

PROJET DE PARC PHOTOVOLTAÏQUE AU SOL

COMMUNE DE NIVOLAS-VERMELLE (38300)



Demande d'examen au cas par cas

AF1_Note d'enjeux environnementale

Table des matières

Synthèse	3
I. Contexte réglementaire	4
II. Description du projet et de son contexte	5
2.1. Présentation du site de l'étude	5
2.2. Caractéristiques du projet	6
2.3. Justification du choix du site	9
2.3.1. Une analyse des friches du territoire	9
2.3.2. Un projet compatible avec les documents d'urbanisme	10
2.3.3. Un projet qui s'inscrit dans la stratégie locale en matière de transition énergétique	12
2.3.4. Une localisation hors des zones à forts enjeux environnementaux	12
2.3.5. Une absence de risques naturels majeurs	13
2.3.6. Des conditions techniques et d'accès déjà adaptées	14
III. Analyse des enjeux du milieu physique	16
3.1. Géologie, topographie et sols	16
3.2. Hydrographie et hydrogéologie	18
3.3. Climat, Air et Énergie	19
IV. Analyse des enjeux du milieu humain	20
4.1. Urbanisme, voisinage et occupation du sol	20
4.2. Patrimoine Culturel et Archéologique	20
4.3. Patrimoine et paysage	21
4.4. Servitudes d'Utilité Publique	22
4.5. Risques Naturels et Technologiques	23
Annexe A : Méthodologie et outil utilisés pour l'estimation du bilan carbone –	26

Table des illustrations

Figure 1 : Plan de situation 1/25000 de la parcelle	5
Figure 2 : IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière). Remonter le temps. Consulté le 19 juin 2026.	6
Figure 3 : identification des friches à l'échelle de la CA Porte de l'Isère	9
Figure 4 : Cartes issues du Registre Parcellaire Graphique (RPG) en 2011 et en 2024 avec en vert, les parcelles qui ont fait l'objet d'une déclaration à la PAC	11
Figure 5 : Représentation cartographique des principaux corridors écologiques	13
Figure 6 : Zonage réglementaire du plan de Prévention des Risques (PPR)	14
Figure 7 : accès et raccordement du projet	15
Figure 8 : résultat de la simulation de raccordement d'Enedis	15
Figure 9 : Carte avec Profil altimétrique Nord/Sud et Ouest/Est de la zone du projet	16
Figure 10 : Localisation du projet sur fond de carte Géorisques	17
Figure 11 : Localisation du projet sur fond de carte topographique	17
Figure 12 : localisation du projet au regard de la cartographie des zones humides potentielles (Source : Cartographie nationale des zones humides potentielles).	18
Figure 13 : émissions de CO ₂ générées par le projet (en tonnes) et répartition par groupe d'équipements	20

Synthèse

Le projet consiste en l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol d'une puissance de 1409 kWc sur la parcelle B62 située sur la commune de Nivolas-Vermelle (38300), en Isère. Le site identifié est une friche dégradée de 1,43 ha.

Les différentes analyses du site montrent que ce projet s'avère être en bonne adéquation avec la stratégie et la réglementation de la commune. En s'implantant sur un terrain dégradé et non exploité, il répond à l'objectif de lutte contre l'étalement urbain inscrit dans le PADD.

Sur le plan réglementaire, sa conformité est assurée par l'article A 2.3 du règlement du PLU, qui autorise explicitement les équipements d'intérêt collectif en zone agricole. La parcelle concernée est inscrite au document-cadre.

Le projet respecte l'ensemble des contraintes et enjeux environnementaux identifiés par la commune : il se situe en dehors des zones de risques naturels définies par le PPRN et à l'écart des secteurs de protection écologique les plus sensibles (corridors, zones humides).

Il représente ainsi une opportunité de produire une énergie renouvelable locale tout en valorisant un terrain dégradé, sans consommer d'espace agricole ou naturel et en s'intégrant de manière cohérente dans le cadre réglementaire de Nivolas-Vermelle.

I. Contexte réglementaire

Le pétitionnaire SMEG DEVELOPPEMENT saisit l'Autorité Environnementale par le biais d'une demande au cas par cas dans le cadre d'un projet de parc photovoltaïque sur la commune de Nivolas-Vermelle, dans le département de l'Isère (38).

La catégorie applicable du tableau des seuils et critères annexé à l'article R. 122-2 du code de l'environnement et correspondant au dimensionnement du projet est :

- *Installations photovoltaïques de production d'électricité (hormis celles sur toitures, ainsi que celles sur ombrières situées sur des aires de stationnement) :*
 - o *Installations d'une puissance égale ou supérieure à 3 MWc, à l'exception des installations sur ombrières :* projets soumis à évaluation environnementale ;
 - o *Installations d'une puissance égale ou supérieure à 300 kWc :* projets soumis à examen au cas par cas.

Les pièces constituant la demande d'examen au cas par cas sont :

- Document CERFA n° 14 734-04 ;
- Annexes obligatoires :
 - o Annexe 1 : Document CERFA n°14734 « informations nominatives relatives au maître d'ouvrage ou pétitionnaire » ;
 - o Annexe 2 : Plan de situation du projet
 - o Annexe 3 : Photographie du site et localisation des prises de vues
 - o Annexe 4 : Plans du projet
 - o Annexe 5 : Plan des abords du projet
 - o Annexe 6 : Formulaire d'évaluation simplifiée des incidences Natura 2000 ; Situation par rapport aux sites Natura 2000
- Annexes volontaires :
 - o AF 1 : Note d'enjeux environnementale
 - o AF 2 : Note d'enjeux paysagère
 - o AF 3 : Note d'enjeux écologique
 - o AF 4 : Note technique

La présente note d'enjeux environnementale (AF 1) a pour vocation de fournir une analyse globale et transversale des interactions entre le projet et son environnement. Les enjeux écologiques (faune, flore, habitats et milieux naturels), qui représentent une composante essentielle de cette analyse, font l'objet d'une étude approfondie et dédiée dans la Note d'enjeux écologique (AF 3). Par conséquent, pour les aspects spécifiques à la biodiversité, cette note synthétisera les conclusions principales et fera systématiquement référence à l'annexe AF 3 pour une lecture détaillée des inventaires, des sensibilités et des impacts.

Le dossier est donc constitué de trois notes d'enjeux distinctes et complémentaires : environnementale (AF 1), paysagère (AF 2) et écologique (AF 3)

II. Description du projet et de son contexte

2.1. Présentation du site de l'étude

La société SMEG DEVELOPPEMENT présente un projet photovoltaïque au lieu-dit La Plaine, sur la commune de Nivolas-Vermelle. Le projet concerne la parcelle B62 sur une superficie totale d'environ 1,43 ha.

Le site est accessible depuis le chemin de la Poudrière et la rue du Lac.

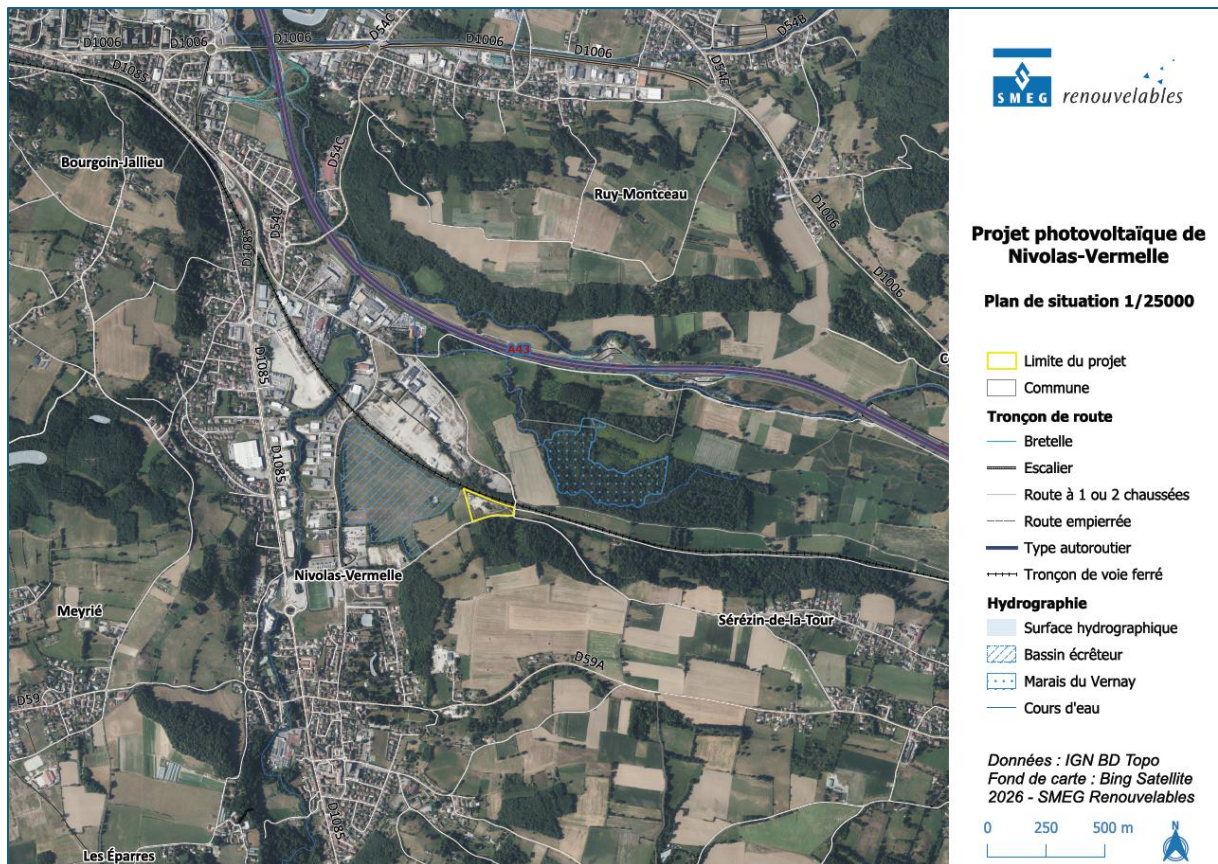


Figure 1 : Plan de situation 1/25000 de la parcelle

Le site se situe à l'Est de la ville, sur une plaine et la parcelle sert, depuis plusieurs années, de zone d'entreposage de matériaux de construction de récupération en lien avec l'activité du propriétaire du site (entreprise de BTP).

On remarque que l'usage agricole passé du site a laissé place à un usage logistique, avec du stockage de matériaux de construction et de gravats et des (Figure 2).

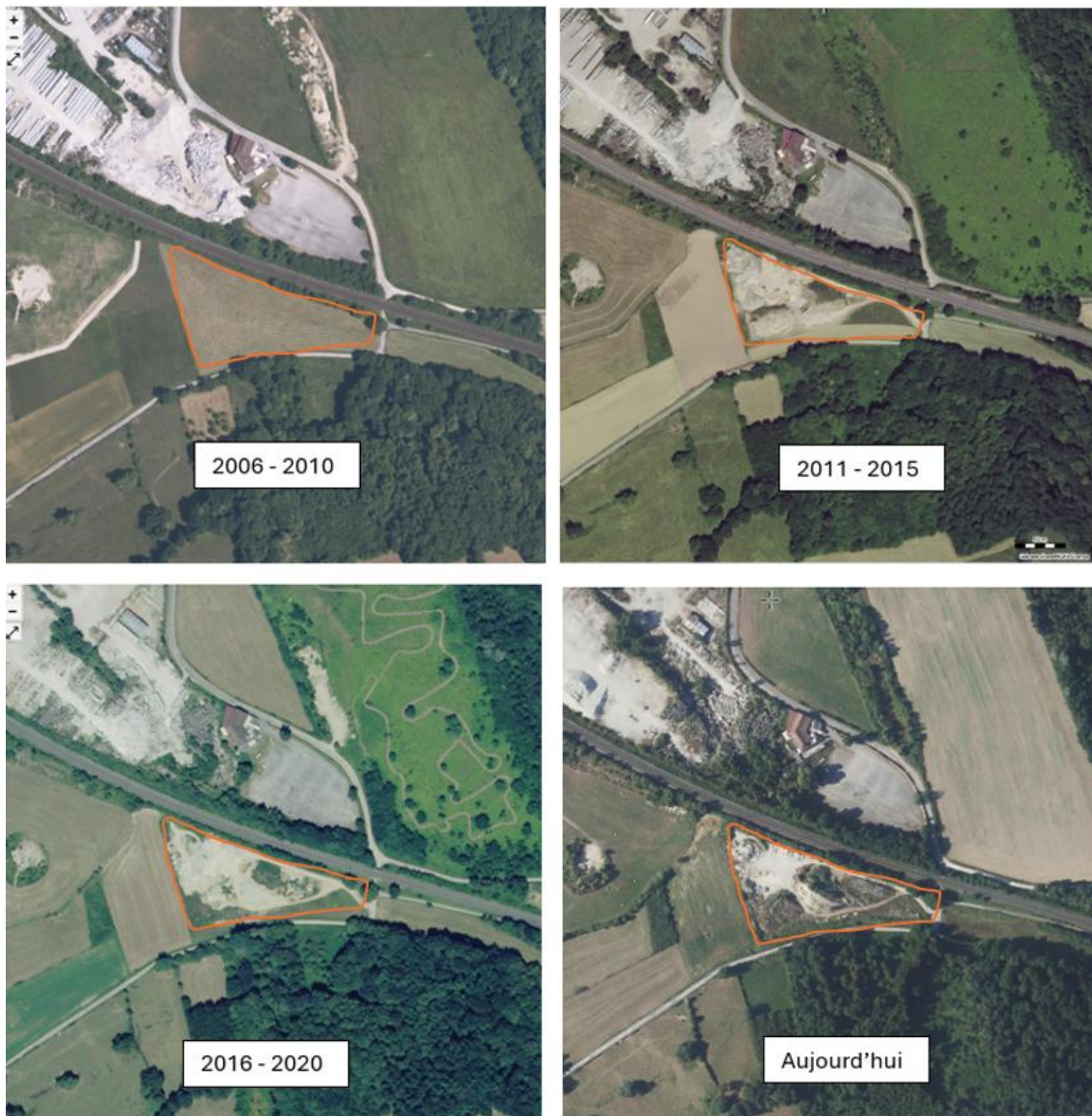


Figure 2 : IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière). Remonter le temps.
Consulté le 19 juin 2026.

2.2. Caractéristiques du projet

Le projet consiste en l'installation d'une centrale photovoltaïque au sol d'une puissance nominale de 1409 kWc sur la commune de Nivolas-Vermelle. L'installation sera composée de 1917 modules, d'une puissance unitaire de 735 Wc.

Ces modules seront montés sur des structures fixes, ancrées au sol par des pieux battus, sans recours à des fondations en béton. Les tables seront orientées plein Sud (azimut de 0°) avec une inclinaison fixe de 15° pour optimiser la production annuelle. L'agencement prévoit une hauteur maximale des panneaux à 3 mètres du sol et un point bas à 1,10 mètre, avec une distance de 3 mètres entre chaque rangée de tables.

La conversion du courant continu en courant alternatif sera assurée par 4 onduleurs pour une puissance totale de 1200 kWac. L'énergie produite, estimée à environ 1750 MWh par an,

sera injectée sur le réseau électrique public. Cette production équivaut à la consommation électrique annuelle d'environ 380 foyers.

