

Identifier le potentiel d'installation de panneaux solaires sur toiture

Cas de l'Ille-et-Vilaine

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	12/03/2014	Première version
2	29/04/2014	Compléments suite à relecture de Pierre Le Bourhis Finalisation des annexes « script mapinfo et qgis »
3	11/07/2014	Précisions et rectifications suite à relecture de la DDTM35
4	19/08/2014	Ajout de la partie « transposition de la méthode à l'échelle des EPCI », suite à des travaux complémentaires de Mathilde Bernard-Marmier, étudiante en troisième année de licence de géographie à l'Université de Rennes 2, en stage à la DDTM35

Commanditaire :

Marie-Isabelle Pérais, Chef du pôle Énergie - Construction et Coordination, Lutte contre l'effet de serre - SECTAM, Direction Départementale des Territoires et de la Mer Ille-et-Vilaine

Affaire suivie par et rédacteur :

Valérie Potier – Groupe Connaissance des Territoires

Cerema / Direction territoriale Ouest /Département Villes et Territoires

valerie-i.potier@developpement-durable.gouv.fr / valerie.potier@cerema.fr / 02 40 12 83 75

Contributeurs :

Valérie Potier, chargée d'études énergie climat

Denis Dallibert, géomaticien, groupe Connaissance des Territoires

Relecteur :

Pierre Le Bourhis, chef du groupe Connaissance des Territoires / Département Villes et Territoires

Validation :

Date	Nom du valideur	Commentaire
04/09/ 2014	Marie-Isabelle PERAIS	

Mots-clés : solaire, énergie, toiture, Ille-et-Vilaine, méthodologie

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ouest : MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 - 44262 Nantes Cedex 2 – Tél : +33 (0)2 40 12 83 01

Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30 - www.cerema.fr

Résumé de l'étude

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats de l'identification du potentiel de toiture utile en Ille-et-Vilaine pour l'installation de panneaux solaires. La méthode distingue les bâtiments de plus de 1000 m² au sol, des plus petits. Le seuil de 1000 m² est considéré acceptable à une échelle départementale pour tenir compte des différences de nature et de fonction des bâtiments toute en allégeant le traitement des bases de données.

Les bâtiments de plus de 1000 m² sont repérés à partir de la base de données BD Topo de l'IGN¹, du fichier des propriétés bâties du cadastre et du fichier foncier MAJIC de la DGFIP². Environ 10 000 bâtiments, soit 23 millions de m², sont identifiés et regroupés en catégories : bâtiments industriels, commerciaux, agricoles, serres, établissements de santé, d'enseignement, sportifs et culturels, administratifs, militaires /pompiers /pénitentiaires et mixtes /habitats /activités. Moins de 1 % de la surface est incluse dans des secteurs sensibles présentant des contraintes environnementales et patrimoniales très fortes ou rédhibitoires (secteurs sauvegardés, sites classés et ZPPAUP³) et à peine 10 % dans les zones à enjeux forts (sites inscrits, périmètres de protection des monuments historiques et périmètres d'opération grand site). A partir de l'étude de zones tests, des ratios par catégorie de bâtiments sont déterminés pour répartir les surfaces identifiées entre toitures terrasses ou inclinées, pour déterminer la part de toitures inclinées favorablement orientées au sud puis pour ajuster les coefficients de masques théoriques fournis par la DGEC⁴. Les coefficients obtenus sont ensuite appliqués à l'ensemble du département. Ainsi, **37% de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de plus 1000 m² en Ille-et-Vilaine, soit près de 9 millions de m²**, seraient disponibles pour une installation de panneaux solaires.

Les bâtiments de moins de 1000 m² sont identifiés à partir du fichier des propriétés bâties du plan cadastral informatisé (PCI) de la DGFIP, duquel sont exclus les bâtiments de plus de 1000 m², qualifiés de « légers » (en opposition à « durs ») et les bâtiments isolés de moins de 50 m². A partir du fichier foncier MAJIC, les catégories maison, appartement, commerce et mixte sont repérées et regroupent environ 360 000 bâtiments, soit 46,5 millions de m². Moins de 2 % de la surface est incluse dans des secteurs sensibles présentant des contraintes environnementales et patrimoniales très fortes ou rédhibitoires et à peine 15 % se situe dans des zones à enjeux forts (dont 12% dans un périmètre de protection de monuments historiques). Le fichier foncier MAJIC permet de qualifier la plupart des toitures de bâtiment et d'en déduire leur type : terrasses ou inclinées. Deux communes tests sont retenues pour préciser les toitures indéterminées et étudier l'orientation des toitures inclinées par rapport au sud. Les coefficients obtenus sont ensuite appliqués à l'ensemble du département. Ainsi, **18% de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de moins 1000 m² en Ille-et-Vilaine, soit près de 8,3 millions de m²**, seraient disponibles pour une installation de panneaux solaires. Avec un coefficient de masque plus réduit (0,3 vs 0,5) pour les toitures inclinées, le potentiel diminue à 6 millions soit 13 % de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de moins 1000 m² en Ille-et-Vilaine.

1 Institut Géographique National

2 Direction générale des Finances publiques

3 Zones de Protection du Patrimoine Architecturale, Urbain et Paysager

4 Direction Générale de l'Énergie et du Climat, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

Informations préalables :

Surfaces et emprise au sol des bâtiments

Les référentiels exploités donnent des surfaces planes qui correspondent aux emprises des bâtiments aux sols. Dans ce rapport, il est fait l'hypothèse d'assimiler les surfaces planes aux surfaces de toitures. Cette approximation donne une valeur assez exacte des surfaces des toitures terrasses. Par contre, elle sous-estime la surface réelle des toitures inclinées.

Par exemple, pour une pente de toit de 45°, la surface de toit est environ d'un tiers supérieur à sa projection en plan.

Effet de masque

L'identification de la surface utile de toiture pour l'installation de panneaux solaire doit tenir compte de l'effet de masque associé à l'ombre portée d'obstacles environnants ou de l'encombrement et des accès sur toitures.

En effet, l'espace disponible pour l'installation de panneaux solaires sur une toiture est conditionnée par la présence de divers dispositifs pré-existants : puits de lumière, échangeurs thermiques, accès, cheminement, ouvertures, etc. De plus, les panneaux solaires classiques installés en toitures terrasses sont inclinés, induisant un phénomène de masque entre panneaux.

L'ombre portée peut également être la conséquence de l'ombre de bâtiments voisins et de la végétation. Cette source d'ombre portée est plus particulièrement contraignante pour le petit bâti et d'autant plus en milieu plus urbain. Cette ombre portée est toutefois délicate à déterminer sans modélisation 3D du bâti et de l'aménagement urbain, ce qui est difficilement réalisable à l'échelle départementale. Cette ombre portée n'a pas été prise en compte dans le cas étudié.

Seuil minimal d'exploitation des résultats chiffrés de ce rapport

Les résultats chiffrés présentés dans ce rapport sont déterminés à l'aide de ratios définis pour la maille départementale. Une répartition de ces résultats est proposée par EPCI mais ne peut être précisée à une échelle infra sans induire des approximations. En effet, pour pouvoir obtenir des données à une échelle infra, il est préférable de redéfinir des ratios propres au territoire considéré en redéployant la méthode présentée sur la base de zones tests choisies dans ce territoire.

Transposition de la méthode à l'échelle des EPCI

A l'échelle départementale, une distinction des bâtiments en 2 classes (+/- 1000 m²) a été retenue notamment pour alléger le traitement des bases de données, ce seuil étant acceptable pour déterminer un ordre de grandeur de surface de toiture potentiellement disponible pour l'installation de panneaux solaires à une échelle départementale.

A l'échelle infra-départementale, EPCI ou communale, le nombre de bâtiments à traiter diminue considérablement rendant le traitement plus aisé. Il est alors possible d'appliquer les deux méthodes l'une après l'autre, à l'ensemble des bâtiments du territoire sans pré-sélection. La première méthode (partie 1 de ce rapport) identifiera et permettra de traiter les seuls bâtiments d'activité, laissant de côté les bâtiments d'habitation qui seront alors traités avec la deuxième partie de la méthode (partie 2).

Dans un premier temps, il s'agit d'appliquer la première phase de la méthode à l'ensemble des bâtiments pour identifier les bâtiments d'activités* du territoire et ensuite calculer le potentiel de toiture utile sur les bâtiments d'activités. Tous les bâtiments qui n'auront pas pu être qualifiés d'activités par la première méthode, sont pour l'essentiel des bâtiments d'habitation (maisons, appartements) et dans une moindre proportion des bâtiments mixtes : habitat et activités. Il s'agira alors sur ces bâtiments d'appliquer la deuxième phase de la méthode (partie 2) pour déterminer le potentiel de toiture utile sur les bâtiments d'habitation.

* bâtiments d'activités concernés par la méthode développée : industriels, commerciaux, agricoles, d'enseignement, de santé, administratifs, militaires, pompiers, pénitentiaires, sportifs, culturels

Sommaire

1 - PARTIE 1 : Identification des surfaces de toitures utiles des bâtiments supérieurs à 1000 m2 pour l'équipement de panneaux solaires.....	9
1.1 - Sélection des bâtiments départementaux de plus de 1000 m2.....	9
1.1.1 - Exploitation des référentiels.....	9
1.1.2 - Synthèse.....	10
1.2 - Identification de la surface utile de toiture de bâtiment de plus 1000 m2.....	11
1.2.1 - Distinction du type de toiture.....	11
1.2.2 - Orientation des toitures inclinées.....	11
1.2.3 - Prise en compte des effets de masque	12
1.2.4 - Contraintes patrimoniales et environnementales.....	13
1.3 - Études des zones tests.....	15
1.3.1 - Localisation des zones étudiées.....	15
1.3.2 - Détermination des coefficients d'extrapolation.....	17
1.3.3 - Synthèse des coefficients appliqués à l'échelle départementale.....	17
1.4 - Surfaces utiles des bâtiments de plus de 1000 m2 en Ille-et-Vilaine.....	18
1.5 - Répartition des surfaces utiles par EPCI.....	19
2 - PARTIE 2 : Identification des surfaces de toitures utiles des bâtiments inférieurs à 1000 m2 pour l'équipement de panneaux solaires.....	21
2.1 - Sélection des bâtiments inférieurs à 1000 m2.....	21
2.2 - Typologie et propriétés des bâtiments.....	21
2.3 - Contraintes patrimoniales et environnementales.....	22
2.4 - Identification de la surface utile de toiture des bâtiments de moins de 1000 m2....	23
2.4.1 - Qualification de la toiture.....	23
2.4.2 - Orientation des toitures inclinées par rapport au sud.....	24
2.4.3 - Coefficients de masque.....	25
2.4.4 - Synthèse des surfaces utiles.....	26
2.5 - Répartition des surfaces utiles par EPCI.....	26
Conclusion.....	29
Annexe 1 : Détails des résultats de l'exploitation des BD Topo IGN et du Cadastre de la DGI pour les bâtiments de plus de 1000 m2.....	30
Annexe 2 : Détails de l'étude des zones tests pour les bâtiments de plus de 1000 m2.....	31
Annexe 3 : Script mapinfo et qgis.....	39

1 PARTIE 1 : Identification des surfaces de toitures utiles des bâtiments supérieurs à 1000 m² pour l'équipement de panneaux solaires

Cette première partie présente la méthode d'évaluation du potentiel de toiture utile, c'est-à-dire disponible, pour l'installation d'équipement solaire sur les bâtiments de plus de 1000 m² au sol en Ile-et-Vilaine : sélection des bâtiments, identification du type de toiture, de leur orientation par rapport au sud et prise en compte des effets de masques.

1.1 Sélection des bâtiments départementaux de plus de 1000 m²

1.1.1 Exploitation des référentiels

Les grandes surfaces de plus de 1000 m² sont repérées et qualifiées à partir de deux référentiels : BD Topo IGN et le cadastre PCI de la DGFIP.

A partir de la BD Topo IGN, les tables « bâtis » permettent d'identifier les types de bâtiments suivants :

- La table bâti « Industriel » distingue le bâti industriel, commercial, agricole et les serres ;
- La table bâti « remarquable » pour retenir les bâtiments sportifs et tribunes. Il est exclu les bâtiments religieux, chapelle, églises, château, fort, blockhaus, casemate, aérogare, arc de triomphe, arène ou théâtre antique, tour, donjon, moulin, gare, mairie, monument, préfecture, péage ;
- La table bâti « Indifférencié » regroupe tous les autres types de bâtiments sans distinction possible. L'exploitation de 2 tables complémentaires est nécessaire pour caractériser la nature des bâtiments « Indifférencié » : les tables « surface-activité » et PAI (point d'activité et d'intérêt) de la BD Topo / « zones d'activités ».

La nature du bâtiment retenue correspond à celle de la table « surface-activité » en créant un lien géographique entre les deux tables (bâtiment inclus dans la surface). Ces données sont ensuite validées et complétées par la nature des bâtiments des tables PAI (Point PAI inclus dans bâtiment).

Le tableau suivant précise les différentes natures de bâtiments retenues dans les tables « surface-activité » et PAI (colonne de gauche) et leurs correspondances avec les intitulés utilisés dans la suite de l'étude, à savoir : établissements d'enseignement, sportifs et culturels, industriels, commerciaux, de santé, administratifs, de transport, militaires, pénitentiaires et pompiers.

<i>Tables et natures d'activités retenues</i>	<i>Correspondance avec la classification de l'étude</i>
Table « Surface_activités »	
Administratif, Transport	Établissements administratifs et de transport
Enseignement,	Établissements d'enseignement
Culture et loisirs, Sport	Bâtiments sportifs et culturels
Industriel ou commercial	Bâtiments Industriels ou commerciaux
Santé	Établissements de santé
PAI Administratif et militaire	
Divers public ou administratif, Hôtels de département et de région, Bureau ou hôtel des postes, Mairie, Préfectures, Palais de justice, Poste ou hôtel de police, Gendarmerie,	Établissements administratifs et de transport
Caserne de pompiers, Établissement pénitentiaire, Enceinte militaire, ouvrage militaire	Établissements militaires, pénitentiaires, pompiers

PAI Culture et Loisirs	
Maison de parc, musée, parc des expositions, refuge, village vacances	Bâtiments sportifs et culturels
PAI science et enseignements	Établissements d'enseignement
PAI Industriel et commercial	
Divers commercial, marché	Bâtiments commerciaux
Divers industriel, usine, zone industrielle	Bâtiments industriels
PAI Santé (Établissement hospitalier, thermal et hôpital)	Établissements de santé
PAI Transport	
Gares routière, voyageurs, fret, péage, stations métro	Établissements administratifs et de transport
PAI sport	Bâtiments sportifs et culturels

Tableau 1: correspondances entre les natures de bâtiments de la BD Topo (tables « surface-activité » et PAI) et les catégories de l'étude.

