

Campagne d'investigations complémentaires sur l'ancien site minier de Saint Pierre (Cantal)

Volet 2 de l'expertise relative à l'état
radiologique du site

DEI/SARG/2007-025

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'INTERVENTION
Service d'analyse des risques liés à la géosphère

RESUME

La CLI de Saint Pierre qui s'est tenue le 19 mai 2006 à Mauriac (Cantal) a entériné le programme d'investigations complémentaires à conduire conjointement par l'IRSN et la CRIIRAD sur le site de Saint Pierre. Les grands axes de ce programme sont les suivants :

- réaliser des analyses complémentaires sur les écoulements d'eau ;
- mesurer l'exposition externe sur 14 parcelles de terrain ;
- mesurer les flux de radon au niveau des sols et le radon à l'intérieur des habitations ;
- réaliser des investigations sur la chaîne alimentaire.

Le présent rapport rend compte des campagnes de prélèvement réalisées par l'IRSN en 2006 ainsi que des analyses conduites dans ses laboratoires.

MOTS-CLES

Site minier - Uranium - Impact environnemental - Marquage sédimentaire - Stockage de résidus

Isohypse	Courbe joignant sur une carte les points d'une surface situés à une même altitude par rapport au niveau de la mer
Couche arénisée	Couche constituée de sables grossiers résultant de l'altération sur place d'une roche magmatique ou métamorphique par désagrégation des feldspaths et altération des micas
Couche décompressée	Partie superficielle d'une roche formée en profondeur et amenée à l'affleurement ; la suppression de la charge ou de la pression lithostatique peut provoquer un débit de fractures parallèles à la surface en particulier dans les roches cristallines, le « sheeting ».
Mégaséquence	Une séquence désigne un ensemble de niveaux sédimentaires se succédant dans un ordre déterminé, limité à ses extrémités inférieure et supérieure. Les séquences s'assemblent en arrangements ordonnés pour donner des séquences de deuxième ordre ou des mégaséquences.
Sidérolithique	Formation d'argiles rouges à concrétions ferrugineuses développées dans le Massif central dérivant de paléosols ferralitiques (Fe+Al) formés durant le climat tropical humide éocène (ca 50 millions d'années)
Biofilm	Un biofilm est une communauté de microorganismes (bactéries, champignons, algues, ou protozoaires), adhérant entre eux et à une surface, et marquée par la sécrétion d'une matrice adhésive et protectrice. Sa structure est hétérogène et composée de substances polymères.
Lixiviation	Au sens courant, désigne la percolation lente d'un solvant, en général l'eau, à travers un matériel, accompagnée de la dissolution des matières solides qui y sont contenues. Le liquide résultant est le lixiviat. Dans le domaine de l'industrie minière, désigne le passage d'un solvant à travers une couche de matériel poreux ou broyé pour en extraire les constituants recherchés.
Résidus de traitement (ou lixiviation) dynamique	Produits sableux et très fins obtenus à l'issue de différentes étapes de traitement de minerais, généralement effectuées dans une usine, après récupération de l'uranium. Ils renferment environ 5% de la teneur initiale en uranium, l'essentiel des constituants des minerais ainsi qu'une partie des produits de traitement.
Résidus de traitement (ou lixiviation) statique	Produits résultant du concassage et de l'attaque par une solution acide de minerais à faible teneur en uranium (500 à 700 ppm) disposés en tas sur des aires aménagées. Ils se présentent sous la forme de blocs rocheux de dimension variable ou de sables et renferment de 20 à 40% de la teneur initiale en uranium.
Stériles francs	Produits constitués par les sols et roches excavés pour accéder aux minéralisations d'intérêt. Leur teneur moyenne en uranium correspond à la teneur caractéristique du bruit de fond naturel ambiant et se situe entre 15 et 50 ppm à Saint Pierre.
Stériles de sélectivité	Produits constitués par les roches minéralisées excavées lors de l'exploitation d'un gisement mais présentant des teneurs insuffisantes pour justifier un traitement sur le plan économique. La teneur de coupure économique pour l'uranium est de l'ordre de 200 ppm à Saint Pierre.
Minerai marginal	Le minerai marginal ou pseudo-minerai est un minerai à teneur peu élevée en uranium : entre 200 et 500 ppm à Saint Pierre.

Définitions élaborées à partir d'une proposition de lexique parue dans les techniques de l'industrie minière 3ème trimestre 1999, du Dictionnaire de Géologie 1984 (A. Foucault et J.F. Raoult) Masson et de wikipedia.org

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	7
2 MISSIONS IRSN SUR SITE	7
3 CARACTERISATION RADIOMETRIQUE DU SITE ET DE SES ABORDS	8
3.1 OBJECTIF	8
3.2 MOYENS	8
3.3 CARTOGRAPHIE DES BERGES DU PLAN D'EAU COMMUNAL	10
3.3.1 Méthodologie	10
3.3.2 Résultats des mesures	10
3.4 CARTOGRAPHIE DES PARCELLES EN LISIERE DE L'ANCIEN SITE MINIER	13
3.4.1 Mise en œuvre des mesures	13
3.4.2 Résultats	14
3.5 BALAYAGE PONCTUEL A L'AIDE D'UNE SONDE BAS-FLUX	16
4 CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES ET DES EAUX DE SURFACE	19
4.1 OBJECTIF	19
4.2 MOYENS	19
4.3 MISSIONS DE RECONNAISSANCE SUR SITE	20
4.3.1 Elements relatifs à la géologie	20
4.3.2 Cadre hydrologique et hydrogéologique	25
4.4 LES ANALYSES D'EAU	29
4.4.1 Points de prélèvement	29
4.4.2 Origines potentielles de marquage	30
4.4.3 Déterminations effectuées	31
4.4.4 Bilan des résultats	31

5 MARQUAGES SEDIMENTAIRES	37
5.1 OBJECTIF	37
5.2 MOYENS	37
5.2.1 Périmètre du site et sa proximité	38
5.2.2 Réserve d'eau	39
5.2.3 Plan d'eau communal	39
5.2.4 Confluence Combret-Dordogne	41
5.3 ETUDE DES SEDIMENTS DU COMBRET	42
5.3.1 Echelles de référence temporelles	42
5.3.2 Interprétation des dépôts et stratégie d'échantillonnage	42
5.3.3 Anomales radiométriques	45
5.4 ANALYSES	46
5.5 RESULTATS	47
5.5.1 Biofilm	47
5.5.2 Sédiments	48
6 RADON ET POUSSIERES DANS L'AIR EXTERIEUR	53
6.1 RADON ATMOSPHERIQUE AU SUD DU SITE	53
6.1.1 Objectif	53
6.1.2 Moyens	54
6.1.3 Mise en œuvre des mesures et résultats	54
6.1.4 Conclusion	55
6.2 RADIOACTIVITE ALPHA DES POUSSIERES	55
6.2.1 Objectif	55
6.2.2 Moyens	55
6.2.3 Résultats	56
6.3 ENERGIE ALPHA POTENTIELLE VOLUMIQUE DES DESCENDANTS SOLIDES DU RADON ET IRRADIATION GAMMA AMBIANTE EN MILIEU NATUREL	57
6.3.1 Objectif	57
6.3.2 Moyens	57
6.3.3 Résultats	57

7 RADON DANS L’AIR INTERIEUR	58
7.1 OBJECTIF	58
7.2 MOYENS	58
7.3 RESULTATS	59
8 PRODUITS ALIMENTAIRES	61
8.1 OBJECTIF	61
8.2 MOYENS	61
8.3 PRELEVEMENTS	62
8.4 FRACTION ANALYSEE	64
8.5 RESULTATS	65
8.5.1 Produits du jardin	65
8.5.2 Produits animaux	69
9 CONCLUSIONS DE L’ETUDE IRSN	72
10 LISTE DES REFERENCES	75
11 LISTE DES TABLEAUX	76
12 LISTE DES PHOTOGRAPHIES	76
13 LISTE DES FIGURES	77
14 LISTE DES ANNEXES	78

1 INTRODUCTION

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la tierce expertise engagée à la demande du préfet du Cantal par courrier du 17 juin 2005 à AREVA NC [1] afin de faire vérifier la pertinence des études et mesures disponibles sur l'ancien site minier de Saint Pierre (Cantal), pour apprécier les risques liés à la radioactivité sur et autour du site.

Les modalités de déroulement de l'expertise ont été définies en relation avec la DRIRE Auvergne lors de la réunion du 4 août 2005 du groupe de travail technique de la CLI de Saint Pierre [2]. Trois étapes successives ont été retenues :

- 1^{ère} étape - Partie historique bibliographique : analyse de l'ensemble des documents existants afin de préciser les éléments complémentaires indispensables (analyses, prélèvements, études...) pour obtenir l'état radiologique actuel du site ;
- 2^{ème} étape - Investigations complémentaires de façon à obtenir un état radiologique le plus complet et fiable possible du site ;
- 3^{ème} étape - Elaboration des recommandations pour le suivi radiologique du site permettant de préparer l'arrêté préfectoral de surveillance. Cette étape comprendra également l'évaluation de l'impact sanitaire des populations vivant sur le site.

L'expertise a été confiée à l'IRSN et la première étape a fait l'objet du rapport IRSN DEI 2006-002 [3] transmis à SMJ/AREVA NC par courrier du 23 janvier 2006.

Au cours de la réunion de la CLI de Saint Pierre du 26 janvier 2006 [4], il a été décidé que le programme d'investigations complémentaires, objet de la seconde étape, serait défini et mis en œuvre communément par l'IRSN et la CRIIRAD. A l'issue des discussions engagées entre les 2 organismes lors d'une réunion le 11 mai 2006 [5] et en accord avec les décisions prises lors de la réunion de la CLI du 19 mai 2006 [6], l'IRSN a transmis à SMJ/s.c. AREVA NC une proposition technique et financière (référence 110492 adressée par courrier du 20 octobre 2006 [7]) qui définit la nature des investigations prévues par l'IRSN. Celle-ci a fait l'objet de la commande transmise par courrier SMJ/CESAAM Bessines du 27 octobre 2006 [8].

2 MISSIONS IRSN SUR SITE

La réalisation du programme des investigations définies en CLI a donné lieu à plusieurs missions sur site de la part de l'IRSN qui se sont déroulées de la manière suivante :

- Mission 1 : cartographie des berges du plan d'eau communal réalisée les 18 et 19 janvier 2006 ;

- Mission 2 : campagne de reconnaissance géologique et hydrogéologique sur site du 29 mai au 2 juin 2006 ;
- Mission 3 : mesures de radon avec le laboratoire mobile de l'IRSN et caractérisation radiométrique du site et de ses abords avec le système SOCRATE, pose de 2 dosimètres de site et de 2 préleveurs d'air ; ces prestations ont donné lieu à 2 déplacements du 31 juillet au 4 août et du 7 au 11 août 2006 ;
- Mission 4 : prélèvements de sédiments et de produits de la chaîne alimentaire (produits du jardin, champignons, lait et poissons) qui ont eu lieu du 4 au 8 septembre 2006, échange des têtes des dosimètres de site ;
- Mission 5 : échange des têtes des dosimètres de site le 4 octobre 2006 ;
- Mission 6 : retrait des dosimètres de site les 9 et 10 novembre 2006 ;
- Mission 7 : campagne de dépistage du radon dans les habitations (pose des dosimètres du 16 au 18 octobre 2006, retrait les 9 et 10 janvier 2007).

L'objet du présent rapport est de produire les résultats des analyses pratiquées à l'occasion de ces missions et d'en faire une analyse préliminaire. L'interprétation finale et la synthèse des résultats feront l'objet d'un rapport ultérieur.

3 CARACTERISATION RADIOMETRIQUE DU SITE ET DE SES ABORDS

3.1 OBJECTIF

L'objectif était de compléter les données radiométriques fournies par le plan compteur réalisé par la Société des mines de Jouac en 2002 et par des campagnes de mesures ultérieures. Il s'agissait en particulier de permettre une levée de doute sur des parcelles répondant aux deux critères suivants :

- les mesures radiométriques sont inexistantes ou peu nombreuses ;
- les parcelles peuvent être considérées comme sensibles compte tenu de leur usage et de leur proximité du site, ou de l'existence d'informations laissant envisager qu'elles ont pu être impactées par l'exploitation.

3.2 MOYENS

Les moyens proposés consistaient en la réalisation d'une cartographie du débit de dose en surface à l'aide du dispositif SOCRATE de l'IRSN sur les parcelles suivantes (voir Figure 1) :

- Camping municipal, sud parcelle n°100
- Ancienne zone d'exploitation à l'est du village (quartier La Croix) non incluse dans le plan compteur SMJ
- Abords extérieurs du lotissement communal près du terrain de football (parcelles n°60 et 61)

- Terrain de football (parcelles n°50 et 53)¹
- Entre stand tir et terrain de foot
- Parcelle Marion
- Parcelle Gérémy.

Entrait également dans ce cadre, la cartographie de la bordure du plan d'eau communal effectuée par l'IRSN en accord avec AREVA NC en janvier 2006 avant remise en eau totale du plan d'eau.

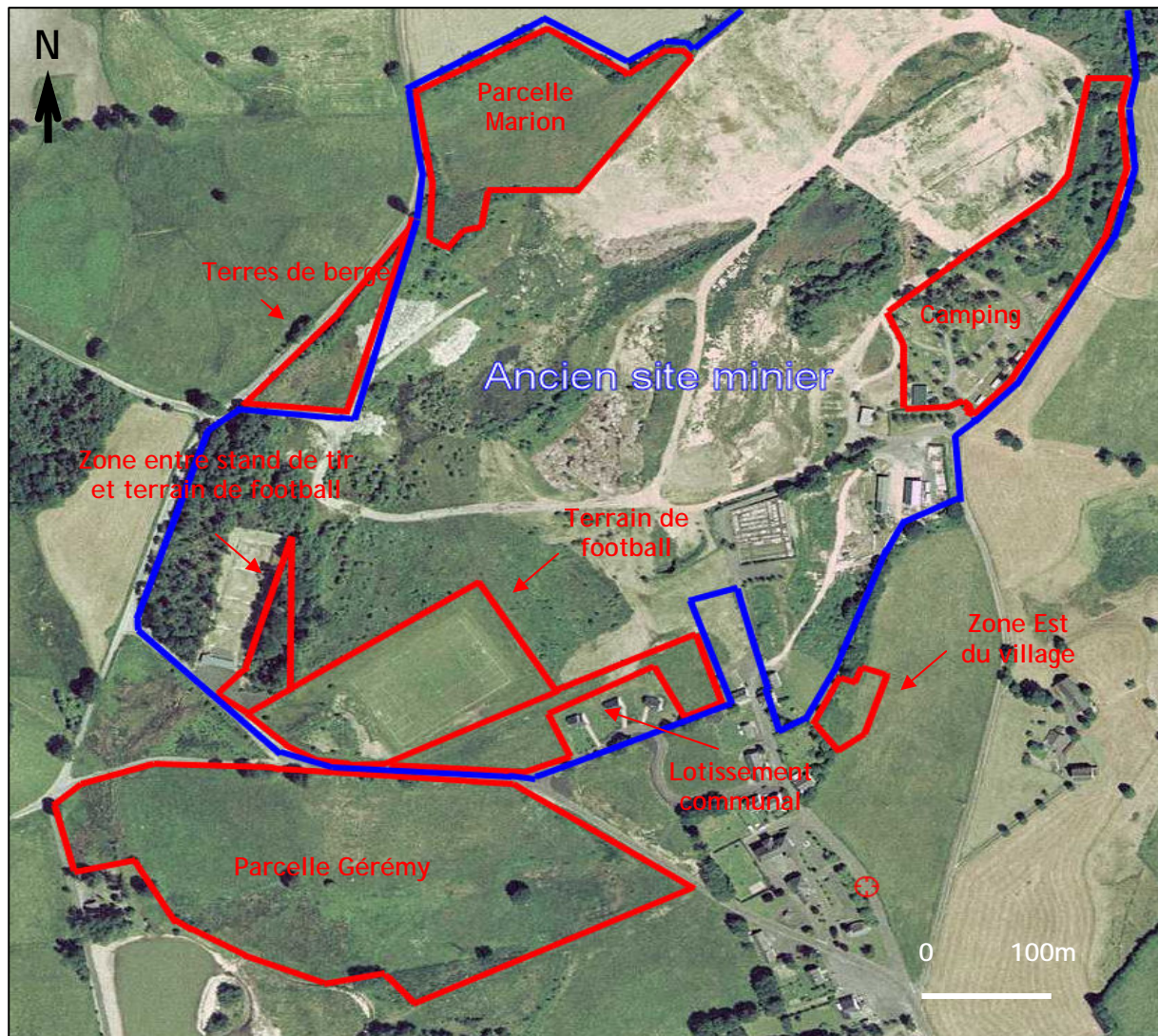


Figure 1 : Parcelles à cartographier (plan d'après IGN)

Il est rappelé que le dispositif SOCRATE consiste en une sonde Saphymo couplée à un GPS, porté à dos d'homme. Il permet l'établissement de plans compteurs exprimés en $nSv.h^{-1}$ à partir de mesures

¹ La réalisation de la cartographie du terrain de football, n'avait pas été retenue par l'IRSN comme une donnée complémentaire nécessaire. Elle a été intégrée à la proposition technique et financière à l'issue de la discussion avec la CRIIRAD dans l'objectif d'une utilisation optimale des moyens disponibles dans chacun des 2 organismes

effectuées à environ 50 cm du sol. La précision spatiale est fonction de la distance entre les passages successifs des lignes de l'opérateur. Elle est généralement de l'ordre du mètre.

Le pas de maille a été adapté en fonction de la vitesse réelle d'avancement et des difficultés pratiques rencontrées sur le terrain, ainsi que des enjeux associés à chacune des zones.

En complément un balayage ponctuel à l'aide d'une sonde de détection bas niveau devait être réalisé par l'IRSN sur les zones suivantes :

- Parement digue et secteur rejet Nord (dont parcelles n°71 et n°24) ;
- Zone marécageuse sur site, amont du ruisseau constituant l'actuel chenal du baryum.

Par balayage ponctuel, il convient d'entendre un cheminement libre sur la zone d'intérêt avec relevé des gammes de valeurs mesurées et description des anomalies rencontrées par leur localisation sur un plan ou une carte, une mesure au contact et une estimation indicative de leur superficie.

3.3 CARTOGRAPHIE DES BERGES DU PLAN D'EAU COMMUNAL

La cartographie des berges du plan d'eau communal a été décidée à l'issue de la réunion du groupe technique de la CLI du 23 novembre 2005 [9] ; elle a été menée très rapidement du fait du remplissage du plan d'eau alors en cours.

3.3.1 METHODOLOGIE

Les mesures ont été réalisées à 50 cm au dessus du sol avec une sonde de détection bas niveau (Appareil utilisé : sonde Saphymo n°1 6150 ADb n°100885/AD6 n°106353 étalonnée 8 avril 2004). L'incertitude de mesure est de l'ordre de 30%. Une maille de un mètre non recoupée a été retenue.

La cartographie a été réalisée les 18 et 19 janvier 2006 alors que le niveau d'eau du plan d'eau avait fortement remonté.

La partie buvette, les deux plages créées artificiellement pour la baignade et une zone de minéralisation supposée située au nord entre le plan d'eau et la parcelle Gérémy ont été intégralement mesurées. Une partie de la parcelle Gérémy a également été cartographiée à cette occasion.

3.3.2 RESULTATS DES MESURES

La cartographie des débits de dose gamma, obtenue à partir de l'ensemble des mesures, est représentée Figure 2.

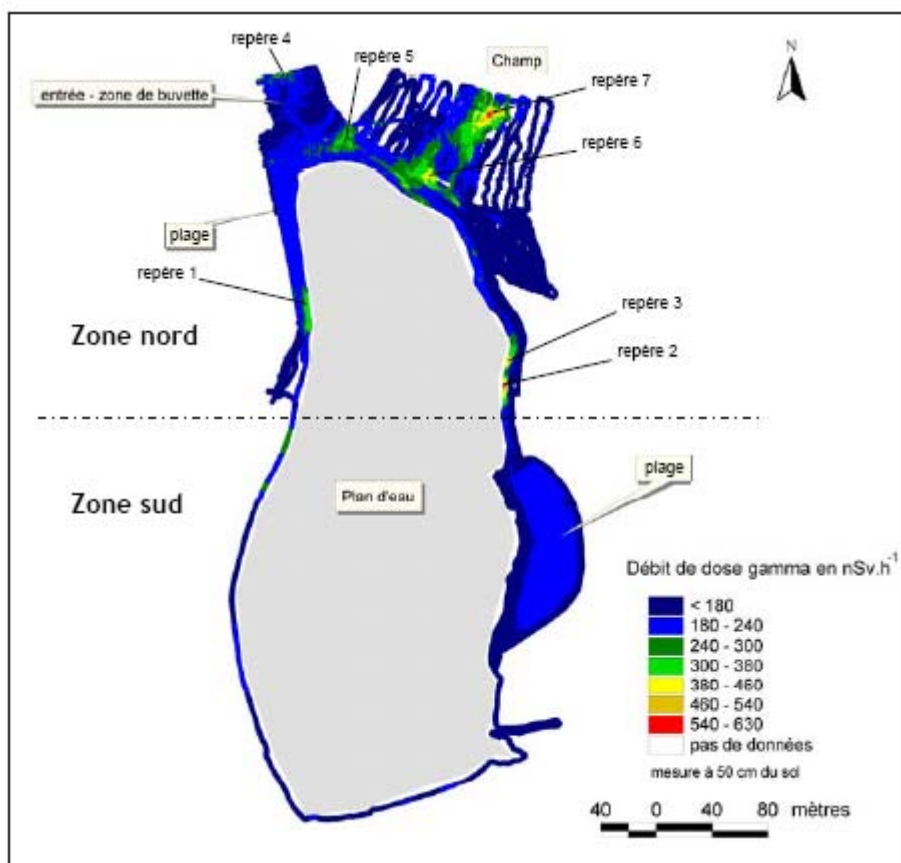


Figure 2 : Restitution cartographique obtenue autour du plan d'eau de Saint Pierre

Aucune mesure de la zone sud, au niveau du contour du plan d'eau et de la plage située est-sud-est ne dépasse 270 nSv.h⁻¹. La plage est-sud-est présente des mesures très homogènes avec une valeur moyenne de l'ordre de 200 nSv.h⁻¹.

A l'ouest du plan d'eau se trouve une zone d'une centaine de mètres carrés présentant un débit de dose moyen de l'ordre de 330 nSv.h⁻¹ (repère 1).

A l'est en contrebas de la berge se trouve une zone présentant un débit de dose plus important sur environ 20 m² (repère 2), avec une valeur moyenne de l'ordre de 500 nSv.h⁻¹. A une dizaine de mètres au nord, une zone très localisée présente des valeurs comprises entre 400 et 500 nSv.h⁻¹ (repère 3).

La plage et la zone buvette situées au nord-nord-ouest ne révèlent pas de mesures supérieures à 300 nSv.h⁻¹, mis à part quelques points très localisés à l'extrémité nord de la partie buvette (repère 4).

Les mesures réalisées entre la parcelle Gérémy et le plan d'eau mettent en exergue deux zones, l'une près de la zone buvette (repère 5) et la seconde près de Font de Pérou : le débit de dose moyen est de 300 nSv.h⁻¹, il ne dépasse pas 450 nSv.h⁻¹. Cette seconde zone se poursuit de l'autre côté de la clôture du champ sur quelques centaines de mètres carrés avec pour valeur maximale 530 nSv.h⁻¹ (repère 6).

La zone la plus remarquable se trouve dans la parcelle Gérémy : 450 nSv.h⁻¹ sur environ 200 m², avec une valeur maximale de 630 nSv.h⁻¹ (repère 7).

Toutes ces zones sont représentées sur la Figure 3.

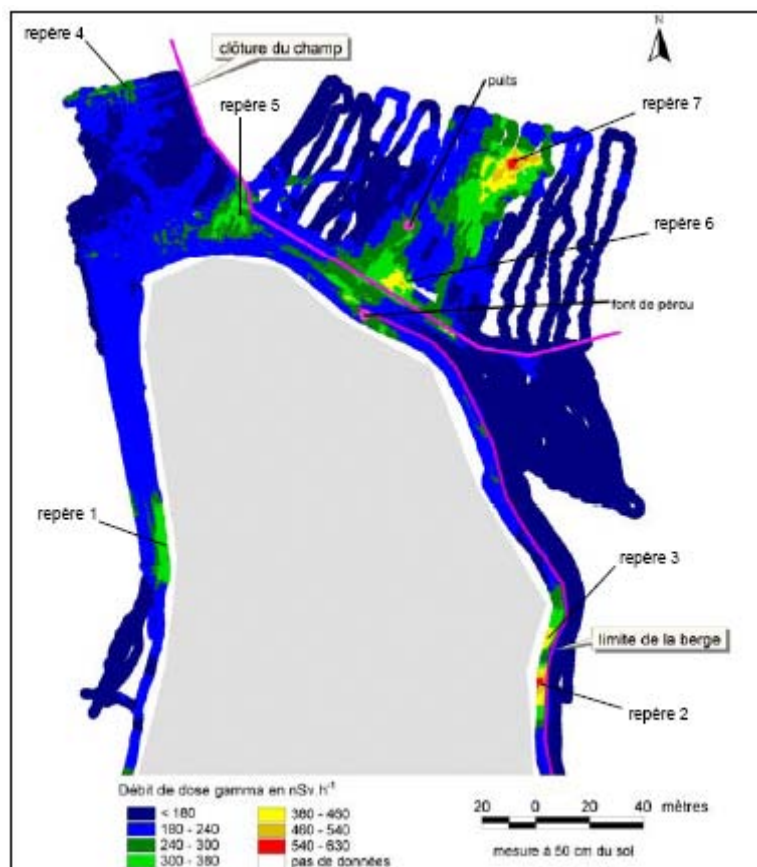


Figure 3 : Zone nord de la restitution cartographique

En conclusion, deux zones principales se distinguent :

- la première sous-jacente à la berge du côté est, entre l'écoulement de Sagne Rouge et la nouvelle plage (repères 2 et 3 Figure 3), qui pourrait correspondre à une zone de minéralisation uranifère ;
- la seconde à l'intérieur de la parcelle Gérémy au nord du plan d'eau (repère 7 Figure 3), qui semble correspondre aux derniers indices uranifères (exploités ou non) du gisement, cf. Figure 2 du rapport de l'IRSN concernant le volet 1 de l'expertise en cours [3].

3.4 CARTOGRAPHIE DES PARCELLES EN LISIERE DE L'ANCIEN SITE MINIER

Les mesures de débit de dose gamma ont été réalisées à 50 centimètres du sol avec la sonde de détection bas niveau Saphymo n°4 6150 ADb n°118220 / AD2/4/6 n°116219, étalonnée le 28 décembre 2004. L'incertitude de mesure est de l'ordre de 30%.

3.4.1 MISE EN ŒUVRE DES MESURES

Comme décrit au § 3.2 les zones cartographiées avec l'outil SOCRATE sont la partie sud du camping municipal, les parcelles Marion et Gérémy, le terrain de football, la zone entre le stand de tir et le terrain de football, les parcelles non bâties du lotissement communal, l'ancienne zone d'exploitation à l'est du village et la zone d'entreposage des terres issues du curage et de l'extension du plan d'eau.

La partie sud de la parcelle 100 correspondant au camping municipal, zone non bâtie, a été cartographiée dans son intégralité. La partie nord a été quant à elle cartographiée en fonction de l'accessibilité et du couvert végétal. Les mesures ont été réalisées avec une maille inférieure à deux mètres et sur une superficie d'environ 1,3 hectares.

Seule la partie non boisée de la parcelle Marion, de superficie égale à 1 hectare, a été cartographiée avec l'outil SOCRATE et une maille inférieure à deux mètres. La partie boisée n'a pu être cartographiée avec un balayage ponctuel suite à la présence de vipères.

La parcelle Gérémy a été cartographiée dans sa totalité, environ 5,6 hectares, avec une maille inférieure à deux mètres lorsque le débit de dose gamma mesuré était supérieur à 250 nSv.h⁻¹. Dans le cas contraire, la maille retenue était comprise entre 3 et 5 mètres.

La parcelle du terrain de football a été cartographiée dans son intégralité avec une maille inférieure à 1,5 mètre, mis à part sur le dépôt de terre situé au sud-ouest de cette zone. L'accessibilité et la végétation n'ont permis qu'une faible couverture de ce dernier. La superficie cartographiée est environ égale à 1,7 hectare.

La zone située entre le stand de tir et le terrain de football n'a pu être que faiblement cartographiée du fait d'une végétation très dense. Les mesures ont été réalisées avec une maille inférieure à 1,5 mètre sur 1600 m² environ.

La zone non bâtie du lotissement communal de 7000 m² environ a été cartographiée dans sa globalité avec une maille inférieure à 1 mètre.

Les mesures sur l'ancienne zone d'exploitation à l'est du village (quartier la Croix) ont été effectuées avec une maille inférieure à 1,5 mètre sur environ 2000 m². La délimitation de la zone de mesure a été déterminée sur site en fonction des valeurs du débit de dose observées.

Les terres issues du plan d'eau déposées au sud de la parcelle Marion ont également fait l'objet de mesures. La partie nord, zone découverte sur environ 2500 m², a été réalisée avec l'outil SOCRATE et une maille de 3 mètres. L'accès est relativement difficile suite aux différents dépôts et à la topographie très vallonnée qui en résulte. En revanche, les mesures de la partie sud ont été réalisées avec un balayage ponctuel et une maille d'environ 5 mètres, voire légèrement plus à certains endroits, en raison d'une végétation très dense.

3.4.2 RESULTATS

La cartographie du débit de dose gamma obtenue sur l'ensemble des mesures réalisées avec SOCRATE sur le site de Saint Pierre durant le mois d'août 2006, après utilisation d'un Système d'Information Géographique, est représentée sur la Figure 4.

De façon générale, les valeurs du débit de dose mesurées s'échelonnent de 100 nSv.h⁻¹ à 2,74 µSv.h⁻¹. La majorité des surfaces présente des valeurs inférieures à 500 nSv.h⁻¹.

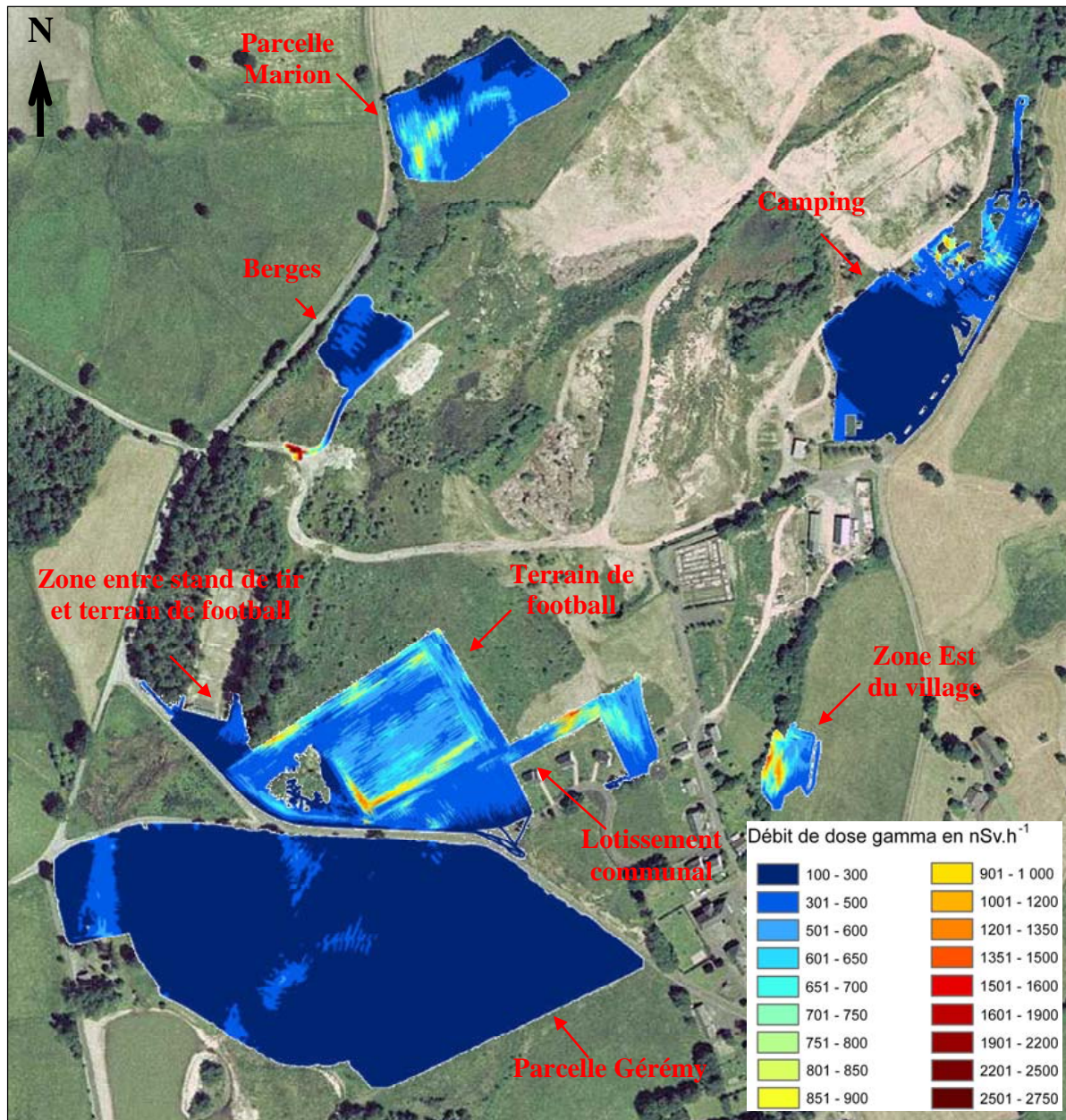
Aucune valeur du débit de dose gamma ne dépasse 500 nSv.h⁻¹ sur la partie sud du camping. La partie nord révèle quatre zones très localisées de l'ordre de 1 µSv.h⁻¹ (valeur maximale égale à 1,09 µSv.h⁻¹ ; cf. carte en Annexe 1).