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du projet

Catégories	Paramètres	Valeurs
Caractéristiques Générales	Type de projet	Centrale solaire au sol
	Localisation	Nivolas-Vermelle (38), France
	Puissance nominale installée (DC)	1409 kWc
	Puissance totale des onduleurs (AC)	1200 kWac
	Ratio DC/AC	1,42
Implantation et Structure	Technologie de pose	Tables fixes sur pieux battus
	Inclinaison des modules	15°
	Orientation	Plein Sud (Azimut 0°)
	Hauteur maximale des structures	3 m
	Hauteur minimale des structures	1,10 m
	Distance inter-table	3 m
Champ Photovoltaïque	Puissance unitaire d'un module	735 Wc
	Nombre total de modules	1917
	Surface totale des modules	5955 m ²
	Configuration des chaînes	71 modules par chaîne ; 27 chaînes
Conversion de Puissance	Nombre d'onduleurs	4
	Puissance unitaire d'un onduleur	300 kWac
Production Énergétique (selon PVSyst)	Production annuelle prévisionnelle	1749,8 MWh/an (soit 1,75 GWh/an)
	Productible spécifique attendu	1242 kWh/kWc/an
	Indice de performance (PR)	83,2 %
	Équivalent consommation	380 foyers (hors chauffage)



2.3. Justification du choix du site

2.3.1. Une analyse des friches du territoire

Une première recherche à l'échelle de l'intercommunalité (CA Porte de l'Isère) a été menée via la base de données *Cartofriches* pour identifier des terrains de plus de 1 hectare.

Sur les 7 sites potentiels identifiés comme friches théoriques, 6 ont été écartés pour des raisons d'incompatibilité (projets de logements, terrains déjà bâtis, présence de forêt, etc.). La parcelle de Nivolas-Vermelle est donc apparue comme la seule option viable issue de cette première analyse.

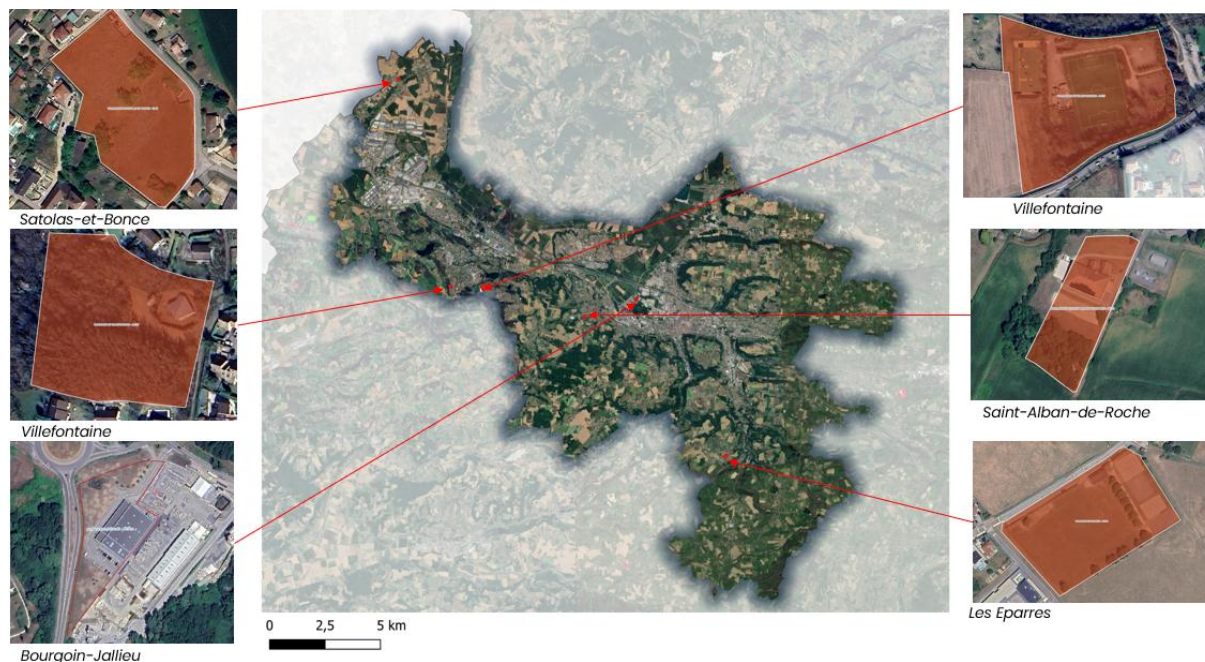


Figure 3 : identification des friches à l'échelle de la CA Porte de l'Isère

Vue satellite montrant l'occupation du sol (zones urbaines, forêts, champs agricoles). Chaque polygone rose représente une friche potentielle identifiée grâce à la base de données nationale "Cartofriches" du CEREMA.

1. Satolas-et-Bonce : la parcelle est un espace vert non construit, mais elle est directement entourée par des zones résidentielles (maisons individuelles avec jardins). On note la présence importante d'arbres et de haies. La construction d'une centrale photovoltaïque si près des maisons pourrait engendrer des conflits de voisinage. En outre, le site est identifié dans les documents d'urbanisme (OAP - Orientations d'Aménagement et de Programmation) comme un maillon important de la TVB, c'est-à-dire un corridor écologique. L'urbaniser, même pour un projet EnR, irait à l'encontre des objectifs de préservation de la biodiversité.
2. Villefontaine (site de gauche sur la Figure 3) : le terrain présente un fort intérêt naturel. Bien qu'il s'agisse d'une friche, sa valeur écologique semble importante (beaucoup



d'arbres sont présents sur le site et les parcelles sont situées sur des zones humides) et il n'est donc pas pertinent de retenir ce site.

3. Bourgoin-Jallieu : Il s'agit d'une parcelle déjà construite et en activité. Le terrain n'est pas une friche, mais un site économique fonctionnel. Il est donc impossible d'y implanter un parc photovoltaïque au sol.
4. Villefontaine (site de droite sur la figure 3) : Il s'agit d'une zone de loisirs active. Transformer ce site en parc photovoltaïque priverait les habitants d'un équipement sportif essentiel. Il ne s'agit pas d'un terrain abandonné, mais d'un espace utilisé par la communauté.
5. Saint-Alban-de-Roche : comme pour le site de Villefontaine, il s'agit d'une zone de loisirs en service. Le site a une valeur sociale et récréative qui prime sur une réaffectation énergétique.
6. Les Éparres : la parcelle est un grand terrain stabilisé, typique d'un terrain de sport non gazonné ou d'une aire polyvalente pour des événements communaux. Cette parcelle a une utilité administrative ou de loisirs. Même si son aspect est plus "brut", elle est réservée à un usage public et elle jouxte une école. Sa conversion serait une perte pour la commune.

A la différence de ces 6 sites, celui de Nivolas-Vermelle est le seul terrain ne présentant pas de conflits d'usage ou d'enjeux environnementaux bloquants.. Au contraire, la mise en place d'un parc photovoltaïque sur cette parcelle permet la valorisation d'un terrain dégradé sans usage.

2.3.2. Un projet compatible avec les documents d'urbanisme

Le site est dégradé et artificialisé. Il n'a fait l'objet d'aucune déclaration à la Politique Agricole Commune (PAC) depuis 2010 (voir **Figure 4** ci-dessous). Cela confirme son statut de terrain non exploité depuis plus de dix ans, ce qui le rend éligible au développement de projet photovoltaïque au sol selon le décret n°2024-318 du 8 avril 2024, sans entrer en conflit avec une activité agricole existante.

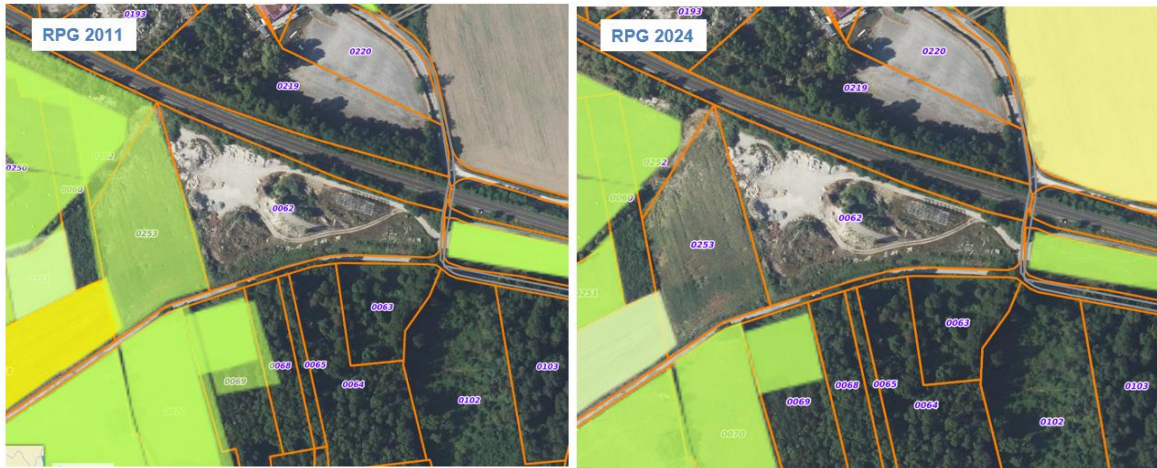


Figure 4 : Cartes issues du Registre Parcellaire Graphique (RPG) en 2011 et en 2024 avec en vert, les parcelles qui ont fait l'objet d'une déclaration à la PAC

Selon le règlement du PLU, « Sont admis sous conditions particulières : Les constructions et installations à destination d'équipements d'intérêt collectif et services publics, [...] dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec l'exercice d'une activité agricole [...] et qu'elles ne portent pas atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages. » (p. 73).

Le projet répond à ces conditions puisque :

- C'est un "équipement d'intérêt collectif" : une centrale produisant de l'énergie renouvelable pour 380 foyers est reconnue comme servant l'intérêt général dans le cadre de la transition énergétique.
- Il n'est pas incompatible avec l'activité agricole :
 - o d'une part, la parcelle est une friche non exploitée depuis plus de 10 ans et il n'y a donc aucun conflit d'usage actuel avec une activité agricole existante
 - o d'autre part, au-delà de ce constat, l'installation du projet n'hypothèque pas une future valorisation agricole du site. Elle n'est pas incompatible avec le développement d'une activité agricole. Les caractéristiques techniques du parc (point bas des structures à 1m10 notamment) pourrait permettre un jour d'associer la production d'énergie à une activité agricole complémentaire.
- Il ne porte pas atteinte aux espaces naturels : au contraire, le projet valorise un "terrain dégradé et artificialisé" et ne détruit donc pas un espace naturel de valeur.

La parcelle est inscrite au document-cadre de la Direction Départementale des Territoires de l'Isère². Cette inscription (Annexe 1 de l'arrêté préfectoral n°38-2026-01-07-00018) atteste que les services de l'État, en application de la loi d'Accélération de la Production d'Énergies

¹ La jurisprudence administrative reconnaît qu'une centrale photovoltaïque destinée à la production d'électricité injectée sur le réseau contribue à la satisfaction d'un besoin collectif et présente un intérêt public. Elle peut ainsi être regardée comme une installation nécessaire à un équipement d'intérêt collectif au sens du Code de l'urbanisme (CAA Nantes, 23 oct. 2015, Société Photosol, n°14NT00587). Cette analyse s'inscrit dans le cadre de la loi n°2023-175 du 10 mars 2023 (loi APER), qui érige le développement des énergies renouvelables en objectif d'intérêt général

² Arrêté n° 38-2026-01-07-00018 portant approbation du document-cadre définissant les surfaces naturelles, agricoles et forestières ouvertes à un projet d'installation photovoltaïque au sol ainsi que les conditions d'implantation dans ces surfaces (p. 7)

Nivolas-Vermelle	38276	000	08	0062	14 572	oui
------------------	-------	-----	----	------	--------	-----



Renouvelables, ont formellement identifié et validé ce terrain comme étant une friche propice à l'implantation d'une centrale solaire. Le projet s'inscrit pleinement dans une stratégie départementale planifiée, visant à mobiliser des terrains dégradés pour atteindre les objectifs de la transition énergétique, tout en préservant les terres agricoles et les espaces naturels.

2.3.3. Un projet qui s'inscrit dans la stratégie locale en matière de transition énergétique

Le projet répond aux ambitions du Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) Nord-Isère, qui donne la priorité au développement des énergies renouvelables sur les friches et les zones d'activités. Il s'aligne également avec les engagements de la Communauté d'Agglomération Porte de l'Isère (CAPI) en faveur de la transition énergétique :

- "Couvrir 100% des besoins en énergie avec des ressources renouvelables et locales" : le projet contribue directement et de manière quantifiable à cet objectif. En générant 1,75 GWh d'électricité par an localement, la centrale solaire augmente la part d'énergie renouvelable produite et consommée sur le territoire, réduisant ainsi sa dépendance énergétique.
- "Diminuer les émissions de gaz à effet de serre" et "Limiter la pollution de l'air" : l'énergie solaire est une énergie décarbonée. Chaque GWh produit par la centrale est un GWh qui n'est pas produit par des sources d'énergie fossiles (comme le gaz ou le charbon). Le projet permet donc d'éviter des émissions de CO₂ et de polluants atmosphériques (particules fines, oxydes d'azote, etc.), contribuant à un environnement plus sain pour les habitants de la CAPI (voir le point 3.3, p.19 et l'annexe A de cette présente note).
- "Préserver les espaces naturels et leur biodiversité" : en choisissant de s'implanter sur une friche dégradée et non exploitée, le projet évite tout conflit d'usage avec des terres agricoles ou des espaces naturels. C'est un bon exemple de "recyclage" de foncier qui préserve les ressources naturelles du territoire, une priorité pour la CAPI.
- "S'adapter au changement climatique" : en développant les énergies renouvelables, la CAPI lutte activement contre les causes du changement climatique. Ce projet est une action concrète qui matérialise cette volonté d'adaptation et de mitigation, en construisant un modèle énergétique plus résilient et moins dépendant des énergies fossiles.

2.3.4. Une localisation hors des zones à forts enjeux environnementaux

La parcelle se situe à l'écart des principaux corridors écologiques et des zonages de sensibilité environnementale (ZNIEFF, réservoirs de biodiversité) identifiés par le SCOT. Cela minimise l'impact potentiel du projet sur la faune et la flore locales.

