

ANNEXE 3

SITE DU BERNARDAN - CHERBOIS (87)

SIMULATION DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE POUR LE SITE DU BERNARDAN - CHERBOIS

Estimation de la dispersion atmosphérique à partir du site du BERNARDAN - CHERBOIS

Afin de vérifier que les risques d'exposition du public en phase de travaux, des simulations de rejets atmosphériques ont été effectuées pour le site du BERNARDAN - CHERBOIS.

L'objectif est de déterminer le temps au bout duquel les poussières radioactives par envol atteindraient les populations les plus proches tous dans un rayon inférieur à 500 m.

La stabilité atmosphérique, la direction et la vitesse du vent, sont les paramètres nécessaires au calcul de la dispersion atmosphérique des gaz, aérosols ou poussières radioactifs rejetés en fonction de la distance à partir du lieu d'émission.

Ainsi, pour toute pollution, la fonction de transfert atmosphérique entre le point-source d'émission et le point d'observation sous l'influence de ces rejets peut être très simplement calculée sous la forme d'un coefficient de transfert atmosphérique (CTA). La valeur du CTA représente la concentration intégrée dans le temps en un point donné normalisée par la quantité totale rejetée.

Le niveau de CTA est donc directement lié au caractère dispersif de l'atmosphère et non à la quantité de polluant rejeté. Les valeurs de CTA seront d'autant plus faibles que l'atmosphère est dispersive. Inversement, plus le CTA sera caractérisé par une valeur élevée, plus la concentration de la pollution sera élevée au même point d'observation. Il permet d'estimer qualitativement l'impact total d'un rejet en tout point du domaine d'étude et le zonage des aires à risque.

A partir de la rose des vents de l'aéroport de LIMOGES- BELLEGARDE, issue des observations de Météo France sur 19 ans (période 1981 à 2000), on déduit la direction des vents dominants.

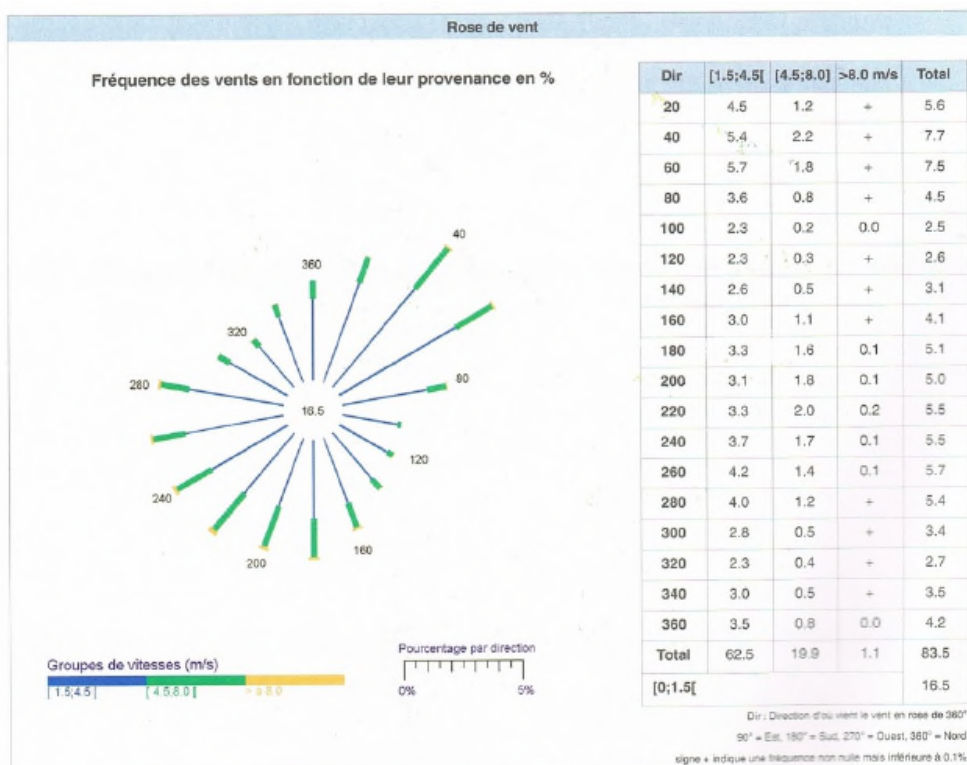


Figure 1 : rose des vents issue des données de l'aéroport LIMOGES-BELLEGARDE – observations sur la période 1981 à 2000

Les vents dominants sur le site sont orientés Sud-Ouest/Nord-Est et inversement (20-60° et 180/280°) avec des vitesses relativement élevées sur les deux directions ($> 8 \text{ m.s}^{-1}$).

Ces données de mesure montrent que sous l'effet du vent de Sud-Ouest, d'éventuelles émissions de poussières au niveau du site du BERNARDAN - CHERBOIS seraient dispersées au-dessus des habitations environnantes.

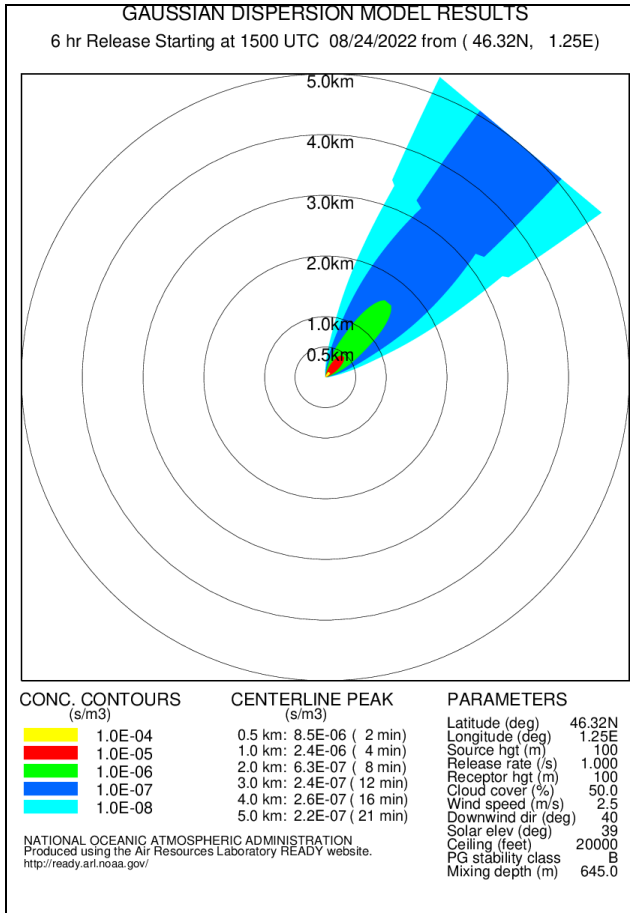


Figure 2 : simulation de dispersion atmosphérique (vent de 2,5 m.s⁻¹)

