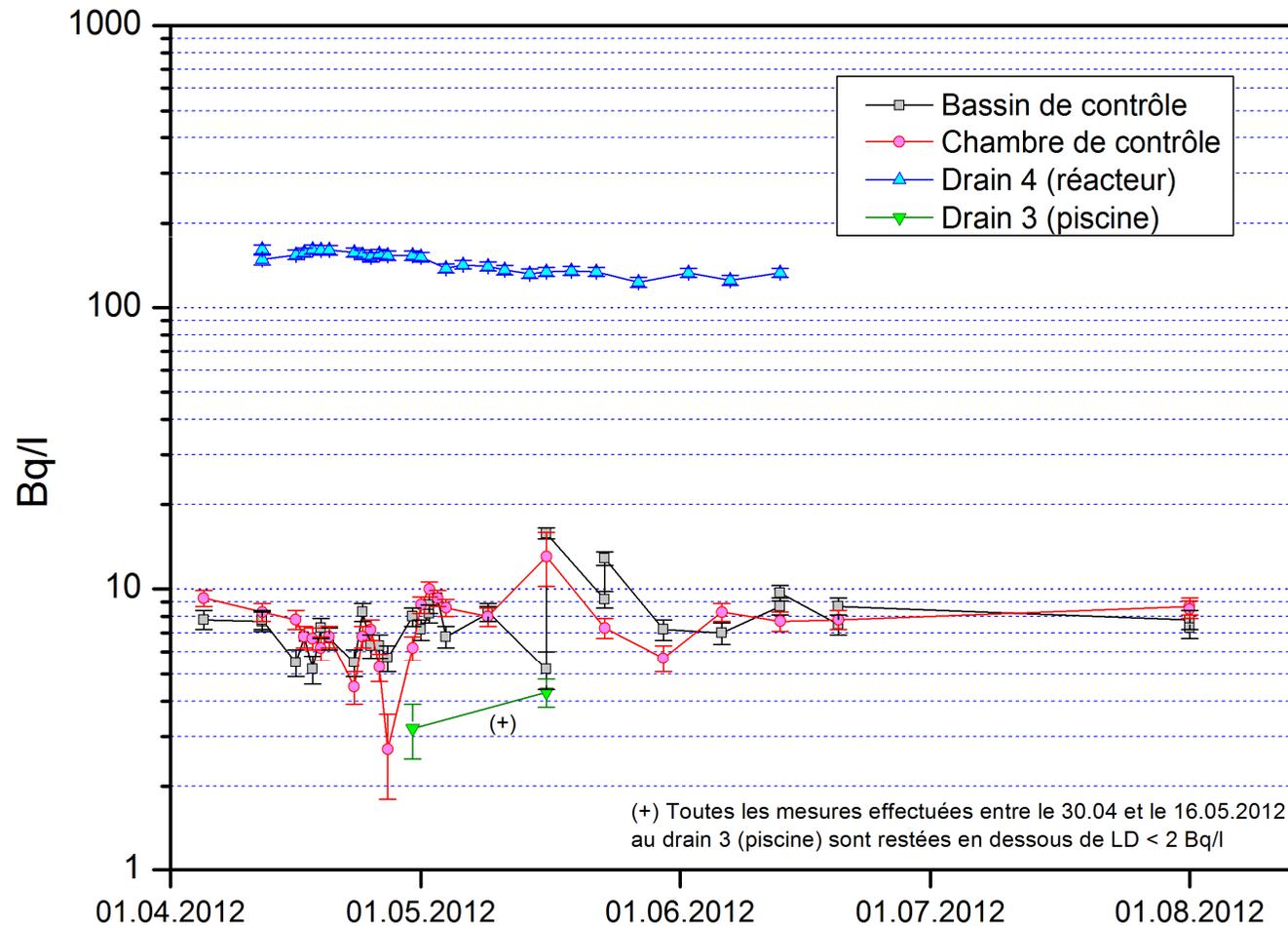
Prélèvements d'échantillons dans la Broye