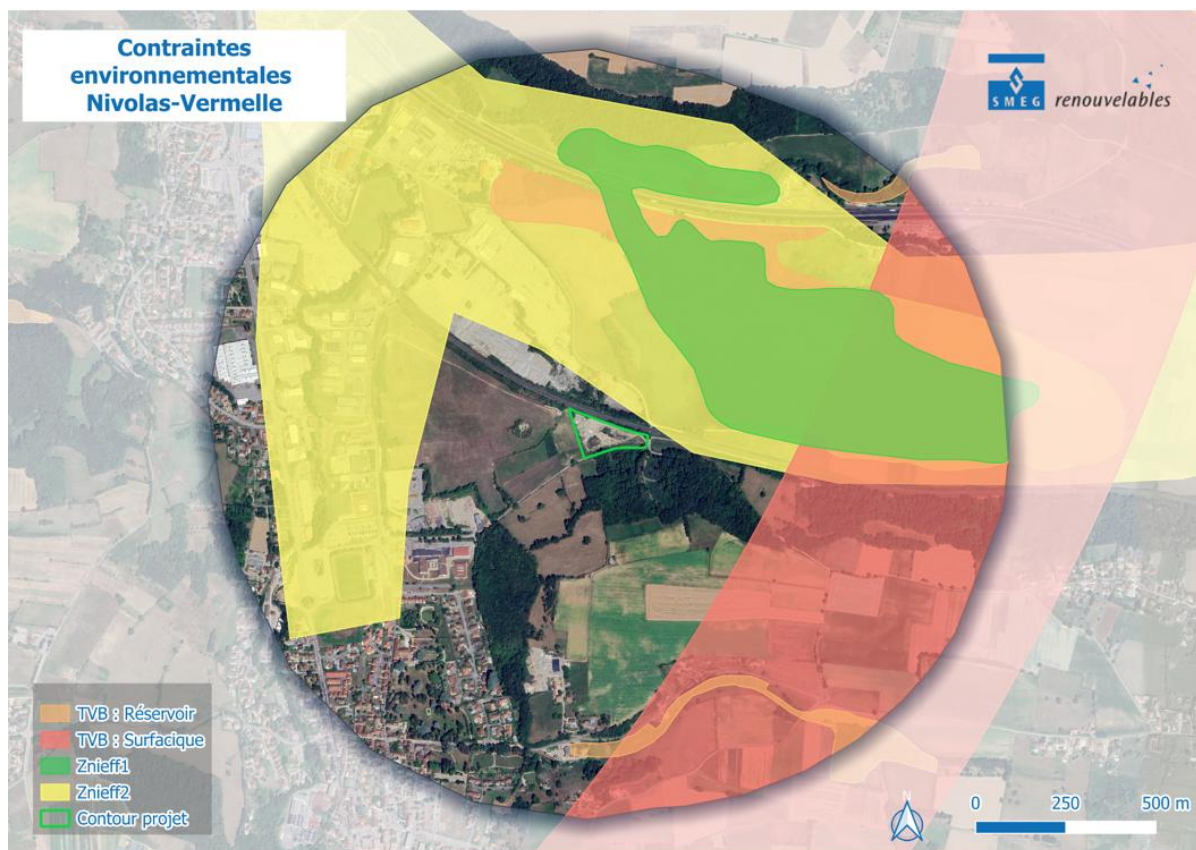


Figure 5 : Représentation cartographique des principaux corridors écologiques

Les analyses faune, flore et habitat confirment la faible sensibilité écologique du projet (voire AF3, note d'enjeux écologiques).

2.3.5. Une absence de risques naturels majeurs

D'après le Plan de Prévention des Risques (PPR) de la commune, la parcelle n'est exposée à aucun risque majeur connu, qu'il s'agisse de crues, de remontées de nappe, de glissements de terrain ou de ruissellement important³.

³ L'ensemble des éléments relatifs aux risques sur la commune est disponible au lien suivant : [Site Officiel de Nivolas-Vermelle - VIE MUNICIPALE » URBANISME](#)

- Aucun aménagement d'accès majeur n'est nécessaire : Il n'y aura pas besoin de créer une nouvelle route, d'abattre des arbres ou d'entreprendre des travaux de terrassement importants pour y accéder.
- La phase de chantier est simplifiée : les camions pourront accéder au site directement depuis la voirie publique.
- Les impacts sont réduits : le projet ne nécessite pas de construction d'une voie d'accès, ce qui n'engendre pas d'impact environnemental (moins de matériaux, moins de perturbation des sols).

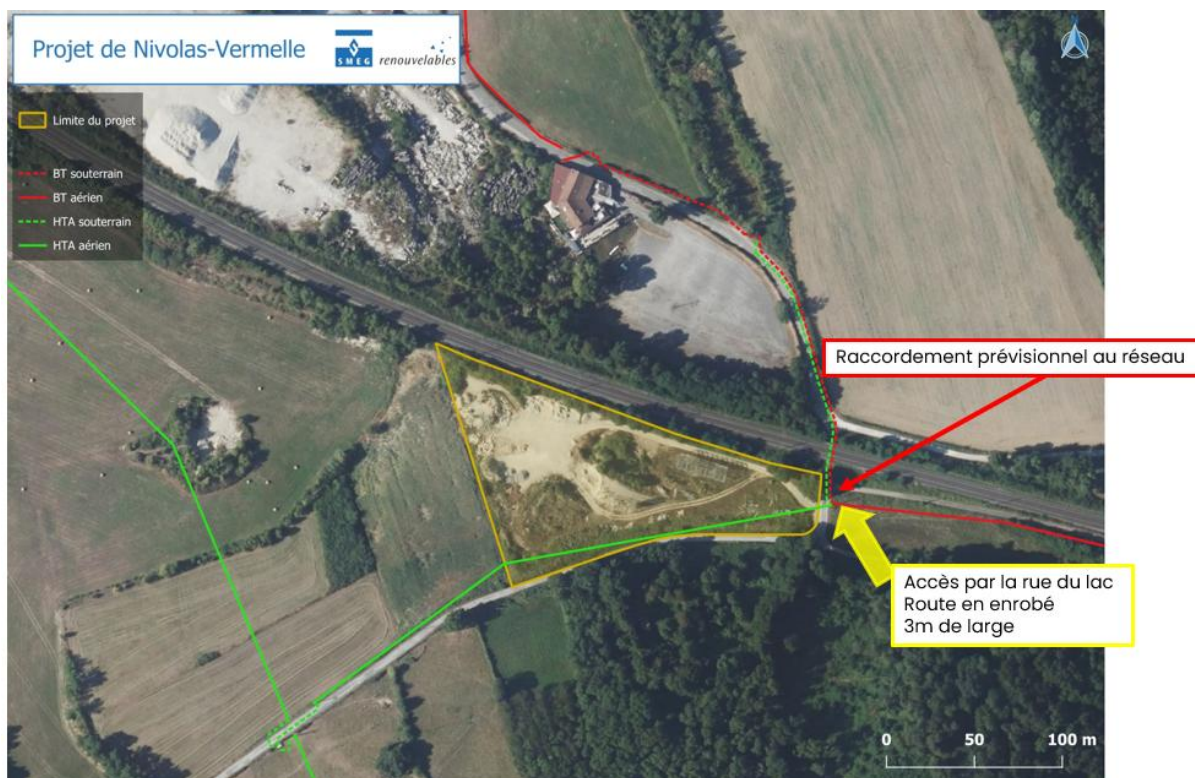


Figure 7 : accès et raccordement du projet

Le raccordement du projet au réseau public de distribution d'électricité a fait l'objet d'une simulation auprès des services d'Enedis (simulation n°7049556 en date du 23/06/2026). Les résultats de cette étude préliminaire confirment la faisabilité technique du raccordement et son faible impact matériel.

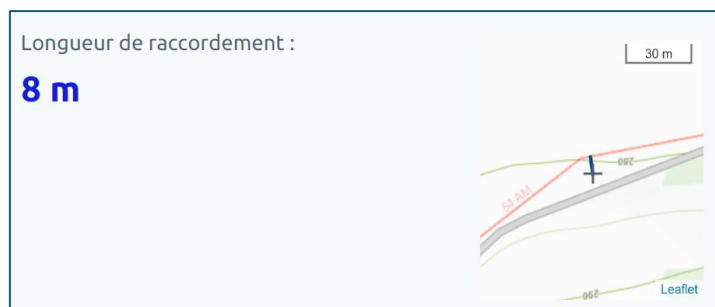


Figure 8 : résultat de la simulation de raccordement d'Enedis

La connexion de la centrale s'effectuera sur le réseau de distribution publique Haute Tension (HTA). L'étude indique qu'elle ne nécessitera qu'une très courte extension de réseau de 8 mètres. Le projet sera raccordé au poste source de Jallieu, lequel dispose, au titre du Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables (S3REnR), d'une capacité d'accueil restante de 5,0 MW sans travaux. La puissance du projet (1409 kW) étant largement inférieure à cette capacité disponible, son intégration au réseau électrique est assurée avec un impact physique et des travaux de génie civil très limités.

III. Analyse des enjeux du milieu physique

Cette section présente les caractéristiques physiques du site et de son environnement immédiat afin d'évaluer les sensibilités et les interactions potentielles avec le projet.

3.1. Géologie, topographie et sols

Le site se situe sur le plateau du Bas-Dauphiné. D'un point de vue géologique, le sous-sol est principalement constitué de formations fluvio-glaciaires du Quaternaire, typiques de la région. Le projet s'implante à une altitude moyenne de 276 mètres.

La topographie générale du site est relativement plane, ce qui est idéal pour ce type d'installation et limite la nécessité de terrassements importants.

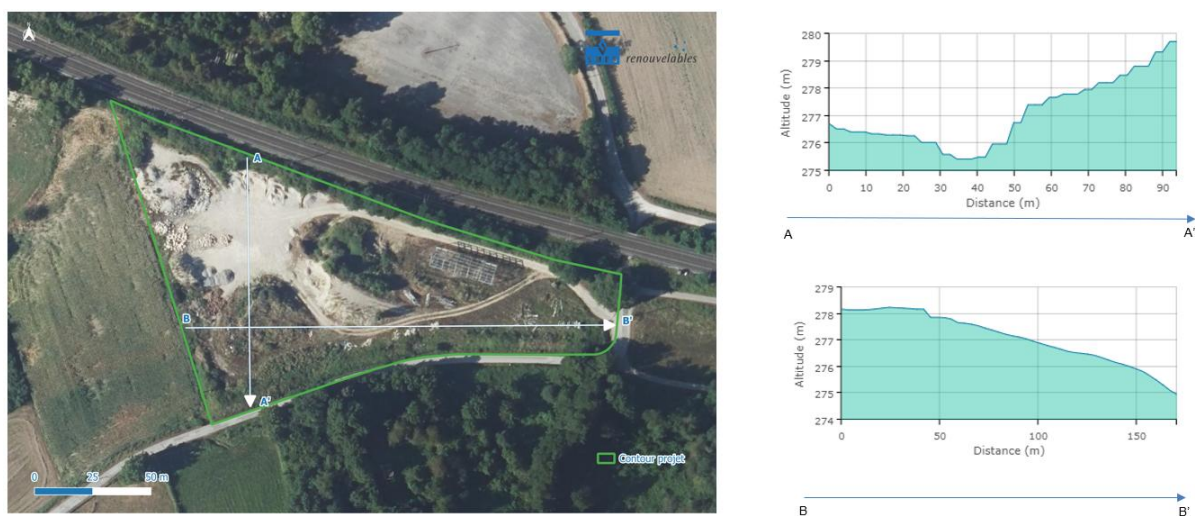


Figure 9 : Carte avec Profil altimétrique Nord/Sud et Ouest/Est de la zone du projet

Le terrain a un caractère de terrain dégradé, avec un aspect remanié et caillouteux sur une partie de l'emprise. La valeur agronomique est par conséquent considérée comme faible à nulle.

Aucune pollution historique des sols n'est répertoriée sur le site (voir Figure 10).

L'utilisation faite du site ces dernières années a conduit à entreposer des matériaux inertes n'ayant pas engendrés de pollution des sols.

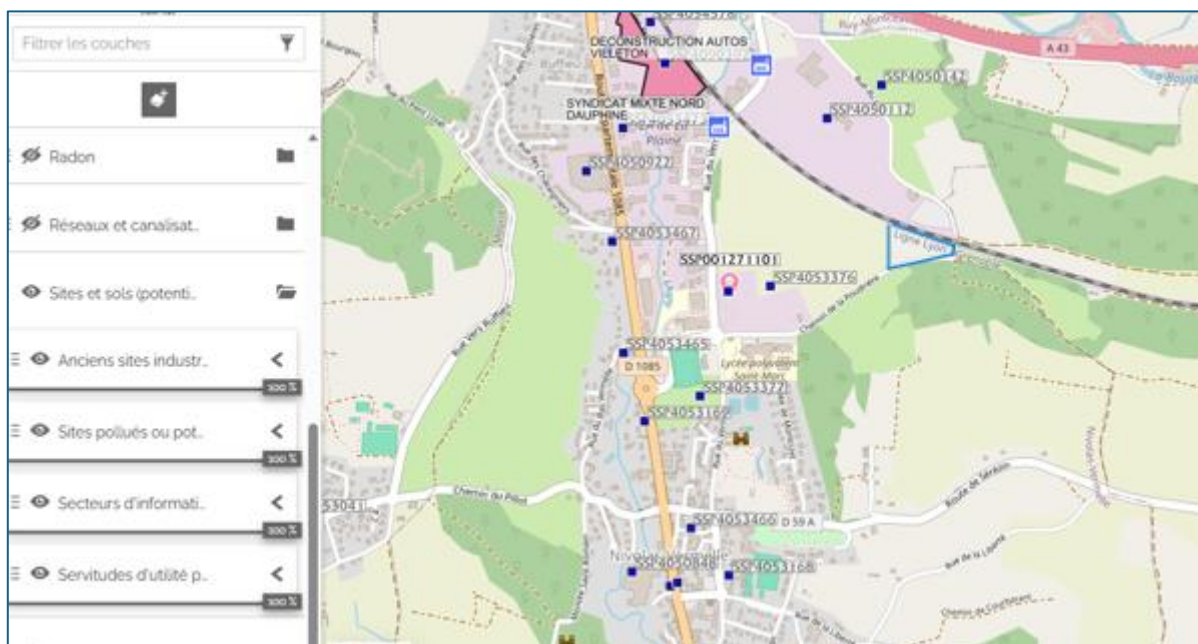


Figure 10 : Localisation du projet sur fond de carte Géorisques (Pollution des sols, SIS et anciens sites industriels)

La nature géologique⁴ et la faible pente du terrain sont compatibles avec la technologie de fondation retenue. Les structures seront ancrées par des pieux battus directement dans le sol. Cette méthode présente l'avantage majeur de ne pas recourir à des fondations en béton, ce qui limite l'imperméabilisation des sols et garantit une plus grande réversibilité du projet en fin de vie.

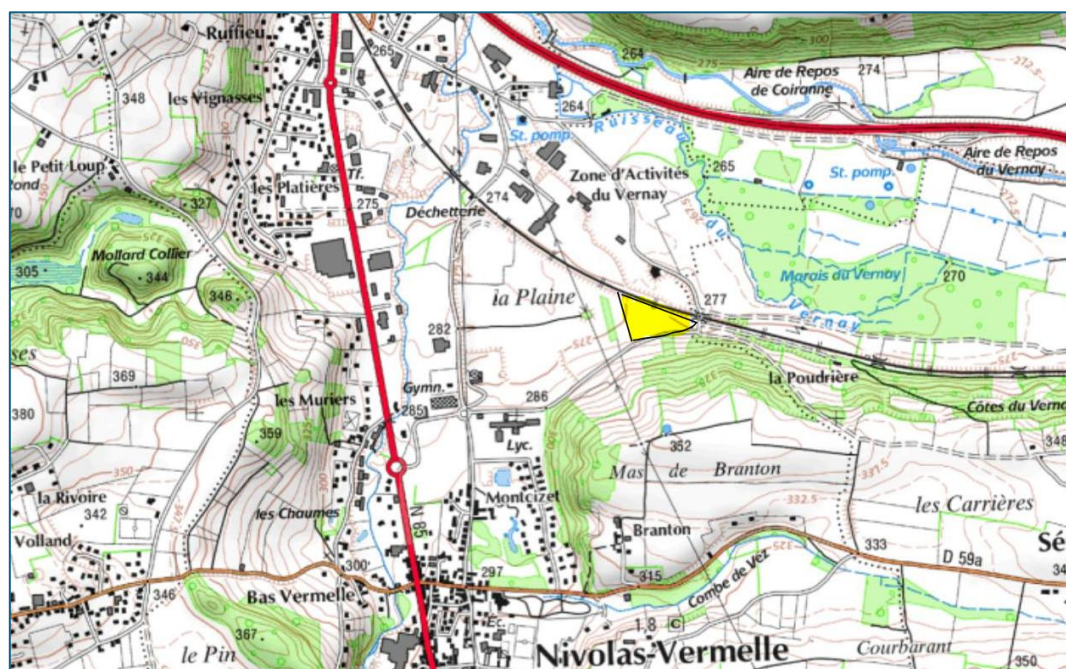


Figure 11 : Localisation du projet sur fond de carte topographique (source : Géoportail, fond de carte IGN)

⁴ Portail InfoTerre du BRGM (infoterre.brgm.fr).