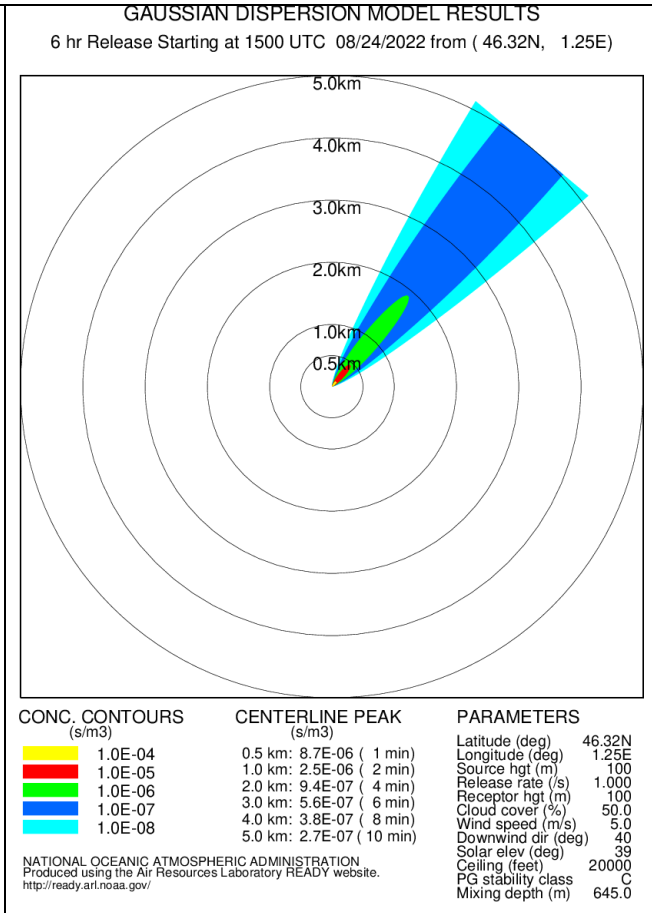


Figure 3 : simulation de dispersion atmosphérique (vent de 5 m.s⁻¹)

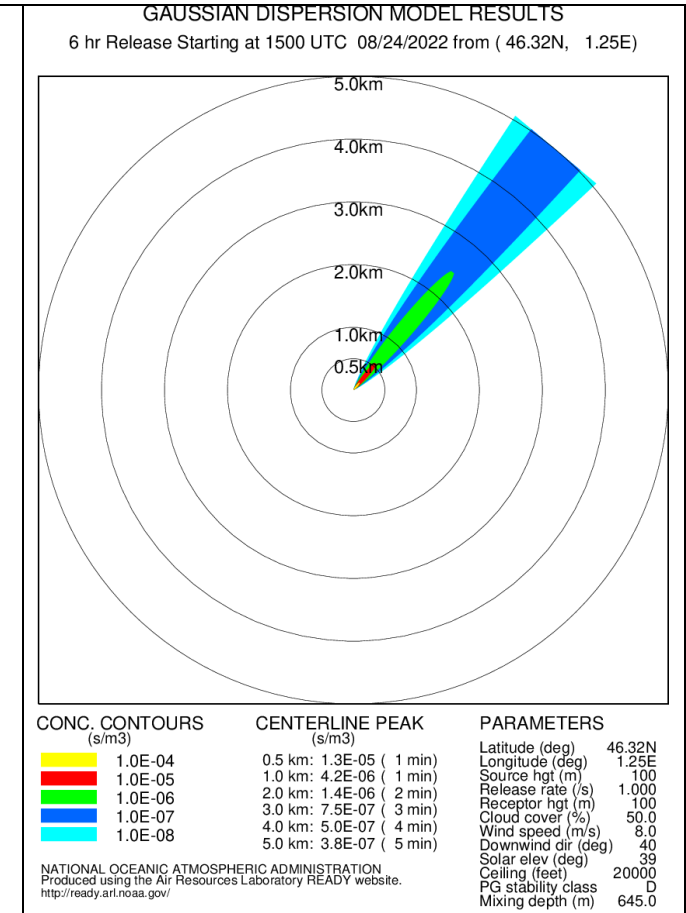


Figure 4 : simulation de dispersion atmosphérique (vent de 8 m.s⁻¹)

Un calcul de la dispersion atmosphérique (s/m^3) a été effectué à l'échelle locale jusqu'à 5 km de distance du point source situé sur le site du BERNARDAN - CHERBOIS ($46^{\circ}19' N$ et $1.15^{\circ}E$) 6 heures après l'envol de poussières radioactives dans l'atmosphère par un vent soufflant du 220° avec trois vitesses : $2,5 m.s^{-1}$ (figure 2), $5 m.s^{-1}$ (figure 3) et $8 m.s^{-1}$ (figure 4).

Ces simulations montrent que dans le cas d'émissions atmosphériques en situation de vent soufflant du 220° d'une vitesse comprise entre $2,5$ et $8 m.s^{-1}$, les poussières seraient dispersées sur une distance d'1 km en moins de 4 minutes dans la direction des populations environnantes.

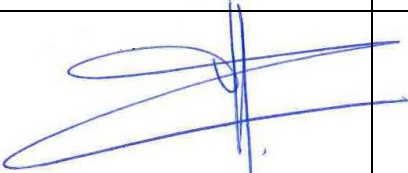

Pour l'exposition du public, il semble donc judicieux de prendre en compte l'exposition interne aux poussières radioactives issues du chantier.



EOLFI

SITE LE BERNARDAN - CHERBOIS (87)

Estimation de l'impact radiologique sur les travailleurs en charge de la réalisation du projet de centrale photovoltaïque prévu sur l'ancien site minier uranifère d'ORANO « LE BERNARDAN - CHERBOIS » à JOUAC (87)

Référence	Rédacteur	Vérificateur
EOLFI 60-0 2-08 22 V2-RA	 Roselyne AMEON	 Laurent LAVERGNAS
Bessines, le 25 Aout 2022		

1. CONTEXTE

La société EOLFI prévoit d'exploiter une centrale solaire sur une partie du site ORANO « LE BERNARDAN - CHERBOIS » situé sur la commune de JOUAC (87).

Le site du BERNARDAN - CHERBOIS retenu pour l'implantation du projet correspond à un ancien site minier d'extraction d'Uranium (période de 1978 à 2001) et de traitement du minerai d'Uranium (période de 1979 à 2001). La production uranifère du site s'est élevée à 6 584 tonnes d'uranium pour 1 151 029 tonnes de minerai extrait à une teneur moyenne de 5,72 ‰ (5,72 kg d'uranium par tonne). L'usine de traitement du minerai a permis le traitement dynamique d'environ 1 760 000 tonnes de minerais en provenance des mines du Limousin. La partie concernée par le projet d'EOLFI correspond à l'emplacement des bassins de décantation. Les travaux de réaménagement du site ont été réalisés entre 2001 et 2003. L'usine de traitement a été démantelée et démolie, les différents bassins ont été curés. Le site du BERNARDAN - CHERBOIS comprend une Mine à Ciel Ouvert (MCO), des Travaux Miniers Souterrains (TMS) et des zones de stockage de résidus miniers uranifères.



Figure 1 : vue aérienne du site du BERNARDAN en 1990

Dans le cadre de ce projet, EOLFI sollicite ALGADE pour réaliser une évaluation de l'impact radiologique prévisionnel pour les travailleurs en charge du projet pour les phases de mise en œuvre, d'exploitation et de démantèlement du parc.

Le présent document est relatif à l'étude effectuée pour le site du BERNARDAN - CHERBOIS conformément aux dispositions du guide méthodologique relatif à la gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives réalisé par l'IRSN (version de décembre 2011).