Le PAI Transports identifie également des parkings. La vérification sur l'orthophotoplan montre que sont repérés aussi bien des parkings silos et sous terrains. Une vérification sur l'agglomération rennaise indique un grand nombre de parkings non recensés. Cette catégorie semble peu fiable et donc écartée.

Le croisement du référentiel BD Topo de l'IGN et du fichier des propriétés bâties du **cadastre PCI de la DGFIP** identifie des bâtiments de plus de 1000 m² non répertoriés par la seule exploitation de BD TOPO. 17% de surfaces supérieures à 1000 m² sont ainsi repérées en complément et se répartissent entre appartement, maison, mixte, commercial, dépendance, aucun local et non renseigné. La nature des bâtiments est obtenue en croisant le cadastre PCI (propriétés bâties) avec le **fichier foncier MAJIC** de la DGFIP (table bâtiment).

Seules les catégories appartement, maison, mixte, commercial sont retenues soit la moitié des surfaces complémentaires et inclus dans les surfaces de plus de 1000 m² étudiées.

1.1.2 Synthèse

Plus de 10 000 bâtiments supérieurs à 1000 m² sont identifiés en Ile-et-Vilaine, pour une surface totale « brute » au sol d'environ 23 millions de m².

Types des bâtiments de surface > 1000 m ²	Nombre	Surface totale (m ²)	Répartition des surfaces
Bâtiments agricoles	487	752 831	3%
Serres	380	1 699 372	7%
Bâtiments commerciaux	788	2 451 591	10%
Bâtiments industriels	6 794	14 761 540	63%
Établissements de santé	225	609 682	3%
Établissements d'enseignement	639	1 512 297	6%
Bâtiments sportifs et culturels	339	633 162	3%
Établissements administratifs et de transport	144	307 706	1,3 %
Bâtiments militaires. pompiers. pénitentiaires	39	77 498	0.3 %
Bâtiments mixtes habitat-activité	391	633 046	3%
Total	10 226	23 438 725	100%

Tableau 2 : Ensemble des bâtiments de surface de plus de 1000 m² identifiés en Ile-et-Vilaine

1.2 Identification de la surface utile de toiture de bâtiment de plus 1000 m²

L'évaluation de la surface utile de toiture disponible pour une installation de panneaux solaires doit tenir compte :

- du type de toiture : terrasses ou inclinées,
- de l'orientation des toitures par rapport au sud,
- des effets de masques (ombre portée des équipements installés sur la toiture, des bâtiments voisins, de la végétation).

1.2.1 Distinction du type de toiture

Cette distinction est déterminée à partir de l'étude de plusieurs zones tests (partie détaillée au chapitre 1.3 page 15) afin de déterminer un ratio moyen de répartition toitures terrasses / inclinées, à appliquer à l'échelle départementale aux surfaces de plus de 1000 m², selon quelles soit industrielles, commerciales, agricoles et autres (santé, enseignement, culture, sport, administratif, transport, militaires, pénitentiaire, mixte habitat/activité).

1.2.2 Orientation des toitures inclinées

L'orientation des toitures concernent les seules surfaces inclinées.

Des travaux réalisés pour le Conseil Général de Vendée par Alliance Soleil montrent que dans une marge de +/- 45 degrés par rapport du sud, la production d'énergie solaire reste élevée et ce, quelque-soit l'inclinaison de la toiture.

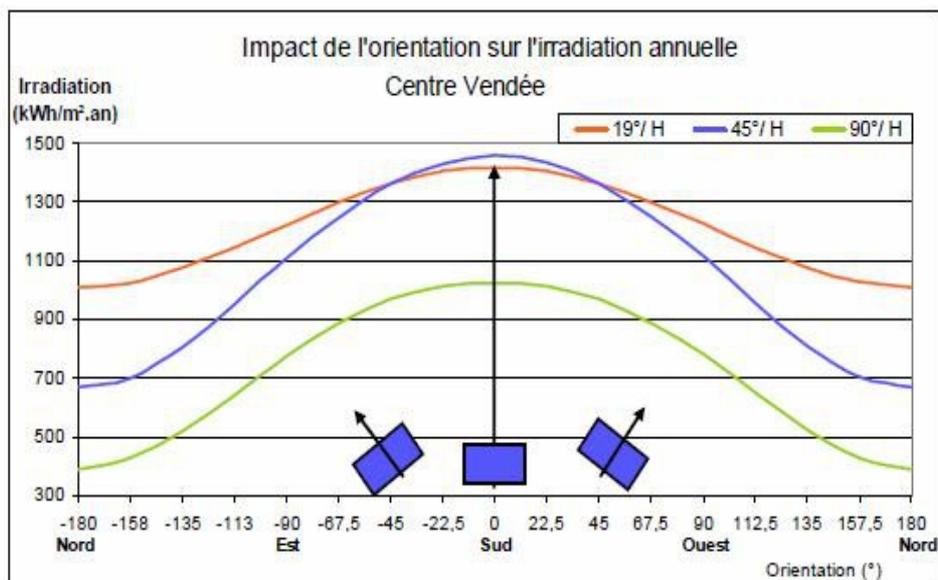


Illustration 1: Variation de l'irradiation naturelle en fonction de l'orientation des bâtiment par rapport au sud et pour différentes inclinaison de toitures, source Alliance Soleil

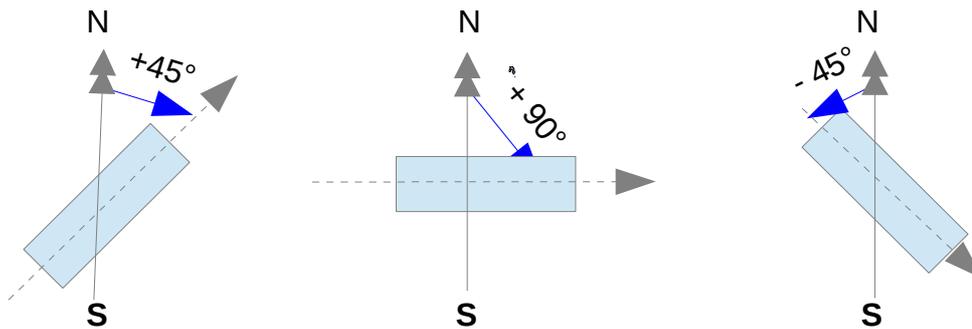


Illustration 2: angles d'orientation favorables du faitage par rapport au sud

Les travaux d'Alliance Soleil en Vendée indiquent également une influence négligeable des inclinaisons comprises en 19° et 45° par rapport à l'horizontale, pour la production d'énergie

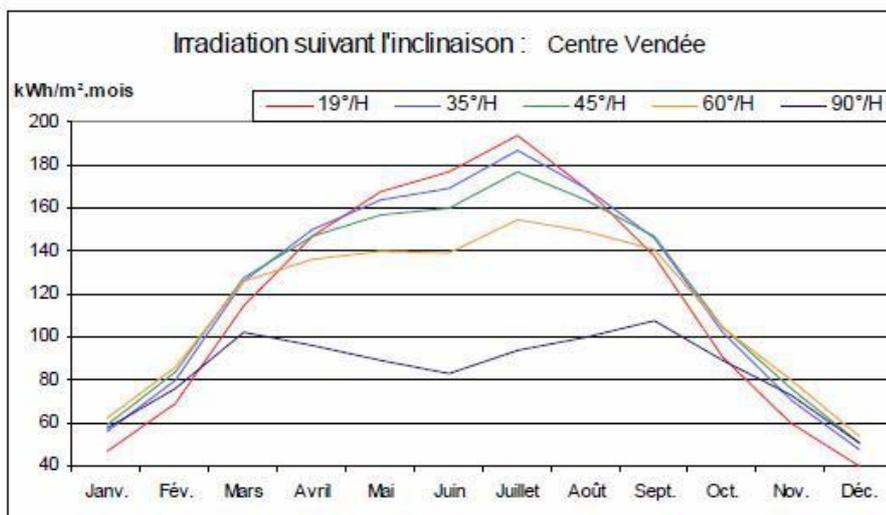


Illustration 3 : variation de l'irradiation selon l'inclinaison de la toiture, source Alliance Soleil

Pour déterminer la surface de toitures inclinées favorablement orientées vis-à-vis du sud, il sera donc retenu :

- les seules toitures inclinées dont l'axe du faitage du toit est orienté entre 45 et 90 degrés par rapport au sud.
- toutes les inclinaisons des toitures, critère non réhibitoire pour l'équipement en panneaux solaires de la toiture.

Pour déterminer les toitures inclinées orientée favorablement par rapport au sud à l'échelle départementale, un ratio est déterminée à partir de l'étude des zones tests en partie 1.3 page 15

1.2.3 Prise en compte des effets de masque

L'évaluation de la surface utile de toiture doit tenir compte des ombres portées d'obstacles environnants ou de l'encombrement et des accès sur toitures.

Pour les toitures de grandes surfaces, les masques solaires générés par les ombres portées d'obstacles environnants tels que les arbres et bâtiments voisins sont considérés comme négligeables pour ce type de bâtiments.

L'espace disponible pour l'installation de panneaux solaires sur une toiture est également

conditionné par la présence de divers dispositifs pré-existants : puits de lumière, échangeurs thermiques, accès, cheminement, etc. Des coefficients de masque ont été retenus par la DGEC⁵ dans le cadre des travaux méthodologiques pour l'élaboration des SRCAE⁶ :

Bâtiments	industriels	commerciaux	sportifs	agricoles	serres
Coefficients de masque	0,9	0,9	0,8	1	1

Tableau 3: coefficients de masque selon le type de bâtiment, source fiche thématique « énergies renouvelables solaires », 2009, DGEC

Ces coefficients de masque théoriques seront confrontés aux zones tests étudiées pour être validés ou modifiés.

1.2.4 Contraintes patrimoniales et environnementales

L'installation des panneaux solaires sur toitures doit tenir compte des contraintes réglementaires de protection du bâti, qui discriminent des zones plus ou moins favorables aux équipements solaires. Les secteurs de protection du patrimoine bâti sont classés selon 3 enjeux :

- enjeu rédhibitoire : secteurs sauvegardés ;
- enjeu très fort : sites classés et zones de protection du patrimoine architecturale, urbain et paysager (ZPPAUP) ;
- enjeu fort : périmètres de protection de 500 m autour des monuments historiques, sites inscrits, périmètre d'opération grand site.

Enjeu rédhibitoire : secteurs sauvegardés

Mesure de protection portant, selon la loi, sur un « secteur présentant un caractère historique, esthétique ou de nature à justifier la conservation, la restauration et la mise en valeur de tout ou partie d'un ensemble d'immeubles ». Son objectif est de conserver le cadre urbain et l'architecture ancienne et d'en permettre l'évolution harmonieuse au regard des fonctions urbaines contemporaines et en relation avec l'ensemble de la ville.

L'architecte des bâtiments de France, obligatoirement consulté, émet un avis conforme (c'est-à-dire auquel la dite autorité doit se conformer) qui concerne toutes les autorisations d'urbanisme, permis de construire (y compris déclarations de travaux), de lotir, de démolir, d'installation et travaux divers, de coupe et d'abattage d'arbres, de camping ou stationnement de caravanes.

Les capteurs solaires vont très difficilement s'insérer dans un secteur sauvegardé. **Il n'est pas envisageable d'installer des capteurs solaires dans un secteur sauvegardé**, à moins qu'ils ne soient pas visibles depuis l'espace public.

Enjeu très fort : sites classés

Partie du territoire dont le caractère de monument naturel ou les caractères « historique, artistique, scientifique, légendaire ou pittoresque » nécessitent la conservation au nom de l'intérêt général. Le classement est une protection forte qui correspond à la volonté de strict maintien en l'état du site désigné, ce qui n'exclut ni la gestion ni la valorisation. Généralement consacré à la protection d'espaces « naturels », le classement intègre aussi des espaces bâtis qui présentent un intérêt architectural certain.

Toute intervention modifiant un site classé est soumise à autorisation de la commission départementale de la nature, des sites et du paysage, du ministre ou du préfet avec avis conforme

5 Direction Générale de l'énergie et du Climat / Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de l'Énergie

6 Schéma Régional Climat Air Énergie

	<p>de l'ABF.</p> <p>Il faut absolument éviter les pièces rapportées et les perceptions visuelles qui entreraient en concurrence avec le site classé. Il paraît très difficile d'implanter des capteurs solaires sur un bâtiment situé dans un site classé, sauf si ces derniers sont parfaitement intégrés sur la toiture du bâti existant (couleur, disposition...).</p>
<p>Enjeu très fort : ZPPAUP - Zones de Protection du Patrimoine Architecturale, Urbain et Paysager</p>	
	<p>Les ZPPAUP ont pour but d'assurer la protection du patrimoine paysager et urbain, de mettre en valeur des quartiers et sites à protéger pour des motifs d'ordre esthétique ou historique en exprimant l'ambition d'améliorer la notion de champ de visibilité (qui correspond aux périmètres de 500m aux abords d'un monument historique) en lui substituant un périmètre intelligent.</p> <p>La ZPPAUP est une servitude d'utilité publique qui s'impose aux particuliers (ses dispositions sont annexées au PLU) mais également à l'État puisque dès sa création, l'architecte des bâtiments de France (ABF) émet un avis conforme³⁸ sur les demandes d'autorisation de travaux avec les dispositions de la ZPPAUP.</p> <p>L'implantation de capteurs solaires à l'intérieur d'une ZPPAUP est très difficile puisque les capteurs ne devront pas être visibles du domaine public. Au cas où cela s'avérerait impossible, les capteurs devront offrir une discrétion maximale en recherchant une teinte assurant un fondu avec le matériau dominant de couverture. Dans tous les cas, un positionnement en façade principale est strictement interdit.</p>
<p>Enjeu fort : monuments historiques</p>	
	<p>Monument ou un objet classé ou inscrit afin de le protéger du fait de son intérêt historique, artistique et architectural. Le classement est le plus haut niveau de protection. Il concerne l'édifice extérieur, intérieur et ses abords.</p> <p>Toute transformation sur le bâtiment ou l'objet classé doit faire l'objet d'une demande auprès du préfet. De même, aucune construction neuve ne peut être effectuée en adossement de l'édifice protégé sans accord du ministre. La loi de 1943 impose une forme de vigilance à l'égard des projets de travaux dans le « champ de visibilité » des monuments historiques. Est réputé être situé en abords de monument historique tout immeuble situé dans le champ de co-visibilité de celui-ci.</p> <p>La co-visibilité signifie que la construction est visible du monument ou que d'un point de vue les deux édifices sont visibles conjointement, dans un périmètre n'excédant pas 500 m. C'est ainsi que tout paysage ou édifice situé dans ce champ est soumis à des réglementations spécifiques en cas de modification. Toute construction, restauration, destruction projetée dans ce champ de visibilité doit obtenir l'accord préalable de l'architecte des bâtiments de France ou d'un avis simple s'il n'y a pas de co-visibilité (l'autorisation du Maire n'est pas liée à celui de l'ABF).</p> <p>L'implantation de panneaux solaires en toiture est possible dans le périmètre de 500 m de rayon autour d'un édifice protégé, sous réserve d'étudier précisément les perceptions de l'installation depuis les édifices et d'effectuer un examen des covisibilités de l'édifice et de l'installation depuis différents points de vue remarquables.</p>
<p>Enjeu fort : sites inscrits</p>	
	<p>Partie du territoire dont le caractère de monument naturel ou bâti ou les caractères "historique, artistique, scientifique, légendaire ou pittoresque" nécessitent, au nom de l'intérêt général, la conservation.</p> <p>La procédure simplifiée d'inscription à l'inventaire départemental des sites constitue une garantie minimale de protection, en soumettant tout changement d'aspect du site à déclaration préalable. Toute intervention nécessite un avis simple de l'ABF.</p> <p>L'implantation de panneaux solaires peut être possible dans un site inscrit, sous réserve d'étudier leur intégration en toiture (couleur, disposition, etc.).</p>
<p>Enjeu fort : opération grand site (OGS)</p>	

Site classé et espace d'intérêt national soumis à une fréquentation excessive et susceptible de détériorer ses qualités essentielles, pour lequel les acteurs locaux souhaitent s'engager dans une volonté de réhabilitation pérenne par l'adoption d'un plan de restauration et de fréquentation du site.

