

La technologie photovoltaïque

La technologie photovoltaïque (PV) permet la conversion de l'énergie issue du rayonnement solaire en électricité utilisable localement ou injectable sur le réseau de distribution. Elle se présente sous la forme de cellules photovoltaïques organisées en panneaux qui peuvent être installées au sein de petites installations sur toitures (quelques kW) ou dans le cadre de centrales photovoltaïques, aussi appelées champs photovoltaïques (plusieurs MW).

Il existe aujourd'hui trois types de panneaux photovoltaïques qui diffèrent en fonction des matériaux qui les composent. On distingue les semi-conducteurs cristallins (silicium monocristallin ou polycristallin), de couche mince (silicium amorphe, tellure de cadmium) ou en matière organique (couche mince). Chacune de ces technologies présente des caractéristiques qui lui sont propres et qui justifient son utilisation en fonction de la zone géographique dans laquelle elles sont amenées à être utilisées.

Nous considérerons ici des panneaux de type polycristallins tels que ceux proposés par le distributeur BISOL et installés par l'entreprise CEL, partenaire d'EneRSIEIL dans ses projets de photovoltaïque sur toiture. Technologie la plus largement répandue sur le territoire national, les panneaux semi-conducteurs cristallins proposent aujourd'hui les meilleurs rendements sur le marché du photovoltaïque.

La technologie photovoltaïque puisant sa source directement dans le rayonnement solaire, il est indispensable de considérer ce facteur à l'échelle du territoire du département pour justifier son développement. Le territoire départemental connaît un rayonnement moyen de 1300 kWh/m² par an, suffisant puisque l'on estime une installation rentable si elle est située dans une zone au rayonnement supérieur ou égal à 1100 kWh/m²/an.

Le photovoltaïque sur toitures de bâtiments communaux

L'installation sur toiture représente l'un des deux débouchés possibles de la technologie photovoltaïque. EnerSIEIL a fait le choix de se positionner sur ce débouché en travaillant principalement sur les toitures de bâtiments publics communaux qui représentent aujourd'hui son cœur de cible.

Propriété des collectivités locales, les projets sur bâtiments publics ont l'avantage de faire intervenir des acteurs publics moins sensibles au temps d'amortissement relativement long de ce genre de projets (15 à 20 ans). Un privé, cherchant une rentabilité à court terme, sera souvent réticent à l'installation de panneaux photovoltaïques sur sa toiture. De plus, compte tenu de la conjoncture économique actuelle, il est souvent difficile pour un particulier de se projeter sur la période impliquée par un bail emphytéotique (99 ans). Bon nombre de professionnels ne réfléchissent pas à si long terme et ne peuvent donc garantir la disponibilité de leurs toits sur de si longues périodes.

En intervenant auprès des communes, EnerSIEIL s'assure une facilitation des démarches en traitant avec des partenaires privés tout en favorisant l'émergence de projet conséquents de production d'énergie renouvelable. La surface des toitures envisagées est généralement grande et permet donc une production importante.

Ainsi ce sont aujourd'hui 10 projets qui ont été réalisés ou sont en cours de réalisation par EnerSIEIL : huit écoles ont vu leurs toitures se couvrir de panneaux photovoltaïques pour une production annuelle totale de 358,5 MWh et deux autres projets sont en cours de réalisation sur la déchetterie de la communauté de communes de Loches Développement et sur le local technique de la mairie de Monthodon.

Nous étudierons donc dans un premier temps le potentiel de production d'énergie renouvelable des bâtiments communaux du département d'Indre-et-Loire, le but étant de cibler de potentiels projets pour EnerSIEIL et d'en déterminer la production envisageable.

Le jeu de contraintes à prendre en compte

La détermination du bâti éligible pour l'installation de panneaux photovoltaïques se fait par un processus de dégradation de la ressource (ensemble du bâti) en fonction de différentes contraintes qui conditionnent l'aboutissement d'un projet. La prise en compte de l'ensemble de ces contraintes (physiques, réglementaires ou techniques) permettra d'aboutir à une ressource finale pour laquelle il sera possible d'estimer une production annuelle.

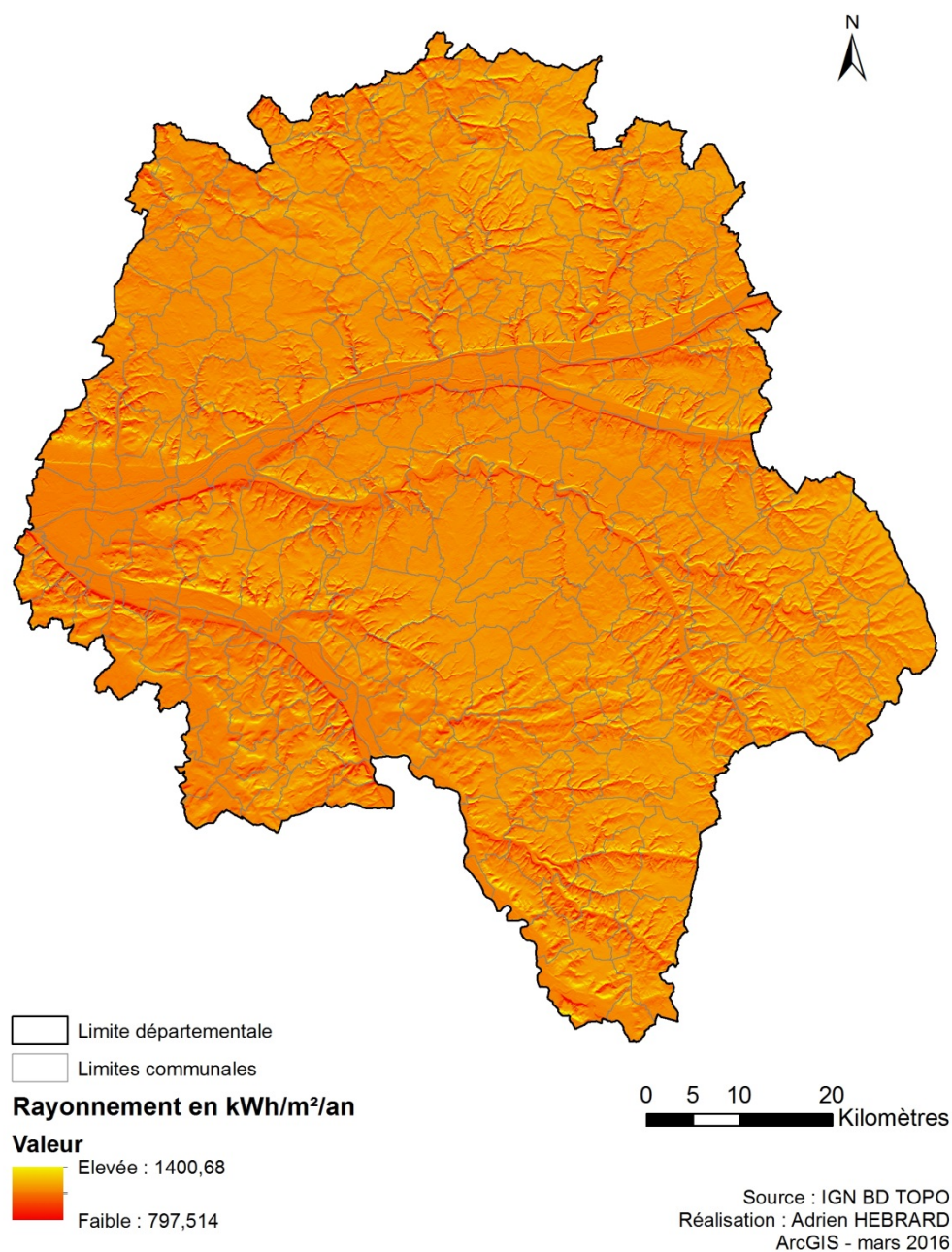
Le choix a été fait de tenir compte de critères non rédhibitoires, mais qui ont de grandes chances de nuire à l'aboutissement d'un projet. Ceci dans le but de dégrader au mieux notre ressource et donc d'estimer une production minimale réaliste par technologie. Les zones soumises à l'avis de l'architecte des bâtiments de France ont par exemple été exclues même si leur validation est possible, mais rare, dans la réalité. Il en est de même pour les zones de protection du patrimoine naturel : une ZNIEFF (zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique) n'est qu'un inventaire d'espèces à protéger et ne réglemente aucunement l'installation d'équipement de production d'énergie renouvelable. Cependant, et compte tenu de la réalité politique, il est préférable d'exclure ces dernières de la ressource finale exploitable.