2. DESCRIPTION DU SITE

L'implantation du parc photovoltaïque sur le site d'ORANO est précisée sur le plan figurant en annexe 1 du présent document. Le parc est principalement positionné sur les anciens bassins de décantation du site minier uranifère (cf. Figure 2). Une partie des structures sera positionnée sur l'Etang du CHERBOIS. Il est à noter que cet étang est antérieur à l'exploitation du site pour l'extraction uranifère.



Figure 2 : zone d'implantation du projet au regard des anciennes activités minières

Une installation photovoltaïque est constituée de différents éléments : des modules solaires photovoltaïques, des structures porteuses, des câbles de raccordement, des onduleurs, transformateurs et un poste de livraison pour l'injection de l'électricité sur le réseau, des voiries d'accès.

Selon les éléments transmis par EOLFI, le projet prévoit que les tables photovoltaïques soient positionnées avec des fondations de type :

- pieux battus sur la zone ouest du projet ;
- longrines béton sur la zone est du projet
- structures flottantes sur l'Etang du CHERBOIS ;

Plusieurs phases sont prévues dans le cadre de l'étude d'impact de la phase d'implantation à la phase de déconstruction en passant par l'entretien du site pendant toute la phase d'exploitation.

Dans le cadre de l'étude d'impact radiologique, les éléments descriptifs suivants sont pris en compte.

Le site du CHERBOIS n'est pas concerné par un stockage de résidus de traitement du minerai d'Uranium. Aucune présence de stériles miniers uranifères n'est stipulée sur les documents disponibles. Le terme de stériles désigne les roches excavées pour accéder au minerai. Rien ne les distingue des roches présentes dans les zones concernées, si ce n'est que, du fait de leur localisation à proximité de zones minéralisées, ils sont généralement plus riches en Uranium. Compte tenu de la présence d'Uranium et de ses descendants radioactifs, ces stériles ont une activité massique allant de quelques milliers de Bq.kg⁻¹ jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de Bq.kg⁻¹.

3. DONNEES D'ENTREE DE L'EVALUATION DOSIMETRIQUE

3.1. Compartiment « sol »

Lors des opérations de réaménagement des parcelles concernées par le projet d'EOLFI, les bassins de décantation ont été curés. Aucun autre élément d'information n'est disponible pour justifier de la nature des sols au droit des parcelles concernées par le projet.

Dans les documents transmis par EOLFI, seuls des résultats de mesurage en surface du site (plan compteur) sont disponibles (cf. plan compteur en annexe 2 du présent document). Aucun résultat d'analyse radiologique de prélèvement de sol n'a été transmis.

Compte tenu des résultats de plan compteur, par défaut, et à titre conservatoire, une activité massique moyenne de 5 Bq.g⁻¹ pour les radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux sera prise en compte pour les calculs d'évaluation de dose par exposition interne. Cette activité massique constitue une hypothèse majorante de l'étude.

3.2. Compartiment « Air »

Pour ce qui concerne le compartiment atmosphérique, les données prises en compte concernent le suivi environnemental mensuel, voire trimestriel, effectué par ORANO depuis 2008 pour la station considérée comme représentative du milieu naturel (station du village de LUSSAC-LES-EGLISES) et pour la station située sur le site du CHERBOIS (Station « LABO » représentative de la zone d'activité du CHERBOIS).

Il est à noter que compte tenu qu'aucun état de référence antérieur aux travaux miniers n'est disponible, le « bruit de fond » naturel est estimé sur la base de mesures réalisées dans l'environnement sur des lieux non soumis à l'influence du site, mais dont les caractéristiques (géologiques, topographiques) sont similaires.

Dans le cas présent, il s'agit de la station du village de LUSSAC-LES-EGLISES. Cette station a été considérée comme représentative du milieu naturel par ORANO depuis la mise en œuvre du suivi environnemental autour du site. Ce choix n'a pas été remis en cause par les administrations.

A partir des données transmises, ALGADE a calculé les valeurs moyennes, minimales et maximales pour chacune des stations de surveillance.

Les données de surveillance disponibles pour le site du BERNARDAN - CHERBOIS et le milieu naturel concernent :

- l'énergie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte des isotopes 220 et 222 du radon (suivi mensuel par dosimètre de site) ;
- l'énergie alpha volumique des poussières à vie longue des chaînes Uranium et Thorium (suivi mensuel par dosimètre de site) ;
- le débit d'équivalent de dose gamma ambiant (suivi trimestriel par des détecteurs thermoluminescents).

Les données retenues pour le compartiment « Air » sont synthétisées dans les tableaux 1 et 2.

Pour ce qui concerne l'activité volumique des émetteurs alpha à vie longue, il est à noter qu'aucune valeur significative n'est observée pour l'ensemble des stations. Ces données ne sont donc pas prises en compte dans le cadre de la présente étude.

Station		EAP _v (²²⁰ Rn) (nJ.m ⁻³)			EAP _v (²²² Rn) (nJ.m ⁻³)		
		Minimal	Moyenne	Maximal	Minimal	Moyenne	Maximal
CHERBOIS	LABO	2	7	22	13	41	99
Village de LUSSAC-LES-EGLISES		2	9	24	7	52	138

Tableau 1 : résultats de surveillance du compartiment « Air » – Energie alpha potentielle volumique des descendants des isotopes 220 et 222 du radon

Il est à noter que les éléments du tableau 1 constituent une synthèse des données sur une période de suivi de plusieurs dizaines d'année, ce qui permet d'obtenir une caractérisation de l'atmosphère représentative des différentes saisons et des différentes conditions météorologiques et climatiques sur le site. Ces derniers éléments étant des paramètres d'influence de la quantité de descendants à vie courte du Radon détectables dans l'atmosphère.

Station		Débit d'équivalent de dose (nSv.h ⁻¹)	
		Moyenne	Maximal
CHERBOIS	LABO	129	210
Village de LUSSAC-LES-EGLISES		110	160

Tableau 2 : résultats de surveillance du compartiment « Air » – Débit d'équivalent de dose gamma

Le tableau 2 présente les résultats du suivi environnemental par des détecteurs thermoluminescents positionnés ponctuellement sur le site à 1 m du sol. Ce suivi est effectué afin d'évaluer l'impact du site sur son environnement et les populations environnantes. Il ne s'agit pas de données permettant d'estimer l'exposition externe d'une personne travaillant sur l'ensemble du site concerné par le projet.

Les résultats d'une cartographie de débit de dose gamma réalisée à 1 m du sol sont plus judicieux et permettent d'estimer la variabilité réelle de l'exposition sur la totalité de la surface du projet compte tenu de la variabilité de l'épaisseur des matériaux de couverture.

EOLFI a transmis une cartographie du site présentant des résultats d'un plan compteur effectué en 2019 par ORANO sur le site du BERNARDAN incluant une partie du CHERBOIS (cf. annexe 2).

Ces mesures mettent en évidence des zones comprises entre 100 c.s⁻¹ et 1 050 c.s⁻¹ (soit environ 125 à 1 315 nSv.h⁻¹) pour la partie Est et des zones comprises entre 100 c.s⁻¹ et 1 000 c.s⁻¹ (soit environ 125 à 1 250 nSv.h⁻¹) pour la partie Ouest avec une très grande majorité des valeurs de l'ordre de 200 c.s⁻¹ (soit environ 250 nSv.h⁻¹).