Les surfaces de toitures localisées dans ces secteurs sensibles représentent 10 % des surfaces totales dont 0,6 % en zone à enjeux très forts et rédhibitoires.

	secteur sauvegardé	sites classés	ZPPAUP	sites inscrits	périmètre MH 500m	OGS
Part des surfaces totales >1000 m ² incluses	0,2%	0,05%	0,3%	0,4%	8%	1,2%

Tableau 4 : Répartition des surfaces dans les secteurs sensibles

En Bretagne, les opérations grands sites incluent le massif dunaire de Gavres - Quiberon, la baie du Mont-Saint-Michel, la pointe du Raz et les deux sites inscrits au réseau grands sites de France : l'abbaye de Beaufort et le caps d'Erquy et de Fréhel.

1.3 Études des zones tests

Pour chaque catégorie de bâtiments, les zones tests permettent de déterminer :

- les ratios de répartition des bâtiments entre toitures terrasses et inclinées,
- la part des toitures inclinées favorablement orientées par rapport au sud,
- de conforter ou pas les coefficients de masque du tableau 3 page 13.

Ces ratios et coefficients sont ensuite extrapolés à l'ensemble du bâti départemental de surface > 1000 m² pour déterminer les surfaces de toitures utiles pour l'installation de panneaux solaires.

1.3.1 Localisation des zones étudiées

Les zones tests étudiées sont retenues aléatoirement :

- pour les zones d'activités de Noyal sud et la Giraudière à Noyal-sur-Vilaine, de la Bihardais, du Champ Niguel et de la Massue à Bruz, de l'Aumallerie, de l'Écartelée et de Guénaudière à Fougères, de Briangaud et de Cotard à Redon,
- pour les zones commerciales de Cap malo à la Mézière, de la Rocade sud et des Loges à Chantepie,
- les communes de Combourg et Bazouges-la-Pérouse pour les zones agricoles,
- les communes de la Chapelle des Fougeret, de Saint Gregoire et de Melesse pour les serres agricoles.

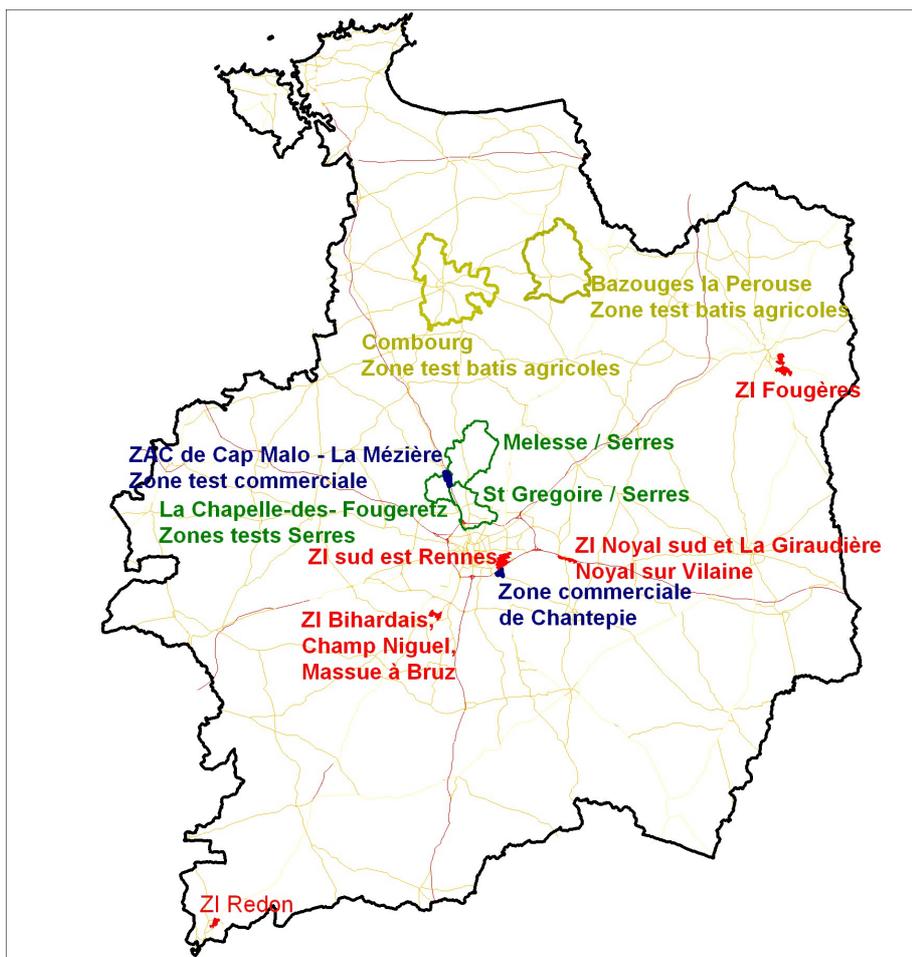


Illustration 4: Carte de localisation des zones tests d'activités, agricoles et commerciales

Des échantillons complémentaires sont retenues pour les bâtiments de plus de 1000 m² identifiés avec le cadastre PCI. Les bâtiments des échantillons étudiés sont sélectionnés aléatoirement :

	Nombre de bâtiments de l'échantillon	Part de cet échantillon / nombre total de bâtiments	Part de cet échantillon / surface totale de bâtiments
Établissements d'enseignement	97	15 %	14 %
Établissements de santé	45	20 %	16 %
Bâtis administratifs	46	32 %	32 %
Bâtis sportifs et culturels	68	20 %	18 %
Bâtis mixtes habitats activités	81	21 %	21 %

Tableau 5 : Échantillons étudiés pour le bâti >1000 m² identifiés avec le cadastre PCI

Les bâtiments militaires, pénitentiaires, pompiers, peu nombreux à l'échelle départementale, présentent des toitures aux caractéristiques proches des bâtiments administratifs. Les ratios retenus pour ces bâtiments seront donc identiques à ceux concernant les bâtiments administratifs.

1.3.2 Détermination des coefficients d'extrapolation

Sur ces zones tests, un premier repérage visuel sur l'orthophotoplan permet :

- de déterminer le nombre de toitures inclinées et de toitures terrasses,
- d'identifier et de décompter les toitures inclinées étant favorablement orientées par rapport au sud,
- de vérifier la correspondance avec les coefficients de masque théoriques proposés par le tableau 3 afin de valider ou modifier ce coefficient à partir des observations effectuées.

L'ensemble des résultats détaillés de l'étude des zones tests est présenté en annexe 2 page 31.

Pour l'identification de l'orientation des toitures par rapport au sud, l'examen des zones tests est ensuite confronté à une approche automatisée. Pour permettre l'extrapolation de l'exercice à l'échelle départementale, un script a été développé sous mapinfo (traduit sous QGIS, voir annexe 3 page 39) pour identifier automatiquement les bâtiments à toiture inclinée ayant une orientation favorable par rapport au sud. Ce script considère l'orientation du plus grand coté du bâtiment parallèle à son faîtage pour sélectionner les bâtiments favorablement orientés par rapport au sud c'est-à-dire les bâtiments pour lesquels le plus grand coté fait un angle maximal de 45° par rapport à l'horizontal.

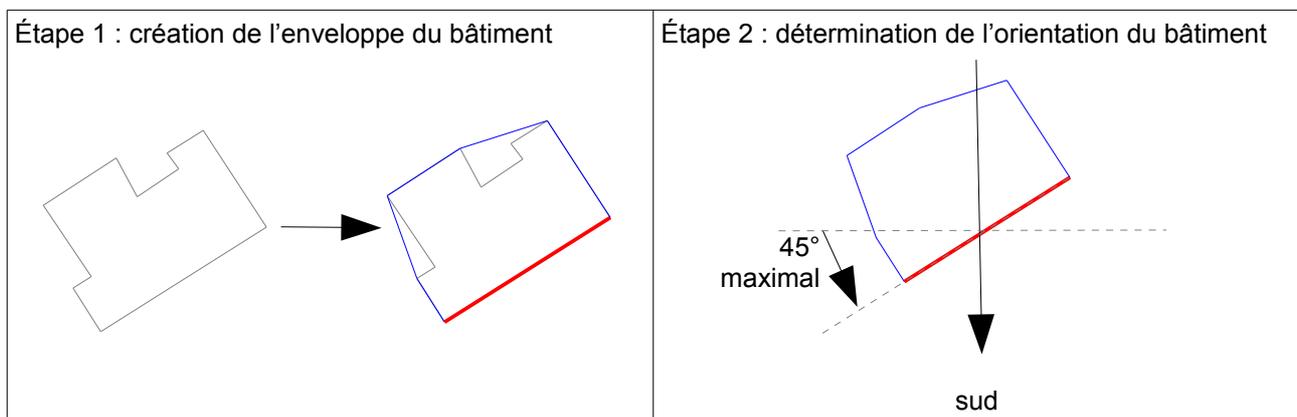


Illustration 5: Fonctionnement du script mapinfo en 2 étapes pour l'identification de l'orientation des toitures inclinées par rapport au sud

Pour chaque zone test et chaque catégorie de bâtiments, le repérage visuel permet également :

- de valider la faible influence sur le décompte de bâtiments de l'hypothèse retenue par l'automatisation c'est-à-dire le plus grand coté du bâtiment est parallèle à son faîtage (réel),
- d'évaluer ainsi la faisabilité de l'automatisation à l'ensemble du département.

Pour valider ces hypothèses, il est ainsi vérifié sur la zone test que :

- le décompte visuel des bâtiments dont le grand coté orientés favorablement concorde avec le décompte visuel des bâtiments dont le faîtage « réel » est orienté favorablement ;
- le décompte visuel des bâtiments, dont le grand coté orienté favorablement, concorde avec le décompte automatique sur la zone test.

Cet exercice a permis de valider l'utilisation du script mapinfo à l'ensemble du département pour déterminer les orientations favorables des bâtiments industriels aux toitures inclinées par rapport au sud.

1.3.3 Synthèse des coefficients appliqués à l'échelle départementale

Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble des coefficients déterminés et validés à partir de l'examen des zones tests et qui sont appliqués à l'ensemble du département. Une marge

d'incertitude s'applique aux toitures inclinées pour tenir compte de l'écart entre les décomptes visuels et automatiques des orientations des toitures par rapport au sud.

	Part des toitures		Part des toitures inclinées orientées favorablement	Marge d'incertitude/ orientation	Coefficient de masque
	terrasses	inclinées			
Bâtis industriels	30 %	70 %	55 %	+/- 5 %	0,75
Bâtis commerciaux	80 %	20 %	60 %	+/- 40 %	0,75
Bâtis agricoles	0	100 %	50 %	+/- 5 %	0,9
Établissements d'enseignement	40 %	60 %	65 %	+/- 5 %	0,75 (terrasse) 0,5 (pente)
Établissements de santé	20 %	80 %	60 %	+/- 15 %	0,75
Bâtis administratifs, militaires, pénitentiaires, pompiers	45 %	55 %	60 %	+/- 15 %	0,75 (terrasse) 0,5 (pente)
Bâtis sportifs et culturels	30 %	70 %	65 %	+/- 5 %	0,75
Bâtis mixtes habitats activités	50 %	50 %	55 %	+/- 5 %	0,75 (terrasse) 0,5 (pente)

Tableau 6: Coefficients de répartition des toitures (terrasses/inclinées), d'orientation favorable / sud et coefficient de masque par catégorie de bâtiments

1.4 Surfaces utiles des bâtiments de plus de 1000 m² en Ile-et-Vilaine

Dans la catégorie des bâtiments de plus de 1000 m², 8,7 millions de m² de surface de toiture pourraient recevoir une installation de panneaux solaires, soit environ **37% de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de plus 1000 m² en Ile et Vilaine**. Les bâtiments industriels sont prépondérants.