Les contraintes physiques :

➤ *Le rayonnement*

Facteur déterminant de la rentabilité ou non d'un projet, le rayonnement solaire a été estimé grâce au logiciel de système d'information géographique ArcGIS. On considèrera que seul le bâti se situant dans des zones dont le rayonnement annuel dépasse les 1100kWh/m² sera éligible.

RAYONNEMENT SOLAIRE ANNUEL SUR LE DÉPARTEMENT D'INDRE-ET-LOIRE



Carte 3 : rayonnement solaire annuel en Indre-et-Loire

➤ Les masques solaires

On appelle masque solaire le phénomène d'obstruction des rayons solaires que peuvent produire certains bâtiments sur leurs voisins. La production d'une installation dépendant principalement de la quantité d'énergie solaire qu'elle reçoit à l'année, ces masques sont bien évidemment à prendre en compte pour déterminer la rentabilité d'un projet photovoltaïque sur toiture.

Nous excluons dans cette étude l'ensemble du bâti susceptible de recevoir de l'ombre en provenance de bâtiments voisins situé dans un champ de $\pm 60^\circ$ S et dont l'angle d'obstruction est supérieur à 10° . (cf. annexe)

➤ L'orientation du bâti

Afin de s'assurer de la rentabilité d'un projet, l'orientation du pan de toit susceptible d'accueillir les panneaux doit être connue. Sachant que la pente moyenne des toits d'Indre-et-Loire est de 40° (STAP Indre-et-Loire), nous ne conserverons que les toitures orientées à $\pm 30^\circ$ S, ceci afin de s'assurer d'une production maximale.

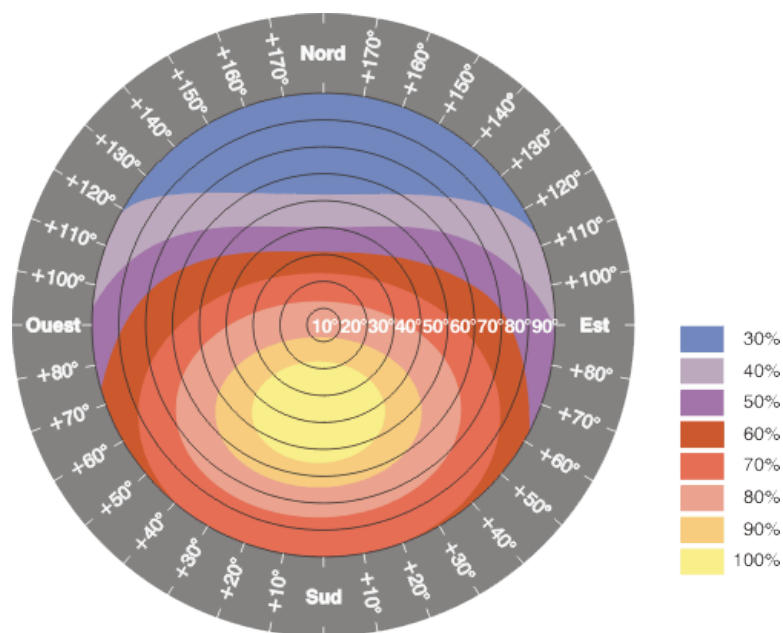


Figure 3: diagramme solaire

Les contraintes règlementaires :