Compte tenu de la présence de radioactivité naturelle dans tous les milieux, l'étude ne doit prendre en compte que la part ajoutée par le site en comparaison du bruit de fond naturel. Ainsi, les données à prendre en compte pour la caractérisation des termes sources d'exposition sont celles issues de la différence entre les résultats obtenus sur site et ceux caractéristiques du bruit de fond naturel.

Les données retenues pour les calculs d'exposition sont synthétisées dans le tableau 3. Pour ce qui concerne l'Energie Alpha Potentielle volumique, les données moyennes du tableau 1 sont prises en compte.

Pour ce qui concerne le débit d'équivalent de dose, les résultats moyens de la cartographie surfacique d'ORANO sont retenus y compris pour la caractérisation du bruit de fond puisque plus représentatifs de l'exposition sur le site lui-même.

Station		Energie Alpha Potentielle volumique (nJ.m ⁻³)		Débit d'équivalent de dose (nSv.h ⁻¹)
		EAP _v (²²⁰ Rn)	EAP _v (²²² Rn)	
CHERBOIS	LABO	22	99	250
Village de LUSSAC-LES-EGLISES		24	138	110
Valeur ajoutée		0	0	140

Tableau 3 : données de caractérisation des termes sources « Air »

4. SCENARIO D'EXPOSITION RETENU

Dans le cas de l'exposition des travailleurs, l'impact du site concerné par cette étude, doit être déterminé pour :

- la phase d'implantation de la centrale photovoltaïque : usage 1 ;
- la phase d'exploitation du parc : usage 2 ;
- la phase de déconstruction : usage 3.

4.1. Usage 1

Sur la base des indications fournies par EOLFI concernant les activités de travaux à réaliser sur le site, les phases de travail de l'usage 1 peuvent être synthétisées selon les indications du tableau 4.

Typologie de fixation	Phase de travaux	Temps de présence	Remarques
Longrines béton	Implantation de la centrale photovoltaïque	3 mois	Travaux n'incluant pas d'opérations d'excavation de terres
Pieux battus	Terrassement pour enterrer les câbles	1,5 mois	Travaux incluant des opérations d'excavation de terres
	Perforation pour mise en place de pieux battus	3 mois	
	Implantation de la centrale photovoltaïque	3 mois	Travaux n'incluant pas d'opérations d'excavation de terres

Tableau 4 : activités prévues en phase d'implantation sur le site

Compte tenu de l'antériorité de l'Etang du CHERBOIS par rapport à l'exploitation minière, aucune considération radiologique n'est retenue pour l'implantation des structures flottantes.

Pour la phase 1, les scénarii retenus pour déterminer l'impact du site, sont tirés des scénarii génériques présentés en annexe 9 dans le guide de l'IRSN (gestion des sites et sols pollués par des matières radioactives).

Le scénario 1 (phase d'implantation de la centrale photovoltaïque) retient les hypothèses suivantes :

Description : le site est un lieu professionnel, sans bâtiment, avec des surfaces à nu, sans puits, ni potager, ni de plan d'eau (mare, étang). La pollution radiologique des sols est piégée par un matériau de couverture végétalisé.

Personne(s) exposée(s) : adultes de chaque sexe peuvent être envisagés a priori - les apprentis (adolescents) ne sont pas concernés.

Activité(s) pratiquée(s) : activités professionnelles type industriel.

Voie(s) d'exposition :

- Exposition interne par inhalation à l'extérieur,
- Exposition interne par inhalation à l'extérieur – Travaux extérieurs,
- Exposition externe au dépôt à l'extérieur – Espaces verts,
- Exposition externe à l'air à l'extérieur – Travaux extérieurs,
- Exposition interne par ingestion de sol par inadvertance.

Dans le cas envisagé pour le site du BERNARDAN - CHERBOIS, la durée d'exposition maximale est estimée, pour une même entreprise à 5 mois (cf. tableau 4). Cette durée est fixée à titre conservatoire.

4.2. Usage 2

Sur la base des indications fournies par EOLFI, l'usage 2 ne présente qu'une seule phase de travail (surveillance du site) synthétisée dans le tableau 5.

Phase de travaux	Temps de présence	Remarques
Site en production	Intervention annuelle ponctuelle sur 30 jours maximum	Pas d'activité de mouvement de terres

Tableau 5 : activités prévues en phase de production du site

Pour la phase 2, les scénarii retenus pour déterminer l'impact du site, sont tirés des scénarii génériques présentés en annexe 9 dans le guide de l'IRSN (gestion des sites et sols pollués par des matières radioactives).

Le scénario 2 (phase de site en production) retient les hypothèses suivantes :

Description : le site est un lieu professionnel, sans bâtiment, avec des surfaces à nu, sans puits, ni potager, ni de plan d'eau (mare, étang). La pollution radiologique des sols est piégée par un matériau de couverture végétalisé.

Personne(s) exposée(s) : adultes de chaque sexe peuvent être envisagés a priori - les apprentis (adolescents) ne sont pas concernés.

Activité(s) pratiquée(s) : activités professionnelles industrielles.

Voie(s) d'exposition :

- Exposition interne par inhalation à l'extérieur,
- Exposition externe au dépôt à l'extérieur – espaces verts,

Dans le cas envisagé pour le site du BERNARDAN - CHERBOIS, la durée d'exposition est estimée à 30 jours par an.

4.3. Usage 3

Sur la base des indications fournies par EOLFI, l'usage 3 ne présente qu'une seule phase de travail (déconstruction de la centrale) synthétisée dans le tableau 6.

Typologie de fixation	Phase de travaux	Temps de présence	Remarques
Longrines béton	Site en déconstruction	3 mois	Pas d'activité de mouvement de terres
Pieux battus		3 mois	Mouvement de terres (relève des câbles enterrés et des structures enfoncées)

Tableau 6 : activités prévues en phase de déconstruction du site

Pour la phase 3, les scénarii retenus pour déterminer l'impact du site, sont tirés des scénarii génériques présentés en annexe 9 dans le guide de l'IRSN (gestion des sites et sols pollués par des matières radioactives).

Le scénario 3 (phase de site en déconstruction) retient les hypothèses suivantes :

Description : le site est un lieu professionnel, sans bâtiment, avec des surfaces à nu, sans puits, ni potager, ni de plan d'eau (mare, étang). La pollution radiologique des sols est piégée par un matériau de couverture végétalisé.

Personne(s) exposée(s) : adultes de chaque sexe peuvent être envisagés a priori - les apprentis (adolescents) ne sont pas concernés.

Activité(s) pratiquée(s) : activités professionnelles industrielles.

Voie(s) d'exposition :

- Exposition interne par inhalation à l'extérieur,
- Exposition interne par inhalation à l'extérieur – Travaux extérieurs,
- Exposition externe au dépôt à l'extérieur – Espaces verts,
- Exposition externe à l'air à l'extérieur – Travaux extérieurs,
- Exposition interne par ingestion de sol par inadvertance.

Dans le cas envisagé pour le site du BERNARDAN - CHERBOIS, la durée d'exposition est estimée à 3 mois, les phases de déconstruction étant menées de façon simultanée pour les 2 typologies de fixation des panneaux photovoltaïques.

