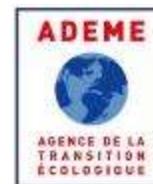




Étude sur le potentiel des énergies renouvelables et récupérables (ENR&R) sur le territoire de Laval Agglomération

Partie 2 : Etude des potentiels de développement des ENR&R sur le territoire

Étude financée avec le soutien de :



ÉTUDE ENR&R

Partie 2 : Etude des potentiels de développement des ENR&R



I. Méthodologie générale	p. 3
II. Estimation du potentiel de développement des ENR&R par filière	p. 5
▪ Description de la technologie	
▪ Gisement brut	
▪ Potentiel net	
III. Synthèse	p. 48
Annexes	p. 51
▪ Focus sur la ZAC Ferrié : potentiel ENR	
▪ Fiches de la DREAL sur les sites pour le photovoltaïque au sol	



I. Méthodologie générale



Evaluation des potentiels - méthodologie



Méthodologie

Le diagnostic des potentiels en énergie renouvelable vise à estimer le potentiel de production d'énergies renouvelables et de récupération pouvant être mobilisé sur une année en exploitant les sources d'énergie naturelles et issues d'activités humaines présentes sur le territoire.

Les différents types de potentiels :

Le gisement brut

C'est le premier calcul effectué qui permet d'estimer le maximum d'énergie fournie par l'environnement et les activités économiques.

Les gisements bruts représentent les ressources primaires d'énergies renouvelables du territoire. Ces ressources varient selon le type d'énergie : ensoleillement, ressource forestière pour le bois énergie, aquifères pour la géothermie, etc. Cette ressource est confrontée aux contraintes techniques et physiques fortes qui sont propres au territoire afin de déterminer un potentiel brut (potentiel solaire sur les toitures du territoire et hypothèses sur les performances des panneaux par exemple).

Le potentiel net

Il s'agit du potentiel réellement mobilisable en considérant l'ensemble des contraintes réglementaires, urbanistiques, environnementales, économiques.

En fonction des filières et des informations disponibles, il n'est pas toujours possible de prendre en compte l'ensemble des contraintes sur chaque filière. Les contraintes prises en compte seront précisées pour chaque filière.

Pour chaque filière les projets en cours recensés au fil des entretiens avec les différents acteurs locaux seront également présentés.



II. Evaluation du potentiel de développement des ENR&R sur le territoire par filière

- Photovoltaïque sur toiture page 6
- Photovoltaïque au sol page 11
- Solaire thermique page 15
- Hydraulique page 18
- Eolien page 22
- Biomasse dont bois-énergie page 27
- Production de biogaz par méthanisation page 34
- Récupération de chaleur fatale page 40
- Géothermie et pompes à chaleur page 43

Solaire Photovoltaïque

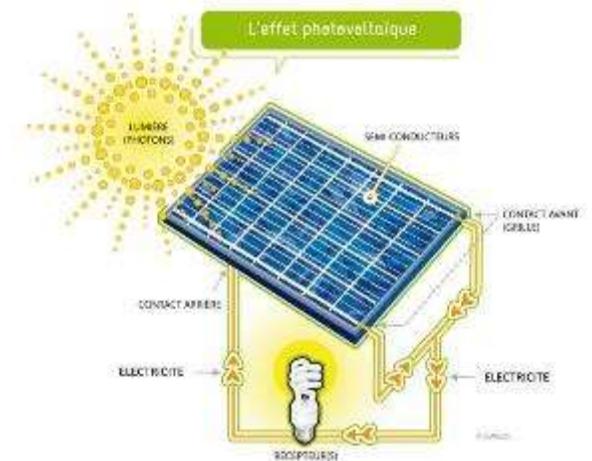


1. Description

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain.