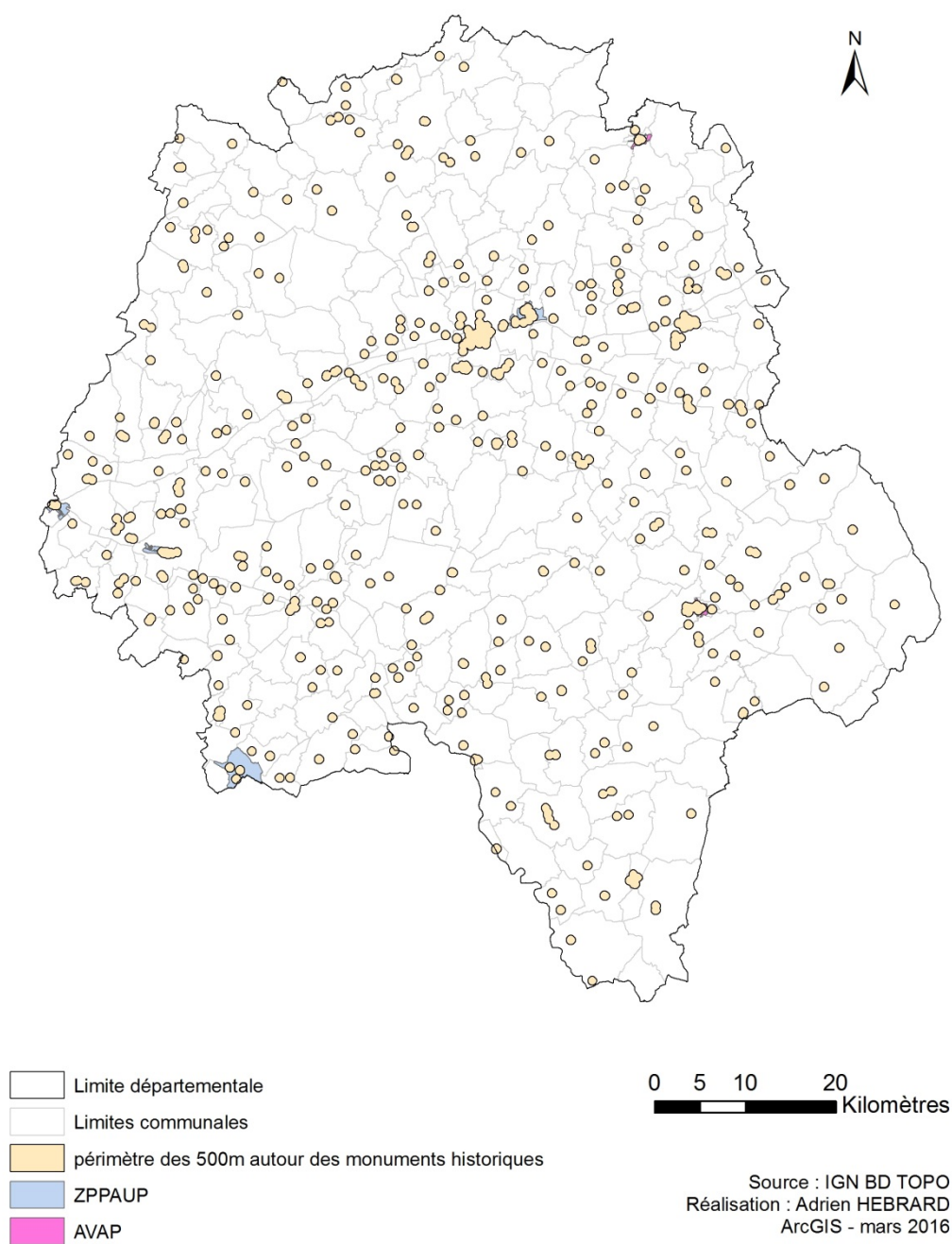
➤ *Préservation du patrimoine architectural*

Ce type d'installation est soumis à l'avis de l'Architecte des bâtiments de France (ABF) dans certaines zones de préservation du patrimoine architectural. On exclura donc dans cette étude l'ensemble du bâti communal situé dans les Zones de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager (ZPPAUP), celui situé dans les Aires de Valorisation de l'Architecture et du Patrimoine (AVAP) ainsi que l'ensemble du bâti situé dans un périmètre de 500 mètres défini autour des monuments inscrits ou classés sur le territoire départemental.

➤ *Préservation du patrimoine environnemental*

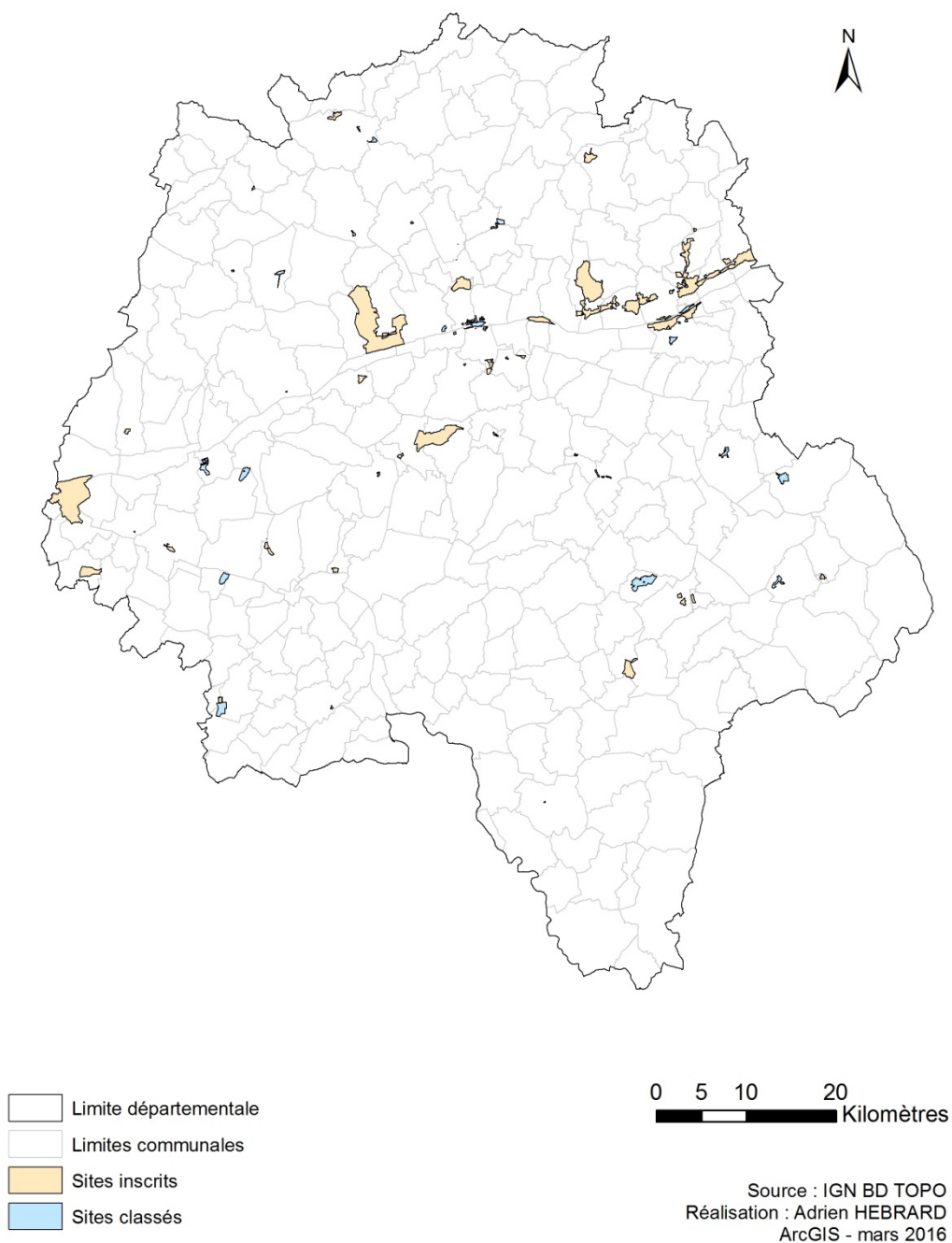
Il existe également certains zonages spécifiques à la préservation du patrimoine environnemental qui régulent l'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur le territoire départemental. Ainsi, nous excluons l'ensemble du bâti situé au sein des sites inscrits ou classés du département.