5. EVALUATION DOSIMETRIQUE

5.1. Voies d'exposition retenues dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS

Les équations qui figurent dans les paragraphes qui suivent sont reprises pour chacune des voies d'exposition retenues, du guide de l'IRSN version de décembre 2011. Comme indiqué dans le guide, les formules de calcul des doses efficaces associées aux diverses voies d'exposition sont présentées en fonction du radionucléide (rn) et de la classe d'âge (ca). Dans le cas des radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238, les doses obtenues pour chaque radionucléide de la chaîne ont été prises en compte. Les formules de calcul sont présentées pour des scénarii de durée spécifique.

5.1.1. Exposition interne par inhalation à l'extérieur

5.1.1.1. Cas des émetteurs alpha à vie longue

Pour ce qui concerne les poussières à vie longue, les résultats de la surveillance mettent en évidence des valeurs non significatives (résultats inférieurs à la limite de détection de la méthode).

L'exposition interne par inhalation de ces poussières n'est pas retenue dans la présente évaluation.

5.1.1.2. Cas des émetteurs alpha à vie courte due aux descendants à vie courte des isotopes 220 et 222 du radon

Il s'agit de l'exposition interne par inhalation des radionucléides à vie courte descendants des isotopes 220 et 222 du radon présent dans l'atmosphère extérieure.

Selon les résultats du tableau 3, le site n'engendre pas d'exposition ajoutée aux descendants à vie courte des isotopes 220 et 222 du Radon.

Cette voie d'exposition n'est donc pas retenue pour le calcul.

5.1.2. Exposition interne par inhalation à l'extérieur – travaux extérieurs

Comme indiqué dans le guide de l'IRSN, il s'agit de l'incorporation par inhalation des radionucléides ajoutés dans l'atmosphère à l'extérieur par une activité à l'extérieur et générant un empoussièrément à l'extérieur.

La dose qui en résulte s'exprime comme suit :

$$E_{\text{inhalation-extérieur-travaux extérieurs}}(rn,ca) = A_{\text{sol}}(rn) * Emp_{\text{extérieur-extérieur}} * F_{\text{inhalable}} * Dr(ca) * BT_{\text{travaux-extérieurs}}(ca) * DPUI_{\text{inhalation}}(rn,ca)$$

Pour chacun des termes de la formule repris du guide de l'IRSN, les valeurs retenues dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, sont précisées ci-dessous.

$E_{\text{inhalation-extérieur-travaux extérieurs}}$: Dose efficace par inhalation à l'extérieur pendant l'exécution de travaux extérieurs exprimée en $\text{mSv}\cdot\text{an}^{-1}$.

A_{sol} : Activité massique d'un sol extérieur : surface couverte, ou espace vert, ou potager ou berge exprimée en $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$. Comme indiqué précédemment, dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, l'activité massique des sols extérieurs prise en compte dans l'étude est à titre conservatoire, de $5 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ pour les radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux (cf. chapitre 3.1).

$\text{Emp}_{\text{extérieur-extérieur}}$: Empoussièrement à l'extérieur pour des travaux extérieurs exprimé en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dans le cadre de la présente étude, la valeur retenue pour l'empoussièrement de l'air extérieur est de $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (source §10.5. de l'annexe 9 du guide de l'IRSN).

$F_{\text{inhalable}}$: Fraction inhalable des aérosols, sans dimension. Dans la cadre de la présente étude, la valeur retenue pour ce paramètre est de 0,75 (source RIVM Institut de santé environnementale des Pays-Bas et HESP INERIS Human Exposure to Soil Pollutants).

Dr : Débit respiratoire exprimé en $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Dans le cadre de la présente étude, la valeur retenue pour ce paramètre, est de $3,0 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ pour les adultes âgés de plus de 18 ans (source §10.2. de l'annexe 9 du guide de l'IRSN pour une activité de type exercice lourd).

$BT_{\text{travaux-extérieurs}}$: Budget temps consacré à des travaux extérieurs exprimé en $\text{h}\cdot\text{an}^{-1}$. Dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, il a été considéré pour cette étude que des travaux de terrassement pouvaient être réalisés sur le site pendant 4,5 mois pour l'usage 1 et 3 mois pour l'usage 3. Ceci conduit pour le paramètre « Budget temps » consacré à des travaux extérieurs à une valeur de $630 \text{ h}\cdot\text{an}^{-1}$ (7 heures par jour pendant 90 jours) pour l'usage 1 et à une valeur de $420 \text{ h}\cdot\text{an}^{-1}$ (7 heures par jour pendant 60 jours) pour l'usage 3.

$\text{DPUI}_{\text{inhalation}}$: Dose efficace par unité d'incorporation par inhalation exprimée en $\text{mSv}\cdot\text{Bq}^{-1}$. Dans le cadre de la présente étude, la valeur retenue pour ce paramètre, est $2,84\cdot 10^{-2} \text{ mSv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ pour les adultes âgés de plus de 18 ans (source §10.4. de l'annexe 9 du guide de l'IRSN pour l'ensemble des radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux).

Les valeurs des paramètres précisées ci-dessus conduisent à une dose calculée dans le tableau 8.

Classe d'âge	Dose calculée ($\text{mSv}\cdot\text{an}^{-1}$)
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 1	$E_{\text{inhalation-extérieur-travaux extérieurs}} = 5 \times 1,0\cdot 10^{-3} \times 0,75 \times 3,0 \times 630 \times 2,84\cdot 10^{-2} = \mathbf{0,201 \text{ mSv}}$
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 3	$E_{\text{inhalation-extérieur-travaux extérieurs}} = 5 \times 1,0\cdot 10^{-3} \times 0,75 \times 3,0 \times 420 \times 2,84\cdot 10^{-2} = \mathbf{0,134 \text{ mSv}}$

Tableau 8 : estimation de la dose annuelle relative à l'exposition interne par inhalation à l'extérieur – travaux extérieurs

5.1.3. Exposition externe au dépôt à l'extérieur – espaces verts

Comme indiqué dans le guide de l'IRSN, il s'agit de l'exposition aux rayonnements des radionucléides présents dans les sols extérieurs et non recouverts (par du bitume, enrobé), pendant que la personne séjourne sur ces espaces verts. Dans le cas du BERNARDAN - CHERBOIS, on considère que le site du CHERBOIS est assimilable au « dépôt » et que la zone d'implantation des panneaux est assimilable aux « espaces verts » du guide IRSN.

La dose qui en résulte s'exprime comme suit:

$$E_{\text{dépôt-extérieur-espaces verts}}(rn,ca) = DD_{\text{extérieur-espaces verts}} * 10^{-3} * BT_{\text{extérieur-espaces verts}}(ca) * N$$

Pour chacun des termes de la formule repris du guide de l'IRSN, les valeurs retenues dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, sont précisées ci-dessous.

$E_{\text{dépôt-extérieur-espace verts}}$: Dose efficace par exposition externe au dépôt à l'extérieur sur des espaces verts exprimée en $mSv.an^{-1}$.

$DD_{\text{extérieur-espaces verts}}$: Débit de dose à l'extérieur dans les espaces verts exprimé en $\mu Sv.h^{-1}$. Comme indiqué précédemment, cette valeur est prise à $0,140 \mu Sv.h^{-1}$.

$BT_{\text{extérieur-espaces verts}}$: Budget temps passé à l'extérieur sur des espaces verts exprimée en $h.j^{-1}$. Il a été considéré pour cette étude un "Budget temps passé à l'extérieur sur des espaces verts" de $7 h.j^{-1}$ pour les adultes âgés de plus de 18 ans (source §10.1 de l'annexe 9 du guide de l'IRSN).