Le débit de dose maximal mesuré sur la parcelle Marion est égal à 1,02 µSv.h⁻¹ (cf. carte en Annexe 2).

La cartographie de la parcelle Gérémy n'a montré aucune valeur supérieure à celles mesurées durant la campagne de janvier 2006 autour du plan d'eau, à savoir 650 nSv.h⁻¹ (cf. carte en Annexe 3).

La cartographie réalisée sur la parcelle contenant le terrain de football met principalement en exergue deux zones remarquables (cf. carte en Annexe 4). La première, située vers le stand de tir, d'environ 15 mètres de long et 3 mètres de large présente une valeur maximale de 1,45 µSv.h⁻¹. La seconde, située vers le lotissement communal et en bordure du terrain, est nettement plus étendue et fournit une valeur maximale égale à 1,55 µSv.h⁻¹. La zone entre le stand de tir et le terrain de football ne présente aucune mesure supérieure à 555 nSv.h⁻¹.

Les mesures réalisées sur la partie non bâtie du lotissement communal révèlent une zone d'intérêt d'environ 15 mètres de long et 10 mètres de large contenant quelques mesures très localisées et pouvant atteindre 1,58 µSv.h⁻¹ (cf. carte en Annexe 4).



Mesure à 50 cm du sol

Figure 4 : Restitution cartographique des mesures effectuées avec SOCRATE sur l'ancien site minier de Saint Pierre.

L'ancienne zone d'exploitation à l'est du village présente deux zones particulières. La première, à l'ouest en bordure de la clôture sur environ 20 mètres de long et 3 mètres de large, fournit un débit de dose maximal de $1,55 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. La seconde, légèrement à l'est de la première, est un peu plus large et ne présente aucune valeur supérieure à $1,4 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (cf. carte en Annexe 5).

Les mesures réalisées avec SOCRATE sur la partie nord des terres issues du plan d'eau ne fournissent aucune valeur du débit de dose gamma supérieure à $470 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ (cf. carte en Annexe 6). La partie sud réalisée avec un balayage ponctuel n'a révélé qu'une seule mesure égale à $520 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, les autres étant toutes inférieures à $350 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Toutefois, l'outil SOCRATE a permis de mettre en

exergue une anomalie sur la route juste avant le croisement à proximité de la partie sud. Le débit de dose maximal mesuré y est égal à $2,74 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ avec une valeur au contact de $4,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Une zone de 15 m^2 environ présente un débit de dose gamma supérieur à $2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

En conclusion la majeure partie des mesures de débit de dose gamma effectuées à cinquante centimètres du sol est inférieure à $0,50 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Quelques zones d'intérêt ont cependant pu être mises en évidence. Des zones très localisées avec un débit de dose maximal de l'ordre de $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ont été trouvées au nord de la parcelle du camping et au niveau de la parcelle Marion. Des zones légèrement plus étendues et avec un débit de dose maximal compris entre $1,4$ et $1,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ont été identifiées dans la parcelle du terrain de football, la zone non bâtie du lotissement communal et la zone à l'est du village (quartier La Croix). Pour finir, les valeurs les plus élevées ont été mesurées sur la partie sud de l'ancien chemin CD n°12 à proximité des terres entreposées et issues du plan d'eau. Il s'agit d'une zone de quelques dizaines de mètres carrés et ayant pour débit de dose maximal $2,74 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

3.5 BALAYAGE PONCTUEL A L'AIDE D'UNE SONDE BAS-FLUX

Ces mesures avaient pour vocation de compléter le plan compteur 2002 de l'exploitant, la Société des mines de Jouac.

Elles ont été effectuées fin mai-début juin 2006 à 50 cm du sol avec une sonde de détection bas niveau : sonde Saphymo n°4 6150 ADb n°118220 / AD2/4/6 n°116219 étalonnée le 28 décembre 2004, incertitude de mesure de l'ordre de 30%. Elles ont porté sur les zones suivantes représentées par des cercles verts sur la Figure 5.

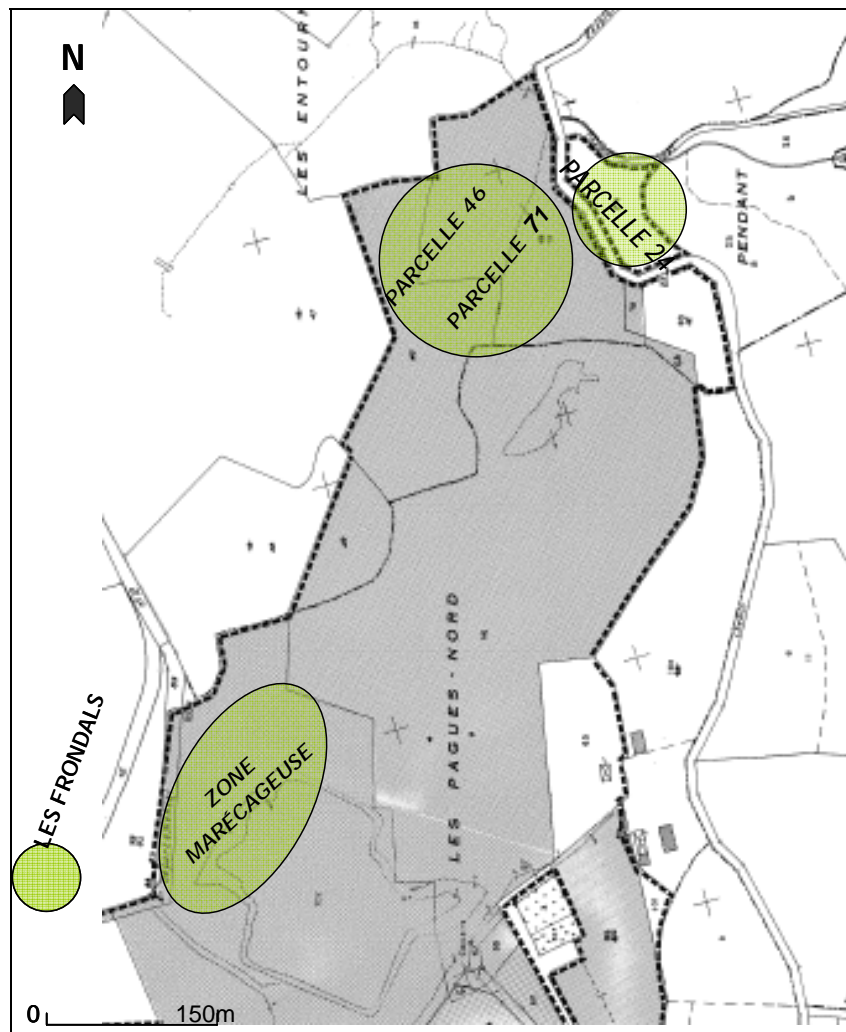


Figure 5 : Emprise du site (d'après plan cadastral 2001) _En vert : zones où a été réalisé un balayage radiométrique ponctuel par l'IRSN

Zone marécageuse sur site, en amont du ruisseau constituant l'actuel chenal du baryum.

Un balayage manuel à l'aide de la sonde a été effectué dans la zone marécageuse située à l'intérieur du site dans la partie haute bordant l'ancien chemin CD n°12. On observe dans la partie ouest du marais des valeurs de débit de dose de 170 à 250 nSv.h⁻¹, dans la partie sud du marais des valeurs entre 300 et 400 nSv.h⁻¹.

Quelques mesures ponctuelles ont été effectuées dans la partie montante de l'ancien CD n°12 en se dirigeant vers les bassins : valeurs de 330 à 500 nSv.h⁻¹, maximum 780 nSv.h⁻¹ en haut du chemin.

La zone marécageuse constitue un ruisseau drainant le sud ouest du site et qui va constituer le fossé passant sur le tracé de l'ancien chenal du baryum. Au moment où le ruisseau commence à être bien constitué on enregistre des valeurs à 300 nSv.h⁻¹. Puis le fossé serpente, l'eau stagne et on commence à observer la formation de biofilm caractéristique par sa consistance gélatineuse et sa couleur orangée (voir analyse au § 5.5.1), les valeurs relevées pour le débit de dose passent de 600

à 1000 nSv.h⁻¹ à 50 cm, les valeurs sont dans la même gamme au contact. Le fossé passe dans une buse et longe ensuite la réserve d'eau, un échantillon de biofilm a fait l'objet d'un prélèvement côté nord de la réserve, dans un endroit du fossé où il s'est particulièrement accumulé : valeur au contact : 3,13 µSv.h⁻¹.

Quelques investigations parcelle 24 au nord et en dehors du site

- Au débouché du chenal du baryum sous la route : 350-400 nSv.h⁻¹ de chaque côté ;
- Gravier et terre rapportés au coude près de la route à droite en descendant : 160 à 200 nSv.h⁻¹ ;
- Entre butte et rive gauche du ruisseau (chenal) : 280-300 nSv.h⁻¹ ;
- En se rapprochant du ruisseau (chenal) : 350 à 370 nSv.h⁻¹ ;
- Ponctuellement un charme, en rive gauche du ruisseau, au pied duquel il a été noté 400 nSv.h⁻¹ à 50cm et 700 nSv.h⁻¹ au contact ;
- Passerelle : 190 à 250 nSv.h⁻¹ ;
- Sentier remontant de la passerelle à la route en rive droite du fossé (chenal) : 195 à 230 nSv.h⁻¹.

Parcelle 71 sur site au nord de la digue

Ce champ a fait l'objet d'un cheminement systématique en allers et retours parallèles à la digue :

- Taupinières à l'entrée du champ : débit de dose de 800 nSv.h⁻¹ au contact ;
- Marigot niveau « rejet 1 » : débit de dose de 330 à 370 nSv.h⁻¹ ;
- En partie basse du champ et à mi-pente jusqu'à 25 m du haut de la digue : débit de dose dans l'ensemble entre 200 et 350 nSv.h⁻¹ ;
- Travée à 10m du haut de la digue : débit de dose de 265 à 400 nSv.h⁻¹, il passe à 800 nSv.h⁻¹ une dizaine de mètres avant le bosquet ouest ;
- Travée à 3m du haut de la digue : débit de dose de 270 à 460 nSv.h⁻¹, il passe de 700 à 850 nSv.h⁻¹ une quinzaine de mètres avant le bosquet ouest.

Parcelle 46 : surface boisée située en épaulement au nord-ouest de la digue

- Pré longeant l'ouest des bassins : débit de dose de 190 à 475 nSv.h⁻¹ ;
- Entrée dans le bois : 300 à 580 nSv.h⁻¹ ;
- Tache de plus de 50 m² pour laquelle le débit de dose passe de 0,70 à 1,33 µSv.h⁻¹ à 50 cm (1,54 au contact au point max) ;
- Sud de la parcelle : 250 à 350 nSv.h⁻¹.

Champ de la propriété Marion situé au lieu-dit les Frondals au point de bifurcation entre la route de Teldes et celle de Chaissac

Ce champ de la section cadastrale ZL, situé face au dépôt de terres de berges à l'extrémité de la partie boisée du stand de tir, ne faisait pas partie du programme de balayage radiométrique, néanmoins lors de la campagne de prélèvements d'eaux, il a été relevé à son « entrée » une surface de quelques mètres carrés présentant un débit de dose de 0,70 à 0,80 µSv.h⁻¹ à 50 cm (environ 0,90 µSv.h⁻¹ au contact).

Il ressort de ces investigations les principales observations suivantes :

- le balayage de la parcelle 71 (parement N digue) et du haut de la parcelle 46 (bosquet sur épaulement NO digue) ont fait apparaître en partie haute du bosquet de la parcelle 46 une tache estimée à environ 50 m² présentant un débit de dose de 1,0 à 1,3 µSv.h⁻¹ à 50 cm (environ 1,5 µSv.h⁻¹ au contact), de même l'épaulement NO de la digue présente quelques valeurs à 0,70-0,80 µSv.h⁻¹ à 50 cm ;
- le champ de la propriété Marion situé au lieu-dit les Frondals au point de bifurcation entre la route de Teldes et celle de Chaissac affiche juste après son « entrée » une surface de quelques m² présentant un débit de dose de 0,70 à 0,80 µSv.h⁻¹ à 50 cm (environ 0,90 µSv.h⁻¹ au contact).

4 CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES ET DES EAUX DE SURFACE

4.1 OBJECTIF

L'objectif principal est de valider ou d'infirmer le schéma hydrogéologique retenu comme base par AREVA NC pour le suivi de la qualité des eaux souterraines et de surface. Celui-ci repose actuellement sur l'hypothèse d'un transfert depuis le site dans deux directions : au Nord vers le Combret, au Sud vers le plan d'eau communal puis le ruisseau de Gioux. A l'issue de son analyse, l'IRSN a considéré que les informations disponibles ne permettaient pas d'écarter la possibilité que des écoulements d'eau souterraine en provenance du site échappent au réseau de surveillance. Deux situations particulières sont de ce point de vue à étudier : l'interception d'une partie des eaux souterraines le long de la faille bordière Nord en direction de la Dordogne et le drainage d'une partie du site vers le secteur Nord-ouest. L'enjeu associé est une meilleure connaissance des secteurs sous influence du site et la nécessité éventuelle de faire évoluer le dispositif de surveillance.

Deux autres objectifs visent, d'une part à compléter les données disponibles afin de confirmer quelles sont les arrivées du plan d'eau réellement affectées par des écoulements depuis le site, d'autre part à apprécier l'impact global du site en étudiant l'évolution des caractéristiques radiologiques des eaux entre l'amont et l'aval des principaux cours d'eau récepteurs (Gioux, Combret, Dordogne).

4.2 MOYENS

L'IRSN a abordé les questions précédentes principalement au travers d'une mission de reconnaissance géologique et hydrogéologique de terrain. Celle-ci a permis en particulier :

- de reconnaître le secteur situé en bordure nord-est du site, le long de la vallée de la Dordogne, afin d'étudier le prolongement éventuel de la faille bordière Nord et la présence d'écoulements associés ;
- de reconnaître la nature du contact entre les dépôts oligocènes et le socle granitique et d'apprécier en particulier l'importance de la zone arénisée ;
- d'inventorier l'ensemble des ouvrages (forages, puits) interceptant le lambeau oligocène à proximité du site et si possible d'en effectuer le nivellement ;
- de rechercher des écoulements et de prélever des échantillons d'eau en particulier dans le secteur nord-ouest du site et le long de l'éventuel prolongement de la faille bordière Nord. Des prélèvements ont également été effectués dans les forages et puits inventoriés lorsque cela était possible ainsi que dans l'ancienne réserve d'eau située dans l'emprise du site. La reconnaissance des écoulements rencontrés a été complétée par des mesures radiométriques destinées au repérage d'éventuelles anomalies le long des écoulements.

La mission de reconnaissance a été effectuée par un géologue et un hydrogéologue de l'IRSN. Les enseignements qui en découlent sont présentés au § 4.3.

En complément des prélèvements prévus dans le cadre de la mission de reconnaissance hydrogéologique, des prélèvements d'eaux de surface ont été effectués notamment sur les arrivées du plan d'eau ainsi que en amont et en aval des principaux rejets le long de la Dordogne et des ruisseaux de Gioux et du Combret. Les éléments à rechercher dans toutes ces eaux sont les indicateurs des origines potentielles du marquage, cf. § 4.4.

4.3 MISSIONS DE RECONNAISSANCE SUR SITE

4.3.1 ELEMENTS RELATIFS A LA GEOLOGIE

Un modèle conceptuel de circulation très sommaire avait été proposé par ANTEA pour le compte de AREVA NC [10].

4.3.1.1 Eléments intervenant dans le contrôle des écoulements souterrains

Les paramètres génériques susceptibles d'intervenir dans le contrôle des écoulements depuis le site et qui ont fait l'objet d'une analyse à l'occasion des visites sur le terrain sont :

- la topographie locale ;
- les failles conductrices du substratum de direction N70° et N160° ;
- la géométrie du toit du substratum (gouttière le long de la faille bordière nord) ;
- la présence de sidérolithique au toit de la couche arénisée ;
- la couche arénisée au toit du granite ;
- la couche décompressée dans la partie supérieure du granite ;
- un effet multi-couches dans l'Oligocène.

4.3.1.2 Recherche sur le terrain de l'expression de ces paramètres et évaluation de leur rôle dans les circulations

4.3.1.2.1 Topographie locale

Elle a une influence directe sur le comportement de l'aquifère phréatique. La majeure partie des écoulements superficiels est collectée par cet aquifère et les drains de surface (cours d'eau, bassins-versants, thalwegs, zones humides, ...) qui s'expriment essentiellement dans la partie Est du site et qui débouchent dans le Combret, cf. la Figure 6 qui présente la topographie du village.



Figure 6 : Carte topographique du village de Saint Pierre (extrait carte IGN 2333E au 1 : 25 000)

4.3.1.2.2 Failles conductrices du substratum

Les failles majeures du substratum de direction N70° et N160° ont été observées à l’affleurement (dans la vallée de la Dordogne). Elles ne présentent pas développement anormal de fracturation cassante (augmentation de la fréquence des fractures, zones broyées, déformations polyphasées,...). Dans ces zones, le granite ne présente pas d’expressions minéralogiques liées à une histoire tardimagmatique intense (pegmatite, aplites, microgranite, quartz, lamprophyre, granite fin, ...). Les seules anomalies pétrographiques sont les nombreuses enclaves microgrenues riches en minéraux sombres dont l’origine est ancienne. Il n’y a pas non plus de cisaillements ductiles précoces susceptibles d’avoir joué et de ce fait manifestant une pérennité d’activité.

L’activité de ces accidents est principalement oligocène mais avec une reprise partielle des directions hercyniennes.

Compte tenu des éléments précédents, la circulation dans les failles du substratum apparaît comme négligeable voire peu probable.

4.3.1.2.3 Géométrie du toit du substratum

La gouttière de substratum générée par la faille bordière nord et parallèle à celle-ci est interprétée à partir des isohypses déduits des forages et des données des exploitations. Cette gouttière de direction N70° a une pente marquée vers le NE. Le débouché à la surface de la gouttière correspond à l’extension maximale de l’exploitation dans cette direction, c’est-à-dire l’aval de la digue. Sur le terrain, ce secteur présente des zones humides (niveaux de sources, végétation particulière). Il est difficile de savoir quelle est la part de résurgence liée à l’émergence du substratum (interface oligocène/substratum) et quelle est celle due à l’aval de l’exploitation et aux infiltrations d’eau au travers de la digue.

4.3.1.2.4 Sidérolithique au toit de la couche arénisée

Le sidérolithique correspond à l’altération in situ du substratum granitique pendant le climat tropical à la limite Crétacé/Eocène. Il en résulte une accumulation d’altérites ferrugineuses, d’argiles et de sédiments détritiques. Des remaniements de ces altérites viennent perturber ces dépôts originels. D’une manière générale, ces dépôts constituent un horizon irrégulier favorisant les circulations entre le substratum et le recouvrement sédimentaire.

Une étude bibliographique menée à partir des cartes au 1/50000 du NE du Massif central montre que dans ce secteur du Massif central le sidérolithique est absent (non déposé ou déposé puis érodé). Sur le terrain, aucune trace de sidérolithique n’a été rencontrée, ainsi cette formation n’est pas à prendre en compte dans les circulations.

4.3.1.2.5 Couche arénisée au toit du granite

Selon les observations de terrain, il apparaît que l’arénisation dans le substratum granitique est assez faible. De manière générique, elle doit s’approfondir dans la vallée et à l’aplomb des failles

majeures. Les observations des affleurements indiquent un granite assez sain avec des zones arénisées faiblement développées, aussi l'interface est peu favorable à la circulation.

4.3.1.2.6 Couche décompressée dans la partie supérieure du granite

Aucun indice de circulation favorisé par la couche décompressée de surface n'a été observé. Ce paramètre peu discernable est combiné à l'influence de la zone arénisée.

4.3.1.2.7 Effet multi-couches dans l'Oligocène

La coupe des dépôts oligocènes est la suivante [11] :

- mégaséquence supérieure sableuse
- limons argileux intermédiaires
- mégaséquence inférieure sableuse
- argiles basales discontinues.

Les limons argileux intermédiaires représentent une couche continue imperméable qui sépare deux aquifères distincts : un superficiel, phréatique en relation avec la végétation et un inférieur constitué de la partie inférieure des dépôts oligocènes et de la partie supérieure du substratum (zone arénisée et décompressée) ; en effet, il n'y a pas d'écran imperméable entre ces deux ensembles car la couche d'argile inférieure est très discontinue et les argiles sidérolithiques sont absentes.

4.3.1.3 Interprétation d'ensemble

Au vu des éléments analysés et des observations de terrain, les caractéristiques principales contrôlant les circulations sont donc la topographie, la gouttière du substratum et le caractère multicouches de la couverture sédimentaire associée à la partie supérieure du substratum. Selon ces caractéristiques, les exutoires sont essentiellement localisés à l'émergence de la gouttière à l'exutoire de l'exploitation (digue).

On peut écarter les circulations profondes ; la circulation majeure étant liée à la topographie et à la partie supérieure de la couverture oligocène.

La Figure 7 et la Figure 8 regroupent les éléments détaillés ci-dessus et visualisent les circulations associées. Il s'agit d'un modèle indicatif de circulation.

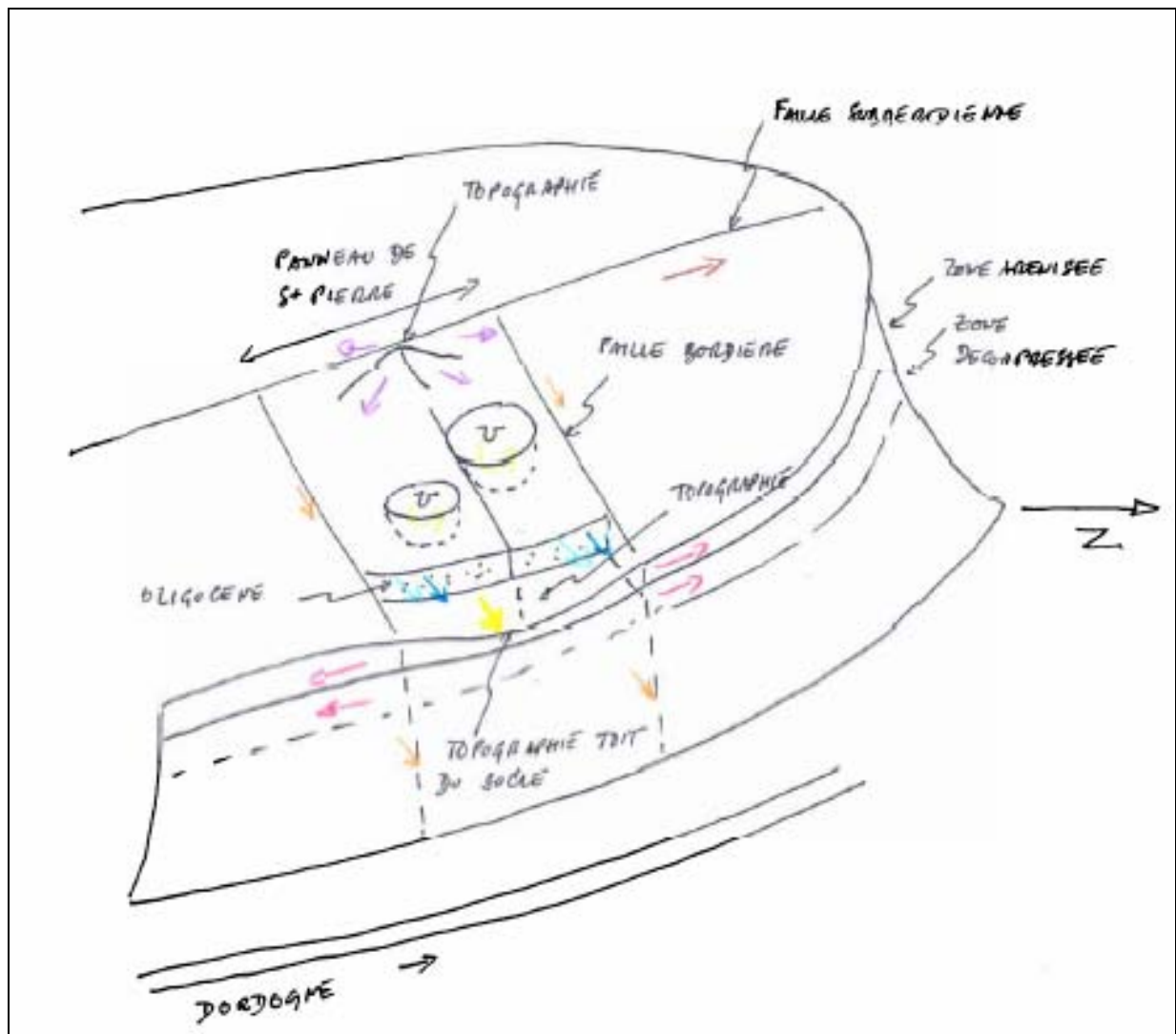


Figure 7 : Représentation schématique des chemins potentiels de circulation

Chemins potentiels de circulation liés à la topographie de surface (violet), dans les anciennes exploitations remblayées (vert clair), dans les formations oligocènes (bleu), liés à la topographie du toit du socle (jaune), associés aux faille NE-SW (orange), aux failles subméridiennes (marron), aux zones arénisée et décompressée du socle (rose et rouge) participant aux circulations superficielles et souterraines

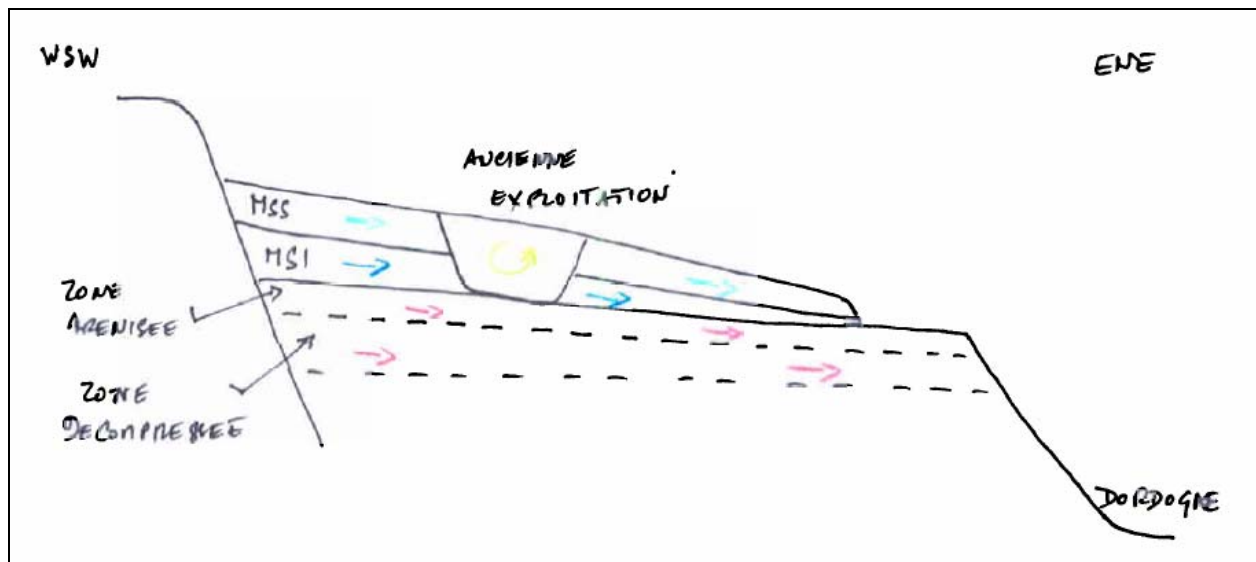


Figure 8 : Paramètres potentiels participant à la circulation hydrogéologique

Coupe dans le panneau de Saint Pierre montrant les niveaux superposés de circulation potentielle dans l'Oligocène et dans le socle : Mégaséquence supérieure (MSS) : bleu clair ; Mégaséquence inférieure (MSI) : bleu foncé ; Anciennes exploitations remblayées : vert clair ; Zone arénisée : rose ; Zone décompressée : rouge.

4.3.2 CADRE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

4.3.2.1 Hydrologie du secteur

Le réseau hydrographique est constitué :

- au nord - nord-est, par un drain qui collecte par un émissaire situé au niveau de la digue, les eaux superficielles et les eaux infiltrées jusqu'au substratum granitique. Ce drain, principal exutoire du site, alimente ensuite au nord-est Le Combret dont le lit s'encaisse avant de se jeter dans la Dordogne ;
- au sud-ouest du bourg de Saint Pierre, par le petit bassin versant qui alimente le plan d'eau aménagé par la commune. Le trop-plein de ce plan d'eau se déverse dans le ruisseau de Gioux qui rejoint la Dordogne, entre le barrage de Marèges et le pont de Vernéjoux.

La ligne de partage des eaux est située approximativement à la cote 600 m NGF, au droit d'une ligne passant par le bourg de Saint-Pierre, le cimetière et le puits Marion (n° 10 sur la figure), cette ligne est reportée en bleu sur la Figure 9.

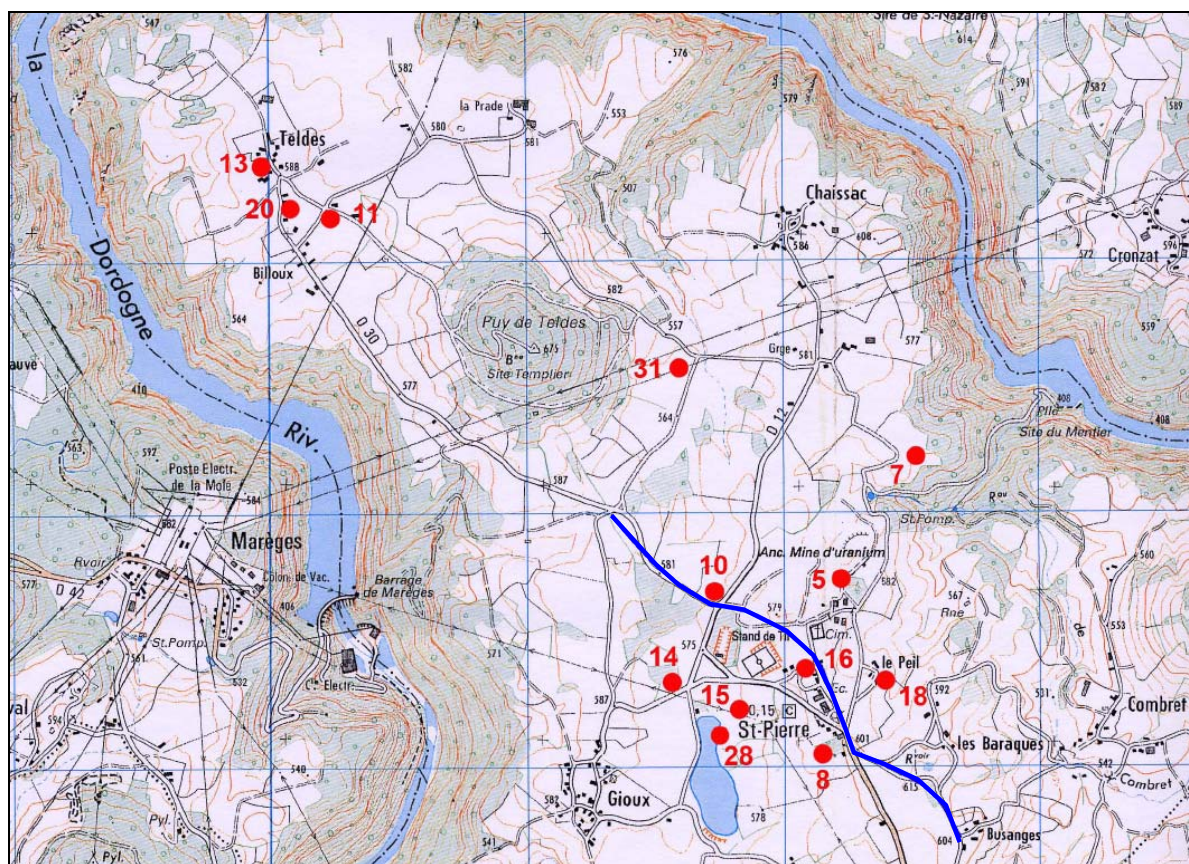
4.3.2.2 Cadre hydrogéologique du site

Le bassin sédimentaire oligocène de Saint-Pierre, constitué de sables grossiers à fins, d'argiles et de limons, présente un potentiel aquifère assez limité en raison de sa faible étendue. Quelques rares puits peu profonds appartenant à des particuliers ont été recensés. Aucun ouvrage public ou privé d'alimentation en eau potable sur la commune de Saint-Pierre n'a été déclaré aux services de la DDASS du Cantal.

