



REHABILITATION DES SITES EN DECONSTRUCTION

**Plan de gestion de l'ancien chenal
de rejets de la Station de Traitement
des Effluents de Brennilis**

SFRP Grenoble – 23 & 24 Octobre 2012

G. PELLENZ ; C. OLLIVIER DEHAYE – EDF CIDEN



- **Chenal** : premier chantier de grande ampleur de réhabilitation de sols contaminés radiologiquement à EDF
- STE : diagnostic réalisé (carottages et modélisation) ; plan de gestion en cours
- Ces chantiers ont permis de proposer et de faire valider des innovations méthodologiques et techniques



CONTEXTE

- La Station de Traitement des Effluents (STE) et le chenal ont été créés pour traiter et rejeter les effluents vers l'Ellez.
- Zones répertoriées dans l'enquête historique (2002)
- Volonté d'EDF d'assainir la zone du chenal : lancement de campagnes de caractérisation de sol dès 2007
- Demande d'assainissement des terres inscrite dans le décret 2011-886 du 27 juillet 2011 autorisant EDF à procéder aux opérations de démantèlement partiel de l'INB n°162
- Plans de gestion du chenal et des terres du pourtour de la STE envoyés respectivement en septembre 2011 et 2012
 - Autorisation reçue pour le chenal le 11/06/12
 - Les travaux d'excavation du chenal sont terminés depuis septembre 2012



CONTEXTE

Enjeux

- Enjeu médiatique
 - Mesures réalisées par les opposants et publiées
 - Demande forte de l'enquête publique
- Enjeu méthodologique
 - 1er chantier de cette ampleur
 - précédent pour les chantiers futurs
- Enjeu délai par rapport au futur chantier de démantèlement de la STE
- Enjeu administratif (délais d'instruction des dossiers)

Contraintes

- Protection des espèces
- Caractère 'humide' du chenal
- Protection de l'Ellez



PAS DE DOCTRINE RÉGLEMENTAIRE INB POUR LA RÉHABILITATION DES SOLS

- Politique nationale Sites et sols pollués pour les ICPE depuis 1993, remise à jour en 2007



- Dès 2008, EDF CIDEN écrit la méthodologie appliquée aux INB et la présente à l'ASN dans le contexte du projet Brennilis



- Guide IRSN pour les ICPE polluées par des substances radioactives depuis 2001
 - remis à jour en décembre 2011, sous l'enseigne ASN-IRSN-Ministère de l'Ecologie et étendu aux INB



- En 2009, EDF CIDEN s'associe aux exploitants nucléaires AREVA et CEA pour écrire une méthodologie commune de réhabilitation des sols pour les INB
 - **Guide inter-exploitants présenté à l'ASN en 2010**

Nota : le guide inter-exploitants est en accord avec le guide IRSN de décembre 2011



Basé sur : guide AIEA, politique SSP, guide IRSN, méthodologie EDF et remarques ASN

PAS DE DOCTRINE RÉGLEMENTAIRE INB POUR LA RÉHABILITATION DES SOLS

- Politique nationale Sites et sols pollués pour les ICPE depuis 1993, remise à jour en 2007
- Dès 2008, EDF CIDEN écrit la méthodologie appliquée aux INB et la présente à l'ASN dans

L'ASN donne la priorité à la suppression de toute source de pollution en proscrivant toute gestion par l'impact.



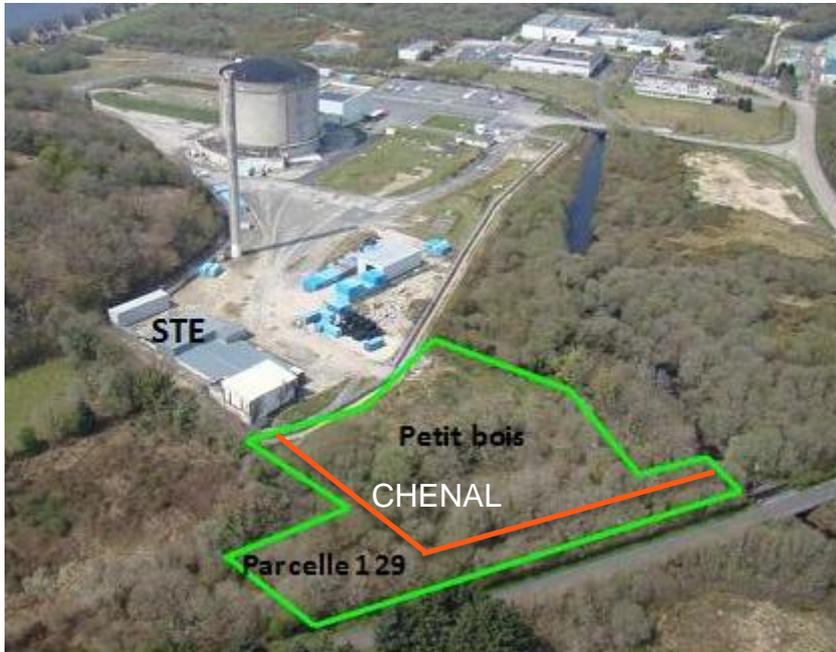
Nota : le guide inter-exploitants est en accord avec le guide IRSN de décembre 2011