L'effet photovoltaïque permet la production directe d'électricité à partir du rayonnement solaire. Les technologies de cellules photovoltaïques sont de plus en plus variées : les technologies de première génération, aujourd'hui matures, et basées sur les propriétés du silicium cristallin (mono ou poly), sont les plus répandues sur le marché. Les rendements associés sont de l'ordre de 14% à 19%. Cela signifie que pour un rayonnement incident de 1000 W/m², la puissance électrique générée par 1 m² de PV est généralement comprise entre 140 à 190 Wc. Parallèlement, les couches minces, qui représentent la seconde génération, sont encore dans une phase de développement. Les rendements peuvent atteindre 16%.

Dans les Pays de la Loire, comme dans nombre de régions françaises, le solaire photovoltaïque bénéficie du soutien des politiques publiques. À l'échelle nationale et régionale, des mécanismes de soutien sont à disposition des porteurs de projets. Des défis architecturaux, techniques et financiers restent encore à relever, cependant il semble que la filière soit en bonne voie d'autant qu'elle rencontre moins d'opposition citoyenne que d'autres énergies renouvelables. Sur les trois dernières années, les coûts d'investissement sur les projets ont diminué en moyenne de 32 %, due notamment à la baisse du coût des modules (panneaux). [1]



Vente totale de la production

Production d'électricité qui va être injectée directement sur le réseau public



Soutirage complet

Autoconsommation totale

Consommation par le producteur de l'électricité et le surplus est stocké ou perdu



Soutirage d'appoint

Autoconsommation avec injection de surplus

Consommation par le producteur de l'électricité et revente du surplus



Soutirage d'appoint

Autoconsommation collective

Répartition de la production entre un ou plusieurs consommateurs proches physiquement



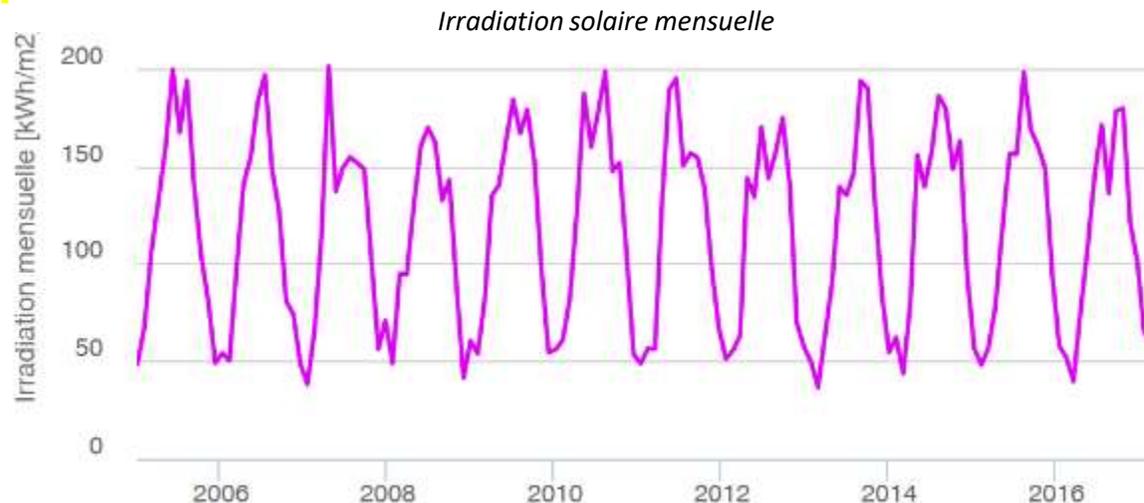
Soutirage d'appoint

Solaire Photovoltaïque

2. Gisement brut photovoltaïque global

L'irradiation solaire (W/m^2) ou l'irradiation mensuelle (en kWh/m^2) sont les données de base qui permettent de calculer l'énergie qui peut être produite sur une surface donnée à partir de la ressource solaire. Pour ces données, il est important de tenir compte des principales zones de relief (masques lointains) et des phénomènes météorologiques. Le service PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) permet d'accéder à ces données pour une zone donnée. La moyenne annuelle sur la période 2005-2015 et pour une surface inclinée de façon optimale (ce qui correspond environ à l'inclinaison de 30° considérée) est utilisée. [1]

Le rayonnement global reçu en moyenne annuelle sur la période 2005-2015 sur le territoire de Laval est de **1 412 kWh/m²/an**. Soit en multipliant par la surface totale du territoire 968 632 GWh/an.