Les rares éléments concernant les écoulements souterrains ainsi que les possibilités de transfert de la radioactivité reposent sur une étude réalisée en 2000 par ANTEA, à la demande de la COGEMA.

4.3.2.2.1 Mesures de niveaux d'eau réalisées par l'IRSN

Afin de compléter les informations disponibles, l'IRSN a réalisé le 30 mai 2006, avec l'aide d'un employé municipal, un inventaire des puits existants situés sur la commune de Saint-Pierre. Onze puits ont été identifiés et ont fait l'objet de mesures de niveaux d'eau. Des mesures de nivellement ont été réalisées sur huit d'entre eux situés dans le secteur de l'ancien site minier et dans le bourg, et sur deux surfaces d'eau libre : le plan d'eau communal et la réserve d'eau.



Trait bleu : ligne de partage des eaux

Figure 9 : Situation des points de mesure des niveaux d'eau (puits et surfaces libres) (d'après carte topographique IGN 2333E au 1 : 25 000)

La carte topographique de la Figure 9 indique la situation de ces points de mesure. Les cotes NGF des niveaux d'eau mesurés sur ces points sont présentées dans le Tableau 1.

Les mesures confirment les deux directions principales d'écoulement :

- une direction SW - NE correspondant à l'ancien site minier et au bassin versant du Combret ;
- une direction E-W à NE-SW, comprise approximativement entre le bourg de Saint-Pierre et le village de Gioux, correspondant au petit bassin versant du plan d'eau communal.

Tableau 1 : Points de mesure repérés Figure 9 et cotes NGF des niveaux d'eau

Numéro du point de mesure	Point de mesure	Cote NGF du point de mesure (m)	Cote NGF du niveau d'eau (m)	Incertitude (m)	Profondeur du puits (m)	Niveau aquifère présumé
7	Puits Boboul	568,85	567,53	0,04	2,20	Granite altéré ?
31	Puits Vareille	560	558,93	–	2,50	Oligocène ?
13	Puits Mornac	588	587,30	–	3,19	Granite altéré ?
20	Puits Coudert 1	non mesurée	eau à 0,94 m/margelle	–	3,94	Oligocène ?
11	Puits Coudert 2	non mesurée	eau à 1,96 m/margelle	–	5,70	Oligocène ?
10	Puits Marion	581,01	579,80	0,04	2,50	Oligocène ?
14	Puits Salvary	577,41	575,39	0,03	3,10	Oligocène ?
15	Puits Gérémy	577,14	575,72	0,03	2,42	Oligocène
16	Puits Vigier	595,90	593,47	0,03	3,86	Oligocène
8	Puits SCUMRA	600,00	593,06	10	12,84	Oligocène
18	Puits Le Peil	592,30	584,85	0,03	8,95	Oligocène
5	Réserve d'eau	–	576,93	0,03	–	Remblai
28	Plan d'eau de Saint-Pierre	–	572,28	0,03	–	Oligocène

Un profil schématique SW-NE des charges hydrauliques passant par le bourg (puits SCUMRA et Vigier), donne un aperçu des écoulements au droit du site (Figure 10). Les niveaux aquifères traversés par ces puits ne sont pas connus. Les deux puits les plus profonds (SCUMRA et Le Peil) captent vraisemblablement des paléo-chenaux sableux oligocènes.

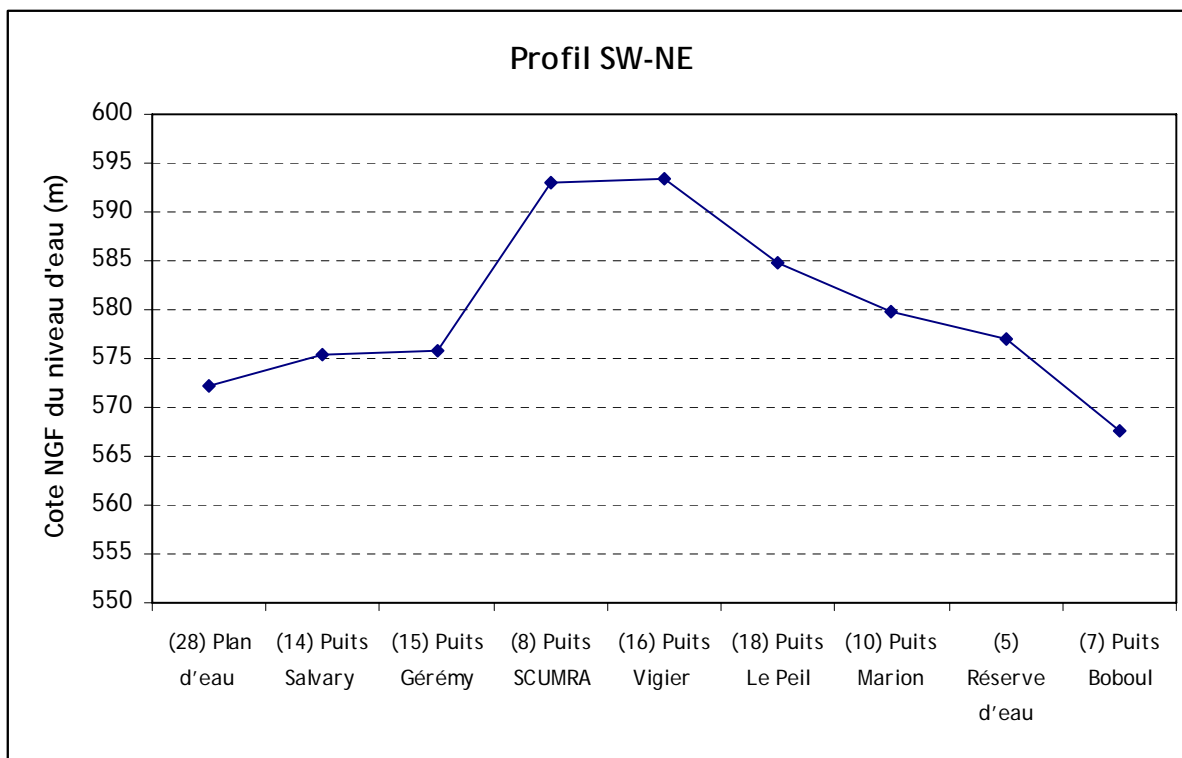


Figure 10 : Profil schématique SW-NE des charges hydrauliques mesurées le 30 mai 2006

4.3.2.2.2 Conclusion

Les éléments exploités au cours de la mission de reconnaissance de l'IRSN confirment globalement le schéma hydraulique défini par ANTEA.

Les eaux superficielles de ruissellement s'écoulent suivant deux axes principaux de drainage :

- l'un vers le Nord-Est qui draine l'ancien site minier et rejoint le Combret qui se jette dans la Dordogne;
- l'autre vers le Sud-Ouest et l'Ouest, en direction du plan d'eau communal dont le trop-plein s'évacue par le Ruisseau de Gioux vers la retenue du barrage de l'Aigle sur la Dordogne.

La ligne de partage des eaux suit approximativement une ligne reliant le bourg de Saint-Pierre au cimetière et au puits n°10.

Ce schéma d'écoulement n'exclut pas la possibilité d'écoulements superficiels d'importance secondaire, vers l'ouest, en direction du barrage de Marèges.

Les eaux souterraines s'écoulent suivant les deux directions principales (nord-est et sud-ouest), dans les formations sédimentaires oligocènes et les remblais de l'ancien site minier comme l'indique le profil de charges de la Figure 10. Le faible développement des zones arénisées indique que le granite est assez sain (§4.3.1). L'activité des failles majeures de direction N 70° et N 160° étant principalement d'âge oligocène (§4.3.1), les failles du substratum paraissent jouer un rôle hydraulique négligeable sur les écoulements dans le substratum granitique.

4.4 LES ANALYSES D'EAU

Les mesures ont porté sur un total de 31 échantillons d'eau, dont 29 prélèvements réalisés les 30 et 31 mai 2006 à l'occasion de la campagne géologique et hydrogéologique IRSN et 2 prélèvements complémentaires effectués le 5 septembre 2006.

4.4.1 POINTS DE PRELEVEMENT

La majorité des prélèvements est constituée par des eaux superficielles prélevées dans les zones suivantes :

- le périmètre du site ;
- le réseau des tributaires du Combret ;
- le côté nord-ouest et ouest du site ;
- les arrivées dans le plan d'eau et le ruisseau de Gioux ;
- la Dordogne.

Par ailleurs une dizaine de prélèvements d'eaux souterraines a été réalisée à Saint Pierre autour du site et dans un environnement éloigné (Chaissac et Teldes).

Les points de prélèvement d'eau de surface apparaissent sur la Figure 11, les points de prélèvement d'eau de puits ont été reportés sur la Figure 9.



Figure 11 : Carte des points de prélèvement d'eau de surface sur la commune de Saint Pierre (d'après photographie aérienne IGN)

4.4.2 ORIGINES POTENTIELLES DE MARQUAGE

Les analyses ont été déterminées en fonction des éléments constituant les origines potentielles de marquage.

Les apports d'éléments chimiques dans les eaux ont plusieurs sources possibles :

- le minerai : les minéralisations uranifères oxydées essentiellement présentes à l'état de phosphates et vanadates d'uranyle et de baryum-calcium, et en moindre proportion les minéralisations réduites (pechblende) présentes dans les zones riches en pyrites et matières organiques carbonneuses ;
- les produits de traitement utilisés à l'usine et dans les stalles de lixiviation : acide sulfurique, chaux, magnésie, chlorure de sodium ;
- le chlorure de baryum utilisé à l'usine de traitement des eaux.

- On notera que le minerai contient également du magnésium, du manganèse, etc. et que les sulfates peuvent être dus naturellement à l'existence de pyrites.

4.4.3 DETERMINATIONS EFFECTUEES

Les mesures réalisées dans les laboratoires de l'IRSN ont porté sur différentes phases (eau brute, fraction dissoute et particulaire), elles ont été les suivantes :

- eau brute : pH et conductivité pour toutes les eaux in situ ;
- phase dissoute, après filtration à 0,45 micron, dans les laboratoires IRSN de Fontenay aux Roses : uranium élémentaire (ICP-MS), radium 226 (émanation), anions (chromatographie ionique), cations (spectrophotométrie d'absorption atomique), métaux (ICP-MS) ;
- phase particulaire : laboratoires IRSN du Vésinet : uranium élémentaire et radium 226.

Les anions recherchés par chromatographie ionique ont été les chlorures, nitrates, sulfates fluorures, phosphates, nitrites et bromures.

Les cations déterminés par spectrométrie d'absorption atomique ont été le calcium, le potassium, le fer ferrique, le magnésium et le sodium.

Les métaux recherchés par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS) ont été l'uranium, le baryum, l'aluminium, le manganèse, le zinc, l'arsenic, le strontium, le vanadium, le sélénium et le plomb.

L'ensemble des résultats détaillés apparaît dans les tableaux reportés en Annexe 8.

4.4.4 BILAN DES RESULTATS

4.4.4.1 Paramètres radiologiques : uranium 238 et radium 226

4.4.4.1.1 Eaux de surface

Dans le périmètre du site

Les activités les plus élevées sont décelées dans l'eau du rejet de pied de digue et dans l'eau du fossé drainant les eaux à l'intérieur du site tracé sur l'ancien chenal du baryum : valeurs maximales en uranium : 212 µg.L⁻¹ (²³⁸U : 2,6 Bq.L⁻¹) et radium 226 : 0,66 Bq.L⁻¹ pour le rejet de pied de digue.

Les activités en uranium 238 et radium 226 de l'eau de la réserve d'eau du site sont modérées, elles valent ²³⁸U : 18 µg.L⁻¹ (0,22 Bq.L⁻¹), ²²⁶Ra : 0,35 Bq.L⁻¹ (essentiellement sous forme particulaire pour le radium 226).

Les activités en uranium et radium 226 des eaux du fossé de drainage latéral, extérieur à la zone nord du site, sont en limite de détection, ²³⁸U : <1,4 µg.L⁻¹ (< 0,017 Bq.L⁻¹), ²²⁶Ra < 0,044 Bq.L⁻¹.

Le réseau des tributaires du Combret

Le Combret en amont et en aval du rejet : pas de différence sensible entre l'amont et l'aval, valeurs ^{238}U et ^{226}Ra en limite de détection ou très proches suivant la fraction analysée.

Le petit ruisseau à l'est du site, en contrebas du camping, au fond de la parcelle dénommée la Merle présente des activités très faibles en uranium : $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ ($0,025 \text{ Bq.L}^{-1}$) et en radium 226 ($< 0,043 \text{ Bq.L}^{-1}$).

Les seules activités significatives sont observées dans l'exutoire principal côté nord du site juste avant sa confluence avec le Combret, les activités sont les suivantes : uranium : $18 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,23 \text{ Bq.L}^{-1}$) et radium 226 : $0,11 \text{ Bq.L}^{-1}$, ces activités concernent pour les 2/3 la phase particulaire et correspondent, moyennant un facteur de dilution, aux valeurs mesurées aux émissaires que sont le rejet pied de digue et le fossé passant sur l'ancien chenal du baryum).

Le côté nord-ouest du site

Des traces d'uranium au niveau d'un drain et de radium 226 dans la phase dissoute au niveau des 2 points mesurés (drain et ruisseau) ont été mises en évidence. Valeurs maximales pour l'uranium : $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,026 \text{ Bq.L}^{-1}$) et pour le radium 226 : $0,035 \text{ Bq.L}^{-1}$ dans l'eau d'un drain, en contrebas du 2^{ème} stockage de matériau provenant du plan d'eau de Saint Pierre, alimentant le ruisseau du pré de l'étang au N-O du site. Les teneurs en uranium 238 et radium 226 sont proches de l'équilibre radioactif.

Ces niveaux d'activité sont probablement représentatifs de ceux du fond naturel. Ces résultats ne mettent pas en évidence d'écoulements depuis le site vers ce secteur nord-ouest et ouest.

Les eaux arrivant dans le plan d'eau et celles du ruisseau de Gioux

Les activités les plus élevées sont celles mesurées dans l'eau du fossé C arrivant du village et ceinturant le nord du plan d'eau sous la parcelle Gérémy ainsi que celles mesurées dans l'eau du fossé D arrivant du stand de tir et recueillant aussi les eaux des drains de la parcelle Gérémy. Les valeurs maximales obtenues sont :

- Fossé C : uranium : $4490 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $55,5 \text{ Bq.L}^{-1}$) et radium 226 : $0,21 \text{ Bq.L}^{-1}$, il faut préciser qu'à ce niveau l'eau du fossé est une eau stagnante assortie d'un pH très acide de 3,8 ;
- Fossé D : uranium : $126 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $1,55 \text{ Bq.L}^{-1}$) et radium 226 : $0,14 \text{ Bq.L}^{-1}$.

Les valeurs sont plus faibles au niveau de l'arrivée d'eau Font de Pérou qui reçoit une grande partie des eaux alimentant le fossé C avant la partie stagnante : uranium : $15 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,19 \text{ Bq.L}^{-1}$) et radium 226 : $0,13 \text{ Bq.L}^{-1}$.

Au niveau de l'arrivée nord-ouest près de la première zone de baignade, l'activité de l'uranium est égale à $5,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,070 \text{ Bq.L}^{-1}$), l'activité du radium 226 est très faible ($0,060 \text{ Bq.L}^{-1}$ dans la phase dissoute). Il est à signaler que l'eau échantillonnée en ce point représente en fait l'eau du

plan d'eau dans cette zone car le niveau d'eau du plan d'eau est à la hauteur de l'arrivée accessible du drain.

A l'arrivée Sagne Rouge, les activités des eaux sont très faibles dans la phase dissoute, uranium : $1,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,016 \text{ Bq.L}^{-1}$) et radium 226 : $0,061 \text{ Bq.L}^{-1}$. Les activités sont inférieures à la limite de détection pour la phase particulaire.

A l'arrivée des Craux, les activités des eaux sont en limite de détection ou très proches de celle-ci.

Au niveau du ruisseau de Gioux, les concentrations sont très faibles en aval de ce ruisseau qui reçoit les eaux du plan d'eau : uranium : $2,8 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,034 \text{ Bq.L}^{-1}$) et radium 226 $< 0,033 \text{ Bq.L}^{-1}$.

Il faut noter que le niveau d'activité du radium 226 au niveau de toutes les arrivées d'eau analysées est globalement modéré.

Les teneurs sont importantes pour l'uranium surtout dans la dernière partie du fossé C. Les conditions physico-chimiques du milieu, oxydantes puisqu'on est à l'air libre, favorisent la mise en solution de l'uranium qui se trouve essentiellement sous forme d'uranyle dans le minerai. Ces eaux sont plutôt acides du fait de la présence de végétation en décomposition et de la présence supposée de pyrites dans le sol [11], la possibilité d'une lixiviation des résidus stockés sur le site est sans doute également envisageable.

La Dordogne

L'eau de la Dordogne a été échantillonnée en amont et en aval de tous les sites à Madic et Vernéjoux. Les activités en uranium et radium sont inférieures aux limites de détection, que ce soit dans la phase dissoute ou la phase particulaire.

4.4.4.1.2 Eaux de puits

Les activités maximales ont été mesurées dans l'eau du puits Gérémy et l'eau du puits Vigier situés du côté sud du site :

- puits Gérémy : sa teneur en uranium est la plus élevée des eaux souterraines contrôlées : $1560 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $19,3 \text{ Bq.L}^{-1}$), son activité en radium 226 est égale à $0,80 \text{ Bq.L}^{-1}$;
- puits Vigier : sa teneur en uranium est de $110 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $1,4 \text{ Bq.L}^{-1}$), son activité en radium 226 est la plus élevée de l'ensemble des eaux souterraines analysées : $1,95 \text{ Bq.L}^{-1}$.

Ces 2 eaux ont un pH plutôt acide voisin de 5,4. Les activités se trouvent essentiellement dans la phase dissoute. Dans les 2 cas ces ouvrages sont placés en aval hydraulique de la partie sud du site remblayée avec comme matériaux des résidus ou des stériles.

Des traces d'uranium ont été décelées dans tous les autres puits en périphérie du site , ainsi qu'à Chaissac et à Teldes : valeur maximale $3,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ (^{238}U : $0,039 \text{ Bq.L}^{-1}$) dans le puits SCUMRA au centre du village.

Des traces de radium 226 ont été mises en évidence dans tous les puits autour du site, valeur maximale au niveau du puits Salvary : ^{226}Ra : 0,11 Bq.L⁻¹. Les activités dans les eaux contrôlées à Chaissac et Teldes sont proches de la limite de détection pour ce radionucléide.

4.4.4.1.3 Principales observations effectuées sur la phase particulaire

La phase particulaire après filtration des eaux à 0,45 micron, puis calcination, a été soumise à l'analyse de l'uranium élémentaire et à celle du radium 226.

Il n'est pas inutile de rappeler que l'activité volumique des matières en suspension (MES) est fonction de leur activité massique ainsi que de la masse de particules présente par unité de volume d'eau.

Cette analyse des matières en suspension a permis de dégager les observations suivantes :

- l'eau la plus chargée en matières en suspension est celle du fossé C arrivant au plan d'eau : 144 mg de MES calcinées par litre d'eau, ce qui est cohérent avec le débit d'eau particulièrement faible observé en ce point ;
- les plus fortes activités massiques en radium 226 observées au niveau des MES (50 Bq par gramme de MES calcinées) ont été mises en évidence dans les eaux de la réserve d'eau du site et celles du puits Vigier ;
- les plus fortes teneurs massiques en uranium mesurées sur les MES sont celles du puits Vigier (16 mg.g⁻¹ de MES calcinées / soit 201 Bq.g⁻¹) et du puits Gérémy (8,8 mg.g⁻¹ de MES calcinées / soit 109 Bq.g⁻¹), ensuite viennent les arrivées dans le plan d'eau du fossé D du stand de tir, le fossé C et Font de Pérou, puis le rejet pied de digue au nord du site, toutes ces eaux présentent des concentrations comprises entre 2 et 4 mg.g⁻¹ de MES calcinées, correspondant à des activités en uranium 238 comprises entre 25 et 50 Bq.g⁻¹ environ.

4.4.4.2 La chimie des eaux

4.4.4.2.1 Eaux de surface

Dans le périmètre du site

Les eaux les plus chargées en éléments chimiques de ce secteur sont le rejet de pied de digue ou « rejet 1 » et le fossé sur l'ancien chenal du baryum.

Ions ou éléments majeurs détectés au-dessus du milligramme par litre respectivement dans chaque eau : sulfates (300 et 200 mg.L⁻¹), chlorures (200 et 30 mg.L⁻¹), calcium (164 et 100 mg.L⁻¹), sodium (94 et 24 mg.L⁻¹), magnésium (30 mg.L⁻¹), nitrates (5 mg.L⁻¹), potassium (3 mg.L⁻¹) et manganèse (2 mg.L⁻¹).

Ces 2 eaux présentent les mêmes éléments majeurs caractéristiques (sulfates, chlorures, calcium magnésium) qui proviennent très certainement des bassins de stockage des résidus, en effet le rejet de pied de digue est alimenté par un drain interne sous la digue, et le fossé sur l'ancien chenal du

baryum est censé recueillir les eaux d'évacuation des différents bassins ainsi que les eaux de ruissellement des bassins [10].

L'eau de la réserve contient également ces éléments en teneur nettement moindre environ d'un facteur 5.

L'eau du fossé latéral extérieur nord est peu chargée.

Le réseau des tributaires du Combret

Présence de sulfates, chlorures, calcium et magnésium dans l'eau de l'exutoire principal avant confluence avec le Combret en quantités plus faibles que dans l'eau du rejet de pied de digue et l'eau du fossé de l'ancien chenal de baryum à la sortie nord du site. L'eau de l'exutoire principal n'est pas plus marquée que celle de la réserve d'eau du site.

L'eau du Combret amont, l'eau du petit ruisseau en contrebas du camping à l'est du site (lieu-dit la Merle) et l'eau du Combret en aval de l'exutoire du site sont peu chargées.

Le côté nord-ouest du site

Rien à signaler dans ces eaux (drain et ruisseau) du point de vue de la chimie, si ce n'est la présence de baryum en quantité un peu plus importante que dans les autres eaux analysées, à noter qu'on observe une teneur en baryum identique dans l'eau du puits Vareille situé dans le même secteur que le drain et le ruisseau : teneurs en baryum de l'ordre de 150 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Aucune teneur anormale en sulfates, chlorures, calcium ou magnésium qui pourraient être reliées à l'exploitation.

Petit excès de baryum, manganèse et strontium à associer sans doute au fond naturel.

Les eaux arrivant dans le plan d'eau et celles du ruisseau de Gioux

L'eau la plus chargée et de loin est celle du fossé C dans sa partie stagnante juste avant son arrivée dans le plan d'eau. Les teneurs dépassent celles observées dans les eaux du côté nord du site (rejet pied de digue et fossé sur l'ancien chenal du baryum).

Valeurs mesurées dans l'eau du fossé C : sulfates (810 mg.L^{-1}), manganèse (260 mg.L^{-1}), calcium (215 mg.L^{-1}), magnésium (43 mg.L^{-1}), sodium (12 mg.L^{-1}), chlorures (5 mg.L^{-1}), potassium (4 mg.L^{-1}) et aluminium (2 mg.L^{-1}). Cette eau présente un pH acide de 3,8.

Les eaux de l'arrivée D (stand de tir et puits Gérémy) et de Font de Pérou sont nettement moins marquées, elles sont dans la même gamme de teneurs que les eaux issues du côté nord du site.

Les eaux de l'arrivée nord-ouest dans le plan d'eau, de l'arrivée Sagne Rouge et de l'arrivée des Craux, ainsi que les eaux du ruisseau de Gioux sont peu marquées.

Toutes les eaux arrivant dans le plan d'eau sauf l'arrivée N-O présentent un pH acide voisin de 5, elles ont donc potentiellement tendance à contribuer à la mise en solution des métaux dont l'uranium le long de leur parcours.

La Dordogne

Les teneurs des principaux anions, cations et métaux sont très faibles, elles sont peu différentes dans la Dordogne à Madic en amont du site de Saint Pierre et dans la Dordogne à Vernéjoux en aval du confluent du Combret et de celui du ruisseau de Gioux avec la Dordogne.

La seule anomalie relevée est celle mesurée pour le pH à Madic le 1^{er} juin 2006, de l'ordre de 8,8, sans qu'on puisse la relier à un des éléments mesurés ou à un évènement particulier. Il faut préciser que cette valeur a été vérifiée ainsi que l'étalonnage de l'appareil.

4.4.4.2.2 Eaux de puits

L'eau du puits Gérémy est la plus chargée : sulfates (440 mg.L⁻¹), calcium (88 mg.L⁻¹), magnésium (18 mg.L⁻¹), manganèse (7 mg.L⁻¹), sodium (7 mg.L⁻¹), chlorures (6 mg.L⁻¹), potassium (4 mg.L⁻¹) et aluminium (0,4 mg.L⁻¹). Les éléments présents sont les mêmes que ceux mesurés dans l'eau de l'arrivée du fossé D dans le plan d'eau, du fossé C et de Font de Pérou.

Les concentrations sont nettement plus faibles dans les autres eaux de puits. Le puits Vigier, qui est radiologiquement plus marqué, ne se distingue pas vraiment des autres eaux souterraines par son marquage chimique.

On relève la présence de nitrates dans l'eau du puits Boboul à Chaissac (50 mg.L⁻¹), dans le puits Vigier (30 mg.L⁻¹) et dans le puits Mornac à Teldes (15,5mg.L⁻¹), ainsi que des traces de phosphates dans le puits Mornac (4 mg.L⁻¹), ces teneurs sont probablement à relier à l'utilisation d'engrais.

4.4.4.3 Principales conclusions

Les eaux les plus marquées sont les suivantes :

- au nord du site le rejet de pied de digue « rejet 1 » et le fossé sur l'ancien chenal du baryum ;
- au nord du plan d'eau communal : les arrivées du fossé D, recevant les eaux du fossé du stand de tir et celles du puits Gérémy, et du fossé C sous la parcelle Gérémy ;
- l'eau du puits Gérémy ;
- l'eau du puits Vigier.

Les 5 premières eaux présentent une composition chimique voisine à des concentrations variables ; il s'agit d'eaux de surface ou de sub-surface, elles sont caractérisées par la présence de sulfates, calcium, magnésium, manganèse, uranium et dans une moindre mesure de radium 226.

Du fait de leur situation, les eaux du rejet de pied de digue et celles du fossé situé sur le tracé de l'ancien chenal du baryum présentent un marquage très probablement dû aux résidus stockés sur le site.

En revanche il n'est pas possible de discriminer l'origine naturelle ou anthropique du marquage des eaux alimentant les principaux drains aboutissant au plan d'eau : fossé C et D, puits Gérémy sur le versant sud du site. Ce marquage peut provenir aussi bien du lessivage naturel du

gisement initial que des résidus de lixiviation et stériles stockés sur le site. En effet ces eaux traversent des terrains propices à l'accumulation de matière organique végétale et susceptibles de contenir des pyrites. La présence de pyrites citée par J.L. Carré [11] ainsi que la forte concentration en matière organique, et donc en acides humiques, des sols superficiels autour du site créent des conditions favorables à la mise en solution des principaux métaux, dont l'uranium, et leur piégeage sur la fraction colloïdale des eaux (colloïdes minéraux et organiques).

L'eau du puits Vigier est moins chargée en sulfates que l'eau du puits Gérémy, en revanche elle est plus riche en radium 226 et en baryum. Ce puits est très proche de la partie haute du site qui est moins propice à l'accumulation de matière organique et qui recèle encore du minerai (on a vu au § 4.4.4.1.3 que l'activité massique en radium 226 des matières en suspension était particulièrement élevée : 50 Bq.g^{-1} de MES calcinées). Ce faisceau d'observations semblerait plutôt indiquer que le marquage de cette eau est lié au minerai ou éventuellement à la présence proche de stériles.

5 MARQUAGES SEDIMENTAIRES

5.1 OBJECTIF

Les objectifs définis à l'issue de la phase d'analyse des informations existantes étaient les suivants :

- pour la réserve d'eau : palier l'absence de données sédiments, comme pour les analyses d'eau et de poissons ;
- pour le plan d'eau : compléter les données afin de préciser l'évolution du marquage radiologique des sédiments depuis les principales arrivées jusqu'aux zones de pleine eau ;
- pour le confluent Combret / Dordogne : profiter de l'opération de vidange de la Dordogne programmée en août-septembre 2006 pour étudier l'incidence de l'exploitation du site sur le marquage sédimentaire.

5.2 MOYENS

Les campagnes de l'IRSN à Saint Pierre en janvier, mai-juin et septembre 2006 ont permis de réaliser un total de 24 prélèvements de sédiments. Il a été par ailleurs réalisé en marge un prélèvement de biofilm sur le site.

5.2.1 PERIMETRE DU SITE ET SA PROXIMITE

Les sédiments ont été prélevés manuellement dans le périmètre du site, le Combret amont, à l'arrivée de l'exutoire nord du site dans le Combret et au niveau d'un écoulement suintant côté ouest du site. Ces points sont localisés sur la Figure 12.

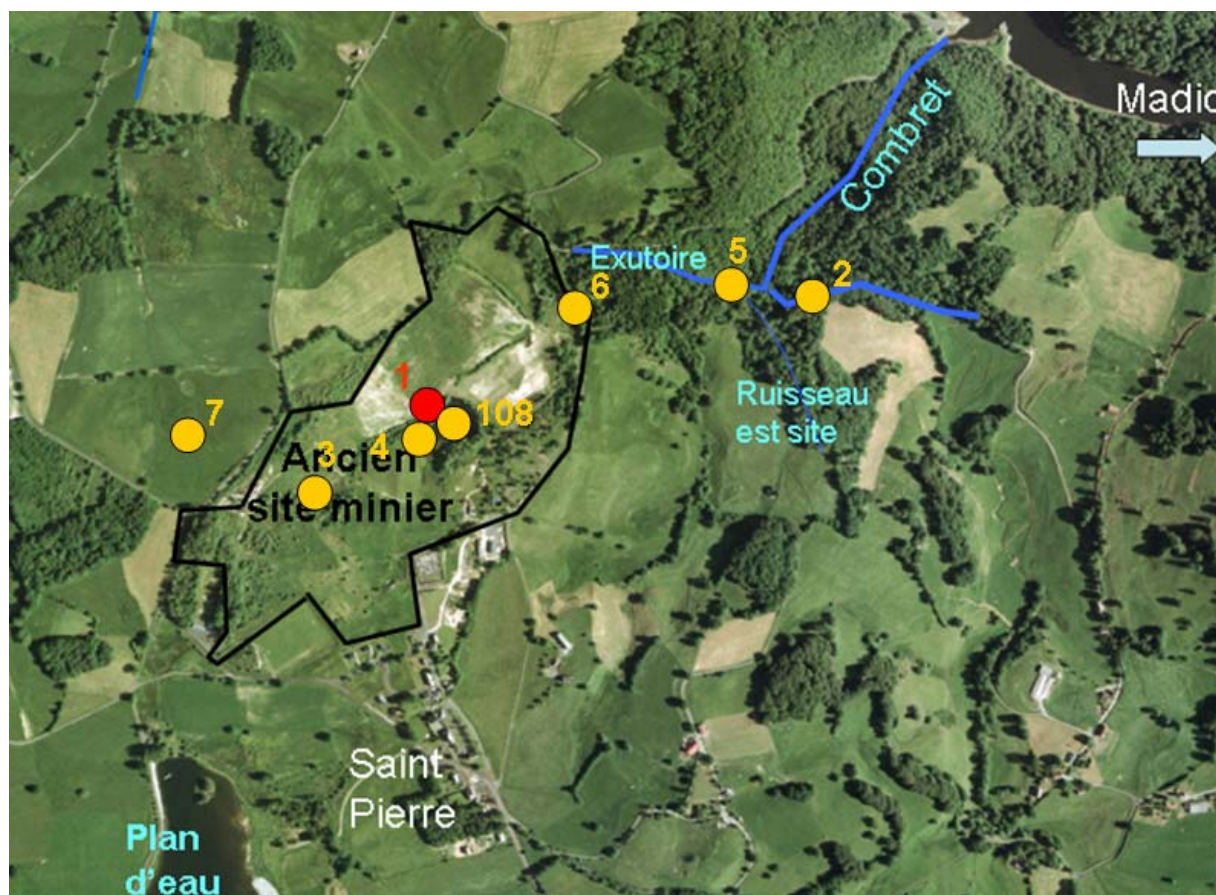


Figure 12 : Sédiments dans le périmètre du site et sa proximité (d'après photographie IGN)

5.2.2 RESERVE D'EAU

Un prélèvement a été réalisé au centre de la réserve d'eau du site au cône de Berthois à partir d'une barque, cf. Photo 1, ainsi qu'un prélèvement en bordure de berge au coin « pêcheurs », points 108 et 4 reportés sur la Figure 12.