3.2. Hydrographie et hydrogéologie

Le site ne se trouve pas en bordure immédiate d'un cours d'eau. Le réseau hydrographique le plus proche est celui de la Bourbre, qui s'écoule à plus de 2 km à l'ouest du projet, et de ses affluents locaux. Le projet est donc situé en dehors de tout périmètre de protection de captage d'eau potable et à distance des principaux corridors fluviaux.

Le site se trouve au-dessus de systèmes aquifères liés aux formations molassiques et fluvioglaciales. Cependant, le projet n'implique aucun forage ni prélèvement dans la nappe. L'ancrage des pieux battus est superficiel (jusqu'à 3 mètres de profondeur) et n'est pas susceptible d'atteindre ou d'affecter les nappes phréatiques.

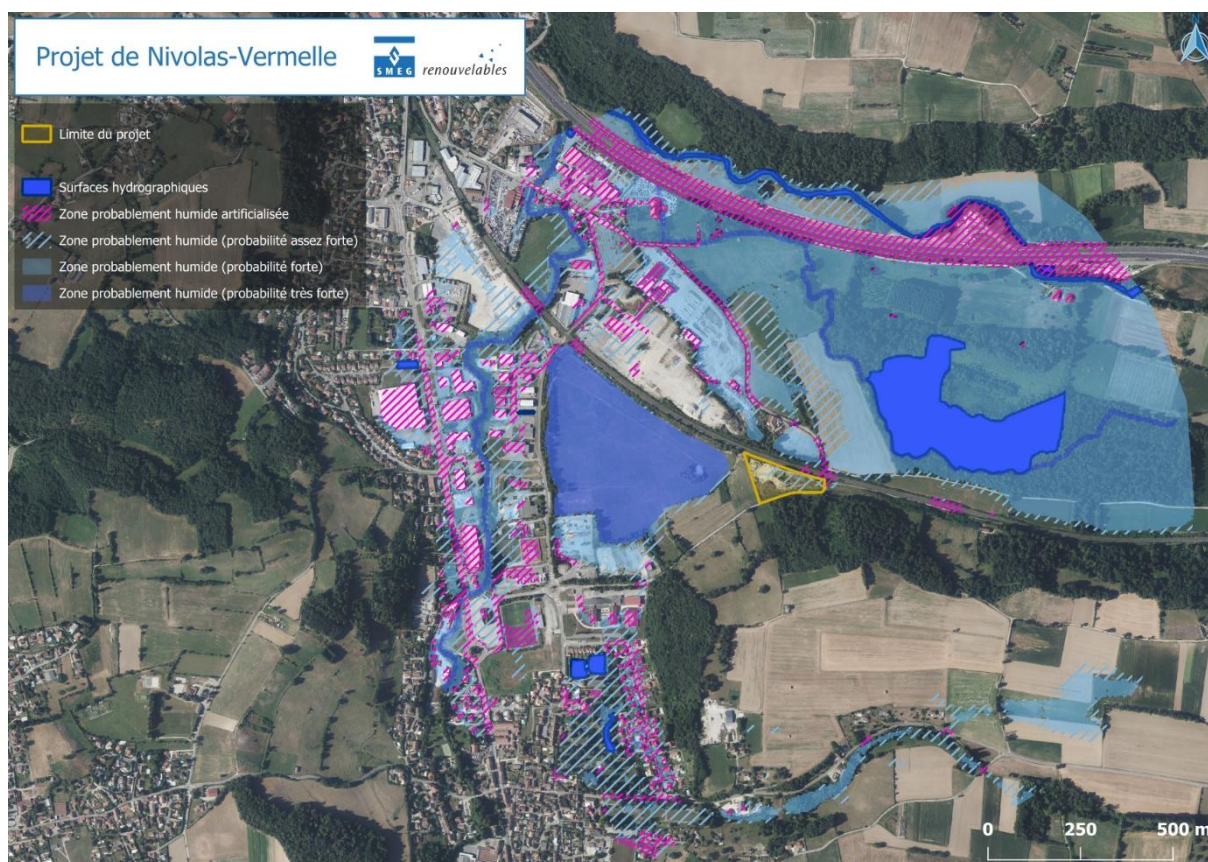


Figure 12 : localisation du projet au regard de la cartographie des zones humides potentielles (Source : Cartographie nationale des zones humides potentielles).

L'un des critères pour le choix du site a été d'éviter tout impact sur les zones humides. Comme l'illustre la carte ci-dessus (**Figure 12**), qui croise la localisation du projet avec les données nationales des zones humides potentielles, l'emprise du projet se situe en dehors de toute zone identifiée présentant une probabilité d'être humide.

Les zones à enjeu les plus proches (probabilité forte) sont localisées à plusieurs centaines de mètres au nord-est. Cette analyse cartographique confirme le faible enjeu du site vis-à-vis de la thématique zones humides. Cette absence est un critère essentiel ayant présidé au choix du site.



Afin de vérifier ces éléments, une étude zones humides (sur critère pédologique et floristique) a été réalisée. Elle conclut à l'absence de zones humides sur le site. Le détail de l'analyse figure dans l'annexe volontaire consacrée aux enjeux écologiques (AF3).

3.3. Climat, Air et Énergie

La qualité de l'air initiale sur le site est caractéristique d'un fond périurbain, principalement influencée par les émissions des axes de transport voisins (voie ferrée, axes routiers).

L'enjeu principal concernant la qualité de l'air se limite donc à la phase de chantier : émissions de particules en suspensions (poussières) liées aux travaux de terrassement, au battage des pieux, à la circulation des engins ; émissions de particules fines liées aux engins de chantiers équipés de moteurs diesel. Ces effets sont temporaires, localisés et réversibles. Des mesures de réduction seront mises en place, telles que l'arrosage des pistes par temps sec et l'entretien des engins, pour limiter les émissions de poussières et de gaz d'échappement.

En phase d'exploitation, la centrale photovoltaïque ne générera aucune émission atmosphérique, contribuant ainsi de manière positive au bilan local en produisant une énergie décarbonée.

La pertinence du projet est confirmée par l'excellent gisement solaire du site. La simulation PVSyst, basée sur les données météorologiques de Meteonorm, établit un productible prévisionnel de 1242 kWh/kWc/an. Ce ratio est favorable pour la région et garantit une production d'énergie renouvelable efficace et rentable.

Avec une production annuelle estimée à 1749,8 MWh, le projet contribuera à la transition énergétique du territoire. En se basant sur le facteur d'émission moyen du mix électrique français (environ 25gCO₂e/kWh⁵), la centrale permettra d'éviter l'émission d'environ 337 tonnes d'eq. CO₂ sur l'ensemble du projet, soit environ 11,2 tonnes d'eq. CO₂ chaque année (la méthodologie est détaillée en Annexe A de cette note). Le temps de retour carbone du projet est estimé à 22,3 ans en considérant l'intensité carbone du mix électrique français et 2,7 ans en considérant le mix électrique européen (le facteur d'émission considéré est de 210 gCO₂e/kWh pour l'intensité carbone du mix électrique européen).

Les modules constituent le poste principal concernant l'intensité carbone du projet avec 634 tonnes d'émissions de CO₂ générées⁶ sur un total de 975,45 tonnes sur l'ensemble de vie du projet (voir **Figure 13**, ci-dessous).

⁵ Selon Electricity Map (https://app.electricitymaps.com/map/live/fifteen_minutes) consulté le 17/07. L'intensité carbone du mix électrique français qui est pris en compte dans cette base de données est considéré comme la base de donnée de référence dans le secteur (recommandation des fédérations et des acteurs comme l'ADEME).

⁶ Les valeurs prises en compte pour estimer les émissions des panneaux PV sont celles de la fiche d'Evaluation Carbone Simplifiée (ECS PPE2 N)024-2025_011) de Certisolis, organisme français de certification de référence pour l'empreinte carbone des équipements photovoltaïques

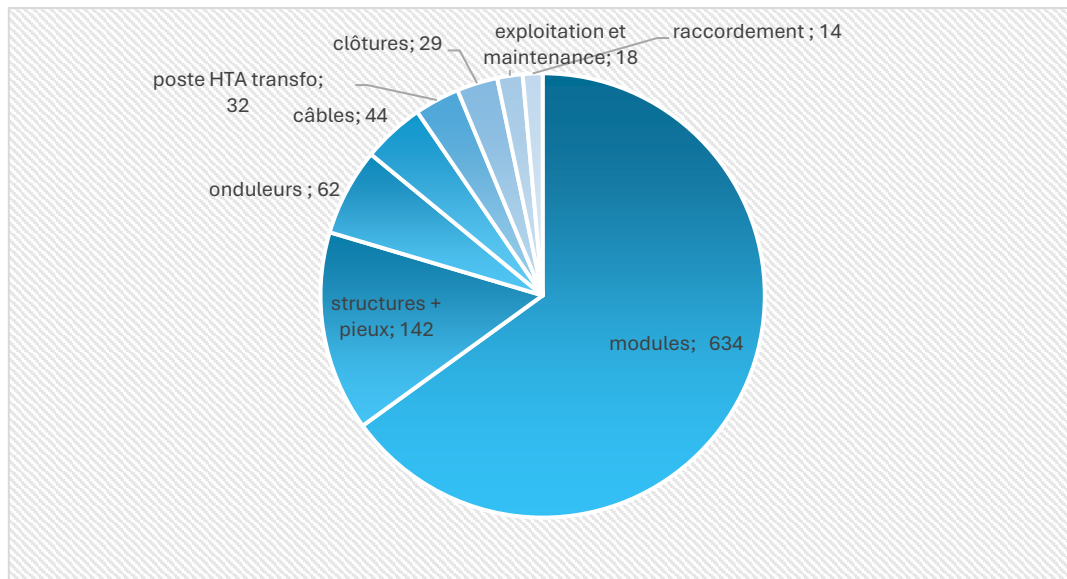


Figure 13 : émissions de CO₂ générées par le projet (en tonnes) et répartition par groupe d'équipements

IV. Analyse des enjeux du milieu humain

Cette section décrit le contexte humain, réglementaire et sécuritaire du site. Elle vise à identifier les sensibilités et à évaluer la bonne insertion du projet au sein de son territoire.

4.1. Urbanisme, voisinage et occupation du sol

Le site s'inscrit dans un environnement mixte, caractéristique des périphéries d'agglomération :

- Au Nord, la parcelle est longée par une infrastructure majeure, la voie ferrée de la ligne Lyon-Grenoble.
- À l'Est et à l'Ouest, le voisinage est composé de terrains agricoles et de zones d'activités ou artisanales.
- Au Sud, on retrouve des espaces agricoles et des boisements.

Les premières zones d'habitation se situent à une distance de plusieurs centaines de mètres, ce qui limite fortement les interactions directes et les nuisances potentielles.

Cet éloignement favorable est complété par une étude détaillée dans la note d'enjeu paysagère (AF 2), qui viendra confirmer la faible sensibilité visuelle du projet.

4.2. Patrimoine Culturel et Archéologique

Aucun monument historique classé ou inscrit, ni aucun site patrimonial remarquable, n'est localisé à proximité immédiate du site. Une consultation de l'Atlas des Patrimoines confirme l'absence d'enjeux patrimoniaux majeurs dans le périmètre d'étude rapproché.



Cette analyse a été confirmée par l'Unité Départementale de l'Architecture et du Patrimoine de l'Isère (UDAP) dans un courriel du 26/05/26 indiquant que le projet est bien situé en dehors des abords de monument historique.⁷

L'analyse détaillée des impacts visuels potentiels sur le grand paysage et le patrimoine plus éloigné est traitée dans la Note d'enjeux paysagère (AF 2).

Concernant le volet archéologique, le service régional de l'archéologie de la DRAC Auvergne-Rhône-Alpes nous indique, dans un courrier du 22/07/2026, que le projet ne semble pas susceptible d'affecter des éléments du patrimoine archéologique. Et qu'il ne donnera pas lieu à une prescription d'archéologie préventive.

4.3. Patrimoine et paysage

L'analyse des visibilitées montre que l'impact paysager du projet doit être apprécié selon une logique d'entonnoir, depuis les perceptions lointaines jusqu'aux vues de proximité. À l'échelle de l'aire d'étude éloignée, le projet s'insère dans un paysage déjà fortement structuré par le relief, les coteaux boisés, l'urbanisation et les infrastructures de transport de la vallée de la Bourbre. Dans ce contexte, il ne constitue pas un élément saillant du grand paysage. Les analyses mettent en évidence aucune covisibilité ni intervisibilité significative avec les éléments patrimoniaux recensés dans l'aire d'étude éloignée.

À l'échelle de l'aire d'étude rapprochée, la visibilité du projet reste globalement contenue. Les perceptions sont principalement liées à la topographie, les boisements et la structure des haies limitant les vues depuis les secteurs nord, est et sud.

Les ouvertures visuelles se concentrent vers l'ouest où le relief et la faible densité végétale permettent une perception plus ponctuelle du site.

Les niveaux de visibilité identifiés demeurent majoritairement faibles à peu significatifs et concernent principalement des espaces agricoles, naturels ou des secteurs d'activités plutôt que des lieux de vie comme les quartiers résidentiels.

À l'échelle de l'aire d'étude immédiate, les éléments en frange du site jouent un rôle déterminant dans la maîtrise de la visibilité. Les haies et les talus périphériques limitent les vues directes depuis les abords proches et réduisent l'exposition visuelle du projet. Si certaines ouvertures demeurent sur la partie ouest, le site conserve tout de même une visibilité « filtrée ». En effet, les bâtiments les plus affectés par la visibilité du projet se situent principalement dans la zone d'activité du Vernay. Enfin, les quelques bâtiments résidentiels identifiés restent affectés par une visibilité faible car le projet occupera une place réduite dans le champ visuel.

En conclusion, l'impact de visibilité du projet apparaît globalement faible et favorable du point de vue de son insertion paysagère. Bien que le projet puisse être ponctuellement perçu depuis certains secteurs ouverts comme à l'ouest, sa visibilité reste limitée par les structures

⁷ Le secrétariat de l'UDAP de l'Isère indique : « Votre projet est situé hors abords de monument historique, site patrimonial remarquable, sites inscrits ou classés au titre du code de l'environnement. Par conséquent, notre service ne sera pas saisi sur ce dossier »



paysagères existantes, par son inscription dans un environnement déjà composite. La perception des panneaux photovoltaïques viendra remplacer la perception de zones de stockage de gravats et d'activités logistiques. Par conséquent, le projet ne génère pas de rupture visuelle majeure dans le paysage et son intégration repose avant tout sur le maintien et le renforcement des filtres paysagers existants cohérent avec les différentes composantes qui l'entourent.