ZONES DE PROTECTION DU PATRIMOINE ARCHITECTURAL



Carte 4: zones de protection du patrimoine architectural en Indre-et-Loire

PHOTOVOLTAÏQUE TOITURE : ZONES DE PROTECTION DU PATRIMOINE ENVIRONNEMENTAL



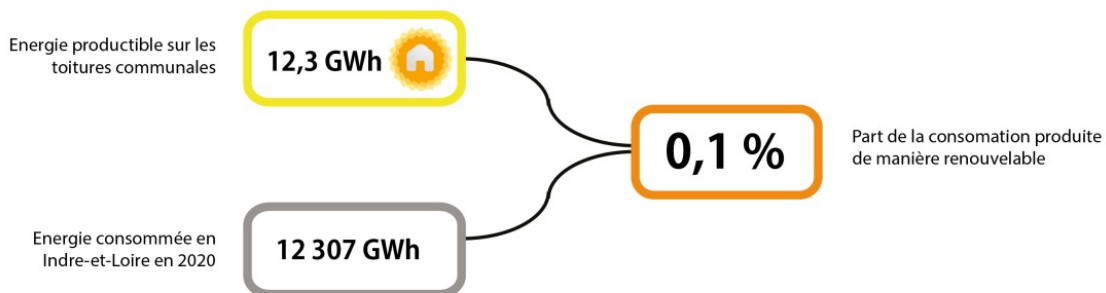
Carte 5 : zones de protection du patrimoine environnemental (photovoltaïque toiture)

La dégradation successive de l'ensemble des bâtiments communaux du territoire départemental en fonction des contraintes précédemment citées nous permet d'aboutir à une ressource dégradée finale correspondant aux bâtiments pouvant accueillir des installations photovoltaïques. Nous avons ensuite dimensionné les installations pour chaque bâtiment en considérant une part utile de l'emprise de ce dernier. Cette part a été définie à 30% suite à l'étude des réalisations déjà effectuées par EnerSIEIL et de la typologie du bâti. La production a, quant à elle, été estimée à l'aide du logiciel PVSol disponible en ligne.

	Nombre de bâtiments	Nombre de panneaux	Surface (m²)	Puissance (kW)	Production (MWh)
Écoles primaires	88	13 688	23 543	3 695	4 264
Mairies	62	2 063	3 548	557	641
Bâtiments sportifs	97	23 702	40 767	6 399	7 387
Total	247	39 453	67 858	10 651	12 292

L'ensemble de la ressource dégradée représente quelques 247 bâtiments communaux qui pourraient accueillir 10,6 MW de panneaux solaires photovoltaïques pour une production annuelle estimée à 12,3 GWh. Il est à noter que ce sont les bâtiments sportifs qui représentent le plus gros potentiel de production compte tenu du nombre et de la surface de toiture de ces bâtiments, et donc d'acteurs à faire intervenir. Cependant, il reste à définir pour ce type de bâtiment leurs natures exactes et s'ils appartiennent à la commune, au département, ou à la région (question qui ne se pose pas pour les mairies et des écoles primaires).

Cette étude prospective n'a pas donné lieu à des visites de terrain permettant de confirmer ou non le potentiel de chaque bâtiment. Une suite possible serait l'étude au cas par cas de chaque bâtiment énoncé dans le tableau récapitulatif des résultats présenté en annexe.



L'exploitation de l'ensemble de la ressource en toiture disponible sur le territoire départemental permettrait une avancée de 0,1% dans l'atteinte de l'objectif des 23% fixé par le PCET.

Le photovoltaïque en centrale au sol

Outre le débouché de l'installation sur toiture, la technologie photovoltaïque peut également être développée sous forme de centrale au sol proposant de plus grande surfaces utiles pour de plus grandes puissances. Ce type d'installation apparaît sous la forme de plusieurs rangées de tables comprenant chacune des dizaines de panneaux photovoltaïques. Celles-ci sont ensuite reliées à un onduleur qui va permettre la réinjection du courant continu produit dans le réseau en le transformant en courant alternatif.

La puissance de ce type d'unité de production varie entre 250kW pour les plus petites (limite à partir de laquelle un permis de construire est nécessaire) et des centaines de MW pour les plus grandes. En décembre 2015 a été inaugurée à Cestas, en Gironde, la plus grande centrale photovoltaïque d'Europe. Elle a été développée par la société NEOEN. D'une puissance de 300MW pour une superficie de 2 km², cette centrale devrait suffire à satisfaire la consommation annuelle de l'équivalent de la population de Bordeaux.

EneRSIEIL a déjà fait preuve de son intérêt envers cette technologie en prenant part dans les SAS des Landes de la Motte et dans la SAS du Soleil. Ces deux sociétés visent à développer des champs photovoltaïques sur tracker. Les projets sont aujourd'hui en cours de développement.

Le processus de dégradation de la ressource du photovoltaïque en centrale est similaires à celui proposé pour les installations en toiture. Nous disposons d'un ensemble de contraintes, aussi bien physiques, techniques que réglementaires, dont il nous faut tenir compte pour dégrader totalement la ressource initiale (ensemble des parcelles du département) et aboutir à une ressource finale exploitable qui nous permettra l'estimation d'une production annuelle. Encore une fois, nous tiendrons compte, en plus des contraintes primordiales, de contraintes non rédhibitoires qui minimisent cependant fortement les chances d'aboutissement d'un projet.

Le jeu de contraintes à prendre en compte

Les contraintes physiques :

➤ *Le rayonnement*

Les centrales au sol et sur toitures exploitant une énergie primaire identique, il est ici aussi nécessaire de tenir compte du rayonnement comme condition à l'éligibilité de parcelles susceptibles d'accueillir ce genre d'installations. On fixera ici aussi la limite minimale de rayonnement à 1100 kWh/m²/an.

➤ *L'exposition*

L'installation d'une centrale photovoltaïque au sol est conditionnée par l'exposition de la parcelle susceptible de l'accueillir. Nous ne conserverons dans cette étude que les parcelles exposées Sud, comprenant le Sud-Ouest et le Sud-Est (+/- 70° S).

➤ *Pentes*

Afin de minimiser les coûts liés à l'intervention du génie civil, nous ne conserverons que les parcelles ayant une pente inférieure à 15%. Nous considérons qu'au-delà de cette valeur limite, le surcoût lié aux travaux de terrassement rendrait le projet trop onéreux et donc non viable au niveau financier.

Les contraintes réglementaires :

➤ *Préservation du patrimoine architectural*

Comme pour l'installation de panneaux photovoltaïques sur toitures, il faut ici aussi considérer l'ensemble des zonages de préservation du patrimoine architectural du territoire. Nous excluons donc l'ensemble des parcelles situées au sein des ZPPAUP, AVAP ou dans le périmètre des 500 mètres autour des monuments classés ou inscrits.