Les résultats de la surveillance rapprochée

■ Résultats des analyses du tritium dans les eaux du système de drainage





Les résultats de la surveillance rapprochée

- L'origine de l'augmentation subite de tritium mesurée fin 2011-début 2012 dans les échantillons de la chambre et du bassin de contrôle n'a pas été identifiée; toutes les valeurs enregistrées étaient < 20 Bq/l
 - ➔ Phénomène ponctuel
- Les mesures complémentaires ont permis d'identifier une fuite permanente de tritium (140 Bq/l) en provenance du drain n° 4 (caverne du réacteur). Des traces de Césium-137 (0.5 Bq/l) ont également été mesurées dans ces échantillons
- Les valeurs de tritium enregistrées dans les eaux des autres drains étaient inférieures à la limite de détection de 2-3 Bq/l
 - ➔ L'eau en provenance du drain 4 est responsable des activités de 10-20 Bq/l observée dans les échantillons du bassin et de la chambre de contrôle dans les prélèvements bimensuels

Les résultats de la surveillance rapprochée

- Sur 23 échantillons de plantes aquatiques et sédiments de la Broye, une seule valeur de Césium-137 > 1Bq/kg MS (50 Bq/kg)

Extrait des résultats des mesures des émetteurs gamma dans les plantes aquatiques prélevées dans la Broye

Echantillon	Description	Code IRA	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
au rejet	Broye, Rivière gauche	GRE-12-189	< 2.9	2079 ± 58	81 ± 15
100 m du rejet	Broye, Rivière droite	GRE-12-190	< 1.9	1040 ± 32	63 ± 11
130 m du rejet	Broye, Rivière gauche	GRE-12-191	< 1.5	980 ± 30	53 ± 7
80 m du rejet	Broye, Rivière droite	GRE-12-192	<1.0	1194 ± 17	55 ± 5
80 m rejet ¹⁾	Broye, rive gauche	GRE-12-157	50 ± 5	1098 ± 81	<62
face rejet	Broye, Rivière droite	GRE-12-193	<3.8	1174 ± 58	60 ± 15
150 m du rejet	Broye, Rivière droite	GRE-12-194	< 1.5	990 ± 60	78 ± 9
au rejet	Broye, Rivière gauche	GRE-12-195	<1.9	920 ± 65	45 ± 8
150 m du rejet	Broye, Rivière gauche	GRE-12-196	0.80 ± 0.4	1091 ± 31	96 ± 6



Les résultats de la surveillance rapprochée

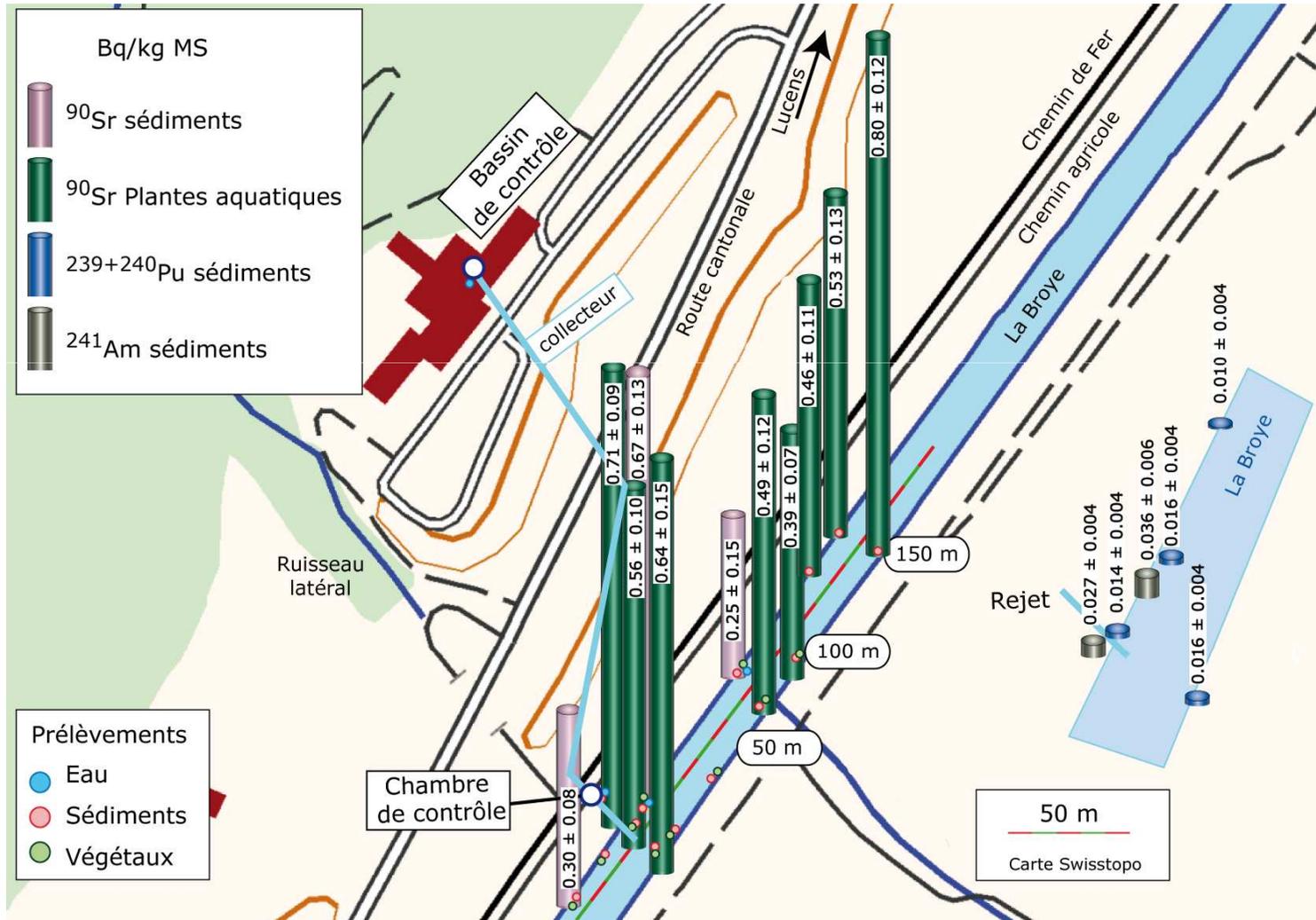
- Mesures du tritium organiquement lié dans les plantes aquatiques prélevées dans la Broye