Solaire Photovoltaïque

3. Gisement brut photovoltaïque sur toiture

Solaire Photovoltaïque sur toiture :

En première approche, nous avons fait l'hypothèse de mobiliser l'ensemble des toitures du territoire. L'analyse de la couche SIG représentant le bâti de Laval Agglomération identifie une surface de plus de 9,8 millions de m². En faisant l'hypothèse d'une surface moyenne de toiture disponible qui représente 50% de la surface bâtie [1], on obtient une surface de toiture (tous bâtiments confondus) estimée à 4,933 millions de m².

En multipliant cette surface par le rayonnement global reçu par an et un rendement global du système on obtiendra une première estimation de la ressource disponible : le gisement brut.

On peut prendre pour le rendement global :

- Rendement moyen des panneaux en France (16%)
- Rendement de l'installation (80%),

Sont inclus dans le rendement de l'installation :

- *le rendement de l'onduleur et son adaptation aux caractéristiques du champ photovoltaïque, les pertes dans les câbles, la température de fonctionnement des modules, la qualité d'appairage des modules selon leurs caractéristiques réelles (mismatch), la tolérance sur la puissance crête de l'installation (divergence entre puissance théorique nominale et puissance réellement installée).*

$$E_{\text{prod}} = 1\,412 \text{ kWh/m}^2 * 4\,933\,245 \text{ m}^2 * 16\% * 80\%$$

$$E_{\text{prod}} = 892 \text{ GWh}$$

Rendement modules	16%
Rendement installation	80%
Ensoleillement global	1412 kWh/m ²

On obtient un gisement brut de **892 GWh**.

Sources : *Données INSEE logements RP 2016*

[1] on considère une emprise au sol moyenne de 50% pour estimer la surface de toit à partir de la surface bâtie fournie par la couche SIG (qui correspond aux parcelles)

Solaire Photovoltaïque

3. Gisement brut photovoltaïque sur toiture

Solaire Photovoltaïque sur toiture :

Pour préciser ce calcul et avoir une estimation de la part que représente les toitures résidentielles dans ce gisement brut nous évaluons avec une autre méthode de calcul le potentiel présent sur les toitures résidentielles :

Nous faisons l'hypothèse de 50 m² de toiture disponible par maison individuelle et 15 m² par logement collectif. La surface de toiture de logements exploitable est donc d'environ 2 millions m² sur le territoire (voir tableau ci-dessous).

En multipliant cette surface par le rayonnement global reçu par an et un rendement global du système on obtiendra une première estimation de la ressource disponible : le **gisement brut résidentiel, estimé à 374 GWh**.

	Nombre [1]	m ² /logement	Surface (m ²)	E _{prod} : Potentiel (GWh)
Maisons individuelles	35 638	50	1 781 900	322
Logement collectif	19 063	15	285 945	52
TOTAL	54 701		2 067 845	374

Rendement modules	16%
Rendement installation	80%
Ensoleillement global	1412 kWh/m2

$$E_{\text{prod}} = 1\,412 \text{ kWh/m}^2 * 2\,067\,845 \text{ m}^2 * 16\% * 80\%$$

$$E_{\text{prod}} = 374 \text{ GWh}$$

En retranchant ces 374 GWh du potentiel brut total, cela indique environ **500 GWh** sur les autres bâtiments du territoire : tertiaires, agricoles et industriels.

En estimant les surfaces de toitures agricoles à partir des cheptels du territoire, on obtient environ 220 000 m² de toitures exploitables pour une **production potentielle estimée à environ 40 GWh sur les toitures agricoles**.