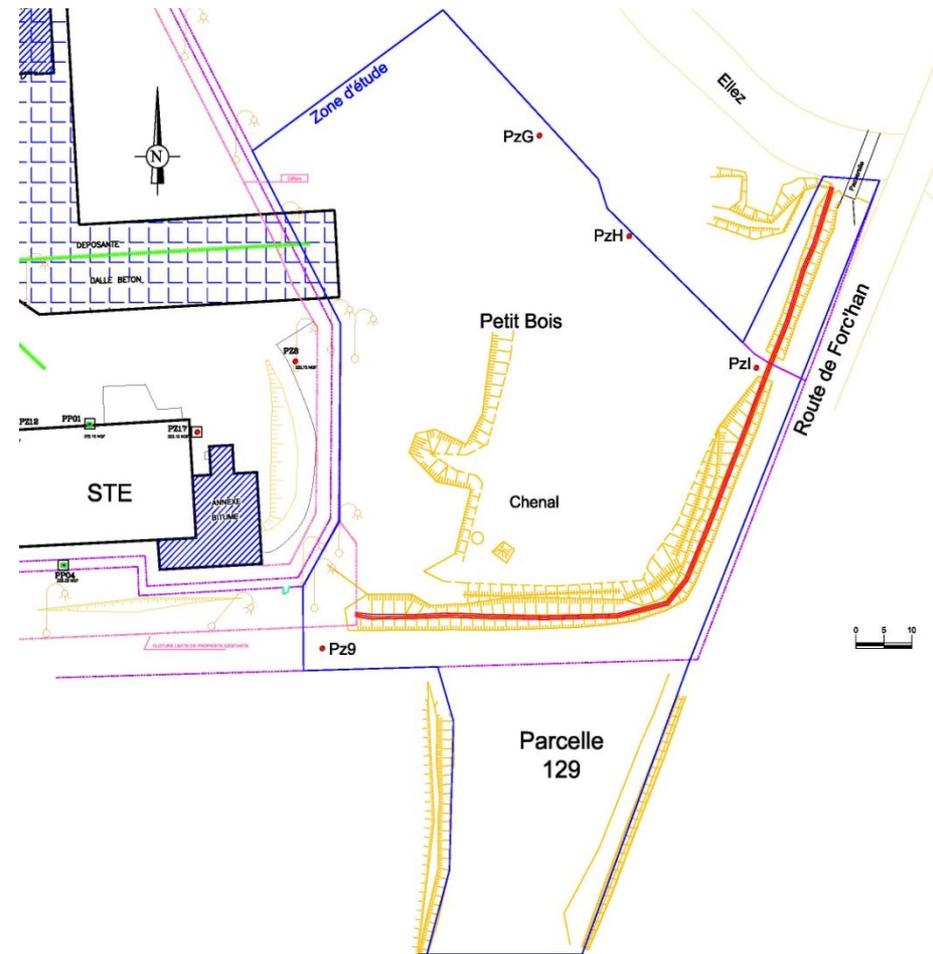
Basé sur : guide AIEA, politique SSP, guide IRSN, méthodologie EDF et remarques ASN

PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

- zone petit bois et parcelle 129 appartenant à EDF (environ 5300 m²)
- périmètre d'étude volontairement étendu autour du chenal en vue de délimiter de manière exhaustive la localisation des radionucléides artificiels



- chenal de 130 m de long environ
- 1 m de dénivelé entre amont et aval
- niveau de la nappe variant de 70 cm à 1,4 m de profondeur

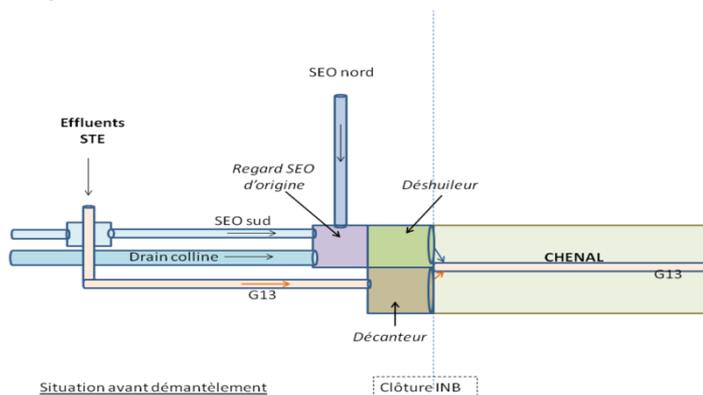


HISTORIQUE

- Le chenal abritait une conduite (galerie G13) qui dirigeait les effluents de la STE vers l'Ellez
- décanteur/déshuileur installé en amont du chenal (enlevé en 2005)
- retrait G13 du chenal en 2004

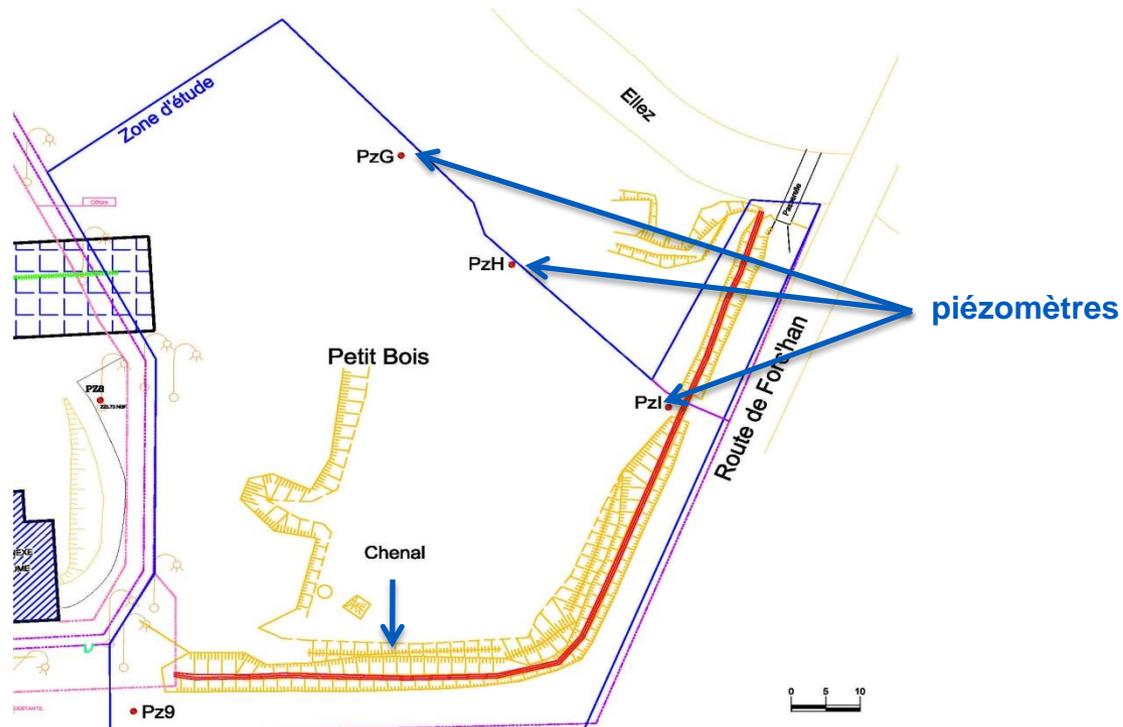
Évènements notables :

- lors du démantèlement de la G13 (2004), constatations de dégradations de la conduite en amont du chenal (photographie 1)
- curage partiel nécessaire pour le retrait de la conduite = accès par berge sud avec dépôt de la majorité des sédiments remaniés sur cette berge et remaniements ponctuels en berge nord (photographie 2)



SURVEILLANCE DE LA NAPPE

- Trois piézomètres dans la zone : PZI, PZH et PZG
- Analyses comprenant : spectrométrie gamma, mesure du béta total et du tritium et mesure de la teneur en potassium
- Résultats = absence de radionucléides artificiels dans l'eau de nappe au droit de la zone d'étude



DIAGNOSTICS DES SOLS – SUBSTANCES RECHERCHÉES

Une étude complète des données historiques a permis de définir de manière exhaustive les radionucléides et les substances à rechercher.