Type des bâtiments de surface > 1000 m ²	Répartition des surfaces totales	surfaces utiles finales
Bâtiments agricoles	3%	169 387
Serres	7%	0
Bâtiments commerciaux	10%	1 516 776
Bâtiments industriels	63%	5 452 544
Établissements de santé	3%	211 195
Établissements d'enseignement et de transport	6%	601 138
Bâtiments sportifs et culturels	3%	262 279
Établissements administratifs et de transport	1,3%	136 545
Bâtiments militaires, pompiers, pénitentiaires	0,3%	34 390
Bâtiments mixtes habitat-activité	3%	280 914
		8 655 168
		seuil bas : 8 462 172 seuil haut : 8 848 164

Tableau 7: Surfaces de toitures utiles pour l'équipement de panneaux solaires

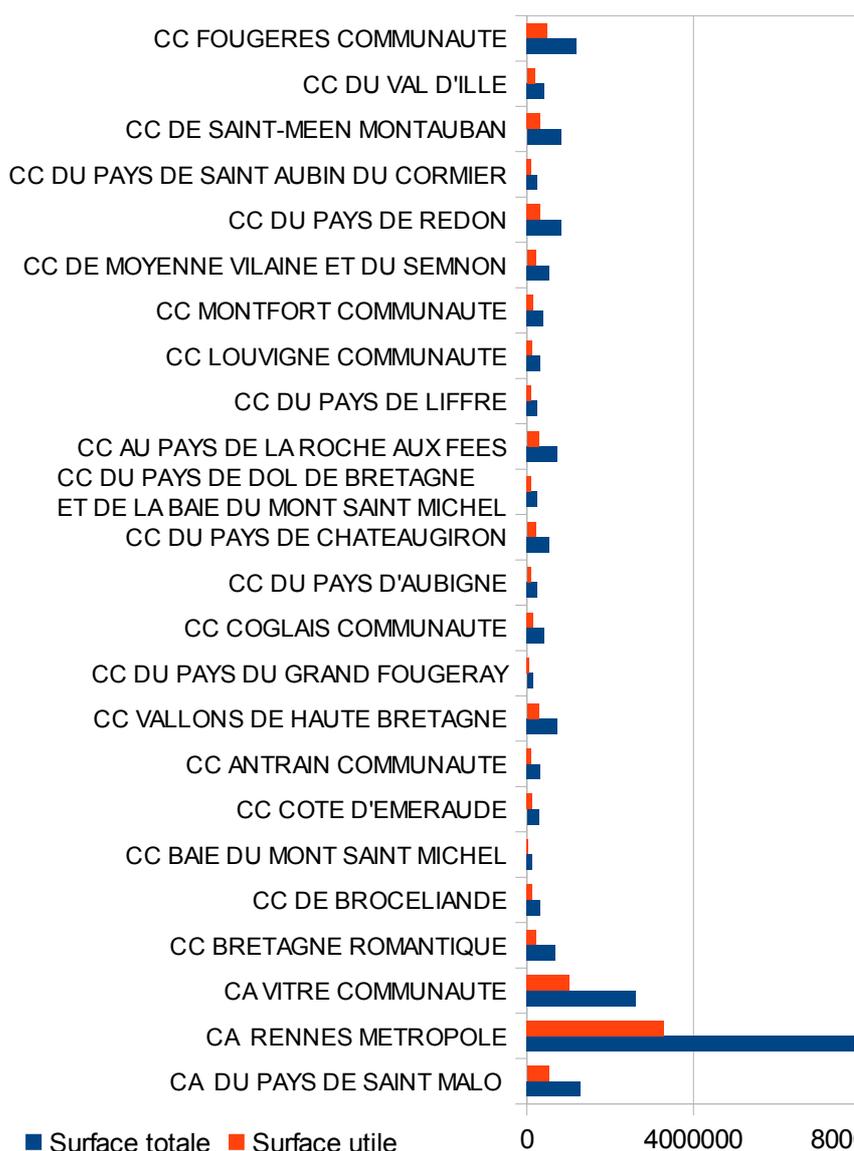
Ce résultat se réfère à l'emprise au sol des bâtiments donc des surfaces planes projetées aux sols pour les toitures inclinées. La surface plane sous-évalue la surface inclinée. Pour les bâtiments industriels ou commerciaux de grandes surfaces, cette sous-évaluation est toutefois inférieure à celle des bâtiments à toiture inclinée en ardoise caractéristique des bâtiments d'habitation. Pour les toitures en ardoise, la sous-évaluation atteint 30 % environ. Si l'on majore avec un taux intermédiaire (15 %) les surfaces inclinées, on approche de 9,1 millions de m² de surfaces de toitures pouvant recevoir une installation de panneaux solaires, soit environ 40% de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de plus de 1000 m² en Ille et Vilaine.

La puissance moyenne d'un panneau de 10 m² équivaut à environ 1kWc. Le potentiel de surface de toitures évalué permet d'atteindre un potentiel théorique de puissance installable de 870 MWc, ce qui dépasse l'objectif 2020 du SRCAE breton pour le solaire photovoltaïque qui vise 400 MW de puissance installée (hausse de 350 MW par rapport à 2010). L'objectif de puissance installée en solaire thermique n'est pas renseigné (production EN 2020 entre 73 et 140 GWh).

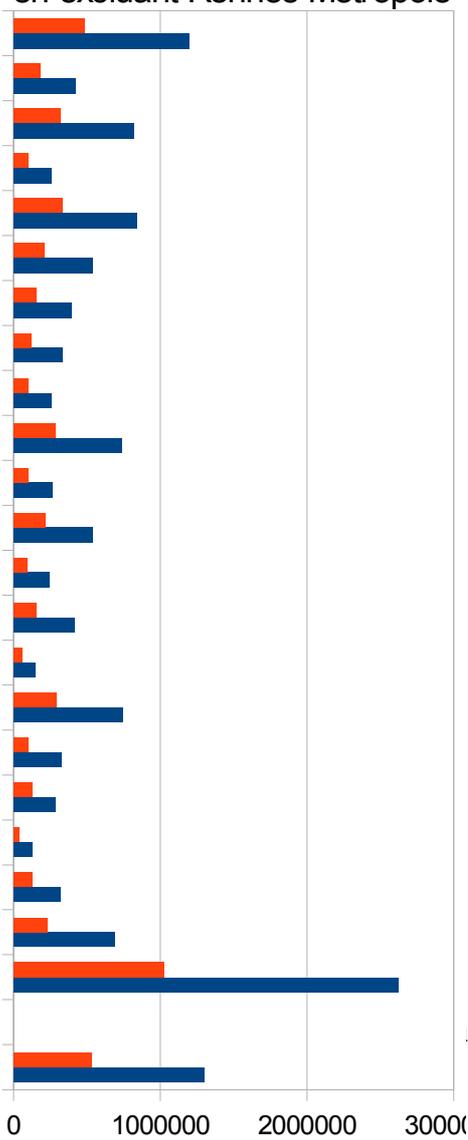
1.5 Répartition des surfaces utiles par EPCI

La répartition des surfaces utiles de toitures pour l'installation de panneaux solaires montre sans surprise un fort potentiel pour Rennes Métropole (38% des surfaces utiles totales du département). Des EPCI présentent des potentiels secondaires intéressants, notamment Vitré Communauté (12%), Fougères Communauté (6%), Saint Malo Agglomération (6%), le Pays de Redon (4%) et la communauté de communes de Saint Meen Mautauban (4%).

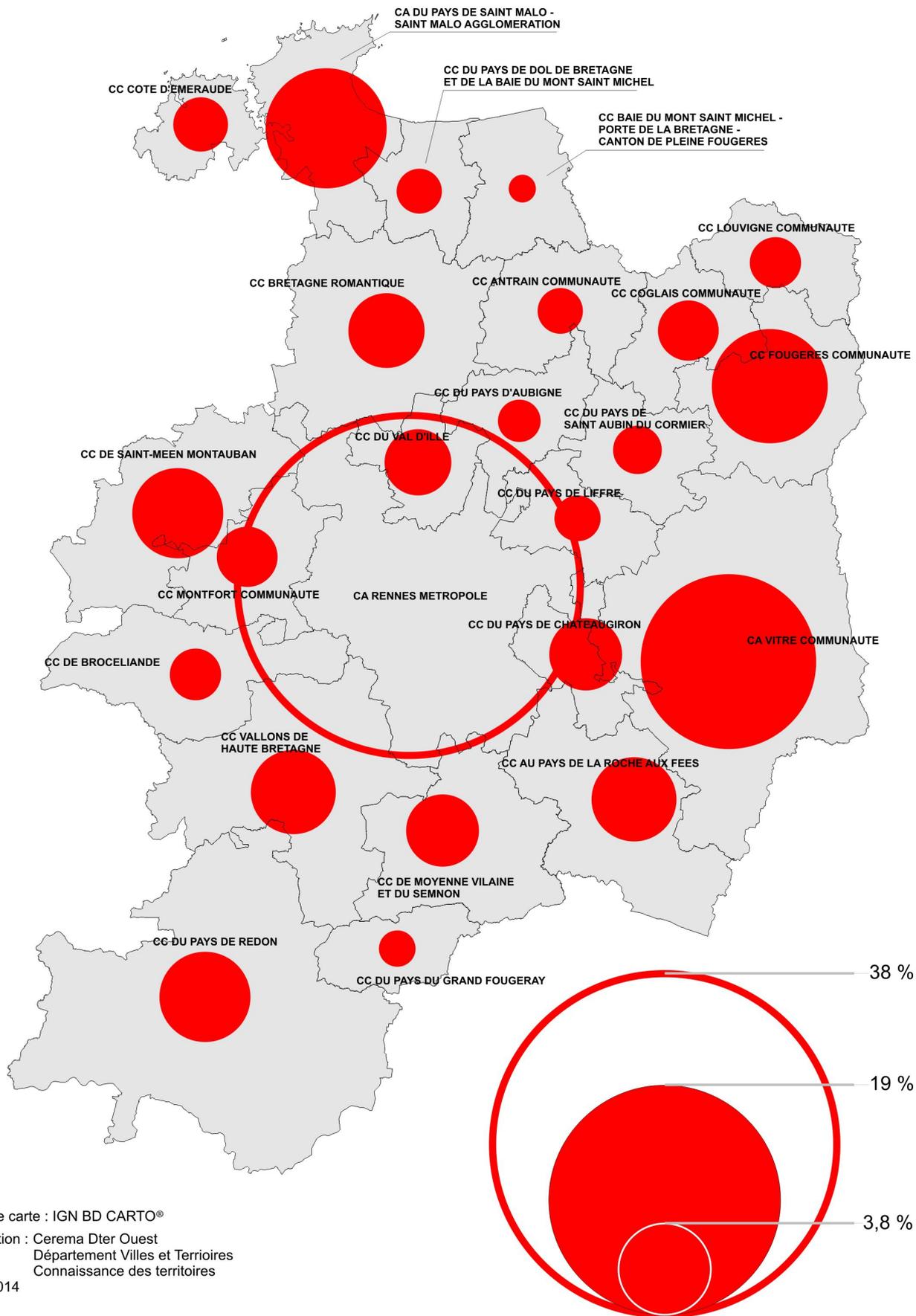
Répartition des surfaces totales et utiles par EPCI



Répartition des surfaces totales et utiles par EPCI en excluant Rennes Métropole



Répartition de la surface utile de toiture du bâti supérieur à 1000 m² par EPCI



Fond de carte : IGN BD CARTO®

Production : Cerema Dter Ouest
 Département Villes et Terroires
 Connaissance des territoires

Mars 2014

2 PARTIE 2 : Identification des surfaces de toitures utiles des bâtiments inférieurs à 1000 m² pour l'équipement de panneaux solaires

Cette deuxième partie présente la méthode d'évaluation du potentiel de toiture utile, c'est-à-dire disponible, pour l'installation d'équipement solaire sur les bâtiments de moins de 1000 m² au sol en Ile-et-Vilaine : sélection des bâtiments, identification du type de bâtiments et toiture, de leur orientation par rapport au sud et prise en compte des effets de masques.

2.1 Sélection des bâtiments inférieurs à 1000 m²

A partir du fichier des propriétés bâties du cadastre PCI de la DGFIP, il est exclu :

- les bâtiments de plus de 1000 m² qui relèvent du traitement de la partie précédente, notamment les bâtiments agricoles, commerciaux, industriels, santé, enseignement, sportifs et culturels, administratifs, de transport, militaires, pompiers et pénitentiaires et mixtes habitats activités ;
- les bâtiments qualifiés dans le fichier de « légers » pour ne conserver que les seuls bâtis « durs ». Les bâtiments légers regroupent entre autres les hangars et les espaces de stationnement construits en dur, comme les garages, des annexes de faible envergure, notamment le cas des abris de jardin, ou des poulaillers / clapiers et parfois les avancées de toiture ou de balcon pour les bâtiments de plusieurs niveaux de plancher.
- les bâtiments isolés inférieurs à 50 m². Les bâtiments inférieurs à 50 m² accolés à d'autres bâtiments sont conservés, la hauteur étant considérée homogène entre bâtiments mitoyens. Les toitures pourraient être mutualisées pour accueillir un équipement solaire commun.

L'Ile-et-Vilaine compte 469 772 bâtiments qualifiés de bâti « dur » inférieurs à 1000 m², en excluant les bâtiments isolés inférieurs à 50 m², soit près de 60 millions de m²,

2.2 Typologie et propriétés des bâtiments

Les tables des propriétés bâties et non bâties du fichier foncier MAJIC (DGFIP) permettent de préciser :

- le type dominant des bâtiments localisés sur la parcelle : maison, appartement, commerce, mixte, dépendance, aucun local, non renseigné ;
- le propriétaire de la parcelle (qui sera supposé propriétaire du bâtiment) :
 - public : commune, département, établissement public, état, région, office HLM,
 - privé : copropriété, personne physique ou morale privée,
 - autre : pas de propriétaire ou non renseigné.

62 % des surfaces de bâtiments inférieures à 1000 m² sont classées en maison selon la typologie de la Direction Générale des Impôts. Il faut comprendre que ces bâtiments présentent les caractéristiques d'une maison et ne sont pas des maisons au sens strict. En effet, les 3 % de « maisons » sont publiques et hébergent par exemple des services publics communaux ou des établissements publics. 4 % des surfaces concernent des bâtiments dont la typologie n'est pas renseignée.

Typologie de bâtiments	répartition entre typologie de bâtiments	répartition entre type de propriétaires			
		surfaces publiques	surfaces HLM	surfaces privées	surfaces sans propriétaire ou NR
Appartement	5%	29%	18%	71%	0%
Maison	62%	3%	2%	97%	0%
Commercial	6%	16%	0%	84%	0%
Mixte	5%	12%	7%	88%	0%
Dépendance	3%	8%	5%	92%	0%
Aucun	16%	14%	2%	86%	0%
Non renseigné	4%	0%	0%	0%	100%

Tableau 8: Répartition des surfaces de bâtiments par catégories au sens de la DGI

Les seuls bâtiments classés dans « appartement », « maison », « commercial » ou « mixte » sont retenus. En effet, à l'échelle départementale, les 4 % de bâtiments non renseignés et les 3 % de dépendance sont jugés négligeables.

Les surfaces des bâtiments <1000 m² ainsi retenus représentent 77 % des surfaces totales des bâtiments soit **46,5 millions de m²** correspondant à 363 521 bâtiments. 94 % des parcelles correspondantes sont privées.

2.3 Contraintes patrimoniales et environnementales

Parmi les 46,5 millions de m², peu sont concernés par des enjeux rédhibitoires (0,38% des surfaces) ou très forts (1,44%). Parmi les enjeux forts, les périmètres de protection de 500 m autour des monuments historiques interceptent 12 % des surfaces.

Le tableau ci-dessous détaille la répartition des surfaces par enjeux sans double compte. C'est à dire que les surfaces indiquées en enjeux forts ne sont pas décomptées dans les enjeux très forts ou rédhibitoire. Par contre, une surface concernée par un enjeu très fort peut l'être par un enjeu fort, elle sera comptabilisée uniquement dans l'enjeu très fort.

	Enjeux rédhibitoires	Enjeux très forts Hors enjeux rédhibitoires			Enjeux forts Hors enjeux rédhibitoires et très forts			
	secteurs sauvegardés	ZPPAUP*	Sites classés*	ZPPAUP + sites classés	Sites inscrits*	Monuments historiques 500 m *	OGS*	Sites inscrits + MH 500m + OGS
Surfaces incluses (m2)	177 072	607 104	61 378	2 721	281 728	4 994 440	999 109	443 318
% des surfaces totales	0,38	1,3 %	0,13 %	0,01 %	0,6 %	11 %	2,2 %	1 %

Tableau 9: Surfaces concernées par les enjeux environnementaux rédhibitoires, très forts et forts (* : concerné par ce seul enjeu)

Parmi les surfaces incluses dans un périmètre de protection des monuments historiques, 68 % sont incluses dans la classe « maisons » (avec 93 % de toitures inclinées), 14 % dans la classe « appartement » et 10 % dans la classe « commercial ».