A partir de cette estimation, il y reste donc sur le territoire 2,5 millions m² exploitables sur les bâtiments tertiaires et industriels, que l'on peut répartir au prorata du nombre d'emplois [2] :

- **Toitures industrielles** : 582 000 m² soit un potentiel de 105 GWh
- **Toitures tertiaires privées** : 1,1 millions de m² soit un potentiel de 200 GWh
- **Toitures tertiaires publiques** : 800 000 m² soit un potentiel de 146 GWh

Sources : [1] Données INSEE logements RP 2016

[2] Données INSEE Emplois 2017 : 12 768 emplois dans l'industrie et construction ; 24 424 emplois dans les commerces et services ; 17 670 emplois dans l'administration publique. L'utilisation de cette méthode revient à considérer une moyenne de 46 m² de toiture/emploi, ce qui semble assez élevé mais faute de données plus précises nous conservons dans un premier temps cette hypothèse.

Solaire Photovoltaïque



4. Potentiel net photovoltaïque sur toiture

Au premier calcul nous devons appliquer un facteur de correction permettant de prendre en compte les nombreuses contraintes qui peuvent rendre l'installation de panneaux solaires compliquée voir impossible sur certaines toitures (cf. contre) Par exemple, certains facteurs comme l'orientation peuvent faire chuter le productible annuel et rendre un projet de toiture solaire peu rentable.

Nous considérons en l'absence de données plus précises sur les toitures du territoire que 10% des toitures résidentielles remplissent les critères rendant l'installation favorable. Pour les autres toitures (tertiaire, agricole, industriel) il s'agit souvent de surfaces plus grandes et moins pentues (hangar agricole, entrepôts, équipements publics...) nous considérons donc dans nos calculs 20% de ces toitures.

- **Potentiel net logements individuels : 32 GWh** (178 000 m²)
- **Potentiel net logements collectifs : 10 GWh** (57 000 m²)
- **Potentiel net autres toitures : 98 GWh** (544 000 m²) grossièrement répartis entre 4 types de toitures :
 - Bâti agricole : 8 GWh (44 000 m²)
 - Industrie : 21 GWh (116 000 m²)
 - Tertiaire privé : 40 GWh (223 000 m²)
 - Tertiaire public : 29 GWh (161 000 m²)
- **Total potentiel net photovoltaïque sur toiture : 141 GWh** (780 000 m²)

Critère	Favorable	A vérifier	Bloquant
1 Orientation de la toiture	Sud +/- 25°	Est et Ouest +/- 25°	Nord +/- 45° (sauf si toit plat)
2 Inclinaison de la toiture	Entre 10 et 50°	Toit plat (-10°)	- de 50°
3 Surface de la toiture	+ 60 m ²	40 à 60 m ²	- de 40 m ²
4 Encombrement de la toiture	Faiblement encombrée	Moyennement encombrée	Très encombrée
5 Ombres portées	Non	Faibles	Oui
6 Type de couverture	Tuile, ardoise, fibro-ciment, bac acier...	Vigilance sur la présence d'amiante	
7 Âge de la couverture / étanchéité	Neuve	Ancienne et à refaire à court terme	Ancienne et à refaire à moyen ou long terme
8 Charpente	Bon état	Moyen état / charpente acier	Mauvais état

Tableau récapitulatif des différents critères à évaluer pour le PV sur toiture - Guide Energie Partagée

Solaire Photovoltaïque

5. Gisement brut photovoltaïque au sol

Solaire Photovoltaïque au sol :

Le photovoltaïque au sol peut présenter plusieurs configurations : le parc photovoltaïque sur un terrain nu, aussi appelé ferme solaire, les ombrières photovoltaïques destinées à protéger les aires de stationnement de véhicules du soleil ou des intempéries, l'agrivoltaïsme ou encore le photovoltaïque sur serre. Si la première forme concerne les terrains de plusieurs hectares à plusieurs dizaines d'hectares, la seconde se déploiera sur les aires de stationnement de 50 places ou plus.

En 2018, seuls les parcs photovoltaïques de plus de 500 kW (soit 1 hectare minimum) peuvent bénéficier des mesures de soutien de l'Etat. Pour les ombrières, celles-ci concernent même les petits projets.