→ les spectres effluents, la liste des produits utilisés ou générés sur site au cours de la vie du site sont des données importantes à conserver dans le temps.

▪ Radionucléides recherchés :

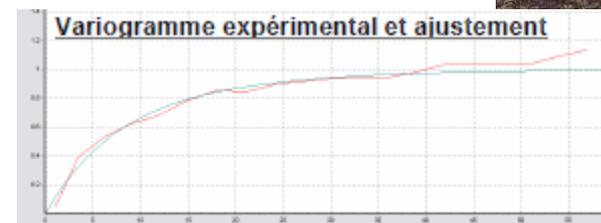
- ^{60}Co , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{125}Sb , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am
- ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{90}Sr (+ ^{90}Y), ^{241}Pu

▪ Substances chimiques recherchées :

- métaux (plomb, mercure et nickel), HCT, HAP (18 substances), BTEX, COHV (22 substances), trichlorobenzènes, chloroalcanes C10-13, PCB (7 congénères)

DIAGNOSTICS DE SOLS – LEVÉE DE DOUTE SURFACIQUE

- Objectif : repérer les zones d'intérêt radiologique et discriminer le naturel de l'artificiel
- Expertise confiée à la Section Assainissement du Site du CEA FAR sur la zone petit bois et sur la parcelle 129
- Outils innovants :
 - mesure du flux gamma émergent grâce au 4x4 VEGAS (DSP + NaI 8" + GeHP) ou à pied avec NaI3" selon les conditions d'accès
 - outil d'optimisation du plan d'échantillonnage
 - acquisition en temps réel de la mesure, centralisation et cartographie
 - traitement de données par géostatistique**→ permet d'obtenir une modélisation 2D en temps réel (débit de dose ou activité)**

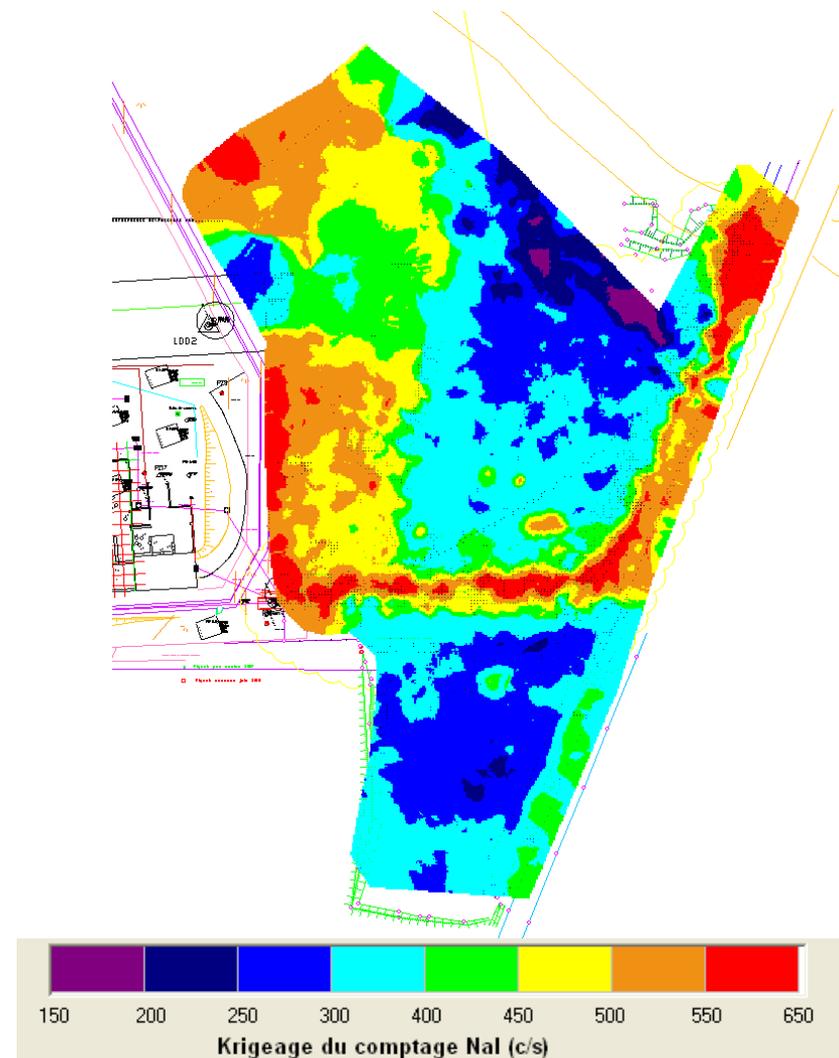


DIAGNOSTICS DE SOLS – LEVÉE DE DOUTE SURFACIQUE

■ 1^{ère} étape :

□ Mise en évidence des zones d'intérêt

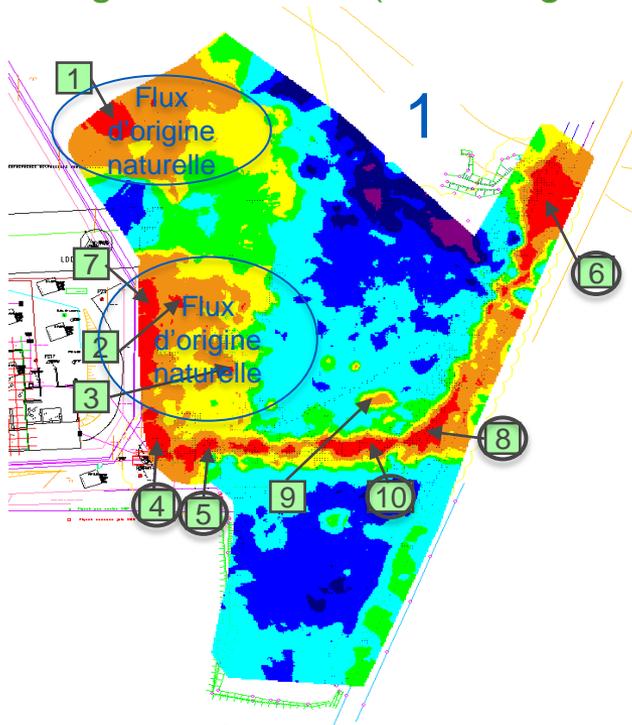
- krigage des données du NaI
- Le rouge correspond au flux gamma le plus élevé, sans pour autant que le niveau de ce flux soit important (estimation du ddd par le CEA de l'ordre de 50 nSv/h en moyenne à 100 nSv/h au maximum)
- Pas de zone d'intérêt dans la parcelle 129