➤ *Préservation du patrimoine environnemental*

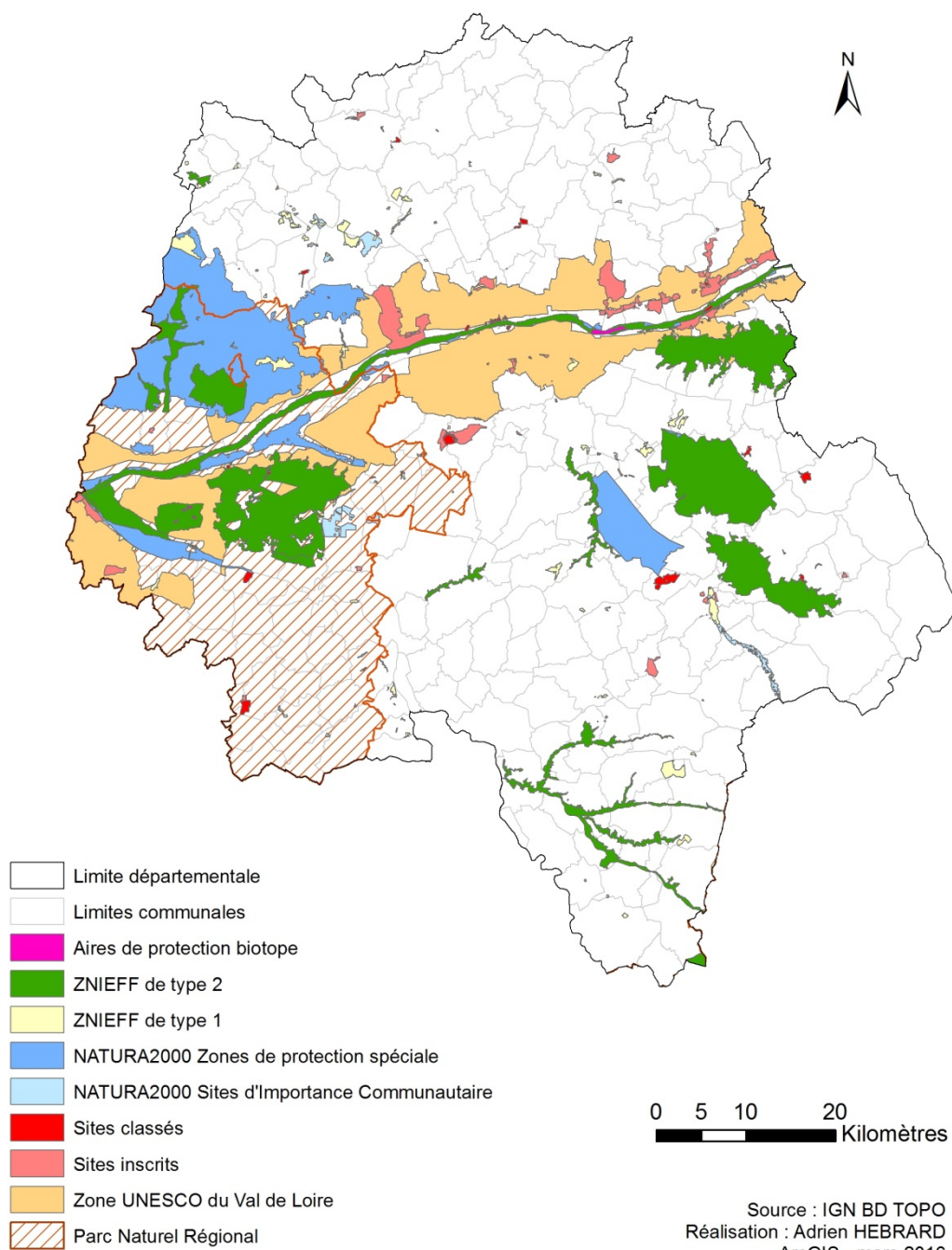
Nous tiendrons compte ici de l'ensemble des contraintes liées à la préservation du patrimoine environnemental considérées au préalable avec l'étude du potentiel photovoltaïque en toiture. Il est cependant nécessaire d'ajouter aux sites inscrits et classés les aires de protection biotope du département, les zones NATURA 2000, les zones situées au sein du Parc Naturel Régional Loire-Anjou-Touraine, les ZNIEFF de type 1 et 2 ainsi que le zonage UNESCO du Val de Loire.

Les risques naturels :

➤ *Les Territoire à Risque d'Inondation*

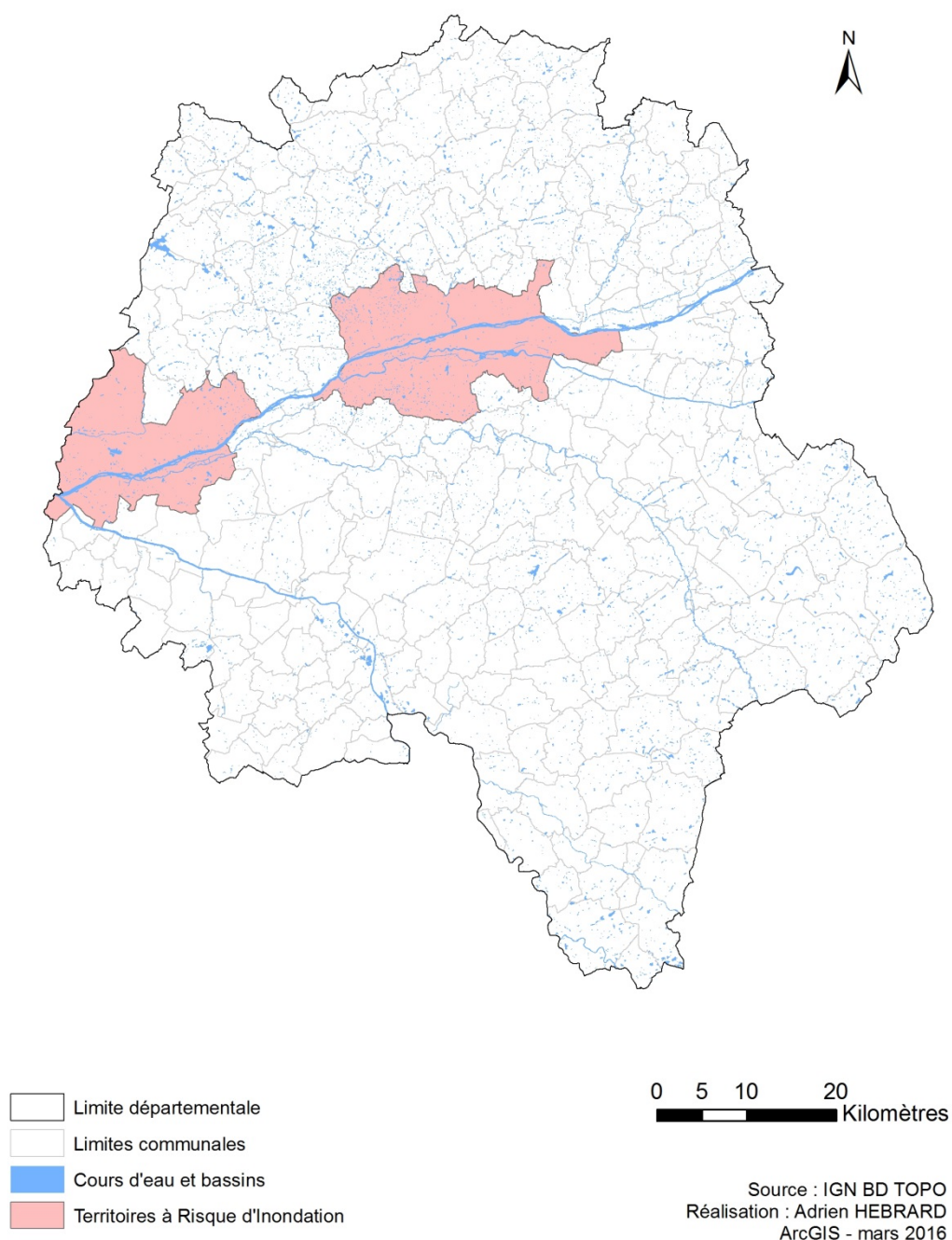
Afin d'éviter toute dégradation par les inondations, nous excluons l'ensemble des parcelles situées dans les zones TRI (Territoires à Risque d'Inondation) du département.