Echantillon	Description	Code IRA	3H (Bq l ⁻¹)
Rejet Broye	sortie du rejet	GRE-12-147	< LD
Ruisseau latéral	10 m amont du rejet	GRE-12-148	< LD
30 m rejet Broye	amont	GRE-12-149	< LD
10 m rejet Broye	aval	GRE-12-154	< LD
80 m rejet Broye	aval	GRE-12-157	< LD
Ruisseau latéral (mousses)	amont	GRE-12-158	< LD

< 1 Bq/kg MF



Les résultats de la surveillance rapprochée





Les résultats de la surveillance rapprochée

- Les mesures de tritium libre et organiquement lié, des émetteurs gamma, du strontium-90 ainsi que du plutonium et de l'américium dans les sédiments et les plantes aquatiques prélevés dans la Broye n'ont pas présenté de marquage radioactif attribuable à l'ancienne centrale nucléaire de Lucens





Conclusions (1)

- La surveillance et les techniques de mesure très sensibles mises en œuvre par l'OFSP et l'IRA ont permis de déceler une situation anormale sur le site de l'ancienne centrale nucléaire de Lucens. Même si les valeurs mesurées sont restées 50 fois inférieures aux limites légales et ne présentaient pas de danger pour la santé de la population, un programme de mesures complémentaires a été mis en œuvre pour en déterminer l'origine
- Les résultats de la surveillance rapprochée (200 analyses supplémentaires en 3 mois) n'ont pas permis de déterminer l'origine des niveaux de tritium plus élevés mesurés dans les eaux de drainage fin 2011 et début 2012, car les concentrations étaient retombées à celles enregistrées jusqu'en 2010



Conclusions (2)

- L'eau en provenance du drain 4 (caverne du réacteur) présente une concentration, plus élevée (env. 140 Bq/l), mais stable, de tritium. Elle est responsable des activités de l'ordre de 10-20 Bq/l enregistrées habituellement dans les échantillons de la chambre et du bassin de contrôle mais n'est pas responsable des valeurs élevées enregistrées fin 2011-début 2012.
- Résurgence du tritium rejeté dans l'environnement lors de l'accident (1969) ?
- La surveillance complémentaire ayant démontré que le phénomène était ponctuel, un rythme de surveillance normal a pu être réintroduit dès la fin juillet, avec toutefois le maintien d'un collecteur d'eau automatique.



Conclusions (3)

- Les mesures effectuées dans les eaux, les sédiments et les plantes aquatiques prélevées dans la Broye n'ont montré aucun marquage de l'environnement par des substances radioactives attribuables à l'ancienne centrale de Lucens