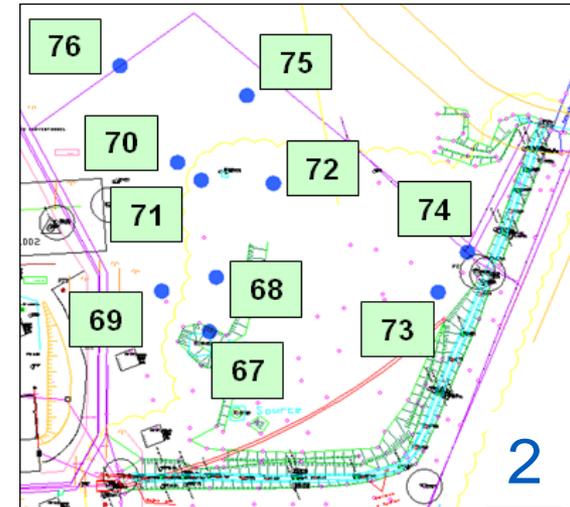
DIAGNOSTICS DE SOLS – LEVÉE DE DOUTE SURFACIQUE

■ 2^{ème} étape :

- Discrimination des radionucléides artificiels par spectrométrie gamma in situ (Nal 3" figure 1 et GeHP figure 2)



Référence Spectro	RN artificiels détectés
1	< LD
2	< LD
3	< LD
4	^{137}Cs , ^{60}Co
5	^{137}Cs , ^{60}Co
6	^{137}Cs
7	< LD
8	^{137}Cs , ^{60}Co
9	< LD
10	^{137}Cs



spectrométrie γ (LD = 2 à 9 Bq/kg)	^{60}Co	^{137}Cs
67	< LD	< LD
68	< LD	< LD
69	< LD	< LD
70	< LD	< LD
71	< LD	< LD
72	< LD	< LD
73	< LD	< LD
74	< LD	< LD
75	< LD	< LD
76	< LD	< LD

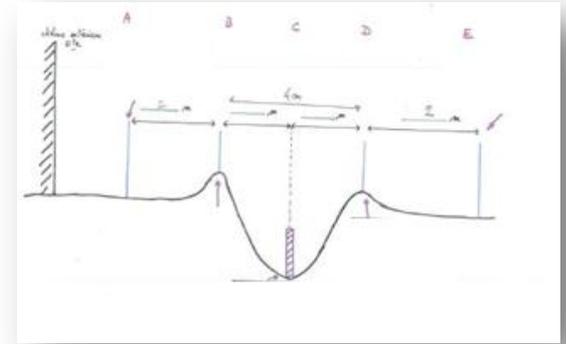
■ Conclusion :

- seul le chenal est marqué par des radionucléides artificiels
- le flux gamma mesuré induit par la radioactivité artificielle est du même niveau que le flux gamma induit par la radioactivité naturelle

DIAGNOSTICS DES SOLS – 3 CAMPAGNES RÉALISÉES

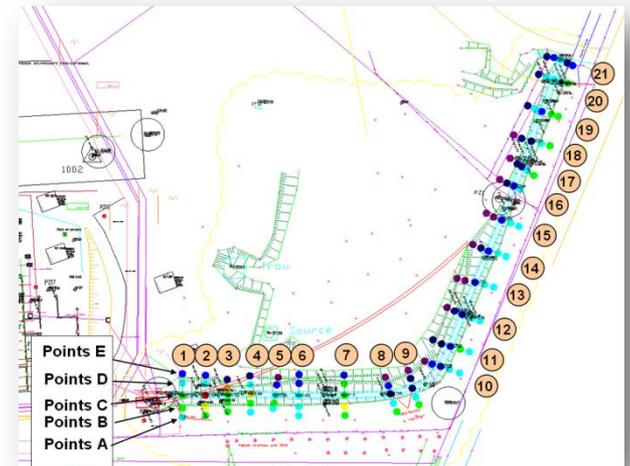
■ 2 campagnes radiologiques (2008 et 2010)

- mesures radiologiques surfaciques du chenal (cartographie du flux gamma émergent)
- plus de 140 sondages, profondeurs variant de 0,30 à 1,60 m
- Plus de 280 analyses radiologiques en laboratoire



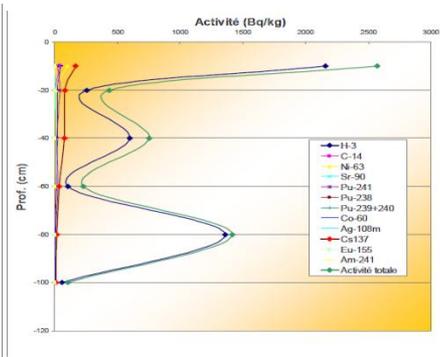
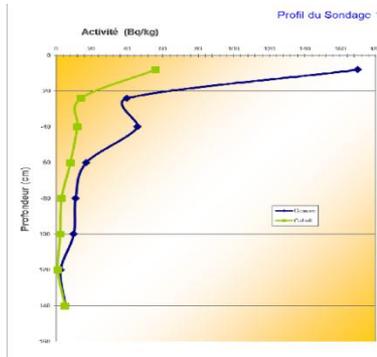
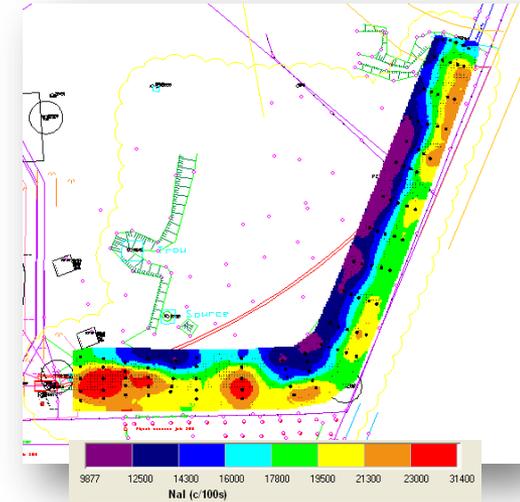
■ 1 campagne chimique en 2010 : prélèvements surfaciques

- 3 prélèvements dans le chenal ; 5 prélèvements autour du site (pour comparaison)
- 100 analyses chimiques en laboratoire