Sur le plan patrimonial, aucun enjeu significatif de covisibilité ou d'intervisibilité n'a été mis en évidence avec les éléments protégés ou identifiés au sein de l'aire d'étude.

Sur le plan touristique, le projet n'affecte ni site emblématique ni espace de fréquentation présentant une sensibilité particulière vis-à-vis du paysage.

Les impacts paysagers et visuels du projet peuvent ainsi être qualifiés de faibles.

Les mesures d'évitement intégrées dès la conception contribuent à sa bonne insertion :

- Au niveau du choix du site : il est éloigné des habitations
- Au niveau de la végétation : les franges arborées existantes sont préservées
- Au niveau du choix des équipements : insertion discrète avec une hauteur de moins de 3m, des modules anti-reflets, un regroupement et positionnement des postes sur une même zone, une clôture verte.

Les mesures de réduction prévues en particulier sur la mise en place de nouvelles plantations arbustives persistantes le long des clôtures permettront l'intégration du projet dans le paysage. Ces mesures renforceront dans le temps les filtres visuels existants.

Pour conclure, au regard de l'ensemble de ces éléments, le projet présente une compatibilité avec les enjeux paysagers, patrimoniaux et touristiques du secteur. Sous réserve de la mise en œuvre des mesures prévues, son incidence sur le paysage visible demeure limitée.

Les détails de cette analyse se trouvent dans l'annexe facultative AF2_note d'enjeux paysagère.

4.4. Servitudes d'Utilité Publique

L'analyse des servitudes réglementaires a permis d'identifier une servitude de protection du domaine public ferroviaire (codifiée T1), liée à la présence de la ligne de chemin de fer Lyon-Grenoble qui borde la limite nord du site. Les enjeux liés à cette servitude sont connus et entièrement maîtrisés par le projet.

Conformément aux articles L. 2231-4 et R. 2231-4 du Code des Transports, une distance minimale de 2 mètres à partir de l'emprise de la voie ferrée doit être respectée pour toute nouvelle construction. Cette marge de recul inconstructible a été scrupuleusement intégrée dans le plan de masse du projet, qui positionne toutes les installations (panneaux, clôtures, postes techniques) au-delà de cette limite.



Il est important de noter que le cadre réglementaire prévoit des dispositions spécifiques pour les installations de production d'énergies renouvelables. L'interdiction de construire ne s'applique pas à de tels procédés "dès lors qu'ils ne compromettent pas la sécurité des circulations ferroviaires, le bon fonctionnement des ouvrages [...] ainsi que leur maintenabilité".

Dans cet esprit, le projet a été conçu pour garantir une cohabitation sécurisée et fonctionnelle. Les mesures suivantes sont notamment prévues :

7. Les panneaux solaires disposent d'un traitement anti-reflets limitant tout risque d'éblouissement pour les conducteurs de train.
8. Les panneaux sont orientés sud avec une inclinaison de 15° donc à l'opposé de la voie ferrée.
9. Une clôture de type grillagé sera installée, permettant une transparence visuelle et évitant toute prise au vent.
10. L'aménagement du site garantira le libre écoulement des eaux pluviales sans aucune modification vers l'emprise ferroviaire.
11. Un plan d'entretien de la végétation du site préviendra tout risque de chute d'éléments (branches, etc.) sur les voies.

Concernant les autres réseaux, aucune servitude n'impacte l'emprise du projet. Au contraire, la viabilité du site est renforcée par sa proximité avec le réseau électrique public, qui permettra un raccordement via une très courte extension de 8 mètres et sur un poste source disposant à ce jour d'une capacité d'accueil suffisante.

4.5. Risques Naturels et Technologiques

Une analyse des risques a été réalisée via le portail Géorisques du gouvernement :

- Risque sismique : La commune de Nivolas-Vermelle est classée en zone de sismicité 3 (modérée), ce qui sera pris en compte dans le dimensionnement des structures.
- Risque inondation : Le site n'est pas situé dans une zone inondable identifiée par un Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI).
- Risque "Retrait-gonflement des argiles" : Le site est exposé à un niveau d'aléa faible. La nature des fondations (pieux battus) est adaptée à ce type de contrainte.
- Risques technologiques : Il n'y a pas d'établissement classé SEVESO dans le voisinage immédiat du site susceptible d'induire des contraintes réglementaires via un Plan de Prévention des Risques Technologiques (PPRT).
- Risques incendie : Le projet s'inscrit dans un contexte présentant un aléa incendie courant, inhérent à tout aménagement en interface d'espaces naturels et d'infrastructures comme une voie ferrée. Ce contexte conduit à appliquer de manière rigoureuse les préconisations du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de l'Isère pour garantir une parfaite maîtrise du risque (voir encadré ci-dessous).

Encadré 1 : Aménagements prévus pour prévenir le risque incendie

Les préconisations ont été communiquées par le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de l'Isère pour les centrales photovoltaïques au sol « classiques » (courriel du 14/04/26). Le projet respectera l'ensemble de ces dispositions pour garantir la sécurité du site et faciliter l'intervention des secours.

Accès et Desserte pour les Secours

- Voies Engins : Des voies principales d'une largeur minimale de 3 mètres et d'une force portante de 160 kilonewtons seront aménagées pour assurer l'accès des véhicules de secours aux différents îlots de panneaux et aux points d'eau. Les impasses seront dotées d'aires de retournement.
- Cheminements Opérationnels : En complément, un maillage de cheminements stabilisés de 1,80 mètre de large sera créé. Ce réseau permettra que tout point de la centrale soit accessible à moins de 40 mètres d'un cheminement, pour le déploiement des lances à incendie.

Défense Extérieure Contre l'Incendie (DECI)

- Conformément au règlement départemental, la défense incendie sera assurée par un ou plusieurs Points d'Eau Incendie (PEI) garantissant un débit de 60 m³/h pendant 1 heure (soit un volume total de 60 m³).
- L'implantation des PEI sera étudiée de manière à ce que chaque point du site soit situé à moins de 400 mètres d'un PEI, en suivant les axes de circulation praticables par les secours.

Mesures de Prévention et de Sécurité sur le Site

- Coupure d'Urgence : Une coupure générale unique et clairement identifiée ("coupure réseau photovoltaïque") sera installée à l'accès principal du site.
- Débroussaillage : Les opérations de débroussaillage réglementaire (Obligation Légale de Débroussaillage) seront scrupuleusement appliquées, conformément à l'arrêté préfectoral en vigueur en Isère.
- Signalétique et Consignes : Des panneaux clairs et visibles indiqueront les dangers, les consignes de sécurité et le numéro d'urgence.
- Accès au Site : Le portail d'entrée sera équipé d'un système d'ouverture compatible avec les moyens du SDIS (clé standard ou dispositif facilement destructible).
- Moyens de Lutte : Des extincteurs adaptés seront installés, notamment au niveau des locaux techniques et électriques.
- Astreinte : Une procédure garantira la disponibilité d'un technicien compétent pour assister le Commandant des Opérations de Secours (COS) en cas de sinistre.

Le site du projet ne présente pas d'exposition à des risques naturels ou technologiques majeurs qui seraient susceptibles de remettre en cause sa faisabilité.

Tableau 2 : Synthèse des principaux enjeux (Milieu physique & humain)

Thématique	Synthèse	Niveau d'enjeu
Milieu physique	Topographie adaptée, pas de modification majeure.	Nul
	Sensibilité "zone humide" potentielle.	Nul
Climat et air	Pas d'émission en phase d'exploitation.	Nul
Risques naturels	Hors zones d'inondation et de mouvement de terrain.	Nul
	Risque sismique maîtrisé par les normes de construction.	Faible
	Risque incendie maîtrisé par les préconisations du SDIS.	Faible
Occupation du sol	Valorisation d'une friche dégradée.	Faible
Patrimoine	Hors périmètre de protection. Archéologie en cours.	Nul
Réseaux	Accès et raccordement simples et à proximité.	Faible
Risques technologiques	Absence de risque industriel majeur identifié.	Nul
Pollution/Nuisances	Impact sonore et visuel très limité en exploitation.	Faible
Urbanisme	Projet compatible avec le PLU et le SCOT, Mairie favorable.	Nul

Annexe A : Méthodologie et outil utilisés pour l'estimation du bilan carbone –

1. Logiciel, bases de données et sources de données

Le template est modélisé sur la base de données génériques de la littérature et/ou de la base de données Ecoinvent. Des données ont également été créées à l'aide d'informations communiquées par les fournisseurs de matériaux notamment sur les panneaux (fiches produits et fiches ECS).

La version Ecoinvent 3.10.1 (*Ecoinvent Version 3.10.1*, s. d.), dans la version allocation, cut-off by classification est utilisée pour cette modélisation. En particulier, certains équipements ont été modélisés à partir d'inventaires du cycle de vie réalisés par l'Agence Internationale de l'Energie (Frischknecht et al., 2015) ainsi que le National Renewable Energy Laboratory (Smith et al., 2024). L'ensemble des modélisations a été réalisé sur le logiciel Holis Studio, version 3.0. Une nouvelle version du logiciel est en cours de développement.

2. Méthode et catégories d'impacts

La méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie EF 3.1 a été utilisée. (Andreasi Bassi et al., 2023) (*Life Cycle Assessment & the EF Methods - Green Forum*, s. d.).

Il y a au total 16 indicateurs issue de la méthode EF mais il convient de réduire l'analyse à 13 indicateurs, excluant les catégories de toxicité (écotoxicité, toxicité humaine, cancérigène et toxicité humaine, non-cancérigène) du fait de leur plus faible robustesse. Le tableau ci-dessous décrit l'ensemble des indicateurs qui peuvent être mobilisés pour l'analyse ainsi que leur robustesse respective.

Dans notre synthèse ACV pour ce projet de Nivolas-Vermelle nous avons fait un focus sur l'indicateur « changement climatique ». Les résultats de l'analyse de cycle de vie de ce projet ne porte donc que sur « l'impact carbone » exprimé en kg (ou tonne) eq. CO₂.



Le score environnemental (μpt)

qui est un indicateur agrégé développé au niveau européen prenant en compte l'ensemble des indicateurs environnementaux



Le changement climatique (kg eq. CO₂)

correspond à la modification du climat, affectant l'écosystème global, et fait l'objet de réglementations particulières, telles que la RE2020 pour la construction.

Très élevée



Les particules fines (incidence de maladie)

correspondent aux particules d'un diamètre inférieur à 2.5 micron (μm) qui pénètrent dans les organismes, notamment via les poumons, ayant un effet sur la santé humaine

Très élevée

	Consommation d'eau (m ³ privation eq. monde) reflète la quantité relative d'eau utilisée, en se basant sur des facteurs de rareté de l'eau selon les régions du monde	Moyenne à basse
	L'utilisation des ressources fossiles (MJ) correspond à l'épuisement des ressources énergétiques non renouvelables telles que le charbon, le gaz, le pétrole, l'uranium, etc.	Moyenne
	L'usage des terres (sans dimension (pt)) reflète l'utilisation et la transformation des terres, avec des impacts pouvant inclure la perte d'espèces, la perte de teneur en matière organique du sol, ou la perte du sol lui-même (érosion)	Moyenne
	L'épuisement des ressources minérales (kg Sb eq.) correspond à l'extraction et exploitation de gisements de minéraux non-renouvelables : cuivre, potasse, terres rares, sable, etc.	Moyenne
	L'appauvrissement de la couche d'ozone (kg CFC-11 eq.) correspond à la fragilisation de la couche d'ozone stratosphérique protectrice, augmentant l'exposition de l'ensemble des êtres vivants aux rayonnements ultraviolets (UV) avec de potentiels effets néfastes sur la santé humaine et sur les végétaux	Moyenne
	L'acidification (mol eq. H ⁺) résulte d'émissions chimiques dans l'atmosphère qui se redéposent dans les écosystèmes et causent notamment le phénomène des pluies acides	Élevée
	Les radiations ionisantes (eq. kBq U235) Disclaimer émises par les matières radioactives libérées dans l'environnement, notamment dans le cadre de la production d'énergie nucléaire, et qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine.	Moyenne
	La formation d'ozone photochimique (kg eq. COVNM) correspond à une dégradation de la qualité de l'air, principalement via la formation de brouillard de basse altitude ('smog') qui a des conséquences néfastes sur la santé	Moyenne
	L'eutrophisation terrestre (mol eq. N) correspond à un apport excessif en nutriments (en particulier l'azote) provoquant un déséquilibre écologique dans le développement des végétaux terrestres	Moyenne
	L'eutrophisation marine (kg eq. N) correspond à un apport excessif en nutriments (en particulier l'azote) perturbant les équilibres naturels des écosystèmes marins, notamment par la prolifération des algues planctoniques et macro-algues visibles sous la forme de marées vertes, de marées brunes ou de dépôts de mousse	Moyenne à basse
	L'eutrophisation d'eau douce (kg eq. P) correspond à un apport excessif en nutriments (en particulier le phosphore) dans les eaux de surface, perturbant les équilibres naturels	Moyenne à basse

des écosystèmes aquatiques notamment par le développement d'algues qui appauvrissent l'eau en oxygène et augmentent le risque de mortalité d'autres organismes

3. Périmètre de l'étude

3.1. Définition du produit étudié

Le produit étudié est l'installation photovoltaïque de production d'électricité dite à ciel ouvert (open-ground)

Les équipements suivants sont inclus :

- Les modules de production, comprenant des panneaux photovoltaïques et des onduleurs ;
- Les modules de connexion électrique, comprenant les réseaux de câbles électriques, les transformateurs ;
- Les modules de raccordement au réseau, c'est-à-dire l'interface physique où l'électricité produite par la centrale rejoint le réseau (les postes de livraison) ;
- Les routes d'accès et clôtures ;
- D'autres composants, tels que des structures de montage, les éventuels systèmes de nettoyage, etc.

3.2. Unité fonctionnelle et durée de vie de référence

L'unité fonctionnelle définie est : "Produire 1 MWh d'électricité". Les résultats ont été ramenés à l'échelle du projet photovoltaïque modélisé donc pour une production totale de 1,409 MWh/an. Ce choix d'unité fonctionnelle permet d'assurer une comparabilité entre deux installations de puissances-crêtes et de production totale sur la durée de vie différentes.

La durée de vie de référence retenue pour une centrale PV est 30 ans (Smith, Sekar, Mirletz, Heath, & Margolis, 2024).

3.3. Frontières du système

La modélisation ACV a été réalisée pour un périmètre dit « cradle to grave » (du berceau à la tombe). L'ensemble des étapes du cycle de vie suivantes sont prises en compte :

- Extraction et approvisionnement des matières premières ;
- Fabrication des composants ;
- Installation des composants sur site ;
- Phase d'utilisation : notamment le remplacement ou la maintenance de certains composants ;
- Fin de vie : déconstruction/démantèlement de la centrale, transport, traitement et élimination des déchets.

La Figure ci-dessous présente un schéma des étapes du cycle de vie prises en compte.