Photo 1 : Prélèvement au cône de Berthois sur la réserve d'eau

5.2.3 PLAN D'EAU COMMUNAL

Les sédiments du plan d'eau communal ont été réalisés sous eau à la micro-benne et au cône de Berthois à l'aide d'une barque, cf. Photo 2, suivant 3 profils comprenant chacun 3 prélèvements, à partir de la berge nord, il s'agissait d'étudier le profil de contamination présenté par les sédiments au fur et à mesure de leur éloignement de la berge, en partant des 3 principales arrivées : arrivée D (stand de tir et puits Gérémy), fossé C et Font de Pérou, comme le montre la Figure 13.



Photo 2 : Prélèvements de sédiments dans le plan d'eau à la micro-benne et au cône de Berthois

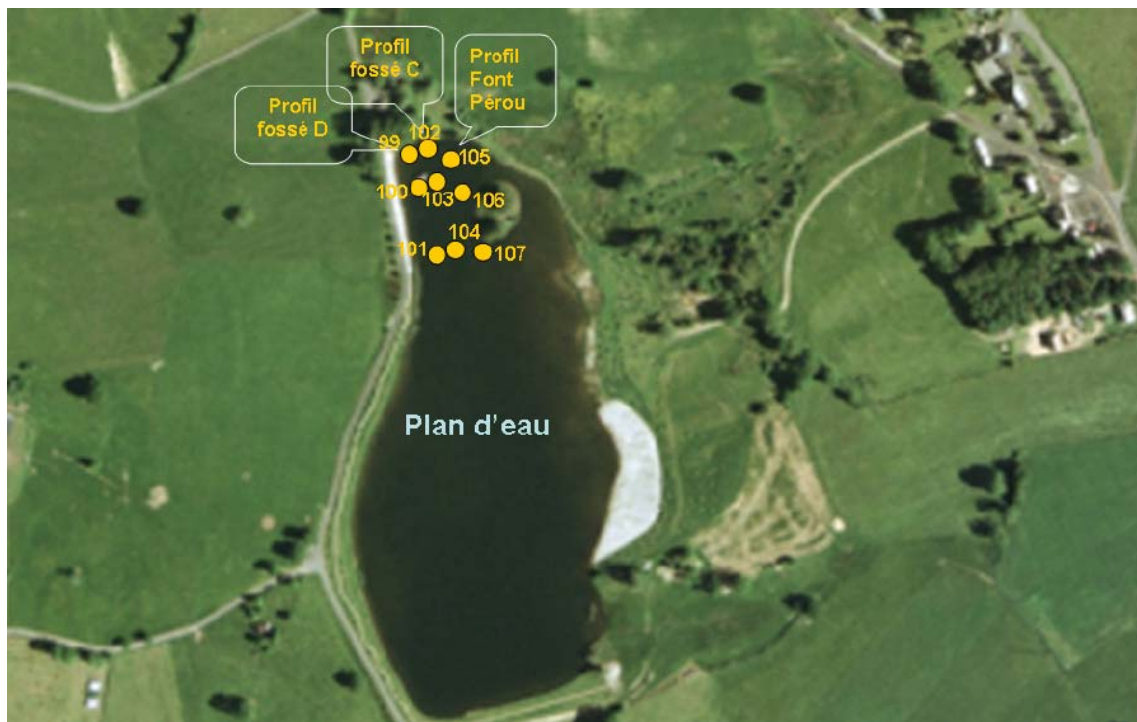


Figure 13 : Sédiments du plan d'eau communal à partir des 3 arrivées d'eau au nord (d'après photographie IGN)

5.2.4 CONFLUENCE COMBRET-DORDOGNE

L'IRSN a effectué une campagne de prélèvements spécifiques en fin de vidange du barrage de Marèges situé en aval du confluent du Combret dans la Dordogne. Les prélèvements ont été réalisés au niveau de la confluence avec le Combret, secteur a priori le plus susceptible de présenter un marquage imputable à l'activité minière. Un repérage radiométrique de surface et une tentative d'interprétation géomorphologique et de reconstitution des phases de dépôt successives ont été menés en préalable aux prélèvements.

L'implantation des 3 points de carottage a été choisie après étude géologique des dépôts successifs du Combret et de ceux de la Dordogne, cf. Photo 3 ; les 3 points ont été repérés comme étant représentatifs de la situation avant exploitation du site minier de Saint Pierre, de la situation en cours d'exploitation et de la situation actuelle. Trois sédiments de surface ont été prélevés manuellement en plus pour consolider la définition du niveau actuel.



Photo 3 : Localisation des points de carottage C95, C97 et C98 réalisés par l'IRSN dans les sédiments du Combret le 6 septembre 2006

5.3 ETUDE DES SEDIMENTS DU COMBRET

L'analyse effectuée en préalable aux prélèvements a permis de fixer une interprétation géologique pour déterminer l'emplacement des échantillons de sédiments à prélever.

5.3.1 ECHELLES DE REFERENCE TEMPORELLES

Pour cette analyse, deux échelles de références temporelles ont été prises en compte :

1. **l'activité du barrage** (source : communication de M. Bastié de la Société hydroélectrique du Midi / SHEM) :
 - 1935-62 : pas de chronique, période lacustre ; il semble que le nombre de vidanges soit très faible voire qu'il n'y en ait eu aucune ;
 - 1962-83 : nombreuses vidanges (8) ;
 - 1996-2006 : vidanges décennales(2) ;

2. **l'activité de l'exploitation minière** (source : Société des mines de Jouac [12])
 - 1958-65 : exploitation
 - 1965-75 : gel de l'exploitation
 - 1975-86 : exploitation (->1981) et activité de l'usine
 - 1986-2006 : réhabilitation du site.

L'objectif de l'étude des sédiments du Combret était de définir sur le terrain des ensembles sédimentaires et de les mettre en perspective avec ces deux chronologies.

La vidange du barrage de Marèges en aval sur la Dordogne effectuée en août 2006 offrait l'opportunité de pouvoir observer les sédiments découverts lors de l'à-sec.

Cette étude s'est appuyée sur le plan technique sur un repérage radiométrique effectué au SPP2, l'appareil utilisé est un scintillomètre SPP2 NF Saphymo n°435F étalonné le 9 février 2005.

5.3.2 INTERPRETATION DES DEPOTS ET STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Les observations de terrain montrent que deux types de sédimentation se télescopent, cf. Figure 14 :

- une sédimentation lacustre argileuse nappant la topographie préexistante, parallèle aux rives et calquant les pentes ;
- une sédimentation fluviale dans l'axe du delta du Combret.



Figure 14 . Différents ensemble litho-chronologiques (description dans le texte)

Les sédiments sont érodés et remaniés à chaque vidange avec un nappage par les argiles lacustres de la topographie résultant de l'érosion causée par l'abaissement du niveau de base lors de la vidange.

Les observations et l'interprétation ont mis en évidence 4 ensembles sédimentaires avec de bas en haut :

- un ensemble argileux basal (1935-75) correspond principalement aux argiles lacustres antérieures à l'exploitation totalement exempte de sables ; la partie supérieure, envahie par les sables dans sa partie proximale (proche des zones d'apport) pourrait correspondre soit à la première phase d'exploitation (1958-65) suivie de la phase de gel de l'exploitation (1965-75) soit aux premières vidanges du lac de barrage entraînant des modifications dans la nature des dépôts du Combret. Cet ensemble basal affleure sur les bordures et dans le fond du Combret (bleu de la Figure 14) où la partie sommitale est tronquée par les sables sus-jacents.

- un ensemble sableux, ravinant le précédent (ce qui atteste de sa postériorité), a été rapporté à la deuxième phase d'exploitation (1975-80) qui était plus intense ce qui a provoqué une forte mobilisation des sables de l'exploitation (jaune sur la Figure 14) ;
- un ensemble constitué d'alternances et reposant sur les sables pourrait correspondre à la période post-exploitation (1980-96) (vert au premier plan à gauche sur la Figure 14) ;
- une couche d'argiles pluridécimétrique recouvrant tous les faciès précédents matérialise les dépôts de la dernière phase inter-vidanges 1996-2006 (marron sur la Figure 14).

La Figure 15 reprend les différentes phases successives de sédimentation intervenues au confluent du Combret avec la Dordogne.

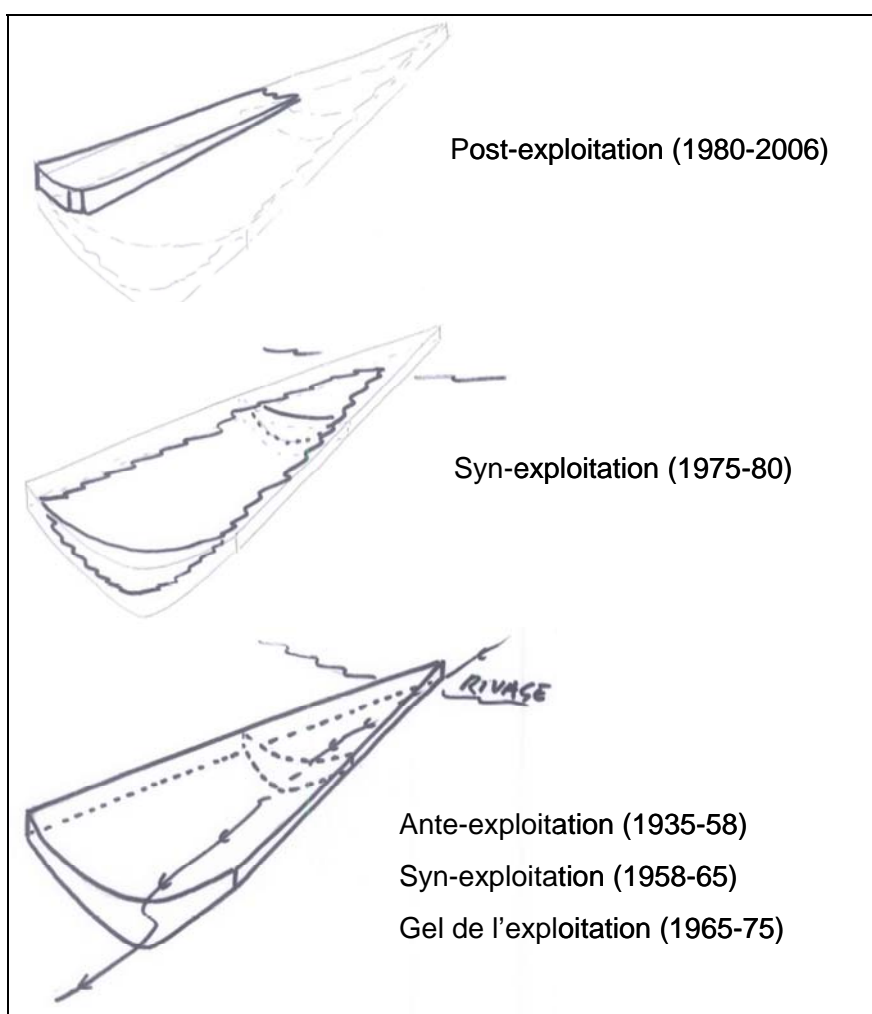


Figure 15 : Phases successives de sédimentation à la confluence Combret/Dordogne

La chronologie relative des dépôts a été globalement validée par des dosages de césium 137 réalisés sur 13 échantillons prélevés dans les argiles et répartis dans les quatre ensembles [13].

L'identification des dépôts et l'établissement d'une chronologie relative a permis de sélectionner les sites de prélèvement de carottes destinées aux analyses C 95-97-98. Chaque carotte correspond à un des ensembles définis précédemment (cf. Photo 3).

5.3.3 ANOMALES RADIAMÉTRIQUES

Quatre anomalies ont été décelées à l'issue des repérages radiométriques. Elles sont marquées chacune par une étoile rouge sur la Figure 16.

Trois d'entre elles (localisées au sein des argiles) semblent correspondre à des sédiments contemporains du début de la première phase d'exploitation (ca 1958) ; ces anomalies sont localisées à la base de la partie supérieure de l'ensemble basal (cf. Figure 15).

La quatrième anomalie, repérée en rive gauche du Combret et située plus près de la passerelle, est liée à un contact d'oxydo-réduction sables/argiles.

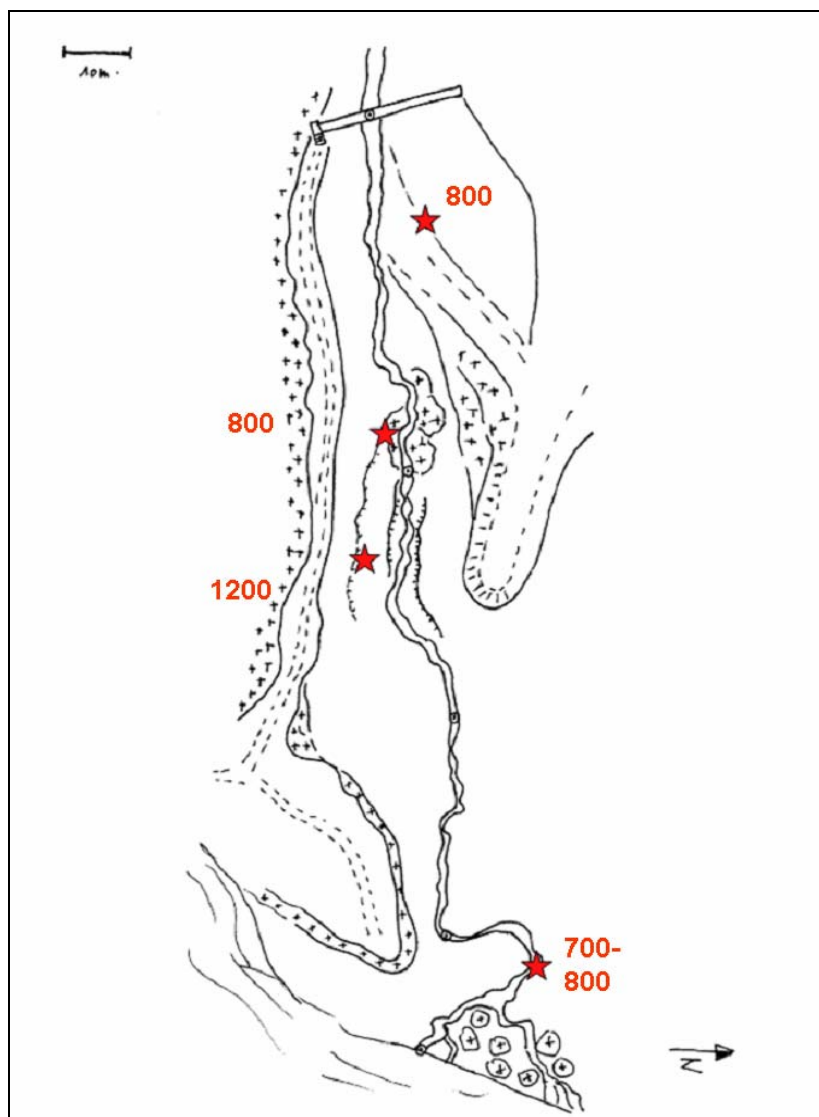


Figure 16 . Anomalies radiométriques dans la partie supérieure de l'ensemble basal (chocs par seconde SPP2 sans grattage)

Par ailleurs l'étude a permis de montrer notamment après analyse des sédiments qu'il n'y a pas actuellement de marquage radiométrique provenant du site réhabilité exprimée sous forme d'anomalie dans les sédiments les plus récents.

5.4 ANALYSES

Les mesures ont porté sur un total de 30 échantillons, strates ou fractions de sédiments. Tous les sédiments ainsi que le biofilm ont fait l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma dans les laboratoires IRSN de Fontenay aux Roses.

Par cette technique, l'uranium 238 est mesuré à partir des raies caractéristiques de son descendant immédiat le thorium 234 ; le radium 226 est mesuré par ses descendants le plomb 214 et le bismuth 214 en admettant qu'ils sont en équilibre séculaire avec lui.

Les mesures ont été effectuées sur le sédiment séché à 105°C puis tamisé à 2 mm.

Deux des échantillons du plan d'eau ont fait l'objet d'une analyse sur 2 fractions de granulométrie différente.

Une attention particulière a été portée à la fraction argileuse, la fraction sableuse, due essentiellement au tri du minerai au jet lors de l'exploitation, étant la plus faiblement radioactive. Seules les strates argileuses des carottes prélevées sur le delta du Combret, censées contenir l'essentiel de la radioactivité, ont donné lieu à une analyse gamma. Une granulométrie de ces argiles a été effectuée.

L'ensemble des résultats est reporté dans les tableaux figurant en Annexe 9 et en Annexe 10.

5.5 RESULTATS

5.5.1 BIOFILM

Un échantillon de biofilm a été prélevé à l'intérieur du site dans le fossé longeant la réserve d'eau, précisément avant sa partie canalisée lors de la mission IRSN de la fin mai 2006. L'apparition de biofilm avait été observée déjà un peu en amont sur ce fossé. A l'endroit du prélèvement, le biofilm était particulièrement développé et constituait une couche d'environ 3 cm d'épaisseur, translucide, orangée et gélatineuse à la surface de l'eau.

Ce produit possède une très forte teneur en eau, en effet le taux d'humidité déterminé après séchage à 105°C est de 98,9%.

Les résultats de spectrométrie gamma montrent la présence prépondérante du radium 226 par rapport aux autres éléments de la famille de l'uranium 238. L'activité en radium 226 mesurée est de 70 000 Bq.kg⁻¹ de matière sèche, ce qui correspond à 700 Bq.kg⁻¹ de produit humide, (l'activité du radium 226 a été mesurée par ses descendants le plomb 214 et le bismuth 214).

L'activité du thorium 234 et celle du plomb 210 sont inférieures d'un ordre de grandeur (facteur 20).

L'activité du plomb 212, radionucléide de la famille du thorium 232, est beaucoup plus faible, inférieure de 3 ordres de grandeur à celle du radium 226.

En ce qui concerne l'uranium 235, son activité est inférieure au seuil de décision (< 250 Bq.kg⁻¹ sec), ce qui est cohérent avec l'activité du thorium 234.

L'activité du potassium 40 est inférieure au seuil de décision de sa mesure par spectrométrie gamma (< 250 Bq.kg⁻¹ sec).

On constate donc que ce biofilm, dont la présence est saisonnière, a la faculté de concentrer le radium 226.

5.5.2 SEDIMENTS

Le constat général sur les niveaux d'activité mesurés pour les radionucléides naturels dans l'ensemble des sédiments analysés est que ceux-ci sont caractéristiques d'une région uranifère. L'observation détaillée des résultats est déclinée ci-après en fonction de leur secteur géographique.

5.5.2.1 Dans le périmètre du site

Le fossé drainant l'intérieur du site a été analysé en un point de la zone marécageuse où il se forme, au sud-ouest du site, ainsi qu'en aval juste à la sortie du site du côté nord, ce fossé se situe sur le tracé de l'ancien chenal du baryum. Dans les deux cas les radionucléides constituant la famille de l'uranium 238 sont en équilibre, les activités en aval du site sont le double de celles constatées dans la partie amont. Activités du thorium 234 : 1 760 Bq.kg⁻¹ (en aval) à comparer à 860 Bq.kg⁻¹ (en amont) mesurées sur le produit sec.

Deux prélèvements ont été analysés au niveau de la réserve d'eau :

- un prélèvement de sédiment sous eau au niveau du coin pêcheur, qui en fait s'est révélé être de la terre de berge nettement constituée d'argile ;
- un prélèvement au fond de la réserve d'eau, dans sa partie centrale, très riche en matière organique d'origine végétale.

Les valeurs maximales ont été observées dans la partie centrale de la réserve avec une activité du thorium 234 de 6 400 Bq.kg⁻¹ de matière sèche. Les descendants mesurés : thorium 230, plomb 214, bismuth 214, plomb 210 sont présents à des teneurs voisines de l'équilibre radioactif. Les activités plus importantes observées sur le sédiment du fond de la réserve sont certainement dues à la capacité de piégeage des radioéléments par la matière organique et les particules d'argiles fines.

Le plomb 212 appartenant à la famille du thorium 232 est présent dans tous les échantillons à des teneurs comprises entre 50 et 100 Bq.kg⁻¹ sec.

La terre de berge du coin pêcheur est la seule à présenter un léger déséquilibre radioactif en faveur du thorium 234 et donc de l'uranium 238.

5.5.2.2 Le côté nord-ouest du site

Ce prélèvement de sédiment a été effectué dans le pré de la propriété Marion situé entre la route de Teldes et la route de Chaissac. Il a été réalisé dans le fossé tracé pour recueillir les eaux de ruissellement de la parcelle et orienté vers le nord, il n'y avait pas d'eau dans le fossé au moment du prélèvement.

Les résultats observés sont analogues à ceux observés sur le sédiment de la partie amont du fossé drainant l'intérieur du site minier réaménagé. Les radionucléides de la famille de l'uranium sont proches de l'équilibre et les activités avoisinent les 1 000 Bq.kg⁻¹ de matière sèche.

5.5.2.3 Les sédiments du plan d'eau

Le côté nord du plan d'eau a donné lieu à des séries de trois prélèvements suivant trois profils en vue de déterminer les zones les plus marquées à partir des arrivées d'eau :

- débouché du drain D au droit de la buvette recueillant les eaux du puits Gérémy, du stand de tir et d'une arrivée côté ouest hors influence du site minier ;
- débouché du fossé C qui recueille les eaux arrivant du côté du nouveau lotissement en longeant la parcelle Gérémy. Cette eau stagne en bas de la parcelle Gérémy avant d'aboutir au plan d'eau ;
- débouché de Font de Pérou. Cette eau est issue du fossé précédent, mais elle se situe dans la partie vive du fossé et se déverse dans le plan d'eau avant la zone de stagnation des eaux.

Sur chaque profil, les prélèvements ont été faits à proximité du bord et jusqu'à une distance d'environ 70-80 mètres de la berge.

En septembre 2006, le plan d'eau était sous eau depuis plus de 9 mois, lors des opérations de prélèvement il a été recueilli de la matière organique en abondance, due à la décomposition des joncs et roseaux qui s'étaient développés lors du maintien en basses eaux du plan d'eau après la vidange d'octobre 2004.

Malgré les incertitudes sur la position des points : position du bateau non fixe (dérive pendant le prélèvement), et sur la représentativité des échantillons : sédiments peu abondants, forte présence de matière organique, il ressort des analyses de spectrométrie gamma sur les 9 échantillons recueillis au fond du plan d'eau les observations suivantes :

- sur tous les échantillons, l'activité du thorium 234, et donc de l'uranium 238, est prépondérante par rapport à l'ensemble des descendants de la famille de l'uranium 238, en moyenne d'un facteur 6 ;
- les activités les plus importantes ont été observées au droit du fossé C sous la parcelle Gérémy (^{234}Th : 7200 Bq.kg⁻¹ de matière sèche à 15-20 mètres du bord, 4330 Bq.kg⁻¹ de matière sèche à 70-80m vers le centre du plan d'eau) ;
- à 15-20 mètres de la sortie Font de Pérou on observe pour le thorium 234 encore 3280 Bq.kg⁻¹ de matière sèche ;
- de même à 20 mètres au droit de la sortie buvette on mesure pour le thorium 234 : 2900 Bq.kg⁻¹ de matière sèche.

Le même déséquilibre en faveur du thorium 234 avait été observé par l'IRSN en janvier 2006 sur des argiles prélevées à 1 mètre du bord au niveau du débouché de Font de Pérou. Ces échantillons ont été analysés suivant 2 fractions granulométriques différentes : les fractions 0-200 µm et 200 µm-2 mm. La radioactivité est plus importante dans la classe de particules 0-200 µm d'environ un facteur 2 pour l'ensemble des radionucléides mesurés, mis à part pour le potassium 40.

Comme on l'a vu au § 4.4.4 dans l'examen des résultats obtenus sur les eaux, le pH acide des eaux circulant dans les drains favorise la mise en solution de l'uranium et autres métaux dont le fer dans les eaux de ruissellement. Au débouché dans le plan d'eau les conditions sont réunies pour la complexation des ions uranyle : l'élévation du pH à une valeur de 6-7 favorise la formation d'hydroxydes insolubles sur lesquels se piège l'uranium (sorption de UO_2 sur les colloïdes), par ailleurs la présence de matière organique favorise la complexation des ions uranyle avec les substances humiques [14], [15].

Le débouché du fossé C apparaît le plus marqué avec un point maximum à 15-20 mètres du bord. Mais on n'observe pas de véritable variabilité spatiale à partir des 3 arrivées d'eau, ni lorsqu'on s'éloigne de la berge nord. Ces observations sont peu différentes des résultats obtenus par la CRIIRAD ou l'IRSN précédemment sur ce secteur.

Il faut cependant signaler le fait que les sédiments analysés en septembre 2006 sont très chargés en matière organique qui se comporte comme un piège pour l'uranium.

Il faut rappeler également que les sédiments de la berge ouest, utilisée jusque-là pour la baignade, présentent une radioactivité plus faible que ceux au droit des arrivées nord et que le déséquilibre en faveur de l'uranium est peu marqué dans cette zone de baignade (analyses IRSN 2000 et 2004).

5.5.2.4 Les sédiments du Combret

Le Combret en amont du rejet

Le prélèvement a été effectué en un point proche de l'ancienne station de pompage, environ 100 mètres avant le rejet de l'exutoire nord du site dans le Combret. Il s'agissait de dépôts superficiels argileux.

Les résultats montrent une radioactivité naturelle très faible :

- les activités sont à l'équilibre pour la famille de l'uranium 238 et de l'ordre de $60 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$,
- l'activité du plomb 212 de la famille du thorium 232 est équivalente,
- la présence de potassium 40.

L'exutoire principal du nord du site

Le prélèvement a été effectué juste avant le confluent dans le Combret, là encore dans les dépôts superficiels.

La radioactivité de l'échantillon est encore très faible, mais les activités mesurées pour les représentants de la famille de l'uranium 238 sont légèrement plus élevées, les activités sont à l'équilibre, l'ordre de grandeur se situe autour de $120 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$.

Le delta du Combret

Les prélèvements ont été réalisés au cours de la vidange de la Dordogne sur le site du Mentier au niveau du delta formé par le Combret avant son confluent avec la Dordogne, cf. la carte de la Figure 6.

Les sédiments étaient totalement découverts sur une centaine de mètres jusqu'au niveau de l'ancien lit de la Dordogne.

Les points de prélèvement ont été choisis après une étude géologique de terrain entreprise par l'IRSN comme cela est exposé dans la section § 5.3.

Les prélèvements ont fait l'objet de 3 carottages de plus d'un mètre de profondeur. L'analyse a porté sur les strates argileuses.

L'analyse granulométrique des argiles a montré que les échantillons étaient constitués à 70-80% de particules de diamètre inférieur à 200 microns.

La radioactivité de l'ensemble des sédiments analysés sur le delta du Combret est plus élevée que celle qui a été mesurée au point amont et dans l'exutoire côté nord, excepté pour le potassium 40.

- pour le plomb 212 (famille du thorium 232), la concentration est environ 40% supérieure à celle du sédiment prélevé à l'amont ;
- pour la famille de l'uranium 238, les concentrations sont supérieures d'un facteur 5 environ par rapport au sédiment de l'amont du Combret.

Dans ces sédiments de l'exutoire du Combret, il est à noter que l'activité du thorium 234 est environ 20 à 30% supérieure à l'activité du radium 226 pour tous les échantillons ; cette situation est explicable par la complexation de l'uranium avec la matière organique d'origine végétale, il a en effet été observé des couches de feuilles d'arbres piégées entre les strates de sédiments, cf. Photo 4. Ce phénomène de piégeage de l'uranium est beaucoup plus limité que du côté du plan d'eau, la teneur en matière organique étant de l'ordre de 15 à 18% pour les sédiments, alors que dans ceux du plan d'eau la teneur en matières organiques dépasse les 30%.



Photo 4 : Lits de feuilles piégés sur les berges du Combret au-dessus du carottage C98

L'estimation de la période de constitution des dépôts sédimentaires a été évaluée par le géologue de l'IRSN et confortée par la mesure des dépôts de césium 137. La radioactivité des strates argileuses est mise en perspective avec leur âge présumé dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Radioactivité des strates argileuses et des sédiments de surface en perspective avec la période présumée des dépôts

Point	Profondeur cm	²³⁴ Th Bq.kg ⁻¹ sec	²²⁶ Ra Bq.kg ⁻¹ sec	²¹⁰ Pb Bq.kg ⁻¹ sec	Période de dépôt correspondante
C110	Surface	326	229	233	Intervidange 1996-2006
C111	Surface	290	202	230	Intervidange 1996-2006
C97 bis	Surface	225	173	205	Intervidange 1996-2006
C97	23-47	269	195	194	Post-exploitation (1980-96)
C97	58-94	550	456	450	Post-exploitation (1980-96)?
C98	48-75	600	479	450	Pendant exploitation (1975-80)
C95	15-29	630	305	320	Pendant exploitation (1958-75)
C95	29-45	404	233	245	Idem
C95	46-59	260	152	188	Idem
C95	69-87	650	298	330	Avant exploitation (<1958)

Comme on peut l'observer sur le *Tableau 2*, il n'y a pas de différence marquée pour les niveaux de radioactivité entre les différentes strates. La strate la plus profonde est au moins aussi marquée que les strates formées lors de l'exploitation du site de Saint Pierre. Les dépôts actuels semblent un peu moins radioactifs.

En résumé et pour reprendre les explications du § 5.3, les points chauds existant ne sont pas forcément dus à l'exploitation minière, ils peuvent parfaitement correspondre à des zones de formation du minerai.

6 RADON ET POUSSIÈRES DANS L'AIR EXTERIEUR

6.1 RADON ATMOSPHERIQUE AU SUD DU SITE

6.1.1 OBJECTIF

Une précédente mission de l'IPSN (ancien IRSN) en 1993 avait conduit à mettre en évidence une augmentation des concentrations en radon le long du Combret au nord du site, l'objectif des

investigations envisagées était de compléter ces observations dans le secteur sud du site afin d'évaluer les possibilités de transfert de radon vers le plan d'eau puis en direction du ruisseau de Gioux.

6.1.2 MOYENS

Pour ce qui concerne le radon atmosphérique, l'IRSN a effectué un relevé au moyen d'un camion laboratoire équipé pour réaliser des mesures en continu du radon atmosphérique le long d'un parcours déterminé. Le parcours sera défini de manière à explorer la zone située au sud du site, en incluant le secteur du plan d'eau (chalet) et le village de Gioux. Le relevé a été effectué aux heures correspondant aux périodes d'inversion de température (soirée et début de nuit). La démarche utilisée est identique à celle mise en œuvre lors de la mission effectuée par l'IPSN en 1993 dans la zone nord du site et qui avait conduit à mettre en évidence des concentrations en radon plus élevées le long du Combret.

6.1.3 MISE EN ŒUVRE DES MESURES ET RESULTATS

Les mesures d'activité volumique du radon dans les secteurs du plan d'eau et de Gioux ont été mises en œuvre à l'aide du Laboratoire Mobile de l'IRSN/LERAR, la chaîne d'acquisition de mesure de l'activité volumique du radon ayant été étalonnée en mars 2005. Le laboratoire mobile est présenté en Annexe 7.

Les mesures ponctuelles ont été réalisées le 31 juillet 2006 à 23 heures par temps sec, avec des conditions météorologiques aussi stables que possible, un pas d'acquisition de 5 mètres et à vitesse, inférieure à 25 km.h⁻¹.

Il est à préciser qu'une mesure ponctuelle ne fournit qu'une photographie de l'activité volumique du radon à un instant donné et que son résultat ne peut être considéré comme représentatif d'une valeur moyenne annuelle.

L'ensemble des mesures est représenté sur la Figure 17. Aucune mesure autour du plan d'eau et du village de Gioux ne dépasse 55 Bq.m⁻³. Il est à noter que quelques centaines de becquerels par mètre cube ont été mesurées à proximité de l'ancien site minier en direction du Combret, juste en aval de la digue.