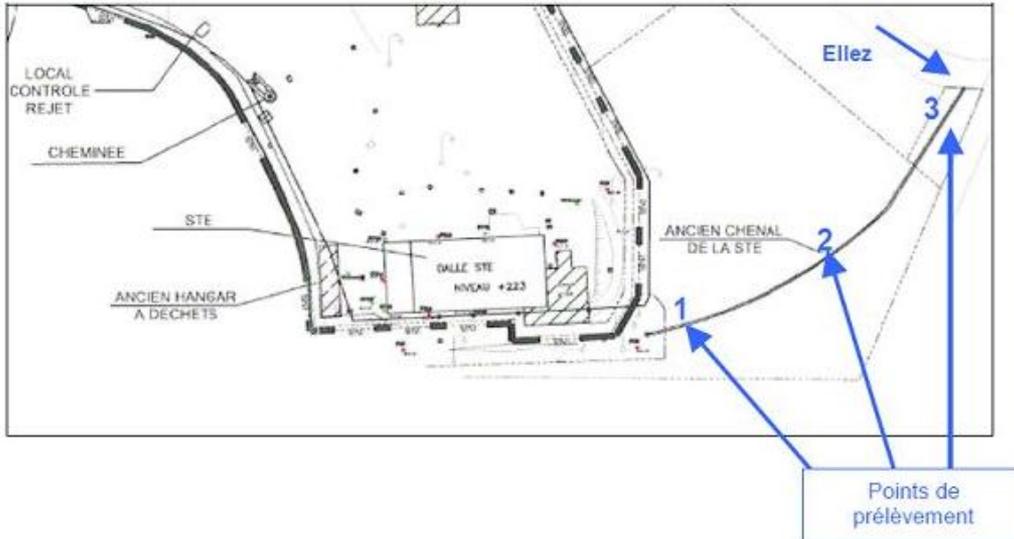
SYNTHÈSE DES DIAGNOSTICS RADIOLOGIQUES

- Les activités maximales sont observées dans la partie amont du chenal et sur la berge Sud du chenal : cohérence avec l'historique
- le gradient de marquage s'observe de l'amont vers l'aval
- le ^{137}Cs est le radioélément majoritairement identifié avec une teneur maximale de 1,7 Bq/g sec (en moyenne 0,09 Bq/g sec)
- ^{137}Cs et ^{60}Co sont concomitants et sont des indicateurs fiables de la contamination présente
- les autres RN observés sont : ^3H , ^{14}C , ^{63}Ni , ^{90}Sr , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{155}Eu , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Pu
- le marquage est concentré dans les 20 premiers centimètres
- le profil de migration permet de constater que la contamination n'a pas migré de façon significative au-delà des 40 premiers centimètres
- seuls sont encore détectés en profondeur du ^3H , du ^{137}Cs et du ^{60}Co à des niveaux d'activité faibles



SYNTHÈSE DES DIAGNOSTICS CHIMIQUES

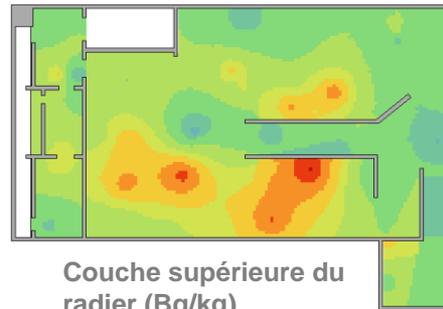
- mesure de plomb avec un gradient amont/aval : toutes les valeurs sont toutefois inférieures au seuil S1 de l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface [...] ou extraits de cours d'eau et de canaux [...] qui est de 100 mg/kg
- présence de nickel, de mercure et de HAP à des niveaux très inférieurs aux seuils S1
- présence de PCB dans la partie amont du chenal (2 x S1)



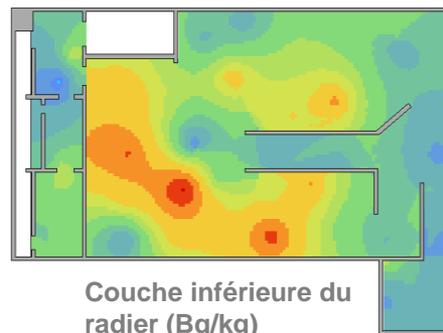
- Conclusion :
 - présence de PCB en amont du chenal avec un gradient de marquage de l'amont vers l'aval
 - cohérence avec l'historique

DIAGNOSTIC DE LA STE

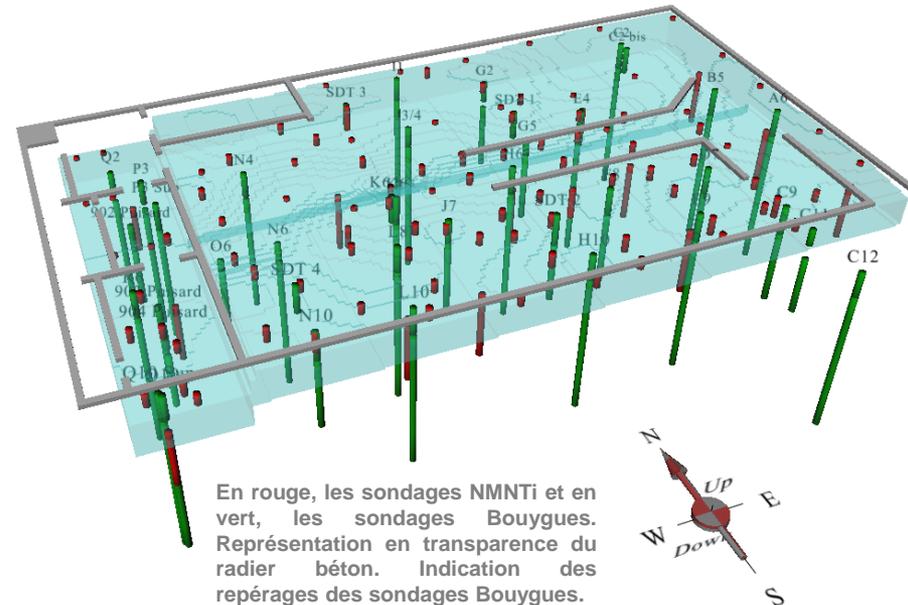
- Assainissement et démolition des superstructures de 1999 à 2004
- Début assainissement des infrastructures en 2004 et arrêt en 2005
- Campagne de caractérisation par technologie TruPro[®], puis campagne classique
- Plan de gestion en cours



Couche supérieure du radier (Bq/kg)



Couche inférieure du radier (Bq/kg)



RÉHABILITATION DU CHENAL

- Principe n°1 de la gestion des sols contaminés :
 - en présence d'une source anthropique de contamination, on essaie de « retirer » cette source
 - C'est seulement s'il y a des difficultés techniques et/ou économiques que l'on peut proposer d'autres solutions.
- Mesure de gestion retenue :
 - les radionucléides artificiels et les substances chimiques sont présents de manière localisée dans la couche superficielle du sol
 - mesure de gestion simple visant au retrait total de la contamination
 - = excavation des terres et gestion en filière nucléaire
- Problème du critère de propreté :
 - il n'existe pas de seuils d'exemption ou de libération en France
 - nécessité de négocier un seuil avec l'ASN