2.4 Identification de la surface utile de toiture des bâtiments de moins de 1000 m²

L'évaluation de la surface utile de toiture disponible pour une installation de panneaux solaires doit tenir compte :

- du type de toiture : terrasses ou inclinées,
- de l'orientation des toitures par rapport au sud,
- des effets de masques (ombre portée des équipements installés sur la toiture, des bâtiments voisins, de la végétation).

2.4.1 Qualification de la toiture

Le fichier foncier MAJIC (table « bâtiment ») qualifie le revêtement des toitures.

■	ARDOISES
■	ARDOISES - AUTRES
■	ARDOISES - BETON
■	ARDOISES - TUILES
■	ARDOISES - ZINC ALUMINIUM
■	AUTRES
■	BETON
■	BETON - AUTRES
■	BETON - TUILES
■	INDETERMINE
■	TUILES
■	TUILES - ZINC ALUMINIUM
■	ZINC ALUMINIUM
■	ZINC ALUMINIUM - AUTRES

Illustration 6: Qualification des toitures du fichier foncier de MAJIC (propriétés bâties)

Cette information permet de déduire le type de toiture, inclinée ou terrasse, en prenant les hypothèses suivantes :

Toiture inclinée	Toiture terrasse
Ardoises, Ardoises - autres, Ardoises - béton, Ardoises - tuiles, Ardoises - zinc aluminium, Tuiles, Tuiles - zinc aluminium, Béton - tuiles	Béton, Béton - autres, Zinc aluminium, Zinc aluminium - autres, Autres

La toiture de 87 % des bâtiments identifiés à l'étape précédente sont ainsi qualifiées.

Pour les 13 % indéterminé, deux typologies de bâtiments sont plus particulièrement concernées : le bâti commercial (7,7 %) et mixte (3,2 %).

Type de bâtiments	Type de toitures	Part de la surface totale
Appartement	Inclinées	54%
	terrasses	19%
	non renseignée	27%
Maison	Inclinées	93%
	terrasses	6%
	non renseignée	1%
Commercial	Inclinées	2%
	terrasses	1%
	non renseignée	97%
Mixte	Inclinées	41%
	terrasses	6%
	non renseignée	52%

Tableau 10: Répartition des types de toitures selon la typologie de bâtiments

Pour les classes « appartement » et « maison », peu de toitures étant « non renseignées » (respectivement 1,6 % et 0,5 %), elles seront assimilées à la majorité du groupe, c'est-à-dire inclinées.

Pour la classe « mixte », malgré une faible majorité de toitures inclinées (52 %), on retiendra toutefois cette même qualification pour l'ensemble de la catégorie « non renseignées ».

Pour les toitures de la classe « commercial », trop peu de toiture sont renseignées (3 %), pour déterminer le type de toiture. Ce choix sera effectué à partir d'un échantillon.

La typologie « bâti commercial » regroupe environ 13 700 bâtiments pour une surface avoisinant les 3,7 millions de m². Un échantillon de 100 bâtiments est retenu aléatoirement sur l'ensemble du département.

Un repérage visuel à partir de l'orthophotoplan indique que 80 % des bâtiments commerciaux, soit 72 % des surfaces, présentent une toiture inclinée.

Pour la classe de bâtiment « commercial », les toitures seront assimilées à des toitures inclinées.

2.4.2 Orientation des toitures inclinées par rapport au sud

A l'instar des grandes toitures, la méthode par l'étude d'un échantillon est reprise pour identifier et décompter les toitures inclinées favorablement orientées par rapport au sud.

L'examen des zones tests est ensuite confronté à une approche automatisée réalisée à partir du script développé sous mapinfo (traduit sous QGIS, voir annexe 3 page 39), faisant l'hypothèse que le grand coté est parallèle au faîtage réel du bâtiment. Cette comparaison vise à déterminer la qualité de correspondance entre les résultats de l'approche automatisée (script mapinfo) et du repérage visuel pour déterminer l'orientation favorable des toitures inclinées par rapport au sud.

Les zones tests sont retenues aléatoirement sur les communes de Redon et Pipriac. L'échantillon étudié représente 11 % des surfaces inclinées de moins de 1000 m² de la commune de Redon et 18 % pour Pipriac.

Le taux de correspondance entre les deux approches, visuelles et automatisées, au regard de la surface de l'échantillon est acceptable (< 8 %). Les parts de toitures inclinées favorablement orientées par rapport au sud varient sensiblement selon les catégories (entre 50 et 80%).

REDON	Échantillon de toitures inclinées		Orientation favorable toiture inclinée avec script mapinfo			Orientation favorable toiture inclinée avec repérage visuel (faitage réel)			Taux de correspondance (en surface)
	Type de bâtiments	Nombre de bâtiments	surface (m2)	Nb	surface (m2)	% des surfaces	Nb	surface (m2)	
maison	130	13126	69	7241	55%	65	6435	49%	6%
appartement	60	13351	32	6789	51%	32	6984	52%	-1%
commercial	60	20034	47	16356	82%	43	15262	76%	5%
mixte	50	5571	26	2873	52%	29	3315	59%	-8%

Tableau 11: Résultats d'étude de la zone test sur Redon

PIPRIAC	Échantillon de toitures inclinées		Orientation favorable toiture inclinée avec script mapinfo			Orientation favorable toiture inclinée avec repérage visuel			Taux de correspondance (en surface)
	Type de bâtiments	Nombre de bâtiments	surface (m2)	Nb	surface (m2)	% des surfaces	Nb	surface (m2)	
maison	150	13106	83	7942	61%	93	8442	64%	-4%
appartement	47	6607	27	4312	65%	30	4454	67%	-2%
commercial	54	12340	29	6754	55%	28	7512	61%	-6%
mixte	48	6757	27	4171	62%	26	3795	56%	6%

Tableau 12: Résultats d'étude de la zone test sur Pipriac

Le tableau ci-dessous synthétise les ratios retenus pour déterminer l'orientation par rapport au sud des toitures inclinées à l'échelle départementale. Une marge d'incertitude s'applique aux toitures inclinées pour tenir compte de l'écart entre les identifications visuelles et automatiques des orientations des toitures par rapport au sud.

	Part orientation favorable	incertitude
maison	55%	5%
appartement	60%	5%
commercial	70%	10%
mixte	55%	10%

Tableau 13: Coefficients d'orientation par rapport au sud appliqués aux toitures inclinées des bâtiments de moins de 1000 m²

2.4.3 Coefficients de masque

Les coefficients de masques retenus pour les petites toitures sont 0,75 pour les toitures terrasses et 0,5 pour les toitures inclinées, en cohérence avec ceux déterminés pour les grandes surfaces de plus de 1000 m².

Grandes toitures	Coefficients de masque
Bâtis commerciaux et établissements de santé	0,75
Établissements d'enseignement et bâtis administratifs	0,75 pour les toitures terrasses 0,5 pour les toitures inclinées
Bâtis mixtes, habitats et activités	0,75 pour les toitures terrasses 0,5 pour les toitures inclinées

A titre d'information, les calculs de surfaces utiles sont effectués également avec un coefficient de masque de 0,3 pour les toitures inclinées.

2.4.4 Synthèse des surfaces utiles

Dans la catégorie des bâtiments de moins de 1000 m², 8,3 millions de m² de surface de toiture pourraient recevoir une installation de panneaux solaires, soit environ **18% de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de moins de 1000 m² en Ille et Vilaine**. Les « maisons » sont prépondérantes.

Type de bâtiments	surface totale (m2)	% surfaces avec toitures inclinées	surface utile (m2)	% surface utile
Maison	37 172 558	94%	6 489 047	17%
Appartement	2 768 333	81%	723 156	26%
commercial	3 684 787	99%	658 434	18%
mixte	2 830 887	94%	501 732	18%
total	46 456 565	94%	8 372 368	18%
seuil bas			8 014 889	
seuil haut			8 746 761	

Tableau 14: surfaces utiles pour l'équipement de panneaux solaires pour les bâtiments de moins de 1000 m² (coefficient de masque de 0,5 pour les toitures inclinées)

Le calcul avec un **coefficient de masque de 0,3** pour les toitures inclinées, la surface utile est réduite à 6 millions de m², soit **13 % de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de moins de 1000 m² en Ille et Vilaine**.

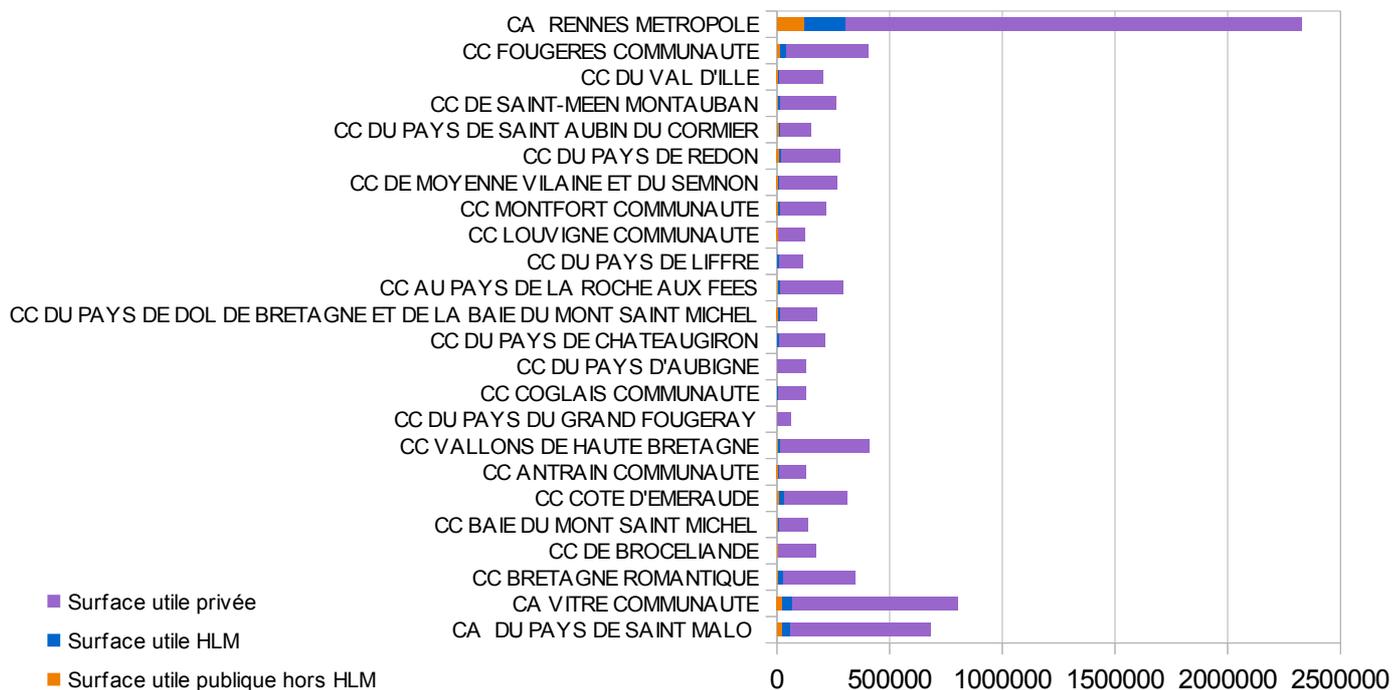
Ce résultat tient compte des surfaces planes projetées aux sols des surfaces inclinées. Or la surface plane sous-évalue d'environ 30 % la surface inclinée pour des toitures en ardoise telles que l'on peut en trouver en Bretagne. Si l'on ré-intègre ces 30 % pour les surfaces inclinées à l'évaluation on atteint :

- 10 millions de m² de surface de toiture pouvant recevoir une installation de panneaux solaires avec un coefficient de masque valant 0,5 pour toiture inclinée, soit 22% de la totalité des surfaces de toitures des bâtiments de moins de 1000 m² en Ille-et-Vilaine ;
- 7 millions de m² avec un coefficient de masque valant 0,3, soit 15 % de la totalité des surfaces de toitures.

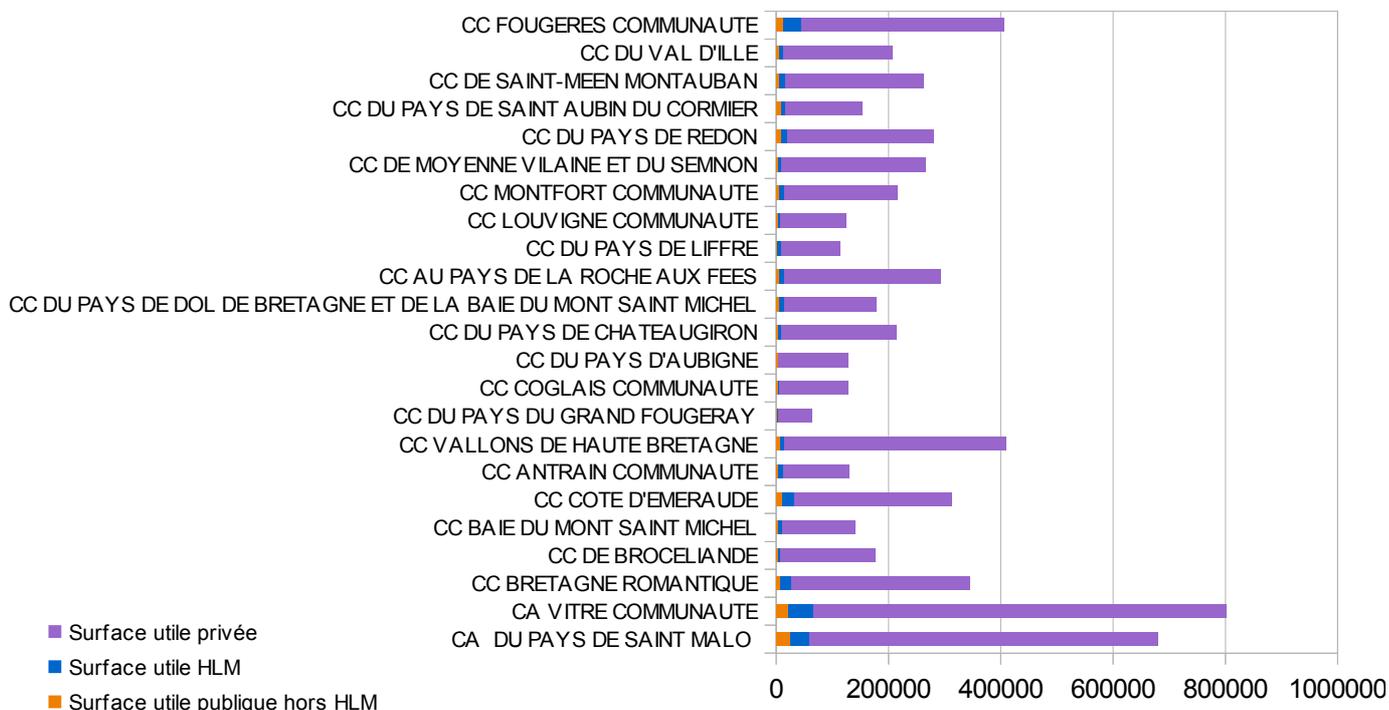
2.5 Répartition des surfaces utiles par EPCI

La répartition des surfaces utiles de toitures pour l'installation de panneaux solaires montre sans surprise un fort potentiel pour Rennes Métropole (28% des surfaces utiles totales du département). Des EPCI présentent des potentiels secondaires intéressants, notamment Vitré Communauté (10%), Saint Malo Agglomération (8%), Fougères Communauté (5%), les communautés de communes des Vallons de Hautes Bretagne (5%) et Bretagne Romantique (4%).