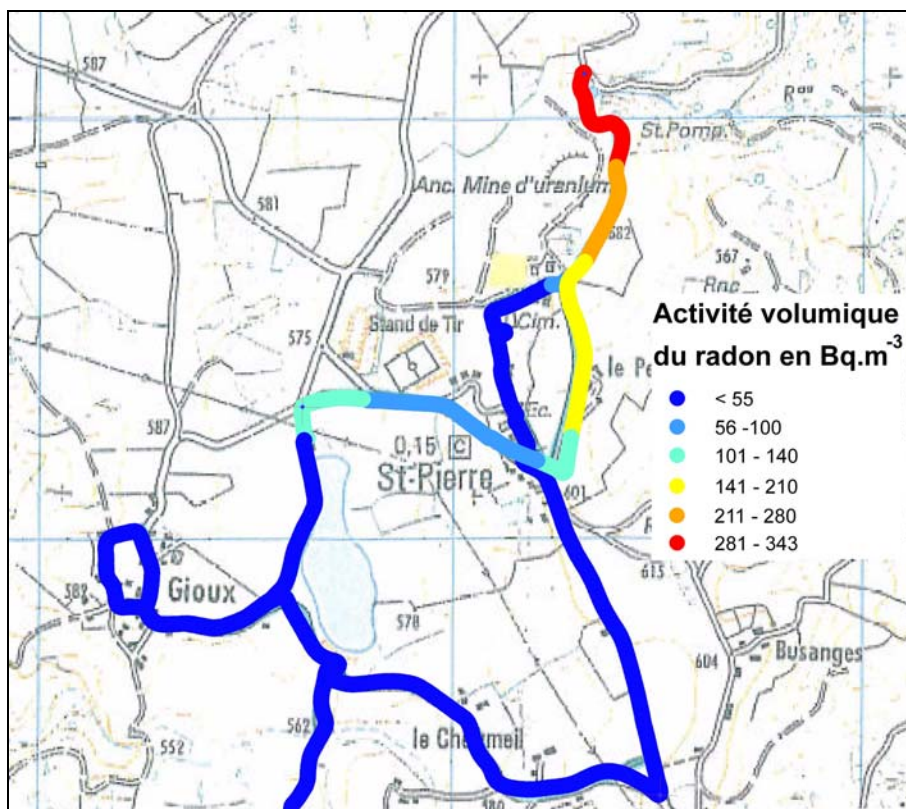


Figure 17 : Restitution cartographique des mesures de radon réalisées à 23 heures.

6.1.4 CONCLUSION

Les valeurs d'activité volumique du radon, mesurées ponctuellement le 31 juillet 2006 à l'aide du Laboratoire Mobile du LERAR/IRSN le long d'un itinéraire prédéfini autour du plan d'eau et du village de Gioux, ne dépassent pas 55 Bq.m^{-3} .

6.2 RADIOACTIVITE ALPHA DES POUSSIÈRES

6.2.1 OBJECTIF

L'objectif est double :

- effectuer des mesures en milieu hors influence du site mais de contexte géologique similaire et étudier la possibilité d'un site de référence local protégé des vents du site par le Puy de Teldes ;
- améliorer la précision des données obtenues par la société ALGADE dans le cadre des contrôles mensuels.

6.2.2 MOYENS

Le mardi 1er août, deux aspirateurs d'air ont été placés l'un sur le site à proximité du dosimètre de site du camping, l'autre chez un particulier à Teldes. Ces deux emplacements ont été choisis en vue

de la comparaison de la radioactivité alpha globale (radionucléides à vie longue) des poussières atmosphériques prélevées respectivement sur le site et sur son environnement.

Le retrait des filtres a été effectué en fin de semaine 32 par l'équipe de l'IRSN responsable de la cartographie. Le temps d'aspiration initialement prévu sur 5 jours a été augmenté afin de tenir compte des conditions météorologiques (précipitations susceptibles d'abaisser sensiblement le taux d'empoussièrement).

Le débit des préleveurs d'air (entre 200 et 250 m³.j⁻¹) a été choisi afin de permettre d'effectuer les mesures de radioactivité alpha globale à un niveau inférieur à la limite de détection de 1 mBq.m⁻³ assurée par ALGADE pour AREVA NC. Les filtres utilisés étaient des filtres en fibre de cellulose de diamètre 5,1 cm.

6.2.3 RESULTATS

Les résultats des mesures alpha globale des poussières atmosphériques apparaissent dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Radioactivité alpha globale des poussières

Localisation de l'aspirateur	Date de fonctionnement	Poids des poussières (mg)	Volume aspiré (m ³)	Radioactivité alpha globale (mBq.m ⁻³)
Site entre bureaux et clôture du camping	01-10/08/06	20,89	2220,31	0,011±0,003
Hameau de Teldes	01-10/08/06	34,98	1872,90	0,013±0,003

Les résultats obtenus montrent que :

- le taux d'empoussièrement est très faible ;
- la radioactivité alpha globale est du même ordre de grandeur sur le site et en un point représentatif du milieu naturel (hameau de Teldes) ;
- il s'agit de valeurs significatives du point de vue de la mesure, elles se situent un facteur 80 en dessous de la limite de détection du dispositif de routine utilisé par AREVA NC.

6.3 ENERGIE ALPHA POTENTIELLE VOLUMIQUE DES DESCENDANTS SOLIDES DU RADON ET IRRADIATION GAMMA AMBIANTE EN MILIEU NATUREL

6.3.1 OBJECTIF

Comme indiqué au § 6.2, l'objectif est d'obtenir des valeurs représentatives de la radioactivité du milieu naturel et éventuellement de ses variations, et par ailleurs d'identifier un emplacement en vue de l'implantation d'une station de référence.

6.3.2 MOYENS

Deux dosimètres de site ont été placés chez des particuliers à quelques kilomètres du site, au N-NO dans le hameau de Chaissac (verger de Monsieur Boboul) et au NO dans celui de Teldes (pré de monsieur Mornac), situés tous deux dans la concession AREVA NC de Puy de Teldes. Ce matériel a été mis en place par l'IRSN et le traitement des dosimètres a été effectué par la société ALGADE.

Ces appareils ont été laissés en place 3 mois avec un changement mensuel des têtes de mesure par l'IRSN.

6.3.3 RESULTATS

6.3.3.1 Mesure de l'énergie alpha potentielle

Les résultats des mesures d'énergie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte du radon 222 (EAP_{V222}) et du radon 220 (EAP_{V220}) obtenues à l'aide des dosimètres de site sont reportés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des mesures d'énergie alpha potentielle

Localisation	Période de mise en place	EAP_{V222} nJ.m ⁻³	EAP_{V220} nJ.m ⁻³	Observations
Chaissac (verger M. Boboul)	01/08-04/09/06	71 ± 16	15 ± 3	
	04/09-04/10/06	97 ± 22	14 ± 3	
	04/10-09/11/06	81 ± 19	13 ± 3	
Teldes (pré M. Mornac)	01/08-04/09/06	80 ± 19	15 ± 3	
	04/09-04/10/06	259 ± 59	33 ± 7	<i>Mesures non représentatives</i>
	04/10-09/11/06	95 ± 22	13 ± 3	

Les résultats obtenus pour le mois de novembre sur le dosimètre de Teldes ne sont pas représentatifs de la situation ambiante, l'appareil étant tombé plusieurs fois au sol.

Compte tenu des incertitudes de mesure, les résultats d'EAP sont comparables à Chaissac et Teldes pour le radon et le thoron.

Ces niveaux ne sont pas très différents de ceux obtenus au niveau du camping par AREVA NC au cours des 10 dernières années de surveillance (résultats des contrôles transmis par AREVA NC).

6.3.3.2 Mesures d'irradiation gamma ambiante

Des mesures de débit de dose gamma ambiant ont été effectuées avec une sonde de détection bas niveau à l'extérieur au voisinage des supports des dosimètres.

L'appareil utilisé était la sonde Saphymo n°4 6150 ADb n°118220 / AD2/4/6 n°116219 étalonnée le 28 décembre 2004, l'incertitude de mesure associée est de l'ordre de 30%.

Un balayage d'un rayon de 10 mètres autour des pieds supports des dosimètres a donné :

- Chaissac : 160 à 180 nSv.h⁻¹ à 50 cm du sol ;
- Teldes : 160 à 190 nSv.h⁻¹ à 50 cm du sol.

Ces mesures sont cohérentes avec les niveaux considérés comme représentatifs du bruit de fond naturel autour de Saint Pierre et observés par plusieurs laboratoires lors d'études antérieures.

7 RADON DANS L'AIR INTERIEUR

7.1 OBJECTIF

L'objectif était de compléter les mesures dans l'environnement par des mesures dans certains bâtiments. La localisation de constructions (lotissement, stand de tir, ateliers municipaux en particulier) à proximité immédiate de l'ancien site et les interrogations relatives à la nature des matériaux de soubassements soulevées lors des discussions préparatoires à la phase 2 ont amené les différents intervenants à considérer ces mesures utiles dans le cadre de l'expertise en cours.

7.2 MOYENS

Conformément aux décisions arrêtées lors de la réunion de la CLI le 19 mai 2006 [6], l'IRSN a réalisé une campagne de mesure du radon relativement exhaustive incluant la plupart des habitations ou bâtiments en dur à proximité du site ainsi que quelques habitations situées dans des hameaux hors influence et pouvant constituer une référence milieu naturel.

Les mesures réalisées par l'IRSN dans le cadre de l'expertise en cours ont ainsi concerné 18 habitations dont 14 maisons à Saint Pierre, ainsi qu'une maison au lieu-dit Les Baraques, une au lieu-dit Buzanges et deux maisons, respectivement dans les hameaux de Teldes et de Chaissac. Les dosimètres ont été déposés dans ces habitations pour une période de trois mois. Ils ont été

développés par la société ALGADE qui a communiqué les résultats à l'IRSN le 12 février 2007. Les mesures de dépistage du radon ont été effectuées en commun avec la CRIIRAD dans 5 habitations.

Les mesures de radon ont été conduites de manière à évaluer le niveau d'exposition associé à l'occupation des bâtiments dans des conditions normales et ont donc été menées conformément à la norme AFNOR NF M60 771. En application de cette norme, au minimum 2 capteurs ont été mis en place par bâtiment.

7.3 RESULTATS

Les résultats de ces investigations montrent que :

- 3 maisons, dont une également investiguée par la CRIIRAD, présentent des concentrations de radon comprises entre 400 Bq.m^{-3} et 1000 Bq.m^{-3} , une de ces habitations se situe en dehors du bourg de Saint Pierre ;
- 5 maisons, dont 2 également investiguées par la CRIIRAD, présentent des concentrations de radon au dessus de 1000 Bq.m^{-3} .

Les résultats des mesures de dépistage du radon menées par l'IRSN sont détaillés dans le Tableau 5.

Pour ce qui est des maisons réalisées en doublon, les résultats de l'IRSN confirment les résultats obtenus par la CRIIRAD.

Tableau 5 : Campagne IRSN de mesures du radon dans les habitations du bourg de Saint Pierre par l'IRSN

Localisation	Bâtiment	Date de pose des dosimètres	Date de dépose des dosimètres	Radon 222 (Bq.m ⁻³)
Bourg de Saint Pierre	1	16/10/2006	10/01/2007	32
	2	17/10/2006	09/01/2007	5762
	3	16/10/2006	09/01/2007	6050
	4	17/10/2006	09/01/2007	931
	5	16/10/2006	09/01/2007	87
	6	16/10/2006	09/01/2007	66
	7	17/10/2006	09/01/2007	22
	8	16/10/2006	09/01/2007	121
	9	17/10/2006	09/01/2007	22
	10	17/10/2006	09/01/2007	1645
	11	17/10/2006	09/01/2007	1706
	12	18/10/2006	10/01/2007	2322
	13	17/10/2006	09/01/2007	475
	14	17/10/2006	10/01/2007	303
Hameaux hors du bourg	15	16/10/2006	09/01/2007	90
				114
	16	16/10/2006	09/01/2007	22
				26
	17	17/10/2006	10/01/2007	726
			643	
	18	17/10/2006	10/01/2007	136
			132	

< 400 Bq.m⁻³
 Entre 400 et 1000 Bq.m⁻³
 >1000 Bq.m⁻³

Références réglementaires

A l'heure actuelle, il n'existe pas de référence réglementaire dans le code de la Santé Publique s'appliquant au cas des bâtiments à usage privé. Cependant il est possible de se référer à l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif à la gestion du risque radon dans les lieux ouverts au public, qui préconise deux seuils d'action :

- une première valeur de 400 Bq.m⁻³, au dessus de laquelle le propriétaire doit faire réaliser des actions simples visant à réduire l'exposition des personnes au radon ;
- une valeur de 1000 Bq.m⁻³, au dessus de laquelle le propriétaire doit faire réaliser sans délai des actions simples visant à réduire l'exposition des personnes au radon. Ces actions sont suivies immédiatement d'un diagnostic du bâtiment et de travaux visant à ramener les concentrations de radon en deçà de 400 Bq.m⁻³.

Suite donnée par l'IRSN

Les résultats des mesures précédentes ont fait l'objet d'un courrier spécifique adressé à la DRIRE du Puy de Dôme le 13 février 2007 et relayé à la préfecture du Cantal. Dans ce courrier l'IRSN recommande a minima la mise en œuvre immédiate d'actions simples visant à réduire la concentration en radon. Pour les 5 maisons présentant les activités les plus élevées, ces mesures

pourraient être suivies d'investigations complémentaires destinées à identifier la source et les voies d'entrée et de transfert du radon afin de pouvoir déterminer les actions de réhabilitation à mettre en œuvre.

Un rapport de dépistage a été transmis le 2 avril 2007 à chacun des occupants des 8 habitations présentant des concentrations de radon supérieures à 400 Bq.m⁻³. L'IRSN a prévu d'envoyer également un rapport de dépistage aux occupants des autres habitations.

Observations sur les résultats

Les valeurs maximales relevées ont été observées en majeure partie dans les maisons situées en haut du bourg non loin du cimetière et de l'ancien site.

La réalisation d'un diagnostic des bâtiments et d'investigations complémentaires devraient permettre d'indiquer l'origine du radon au même titre que les voies d'accès de ce gaz dans les maisons.

8 PRODUITS ALIMENTAIRES

8.1 OBJECTIF

L'analyse des études et données disponibles [3] effectuée lors de la première étape de l'expertise conduit l'IRSN à souligner : les limites de détection relativement élevées auxquelles sont associés les résultats de surveillance, l'utilisation d'une référence milieu naturel non représentative du contexte géologique du site. L'objectif des investigations ci-dessous est d'améliorer les connaissances sur ces 2 aspects. Ces investigations visent également à compléter les données disponibles pour certains produits consommés localement et pour lesquels les données sont peu nombreuses ou inexistantes.

8.2 MOYENS

L'IRSN a effectué une analyse radiologique complète des principaux produits alimentaires (produits du jardin et lait). Deux jeux de prélèvements similaires (3 produits végétaux et 1 échantillon de lait pour chaque jeu) ont été analysés : l'un en provenance d'un secteur proche du site et potentiellement sous influence, l'autre en provenance d'un secteur pouvant être considéré comme référence naturelle (i.e. hors influence et en contexte géologique similaire).

Par ailleurs, l'IRSN a effectué des analyses de poissons en provenance de la réserve d'eau localisée sur l'emprise du site (aucune donnée n'étant à ce jour disponible sur les poissons vivant dans ce plan d'eau), de poissons de la Dordogne ainsi que des analyses de champignons cueillis sur le secteur.

Les analyses des produits végétaux, du lait et des poissons ont comporté une mesure par spectrométrie gamma, la mesure du radium 226, des mesures d'uranium isotopique, de thorium

isotopique et la mesure du polonium 210 pour chaque jeu de prélèvements présumés sous et hors influence.

Les analyses effectuées sur les champignons se sont limitées à une mesure par spectrométrie gamma.

8.3 PRELEVEMENTS

L'IRSN a organisé une campagne de prélèvements au cours de la première semaine de septembre visant à recueillir les échantillons ciblés.

Produits du jardin

- Des légumes racines : betteraves rouges dans un jardin au lieu-dit Le Peil pouvant être considéré sous influence potentielle du site et à Chaissac en milieu naturel ;
- Des légumes feuilles : plusieurs échantillons de salades au lieu-dit Le Peil, dans le centre du bourg de Saint Pierre, à Chaissac et à Teldes en milieu naturel ;
- Des légumes fruits : poires cueillies dans le haut du bourg de Saint Pierre et à Chaissac ;
- Des champignons : russules ramassées sur le site à proximité de la réserve d'eau, ces champignons ont été prélevés avec l'aide de l'association « Pour notre qualité de vie » à Saint Pierre.

Lait de vache

- Dans une ferme située au lieu-dit Les Baraques. Les vaches paissant dans un secteur relativement proche du site (pâturages situés autour de la ferme à moins de 1 km à l'est de l'ancien site minier et au lieu dit Arcoude à proximité du bourg), le troupeau concerné est constitué de vaches frisonnes et montbéliardes ;
- Dans une ferme à Teldes en milieu géologique similaire à celui du site, le troupeau concerné est constitué de vaches de race prim'holstein.

Poissons

- Le prélèvement de poissons de la réserve d'eau du site a été réalisé par un pêcheur professionnel qui a disposé ses filets à partir d'une embarcation. Des gardons, constituant l'essentiel du peuplement, ont ainsi pu être capturés pour analyse ;
- Par ailleurs des poissons de la Dordogne ont été recueillis pendant la vidange du barrage de Marèges par l'intermédiaire du personnel de la Société hydroélectrique du Midi au cours de la semaine du 15 août 2006. Il s'agissait d'une part de gardons et d'autre part de brochets.

La localisation des prélèvements est reportée sur la Figure 18.

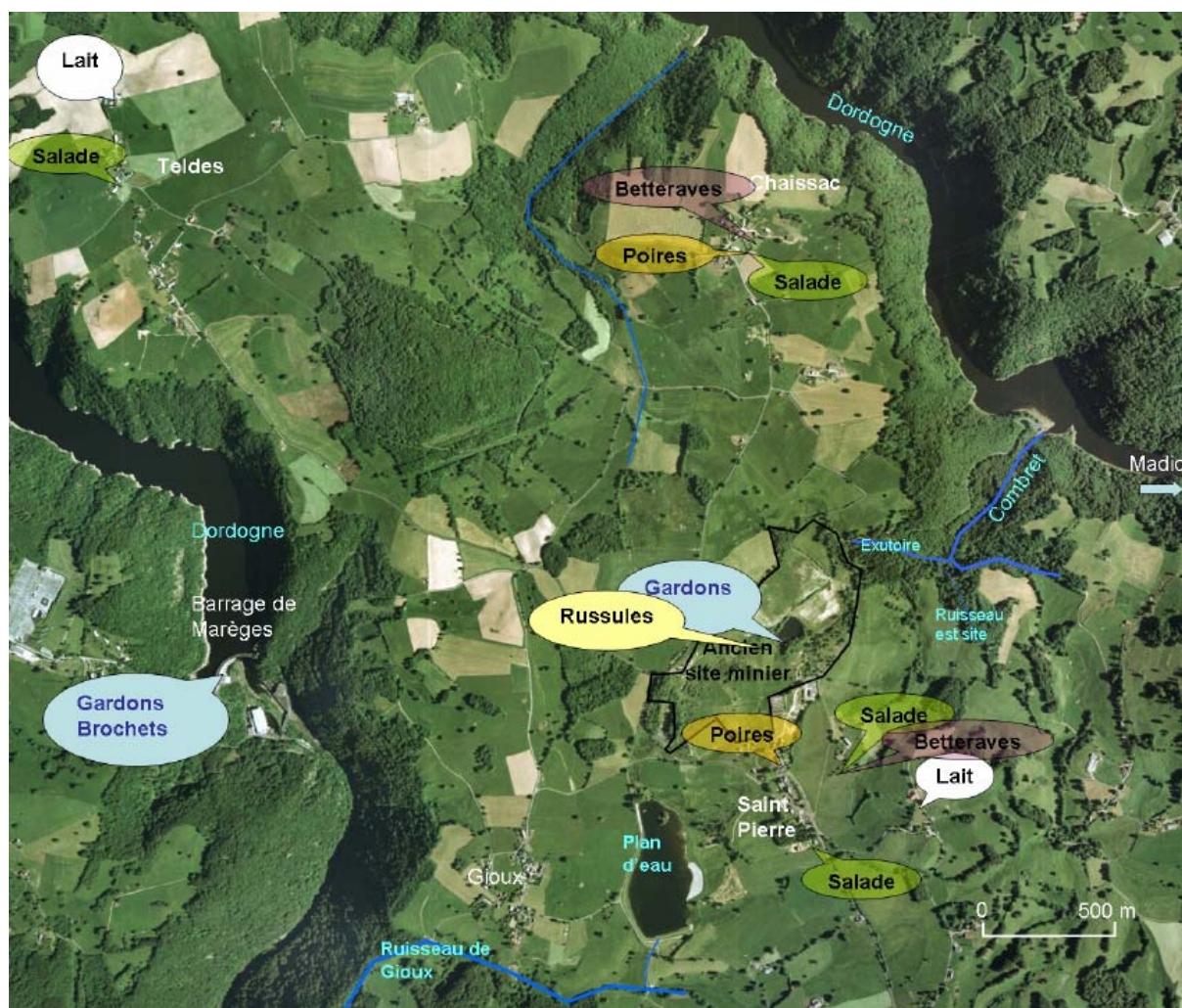


Figure 18 : Localisation des prélèvements de légumes, lait et poissons (d'après photographie IGN)

Il est à noter que l'arrosage des jardins sur lesquels les prélèvements ont été effectués se fait à partir de l'eau du réseau de distribution et non pas de celle des puits. Aucun jardin irrigué à partir d'eau de puits n'a pu être identifié. L'eau du réseau est extérieure à la commune.

En préliminaire aux analyses en laboratoire sur les végétaux échantillonnés, une mesure de débit de dose à 50 cm et au contact du sol a été effectuée à la sonde bas flux en vue de déterminer l'irradiation du sol ambiante à proximité des végétaux prélevés.

L'appareil utilisé était la sonde Saphymo n°4 6150 ADb n°118220 / AD2/4/6 n°116219 étalonnée le 28 décembre 2004, l'incertitude de mesure associée est de l'ordre de 30%.

Les résultats apparaissent dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Mesures du débit de dose dans les jardins et lieux où ont été prélevés des végétaux

Localisation		Débit de dose à 50 cm (nSv.h ⁻¹)	Débit de dose au contact (nSv.h ⁻¹)
Jardin Le Peil		250	280
Jardins haut du bourg de Saint Pierre	Jardin 1 Jardin 2	280 380	300 400
Jardin Chaissac		160-180	180
Jardin Teldes		160-190	180-190
Coin pêcheur près de la réserve d'eau du site		540	940

On constate que parmi les lieux investigués les débits de dose les plus élevés sont observés dans le haut du bourg et sur le site minier.

8.4 FRACTION ANALYSEE

Les analyses gamma ont porté sur les fractions suivantes :

- Légumes feuilles (salades) : les parties consommables ont été prélevées, nettoyées puis lyophilisées et conditionnées en géométrie de comptage standard ;
- Les betteraves (sans les fanes) ont été nettoyées, séchées par lyophilisation et conditionnées en géométrie de comptage standard ;
- Les poires ont été nettoyées, épépinées et équeutées, séchées par lyophilisation et conditionnées en géométrie de comptage standard ;
- Les champignons ont été nettoyés, séchés par lyophilisation et conditionnés en géométrie de comptage standard ;
- Les poissons ont été éviscérés, découpés puis conditionnés frais en vase de Marinelli de 2 litres (géométrie de comptage) ;
- Le lait : un échantillon de 6 litres a été lyophilisé puis conditionné en géométrie de comptage standard.

Une partie des échantillons a été calcinée à 520°C puis transmise pour comptage alpha après séparation chimique :

- uranium isotopique (²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁴U) ;
- thorium isotopique (²²⁸Th, ²³⁰Th, ²³²Th) ;
- radium 226.

La mesure du polonium 210 (comptage alpha) a porté sur le produit sec obtenu par lyophilisation.

Les champignons prélevés sur site, les salades du centre du bourg de Saint Pierre ainsi que celles du jardin de Teldes ont fait l'objet d'une spectrométrie gamma uniquement.

8.5 RESULTATS

Les résultats apparaissent dans les tableaux figurant en Annexe 11, Annexe 12 et Annexe 13.

8.5.1 PRODUITS DU JARDIN

8.5.1.1 Légumes racines : betteraves rouges

Les principaux commentaires après examen des résultats sont les suivants :

- Traces d'uranium 238 et 234 à l'équilibre et de thorium 230 pour les betteraves prélevées au Peil près du site, ces traces sont encore plus faibles dans le jardin de Chaissac ;
- Présence de radium 226 et de ses descendants le plomb 214 et le bismuth 214 ;
- Le plomb 210 et le polonium 210 sont inférieurs à la limite de détection dans les 2 échantillons, de même pour l'uranium 235 et la famille du thorium 232 : tous les résultats acquis sont inférieurs aux limites de détection, sauf traces de thorium 228 dans le jardin du Peil.

On observe que les activités de l'uranium sont très inférieures à celles du radium 226, du plomb 214 et du bismuth 214 : facteur 5 à 10 dans le cas de chaque jardin.

On observe un marquage plus important dans le jardin proche du site que dans le jardin considéré représentatif du milieu naturel : le facteur est de 5 pour ^{226}Ra , ^{214}Pb et ^{214}Bi , il est de 10 pour les isotopes de l'uranium.

Voir sur la Figure 19 les niveaux d'activité comparés entre le jardin proche du site et le jardin de référence.

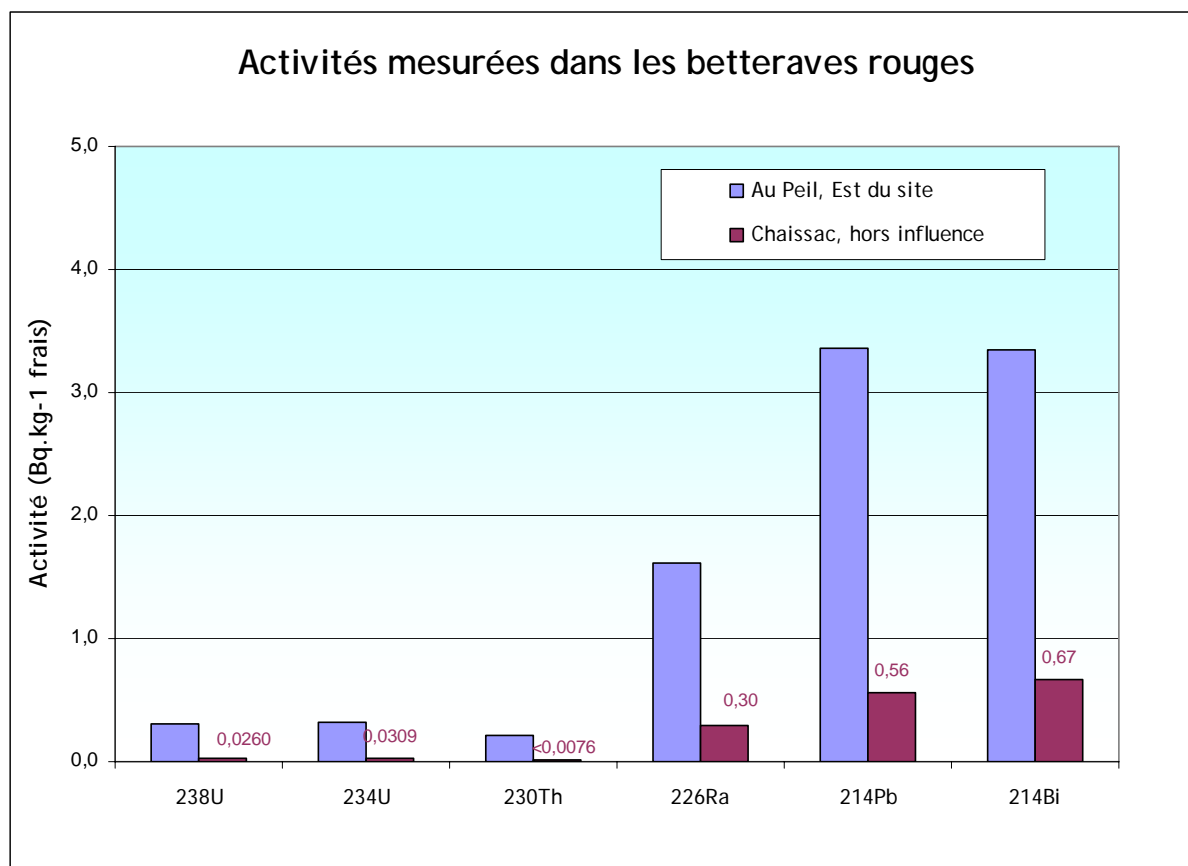


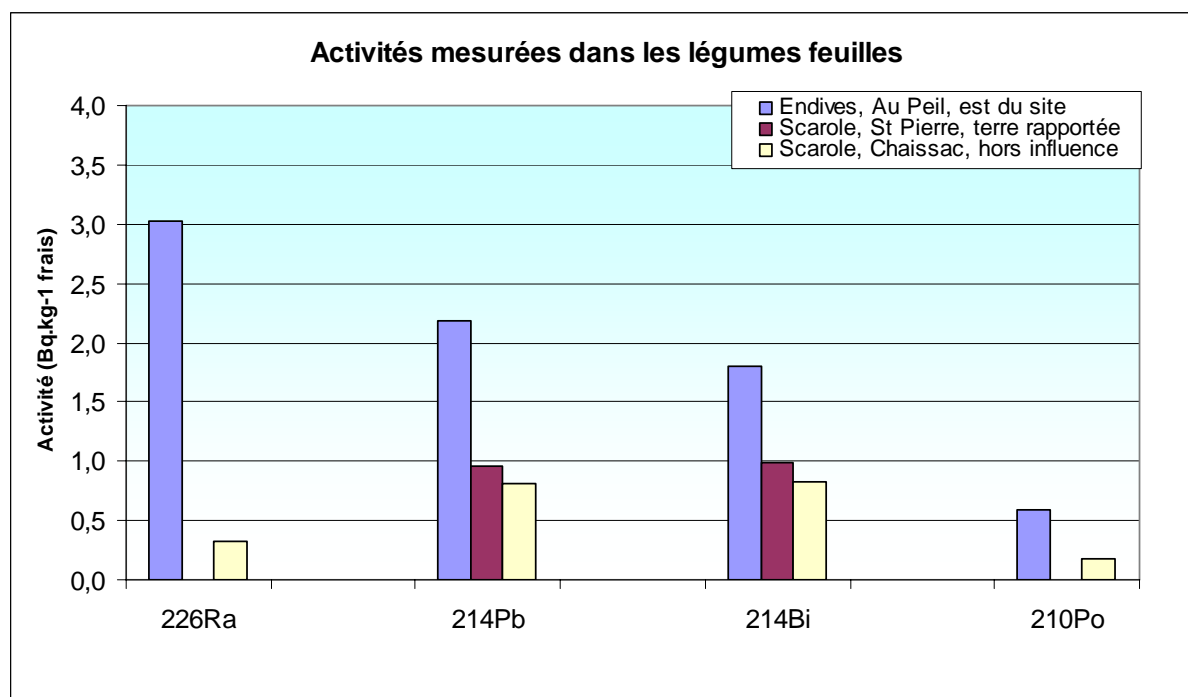
Figure 19 : Activités mesurées dans les betteraves rouges prélevées à Saint Pierre et à Chaissac

8.5.1.2 Légumes feuilles : salades

Les principaux commentaires après examen des résultats sont les suivants :

- Les résultats d'uranium 238 et 234 sont inférieurs à la limite de détection ;
- Traces de thorium 230 dans les endives du jardin du Peil, le thorium 230 est inférieur à la limite de détection dans les scaroles du jardin de Chaissac ;
- Présence de radium 226 (3,0 Bq.kg⁻¹ frais jardin Le Peil) à des niveaux 10 fois plus importants que dans les scaroles du jardin de Chaissac ;
- Présence de plomb 214 et de bismuth 214 dans le jardin du Peil et ainsi que dans les salades du jardin du centre bourg bien qu'en quantité inférieure ;
- Présence de polonium 210 (0,59 Bq.kg⁻¹ frais) dans le jardin du Peil à un niveau 3 fois plus élevé que dans les scaroles de Chaissac ;
- Le plomb 210 est inférieur à la limite de détection, ainsi que l'uranium 235 et les radionucléides de la famille du thorium 232.

Voir sur la Figure 20 les niveaux d'activité comparés entre le jardin proche du site, un jardin du centre bourg et le jardin de référence à Chaissac.