Afin de réaliser une première estimation du gisement brut nous considérons l'ensemble des terrains potentiels identifiés dans les appels d'offre nationaux portant sur la réalisation d'installations photovoltaïques au sol. Il s'agit des sites suivants (identifiés sur la carte SIGLOIRE - installations photovoltaïques au sol) :

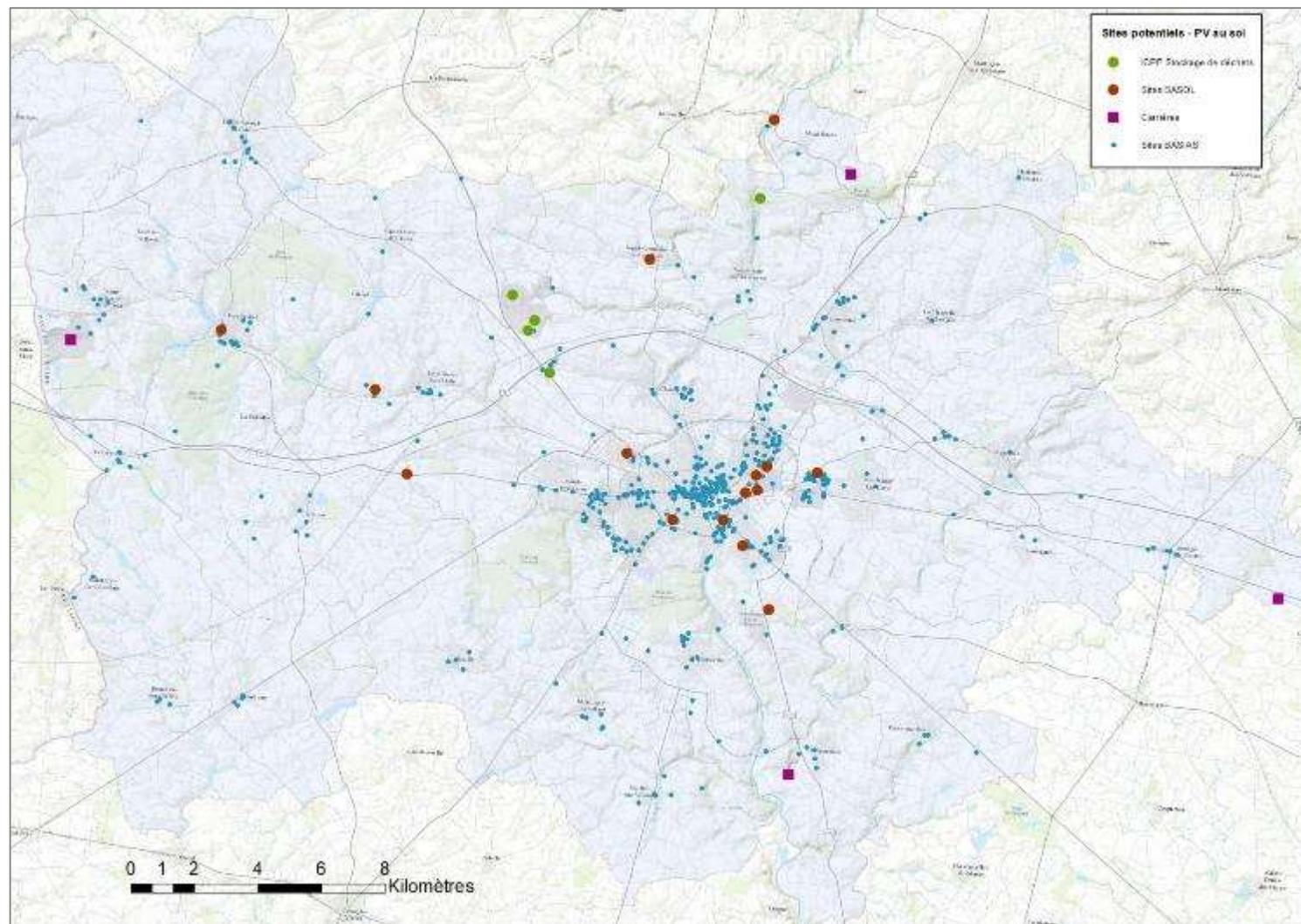
- Carrières
- Sites BASOL (sites et sols pollués)
- Sites BASIAS (Inventaire des anciennes activités industrielles et activités de service)
- Sites ICPE de stockage de déchets