Pour cette étude, une catégorisation personnalisée a été établie, afin de visualiser les résultats selon trois grandes phases du cycle de vie de la centrale PV :

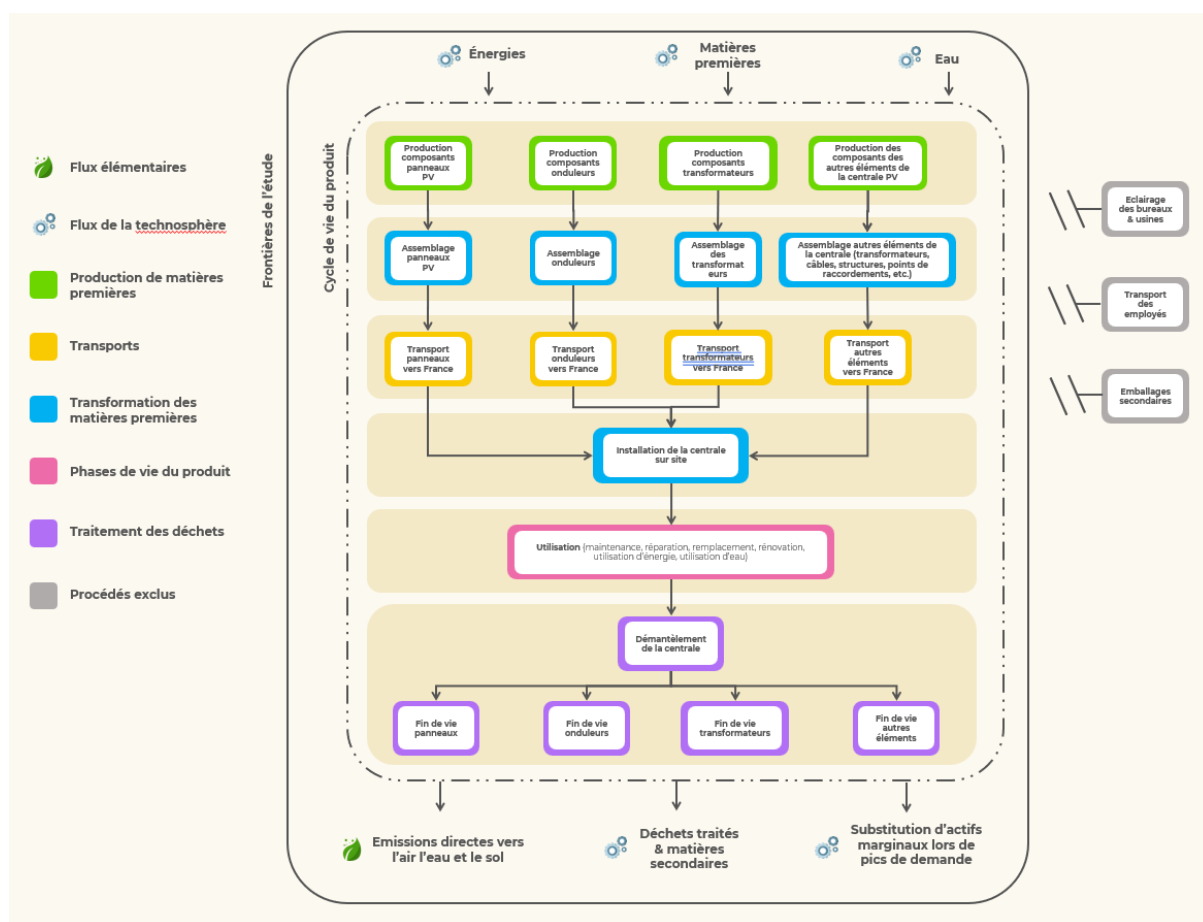
- Sa construction ;
- Son exploitation ;
- Son démantèlement.

Etant donné les objectifs de l'étude et dans un souci de simplification, l'ensemble des emballages secondaires et tertiaires a été exclu.

Les flux liés aux éclairage, chauffage et nettoyage des sites de production ne font pas partie des frontières du système. De même, les départements administratifs, le transport des employés, la fabrication des outils de production (tracteurs, machines pour terrassement, camion, etc.) ne sont pas inclus dans le système.

Afin de garantir la complétude des résultats de l'étude tout en assurant sa faisabilité, il est nécessaire de définir une limite au détail de la modélisation au travers de critères d'exclusion. En accord avec la norme ISO 14044, un élément représentant moins de 1 % de la masse, de l'énergie ou de l'empreinte environnementale du produit étudié peut être exclu. Toutefois, la somme de l'ensemble des éléments exclus ne doit pas dépasser 5 % de la masse, de l'énergie et de l'empreinte environnementale totales.

La Figure ci-dessous représente les frontières du système étudié pour la centrale PV modélisée.



4. Description générale des étapes du cycle de vie

Une centrale PV comporte les étapes suivantes :

- Tout d'abord, les matières premières sont extraites afin de produire les différents composants de la centrale PV (panneaux PV, onduleurs, transformateurs, postes de livraison, clôtures, câblages, etc.).
- Ensuite, l'ensemble de ces éléments est acheminé sur le site de production et monté.
- Pendant la phase d'utilisation de la centrale PV, de l'électricité est produite par les panneaux photovoltaïques grâce à l'ensoleillement. Une partie de l'électricité est consommée par la centrale pour assurer le bon fonctionnement de ses équipements. La phase d'utilisation de la centrale comprend également des maintenances régulières, ainsi que le nettoyage des panneaux.
- En fin de vie, la centrale est démantelée et les équipements sont envoyés vers des centres de tri, puis subiront, selon les matériaux qui la compose, un traitement de fin de vie, tel qu'une incinération (pour les éléments non recyclage), une mise en décharge (pour les composants non recyclage et dangereux), ou encore un recyclage (pour tous les matériaux recyclage).

Les sections suivantes détaillent l'inventaire des équipements de la centrale photovoltaïque ainsi que les jeux de données choisis pour la modélisation. Les hypothèses de modélisation sont également présentées.

5. Paramétrage des templates pour les utilisateurs

Le ci-dessous regroupe l'ensemble des paramètres mobilisés pour les modélisations du projet PV. Les paramètres libres sont ceux qui ont été complétés par la SMEG au regard du dimensionnement du projet de Nivolas-Vermelle (mention « à compléter » dans le tableau ci-dessous) ou déjà complétés au préalable par Holis suite à des échanges avec la SMEG qui a fourni des fiches techniques. Les paramètres non libres sont soit des valeurs par défaut tirées de la littérature, soit des valeurs déduites des paramètres libres.

Ensemble des paramètres mobilisés pour les modélisations. Les valeurs « à compléter » constituent la liste minimale de paramètres nécessaire pour modéliser un projet.

Paramètre	Unité	Libre	Valeur par défaut	Commentaire
Conception				
Type de projet		oui	à compléter	PV sol ou agri ou flottant
Puissance crête du projet (pour ramener la production à 1 kWc (ou MWc)	MWc	oui	à compléter	
production totale sur la durée de vie	MWh	oui	à compléter	
durée de vie	ans	oui	30	
type de panneaux		oui	polycristallin	mono ou polycristallin
Panneau monofacial ou bifacial		oui	monofacial	monofacial ou bifacial
surface totale panneaux	m ²	oui	à compléter	
masse panneau	kg/m ²	non	11.07	D'après données SMEG
taux de remplacement total panneaux	%	oui	1%	
nombre de structures panneaux	unités	non		proportionnel à la surface de panneaux, voir 0
type de structures de panneau		non		défini par défaut selon le type de projet (tracker, pieux-battus, flotteurs, etc.), voir 0

présence de longrines		oui	FALSE	possible uniquement pour PV sol et agriPV
hauteur d'installation des structures	m	non		données par défaut sont prises pour chaque type de projet
masse unitaire structure	kg	non		Valeur par défaut pour chaque type de structure
quantité de béton utilisée pour fixer les panneaux	kg ou m3	non	= valeur pour pieux battus	dépend du type d'installation : une valeur à définir pour chaque cas (pieux battus et longrines), voir 0
quantité onduleurs	unités	oui	à compléter	Voir 0
puissance nominale 1 onduleur	kW	oui	à compléter	Relation de dépendance linéaire pour adapter les quantités de matières à la puissance
taux de remplacement onduleur	%	non	100%	Hypothèse remplacement à mi-vie de la centrale PV, voir 0
nombre de tableaux AC	unités	oui	à compléter	
masse d'un tableau AC	kg	non	1320	D'après données SMEG + données fabricant
composition tableau AC		non	d'après données fabricant	Voir 0
masse de préfabriqué par tableau AC	kg	non	15000	D'après données SMEG + données fabricant, voir 0
puissance nominale totale des transformateurs	kW (ou kVA)	non		Fixé car les chefs de projet n'ont pas l'information en amont = puissance totale des onduleurs
composition partie active transformateur (% des transformateurs avec une partie active en Cu)	%	oui	100% Cu (hypothèse majorante)	Tout ce qui n'est pas en Cu est en Al, voir 0
taux de remplacement transformateur	%	oui	0%	hypothèse
quantité de câbles DC	m/m ² panneau	non	2.125	Voir 0
section des câbles DC	mm ²	non	6	hypothèse raisonnablement majorante, voir 0
densité linéaire câbles DC	kg/m	non	8.60E-02	données fabricant, voir 0
composition des câbles DC		non	partie active Cu	Données par défaut Ecoinvent pour un câble en cuivre
quantité de câbles AC	m/m ² panneau	non	0.375	Voir 0
section des câbles AC	mm ²	non	3*240	hypothèse raisonnablement majorante, voir 0
densité linéaire câbles AC	kg/m	non	4.025	données fabricant, voir 0

composition des câbles AC		non	partie active Al	d'après données fabricant pour un modèle commun de câbles AC, voir 0
quantité de câbles HTA	m/m ² panneau	oui	à compléter	= distance de raccordement
section des câbles HTA	mm ²	non	3*240	hypothèse raisonnablement majorante, voir 0
densité linéaire câbles HTA	kg/m	non	4.19	données fabricant, voir 0
composition des câbles HTA		non	partie active Al	D'après la SMEG, voir 0
nombre de PDL	unités	oui	1	
puissance transformateur auxiliaire PDL	kW	non	100	Hypothèse raisonnablement majorante
masse d'un tableau de cellules PDL	kg	non	1320	D'après données SMEG + données fabricant, voir 0
masse de préfabriqué par PDL	kg	non	15000	D'après données SMEG + données fabricant, voir 0
composition d'un PDL		non	transformateur aux = extrapolation linéaire pour un transformateur tableau de cellules = d'après données fabricant	Voir 0
longueur tranchées câbles	m	non		= longueur câbles
largeur tranchées câbles	m	non	0.25	D'après estimations SMEG
Surface tranchées câbles	ha	non		pour calculer changement affectation des sols déduit de longueur x largeur
linéaire clôture	m	oui	à compléter	=périmètre du site, sauf dans les cas où il n'y a pas de clôture
masse clôture unitaire	kg/m	non	22.1	D'après étude Holis, hauteur 2 m, voir 0
composition clôture		non	60 % acier galvanisé 40 % béton	D'après étude Holis, acier galvanisé + béton, voir 0
longueur piste accès pompiers	m	oui	à compléter	
largeur piste accès pompiers	m	non	3	Valeur par défaut d'après outil interne SMEG
surface piste accès pompiers	ha	non		déduit de longueur x largeur
Chantiers				
Etat du sol initial		oui	non dégradé	hypothèses conservatrice
Consommations énergie chantier montage	MJ/m ²	non	2.6	2.6 MJ de diesel par m ² de panneau, d'après NREL
Transformation des sols	m ²	non	Piste d'accès + câbles enterrés + longrines	Voir 0

Occupation des sols	m ² a	non	Durée vie*(surface longrines + piste)	Voir 0
Consommations énergie chantier démontage	MJ/m ²	non	2.6	2.6 MJ de diesel par m ² de panneau, d'après NREL
Maintenance				
Distance moyenne (aller-retour) parcourue pour un déplacement maintenance/contrôle/réparation	km	non	1000	Distance standard non modifiable, voir 0
Nombre de déplacements pour maintenance/contrôle/réparation pendant la durée de vie	unités	non	2 par an	D'après SMEG, voir 0
Distance moyenne (aller-retour) parcourue pour un déplacement nettoyage	km	non	1000	Distance standard non modifiable, voir 0
Nombre de déplacements pour nettoyage	unités	non	1 par an	D'après SMEG, voir 0
Consommation d'eau pour le nettoyage	L/m ²	non	0.75 L/m ²	D'après SMEG, voir 0

6. Inventaire et hypothèses de modélisation des équipements

6.1. Inventaire général des équipements

Une centrale photovoltaïque est composée de plusieurs équipements, listés dans le tableau ci-dessous. Parmi ces équipements, certains sont spécifiques à un type de projet PV (au sol, agrivoltaïque, ou flottant).

Les origines géographiques par défaut des équipements répertoriées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ont été établies sur la base d'informations communiquées par la SMEG. Lorsque l'origine n'est pas connue, le symbole « N/A » est noté, et la modélisation ACV par défaut est réalisée avec des données majorantes.

Équipements d'une centrale photovoltaïque. Les éléments en couleurs sont spécifiques aux types de centrales PV suivants : PV sol (orange), agrivoltaïque (vert), PV flottant (bleu). Les éléments surlignés en jaune ont été exclus ou négligés.

Fonction	Équipement	Rôle	Technologies utilisées	Matériaux principaux
Production	Modules photovoltaïques	Convertir l'énergie solaire en courant continu (DC)	Mono- ou polycristallins, mono- ou bifaciaux	Silicium, verre, aluminium, EVA, Tedlar
	Structures de support	Supporter les panneaux, orientés vers le soleil	Fixes, trackers	Acier galvanisé, aluminium
	Structures surélevées	Laisser passer lumière et engins agricoles	Hauteur > 2,5 m	Acier galvanisé, aluminium
	Cerveau moteur et moteur électrique	Faire pivoter les panneaux pour gérer la production	Petit moteur	Composants DEEE
	Structure - flotteur	Supporter les panneaux sur l'eau	Supports multimatériaux	PEHD et aluminium
	Structure - amarrage	Maintenir la position des panneaux flottants	Câbles reliés à la terre ferme	Acier
Collecte DC	Câbles DC cuivre	Transporter le courant continu	4 à 10 mm ² , gainés UV	Cuivre, isolant PVC ou XLPE
	Boîtiers de jonction	Regrouper les chaînes, protéger les circuits	Fusibles, parafoudres	Plastique, cuivre, acier,

				composants divers
Conversion	Onduleurs	Convertir le courant DC en AC	String ou centraux	Aluminium, cuivre, composants électroniques
Distribution AC	Tableaux AC	Répartir et protéger les circuits AC	Disjoncteurs, sectionneurs	Cuivre, plastique, acier
	Câbles AC	Acheminer l'AC vers le transfo ou le poste	10 à 95 mm ²	Cuivre ou aluminium, isolant XLPE
Transformation	Transformateur BT/HTA	Élever la tension pour injection réseau	400 V → 20 kV	Cuivre ou aluminium, acier, huile isolante
	Poste de livraison (PDL) HTA	Interface avec le réseau public	Cellules HTA, protections	Acier, cuivre, composants électriques
	Câbles HTA aluminium	Transporter l'énergie vers le point de raccordement	3x(1x240) mm ²	Aluminium, isolant XLPE
Supervision & sécurité	SCADA / supervision	Suivi de la production, alertes	Interface web, capteurs	Électronique, plastique
	Capteurs environnementaux	Mesure irradiance, température, vent	Pyranomètre, anémomètre	Verre, plastique, composants électroniques
	Parafoudres, protections	Protéger contre surtensions et défauts	AC et DC	Cuivre, zinc, plastique
	Mise à la terre	Sécurité des personnes et équipements	Conducteurs, piquets	Cuivre nu, acier
Sécurité physique	Clôtures	Protéger le site	Clôtures grillagées ou autres	Acier
	vidéosurveillance	surveiller le site	Caméras, alarmes	Acier, plastique, électronique

L'ensemble des éléments de supervision a été négligé, de même que les boîtiers de jonction et le système de vidéosurveillance. Cette exclusion est réalisée en application des règles de coupure et permet de concentrer la collecte de données sur les éléments principaux des projets PV. L'application des règles de coupure pour ce cas est détaillée en annexe, à la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Inventaire général des équipements d'une centrale photovoltaïque au sol.