PHOTOVOLTAÏQUE AU SOL : ZONES DE PROTECTION DU PATRIMOINE ENVIRONNEMENTAL



Carte 6 : zones de protection du patrimoine environnemental (photovoltaïque en centrale au sol)

TERRITOIRES À RISQUES D'INONDATION SUR LE DÉPARTEMENT D'INDRE-ET-LOIRE



Carte 7: territoires à risques d'inondation

Les contraintes techniques :

➤ L'éloignement du réseau routier

Afin de minimiser les coûts liés à la création d'un chemin d'accès à la centrale, nous ne conserverons que les parcelles situées à moins d'un kilomètre des routes déjà existantes. Le réseau routier étant très ramifié sur le territoire départemental, cette contrainte n'est en fait pas limitante puisque l'ensemble du territoire est correctement desservi.

➤ L'éloignement des postes sources

Dans le but de minimiser les coûts liés au raccordement au réseau électrique de la centrale, nous excluons l'ensemble des parcelles situées à plus de 10 kilomètres d'un poste source (poste de transformation HTB/HBA). On considère qu'au-delà de cette valeur limite, le surcoût lié au raccordement électrique rend la rentabilité du projet trop faible pour que les investisseurs s'intéressent à ces parcelles.

➤ La surface parcellaire

La parcelle susceptible d'accueillir une future centrale au sol doit être d'une surface suffisante pour l'installation de puissances considérées comme rentables pour l'investisseur. Ainsi nous ne considérerons dans cette étude que les parcelles dont la surface est supérieure ou égale à 3 hectares.

De plus, il est important de différencier la surface totale d'une parcelle de sa surface utile à l'installation de tables de modules photovoltaïques. Il est admis que seul un tiers de la surface totale d'une parcelle sert à l'installation de tables, les deux tiers restants étant dédiés aux chemins d'accès et d'entretien, aux clôtures, aux bassins de rétention d'eau, au locaux etc...

Il faut ensuite, pour déterminer le nombre de tables installables, considérer la distance séparant les rangées (pitch) et nécessaire à l'évitement des ombres portées. On considère que celle-ci est égale à trois fois la hauteur des tables.

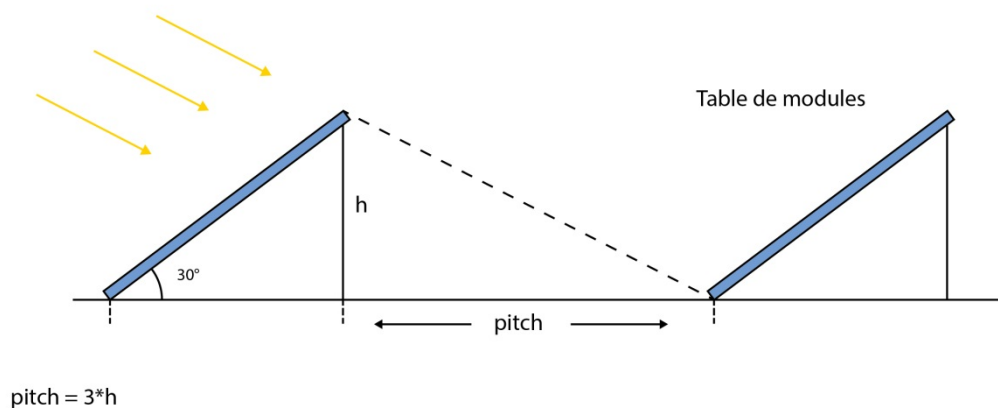
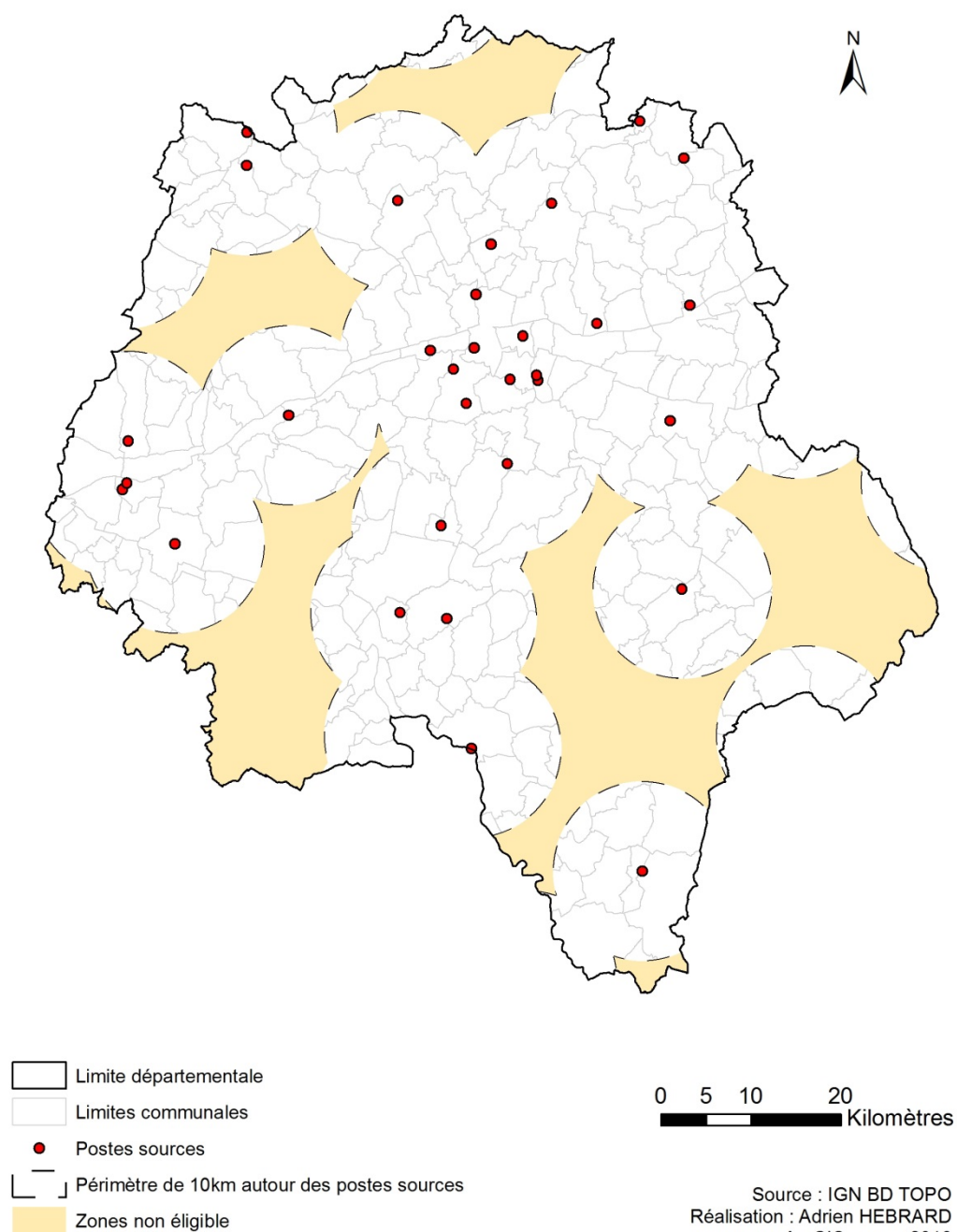