A ces terrains nous pouvons ajouter les parkings non couverts de la ville de Laval. Les autres parkings du territoire n'ont pas pu être pris en compte en raison du manque de données.

Parking	Nombre de places
Parking Remparts	58
Parking Général de Gaulle	129
Parking Boston	91
Parking Gambetta	83
Parking Paix	45

Solaire Photovoltaïque

Sites potentiels centrale au sol



Sources : SIGLOIRE

Solaire Photovoltaïque



6. Potentiel net photovoltaïque au sol

Parmi ces différentes zones la DDT et la DREAL ont identifié les sites les plus adaptés au développement de ce genre d'installation ainsi que les surfaces associées. 7 sites sont identifiés (2018), pour une surface totale de 13,5 ha.

Nous appliquons à l'ensemble de ces sites la formule suivante :

$$E_{\text{prod}} = 1\,412 \text{ kWh/m}^2 * \text{SURFACE} * 16\% * 80\%$$

Rendement modules	16%
Rendement installation	80%
Ensoleillement global	1412 kWh/m ²

Site	Commune	Surface identifiée (ha)	Avis DDT	E _{prod} (MWh)
Site Séché - garage au lieu dit les Hêtres	Changé	2	Favorable	3 615
ZI de la Vallée Verte	Le Genest-Saint-Isle	2,6	Favorable	4 699
Espace entre la ZA de la Chauvinière et la D57	Louvigné	2	En vérification	3 615
Carrières Nord-Ouest	Entrammes	2	En vérification	3 615
ZI des Touches	Laval	2,3	En vérification	4 157
Délaissé routier de l'échangeur N162/D910	Entrammes	1	En vérification	1 807
Dépôt de ferrailles près de la gare de Louverné	Louverné	1,6	En vérification	2 892