Équipement	Origine géographique par défaut	Unité
Panneaux PV mono- ou polycristallins	Chine	m ²
Onduleurs	Asie	unités x puissances
Transformateurs BT/HTA	Europe	unités x puissances
Système de montage panneaux	N/A	Unités par m ² de panneau
Transformateurs auxiliaires (PDL)	N/A	Unités x puissances
Tableaux de cellules (PDL et tableaux AC)	N/A	unités
Câbles (transport d'électricité)	N/A	m



Clôtures	Europe	m
Route d'accès (gravier)	N/A	kg

Dans cette modélisation, il est considéré que l'ensemble des équipements de la centrale PV exceptés les panneaux reposent à même le sol et ne nécessitent donc pas de dalles en béton. Pour les panneaux, le béton nécessaire est comptabilisé dans le système de montage. Dans le cadre du projet de Nivolas-Vermelle, il s'agit d'un système dit « pieux-battus ».

Certains équipements peuvent être placés dans les préfabriqués en béton. Dans le cadre de ce projet, des préfabriqués béton seront considérés pour les équipements suivants :

- Tableaux AC ;
- PDL HTA.

6.2. Inventaire des panneaux photovoltaïques et des structures de montage

Le tableau ci-dessous répertorie les jeux de données utilisés pour la modélisation des panneaux PV. La masse d'un mètre carré de panneau indiquée par Ecoinvent est de 11,3 kg ce qui correspond également au poids estimé à partir des fiches techniques des panneaux qui seront utilisés pour le projet Nivolas-Vermelle (voir AF4 – Note Technique).

Les flux correspondant à la fin de vie des panneaux ont été séparés afin de permettre une visualisation des données où la fin de vie des panneaux PV est associée à l'étape de démantèlement de la centrale PV.

Jeux de données utilisés pour la modélisation des panneaux photovoltaïques

Equipement modélisé	Jeu de données Ecoinvent	Unité
Panneaux photovoltaïques monocristallins	Photovoltaic panel production, single-Si wafer, RoW (hors flux de fin de vie)	m ²
Panneaux photovoltaïques polycristallins	Photovoltaic panel production, poly-Si wafer, RoW (hors flux de fin de vie)	m ²
Fin de vie des panneaux photovoltaïques monocristallins	Photovoltaic panel production, single-Si wafer, RoW (flux de fin de vie uniquement)	m ²
Fin de vie des panneaux photovoltaïques polycristallins	Photovoltaic panel production, poly-Si wafer, RoW (flux de fin de vie uniquement)	m ²

Les structures de montage peuvent être assez différentes d'un projet photovoltaïque à un autre. En effet, pour la plupart des projets, un système de montage dit en « pieux battus » est utilisé. Il s'agit de structures métalliques implantées dans le sol.

Jeux de données utilisés pour la modélisation des systèmes de montage en pieux battus, pour 1 m² de panneau PV (Ecoinvent Version 3.10.1, s. d.)

Jeu de données Ecoinvent	Inventaire	Unité
market for aluminium, wrought alloy - aluminium, wrought alloy GLO	3.98	kg
market for reinforcing steel - reinforcing steel GLO	6.15	kg
market for zinc coat, pieces - zinc coat, pieces GLO	0.156	m ²
market for section bar extrusion, aluminium - section bar extrusion, aluminium GLO	3.98	kg

market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled - steel, chromium steel 18/8, hot rolled GLO	0.25	kg
market for section bar rolling, steel - section bar rolling, steel GLO	6.15	kg
market group for concrete, normal strength - concrete, normal strength GLO	5.4E-04	kg
market for corrugated board box - corrugated board box RoW	4.42E-02	kg
market for corrugated board box - corrugated board box US	2.02E-02	kg
market for corrugated board box - corrugated board box RER	2.12E-02	kg
market for polystyrene, high impact - polystyrene, high impact GLO	4.60E-03	kg
market for polyethylene, high density, granulate - polyethylene, high density, granulate GLO	9.10E-04	kg
market for corrugated board box - corrugated board box CA-QC	7.50E-04	kg

6.3. Inventaire des onduleurs et transformateurs

Les onduleurs présents dans les centrales PV au sol ont des puissances importantes, allant de quelques centaines de kW à quelques MW. Pour une utilisation à haute puissance, le jeu de données Ecoinvent le plus adapté est : "inverter production, 500 kW".

Pour les transformateurs, il n'existe pas de jeu de données Ecoinvent. Les données d'inventaires du NREL pour un transformateur d'une puissance de 2.7 MVA semblent éloignées de données utilisées pour les transformateurs fabriqués en Europe. Etant donné que les transformateurs utilisés par la SMEG sont généralement fabriqués en Europe, les données européennes ont été utilisées pour leur modélisation. Le rapport NREL a toutefois été consulté notamment pour le choix des jeux de données Ecoinvent associés à chaque flux. (Piotrowski & Markowska, 2025) (Smith et al., 2024).

Les quantités de matières sont adaptées en fonction de la puissance de l'onduleur ou du transformateur renseignée selon une extrapolation linéaire. La modélisation est donc réalisée de la façon suivante : les quantités de matière sont proratisées pour atteindre la puissance voulue.

Pour les transformateurs, la composition du bobinage prise par défaut dans le cadre du projet de Nivolas-Vermelle est le cuivre. A noter qu'il est possible d'indiquer dans l'outil de simulation d'autres matériaux comme l'aluminium, ou bien un mix aluminium / cuivre - permettant ainsi représenter la diversité des équipements présents sur un même site.

La géographie de fabrication des onduleurs est considérée par défaut comme provenant d'Asie, tandis que celle des transformateurs est considérée comme européenne - RER - d'après les informations communiquées à par les prestataires de la SMEG.

Au cours de la durée de vie de la centrale, il est supposé que les onduleurs sont remplacés complètement une fois. Ce remplacement est comptabilisé dès l'inventaire des équipements, en doublant la quantité d'onduleurs renseignés, afin de comptabiliser le nombre d'équipements correspondant à la durée de vie de la centrale PV.

Pour les onduleurs comme pour les transformateurs, les flux correspondant à la fin de vie de l'équipement ont été isolés afin de pouvoir les attribuer à la catégorie « démantèlement » et d'attribuer le reste (fabrication de l'onduleur et cycle de vie du packaging) à la catégorie « construction ».

L'inventaire d'un transformateur de la centrale PV au sol est explicité dans le tableau ci-dessous. La dalle de béton a été exclue de l'inventaire, étant donnée l'hypothèse formulée dans la section 6.1.

Inventaire du cycle de vie d'un transformateur, pour 1 MVA.

Jeux de données Ecoinvent	unité	Inventaire Cu	Projection Al
market for copper, cathode copper, cathode Cutoff, U - GLO	kg	2.63E+02	0.00E+00
aluminium ingot, primary, to aluminium, wrought alloy market	kg	0.00E+00	1.31E+02
market for epoxy resin, liquid epoxy resin, liquid Cutoff, U - RoW	kg	2.26E+02	2.26E+02
market for ferrite ferrite Cutoff, U - GLO	kg	5.38E+02	5.38E+02
market for injection moulding injection moulding Cutoff, U - GLO	kg	2.26E+02	2.26E+02
market for lubricating oil lubricating oil Cutoff, U - RoW	kg	4.52E+02	4.52E+02
market for reinforcing steel reinforcing steel Cutoff, U - GLO	kg	4.81E+02	4.81E+02
market for wire drawing, copper wire drawing, copper Cutoff, U - GLO	kg	2.63E+02	1.31E+02
Total mass	kg	1.96E+03	1.83E+03
Composition of active part		Cu	Al

6.4. Inventaire des tableaux AC

Des tableaux de répartition du courant alternatif (tableau AC) composés de séparateurs ou encore disjoncteurs assurent le bon fonctionnement de la transmission AC. Chaque tableau AC est placé dans un préfabriqué béton qu'il convient de modéliser.

La composition d'un tableau AC standard a été estimée grâce aux informations du pôle construction de la SMEG ainsi que de la documentation fournisseur. La référence RM6 de Schneider Electric a servi de base pour établir l'inventaire détaillé dans le tableau ci-dessous. La masse totale d'un tel tableau dépend du nombre et de la nature des cellules qu'il contient. D'après les informations du pôle construction de la SMEG, la masse d'un tableau est estimée à 1320 kg. (*Distribution HTA jusqu'à 24 kV, s. d.*).

Inventaire d'un tableau de cellules compact, d'après les informations du fabricant Schneider Electric pour la référence RM6.

Flux	Quantité	Unité	Jeux de données Ecoinvent
Acier	75,9	%	"market for steel, low-alloyed GLO" et "market for metal coking, average for steel product manufacturing GLO"
Autres métaux	12,0	%	"market for copper, cathode GLO" et "market for metal working, average for copper product manufacturing" (50 %) et "market for aluminium, primary, ingot RoW" et "market for metal working, average for aluminium product manufacturing" (50 %)
Electronique	0,700	%	"printed wiring board production, surface mounted, unspecified, Pb containing - printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb containing GLO"

Thermoplastique	3,00	%	"market for polyethylene, high density, granulate - polyethylene, high density, granulate GLO" et "market for injection moulding GLO"
Thermodurcissable	8,00	%	"market for epoxy resin, liquid - epoxy resin, liquid RoW" et "market for injection moulding GLO"
Fluide	0,400	%	<i>négligée</i>

L'inventaire d'un préfabriqué a été estimé à partir d'une référence standard du fabricant. Le préfabriqué le plus grand a été considéré pour établir l'inventaire, soit 15 tonnes de béton armé (97 % béton et 3 % acier). L'inventaire d'un préfabriqué de 15 tonnes ainsi que les jeux de données choisis pour la modélisation sont détaillés dans le tableau suivant :

Inventaire d'un préfabriqué de poste de transformation en béton armé de 15 tonnes. La densité du béton est estimée à 2300 kg/m³.

Flux	Quantité	Unité	Jeu de données Ecoinvent
Béton	6,33	m ³	market group for concrete, normal strength GLO
Acier	450	kg	market for steel, unalloyed GLO
Transformation acier	450	kg	market for wire drawing, steel GLO

6.6. Inventaire des PDL

Le poste de livraison permet de raccorder la centrale PV au réseau de distribution électrique. Un poste de livraison comprend les éléments principaux suivants :

- Tableau de cellules ;
- Poste de transformation auxiliaire.

Les transformateurs auxiliaires ont été modélisés de la même manière que les transformateurs PV, à partir des données d'inventaire du rapport NREL. De la même manière que pour les transformateurs PV, il a semblé opportun d'effectuer une extrapolation linéaire de l'inventaire afin de correspondre à la puissance souhaitée.

Les transformateurs auxiliaires étant généralement de puissance moins importante que les transformateurs PV, l'extrapolation linéaire pourrait apporter une incertitude assez importante sur la représentativité des données.

Les PDL contiennent également des tableaux de cellules. La composition d'un tableau standard a été estimée grâce au pôle construction de la SMEG ainsi que de la documentation fournisseur accessible en ligne. La référence SM6 de Schneider Electric a servi de base pour établir l'inventaire détaillé présenté ci-dessous. (*Distribution HTA jusqu'à 24 kV, s. d.*)

Inventaire d'un tableau de cellules, d'après les informations du fabricant Schneider Electric pour la référence SM6.

Flux	Quantité	Unité	Jeux de données Ecoinvent
Acier	74,5	%	"market for steel, low-alloyed GLO" et "market for metal coking, average for steel product manufacturing GLO"

Autres métaux	8,0	%	"market for copper, cathode GLO" et "market for metal working, average for copper product manufacturing" (50 %) et "market for aluminium, primary, ingot RoW" et "market for metal working, average for aluminium product manufacturing" (50 %)
Electronique	0,00	%	N/A
Thermoplastique	2,00	%	"market for polyethylene, high density, granulate - polyethylene, high density, granulate GLO" et "market for injection moulding GLO"
Thermodurcissable	15,50	%	"market for epoxy resin, liquid - epoxy resin, liquid RoW" et "market for injection moulding GLO"
Fluide	0,00	%	N/A

Dans un souci de simplification pour une étude réalisée en phase amont de projet, les autres équipements du PDL (systèmes informatiques, vidéo-surveillance, etc.) ne sont pas connus et n'ont donc pas été modélisés.

En revanche, un préfabriqué est utilisé pour stocker l'ensemble des composants du PDL. Ce préfabriqué a été modélisé selon les mêmes hypothèses que celui du tableau AC. L'inventaire détaillé est disponible en section 0.

6.7. Inventaire des câblages

Plusieurs types de câblages sont nécessaires pour assurer le bon fonctionnement d'une centrale photovoltaïque :

- Des câbles électriques pour transporter l'électricité produite entre les différents équipements de la centrale (panneaux, onduleurs, transformateurs, etc.). Plusieurs sections et plusieurs compositions de câbles seront modélisées.
- Des câbles de transmission d'information afin d'assurer le pilotage des équipements. Il s'agit essentiellement de fibres optiques.

Dans le présent modèle et par souci de simplification, il n'est pas tenu compte des câbles de transmission d'informations. En effet, la quantité de ceux-ci est estimée comme négligeable devant les câbles électriques.

Les inventaires ont été établis à l'aide de données génériques concernant les câbles électriques utilisés dans les installations photovoltaïques au sol. Ces données sont issues des sites de fabricants de câbles dédiés à cet usage (*NEXANS-HTA-NF-C33-226-12-20-24-kV*, s. d.) (*Câbles solaires harmonisés H1Z2Z2-K*, s. d.) (*Nexans PV AC/DC 1-1,5kV Alu*, s. d.). Les densités linéaires respectives ont été estimées d'après les fiches techniques des fabricants, en prenant le cas majorant (section maximale et gaine renforcée). Le tableau suivant regroupe l'inventaire détaillé des câbles.

Inventaire des câbles électriques de la centrale PV, par typologie et par section.

Type/modèle de câble	Section (mm ²)	Unité	Matière active	Densité linéaire (kg/m)
H1Z2Z2-K	6	m	Cuivre	8.6E-02
KEYLIOS PV H1Z2Z2-K 1,5/1,5kV D	3*240	m	Aluminium	4.025E+00



Câble HTA	3*240	m	Aluminium	4.19E+00
-----------	-------	---	-----------	----------

Pour modéliser les câbles, le jeu de données Ecoinvent « cable production, unspecified » a été utilisé, en adaptant si nécessaire les données d'arrière-plan.