Nota : Mesures spécifiques de radium 226 et de polonium 210 non effectuées sur l'échantillon du centre bourg

Figure 20 : Activités mesurées dans les salades prélevées à Saint Pierre (lieu-dit Le Peil et centre bourg) et à Chaissac

Le marquage est plus important sur le site sous influence que dans le jardin hors influence. Le marquage est également légèrement supérieur dans le jardin où de la terre a été rapportée.

Pour un même jardin, la gamme d'activité observée dans les salades est semblable à celle des légumes racines, on observe toutefois un meilleur transfert du polonium 210 dans les salades par rapport aux betteraves.

8.5.1.3 Légumes fruits : poires

Les principaux commentaires après examen des résultats sont les suivants :

- Toutes les activités d'uranium 238, d'uranium 234 et de thorium 230 sont inférieures à la limite de détection à la fois pour les jardins du haut du bourg et pour celui de Chaissac ;
- Présence de radium 226 ($9,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais jardins du haut du bourg), à un niveau 7 fois plus important que dans les poires provenant du jardin de Chaissac ;
- Présence de 214Pb et 214Bi dans les jardins du haut du bourg, les activités sont du même ordre de grandeur que pour le radium 226 ;

- Présence de polonium 210 ($8,74 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais dans les jardins du haut du bourg), à des niveaux comparables à ceux obtenus pour le ^{226}Ra , ^{214}Pb et ^{214}Bi , cette activité est également 7 fois plus importante que pour les poires du jardin de Chaissac ;
- L'activité du plomb 210 est inférieure à la limite de détection ($3,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais) ;
- Traces de thorium 228, sinon pour l'uranium 235 et les autres radionucléides de la famille du thorium 232 : tous les résultats acquis sont inférieurs aux limites de détection.

Voir sur la Figure 21 les niveaux d'activité comparés entre les jardins du haut du bourg et le jardin de référence.

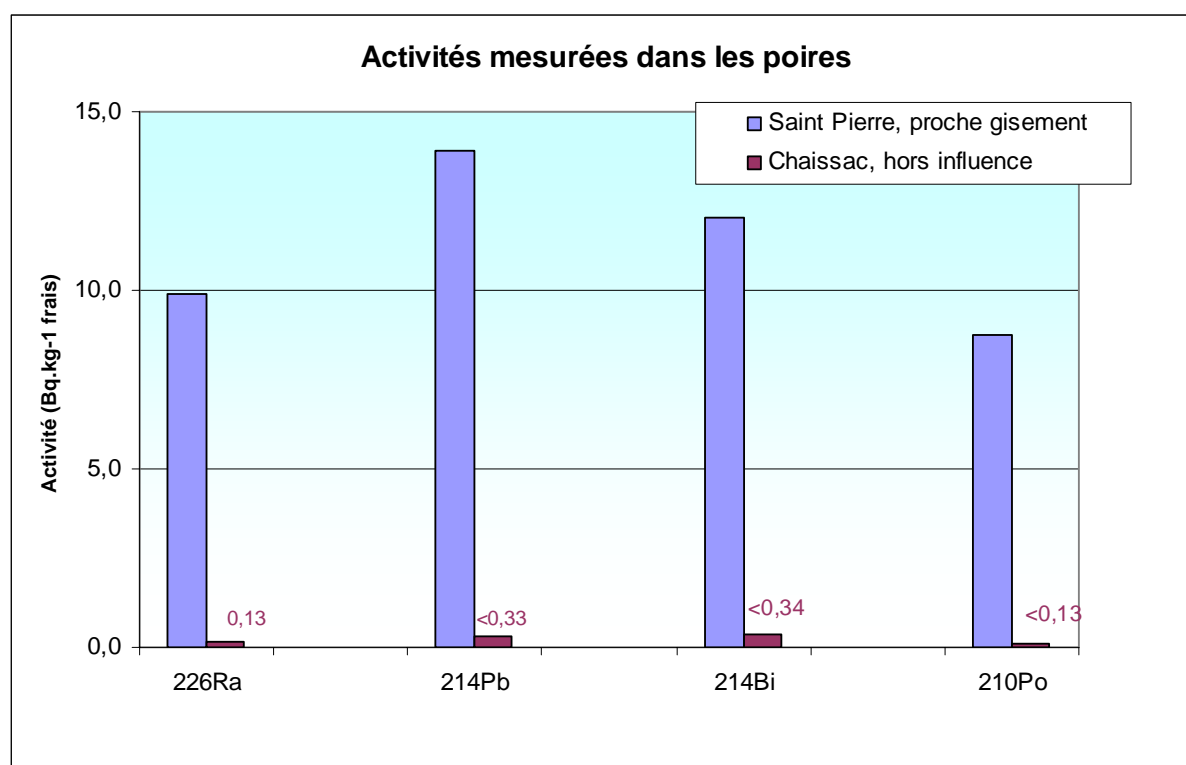


Figure 21 : Activités mesurées dans les poires prélevées à Saint Pierre (haut du bourg) et à Chaissac

Les activités les plus importantes pour le ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Po ont été observées dans les poires recueillies en haut du bourg, dans 2 jardins localisés non loin du cimetière. Ces activités sont à associer aux débits de dose observés de 200 à 400 nSv.h^{-1} au contact du sol sous les poiriers dans chacun des 2 jardins, cf. Tableau 6. Ces jardins sont à la fois voisins du haut du site, mais leur emplacement en haut du bourg correspond également à la proximité d'une zone minéralisée prolongeant le gisement exploité [12]. Ceci explique pourquoi la gamme d'activité des poires est supérieure à celle des légumes feuilles et des légumes racines échantillonnés dans le jardin du Peil situé à plus grande distance du site.

On observe dans les poires du haut du bourg des concentrations en radium 226 et ses descendants, dont le polonium 210, supérieures à celles en uranium et en thorium.

8.5.1.4 Champignons : russules

La spectrométrie gamma a montré la présence de ^{214}Pb et ^{214}Bi à hauteur de 0,81 et 0,66 Bq.kg⁻¹ frais, ces valeurs sont relativement peu importantes pour des champignons recueillis au milieu du site. Les activités sont du même niveau que celles des salades du bourg.

Les activités mesurées pour les radionucléides de la famille du thorium 232 et pour l'uranium 235 sont inférieures aux limites de détection.

8.5.1.5 Commentaire global

On observe une différence de marquage systématique dans les zones situées à proximité du site par rapport aux zones hors influence pour ce qui concerne le ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi et ^{210}Po . Les zones du haut du village et proches du site sont aussi localisées au droit des minéralisations non exploitées restées en place.

Dans les zones proches du site, le marquage est variable selon les végétaux prélevés :

- ^{238}U , ^{234}U : légumes racines > légumes feuilles et légumes fruits (poires) ;
- ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi : poires > légumes racines et légumes feuilles > champignons ;
- ^{210}Po : poires > légumes feuilles > légumes racines.

En ce qui concerne les poires analysées qui présentent les activités les plus élevées pour le radium 226, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 210, ces observations sont à tempérer par le fait que le sol du haut du bourg est très certainement naturellement plus radioactif que celui de la ferme du Peil.

Dans tous les cas les concentrations en radium et ses descendants dans la plante sont supérieures à celles de l'uranium et du thorium, ce qui est cohérent avec la littérature sur le transfert de ces radionucléides du sol vers les plantes.

8.5.2 *PRODUITS ANIMAUX*

8.5.2.1 Lait de vache

Les principaux commentaires après examen des résultats sont les suivants :

- lait de la coopérative de Teldes en milieu éloigné du site : l'ensemble des radionucléides mesurés est inférieur aux limites de détection pour les 2 familles de l'uranium 238 et du thorium 232 ainsi que pour l'uranium 235 ; traces de césium 137, radionucléide artificiel dû aux retombées atmosphériques ;
- lait du troupeau paissant à moins de 1 km du site : on observe des traces de radium 226, mais aussi de thorium 232 et 228, ces activités sont extrêmement faibles ; traces de ^{137}Cs , radionucléide artificiel dû aux retombées atmosphériques.

8.5.2.2 Poissons

Les principaux commentaires après examen des résultats sont les suivants :

- On constate un marquage du radium 226 à hauteur de $59,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais et de ses descendants, ^{214}Pb , ^{214}Bi et ^{210}Po , à hauteur de 20 à 30 Bq.kg^{-1} frais dans les gardons de la réserve d'eau du site. Le marquage des poissons de la Dordogne est inférieur d'un facteur 100 pour le radium 226, 30 pour le polonium 210. Les activités observées dans les gardons et brochets de la Dordogne sont comparables ;
- Le marquage est inférieur pour l'uranium 238 et l'uranium 234, il est à hauteur de 7 Bq.kg^{-1} frais dans les gardons de la réserve et de 0,15 à $0,19 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais dans les poissons de la Dordogne. Traces de thorium 230 observées seulement dans les gardons de la réserve d'eau : $0,55 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais ;
- Traces de thorium 228 mesurées dans les gardons de la réserve et de la Dordogne (elles sont équivalentes : 0,13 et $0,14 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais) alors que cette activité est inférieure à la limite de détection dans les brochets. Les activités des autres radionucléides de la famille du thorium 232 sont inférieures aux limites de détection ainsi que pour l'uranium 235 dans tous les poissons ;
- Traces de césium 137 dans les gardons et brochets de la Dordogne, l'activité du césium 137 est inférieure à la limite de détection pour les gardons de la réserve d'eau.

La Figure 22 présente les niveaux d'activité comparés entre les gardons de la réserve d'eau du site et les poissons de la Dordogne.

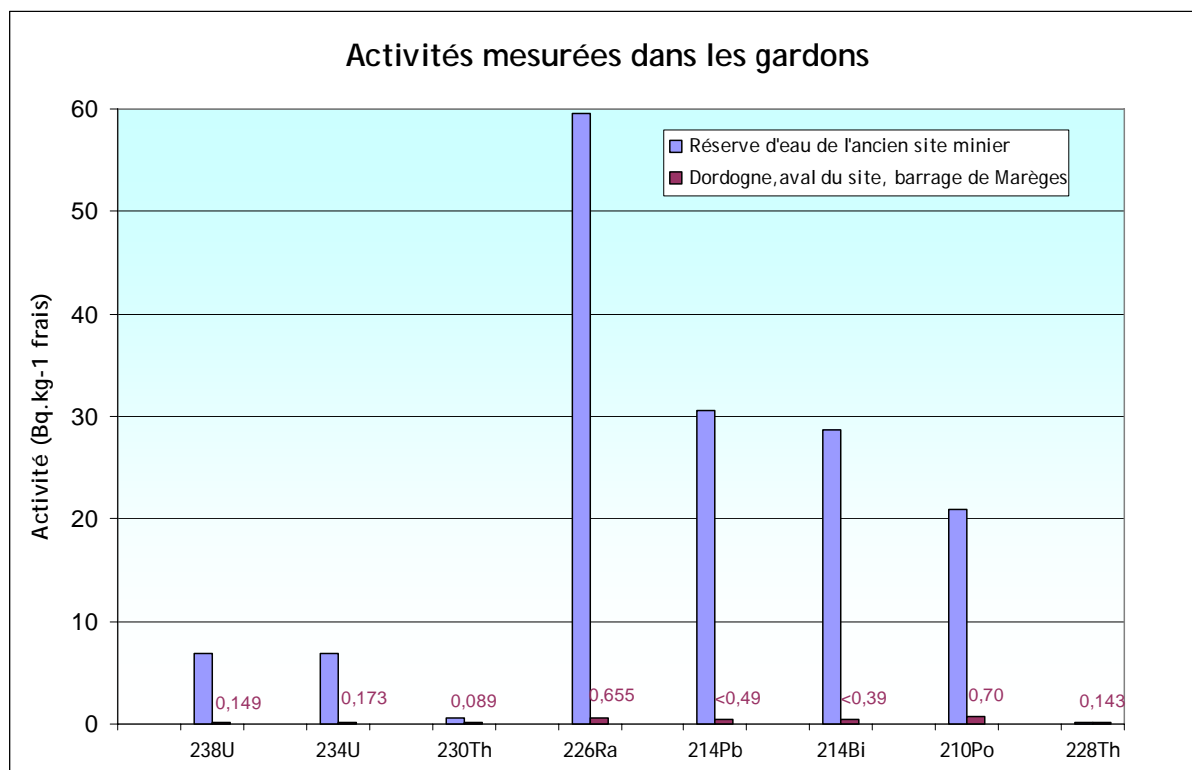


Figure 22 : Activités mesurées dans les gardons de la réserve d'eau du site et la Dordogne au niveau du barrage de Marèges

Les activités dans les poissons de la réserve d'eau du site sont à relier aux activités relativement élevées des sédiments de cette réserve d'eau.

Ainsi les activités qui ont été observées dans les sédiments sont dans l'ensemble 10 fois les valeurs observées dans le plan d'eau. Un mélange de poissons du plan d'eau (gardons, perches, rotengles) avait été analysé par l'IRSN en novembre 2004, à la suite de sa vidange, les activités mesurées à cette occasion sont inférieures d'un facteur 10 à 20 suivant le radionucléide à celles observées dans les poissons de la réserve d'eau, ce qui va dans le même sens que les observations sur les sédiments.

L'analyse a porté à chaque fois sur le poisson entier éviscéré en vue d'avoir une mesure globale, il est à noter cependant que l'on consomme seulement la chair des poissons. Dans la littérature il est mentionné que parmi les principaux radionucléides pouvant contribuer à la dose ingérée :

- le radium suit le métabolisme du calcium et se fixe préférentiellement sur le squelette ainsi que sur les poumons [16];
- le polonium se fixe dans les tissus mous et le squelette, plutôt que dans les muscles [17].

9 CONCLUSIONS DE L'ETUDE IRSN

Les principales observations effectuées par l'IRSN à partir de ses propres campagnes de mesures en 2006 sont reprises ci-après, ces constatations seront à enrichir à partir du programme d'analyses en charge de la CRIIRAD.

Une synthèse globale des observations et constats opérés à l'occasion de ces 2 expertises est prévue. Elle fera l'objet d'une 3^{ème} phase de l'étude en cours sur le site de Saint Pierre. Elle comprendra des évaluations de doses et des recommandations pour la surveillance du site.

Station de référence en milieu naturel

Les 2 secteurs investigués de Teldes et de Chaissac montrent qu'il y a des possibilités pour placer une station de référence en milieu naturel pour le contrôle du vecteur air et des produits alimentaires.

En ce qui concerne le vecteur air, les niveaux de référence pour le radon et l'irradiation gamma ambiante dans l'environnement du bourg de Saint Pierre et hors secteur uranifère se situent pour la période de mesure autour de :

- EAP_{V220} : de l'ordre de 15 nJ.m^{-3} ;
- EAP_{V222} : de l'ordre de 70 à 100 nJ.m^{-3} ;
- Débit de dose gamma ambiant : 160 à 190 nSv.h^{-1} .

Il s'agit d'une piste dont la représentativité sera à analyser plus avant, lors du choix du point de référence pour les mesures de suivi d'AREVA. Il en est de même pour l'établissement d'une fourchette de valeurs de référence pour le bruit de fond ambiant.

Cartographie et balayage radiométriques

Les points d'observations maximaux sont les suivants, les mesures ayant été effectuées à cinquante centimètres du sol :

Plan d'eau

Deux zones se distinguent autour de 500 nSv.h^{-1} :

- Environ 20 m^2 près de Sagne Rouge à l'est du plan d'eau, sans doute attribuable à une petite minéralisation uranifère ;
- 200 m^2 dans la parcelle Gérémy au nord du plan d'eau.

Parcelles en lisière de l'ancien site

La majeure partie des mesures de débit de dose gamma effectuées est inférieure à 500 nSv.h^{-1} . Quelques zones d'intérêt très localisées avec un débit de dose maximal de l'ordre de $1 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ ont été trouvées au nord de la parcelle du camping et au niveau de la parcelle Marion. Des zones légèrement plus étendues et avec un débit de dose maximal compris entre 1,4 et $1,6 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ ont été

identifiées dans la parcelle du terrain de football, la zone non bâtie du lotissement communal et la zone à l'est du village (quartier La Croix). Pour finir, les valeurs les plus élevées ont été mesurées sur la partie sud de l'ancien chemin CD n°12 à proximité des terres entreposées et issues du plan d'eau, il s'agit de quelques dizaines de mètres carrés présentant pour débit de dose maximal $2,74 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Balayage manuel des parcelles autour du site

- le balayage de la parcelle 71 (parement N digue) et du haut de la parcelle 46 (bosquet sur épaulement NO digue) ont fait apparaître, en partie haute du bosquet de la parcelle 46, une tache estimée à environ 50 m^2 présentant un débit de dose de $1,0$ à $1,3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 50 cm . De même l'épaulement NO de la digue présente quelques valeurs à $0,70$ - $0,80 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 50 cm ;
- le champ de la propriété Marion situé au lieu-dit Les Frondals affiche juste après son « entrée » une surface de quelques m^2 présentant un débit de dose de $0,70$ à $0,80 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 50 cm .

Hydrologie du site

Les observations tendent à confirmer le schéma d'écoulement retenu par AREVA NC : les eaux souterraines et superficielles s'écoulent suivant les deux directions principales, le nord-est et le sud-ouest.

Analyses d'eaux

Les eaux les plus marquées sont :

- au nord du site le rejet de pied de digue « rejet 1 » et le fossé sur l'ancien chenal du baryum ;
- au nord du plan d'eau communal, les arrivées du fossé D (stand de tir et pré Gérémy) et du fossé C sous la parcelle Gérémy ;
- l'eau du puits Gérémy ;
- l'eau du puits Vigier.

Ces eaux présentent une composition chimique voisine mais à des concentrations variables. Il n'est pas possible de démarquer clairement l'origine naturelle (gisement) ou artificielle (présence de stériles ou résidus) des eaux. La présence de pyrites ainsi que la forte concentration en matière organique favorisent la mise en solution des principaux métaux, dont l'uranium, et leur piégeage sur la fraction colloïdale.

Sédiments du plan d'eau

Sur tous les échantillons, l'activité du thorium 234, et donc de l'uranium 238, est prépondérante par rapport à l'ensemble des descendants de la famille de l'uranium 238, en moyenne d'un facteur 6. Le débouché du fossé C apparaît le plus marqué avec un point maximum à 15 - 20 mètres du bord. Mais on n'observe pas de véritable variabilité spatiale à partir des 3 arrivées d'eau, ni lorsqu'on s'éloigne de la berge nord.

Il faut rappeler également que les sédiments de la berge ouest, utilisée jusque-là pour la baignade, présentent une radioactivité plus faible que ceux au droit des arrivées nord et que le déséquilibre en faveur de l'uranium est peu marqué dans cette zone de baignade (analyses IRSN 2000 et 2004).

Sédiments du Combret

Dans les sédiments de l'exutoire du Combret, l'activité du thorium 234 (uranium 238) est environ 20 à 30% supérieure à l'activité du radium 226 pour tous les échantillons. Le phénomène de piégeage de l'uranium est beaucoup plus limité que du côté du plan d'eau, la teneur en matière organique étant de l'ordre de 15 à 18% pour les sédiments, alors que dans ceux du plan d'eau la teneur en matière organique dépasse les 30%.

Produits alimentaires

Légumes

On observe une différence du niveau de radioactivité systématique dans les zones situées à proximité du site (haut du bourg de Saint Pierre) par rapport aux zones hors influence (Chaissac) pour ce qui concerne le ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi et ^{210}Po .

Dans les zones proches du site, le marquage est variable selon les végétaux prélevés :

- ^{238}U , ^{234}U : légumes racines > légumes feuilles et légumes fruits (poires) ;
- ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi : poires > légumes racines et légumes feuilles > champignons ;
- ^{210}Po : poires > légumes feuilles > légumes racines.

Les concentrations plus élevées observées dans les poires sont certainement à attribuer à une concentration plus importante de radionucléides dans le sol associées à des zones localement minéralisées.

Lait

Pas d'observations particulières sur les laits mesurés, traces de radionucléides naturels extrêmement faibles pour les vaches paissant à proximité du site

Poissons

Les activités dans les poissons de la réserve d'eau du site sont supérieures aux activités mesurées dans les poissons de la Dordogne.

Un mélange de poissons du plan d'eau (gardons, perches, rotengles) avait été analysé par l'IRSN en novembre 2004, à la suite de sa vidange. Les activités mesurées à cette occasion sont inférieures d'un facteur 10 à 20 suivant le radionucléide à celles observées dans les poissons de la réserve d'eau.

Radon dans les habitations

Sur les 18 maisons où l'IRSN a effectué un diagnostic radon :

- 3 maisons, dont une hors du bourg de Saint Pierre, présentent des concentrations de radon comprises entre 400 Bq.m^{-3} et 1000 Bq.m^{-3} ;
- 5 maisons présentent des concentrations de radon supérieures à 1000 Bq.m^{-3} .

Les résultats observés dans ces habitations justifient la mise en œuvre immédiate d'actions simples visant à réduire la concentration en radon. Pour les 5 maisons présentant les activités les plus élevées, ces mesures pourraient être suivies d'investigations complémentaires destinées à identifier la source et les voies d'entrée et de transfert du radon et de mesures techniques en vue de l'abaissement des activités de ce gaz.

10 LISTE DES REFERENCES

- [1] Courrier du 17 juin 2005 du Préfet du Cantal à Aurillac au Directeur de l'établissement COGEMA de Bessines
- [2] Compte rendu de la 1ère réunion du groupe technique de la CLI de Saint Pierre du 4 août 2005
- [3] Rapport IRSN DEI/SARG/2006-002 « Etat radiologique de l'environnement autour du site de Saint Pierre (Cantal) Volet 1 : Etat des lieux et identification des investigations complémentaires à effectuer » transmis à AREVA NC par courrier du 23 janvier 2006
- [4] Compte rendu de la réunion de la CLI de Saint Pierre du 26 janvier 2006 à la sous préfecture de Mauriac
- [5] Compte rendu de réunion technique IRSN-DRIRE-CRIIRAD du 11 mai 2006 à la DRIRE de Clermont-Ferrand
- [6] Compte rendu de la réunion de la CLI de Saint Pierre du 19 mai 2006 à la sous préfecture de Mauriac
- [7] Proposition technique et financière IRSN adressée par courrier SG/DCAJ/UV/06-1447/IG du 20 octobre 2006 à SMJ/s.c. AREVA NC (référence 110492 : Campagne d'investigations complémentaires sur l'ancien site minier de Saint Pierre)
- [8] Commande SMJ/CESAAM Bessines du 27 octobre 2006 auprès de l'IRSN d'investigations complémentaires relatives au volet 2 de l'expertise de Saint Pierre
- [9] Compte rendu de la 2ème réunion du groupe technique de la CLI de Saint Pierre du 23 novembre 2005
- [10] ANTEA - Réhabilitation de la mine de Saint Pierre - Impact hydrogéologique (2000)
- [11] J.-L. Carré - Les minéralisations uranifères des dépôts oligocènes de Saint Pierre (Cantal-France) dans leur cadre géologique régional et local - Thèse soutenue devant l'institut polytechnique de Lorraine le 27 mars 1979
- [12] Société des mines de Jouac - Dossier de cessation d'activité et réaménagement au titre des ICPE (novembre 2002)
- [13] F. Lemeille, S. Bassot et S. Lemius - IRSN - Utilisation du ¹³⁷Cs comme outil de datation - Application au site de Saint Pierre (Cantal) - Note technique en cours d'édition
- [14] K. Vaarama et al. - Soluble and particle-bound ²³⁴U, ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²¹⁰Po in groundwaters - Radiochimica Acta 91, 21-27 (2003)

- [15] J. Garnier-Laplace, C. Colle, M. Morello - IRSN - Fiche radionucléide - Uranium naturel et environnement - mai 2001
- [16] P. Calmon, J.M. Métivier - IRSN - Fiche radionucléide - Radium 226 et environnement - février 2002
- [17] F. Coppin, S. Roussel-Debet - IRSN - Fiche radionucléide - Polonium 210 et environnement - mars 2003 et révision 2004

11 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Points de mesure repérés Figure 9 et cotes NGF des niveaux d'eau	30
Tableau 2 : Radioactivité des strates argileuses et des sédiments de surface en perspective avec la période présumée des dépôts	56
Tableau 3 : Radioactivité alpha globale des poussières	59
Tableau 4 : Résultats des mesures d'énergie alpha potentielle	60
Tableau 5 : Campagne IRSN de mesures du radon dans les habitations du bourg de Saint Pierre par l'IRSN	63
Tableau 6 : Mesures du débit de dose dans les jardins et lieux où ont été prélevés des végétaux	67

12 LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1 : Prélèvement au cône de Berthois sur la réserve d'eau	42
Photo 2 : Prélèvements de sédiments dans le plan d'eau à la micro-benne et au cône de Berthois	43
Photo 3 : Localisation des points de carottage C95, C97 et C98 réalisés par l'IRSN dans les sédiments du Combret le 6 septembre 2006	44
Photo 4 : Lits de feuilles piégés sur les berges du Combret au-dessus du carottage C98.....	55

13 LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Parcelles à cartographier (plan d'après IGN).....	12
Figure 2 : Restitution cartographique obtenue autour du plan d'eau de Saint Pierre	14
Figure 3 : Zone nord de la restitution cartographique	15
Figure 4 : Restitution cartographique des mesures effectuées avec SOCRATE sur l'ancien site minier de Saint Pierre.	18
Figure 5 : Emprise du site (d'après plan cadastral 2001) _En vert : zones où a été réalisé un balayage radiométrique ponctuel par l'IRSN.....	20
Figure 6 : Carte topographique du village de Saint Pierre (extrait carte IGN 2333E au 1 : 25 000)	24
Figure 7 : Représentation schématique des chemins potentiels de circulation	27
Figure 8 : Paramètres potentiels participant à la circulation hydrogéologique	28
Figure 9 : Situation des points de mesure des niveaux d'eau (puits et surfaces libres) (d'après carte topographique IGN 2333E au 1 : 25 000)	29
Figure 10 : Profil schématique SW-NE des charges hydrauliques mesurées le 30 mai 2006	31
Figure 11 : Carte des points de prélèvement d'eau de surface sur la commune de Saint Pierre (d'après photographie aérienne IGN).....	33
Figure 12 : Sédiments dans le périmètre du site et sa proximité (d'après photographie IGN)	41
Figure 13 : Sédiments du plan d'eau communal à partir des 3 arrivées d'eau au nord (d'après photographie IGN)	43
Figure 14 . Différents ensemble litho-chronologiques (description dans le texte)	46
Figure 15 : Phases successives de sédimentation à la confluence Combret/Dordogne	47
Figure 16 . Anomalies radiométriques dans la partie supérieure de l'ensemble basal (chocs par seconde SPP2 sans grattage)	49
Figure 17 : Restitution cartographique des mesures de radon réalisées à 23 heures.	58
Figure 18 : Localisation des prélèvements de légumes, lait et poissons (d'après photographie IGN) ...	66
Figure 19 : Activités mesurées dans les betteraves rouges prélevées à Saint Pierre et à Chaissac	69
Figure 20 : Activités mesurées dans les salades prélevées à Saint Pierre (lieu-dit Le Peil et centre bourg) et à Chaissac.....	70
Figure 21 : Activités mesurées dans les poires prélevées à Saint Pierre (haut du bourg) et à Chaissac.	71
Figure 22 : Activités mesurées dans les gardons de la réserve d'eau du site et la Dordogne au niveau du barrage de Marèges.....	74
Figure 23 : Schéma de principe de la chaîne de mesures qui équipe le Laboratoire Mobile (a) et photographie du Laboratoire Mobile (b).	89

14 LISTE DES ANNEXES

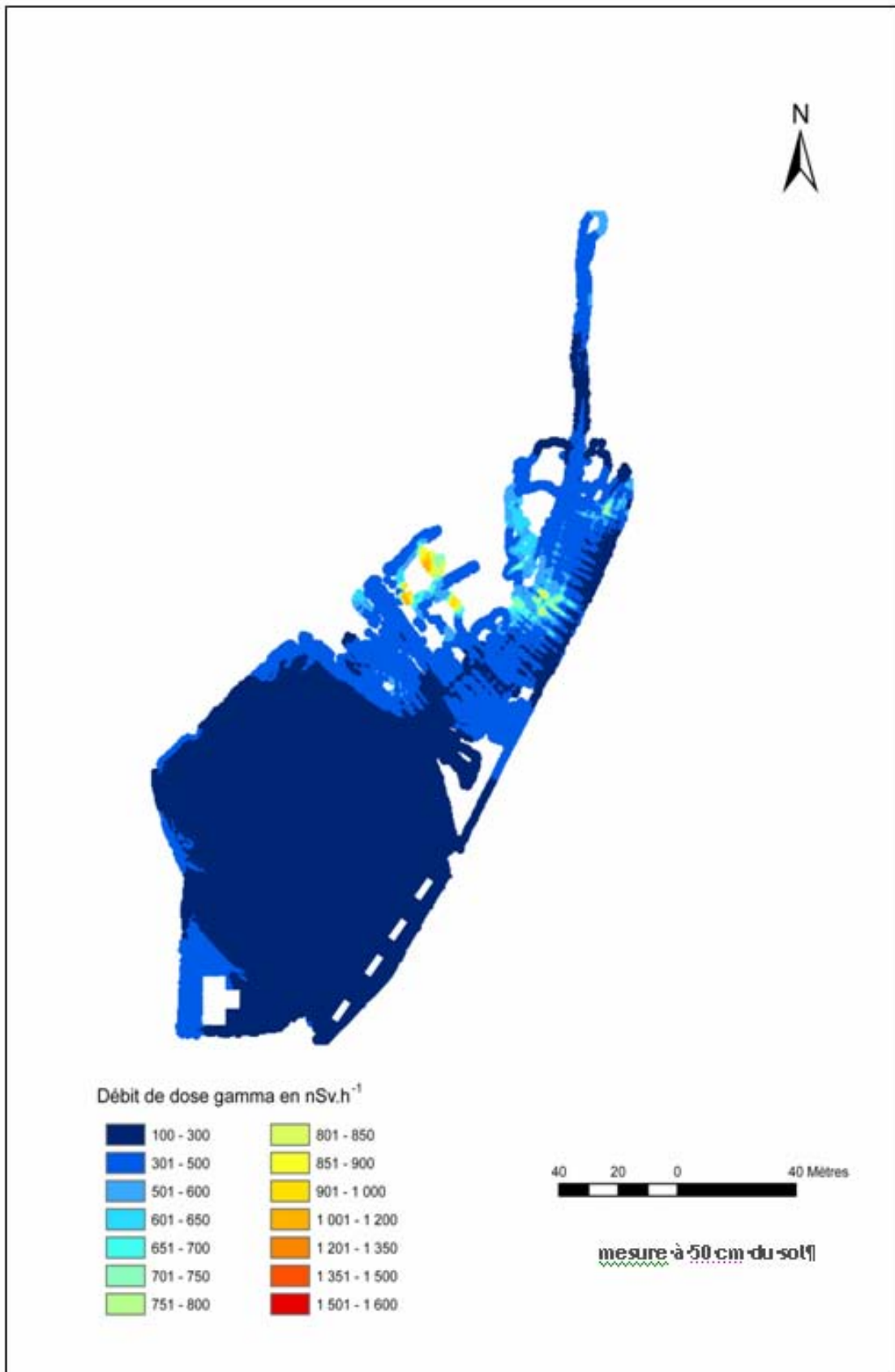
Représentations cartographiques détaillées issues de la Note technique correspondant à la réalisation de la cartographie au mois d'août 2006 « Utilisation des moyens mobiles du LERAR sur l'ancien site minier de Saint Pierre (15) - Note technique IRSN DEI/SARG/2006-048 »

Annexe 1 : Cartographie de la parcelle du camping	82
Annexe 2 : Cartographie de la parcelle Marion	83
Annexe 3 : Cartographie de la parcelle Gérémy	84
Annexe 4 : Cartographie du terrain de football, de la zone entre le stand de tir et le terrain de football et de la zone non bâtie du lotissement communal	85
Annexe 5 : Cartographie de la zone à l'est du village (quartier La Croix)	86
Annexe 6 : Cartographie des terres issues du curage et de l'extension du plan d'eau	87
Annexe 7 : Présentation du laboratoire mobile de l'IRSN	88