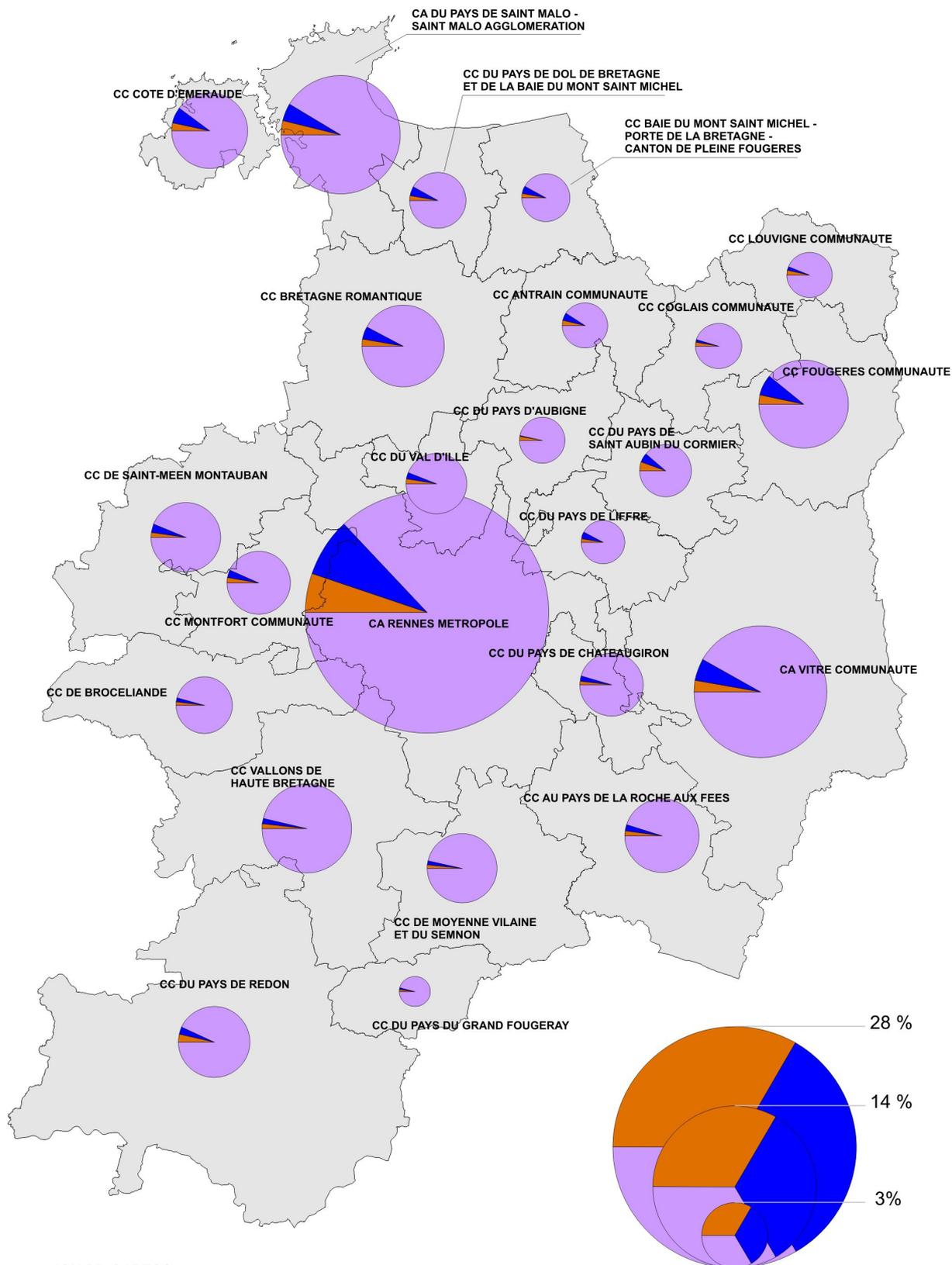
Répartition des surfaces totales et utiles par EPCI (bâti < 1000 m²) (AVEC la communauté d'agglomération de Rennes Métropole)



Répartition des surfaces totales et utiles par EPCI (bâti < 1000 m²) (SANS la communauté d'agglomération de Rennes Métropole)



Répartition de la surface utile de toiture du bâti inférieur à 1000 m² par EPCI



Fond de carte : IGN BD CARTO®

Production : Cerema Dter Ouest
Département Villes et Territoires
Connaissance des territoires

Mars 2014

Surface utile publique hors HLM
Surface utile HLM
Surface utile privée

Conclusion

A partir de bases de données accessibles, une méthodologie simple est proposée, dans ce rapport, pour évaluer le potentiel de surfaces de toitures utiles à l'installation de panneaux solaires sur un département. Malgré les incertitudes inhérentes aux choix et aux simplifications méthodologiques et également à l'échelle de territoire étudié, l'exercice permet de donner un ordre de grandeur pertinent du potentiel départemental.

Les potentiels de surfaces de toitures utiles sont sensiblement les mêmes entre les 2 classes étudiées : près de 9 millions de m² pour les bâtiments > 1000 m² et 8,3 millions de m² pour les bâtiments < 1000 m². Les 9 millions de m² utiles des grands bâtiments représentent 37 % de la totalité des surfaces étudiées du département et cette proportion tombe à 18 % pour les plus petits bâtiments. Cette spécificité met en évidence le fort potentiel des grandes toitures dont la mobilisation peut sembler a priori plus aisée que pour les plus petits bâtiments pour lesquels le potentiel est plus dispersé.

Les résultats sont également présentés à l'échelle des EPCI pour situer ces territoires par rapport au potentiel départemental. Toutefois, ces résultats ne présentent d'intérêt que pour l'ordre de grandeur qu'ils proposent et mériteraient d'être affinés à cette échelle, notamment en raison des approximations méthodologiques faites à l'échelle départementale. En effet, il conviendrait d'adapter au territoire les ratios départementaux retenus dans le présent exercice (notamment, la part de toitures inclinées, l'orientation de ces toitures inclinées favorablement au sud, les coefficients de masque par catégorie de bâtiments). Cette phase devrait ensuite être complétée par un travail de terrain pour vérifier et valider les hypothèses et les résultats.

A la maille départementale, deux classes de bâtiments ont été retenues : plus ou moins 1000 m² de surfaces au sol. Le choix de ce seuil découle de travaux similaires dans d'autres régions et permet d'alléger le traitement des bases de données tout en offrant un ordre de grandeur pertinent du potentiel départemental. Un travail complémentaire réalisé indépendamment suggère de s'affranchir de ce seuil pour l'échelle EPCI (voir « transposition de la méthode à l'échelle EPCI » page 5) afin d'affiner les ordres de grandeur déterminés à une échelle macro. Il s'agit d'identifier les bâtiments à partir des 3 bases de données références en suivant successivement les parties 1 puis 2 de ce rapport. Tout d'abord, les bâtiments d'activité seront traités avec la BD Topo de l'IGN (notamment les bâtis agricoles, commerciaux, industriels, de santé, d'enseignement, sportifs et culturels, administratifs et de transport, mixtes habitats/activités), puis les bâtiments d'habitations (appartements, maisons) avec les fichiers cadastraux et MAJIC de la DGFIP.

Annexe 1 : Détails des résultats de l'exploitation des BD Topo IGN et du Cadastre de la DGI pour les bâtiments de plus de 1000 m²

Décompte des bâtiments de plus de 1000 m² avec le référentiel BDTopo/IGN

Type des bâtiments de surface > 1000 m ²	Nombre	Surface totale (m ²)	Répartition des surfaces
Bâtiments agricoles	487	752 831	3%
Serres agricoles	380	1 699 372	8%
Bâtiments commerciaux	247	1 176 373	5%
Bâtiments industriels	6 794	14 761 540	69%
Établissements de santé	225	609 682	3%
Établissements d'enseignement	639	1 512 297	7%
Bâtiments sportifs et culturels	339	633 162	3%
Établissements administratifs et de transport	144	307 706	1.4%
Bâtiments militaires. pompiers. pénitentiaires	39	77 498	0.4%
Total	9 294	21 530 461	100 %

Décompte des bâtiments de plus de 1000 m² complémentaires identifiés avec le fichier des propriétés bâties du cadastre PCI de la DGFIP

	NB	Surface en m ²	Répartition des surfaces
Appartement	251	388 523	11%
maison	67	99 380	3%
commercial	541	1 175 218	33%
mixte	73	145 143	4%
Dépendance	170	286 803	8%
aucun local	611	1 170 793	33%
Non renseigné	102	254 252	7%
	1815	3 620 112	100%

Les deux catégories dépendances et aucun local sont écartées de l'étude (et donc du décompte du tableau 2 page 10). Il est supposé que l'équipement en panneaux solaires de ces bâtiments est peu pertinent. De même, la catégorie « non renseigné » n'est pas retenue, faute d'élément descriptif suffisant.

La catégorie commerciale est traitée avec les bâtiments commerciaux.

Les trois catégories « appartement », « maison » et « mixte » sont regroupées et traitées dans la catégorie « mixte habitat-activité ».

Annexe 2 : Détails de l'étude des zones tests pour les bâtiments de plus de 1000 m²

1 - Zones tests industrielles

Répartition entre toitures terrasses et inclinées

L'examen visuel des zones tests à partir de l'orthophotoplan permet de déterminer une proportion de 70 % de surfaces inclinées. La répartition entre surface est privilégiée, sans toutefois induire de différence importante puisque cette proportion vaut 73 % en se basant sur le nombre de bâtiments.

Zone test	TOITURE	Nombre	%	Surface (m ²)	%
Bruz	Terrasse	8	24%	17699	17%
	Pente	25	76%	84654	83%
Noyal	Terrasse	3	15%	6215	8%
	Pente	17	85%	70996	92%
Rennes	Terrasse	37	29%	124284	32%
	Pente	91	71%	261024	68%
Fougères	Terrasse	17	20%	129781	34%
	Pente	66	80%	247667	66%
Redon	Terrasse	16	42%	43317	36%
	Pente	22	58%	75671	64%
Total	Terrasse	81	27%	321296	30%
	Pente	221	73%	740012	70%

Tableau de répartition des toitures terrasses et inclinées des zones tests étudiées

A l'échelle départementale, pour les bâtiments industriels, il sera retenu une répartition de 30% de toitures terrasses et 70% inclinées

Orientation des toitures inclinées : approche visuelle

Le premier repérage visuel des orientations de toitures favorables par rapport au sud est effectué sur l'orthophotoplan en considérant que l'orientation du plus grand coté du bâtiment est parallèle au faitage.

Le deuxième décompte visuel est ensuite effectué à partir de l'orthophotoplan pour déterminer l'orientation du bâtiment à partir du faitage « réel » du bâtiment (indépendamment du grand coté).

L'orientation est favorable lorsque le grand coté ou le faitage réel est orienté avec un angle de 45 à 90 degrés par rapport au sud (ou maximum 45° par rapport à l'horizontale).

Ces deux décomptes permettent de vérifier une relativement bonne correspondance tout autant en nombre (95%) qu'en surface (102%) des bâtiments.

	<i>Décompte 1</i> Orientation favorable selon grand axe		<i>Décompte 2</i> Orientation favorable selon faitage réel		Taux de correspondance	
	Nombre	Surface (m ²)	Nombre	Surface (m ²)	Nombre	Surface (m ²)
bruz	9	37827	9	40935	100%	108%
Noyal-sur-Vilaine	12	52564	9	40900	75%	78%
Rennes	60	173243	50	150861	83%	87%
Fougères	35	147567	42	181212	120%	123%
redon	14	41510	13	47672	93%	115%
Total	130	452711	123	461580	95%	102%

Tableau de résultats de l'approche intuitive pour les zones tests « industrielles »

Pour les bâtiments industriels, il peut donc être considéré que retenir le plus grand coté du bâtiment plutôt que le faitage réel pour les toitures inclinées n'influe pas notablement sur le résultat.

Orientation des toitures inclinées : approche automatisée

L'hypothèse du faitage parallèle au grand coté du bâtiment permet d'automatiser la recherche des orientations favorables des bâtiments aux toitures inclinées à l'aide d'un script développé sous mapinfo et QGIS (voir annexe 3).

Dans chaque zone test et pour chaque bâtiment ayant une toiture inclinée, le script détermine le plus grand coté du bâtiment. L'orientation de ce grand coté est ensuite comparée à l'horizontale. Seuls les bâtiments dont le grand coté fait un angle compris entre -45° et $+45^\circ$ par rapport à l'horizontale sont retenus.

Les résultats de l'approche automatisée sur les zones tests donne un taux de correspondance très acceptable (108%) entre les approches intuitive et automatisée.

	Décompte 1 - approche intuitive Orientation grand axe		Approche automatisée		Taux de correspondance	
	Nombre	Surface (m ²)	Nombre	Surface (m ²)	Nombre	Surface (m ²)
bruz	9	37827	8	43159	89%	114%
Noyal-sur-Vilaine	12	52564	11	48979	92%	93%
Rennes	60	173243	68	189923	113%	110%
Fougères	35	147567	39	156115	111%	106%
redon	14	41510	14	50220	100%	121%
Total	130	452711	140	488396	108%	108%

Tableau de comparaison des approches intuitive et automatisée pour les zones tests « industrielles »

L'approche automatisée des zones tests permet de retenir 63% de toitures inclinées ayant une orientation favorable (en nombre), ce qui représente 66% des surfaces totales des toitures inclinées. Ce même ratio vaut respectivement 59 % et 61% en considérant les résultats de l'approche intuitive (décompte 1 dans le tableau ci-dessus) soit une marge d'erreur d'environ 5 % entre les 2 approches.

L'usage du script mapinfo peut être extrapolé à l'ensemble du département pour déterminer les orientations favorables des bâtiments industriels aux toitures inclinées par rapport au sud.

A l'échelle départementale, le ratio d'orientation favorable retenu vaut 55% pour les toitures industrielles inclinées. La marge d'incertitude associée est de +/-5%.