RÉHABILITATION DU CHENAL

- Principes sur lesquels le CIDEN a proposé un critère de propreté pour le chenal :
 - l'objectif est de retirer la contamination tout en optimisant les volumes de déchets TFA : ne pas excaver tout le chenal en basant le zonage sur l'historique uniquement
 - ne pas proposer comme critère, le bruit de fond radioécologique : en moyenne 10 à 20 Bq/kg en ^{137}Cs , mais peut aller jusqu'à 100 Bq/kg en certains points
 - tenir compte de critères existants en interne EDF pour d'autres usages :
 - ✓ DI 104 : sert au zonage déchets des sites
 - ✓ guide d'application propose un critère d'activité pour les aires extérieures de 0,1 Bq/g en équivalent ^{60}Co
 - ✓ ce critère correspond au 100^{ème} des seuils d'exemption de la directive Euratom 96-29

RÉHABILITATION DU CHENAL

- Objectif de réhabilitation :

- $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co} < 0,1 \text{ Bq/g}$

- **critère global de 0,1 Bq/g en équivalent ^{60}Co (conforme à la DI104)**

= le 100ème des seuils d'exemption de la directive Euratom 96-29

- **critère proposé correspond pour le ^{137}Cs à 5 x bruit de fond**

- En présence de plusieurs RN :

$$\sum_{i=1}^j \frac{A_i}{C_{m_i}} < \frac{1}{100}$$

avec : j nombre de radioéléments mesurés

A_i activité mesurée du RN i

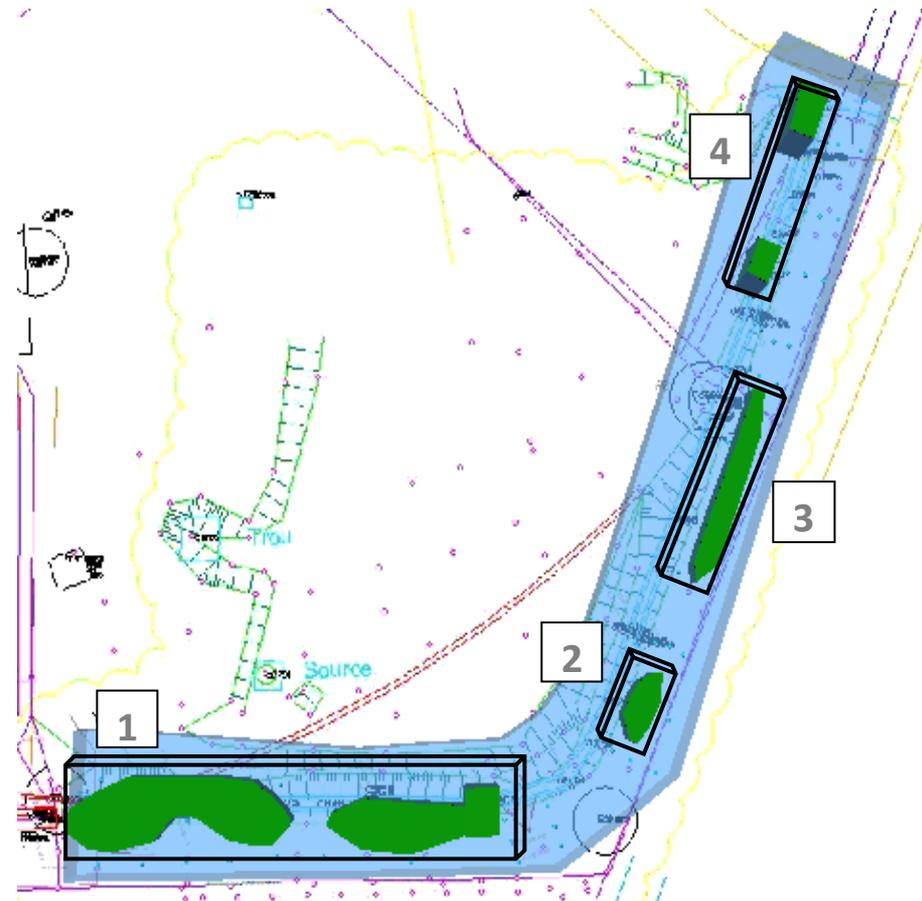
C_{m_i} coefficient de pondération EURATOM

- Impact dosimétrique :

- avant réhabilitation, pour le scénario le plus pénalisant, quelques dizaines de $\mu\text{Sv/an}$

RÉHABILITATION DU CHENAL

- Modélisation des zones où l'activité est supérieure au critère de propreté radiologique = volumes en vert
- définition de zones à déchets nucléaires prenant en compte une marge forfaitaire de 20 cm (= pas d'échantillonnage) et prenant en compte les contraintes de chantier = volumes noirs = volumes à excaver
- retrait sur 0,60 m de profondeur, soit environ **640 m³** de terres excavées (volume total du chenal estimé à 1500 m³)



L'abaissement du terme source après assainissement est d'au moins 95 %
(en considérant de manière majorante une activité résiduelle de 100 Bq/kg en éq. ⁶⁰Co).

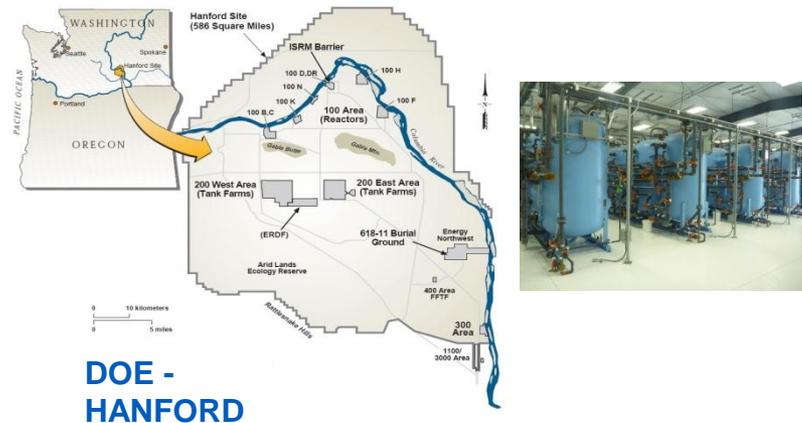
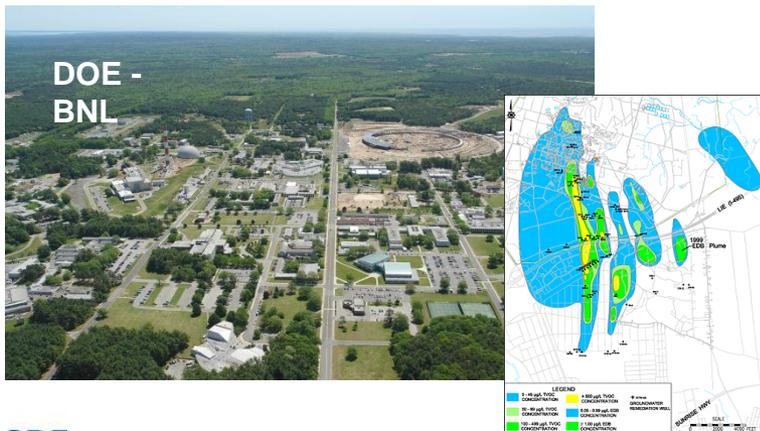
RÉHABILITATION DU CHENAL