Par défaut, le template utilise une longueur de câble totale de 2,5 m par m² de panneau PV, répartie comme suit (Frischknecht et al., 2015)⁸ :

- 85 % sont des câbles de petite section (supposés en cuivre) ;
- 15 % sont des câbles de grande section (supposés en aluminium).

La longueur de câbles HTA est quant à elle égale à la distance de raccordement HTA renseignée par l'utilisateur.

6.7. Inventaire des clôtures

Dans le cas où la centrale PV est entourée d'une clôture, il convient de quantifier les contributions environnementales de cette dernière. Dans le cadre du projet de Nivolas-Vermelle, la longueur de la clôture considérée est de 590 mètres.

Les références des clôtures utilisées pouvant varier, un cas raisonnablement majorant a été choisi pour les modéliser. Il a ainsi été considéré que les clôtures sont constituées de panneaux rigides en acier galvanisé de 2 m de hauteur et environ 3 m de longueur. Chaque panneau de clôture est relié au suivant à l'aide d'un poteau. Les données ont été récupérées auprès de constructeurs de clôtures. Afin d'estimer la masse de d'acier nécessaire par unité de longueur, les données du constructeur AA Fencing (*uniform-mesh-spec-sheet*, s. d.) ont été utilisées.

Ce type de clôture est généralement composé d'acier galvanisé, afin d'éviter la rouille. La modélisation des clôtures a été réalisée à partir d'inventaires issus du rapport NREL (Smith et al., 2024).

Le tableau résume l'inventaire des composants utilisés ainsi que les jeux de données Ecoinvent utilisés pour les modéliser.

Inventaire du cycle de vie pour 1 m de clôture en acier galvanisé pour une centrale PV, d'après les données du rapport NREL (Smith et al.)

Jeu de données Ecoinvent	Quantité	Unité
market for concrete, 25 MPa RoW	3.89E-03	m ³
market for section bar rolling steel GLO	6.16E+00	kg
market for steel, low-alloyed GLO	1.33E+01	kg
market for wire drawing, steel GLO	7.10E+00	kg
market for zinc coat, coils GLO	4.42E+00	m ²

6.8. Inventaire de la route d'accès au site

La route d'accès au site est supposée en gravier. Les données d'inventaire retenues ont été établies par l'AIE : pour 1 m² de panneau PV, 350 kg de gravier sont nécessaires. Conformément à la publication de l'AIE, le jeu de données Ecoinvent « market for gravel, round, CH » a été utilisé.

⁸ Le rapport cité donne des valeurs indicatives pour une centrale photovoltaïque sur toiture uniquement. Ces valeurs ont toutefois été retenues en l'absence de meilleure estimation, en prenant une marge de 10 % liée à l'envergure plus importante des centrales au sol.



(Frischknecht et al., 2015). Pour le projet de Nivelas-Vermelle aucune route n'a été aménagée, les accès au site étant déjà présent. Ainsi aucune variable n'a été intégrée sur ce paramètre.

6.9. Inventaire des dalles de béton

En fonction de la nature du terrain, l'ensemble des équipements (hors panneaux PV) peut être posé à même le sol, ou bien reposer sur des dalles de béton. Cette seconde option étant plus rare pour les projets de la SMEG et difficile à estimer, la modélisation n'intègre pas ici de dalles de béton.

6.10. Chantier de construction

La consommation d'énergie liée à la construction d'une centrale PV a été estimée à 2.6 MJ de diesel par m² de panneau PV d'après les données du rapport du NREL. Le jeu de données Ecoinvent « market for diesel, burned in burning machine | GLO » a été utilisé. (Smith, Sekar, Mirlletz, Heath, & Margolis, 2024).

7. Autres hypothèses de modélisation

7.1. Transformation et occupation des sols

Il est nécessaire de quantifier les impacts liés à la transformation des sols lors du chantier de construction de la centrale PV ainsi que l'occupation de ces sols pendant la durée de vie de cette dernière.

En fonction de la nature initiale du sol sur lequel le projet est implanté, les données utilisées en arrière-plan diffèrent.

La surface totale des sols transformée comprend : la surface des longrines (si existantes), la surface de la route d'accès, la surface des tranchées creusées pour les câbles. La surface transformée et occupée dans le cas de montage en pieux-battus est considérée comme négligeable. Les tranchées creusées pour passer les câbles étant généralement rebouchées après installation des câbles, leur surface ne sera pas comptabilisée pour l'occupation des sols sur la durée de vie de la centrale. Pour ce calcul, les surfaces suivantes ont été considérées, d'après des travaux réalisés par la SMEG :

- Tranchées : 0,25 m de large * longueur totale de câble ;
- Route d'accès : 3 m de large * longueur route d'accès ;
- Longrines : 0,29 m² par m² de panneau PV.

Le tableau ci-dessous détaille les jeux de données utilisés pour modéliser la transformation et l'utilisation des sols, en fonction de la typologie initiale du sol.

Jeux de données pour la transformation et l'occupation des sols, en fonction du type de projet, par m² de sol transformé ou occupé. DV correspond à la durée de vie de la centrale PV, renseignée par l'utilisateur pour chaque projet.

Jeu de données Ecoinvent	Unité	Centrale au sol, sol dégradé	Centrale au sol, agrivoltaïsme ou sol agricole
Transformation, from mineral extraction site	m ²	1	0
Transformation, from arable, unspecified	m ²	0	1
Transformation, to industrial area	m ²	1	1



Occupation, industrial area	m ² a	1*DV	1*DV
-----------------------------	------------------	------	------

7.2. Phase d'utilisation de la centrale PV

Production et consommation d'électricité

Les données de production et consommation d'électricité sont spécifiques à chaque centrale PV. Il convient donc à l'utilisateur de renseigner les valeurs spécifiques à son projet. L'utilisateur renseigne la quantité nette d'électricité injectée sur le réseau électrique sur l'ensemble de la durée de vie de la centrale PV. De cette façon, la consommation d'électricité liée au fonctionnement des équipements du site est comptabilisée comme une autoconsommation.

La quantité totale d'électricité produite et injectée au cours du cycle de vie de la centrale faisant l'objet d'estimations, il convient de considérer les résultats avec prudence du fait de ces incertitudes.

Maintenance, entretien et nettoyage

Dans le cadre de la présente étude ACV, les impacts associés à l'entretien du site, à la maintenance des équipements ainsi qu'à leur nettoyage (panneaux notamment) doivent être quantifiés.

La maintenance des différents équipements nécessite le déplacement de techniciens experts. Deux visites annuelles contractuelles seront ainsi considérées pour la maintenance des équipements. Ces déplacements sont supposés être effectués en voiture, selon un scénario - raisonnablement majorant - d'un déplacement aller simple de 500 km, soit 2 000 km par an.

Le nettoyage des panneaux est essentiellement réalisé par la pluie. Toutefois, des séquences d'entretien et nettoyage approfondis des panneaux photovoltaïques sont nécessaires. Ces séquences impliquent des déplacements en voiture à raison d'un par an. Les conditions de déplacement sont considérées équivalentes à celles de la maintenance, soit 1 000 km par an. L'entretien est réalisé principalement à l'aide d'eau déminéralisée. La quantité d'eau déminéralisée peut varier en fonction du mode de nettoyage (manuel ou robot). Elle est fixée par défaut à 1,5 L par panneau de 2 m².

L'entretien du site dépend principalement de la nature initiale du terrain. Les besoins énergétiques éventuels sont principalement liés à la tonte des pelouses. Ils seront négligés selon les règles de coupe. En effet, une tondeuse électrique d'une puissance de quelques kW utilisée quelques heures à dizaines d'heures par an représente une consommation électrique négligeable en comparaison de celle d'autres équipements présents sur site, et encore davantage au regard de la production PV.

Fin de vie de la centrale PV

A la fin de leur vie, l'ensemble des équipements de la centrale PV sont démontés, transportés, triés, puis traités.

Le system-model Cut-off appliqué lors de la présente étude indique que le recyclage des déchets après leur tri doit être imputé au(x) produit(s) utilisant la matière recyclée. Ainsi, pour les déchets métalliques et de verre, les étapes de traitement ne seront pas comptabilisées.

Le transport des différents équipements démontés vers un centre de tri et/ou de traitement a été estimé à 500 km en transport routier. Cette valeur hypothétique a été choisie en supposant que le pré-traitement des matériaux a lieu en France. Les sous-sections suivantes détaillent les inventaires liés à la fin de vie de chacun des composants de la centrale PV, à ajouter aux 500 km de transport mentionnés.

Fin de vie des panneaux PV

Les jeux de données utilisés pour modéliser les panneaux photovoltaïques prennent déjà en compte les flux liés à la fin de vie de ces équipements. Ces flux ont été isolés pour permettre une visualisation des résultats différenciant la production des panneaux et leur fin de vie. La section 6.2 détaille les inventaires utilisés pour la fin de vie des panneaux PV.

Fin de vie des structures de montage

La fin de vie du système de montage en pieux battus est présentée ci-dessous.

Inventaire de la fin de vie d'un montage en pieux battus, pour 1 m² de panneau PV

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire
market for waste polystyrene isolation, flame-retardant - waste polystyrene isolation, flame-retardant RoW	kg	3.23E-03
market for waste polystyrene isolation, flame-retardant - waste polystyrene isolation, flame-retardant Europe without Switzerland	kg	1.27E-03
market for waste polyethylene/polypropylene product - waste polyethylene/polypropylene product RoW	kg	6.46E-04
market for waste polyethylene/polypropylene product - waste polyethylene/polypropylene product Europe without Switzerland	kg	2.55E-04
market for waste polystyrene isolation, flame-retardant - waste polystyrene isolation, flame-retardant CH	kg	3.83E-05
market for waste polyethylene/polypropylene product - waste polyethylene/polypropylene product CH	kg	7.65E-06

Le traitement de fin de vie du béton des longrines doit être comptabilisé dans la fin de vie des structures de montage.

Fin de vie des longrines en béton, pour 1 kg de longrines.

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire
Market for waste reinforced concrete Europe without Switzerland	kg	1

Fin de vie des onduleurs et transformateurs

Le jeu de données « inverter production, 500 kW » utilisé pour modéliser les onduleurs prend déjà en compte les flux liés à la fin de vie de ces équipements. Ces flux ont été isolés pour permettre une visualisation des résultats différenciant la production des onduleurs et leur fin de vie.

Inventaire de la fin de vie des transformateurs

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire Cu - 1 MW	Projection Al - 1 MW
Market for waste, mineral oil RoW	kg	4.52E+02	4.52E+02
Market for waste plastic, industrial electronics CH	kg	2.26E+02	2.26E+02



Total mass	kg	1.96E+03	1.83E+03
Composition of active part		Cu	Al

Fin de vie des tableaux AC

L'inventaire de fin de vie des tableaux de cellules RM6 est présenté pour un tableau standard de 1320 kg. Les masses de l'analyse seront adaptées proportionnellement à la masse totale de tableau de cellules.

Inventaire de la fin de vie d'un tableau RM6 standard de 1320 kg

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire pour un tableau RM6
Market for waste plastic mixture FR	kg	145
Market for used printed wiring boards GLO	kg	9

Seul le traitement du béton est pris en compte, représentant 97 % de la masse du préfabriqué.

Fin de vie d'un préfabriqué en béton utilisé dans les postes de transformation et les postes de livraison des centrales PV, pour 1 kg de préfabriqué

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire
Market for waste reinforced concrete Europe without Switzerland	kg	0,97

Fin de vie des PDL

La fin de vie des transformateurs auxiliaires situés dans les PDL a été modélisée de la même façon que pour les transformateurs principaux. Les inventaires sont détaillés en section 0. Les transformateurs auxiliaires étant généralement de puissance moins importante que les transformateurs PV, l'extrapolation linéaire pourrait apporter une incertitude assez importante sur la représentativité des données.

La fin de vie d'un tableau compact de type SM6 est détaillée dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, pour un tableau standard de 1320 kg. Les masses de l'analyse seront adaptées proportionnellement à la masse totale de tableau de cellules.

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire pour un tableau SM6
Market for waste plastic mixture FR	kg	231

Fin de vie des câbles

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Petite section, Cu	Grande section, Al	Cable HTA
Market for waste polyethylene FR	kg	0,338	0,338	0,548



Fin de vie des clôtures

Jeux de données Ecoinvent (flux sortants)	unité	Inventaire (1 m)
Market for waste reinforced concrete Europe without Switzerland	kg	8,82

Fin de vie de la route d'accès au site

La fin de vie de la route d'accès au site a été modélisée à l'aide du jeu de données « treatment of inert waste, inert material landfill | RoW ». Ce jeu de données est générique pour les déchets inertes.

Chantier de démantèlement

La consommation d'énergie liée au démantèlement d'une centrale PV est considérée égale à celle pour la construction de la centrale, soit 2.6 MJ de diesel par m² de panneau PV. Le jeu de données Ecoinvent « market for diesel, burned in burning machine | GLO » a été utilisé. (Smith, Sekar, Mirlletz, Heath, & Margolis, 2024)

8. Résumé des hypothèses

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des hypothèses pour les paramètres et matériaux qui n'ont pas été rentrés dans l'analyse à partir de données réelles (fiche produit notamment). Par transparence, les conséquences de ces hypothèses sur les résultats environnementaux sont également présentées ci-dessous.

Composant / étape concernée	Hypothèse	Conséquence
Tous les composants sauf les panneaux PV	Reposent à même le sol	Sous-estimation des impacts liée aux dalles de béton négligées (si existantes)
Onduleurs	Remplacement total à mi-vie de la centrale	Surestimation dans certains cas où seuls quelques composants sont remplacés
Equipements du PDL hors tableau SM6 et transformateur auxiliaire	Négligés	Sous-estimation des impacts si présence de composants électroniques
Câbles DC petite section	Section 6 mm ²	Surestimation dans certains cas avec sections inférieures
Câbles DC petite section	Composition Cu	Surestimation par rapport à Al
Câbles grande section	Section 3x240 mm ²	Surestimation dans certains cas avec sections inférieures
Câbles grande section	Composition Al	Sous-estimation par rapport à Cu (mais très peu probable)
Câbles HTA	Section 3x240 mm ²	Surestimation dans certains cas avec sections inférieures
Câbles	2,5 m de câble par m ² de panneau	Ecart possible en fonction de la typologie de projet
Câbles	Répartition 85% PS / 15% GS	Ecart possible en fonction de la typologie de projet
Câbles	Câbles de communication négligés	Sous-estimation possible par rapport à la réalité

Préfabriqués béton	Dimensions et quantités de matière selon la plus grande référence fournisseur	Surestimation possible par rapport à la réalité
Route d'accès	Composition gravier	Ecart possible avec d'autres types de routes (naturel sans gravier, goudronnée, etc.)
Maintenance	2 000 km par an, en voiture	Ecart possible selon implantation du projet
Nettoyage	1 000 km par an, en voiture	Ecart possible selon implantation du projet
Nettoyage	1,5 L d'eau déionisée par panneau de 2 m ² (soit 0.75 L/m ²)	Ecart possible selon réalité du projet
Transport de fin de vie des équipements	500 km, camion	Sous-estimation si la fin de vie a lieu hors de France
Route d'accès	Fin de vie en décharge	Surestimation possible si les graviers sont réutilisés