N : Nombre de jours considérés, $j.an^{-1}$. Dans le cadre de cette étude, il a été considéré 100 jours de travail pour les adultes pour l'usage 1, 30 jours par an pour l'usage 2 et 60 jours par an pour l'usage 3.

Les valeurs des paramètres précisées ci-dessus conduisent à une dose calculée dans le tableau 9.

Classe d'âge	Dose calculée ($mSv.an^{-1}$)
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 1	$E_{\text{dépôt-extérieur-espaces verts}} = 0,140 \times 1.10^{-3} \times 7 \times 100 = \mathbf{0,098 mSv}$
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 2	$E_{\text{dépôt-extérieur-espaces verts}} = 0,140 \times 1.10^{-3} \times 7 \times 30 = \mathbf{0,029 mSv}$
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 3	$E_{\text{dépôt-extérieur-espaces verts}} = 0,140 \times 1.10^{-3} \times 7 \times 60 = \mathbf{0,059 mSv}$

Tableau 9 : estimation de la dose annuelle relative à l'exposition externe au dépôt à l'extérieur – espaces verts

5.1.4. Exposition externe à l'air à l'extérieur – travaux extérieurs

Comme indiqué dans le guide de l'IRSN, il s'agit de l'exposition aux rayonnements des radionucléides ajoutés dans l'atmosphère à l'extérieur par une activité à l'extérieur et générant un empoussièrément à l'extérieur (mouvement de terres).

La dose qui en résulte s'exprime comme suit :

$$E_{\text{panache-extérieur-travaux extérieurs}}(rn,ca) = A_{\text{sol}}(rn) * \text{Emp}_{\text{extérieur-extérieur}} * \text{BT}_{\text{travaux-externes}}(ca) * 3\,600 * \text{CD}_{\text{panache}}(rn)$$

Pour chacun des termes de la formule repris du guide de l'IRSN, les valeurs retenues dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, sont précisées ci-dessous.

$E_{\text{panache-extérieur-travaux extérieurs}}$: Dose efficace par exposition externe à l'air à l'extérieur pendant l'exécution de travaux extérieurs exprimée en $\text{mSv}\cdot\text{an}^{-1}$.

A_{sol} : Activité massique d'un sol extérieur exprimée en $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$. Comme indiqué précédemment, dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, l'activité massique des sols prise en compte dans l'étude est à titre conservatoire, de $5 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ pour les radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux.

$\text{Emp}_{\text{extérieur-extérieur}}$: Empoussièrément à l'extérieur pour des travaux extérieurs exprimé en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dans le cadre de la présente étude, la valeur retenue pour l'empoussièrément de l'air extérieur est de $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (source §10.5 de l'annexe 9 du guide de l'IRSN).

$\text{BT}_{\text{travaux-externes}}$: Budget temps consacré à des travaux extérieurs exprimé en $\text{h}\cdot\text{an}^{-1}$. Dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, il a été considéré pour cette étude que des travaux de terrassement pouvaient être réalisés sur le site pendant 4,5 mois pour l'usage 1 et 3 mois pour l'usage 3. Ceci conduit pour le paramètre « Budget temps » consacré à des travaux extérieurs à une valeur de $630 \text{ h}\cdot\text{an}^{-1}$ (7 heures par jour pendant 90 jours) pour l'usage 1 et à une valeur de $420 \text{ h}\cdot\text{an}^{-1}$ (7 heures par jour pendant 60 jours) pour l'usage 3.

$\text{CD}_{\text{panache}}$: Coefficient de dose par exposition externe à l'air exprimée en $\text{mSv}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{m}^3$. Dans le cas des radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux, hypothèse retenue dans le cadre de la présente étude, la valeur retenue pour ce paramètre, est de $8,91\cdot 10^{-11} \text{ mSv}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{m}^3$ (source tableau III.1 du Federal Guidance 12).

Les valeurs des paramètres précisées ci-dessus conduisent à une dose calculée dans le tableau 10.

Classe d'âge	Dose calculée ($\text{mSv}\cdot\text{an}^{-1}$)
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 1	$E_{\text{panache-extérieur-travaux}} = 5 \times 1\cdot 10^{-3} \times 630 \times 3600 \times 8,91\cdot 10^{-11} = 1,01\cdot 10^{-6} \text{ mSv}$
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 3	$E_{\text{panache-extérieur-travaux}} = 5 \times 1\cdot 10^{-3} \times 420 \times 3600 \times 8,91\cdot 10^{-11} = 6,74\cdot 10^{-7} \text{ mSv}$

Tableau 10 : estimation de la dose annuelle relative à l'exposition externe à l'air à l'extérieur – travaux extérieurs

5.1.5. Exposition interne par ingestion de sol par inadvertance

Comme indiqué dans le guide de l'IRSN, il s'agit de l'incorporation par ingestion involontaire des radionucléides présents dans le sol.

La dose qui en résulte s'exprime comme suit :

$$E_{\text{ingestion-sol par inadvertance}}(rn,ca) = A_{\text{sol}}(rn) * Q_{\text{sol}}(ca) * DPUI_{\text{ingestion}}(rn,ca)$$

Pour chacun des termes de la formule repris du guide de l'IRSN, les valeurs retenues dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, sont précisées ci-dessous.

$E_{\text{ingestion-sol par inadvertance}}$: Dose efficace par ingestion de sol par inadvertance exprimée en mSv.an⁻¹.

A_{sol} : Activité massique d'un sol extérieur exprimée en Bq.g⁻¹. Comme indiqué précédemment, dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS, l'activité massique des sols prise en compte dans l'étude est à titre conservatoire, de 5 Bq.g⁻¹ pour les radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux.

Q_{sol} : Consommation de sol par inadvertance exprimée en g.an⁻¹. Dans le cadre de cette étude, il a été retenu pour les adultes âgés de plus de 18 ans, une consommation de sol par inadvertance de 3,6 g.an⁻¹ (40 mg par jour 90 jours par an (durée maximale des travaux d'excavation) pour l'usage 1 et 2,4 g.an⁻¹ (40 mg par jour 60 jours par an (durée maximale des travaux d'excavation) pour l'usage 3 (source § 10.9. du guide de l'IRSN)

$DPUI_{\text{ingestion}}$: Dose efficace par unité d'incorporation par ingestion exprimée en mSv.Bq⁻¹. Dans le cadre de la présente étude, la valeur retenue pour ce paramètre, est 2,5.10⁻³ mSv.Bq⁻¹ pour les adultes âgés de plus de 18 ans (source §10.4. de l'annexe 9 du guide de l'IRSN pour l'ensemble des radionucléides de la chaîne de l'Uranium 238 en équilibre entre eux).

Les valeurs des paramètres précisées ci-dessus conduisent à une dose calculée dans le tableau 11.

Classe d'âge	Dose calculée (mSv.an ⁻¹)
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 1	$E_{\text{ingestion-sol par inadvertance}} = 5 \times 3,6 \times 2,5.10^{-3} = \mathbf{0,045 \text{ mSv}}$
adultes âgés de plus de 18 ans – usage 3	$E_{\text{ingestion-sol par inadvertance}} = 5 \times 2,4 \times 2,5.10^{-3} = \mathbf{0,03 \text{ mSv}}$

Tableau 11 : estimation de la dose annuelle relative à l'exposition interne par ingestion de sol par inadvertance

5.2. Calcul de la dose totale dans le cas du site du BERNARDAN - CHERBOIS

La dose totale pour chaque scénario d'usage est la somme des doses dues à chacune des voies d'exposition retenues sur la base des hypothèses qui précèdent. Les résultats des calculs de la dose totale sont présentés dans les tableaux 12, 13 et 14.