Besoin d'une prise en charge globale du déroulement du futur chantier de réhabilitation avec une approche intégrée, en particulier en ce qui concerne le zonage déchets

- Le zonage classique réalisé sur les CNPE est un zonage 2D basé sur l'historique et non sur la mesure
- Pour la réhabilitation des sols : conformément au guide inter-exploitants, le CIDEN a proposé un **zonage déchets en 3 D sur la base du diagnostic** ayant permis de cerner la localisation et la migration des radionucléides, donc basé **sur la mesure**
 - permet de définir le volume de la contamination à traiter
 - permet de justifier le volume des déchets nucléaires à stocker(PNGMDR : Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs)

CHENAL – CONTRÔLES FINAUX

- Une fois que le chenal est réhabilité, il faut pouvoir démontrer à l'ASN que le chenal est propre. Pas de méthodologie existante éprouvée en Europe.
- REX US réalisé en mai 2011 sur la réhabilitation des sols et la radioprotection dans le cadre du démantèlement



CHENAL – CONTRÔLES FINAUX



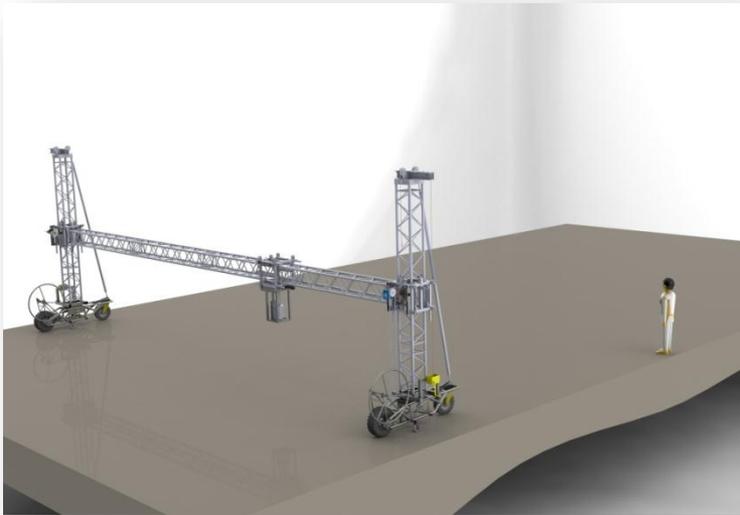
- Mise en œuvre de la méthodologie de contrôle MARSSIM (Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual) élaborée par 4 agences fédérales américaines :
 - EPA (Environmental Protection Agency) ;
 - DOE (Dept of Energy) ;
 - NRC (Nuclear Regulatory Commission) ;
 - DOD (Dept of Defense)
- Utilisée sur plus de 300 sites nucléaires dans le monde dont Yankee Row, Connecticut Yankee, Rancho Seco, Main Yankee, Trojan, etc. aux USA ; Vandellos en Espagne ; Barsebäck en Suède...

CHENAL – CONTRÔLES FINAUX

- Application de la méthode au chenal :
 - scan surfacique 100% du chenal
 - quelques difficultés techniques à résoudre car la topographie du terrain sera très irrégulière après excavation



- Travail avec un prestataire pour construire un outillage adapté

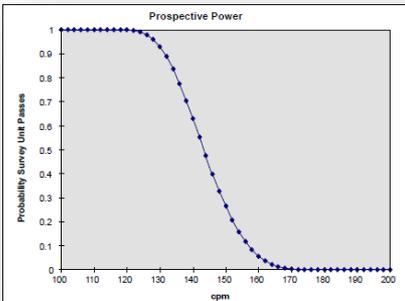
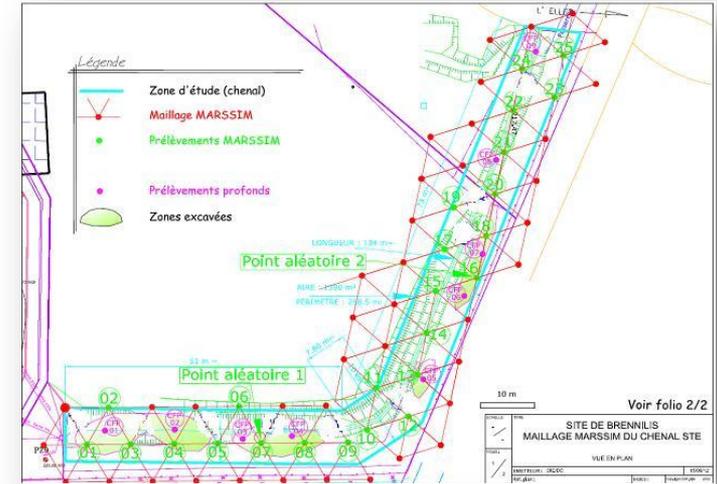


- **Aucun dépassement du critère sur 100% des mailles**



CHENAL – CONTRÔLES FINAUX

- Application de la méthode au chenal :
 - nombre de prélèvements minimal à réaliser déterminé par un test statistique : 42 prélèvements minimum à répartir entre une zone de référence (parcelle 129) et le chenal
 - analyses radiologiques selon un maillage triangulaire et systématique pour le chenal, selon un maillage aléatoire pour la zone de référence
 - quelques sondages profonds avec analyses radiologiques et chimiques au droit des anciennes zones les plus contaminées