Coefficient de masque

Le coefficient de masque théorique pour les bâtiments industriels considère que 10% de la surface utile des toitures est inexploitable pour des installations solaires. A l'examen des orthophotoplans des zones tests, ce coefficient paraît faible au regard des équipements, des puits de lumière ou autres masques qui semblent exister sur les toitures des bâtiments de la zone test.

Par défaut, il est proposé de retenir un coefficient de masque plus faible que celui proposé par la DGEC pour les bâtiments industriels : 0,75 ce qui correspond à retenir 75% de la surface des toitures terrasses et 75% de la moitié de la surface des toitures inclinées favorablement orientées.

Résultats de l'analyse des zones tests industrielles

Toitures	Nombre total	%	Surface totale (m ²)	%	Orientation favorable Approche automatisée		Toiture utile / effet de masque pris en compte
					Nombre	Surface (m ²)	Surface utile (m²)
Terrasse	81	27%	321 296	30%	81	321 296	240 972
Pente	221	73%	740 012	70%	140	488 396	183 149

Les surfaces de toitures utiles des zones tests industrielles (orientation favorable, moitié des toitures inclinées favorables, effet de masque) représentent :

- 241 000 m² de toitures terrasses soit 75% des surfaces totales en terrasses de plus de 1000 m² identifiées sur les zones tests ;
- 183 000 m² de toitures inclinées soit environ 25% des surfaces totales inclinées.

2 - Zones tests commerciales

L'examen de zones tests commerciales met en évidence une prédominance des toitures terrasses (78% des surfaces).

	Toitures	Nombre total	%	Surface totale (m ²)	%
Mézières/ Cap Malo	Terrasse	11	55%	51268	75%
	Pente	9	45%	17240	25%
Chantepie	Terrasse	12	60%	52479	81%
	Pente	8	40%	12200	19%
Total	Terrasse	23	58%	103747	78%
	Pente	17	43%	29440	22%

Tableau de répartition entre surfaces de toitures terrasses et inclinées pour les zones tests commerciales

A l'échelle départementale, pour les bâtiments commerciaux, il est retenu une répartition de 80% pour les toitures terrasses et 20% pour les toitures inclinées (raisonnement en surface).

A l'inverse des zones tests industrielles, le faitage ne semble pas systématiquement parallèle au plus grand coté du bâtiment commerciale à toiture inclinée comme l'indique les taux de correspondance dégradés entre les décomptes 1 et 2 (cf. partie centrale du tableau ci-dessous).

L'approche automatisée a été réalisée avec le même script mapinfo exploité pour les zones tests industrielles. Les résultats de l'approche automatisée donnent des résultats intermédiaires entre les 2 décomptes intuitifs sans toutefois permettre d'obtenir des taux de correspondance satisfaisants (cf. taux de correspondance en gras avec les décomptes 1 et 2 dans les colonnes de droite du tableau ci-dessous).

Si l'on compare les résultats de l'approche automatisée et l'approche intuitive, en raisonnant en surface, on peut évaluer l'incertitude à environ 40%. Cette incertitude s'applique à environ 20% de la totalité des toitures commerciales de ces zones tests (toitures inclinées).

	Nombre total	Surface totale	Décompte 1 - Orientation grand axe		Décompte 2 - Orientation favorable selon faitage réel		Taux de correspondance décomptes 1 et 2		Approche automatisée /orientation favorable		Taux de correspondance avec			
			NB	Surf.	NB	surface	NB	Surf.	NB	surface	Décompte 1		Décompte 2	
											NB	Surf.	NB	Surf.
Mézières/ Cap Malo	9	17240	1	1396	5	10818	500%	775%	3	7508	300%	538%	60%	69%
Chantepie	8	12200	6	8500	8	12200	133%	144%	7	102158	117%	120%	88%	84%
Total	17	29440	7	9895	13	23018	186%	233%	10	17723	143%	179%	77%	77%

Tableau de comparaison des approches visuelles et automatisées pour déterminer l'orientation favorable des toitures inclinées commerciales

A l'échelle départementale, l'approche automatisée est retenue pour les toitures inclinées des zones commerciales, malgré une assez forte incertitude. Cette incertitude a toutefois une influence atténuée sur l'évaluation de la surface utile de toitures commerciales en raison de la part relativement faible des surfaces de toitures inclinées dans les surfaces totales de toitures commerciales (20%).

L'approche automatisée pour le département donne un taux d'orientation favorable proche de 60%. L'incertitude associée atteint +/- 40%

Le coefficient de masque théorique pour les bâtiments commerciaux considère que 10% de la surface utile des toitures est inexploitable pour des installations solaires. A l'examen des orthophotoplans des zones tests, ce coefficient paraît faible au regard des équipements, des puits de lumière ou autres masques qui semblent exister sur les toitures des bâtiments.

Pour les toitures commerciales, il est également proposé de retenir un coefficient de masque plus faible que celui proposé par la DGEC : 0,75 ce qui correspond à retenir 75% de la surface des toitures terrasses et 75% de la surface des toitures inclinées favorablement orientées par rapport au sud.

Résultats de l'analyse des zones tests commerciales

Toitures	Nombre total	%	Surface totale	%	Orientation favorable Approche automatisée		Toiture utile / effet de masque pris en compte
					Nombre	surface	Surface utile (m²)
Terrasse	23	58 %	103 747	78 %	23	103 747	77 810
Pente	17	43 %	29 440	22 %	10	17 723	6 646

Les surfaces utiles commerciales (orientation favorable, moitié des toitures inclinées favorables, effet de masque) représentent près du tiers des surfaces totales et en majorité des toitures terrasses (92%).

3 - Zones tests agricoles et serres

Les zones tests étudiées concernent des bâtiments agricoles et des serres.

Pour les serres, il s'agit d'infrastructures en verre ou bâchées. Cette catégorie n'est pas retenue dans l'extrapolation départementale.

L'ensemble des bâtiments agricoles des zones tests présente des toitures inclinées.

Bâtiments agricoles	Nombre total	Surface totale (m ²)
Combours	40	58 252
Bazouges-la-Pérouse	36	56 726

Nombre et surface des bâtiments agricoles des zones tests

Les approches visuelles (décomptes 1 et 2) donnent des valeurs sensiblement identiques (103 et 100%) ce qui permet de valider l'hypothèse d'une orientation du plus grand coté du bâtiment parallèle au faîtage réel.

Les résultats de l'approche automatisée sur les zones tests étudiées donnent un taux de correspondance très acceptable (108 et 111%) entre les approches intuitive et automatisée.

	Décompte 1 Orientation grand axe		Décompte 2 - Orientation favorable selon faîtage réel		Taux de correspondance Décomptes 1 et 2		Approche automatisée		Taux de correspondance avec décompte 1		Taux de correspondance avec décompte 2	
	NB	surface	NB	Surf.	NB	Surf.	NB	Surf.	NB	Surf.	NB	Surf.
Batiments agricoles												
Combours	19	26680	18	24392	95%	91%	20	28937	105%	108%	111%	119%
Bazouges-la-pérouse	19	32011	21	34161	111%	107%	22	36057	116%	113%	105%	106%
Total	38	58691	39	58552	103%	100%	42	64994	111%	111%	108%	111%

Tableau 8 : résultats des approches intuitive et automatisée pour déterminer l'orientation favorable des toitures inclinées agricoles

L'approche automatisée permet de retenir 55% de toitures inclinées (en nombre) ayant une orientation favorable soit 57% des surfaces totales de toitures inclinées. Ce même ratio vaut 51 % en considérant les résultats de l'approche intuitive soit une marge d'erreur d'environ 5 %.

L'usage du script mapinfo peut être extrapolé à l'ensemble du département pour déterminer les orientations favorables des bâtiments agricoles par rapport au sud.

A l'échelle départementale, le ratio d'orientation favorable retenu vaut 50% pour les toitures agricoles inclinées. La marge d'incertitude associée est +/-5%.

Le coefficient de masque théorique pour les bâtiments agricoles considère que 100% de la surface utile des toitures est exploitable pour des installations solaires. A l'examen des orthophotoplans des zones tests, ce coefficient paraît très optimiste. Si les bâtiments agricoles semblent moins souvent encombrés que les bâtiments commerciaux ou industriels, des bouches aérations sont fréquemment repérées.

Pour les toitures agricoles, il est proposé de retenir un coefficient de masque de 0,9 ce qui correspond à retenir 90% de la surface des toitures inclinées favorablement orientées.

Résultats de l'analyse des zones tests agricoles

Nombre total	Surface totale (m ²)	Orientation favorable Approche automatisée		Toiture utile / effet de masque pris en compte
		Nombre	Surface (m ²)	Surface utile (m²)
76	114 978	42	64 994	29 247

Les surfaces utiles agricoles (orientation favorable, moitié des toitures inclinées favorables, effet de masque) représentent 25 % des surfaces totales agricoles des zones tests.

4 - Cas des autres bâtiments supérieurs à 1000 m²

Établissement de santé

Un échantillon de 20 % a été étudié (45 bâtiments), soit 16 % des surfaces de la catégorie. 22 % des toitures sont des terrasses, soit 19 % des surfaces de toitures totales.

Le script mapinfo permet d'identifier 50 % des surfaces de toitures inclinées avec une orientation favorable par rapport au sud. Ce pourcentage vaut 74 % après repérage visuel sur l'échantillon.

A l'échelle départementale, on retiendra 80 % de toitures inclinées et 60 % d'entre elles avec une orientation favorable par rapport au sud. La marge d'incertitude retenue est +/- 15 %.

Les toitures de l'échantillon sont assez proches de celle des bâtiments industriels concernant l'encombrement et les masques. Le coefficient de masque sera pris identique.

Le coefficient de masque pour les toitures des établissements de santé vaudra 0,75.

Établissements d'enseignement

L'examen concerne un échantillon de 15% des bâtiments d'enseignement (97 bâtiments) soit 14 % des surfaces de la catégorie. 37% des toitures sont des terrasses, 41 % des surfaces.

Le script mapinfo permet d'identifier 68 % des surfaces de toitures avec une orientation favorable par rapport au sud. Par repérage visuel sur l'échantillon de toitures inclinées étudiée, 63 % d'entre elles présentent une orientation favorable.

A l'échelle départementale, on retiendra 60 % de toitures inclinées et 65 % d'entre elles avec une orientation favorable par rapport au sud. La marge d'incertitude retenue est +/- 5 %.

Pour le coefficient de masque, les toitures de l'échantillon montre des caractéristiques différentes selon le type de toiture. L'encombrement des toitures terrasses semble assez proche des toitures terrasses commerciales ou industrielles. Les toitures inclinées semblent souvent disposer de combles aménagés avec un nombre d'ouvertures importants.

Le coefficient de masque est distingué selon le type de toiture : 0,75 pour les terrasses et plus dégradé pour les toitures inclinées 0,5.

Bâtiments administratifs, militaires, pénitentiaires, casernes de pompier

L'échantillon étudié couvre 32 % des bâtiments administratifs (46 bâtiments) soit 32 % des surfaces de la catégorie. Les toitures terrasses représentent 48 %, soit 60 % des surfaces.

Le script mapinfo permet d'identifier 50% des surfaces de toitures avec une orientation favorable par rapport au sud. Ce taux atteint 74% après repérage visuel de l'échantillon étudié.

A l'échelle départementale, on retiendra 55 % de toitures inclinées et 60 % d'entre elles avec une orientation favorable par rapport au sud. La marge d'incertitude retenue est +/- 15 %.

Les toitures des bâtiments administratifs s'apparentent aux toitures des établissements d'enseignements concernant l'encombrement et les masques.

Le coefficient de masque sera distingué selon le type de toiture : 0,75 pour les terrasses et plus dégradé pour les toitures inclinées 0,5.

Les bâtiments militaires, pénitentiaires et les casernes de pompiers représente une très faibles part de l'ensemble des bâtiments. Il est retenu de les traiter à l'identique des bâtiments administratifs.

Bâtiments sportifs et culturels

L'échantillon compte 68 bâtiments sportifs et culturels (20 % du nombre et 18 % des surfaces totales). Les toitures terrasses représentent 29 %, soit 31 % des surfaces.

Le script mapinfo identifie 62% de toitures favorablement orientées par rapport au sud. Ce taux vaut 66% après repérage visuel de l'échantillon étudié.

A l'échelle départementale, 70% des toitures sont considérées inclinées et 65 % d'entre elles avec une orientation favorable par rapport au sud. La marge d'incertitude retenue est +/- 5%.

Les toitures des bâtiments sportifs et culturels s'apparentent aux toitures des bâtiments commerciaux et industriels concernant l'encombrement et les masques.

Le coefficient de masque pour les toitures des établissements de santé vaudra 0,75.

Bâtiments mixtes habitats activités

L'échantillon étudié couvre 21% des bâtiments mixtes habitats activités (81 bâtiments) en nombre et en surface de la catégorie. Les toitures terrasses représentent 47 %, soit 54 % des surfaces.

Le script mapinfo identifie 59% de toitures favorablement orientées par rapport au sud. Ce taux vaut 52% après repérage visuel de l'échantillon étudié.

A l'échelle départementale, on retiendra une équipartition entre toitures terrasses et inclinées et 55 % des toitures inclinées avec une orientation favorable par rapport au sud. La marge d'incertitude retenue est +/- 5%.

Les toitures des bâtiments mixtes habitats activités s'apparentent aux toitures des bâtiments administratifs concernant l'encombrement et les masques.

Le coefficient de masque sera distingué selon le type de toiture : 0,75 pour les terrasses et plus dégradé pour les toitures inclinées 0,5.

Résultats de l'analyse des zones tests pour les bâtiments de plus de 1000 m² identifiés avec le fichier des propriétés bâties du cadastre PCI de la DGFIP

	Échantillons			terrasses		inclinaées		Surface orientée favorablement	
	Nombre	Surface (m ²)	% de la surface totale	Nombre	Surface	Nombre	Surface	Approche visuelle	Approche automatique
Etablissements de santé	45	100168	16%	10	19025	35	81143	50%	74%
Etablissements d'enseignement	97	218591	14%	36	89705	61	128886	68%	63%
Batiments sportifs et culturels	68	111038	18%	20	34472	48	76566	66%	62%
Etablissements administratifs et de transport	46	97370	32%	22	58297	24	39073	50%	74%
Batiments militaires, pompiers, pénitentiaire	même hypothèses que bâti administratif								
Batiments mixtes habitat-activité	81	132036	21%	38	71321	43	60715	52%	59%

Résultats d'analyse de l'échantillon de bâti > 1000 m² i m²

	Échantillons		surfaces terrasses	surfaces inclinées favorable/sud	effet de masques	
	Nombre	Surface (m ²)			Toitures terrasses	Toitures inclinées/2
Etablissements de santé	45	100168	19025	59642	14269	22366
Etablissements d'enseignement	97	218591	89705	81463	67279	20366
Batiments sportifs et culturels	68	111038	34472	47204	25854	17702
Etablissements administratifs et de transport	46	97370	58297	29041	43723	10890
Batiments militaires, pompiers, pénitentiaires	même hyp qu'administratif					
Batiments mixtes habitat-activité	81	132036	71321	35670	53491	8918

Surfaces utiles pour les échantillons de bâti > 1000 m²

Annexe 3 : Script mapinfo et qgis

Le script Mapinfo permettant de déterminer automatiquement l'orientation d'un bâtiment par rapport au sud est développé avec Mapbasic.