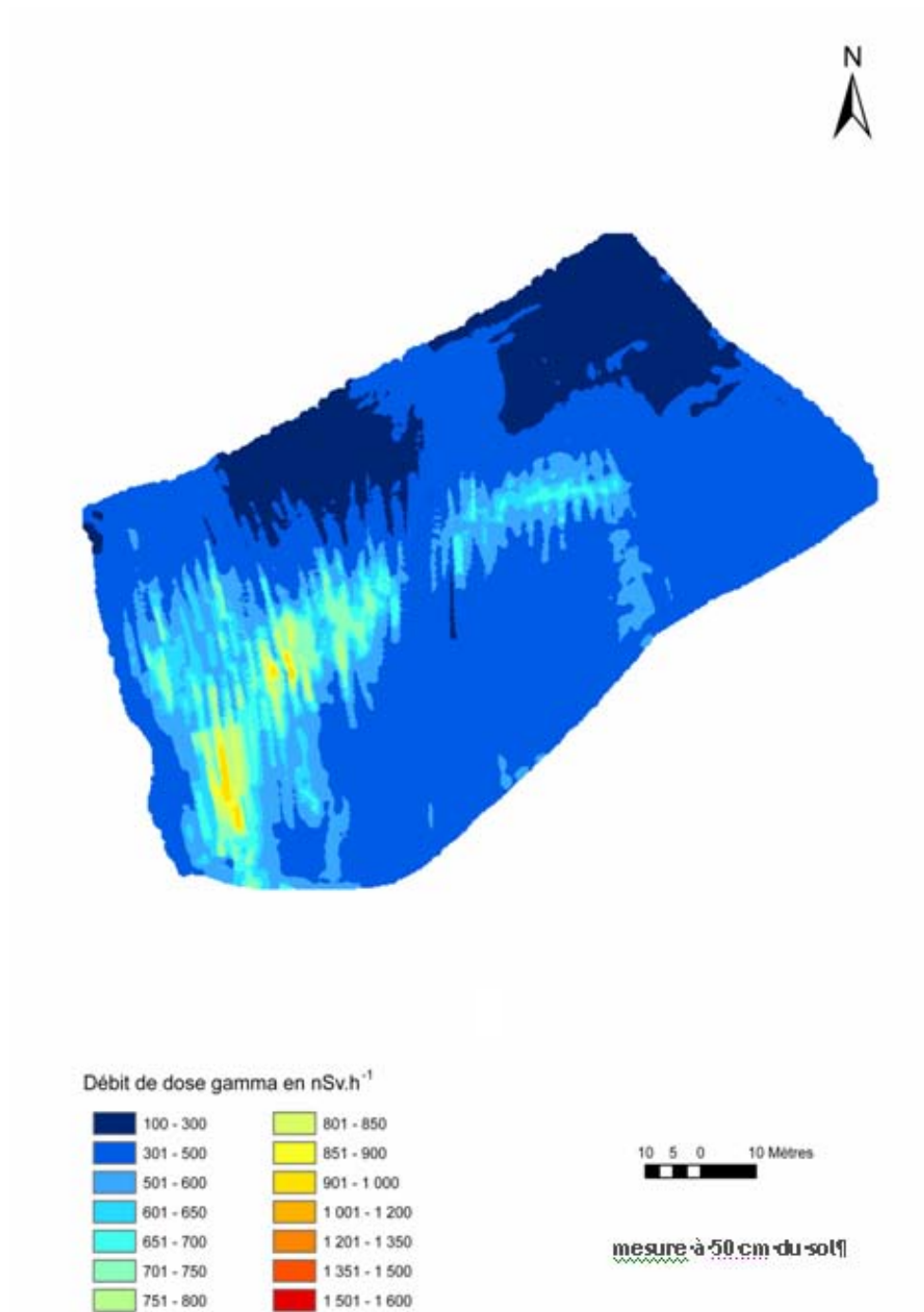
Tableaux récapitulatifs des résultats des mesures réalisées en laboratoire

Annexe 8 : Résultats d'analyses d'eaux	90
Annexe 9 : Résultats d'analyses sur un échantillon de biofilm, sur les sédiments du site, les sédiments côte ouest du site et les sédiments du plan d'eau communal	95
Annexe 10 : Résultats d'analyses sur les sédiments du Combret	97
Annexe 11 : Résultats d'analyses de légumes	99
Annexe 12 : Résultats d'analyses de lait de vache.....	101
Annexe 13 : Résultats d'analyses de poissons	102

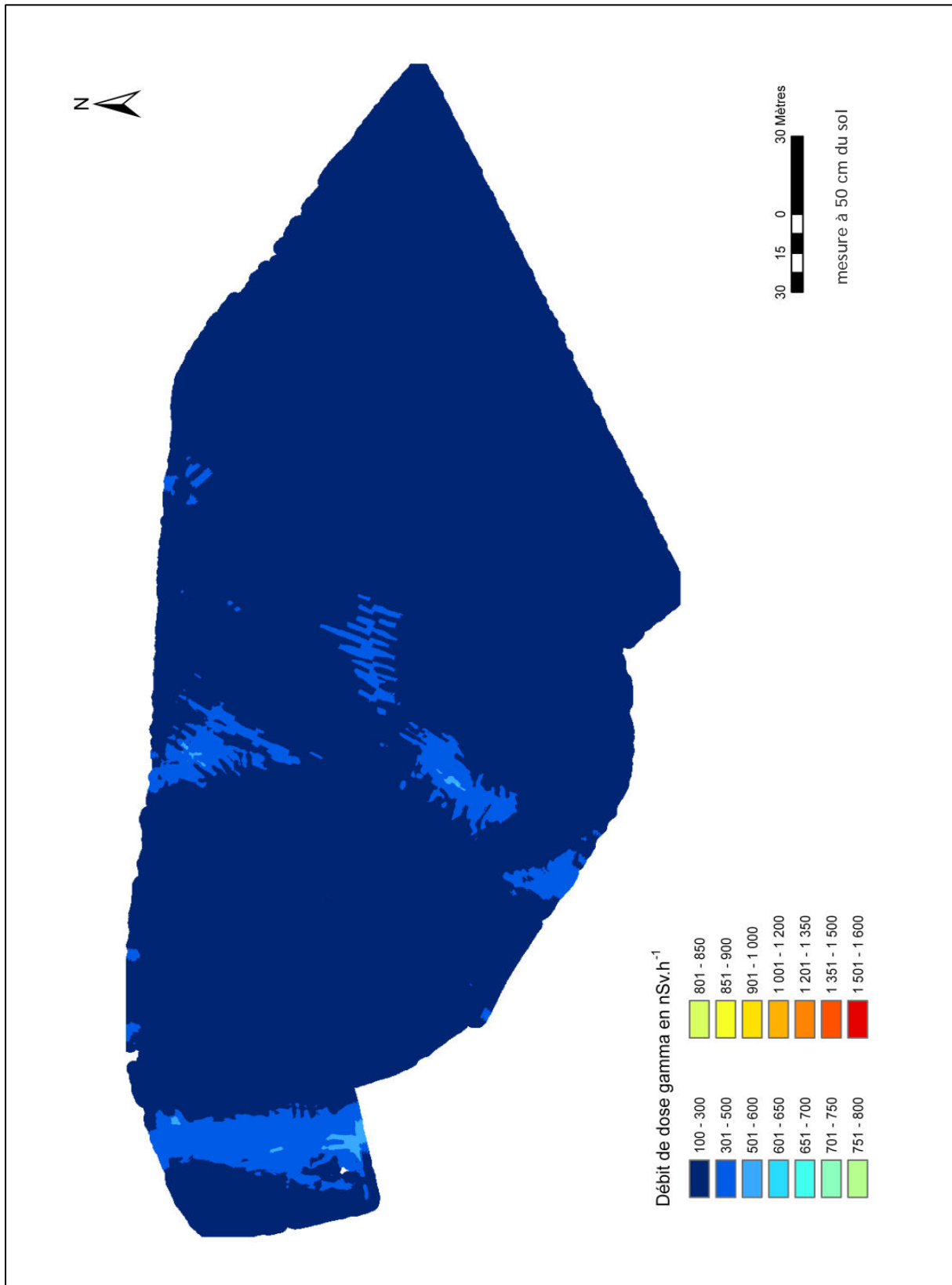
Annexe 1 : Cartographie de la parcelle du camping



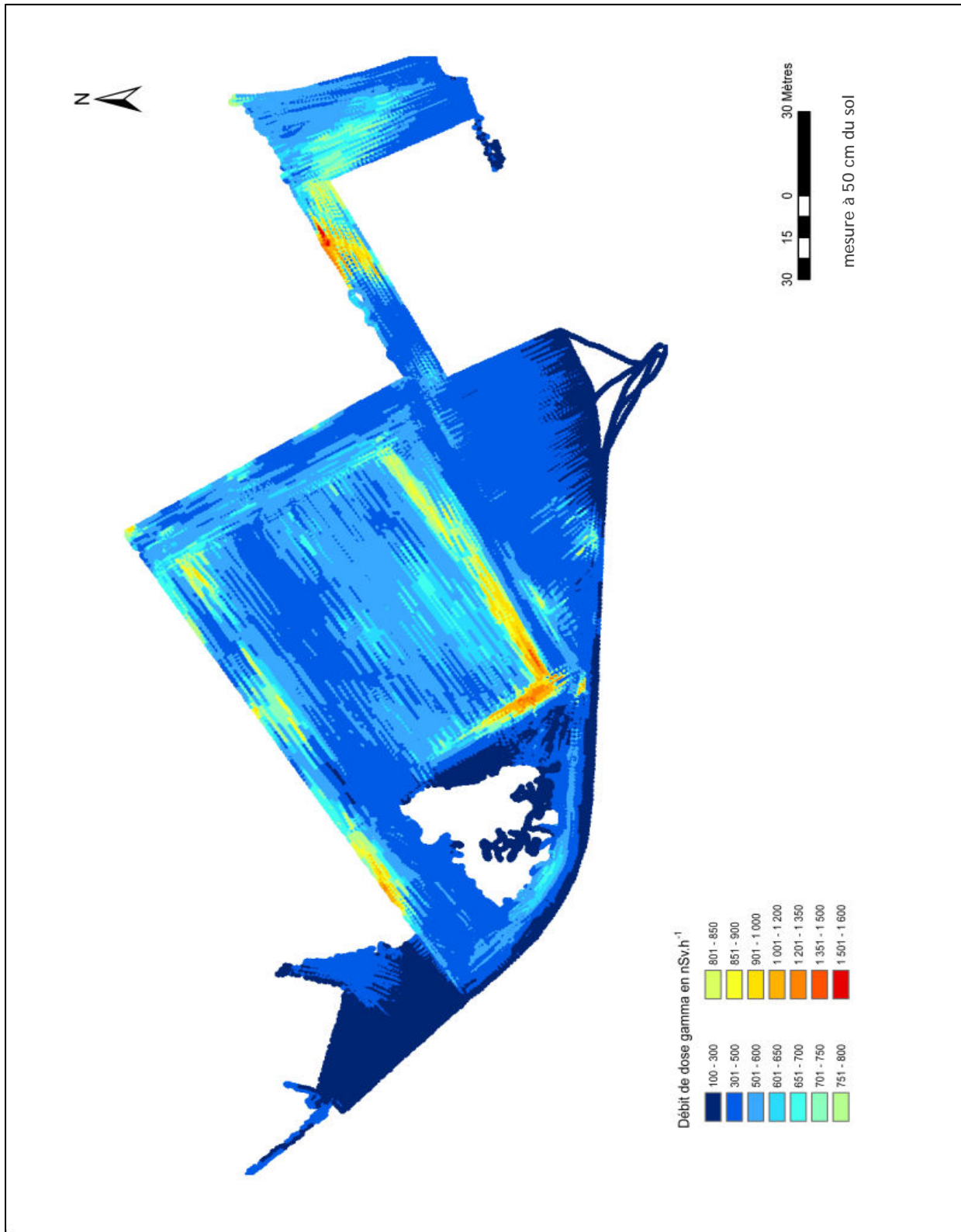
Annexe 2 : Cartographie de la parcelle Marion



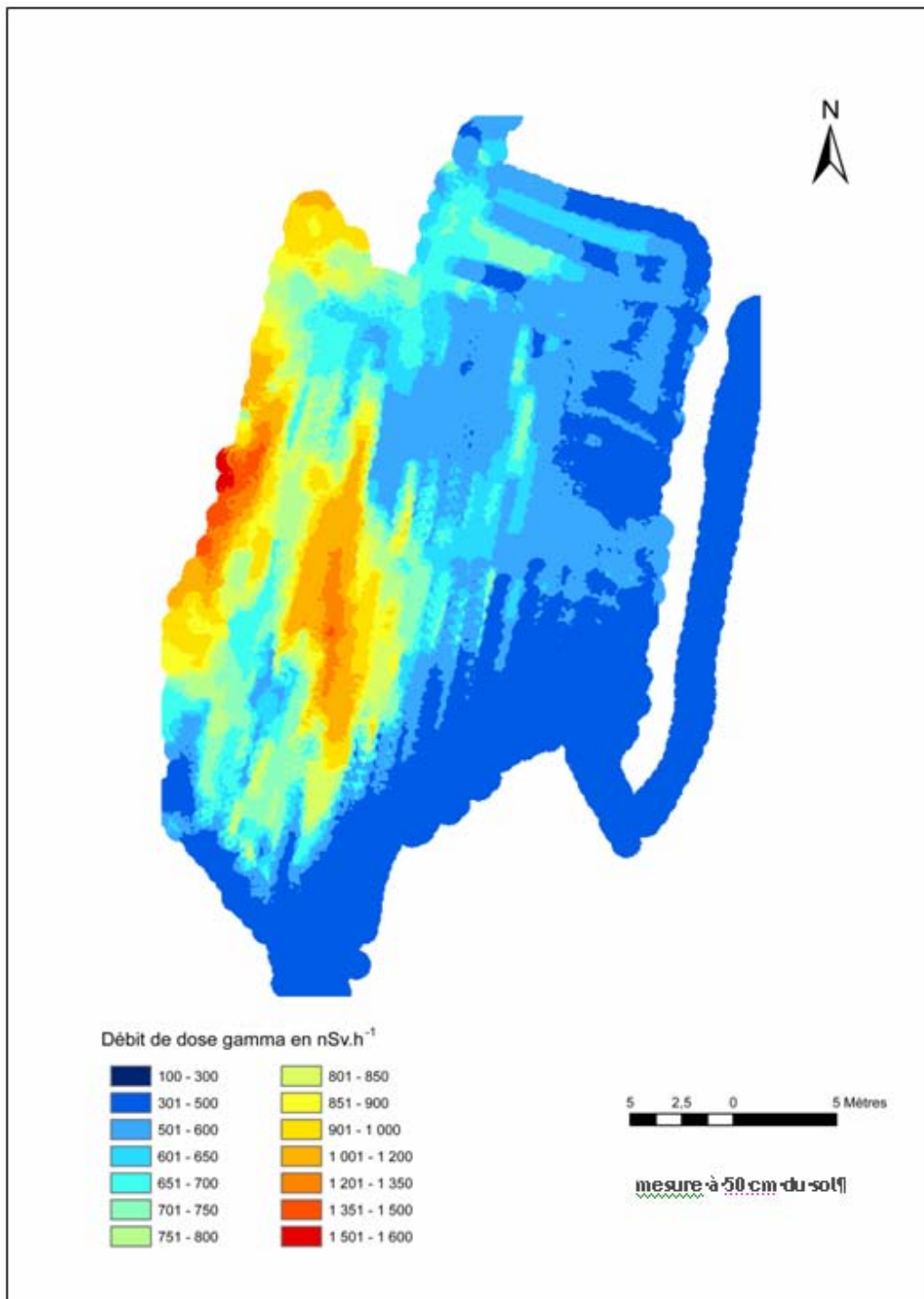
Annexe 3 : Cartographie de la parcelle Gérémy



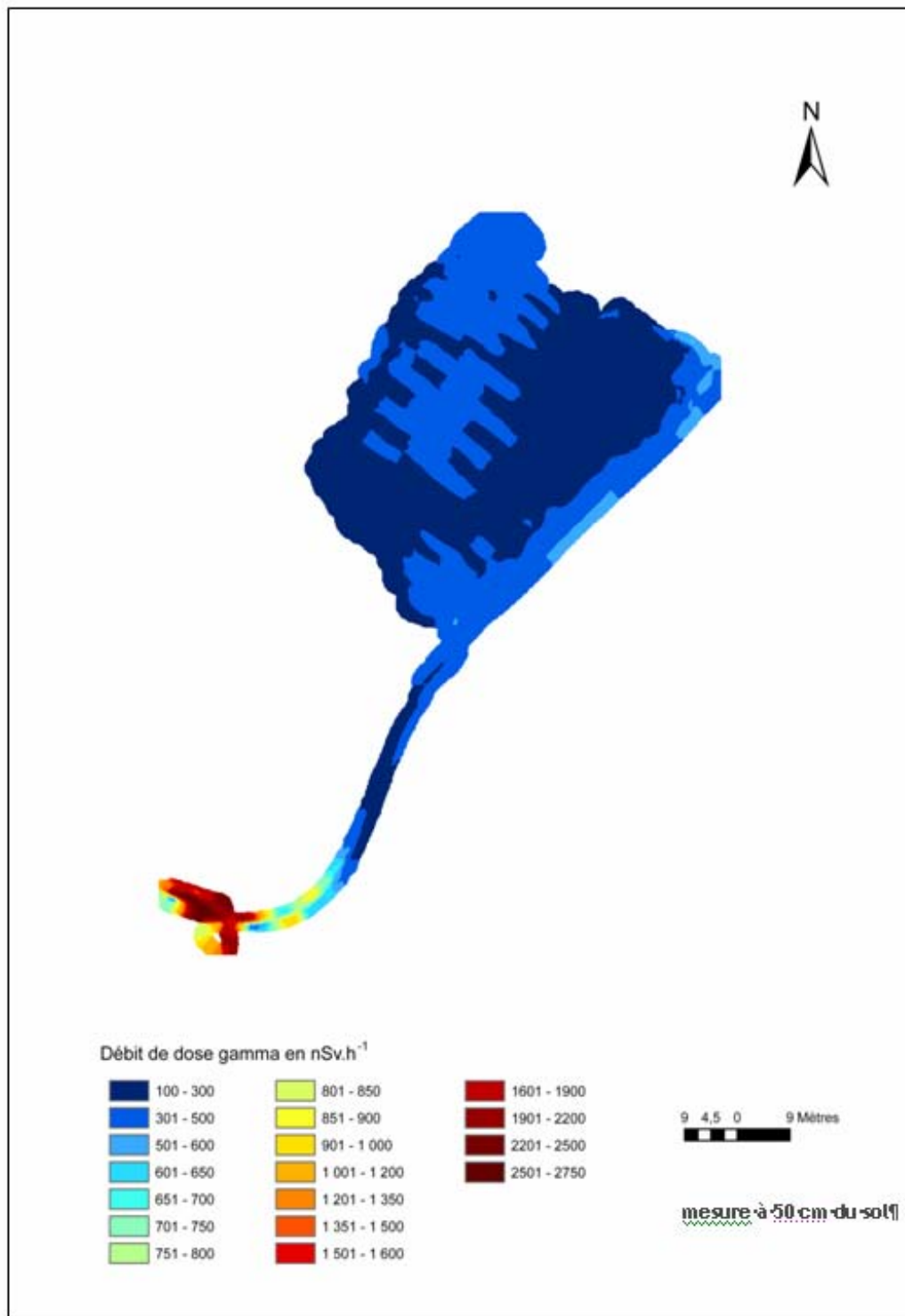
Annexe 4 : Cartographie du terrain de football, de la zone entre le stand de tir et le terrain de football et de la zone non bâtie du lotissement communal



Annexe 5 : Cartographie de la zone à l'est du village (quartier La Croix)



Annexe 6 : Cartographie des terres issues du curage et de l'extension du plan d'eau



Annexe 7 : Présentation du laboratoire mobile de l'IRSN

Le Laboratoire Mobile développé à l'IRSN permet d'effectuer des mesures ponctuelles, en poste fixe ou le long d'itinéraires prédéfinis, de l'activité volumique du radon dans l'atmosphère et du débit de dose gamma.

Celui-ci est équipé d'une chaîne de mesure de l'activité volumique du radon et du débit de dose gamma, d'un système de navigation, d'un groupe électrogène et d'une génératrice électrique de 220 Volts qui lui garantissent une autonomie électrique de 24 heures.

La chaîne de mesure de l'activité volumique du radon et du débit de dose gamma est composée de trois parties : un système de prélèvement, un détecteur et un électromètre (cf. Figure 23). Le système de prélèvement d'air (pour la mesure de l'activité volumique du radon) est constitué d'une pompe d'un débit de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ équipée d'un filtre permettant de piéger les poussières et les descendants du radon. Le détecteur est constitué de deux chambres d'ionisation différentielles identiques, d'un volume de 120 litres chacune montées en opposition symétrique. L'air est échantillonné à 2 mètres au-dessus du sol, puis introduit dans une des deux chambres, dans laquelle est mesuré le signal total (radon + gamma ambiant). La seconde chambre est close afin de ne mesurer que le signal gamma ambiant. Le signal radon est alors obtenu en soustrayant le signal gamma ambiant du signal total (radon + gamma ambiant). Chacune des deux chambres d'ionisation est reliée à un préamplificateur de courant, lui-même connecté à un électromètre caractérisé par une détection limite de 10^{-14} A . La sensibilité est de $1,13 \cdot 10^{-14} \text{ A}$, ce qui correspond à $10 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ pour le rayonnement gamma et à $3,7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'activité volumique du radon.

Le système de navigation est, quant à lui, constitué de quatre instruments : un GPS pour déterminer la position géographique du camion laboratoire, un gyrocompas qui détermine les variations de l'azimut, un odomètre qui calcule la distance parcourue et une vanne de flux qui permet de réajuster le gyrocompas. La combinaison de ces divers instruments permet d'estimer la position relative du Laboratoire Mobile avec une précision de 1 mètre. En outre, grâce à ces équipements, les interruptions éventuelles du signal GPS (couverture végétale, proximité de ville, topographie, etc.) sont contournées. Les paramètres mesurés sont géoréférencés dans le système de projection Lambert II étendu.

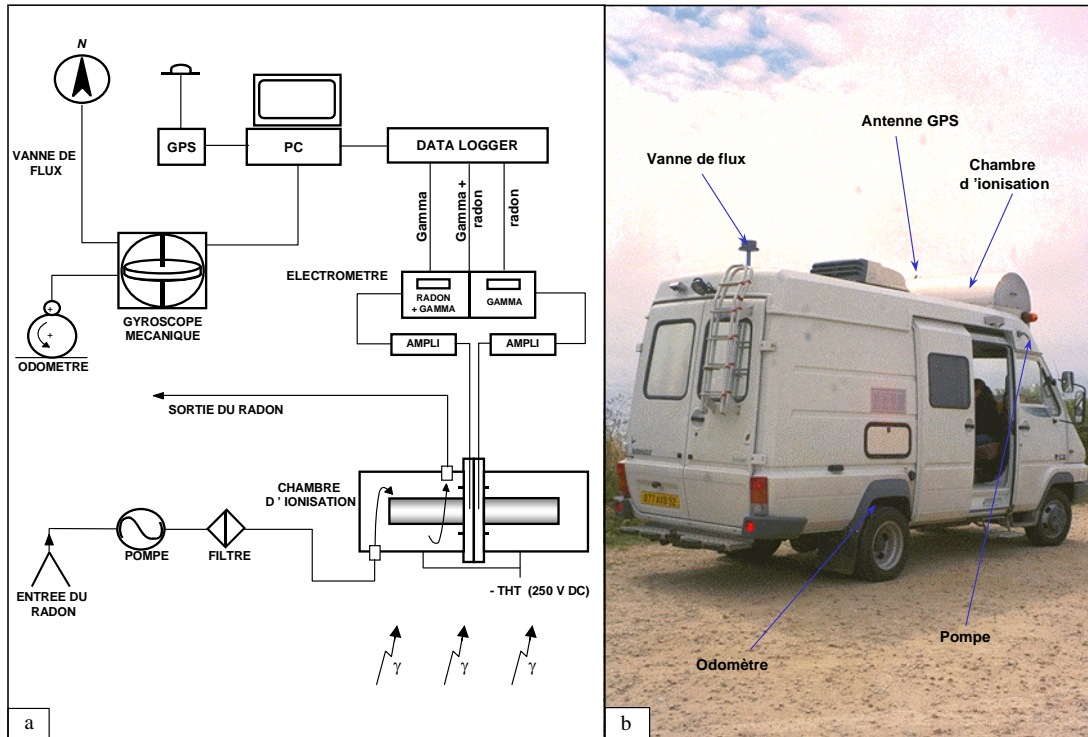


Figure 23 : Schéma de principe de la chaîne de mesures qui équipe le Laboratoire Mobile (a) et photographie du Laboratoire Mobile (b).

Annexe 8 : Résultats d'analyses d'eaux

1. Eaux (uranium dissous et particulaire)

Référence	Origine	Dates	U dissous $\mu\text{g.L}^{-1}$	^{238}U dissous Bq.L^{-1}	U particulaire $\mu\text{g.L}^{-1}$	^{238}U particulaire Bq.L^{-1}
Site						
5	Réserve d'eau (nord)	31/05/06	12,0 ± 0,9	0,148 ± 0,011	6,0 ± 1,2	0,074 ± 0,015
3	Fossé sur ancien Chenal baryum à l'aval de la digue	31/05/06	56,0 ± 1,1	0,692 ± 0,014	5,4 ± 1,1	0,066 ± 0,013
6	Rejet pied de digue	01/06/06	153 ± 11	1,89 ± 0,14	59 ± 11	0,73 ± 0,14
4	Drainage site latéral nord (fossé)	01/06/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
Tributaires du Combret						
19	Combret amont avant la station de pompage	31/05/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
9	Petit ruisseau à l'est du site 100m amont confluent RD exutoire nord	01/06/06	0,960 ± 0,048	0,0119 ± 0,0006	1,09 ± 0,18	0,0134 ± 0,0022
0	Arrivée exutoire principal du site (nord) en RG Combret	31/05/06	5,2 ± 0,5	0,064 ± 0,006	13,2 ± 2,8	0,163 ± 0,035
2	Combret à 50m en aval de l'exutoire principal	01/06/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
Nord ouest du site						
1	Chaissac / Drain en contrebas du champ ouest (2ème stockage matériaux du plan d'eau)	01/06/06	2,13 ± 0,19	0,0263 ± 0,0023	< 0,4	< 0,005
30	Chaissac Ruisseau Pré M. Roche	01/06/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
Plan d'eau et ruisseau de Gioux						
22	Arrivée NO devant buvette	30/05/06	4,28 ± 0,33	0,0529 ± 0,0041	1,39 ± 0,28	0,0171 ± 0,0034
21	Arrivée fossé D (stand de tir+fossé ouest+Gérémy)	30/05/06	120 ± 6	1,48 ± 0,07	5,7 ± 1,1	0,070 ± 0,014
27	Fossé C 15-20m avant arrivée plan d'eau	30/05/06	4100 ± 400	50,64 ± 4,94	393 ± 79	4,86 ± 0,97
28	Font de Pérou	30/05/06	14,4 ± 0,9	0,178 ± 0,011	0,60 ± 0,12	0,0074 ± 0,0015
25	Sagne rouge	30/05/06	1,26 ± 0,27	0,0156 ± 0,0033	< 0,4	< 0,005
26	Les Craux	30/05/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
23	Gioux amont	30/05/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
24	Gioux aval	30/05/06	2,14 ± 0,08	0,0264 ± 0,0010	0,62 ± 0,12	0,0076 ± 0,0015
Dordogne						
12	Dordogne amont (Madic)	01/06/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
17	Dordogne aval général (Vernéjoux)	01/06/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
Puits						
7	Puits Boboul	30/05/06	1,025 ± 0,034	0,0127 ± 0,0004	< 0,4	< 0,005
31	Puits Vareille	30/05/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
13	Puits Mornac	30/05/06	1,431 ± 0,021	0,0177 ± 0,0003	< 0,4	< 0,005
20	Puits maison Dulud	30/05/06	1,18 ± 0,29	0,0146 ± 0,0036	< 0,4	< 0,005
11	Puits pré Dulud	30/05/06	< 1	< 0,01	< 0,4	< 0,005
10	Puits Marion	30/05/06	1,42 ± 0,11	0,0175 ± 0,0014	< 0,4	< 0,005
14	Puits Salvary	30/05/06	2,399 ± 0,032	0,0296 ± 0,0004	1,53 ± 0,29	0,0189 ± 0,0035
15	Puits Gérémy	30/05/06	1460 ± 140	18,03 ± 1,73	103 ± 21	1,27 ± 0,25
16	Puits Vigier	30/05/06	77,0 ± 4,9	0,951 ± 0,061	33 ± 7	0,41 ± 0,08
8	Puits SCUMRA	30/05/06	3,15 ± 0,26	0,0389 ± 0,0032	< 0,4	< 0,005
18	Puits Le Peil	30/05/06	1,51 ± 0,10	0,0186 ± 0,0012	< 0,4	< 0,005

2. Eaux (pH, uranium, radium 226)

Référence	Origine	pH	U total µg.L ⁻¹	²³⁸ U total Bq.L ⁻¹	²²⁶ Ra dissous Bq.L ⁻¹	²²⁶ Ra particulaire Bq.L ⁻¹	²²⁶ Ra total Bq.L ⁻¹
Site							
5	Réserve d'eau (nord)	6,75	18,0	0,222	0,055 ± 0,007	0,298 ± 0,087	0,353
3	Fossé sur ancien Chenal baryum à l'aval de la digue	6,68	61,4	0,758	0,275 ± 0,026	0,163 ± 0,019	0,438
6	Rejet pied de digue	6,07	212	2,62	0,508 ± 0,040	0,152 ± 0,019	0,660
4	Drainage site latéral nord (fossé)	6,12	< 1,4	< 0,017	< 0,006	< 0,04	< 0,047
Tributaires du Combret							
19	Combret amont avant la station de pompage	7,10	< 1,4	< 0,017	0,0074 ± 0,0028	< 0,03	< 0,036
9	Petit ruisseau à l'est du site 100m amont confluent RD exutoire nord	6,67	2,0	0,025	0,0130 ± 0,0039	< 0,03	< 0,043
0	Arrivée exutoire principal du site (nord) en RG Combret	7,18	18,4	0,227	0,039 ± 0,005	0,070 ± 0,011	0,109
2	Combret à 50m en aval de l'exutoire principal	7,10	< 1,4	< 0,017	0,0041 ± 0,003	< 0,03	< 0,035
Nord ouest du site							
1	Chaissac / Drain en contrebas du champ ouest (2ème stockage matériaux du plan d'eau)	6,30	< 2,5	< 0,031	0,035 ± 0,006	< 0,03	< 0,064
30	Chaissac Ruisseau Pré M. Roche	6,36	< 1,4	< 0,017	0,0130 ± 0,0041	< 0,03	< 0,042
Plan d'eau et ruisseau de Gioux							
22	Arrivée NO devant buvette	6,40	5,7	0,070	0,0060 ± 0,0032	< 0,03	< 0,034
21	Arrivée fossé D (stand de tir+fossé ouest+Gérémy)	5,40	126	1,55	0,135 ± 0,013	< 0,03	< 0,164
27	Fossé C 15-20m avant arrivée plan d'eau	3,80	4490	55,5	0,117 ± 0,012	0,095 ± 0,014	0,212
28	Font de Pérou	5,10	15,0	0,185	0,129 ± 0,013	< 0,03	< 0,158
25	Sagne rouge	5,24	< 1,6	< 0,020	0,061 ± 0,007	< 0,03	< 0,089
26	Les Craux	5,23	< 1,4	< 0,017	0,0090 ± 0,0034	< 0,03	< 0,038
23	Gioux amont	6,25	< 1,4	< 0,017	< 0,006	< 0,03	< 0,034
24	Gioux aval	6,32	2,8	0,034	0,0042 ± 0,0029	< 0,03	< 0,033
Dordogne							
12	Dordogne amont (Madic)	8,83	< 1,4	< 0,017	< 0,005	< 0,03	< 0,035
17	Dordogne aval général (Vernéjoux)	6,50	< 1,4	< 0,017	< 0,006	< 0,03	< 0,034
Puits							
7	Puits Boboul	5,48	< 1,4	< 0,017	0,0212 ± 0,0046	< 0,03	< 0,049
31	Puits Vareille	6,60	< 1,4	< 0,017	0,0115 ± 0,0034	< 0,03	< 0,041
13	Puits Mornac	6,80	< 1,8	< 0,022	0,0063 ± 0,0032	< 0,03	< 0,035
20	Puits maison Dulud	6,44	< 1,6	< 0,019	0,0075 ± 0,0033	< 0,03	< 0,036
11	Puits pré Dulud	5,50	< 1,4	< 0,017	< 0,006	< 0,03	< 0,035
10	Puits Marion	6,09	< 1,8	< 0,022	0,0039 ± 0,0025	< 0,03	< 0,032
14	Puits Salvary	5,75	3,9	0,048	0,110 ± 0,012	< 0,03	< 0,141
15	Puits Gérémy	5,35	1560	19,3	0,74 ± 0,06	0,062 ± 0,010	0,80
16	Puits Vigier	5,40	110	1,36	1,85 ± 0,15	0,103 ± 0,019	1,95
8	Puits SCUMRA	5,60	< 3,5	< 0,044	0,042 ± 0,005	< 0,03	< 0,074
18	Puits Le Peil	5,98	< 1,9	< 0,023	0,0117 ± 0,0038	< 0,03	< 0,043