Scénario – Usage 1	
Voies d'exposition	Dose pour la classe d'âge (adultes âgés de plus de 18 ans)
Exposition interne par inhalation à l'extérieur	-
Exposition interne par inhalation à l'extérieur – Travaux extérieurs	0,201
Exposition externe au dépôt à l'extérieur – espaces verts	0,098
Exposition externe à l'air à l'extérieur – Travaux extérieurs	$1,01 \cdot 10^{-6}$
Exposition interne par ingestion de sol par inadvertance	0,045
Dose efficace annuelle (mSv)	0,344

Tableau 12 : estimation de la dose efficace totale – scénario usage 1

Scénario – Usage 2	
Voies d'exposition	Dose pour la classe d'âge (adultes âgés de plus de 18 ans)
Exposition interne par inhalation à l'extérieur	-
Exposition externe au dépôt à l'extérieur – espaces verts	0,03
Dose efficace annuelle (mSv)	0,03

Tableau 13 : estimation de la dose efficace totale annuelle – scénario usage 2

Scénario – Usage 3	
Voies d'exposition	Dose pour la classe d'âge (adultes âgés de plus de 18 ans)
Exposition interne par inhalation à l'extérieur	-
Exposition interne par inhalation à l'extérieur – Travaux extérieurs	0,134
Exposition externe au dépôt à l'extérieur – espaces verts	0,059
Exposition externe à l'air à l'extérieur – Travaux extérieurs	$6,74 \cdot 10^{-7}$
Exposition interne par ingestion de sol par inadvertance	0,03
Dose efficace annuelle (mSv)	0,223

Tableau 14 : estimation de la dose efficace totale annuelle – scénario usage 3

Dans le cas de cette étude, la dose efficace annuelle susceptible d'être reçue par les personnes considérées est égale à 0,344 mSv pour la phase d'implantation de la centrale photovoltaïque sur le site du BERNARDAN - CHERBOIS, 0,03 mSv pour la phase de production et 0,223 mSv pour la phase de déconstruction.

Il est à noter que ces doses ne tiennent pas compte des mesures de protection collective et individuelle qui seront être mises en œuvre sur le site.

Ces valeurs sont à comparer à la limite fixée dans le code de la santé publique, à 1 mSv pour les personnes du public.

Les travaux envisagés dans le cadre du projet photovoltaïque et selon les modalités de mise en œuvre décrites au chapitre 2, ne sont pas susceptibles d'engendrer une exposition radiologique des personnes au-delà de 1 mSv, limite au-delà de laquelle les travailleurs sont considérés comme exposés à la radioactivité.

6. CONCLUSION

Dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque sur l'ancien site minier uranifère du BERNARDAN - CHERBOIS, une évaluation de l'impact radiologique des travailleurs a été conduite.

Sur la base d'hypothèses majorantes en termes de durée d'exposition et de taux d'empoussièrement, la dose efficace annuelle maximale susceptible d'être reçue par les travailleurs sur le site du BERNARDAN - CHERBOIS pour chacune des phases d'implantation, de production et de déconstruction de la centrale photovoltaïque est comprise entre 0,03 et 0,344 mSv.

Ces valeurs sont à comparer à la limite fixée dans le code de la santé publique, à 1 mSv par an en dose ajoutée à la radioactivité naturelle pour les travailleurs considérés comme non exposés.

Les travaux, envisagés dans le cadre du projet photovoltaïque selon des modalités de mise en œuvre « hors sol », ne sont pas susceptibles d'engendrer une exposition radiologique des travailleurs au-delà de 1 mSv par an.

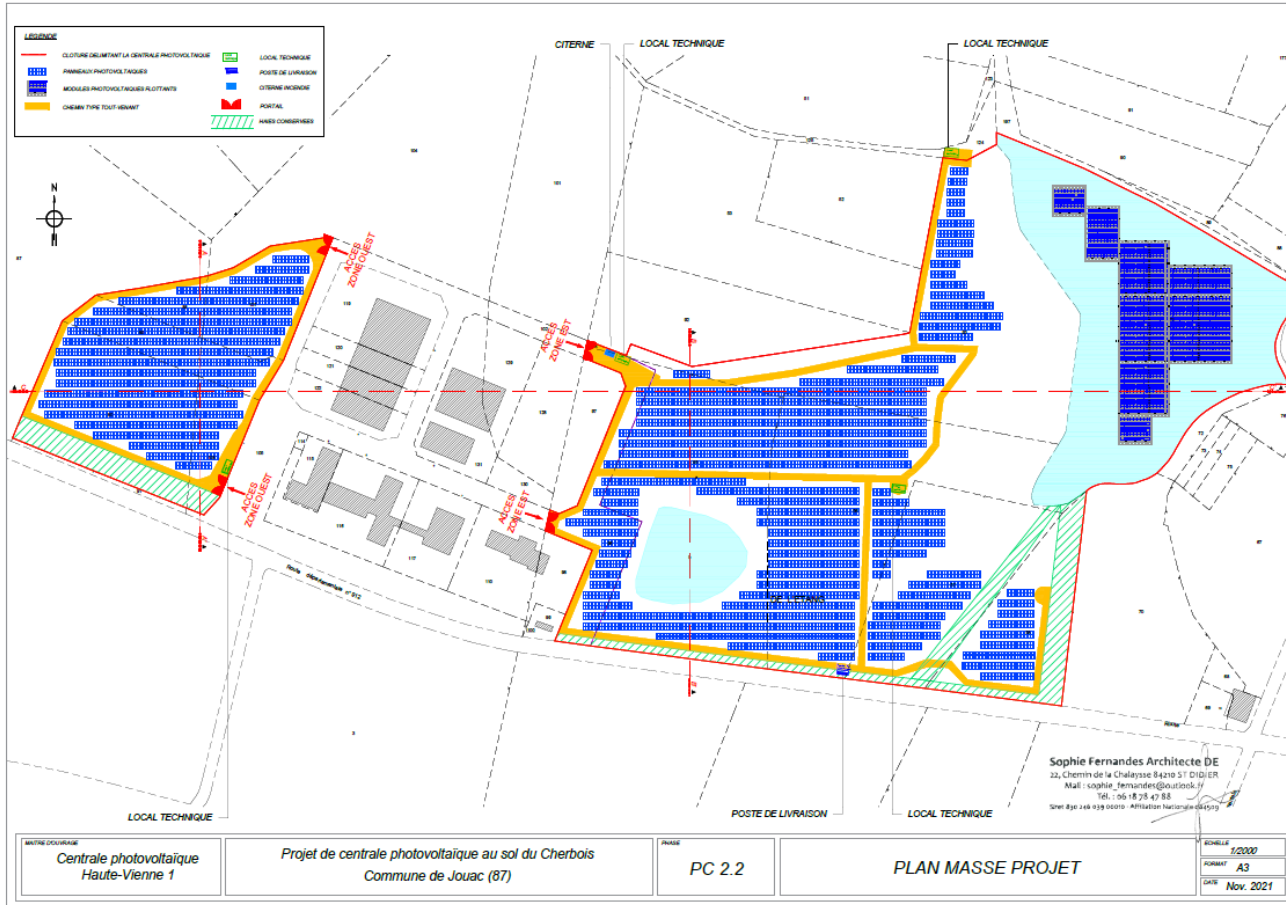
Il est à noter que les doses calculées ne tiennent pas compte des mesures de protection collective et individuelle qui seront être mises en œuvre sur le site.