Figure 4: pitch (photovoltaïque)

ÉLIGIBILITÉ DES PARCELLES EN FONCTION DU RACCORDEMENT AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE



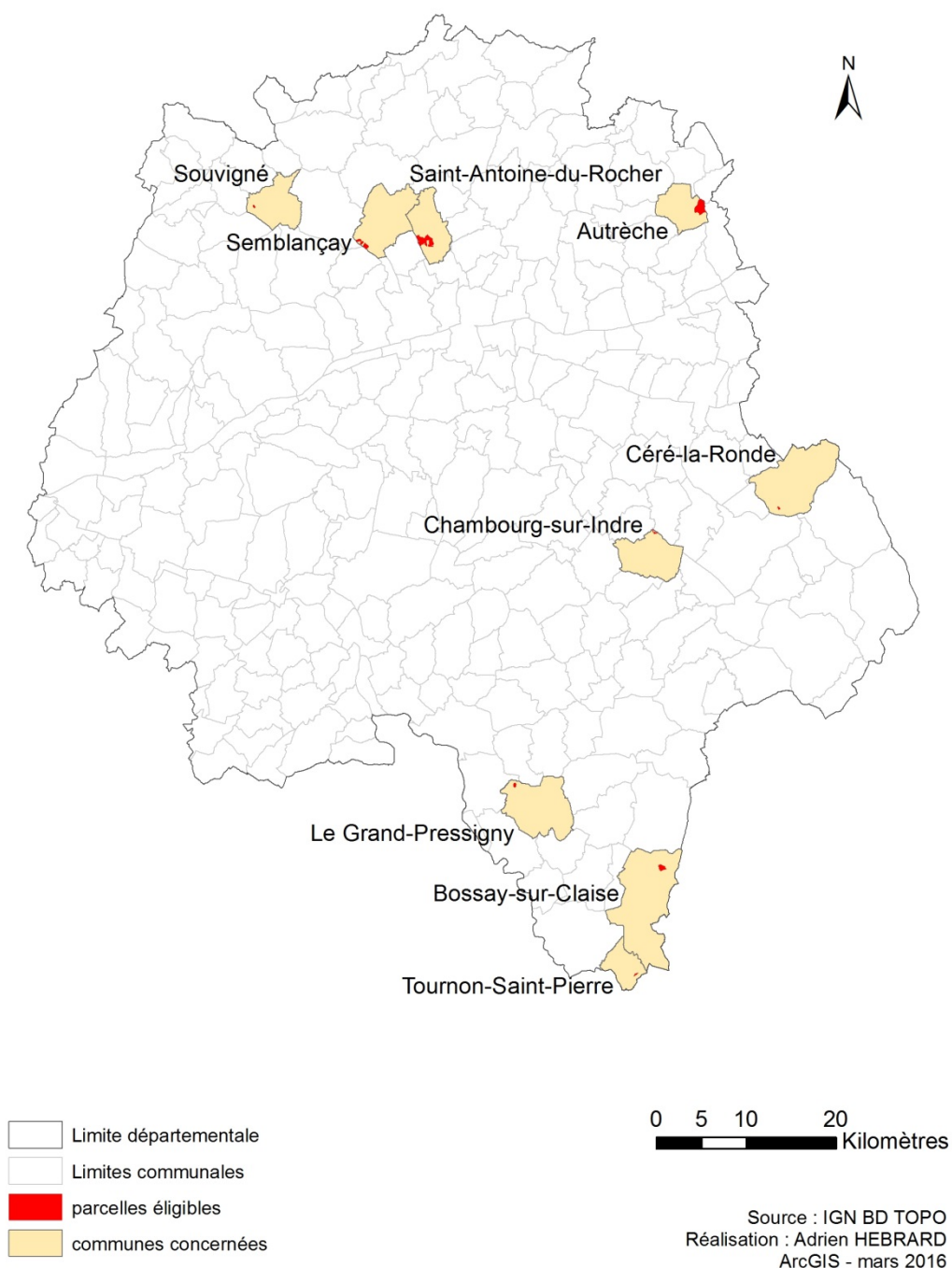
Carte 8 : éligibilité des parcelles en fonction de la l'éloignement des postes sources

➤ La nature des parcelles :

L'agriculture étant très présente sur le territoire du département, il est important de tenir compte de la nature des parcelles pour ne pas créer de conflit d'intérêt avec cette activité. Il est certes louable de promouvoir la production d'énergie renouvelable sur le territoire départemental, mais ceci ne doit pas se faire au détriment de la production alimentaire que représente la filière agricole.