WRS Test Calculation for Multiple Radionuclides									
Survey Area Name: Brennilis Channel (Center Section)				MARSSIM Classification		Type 1 Error	Type 2 Error	Number of Samples	
Radionuclides	1st Radionuclide Cs-137 (Bq/kg)	2nd Radionuclide Co-60 (Bq/kg)		1		0.05	0.1	18/19	Normally Required
Sample #	Reference Area Sample Results Cs-137 (Bq/kg)	Co-60 (Bq/kg)	Survey Unit Sample Results Cs-137 (Bq/kg)	Co-60 (Bq/kg)	Reference	Survey	Adjusted	Survey	Adjusted Reference
1	10	0	43	0.1	0.576	1.1	5	11.5	
2	11	0	103	34	0.11	1.37	1.11	34	13
3	32	0	57	35	0.12	0.89	1.52	9	14
4	13	0	65	45	0.13	1.1	1.13	11.5	15.5
5	13	0	40	4.3	0.13	0.443	1.13	3	15.5
6	14	0	35	4.5	0.14	0.365	1.14	2	17.5
7	14	0	4.5	0.9	0.14	0.054	1.14	4	17.5
8	15	0	56	25	0.15	0.81	1.15	7	20.5
9	15	0	17	0.5	0.15	0.175	1.15	1	20.5
10	15	0	139	49	0.15	1.7	1.15	38	20.5
11	15	0	100	30	0.15	1.3	1.15	33	20.5
12	16	0	86	32	0.16	1.2	1.16	31	23.5
13	16	0	80	1.5	0.16	0.815	1.16	8	23.5
14	17	0	140	12.6	0.17	1.588	1.17	35	25.5
15	17	0	69	21	0.17	1.2	1.17	31	25.5
16	18	0	87	21	0.18	1.18	1.18	27.5	27.5
17	18	0	57	4.5	0.18	0.615	1.18	6	29
18	20	0	75	21	0.2	0.96	1.2	10	31
Aug of Results	15	0	72	19	0.15	0.90	1.15		
Std Deviation	2.7	0	30.7	14.8				372	385

- Interprétations statistiques classiques et utilisations des tests statistiques préconisés par la méthode MARSSIM afin de conclure sur l'atteinte des objectifs ou non

CHENAL – CONTRÔLES FINAUX

- Application de la méthode au chenal :
 - l'ensemble des prélèvements a été réalisé et est en cours d'analyse en laboratoire indépendant
 - la localisation de certains prélèvements a été revue sur le terrain



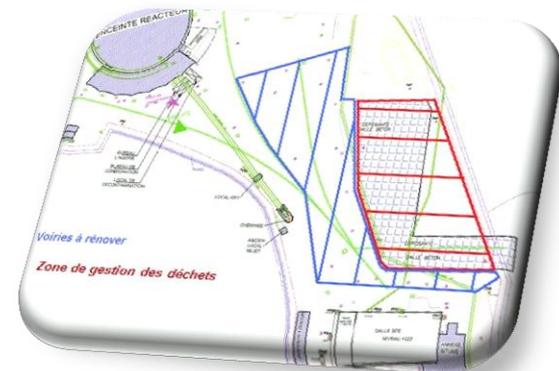
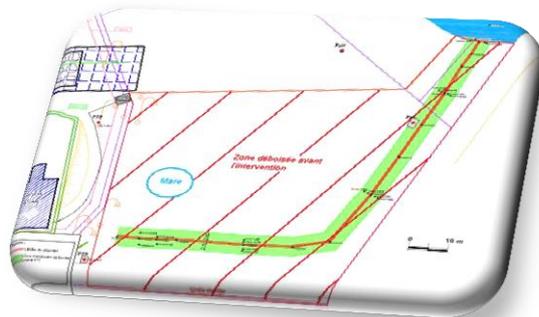
ETAT FINAL DU CHENAL

- **critère de propreté atteint en fond de fouille**, vérification faite avec la méthodologie MARSSIM
- **déchets nucléaires évacués du site**
- **remodelage du chenal :**
 - retour de la zone à un équilibre naturel en conservant la zone humide
 - création d'une nouvelle mare attenante au chenal
- **réouverture de prairies humides sur parcelles attenantes** (mesure compensatoire au défrichement)



COORDINATION DU PROJET

Dossiers préalables	Planning
dossier de déclaration de travaux en Site Inscrit « Les Monts d'Arrée »	envoi 25/05/11 avis favorable 23/11/11
dossier de demande de Dérogation à la Destruction d'espèces	envoi 04/05/11 arrêté 30/09/11
étude d'incidences des travaux au titre de la loi sur l'eau	envoi 20/05/11 avis favorable 27/07/11
gestion des terres en TFA (volumes, siccité, éléments fermentescibles)	envoi décembre 2011 agrément 04/06/12
plan de gestion du chenal	envoi septembre 2011 autorisation 11/06/12



Travaux/actions préalables	Planning
défrichage et entreposage des arbres coupés sur place	automne 2011 (protection des espèces)
protection de la mare	
aménagement d'une zone de manutention des déchets (environ 3 000 m ²) en vue de leur conditionnement avant expédition en CSTFA	printemps 2012
réfection des voiries existantes très dégradées	
dévoisement du réseau SEO	
cloisonnement du chenal vis-à-vis de l'Ellez	11 au 13/06/12
contrôles journaliers, en amont et en aval du chantier, de la qualité de l'eau	à partir de juin 2012

CONCLUSION

Quelles avancées liées à ce premier chantier d'ampleur de réhabilitation des sols contaminés radiologiquement ?

- **Proposition et acceptation d'un critère de propreté global de 100 Bq/kg en éq. ^{60}Co**
 - correspond à la DI104
 - correspond au 100^{ème} des seuils d'exemption de la directive Euratom 96-29
 - est de l'ordre de 5 fois le bruit de fond en ^{137}Cs à Brennilis
- **Définition d'un zonage déchets 3D basé sur la mesure afin d'optimiser les déchets nucléaires produits ; négociation d'un dossier d'agrément ANDRA des terres excavées**
- **Méthodologie de contrôle de l'atteinte du critère de propreté, basée sur la méthodologie américaine Marssim**
 - Application terrain : quelques limites
 - ASN accepte notre critère mais ne souhaite pas valider la méthode Marssim
- **Méthodes et techniques innovantes utilisées dans le diagnostic de sols et dans le contrôle de la réhabilitation**

MISE EN PERSPECTIVE

Quels enseignements tirer de cette opération ?

- Sur le plan sanitaire
 - l'impact dosimétrique initial très faible, en tous cas bien inférieur aux critères recommandés par l'AIEA, ne nécessitait pas d'action de protection
- Sur le plan environnemental
 - Il a fallu déboiser, détruire et/ou déplacer des espèces protégées,
 - Malgré un zonage resserré grâce à un diagnostic renforcé, les contraintes opérationnelles ne permettent pas de n'excaver que les terres contaminées. Le volume de déchets radioactifs a été significativement majoré et plus de 200 transports de déchets ont été nécessaires pour les expédier au centre de stockage.

Le traitement de cette faible contamination radioactive a engendré un impact environnemental non négligeable !!!

La suppression totale d'une pollution, même simple à réaliser, doit résulter d'une analyse coût/bénéfice plutôt que d'être recherchée en priorité

**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**