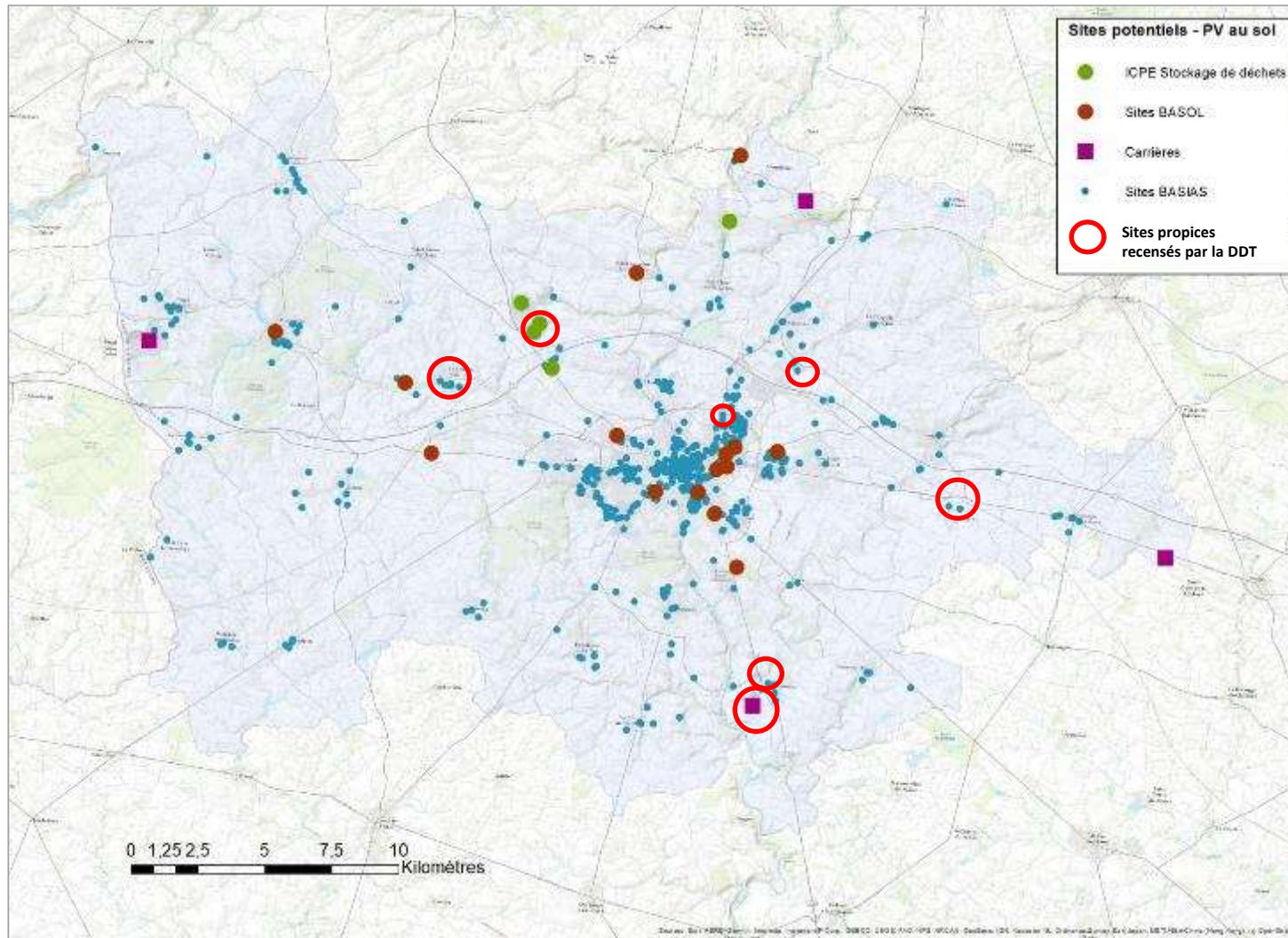
Site	Commune	Nombre de places	Surface identifiée (ha)	E _{prod} (MWh)
5 parkings non couverts de Laval	Laval	406	0,5075	917

Au total il s'agit d'un potentiel de **25 GWh** identifié sur l'ensemble de ces sites.



Solaire Photovoltaïque

Sites propices centrale au sol



Solaire thermique

1. Description

Le principe de fonctionnement est de récupérer l'énergie solaire sous forme de chaleur, et de l'utiliser pour la production de l'eau chaude sanitaire (ECS). Un fluide caloporteur circule sous le panneau réchauffé par le soleil. La chaleur ainsi récupérée est stockée dans un ballon tampon, et peut être exploitée en différé par l'utilisateur.

Il existe plusieurs types de panneaux solaires thermiques : les panneaux plans vitrés, les tubes sous vide, et les capteurs solaires à concentration. Si les deux premiers sont intéressants pour être intégrés sur toit, mais les capteurs solaires à concentration ne sont pas adaptés, car ils sont très volumineux, ne sont pas plans. Ils nécessitent en outre un rayonnement solaire direct important (la région parisienne n'est donc pas adaptée).

Le solaire thermique est souvent victime de confusion face à la popularité plus marquée du photovoltaïque. On distingue plusieurs raisons qui expliquent cette différence de dynamisme, parmi lesquels un effet de substitution du solaire thermique par photovoltaïque et les chauffe-eau thermodynamiques lié à des conditions réglementaires favorables (tarif d'achat, non plafonnement du crédit d'impôt pour la transition énergétique CITE) et aux dérogations accordées sur les consommations imposées par RT 2012.