3. Eaux (anions)

Référence	Origine	[Cl ⁻] mg.L ⁻¹	[NO ₃ ⁻] mg.L ⁻¹	[SO ₄ ²⁻] mg.L ⁻¹	[F ⁻] mg.L ⁻¹	[PO ₄ ³⁻] mg.L ⁻¹
Site						
5	Réserve d'eau (nord)	9,39 ± 0,32	3,52 ± 0,20	42,7 ± 1,6	< 0,3	< 0,3
3	Fossé sur ancien Chenal baryum à l'aval de la digue	31,5 ± 1,8	5,11 ± 0,29	220 ± 8	0,310 ± 0,014	< 0,3
6	Rejet pied de digue	197 ± 7	4,8 ± 0,5	300 ± 10	< 0,3	< 0,3
4	Drainage site latéral nord (fossé)	< 4,2	5,29 ± 0,30	6,87 ± 0,24	< 0,1	< 0,3
Tributaires du Combret						
19	Combret amont avant la station de pompage	7,00 ± 0,24	9,2 ± 0,5	4,61 ± 0,16	< 0,3	< 0,3
9	Petit ruisseau à l'est du site	4,64 ± 0,16	3,96 ± 0,24	7,45 ± 0,26	< 0,1	< 0,3
0	100m amont confluent RD exutoire nord	13,2 ± 0,6	4,10 ± 0,23	40,1 ± 1,5	< 0,3	< 0,3
2	Arrivée exutoire principal du site (nord) en RG Combret	7,42 ± 0,25	10,6 ± 0,9	6,62 ± 0,23	< 0,3	< 0,3
Nord ouest du site						
1	Chaissac / Drain en contrebas du champ ouest (2ème stockage matériaux du plan d'eau)	7,75 ± 0,26	16,9 ± 1,0	5,22 ± 0,18	< 0,3	< 0,3
30	Chaissac Ruisseau Pré M. Roche	14,60 ± 0,49	17,1 ± 1,0	8,85 ± 0,31	< 0,3	< 0,3
Plan d'eau et ruisseau de Gioux						
22	Arrivée NO devant buvette	5,06 ± 0,17	< 2,0	40,8 ± 1,4	< 0,1	< 0,3
21	Arrivée fossé D (stand de tir+fossé ouest+Gérémy)	4,86 ± 0,16	2,36 ± 0,13	145 ± 5	< 0,3	< 0,3
27	Fossé C 15-20m avant arrivée plan d'eau	4,89 ± 0,17	< 0,7	811 ± 41	1,05 ± 0,05	< 0,3
28	Font de Pérou	6,07 ± 0,21	3,31 ± 0,19	94,2 ± 3,3	< 0,3	< 0,3
25	Sagne rouge	5,88 ± 0,20	4,50 ± 0,27	80,5 ± 2,8	< 0,3	< 0,3
26	Les Craux	5,17 ± 0,17	8,40 ± 0,47	3,49 ± 0,12	< 0,1	< 0,3
23	Gioux amont	4,86 ± 0,16	2,21 ± 0,12	3,18 ± 0,11	< 0,1	< 0,3
24	Gioux aval	5,20 ± 0,18	2,22 ± 0,13	16,2 ± 0,6	< 0,1	< 0,3
Dordogne						
12	Dordogne amont (Madic)	7,57 ± 0,26	7,55 ± 0,43	4,32 ± 0,15	< 0,1	< 0,3
17	Dordogne aval général (Vernéjoux)	7,44 ± 0,25	5,22 ± 0,29	4,14 ± 0,14	< 0,1	< 0,3
Puits						
7	Puits Boboul	9,32 ± 0,32	50,3 ± 2,8	4,38 ± 0,15	< 0,1	< 0,3
31	Puits Vareille	10,77 ± 0,36	< 0,7	6,30 ± 0,22	< 0,3	< 0,3
13	Puits Mornac	4,41 ± 0,15	15,5 ± 0,9	6,06 ± 0,21	< 0,3	3,96 ± 0,25
20	Puits maison Dulud	51,3 ± 1,7	< 2,0	15,1 ± 0,7	< 0,3	< 1
11	Puits pré Dulud	4,88 ± 0,17	5,93 ± 0,33	4,02 ± 0,14	< 0,1	< 0,3
10	Puits Marion	< 4,2	5,25 ± 0,24	3,00 ± 0,10	< 0,1	< 0,3
14	Puits Salvary	10,11 ± 0,34	2,82 ± 0,16	5,61 ± 0,20	< 0,1	< 0,3
15	Puits Gérémy	6,00 ± 0,20	14,8 ± 0,8	440 ± 15	0,654 ± 0,030	< 0,3
16	Puits Vigier	5,54 ± 0,07	30,9 ± 1,3	10,86 ± 0,38	< 0,1	< 0,3
8	Puits SCUMRA	5,41 ± 0,18	9,6 ± 0,5	5,74 ± 0,20	< 0,1	< 0,3
18	Puits Le Peil	6,09 ± 0,21	8,62 ± 0,49	6,06 ± 0,21	< 0,1	< 0,3

[NO₂⁻] < 0,4 mg.L⁻¹; [Br⁻] < 0,1 mg.L⁻¹

4. Eaux (cations)

Référence	Origine	[Ca ²⁺] mg.L ⁻¹	[K ⁺] mg.L ⁻¹	[Fe ³⁺] mg.L ⁻¹	[Mg ²⁺] mg.L ⁻¹	[Na ⁺] mg.L ⁻¹
Site						
5	Réserve d'eau (nord)	22,1 ± 1,9	2,76 ± 0,15	< 0,5	5,41 ± 0,29	9,3 ± 0,7
3	Fossé sur ancien Chenal baryum à l'aval de la digue	100 ± 8	3,44 ± 0,18	< 0,5	26,4 ± 0,8	23,7 ± 1,7
6	Rejet pied de digue	164 ± 14	3,06 ± 0,16	0,663 ± 0,043	33,4 ± 1,8	94 ± 7
4	Drainage site latéral nord (fossé)	2,88 ± 0,25	0,362 ± 0,019	< 0,5	1,36 ± 0,07	3,56 ± 0,25
Tributaires du Combret						
19	Combret amont avant la station de pompage Petit ruisseau à l'est du site	5,02 ± 0,43	1,72 ± 0,09	< 0,5	2,70 ± 0,15	5,94 ± 0,42
9	100m amont confluent RD exutoire nord	1,92 ± 0,16	1,78 ± 0,09	< 0,5	1,46 ± 0,08	4,50 ± 0,32
0	Arrivée exutoire principal du site (nord) en RG Combret	16,7 ± 1,4	1,92 ± 0,10	< 0,5	5,00 ± 0,27	10,1 ± 0,7
2	Combret à 50m en aval de l'exutoire principal	5,18 ± 0,44	1,65 ± 0,09	< 0,5	2,85 ± 0,15	5,92 ± 0,42
Nord ouest du site						
1	Chaissac / Drain en contrebas du champ ouest (2ème stokage matériaux du plan d'eau)	5,57 ± 0,47	0,667 ± 0,035	< 0,5	3,28 ± 0,18	5,29 ± 0,38
30	Chaissac Ruisseau Pré M. Roche	7,9 ± 0,7	7,01 ± 0,37	< 0,5	3,99 ± 0,22	5,38 ± 0,38
Plan d'eau et ruisseau de Gioux						
22	Arrivée NO devant buvette	15,4 ± 1,3	1,80 ± 0,10	< 0,5	3,66 ± 0,20	4,22 ± 0,30
21	Arrivée fossé D (stand de tir+fossé ouest+Gérémy)	46,1 ± 3,9	2,29 ± 0,12	< 0,5	10,1 ± 0,5	6,39 ± 0,45
27	Fossé C 15-20m avant arrivée plan d'eau	215 ± 18	3,99 ± 0,21	0,730 ± 0,047	43,0 ± 2,3	12,2 ± 0,9
28	Font de Pérou	21,5 ± 1,8	1,85 ± 0,10	< 0,5	7,27 ± 0,39	8,4 ± 0,6
25	Sagne rouge	2,00 ± 0,17	2,64 ± 0,14	< 0,5	1,59 ± 0,09	4,86 ± 0,35
26	Les Craux	1,45 ± 0,12	2,69 ± 0,14	< 0,5	1,29 ± 0,07	3,91 ± 0,28
23	Gioux amont	1,73 ± 0,15	1,28 ± 0,07	< 0,5	1,23 ± 0,07	4,50 ± 0,32
24	Gioux aval	5,01 ± 0,43	1,68 ± 0,09	< 0,5	2,30 ± 0,12	4,68 ± 0,33
Dordogne						
12	Dordogne amont (Madic)	4,47 ± 0,38	1,7 ± 0,09	< 0,5	2,03 ± 0,11	4,23 ± 0,30
17	Dordogne aval général (Vernéjoux)	3,32 ± 0,28	1,58 ± 0,08	< 0,5	1,97 ± 0,11	4,25 ± 0,3
Puits						
7	Puits Boboul	9,6 ± 0,8	2,83 ± 0,15	< 0,5	3,66 ± 0,2	7,3 ± 0,5
31	Puits Vareille	9,5 ± 0,8	1,59 ± 0,08	< 0,5	3,99 ± 0,22	6,16 ± 0,44
13	Puits Mornac	31,7 ± 2,7	18,9 ± 1,0	< 0,5	5,45 ± 0,29	7,1 ± 0,5
20	Puits maison Dulud	34,7 ± 3,0	16,7 ± 0,9	< 0,5	3,37 ± 0,18	27,7 ± 2,0
11	Puits pré Dulud	1,39 ± 0,12	2,68 ± 0,14	< 0,5	0,86 ± 0,05	2,35 ± 0,17
10	Puits Marion	10,8 ± 0,9	1,93 ± 0,10	< 0,5	1,55 ± 0,08	1,92 ± 0,14
14	Puits Salvary	4,27 ± 0,36	3,00 ± 0,16	< 0,5	0,89 ± 0,05	4,22 ± 0,3
15	Puits Gérémy	88 ± 8	4,83 ± 0,26	< 0,5	17,6 ± 0,9	6,94 ± 0,49
16	Puits Vigier	5,67 ± 0,48	9,14 ± 0,48	< 0,5	0,98 ± 0,05	3,85 ± 0,27
8	Puits SCUMRA	7,3 ± 0,6	2,19 ± 0,12	< 0,5	0,629 ± 0,034	3,52 ± 0,25
18	Puits Le Peil	4,80 ± 0,41	5,34 ± 0,28	< 0,5	1,20 ± 0,06	3,65 ± 0,26

5. Eaux (éléments chimiques par ICP-MS)

Référence	Ba µg.L ⁻¹	Al µg.L ⁻¹	Mn µg.L ⁻¹	Zn µg.L ⁻¹	As µg.L ⁻¹	Sr µg.L ⁻¹	
Site							
5	17,9 ± 1,8	8,3 ± 1,0	197 ± 25	5,7 ± 1,1	6,9 ± 0,5	120 ± 11	
3	44,9 ± 4,4 <	5	2330 ± 290	22,1 ± 4,3	5,13 ± 0,39	346 ± 32	
6	36,2 ± 3,6	6,9 ± 0,9	1590 ± 200	20,1 ± 4	7,5 ± 0,6	437 ± 40	
4	37,9 ± 3,8	14,1 ± 1,8	5,4 ± 0,7	8,7 ± 1,7 <	5	25,6 ± 2,4	
Tributaires du Combret							
19	12,4 ± 1,2	23,6 ± 3,0 <	5	4,8 ± 0,9 <	5	56 ± 5	
9	18,1 ± 1,8	33,4 ± 4,2 <	5	5,0 ± 1,0 <	5	29,5 ± 2,7	
0	25,4 ± 2,5	16,9 ± 2,1 <	5	11,5 ± 2,3 <	5	80 ± 7	
2	11,8 ± 1,2	17,4 ± 2,2 <	5	<	5	54 ± 5	
Nord ouest du site							
1	139 ± 14	27,5 ± 3,5	13,1 ± 1,6	6,1 ± 1,2 <	5	68 ± 6	
30	166 ± 16	16,5 ± 2,1	15,5 ± 1,9	14,4 ± 2,8 <	5	78 ± 7	
Plan d'eau et ruisseau de Gioux							
22	11,6 ± 1,1	16,0 ± 2,0 <	5	9,9 ± 1,9 <	5	62 ± 6	
21	30,3 ± 3,0	97 ± 12	1570 ± 200	46 ± 9 <	5	186 ± 17	
27	22,2 ± 2,2	1800 ± 230	259000 ± 32000	333 ± 66 <	5	624 ± 57	
28	37,5 ± 3,7	153 ± 19	540 ± 70	36 ± 7 <	5	141 ± 13	
25	80 ± 8	10,8 ± 1,4	11,7 ± 1,5	10,5 ± 2,1 <	5	32,7 ± 3,0	
26	18,2 ± 1,8	16,6 ± 2,1 <	5	9,3 ± 1,8 <	5	25,3 ± 2,3	
23	11,8 ± 1,2	31,4 ± 4 <	5	10,1 ± 2,0 <	5	24,7 ± 2,3	
24	13,5 ± 1,3	22,6 ± 2,8 <	5	8,5 ± 1,7 <	5	38,4 ± 3,5	
Dordogne							
12	9,7 ± 1,0	24 ± 3 <	5	5,3 ± 1,0 <	5	35,2 ± 3,2	
17	13,1 ± 1,3	14,6 ± 1,8 <	5	6,1 ± 1,2 <	5	31,4 ± 2,9	
Puits							
7	10,4 ± 1,0 <	5	<	5	8,6 ± 1,7 <	5	111 ± 10
31	157 ± 15	13 ± 1,6 <	5	16,1 ± 3,2 <	5	82 ± 8	
13	29,9 ± 3,0	10,7 ± 1,3 <	5	21,5 ± 4,2	6,7 ± 0,5	135 ± 12	
20	31 ± 3,1	7,2 ± 0,9	8,7 ± 1,1	41 ± 8	5,99 ± 0,45	94 ± 9	
11	19,6 ± 1,9	6,6 ± 0,8	45 ± 6	8,2 ± 1,6 <	5	14,5 ± 1,3	
10	32,1 ± 3,2	112 ± 14 <	5	225 ± 44 <	5	32,4 ± 3,0	
14	26,3 ± 3,6	41 ± 5 <	5	10,6 ± 2,1 <	5	20,1 ± 1,8	
15	21,3 ± 2,1	400 ± 50	7100 ± 900	144 ± 28 <	5	3,73 ± 34	
16	69 ± 7	24,4 ± 3,1	26,4 ± 3,3	14,8 ± 2,9 <	5	27,6 ± 2,5	
8	42,7 ± 4,2	17,2 ± 2,2	23,7 ± 3,0	17,5 ± 3,4 <	5	18 ± 1,7	
18	36,9 ± 3,7	430 ± 50 <	5	36 ± 7	5,99 ± 0,45	37,4 ± 3,4	

V, Se et Pb < 5 µg.L⁻¹

Annexe 9 : Résultats d'analyses sur un échantillon de biofilm, sur les sédiments du site, les sédiments côte ouest du site et les sédiments du plan d'eau communal

1. Biofilm et sédiments

Référence	Origine	Localisation	Dates (2006)	Nature	^{234}Th Bq.kg ⁻¹	^{230}Th Bq.kg ⁻¹	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹ (1)
BIOFILM (Résultats exprimés en Bq.kg⁻¹ matière sèche)							
1	Fossé partie nord près de la réserve d'eau	NO Réserve d'eau	31/05	biofilm	3150 ± 470	7500 ± 3000	70000 ± 4300
SEDIMENTS (Résultats exprimés en Bq.kg⁻¹ matière sèche)							
Site (prélèvements sous eau)							
4	Réserve d'eau	Bord coin pêcheurs (ouest)	31/05	argile	1590 ± 140	970 ± 310	840 ± 60
C108	Réserve d'eau	Centre de la réserve d'eau	06/09	(2)	6400 ± 500	5900 ± 1300	5220 ± 320
3	Fossé amont près zone marécageuse	Fossé en formation	31/05	argile	860 ± 80	750 ± 280	850 ± 60
6	Fossé sur ancien chenal du baryum	Aval digue	31/05	argile	1760 ± 160	2100 ± 500	1720 ± 110
Ouest du site (prélèvement réalisé à sec)							
7	Pré Marion entre route de Teldes et route de Chaissac (écoulement suintant)	Début fossé drainant	01/06	argile	940 ± 90	1090 ± 340	870 ± 60
Plan d'eau en cours de remplissage en janvier 2006 (prélèvements sous eau)							
1 (F < 200 µm)	Débouché de Font de Pérou	1m du bord	19/01	argile	2800 ± 700	230 ± 80	336 ± 21
1 (200<F< 2000 µm)	id	1m du bord	19/01	argile	1900 ± 480	110 ± 50	207 ± 13
2 (F < 200 µm)	id	1m du bord	19/01	argile	2500 ± 600	300 ± 100	407 ± 26
2 (200<F< 2000 µm)	id	1m du bord	19/01	argile	1670 ± 420	140 ± 60	235 ± 14
Plan d'eau sur 3 transects en septembre 2006 (prélèvements sous eau)							
C99	Débouché du fossé D au droit de la buvette (eaux stand de tir et puits Gérémy)	3m du bord	06/09	(2)	1640 ± 140	260 ± 180	270 ± 18
C100	id	20m du bord	06/09	(2)	2900 ± 280	600 ± 290	484 ± 32
C101	id	80m du bord	06/09	(2)	2250 ± 200	240 ± 230	367 ± 25
C102	Débouché du fossé C	3m du bord	06/09	(2)	1730 ± 150	240 ± 190	256 ± 18
C103	id	15-20m du bord	06/09	(2)	7200 ± 600	820 ± 440	760 ± 50
C104	id	70-80m du bord	06/09	(2)	4330 ± 370	370 ± 300	563 ± 39
C105	Débouché de Font de Pérou	10-15m du bord	06/09	(2)	3280 ± 280	420 ± 280	448 ± 30
C106	id	20m du précédent à 10-15m île	06/09	(2)	900 ± 80	< 350	186 ± 14
C107	id	sud île à 10-15m du bord de l'île	06/09	(2)	2420 ± 210	< 390 ± 230	387 ± 26

(1) Moyenne des activités de ses descendants ^{214}Pb et ^{214}Bi

(2) Argile riche en matière organique

2. Biofilm et sédiments (suite)

Référence	Origine	^{210}Pb Bq.kg ⁻¹	^{212}Pb Bq.kg ⁻¹	^{235}U Bq.kg ⁻¹	^{40}K Bq.kg ⁻¹
BIOFILM (Résultats exprimés en Bq.kg⁻¹ matière sèche)					
1	Fossé partie nord près de la réserve d'eau	2290 ± 400	70 ± 37	< 250	< 250
SEDIMENTS (Résultats exprimés en Bq.kg⁻¹ matière sèche)					
Site (prélèvements sous eau)					
4	Réserve d'eau	940 ± 140	93 ± 26	56 ± 26	1150 ± 220
C108	Réserve d'eau	5600 ± 800	66 ± 19	390 ± 140	660 ± 140
3	Fossé amont près zone marécageuse	810 ± 120	48 ± 13	31 ± 21	820 ± 160
6	Fossé sur ancien chenal du baryum	1940 ± 280	81 ± 22	77 ± 32	1120 ± 220
Ouest du site (prélèvement réalisé à sec)					
7	Pré Marion entre route de Teldes et route de Chaissac (écoulement suintant)	970 ± 140	72 ± 20	59 ± 27	980 ± 190
Plan d'eau en cours de remplissage en janvier 2006 (prélèvements sous eau)					
1 (F < 200 µm)	Débouché de Font de Pérou	420 ± 22	209 ± 14	166 ± 12	1420 ± 80
1 (200 < F < 2000 µm)	id	289 ± 16	118 ± 8	99 ± 8	1520 ± 80
2 (F < 200 µm)	id	497 ± 25	208 ± 14	138 ± 11	1420 ± 80
2 (200 < F < 2000 µm)	id	340 ± 18	117 ± 8	99 ± 8	1530 ± 80
Plan d'eau sur 3 transects en septembre 2006 (prélèvements sous eau)					
C99		304 ± 49	47 ± 13	68 ± 26	850 ± 170
C100	Débouché du fossé D au droit de la buvette (eaux stand de tir et puits Gérémy)	530 ± 90	68 ± 16	163 ± 45	1190 ± 90
C101		510 ± 80	115 ± 31	112 ± 41	1080 ± 210
C102	Débouché du fossé C	300 ± 50	114 ± 31	75 ± 30	990 ± 190
C103	Id	1000 ± 150	98 ± 27	330 ± 110	800 ± 160
C104	id	720 ± 110	110 ± 30	230 ± 80	1050 ± 210
C105	Débouché de Font de Pérou	520 ± 80	119 ± 32	180 ± 60	1070 ± 210
C106	id	237 ± 40	107 ± 29	40 ± 19	1040 ± 200
C107	id	550 ± 80	94 ± 27	104 ± 43	950 ± 190

Annexe 10 : Résultats d'analyses sur les sédiments du Combret

1. Sédiments du Combret

Référence	Origine	Localisation	Dates	Nature	^{234}Th Bq.kg ⁻¹	^{230}Th Bq.kg ⁻¹	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹ (1)
SEDIMENTS (Résultats exprimés en Bq.kg ⁻¹ matière sèche)							
2	Combret amont avant la station de pompage	Surface (sous eau)	31/05/06	argile	56 ± 16	< 130	57 ± 5
5	Arrivée exutoire principal du site (nord) en RG Combret devant station pompage (prélt dans l'exutoire du site)	Surface (sous eau)	31/05/06	argile	125 ± 23	< 150	132 ± 11
C95	Combret : Site du Mentier à Saint Pierre (2)	Carotte C95 (strate 15-29cm)	06/09/06	argile avec mat. organique	630 ± 60	550 ± 240	305 ± 21
C95	id	Carotte C95 (strate 29-45cm)		argile avec mat. organique	404 ± 48	380 ± 180	233 ± 17
C95	id	Carotte C95 (strate 46-59cm)		argile avec mat. organique	260 ± 35	190 ± 170	152 ± 13
C95	id	Carotte C95 (strate 69-87cm)		argile avec mat. organique	650 ± 70	850 ± 290	298 ± 22
C98	id	Carotte C98 (strate 48-75cm)	06/09/06	argile avec mat. organique	600 ± 70	560 ± 250	479 ± 33
C97	id	Carotte C97 (strate 23-47cm)	06/09/06	argile avec mat. organique	269 ± 35	< 190	195 ± 15
C97	id	Carotte C97 (strate 58-94cm)	06/09/06	argile avec mat. organique	550 ± 60	450 ± 250	456 ± 31
C97 bis	id	Surface	06/09/06	argile avec mat. organique	225 ± 34	240 ± 140	173 ± 15
C110	id	Surface	06/09/06	argile avec mat. organique	326 ± 41	200 ± 130	229 ± 17
C111	id	Surface	06/09/06	argile avec mat. organique	290 ± 39	150 ± 140	202 ± 16

(1) Moyenne des activités de ses descendants ^{214}Pb et ^{214}Bi

(2) Les carottages et prélèvements sur le site du Mentier ont été réalisés à sec

2. Sédiments du Combret (suite)

Référence	Origine	^{210}Pb Bq.kg ⁻¹	^{212}Pb Bq.kg ⁻¹	^{235}U Bq.kg ⁻¹	^{40}K Bq.kg ⁻¹
SEDIMENTS (Résultats exprimés en Bq.kg⁻¹ matière sèche)					
2	Combret amont avant la station de pompage	65 ± 16	59 ± 17	< 9	1380 ± 270
5	Arrivée exutoire principal du site (nord) en RG Combret devant station pompage (prélt dans l'exutoire du site)	120 ± 24	63 ± 18	< 12	1110 ± 220
C95	Combret : Site du Mentier à Saint Pierre	320 ± 50	102 ± 28	33 ± 20	810 ± 160
C95	id	245 ± 41	90 ± 26	< 31	790 ± 160
C95	id	188 ± 34	75 ± 20	24 ± 15	640 ± 130
C95	id	330 ± 60	95 ± 26	33 ± 20	740 ± 150
C98	id	450 ± 70	101 ± 29	31 ± 22	930 ± 180
C97	id	194 ± 34	85 ± 23	< 15	800 ± 160
C97	id	450 ± 70	116 ± 32	17 ± 15	860 ± 170
C97 bis	id	205 ± 38	97 ± 27	< 33	890 ± 180
C110	id	233 ± 40	111 ± 31	28 ± 15	840 ± 170
C111	id	230 ± 41	104 ± 28	< 16 ±	880 ± 170

Annexe 11 : Résultats d'analyses de légumes

1. Légumes

Légumes	Origine	Localisation	Dates	^{238}U Bq.kg ⁻¹ frais	$^{234\text{m}}\text{Pa}$ Bq.kg ⁻¹ frais	^{234}U Bq.kg ⁻¹ frais	^{230}Th Bq.kg ⁻¹ frais	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹ frais	^{214}Pb Bq.kg ⁻¹ frais	^{214}Bi Bq.kg ⁻¹ frais
Betteraves rouges	Jardin au Peil	Est du site sous le camping	07/09/06	0,311 ± 0,037 < 30		0,313 ± 0,038	0,21 ± 0,02	1,61 ± 0,19	3,35 ± 0,43	3,34 ± 0,42
Betteraves rouges	Jardin à Chaissac	Hors influence	07/09/06	0,026 ± 0,006 < 28		0,031 ± 0,006 < 0,01		0,29 ± 0,04	0,56 ± 0,16	0,67 ± 0,17
Endives	Jardin au Peil	Est du site sous le camping	07/09/06	< 0,22	< 29	< 0,25	0,37 ± 0,06	3,02 ± 0,36	2,18 ± 0,30	1,79 ± 0,27
Scarole-Batavia	Jardin bourg de Saint Pierre	Centre bourg/ terre rapportée	08/09/06		< 34				0,96 ± 0,21	0,99 ± 0,22
Scaroles	Jardin à Chaissac	Hors influence	07/09/06	< 0,088	< 66	< 0,092	< 0,071	0,33 ± 0,09 < 0,81		< 0,83
Endives et scaroles	Jardin à Teldes	Hors influence	07/09/06		< 70				< 0,75	< 0,78
Poires	Jardin bourg de Saint Pierre	Haut du bourg	07/09/06	< 0,015	< 30	< 0,016	< 0,0049	9,9 ± 0,19	13,9 ± 1,6	12,0 ± 1,3
Poires	Jardin à Chaissac	Hors influence	07/09/06	< 0,0061	< 24	< 0,0062	< 0,0043	0,13 ± 0,04 < 0,33		< 0,34
Russules	Site minier	Ouest réserve d'eau	06/09/06		< 22				0,81 ± 0,17	0,66 ± 0,16

2. Légumes (suite)

Légumes	Origine	^{210}Pb Bq.kg ⁻¹ frais	^{210}Po Bq.kg ⁻¹ frais	^{232}Th Bq.kg ⁻¹ frais	^{228}Ac Bq.kg ⁻¹ frais	^{228}Th Bq.kg ⁻¹ frais	^{212}Pb Bq.kg ⁻¹ frais	^{208}Tl Bq.kg ⁻¹ frais	^{235}U Bq.kg ⁻¹ frais
Betteraves rouges	Jardin au Peil	< 2,6	< 0,18	< 0,021	< 0,56	0,040 ± 0,007	< 0,28	< 0,15	< 0,72
Betteraves rouges	Jardin à Chaissac	< 2,3	< 0,094	< 0,0063	< 0,58	< 0,0064	< 0,23	< 0,14	< 0,72
Endives	Jardin au Peil	< 2,5	0,59 ± 0,18	< 0,062	< 0,70	< 0,14	< 0,23	< 0,15	< 0,75
Scarole-Batavia	Jardin bourg de Saint Pierre	< 2,6			< 0,64		< 0,25	< 0,16	< 0,75
Scaroles	Jardin à Chaissac	< 4,3	0,17 ± 0,06	< 0,048	< 1,4	< 0,064	< 0,58	< 0,37	< 1,8
Endives et scaroles	Jardin à Teldes	< 3,9			< 1,4		< 0,55	< 0,37	< 1,7
Poires	Jardin bourg de Saint Pierre	< 3,3	8,74 ± 0,79	< 0,013	< 0,67	0,074 ± 0,010	< 0,39	< 0,19	< 1,2
Poires	Jardin à Chaissac	< 2,4	< 0,13	< 0,0050	< 0,57	0,017 ± 0,004	< 0,37	< 0,15	< 0,84
Russules	Ancien site minier près de la réserve d'eau	< 1,9			< 0,48		< 0,19	< 0,12	< 0,88

Annexe 12 : Résultats d'analyses de lait de vache

Origine	Localisation	Dates	^{238}U Bq.l ⁻¹	$^{234\text{m}}\text{Pa}$ Bq.l ⁻¹	^{234}U Bq.l ⁻¹	^{230}Th Bq.l ⁻¹	^{226}Ra Bq.l ⁻¹	^{214}Pb Bq.l ⁻¹	^{214}Bi Bq.l ⁻¹	^{210}Pb Bq.l ⁻¹
Ferme aux Baraques	Moins de 1 km à l'est du site	08/09/06	< 0,0057	< 17	< 0,0051	< 0,0052	0,0235 ± 0,0040	< 0,20	< 0,22	< 1,7
GAEC des deux B à Teldes	Hors influence	07/09/06	< 0,0078	< 19	< 0,0070	< 0,0031	< 0,014	< 0,24	< 0,23	< 1,7

Origine	Localisation	Dates	^{210}Po Bq.l ⁻¹	^{232}Th Bq.l ⁻¹	^{228}Ac Bq.l ⁻¹	^{228}Th Bq.l ⁻¹	^{212}Pb Bq.l ⁻¹	^{208}Tl Bq.l ⁻¹	^{235}U Bq.l ⁻¹	^{137}Cs Bq.l ⁻¹
Ferme aux Baraques	Moins de 1 km à l'est du site	08/09/06	< 0,052	0,0058 ± 0,0012	< 0,35	0,0256 ± 0,0036	< 0,17	< 0,10	< 0,54	0,112 ± 0,048
GAEC des deux B à Teldes	Hors influence	07/09/06	< 0,056	< 0,0026	< 0,39	< 0,0024	< 0,18	< 0,11	< 0,56	0,071 ± 0,039

Annexe 13 : Résultats d'analyses de poissons

Poissons	Origine	Localisation	Dates	^{238}U Bq.kg ⁻¹ frais	$^{234\text{m}}\text{Pa}$ Bq.kg ⁻¹ frais	^{234}U Bq.kg ⁻¹ frais	^{230}Th Bq.kg ⁻¹ frais	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹ frais	^{214}Pb Bq.kg ⁻¹ frais	^{214}Bi Bq.kg ⁻¹ frais	^{210}Pb Bq.kg ⁻¹ frais
Gardons	Réserve d'eau de l'ancien site minier	Site minier	06/09/06	6,95 ± 0,63 < 40		6,95 ± 0,63	0,55 ± 0,11	59,6 ± 7,1	30,6 ± 2,5	28,7 ± 2,0 < 10	
Gardons	Dordogne environ 10km en aval du site	Barrage de Marèges	15/08/06	0,15 ± 0,03 < 25		0,17 ± 0,03	0,089 ± 0,033	0,66 ± 0,09 < 0,49		< 0,39	< 4,2
Brochets	Dordogne environ 10km en aval du site	Barrage de Marèges	15/08/06	0,18 ± 0,03 < 148		0,19 ± 0,03 < 0,11		0,48 ± 0,06 < 0,63		< 0,77	< 6,7

Poissons	Origine	Localisation	Dates	^{210}Po Bq.kg ⁻¹ frais	^{232}Th Bq.kg ⁻¹ frais	^{228}Ac Bq.kg ⁻¹ frais	^{228}Th Bq.kg ⁻¹ frais	^{212}Pb Bq.kg ⁻¹ frais	^{208}Tl Bq.kg ⁻¹ frais	^{235}U Bq.kg ⁻¹ frais	^{137}Cs Bq.kg ⁻¹ frais
Gardons	Réserve d'eau de l'ancien site minier	Site minier	06/09/06	21,0 ± 1,9 < 0,074		< 1,5	0,129 ± 0,045 < 0,58	< 0,32	< 4,9	< 0,28	
Gardons	Dordogne environ 10km en aval du site	Barrage de Marèges	15/08/06	0,70 ± 0,16 < 0,066		< 0,67	0,143 ± 0,040 < 0,30	< 0,18	< 2,4	0,28 ± 0,09	
Brochets	Dordogne environ 10km en aval du site	Barrage de Marèges	15/08/06	1,19 ± 0,20 < 0,058		< 0,13	< 0,068	< 0,47	< 0,30	< 1,8	0,76 ± 0,20