ANNEXE 1

SITE LE BERNARDAN – CHERBOIS (87)

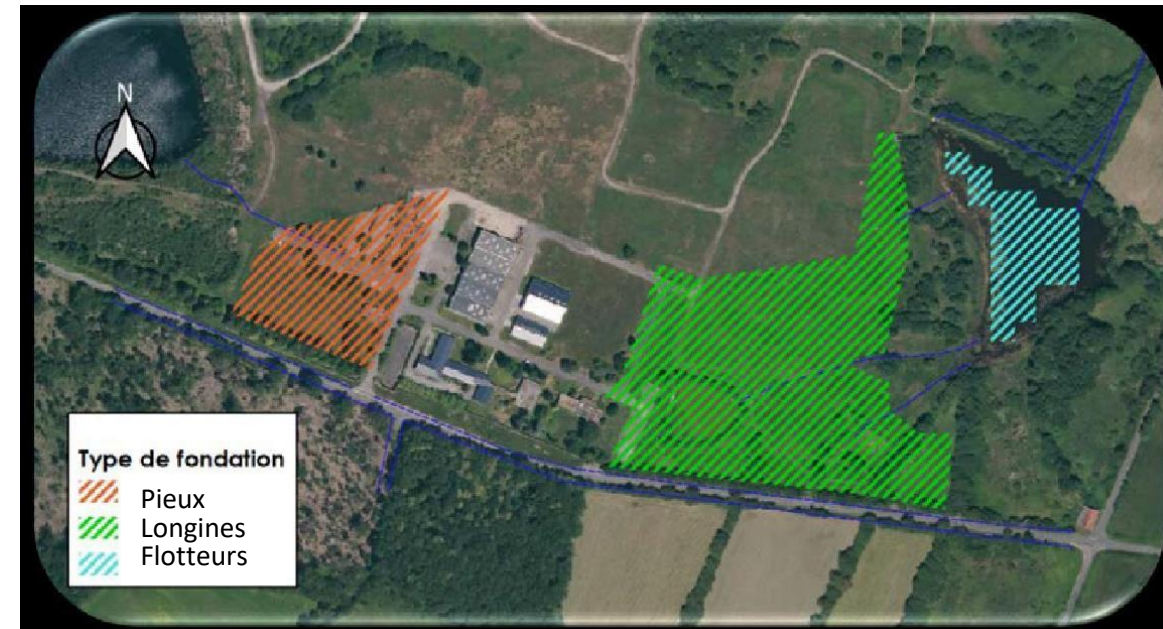
PLAN D'IMPLANTATION DU PROJET PHOTOVOLTAÏQUE

Implantation



Zonage du projet	Technologies	Puissance (MWc)
Ouest	Pieux battus	1.69
Est	Longrines béton *	5.66
Etang du Cherbois	Structures flottantes	1.02
Total		8.36

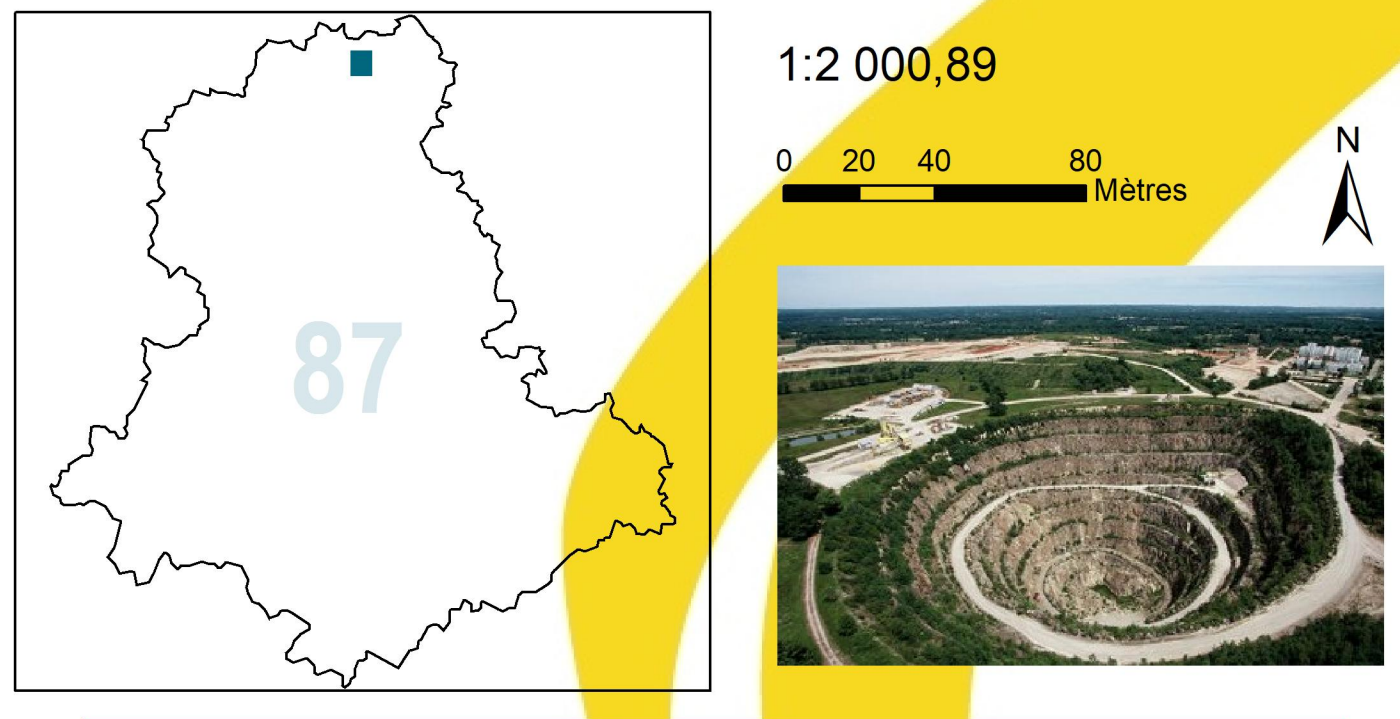
* Prise en compte de la SUP



ANNEXE 2

SITE LE BERNARDAN (87)

PLAN COMPTEUR REALISE PAR ORANO



Légende

Emprise minière	Plans compteurs sites < 300 c/s
Mine à ciel ouvert	Entre 300 et 600 c/s
MCO en eau	> 600 c/s
Galeries	Propriétés CFM (ex SMJ)
Entrées de galeries	
Ouvrages au jour	
Verses à stérile	
Stockage de résidus	
Périmètres de Sécurité	

Système de coordonnées: RGF 1993 Lambert 93
Projection: Lambert Conformal Conic
Datum: RGF 1993
Unités: Meter
Auteur: sgerland
Date: 02/07/2019
Nom du document: BER_2019_PC_A0