Description du programme Mapbasic :

A partir d'une table bâtiment du référentiel BD Topo IGN, le programme construit une enveloppe convexe des polygones (bâtiments). Il extrait ensuite le plus grand côté et calcule son angle d'orientation par rapport au nord géographique. Le programme sélectionne enfin tous les bâtiments dont l'angle du plus grand côté est supérieur ou égale à une valeur donnée (par défaut 45°).

```
declare sub Main
declare sub fichier_entre (e_filename As String, dialogue As String)
declare sub fichier_sortie (s_filename As String, dialogue As String)
declare sub valeur
'
Include "MAPBASIC.DEF"
'
sub Main
'
Dim Chemin as string
dim dialogue As String
Dim fichier_out,fichier_in as string
dim i, indice_max, indice_suiv, nb_node, Obj_type as integer
dim dist, dist_max, delta_x, delta_y, angle as Float
dim objet,polygone as object
'valeur de l'angle d'orientation maxi en degrés
'
set event processing off
Close All
'
' note " Attention les fichiers en entree-sortie sont spécifiés dans le bandeau haut de la fenetre"
'
dialogue="Ouverture de la table en entrée"
call fichier_entre (fichier_in, dialogue)
dialogue="Enregistrer la table résultat"
call fichier_sortie(fichier_out, dialogue)
dialog
    Title "Angle orientation / ligne Est-Ouest"
    Control OKButton Position 135, 120 width 50
    title "Validez"
    ID 1
    calling valeur
    Control CancelButton Position 135, 100 width 50
    title "Annulez"
    Control StaticText Position 25, 50
    Title "l'angle doit être supérieur à 0° et inférieur à 90°"
    Control EditText Position 55, 80
    Value 45
    id 2
    Into angle
'
If CommandInfo (CMD_INFO_DLG_OK) then
Open table fichier_in as f_in
create table f_out using f_in file fichier_out
create map for f_out
Fetch First from f_in
do while Not EOT (f_in)
    objet=f_in.obj
    Obj_type = ObjectInfo (objet, OBJ_INFO_TYPE)
    if Obj_type = OBJ_TYPE_REGION
        Then
            polygone = convexhull (objet)
            nb_node= ObjectInfo (polygone, OBJ_INFO_NPOLYGONS+1)
            dist_max=distance(ObjectNodeX(polygone,1,1) , ObjectNodeY(polygone,1, 1), ObjectNodeX(polygone, 1,
nb_node) , ObjectNodeY(polygone, 1, nb_node) ,"m")
```

```

        indice_max =nb_node
        For i=1 to nb_node-1
            dist = distance(ObjectNodeX(polygone,1, i) , ObjectNodeY(polygone,1, i), ObjectNodeX(polygone, 1, i+1) ,
ObjectNodeY(polygone, 1, i+1) ,"m")
            if dist > dist_max then
                indice_max = i
                dist_max=dist
            end if
        next
        'calcul de angle du plus grand coté
        if indice_max=nb_node then indice_suiv=1 else indice_suiv=indice_max+1 end if
        delta_x=abs(ObjectNodeX(polygone,1, indice_max) -ObjectNodeX(polygone,1,(indice_suiv)))
        delta_y=abs(ObjectNodeY(polygone,1, indice_max) -ObjectNodeY(polygone,1, (indice_suiv)))
        if delta_x *Tan (angle * DEG_2_RAD ) >= delta_y then
            insert into f_out (obj) values (objet)
        end if
    End if
fetch next from f_in
loop
commit table f_out
End If
close all
end sub
'
sub fichier_entre (e_filename As String, dialogue As String)
    e_filename = FileOpenDlg("", "", "TAB", dialogue)
end sub
sub fichier_sortie (s_filename As String, dialogue As String)
    s_filename = FileSaveAsDlg ("", "", "TAB", dialogue)
end sub
sub valeur
if val(ReadControlValue(2))>0 and val(ReadControlValue(2))< 90 then
    dialog remove
else
    dialog preserve
end if
end sub

```

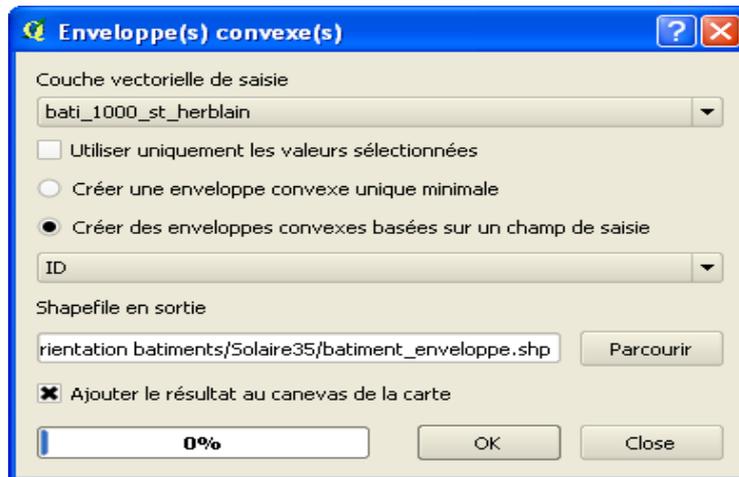
Transcription du script sous QGIS (version 2).

La manipulation sous QGIS nécessite la succession de plusieurs commandes.

1 – Création de l'enveloppe convexe autour des bâtiments avec la commande Vecteur / Outils de Géotraitement / Enveloppe Convexe

La création des enveloppes convexes est effectuée à partir d'un champ de saisie qui correspondre à une valeur unique par enregistrement. Il est retenu l'attribut identifiant ID de la BDTopo.

Renseigner un nom de fichier avant de valider la commande.

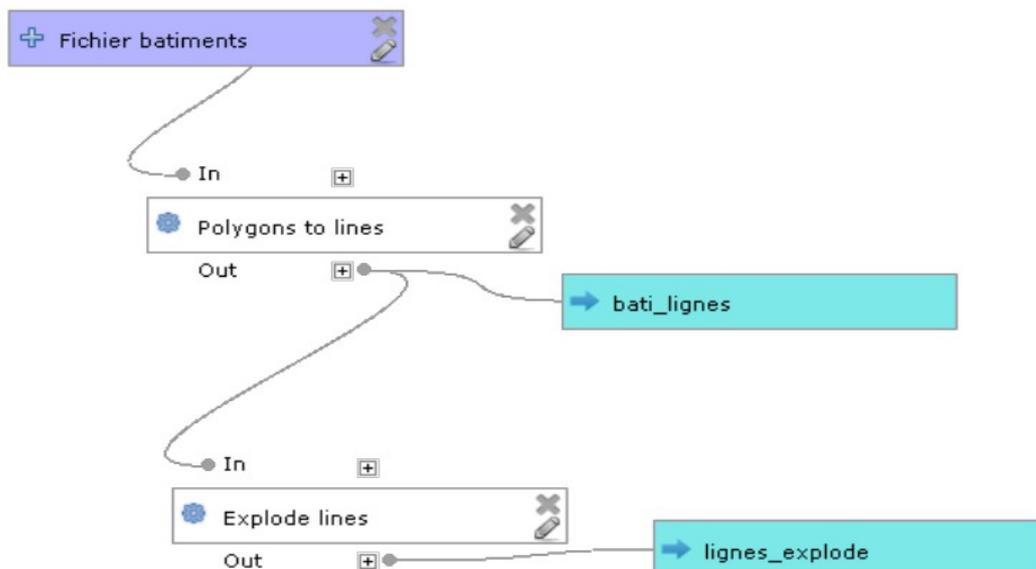


2 – Conversion des polygones (batiment_enveloppe) en lignes élémentaires, à partir du nouveau fichier créé (ici : batiment_enveloppe.shp)

2.1 - Ouvrir le script « orientation.model » copié préalablement sous le répertoire : [C:\program....\QGIS\profil\processing\models](#). Le script est un fichier a demandé la DDTM35 ou au CEEMA/DTerOuest pour faire l'exercice avec QGIS.

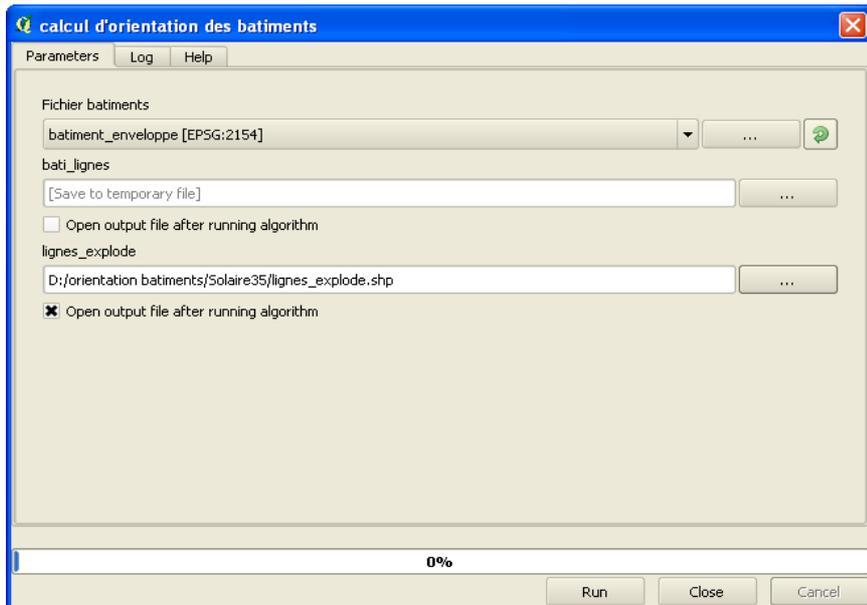
Une fois ouvert, ce script rappariait automatiquement dans le répertoire « models » de QGIS.

Ce script créé un fichier temporaire de multilignes et à partir de ce fichier temporaire, les multilignes sont transformées en lignes élémentaires selon le schéma suivant :



2.2 - Utilisation du script modèle « Orientation bâtiments / Calcul d'orientation des batiments »

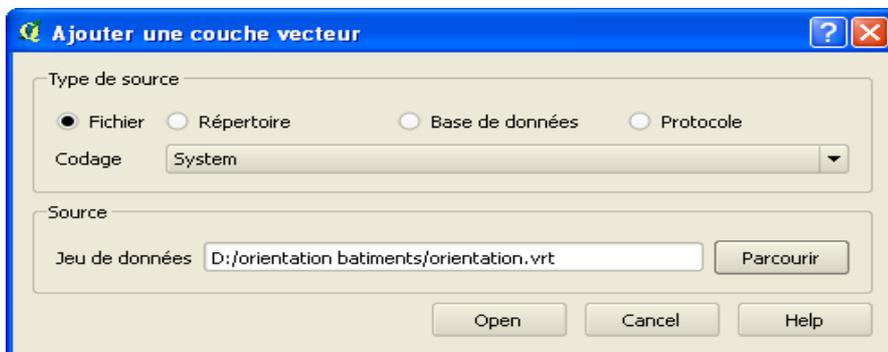
Enregistrer le fichier résultats de lignes avec le nom : lignes_explode.shp.



3 - Recherche de la ligne la plus longue et calcul de l'angle

3.1 - Copier le fichier « orientation.vrt » dans le répertoire de travail (avec lignes_explode.shp). De même que le script ci-dessus, ce fichier doit être demandé la DDTM35 ou au CEEMA/DTerOuest pour faire l'exercice avec QGIS.

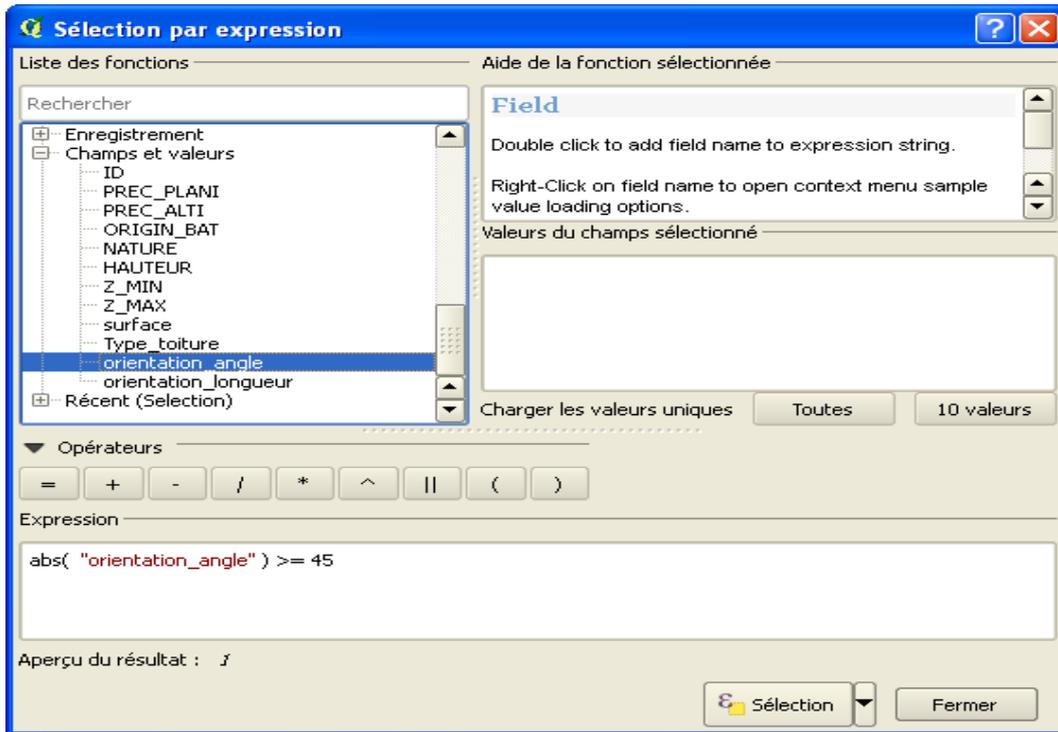
3.2 - Ajouter une couche vecteur (appel cette source virtuelle, orientation.vrt). L'utilisation d'un format VRT (Source virtuelle de données virtuelle) permet de décrire une requête SQL dans le chargement d'une couche. »



3.3 - La table Orientation résultat est une table en mémoire, il convient soit de la sauvegarder, soit d'effectuer une jointure avec la table des bâtiments initiale.



3.4 – Ouvrir « sélection par expression » pour sélection des bâtiments qui répondent au critère valeur absolu de l'angle ≥ 45 :



Exemple de résultats (bâtiments avec orientations favorable en jaune) :