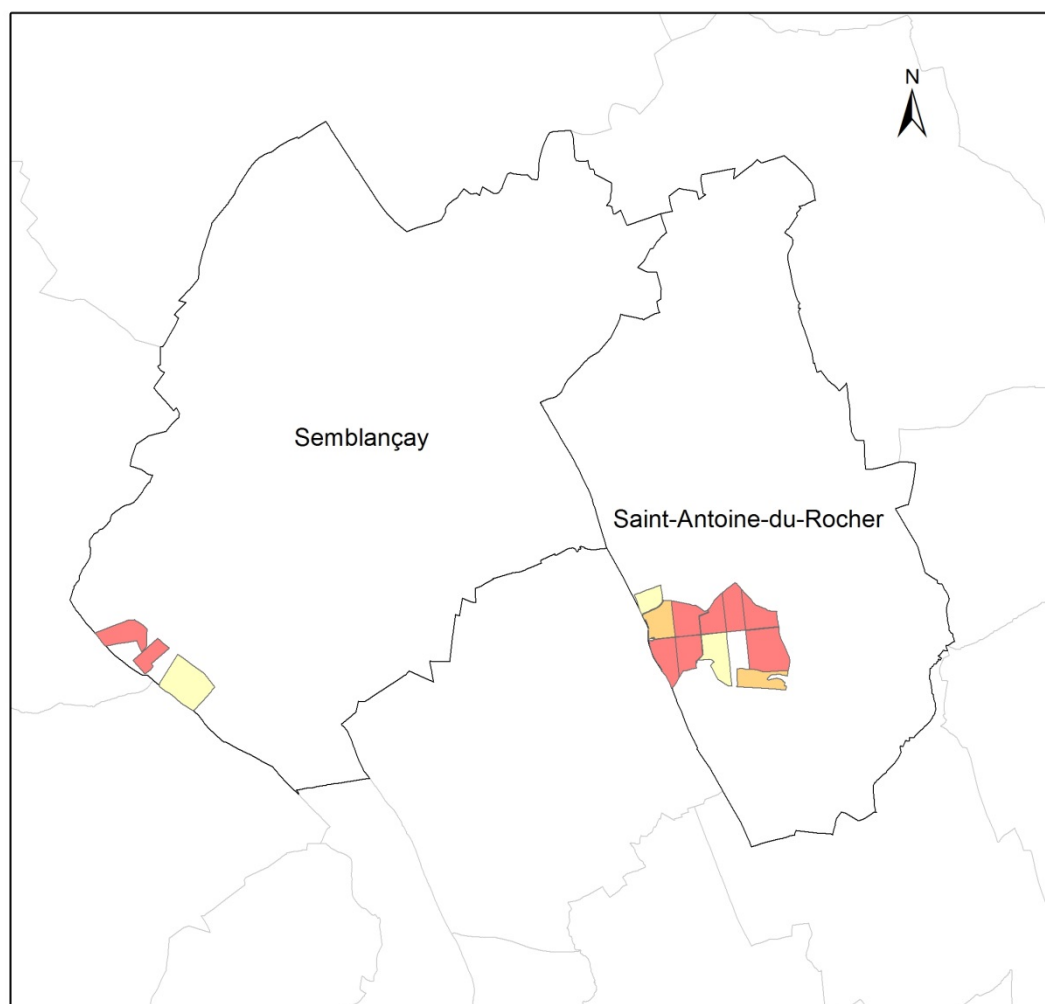
Nous excluons donc l'ensemble des parcelles classées « agricole » dans la base de données d'occupation des sols du CORINE Land Cover 2012 mise à disposition par le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. Après avoir tenu compte de l'ensemble des contraintes précédemment citées, seules des landes, broussailles et végétations arbustives permettent aujourd'hui l'installation de centrales photovoltaïques au sol.

PARCELLES NON AGRICOLES ÉLIGIBLES SUR LE TERRITOIRE D'INDRE-ET-LOIRE



Carte 9 : parcelles non agricoles éligibles au photovoltaïque en centrale au sol

PARCELLES NON AGRICOLES ÉLIGIBLES SUR LE TERRITOIRE D'INDRE-ET-LOIRE



-  Limite départementale
-  Limites communales
-  surfaces supérieures à 5ha
-  surfaces comprises entre 4 et 5ha
-  surfaces inférieures à 4ha

0 0,5 1 2
Kilomètres

Source : IGN BD TOPO
Réalisation : Adrien HEBRARD
ArcGIS - mars 2016

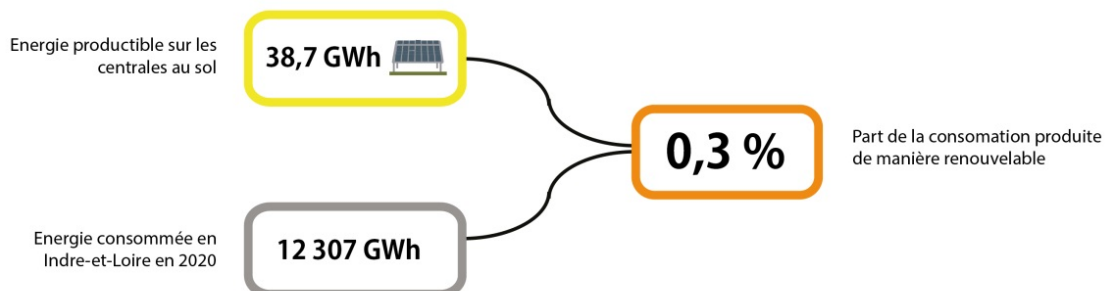
Carte 10 : parcelles non agricoles éligibles sur les communes de Saint-Antoine-du-Rocher et de Semblançay

Une fois la dégradation totale de la ressource effectuée, nous aboutissons à un gisement potentiel pour la technologie photovoltaïque au sol. Celui-ci correspond aux parcelles non agricoles susceptibles d'accueillir des centrales. Il est alors possible de déterminer le potentiel de production de ces terrains et ainsi d'aboutir au potentiel de production total de cette technologie sur le territoire départemental. Comme pour l'estimation du potentiel de production des installations sur toitures, nous utilisons le logiciel de dimensionnement en ligne PVSol.

Surface	Nombre de parcelles	Nombre de panneaux	Surface (m²)	Puissance (MW)	Production (GWh)
> 5 ha	12	93 584	160 966	25,6	28,2
entre 4 et 5 ha	7	25 791	44 361	7,0	7,8
< 4 ha	3	9 068	15 597	2,5	2,7
Total	22	128 443	220 924	35	38,7

La ressource dégradée finale

22 parcelles constituent in fine la ressource exploitable du département. Celles-ci pourraient permettre de produire quelques 38,7 GWh d'énergie renouvelable à l'année. Comme on peut le constater à la lecture de la carte n°9 ci-avant, les parcelles se répartissent sur les territoires de 9 communes dont la moitié (11) sur la commune de Saint-Antoine-du-Rocher et 3 sur la commune de Semblançay (cf. tableau récapitulatif en annexe). Cette étude cartographique est prospective et nécessite une validation in situ des sites qui en ressortent. Certains facteurs ou obstacles ne peuvent être considérés dans le processus de dégradation utilisé, d'où la nécessité de confirmer ou d'infirmer la possibilité en réalisant des visites des parcelles. Cette production annuelle de 38,7 GWh permettrait une progression de 0,3% dans l'objectif des 23% de production d'énergie renouvelable à l'horizon 2020 fixé par le PCET du département.



Il pourrait être intéressant par la suite d'étudier le potentiel de production des parcelles agricoles du territoire départemental. Bien qu'entrant en conflit avec l'agriculture, ce débouché pourrait permettre d'accroître grandement la production d'énergie renouvelable du département.