À surface égale, le solaire thermique produit près de trois fois plus d'énergie renouvelable que le photovoltaïque, $700 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{an.m}^2$ et $215 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{an.m}^2$ pour le photovoltaïque (ADEME, 2015). Par ailleurs, en bâtiment collectif, la technologie solaire thermique présente des coûts de production et d'autoconsommation inférieurs aux technologies photovoltaïques. Cependant il faut envisager ces solutions à travers leurs utilités, l'usage d'un kWh thermique n'est pas identique à celui d'un kWh électrique et les solutions alternatives n'ont pas le même coût (coût du gaz plus faible que celui de l'électricité).



Solaire thermique

2. Gisement brut

Pour le secteur résidentiel, on considère qu'il existe des besoins de chaleur pour tous les bâtiments, notamment pour l'ECS (eau chaude sanitaire). Ces besoins sont toutefois différents selon le type d'habitat. Comme le solaire thermique résidentiel est en autoconsommation nous considérons une approche d'estimation du potentiel basée sur la consommation estimée d'ECS.

Nous faisons ici les hypothèses suivantes :

- Pour les maisons individuelles : 4 m² de panneaux solaires pour subvenir aux besoins en ECS du logement.
- Pour les logements collectifs : 2 m² de panneaux solaires pour subvenir aux besoins en ECS du logement.
- Une production de 495 kWh par m² de panneaux est considérée. En effet, le rendement moyen d'une installation solaire thermique oscille entre 30% et 40% donc en considérant l'ensoleillement global local (1412 kWh/m² * 35%) nous obtenons une production d'environ 495 kWh/m².

Pour ces hypothèses il est considéré que les panneaux solaires installés alimenteront les besoins d'ECS.

Les données du recensement de la population de l'INSEE (version 2016) sont utilisées pour caractériser le nombre de logements individuels et collectifs par commune. Ce travail à l'échelle du territoire ne tient pas compte des masques proches et lointains (ombrage lié aux bâtiments, à la végétation ou à la topographie) et des contraintes architecturales (éléments techniques ou réglementaires pouvant empêcher l'installation de panneaux). Par conséquent, l'ensemble des logements est ainsi considéré comme favorable au développement du solaire thermique.

	Nombre	m ² /logement	Surface (m ²)	Potentiel (GWh)
Maisons individuelles	35 638	4	142 552	70
Logement collectif	19 063	2	38 126	19
TOTAL	54 701		180 678	89

Le gisement brut solaire thermique identifié sur les logements est de 90 GWh.

L'évaluation du potentiel de développement du solaire thermique sur le tertiaire détaillée à la page suivante complète cette première estimation.

Solaire thermique

2. Gisement brut

Au potentiel sur le résidentiel nous pouvons rajouter le potentiel estimé sur les bâtiments tertiaires possédant d'importants besoins en ECS (établissement de santé, EHPAD, piscine). Les besoins d'ECS sont estimés à partir des différents paramètres de ces bâtiments. Pour les établissements et EHPAD de santé nous appliquons un ratio de MWh par lit, pour les piscines il s'agit d'un ratio par nombre de bassins.

Les tableaux ci-dessous illustrent les résultats et la méthode pour la commune de Laval.

Besoins dans les bâtiments tertiaires sur la commune de Laval :

	Nombre	Lits	Besoins (MWh/an)
Hôpitaux	6	0	0
Cliniques	2	0	0
EHPAD	8	702	6 030
Foyer logement	5	70	601
Total	21	772	6 631

	Nombre	Besoins (MWh/an)
Bassins de natation	3	1500
Salles de sport	0	0

Ces mêmes calculs sont effectués sur chaque commune, permettant d'évaluer sur l'ensemble de l'agglomération, le **gisement solaire thermique tertiaire de l'ordre de 12,5 GWh**, dont les 2/3 se trouvent sur les bâtiments et équipements de la ville de Laval.

Hydraulique



1. Description

L'énergie hydroélectrique, ou hydroélectricité, est une énergie électrique renouvelable qui est issue de la conversion de l'énergie hydraulique en électricité. L'énergie cinétique du courant d'eau, naturel ou généré par la différence de niveau, est transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique, puis en énergie électrique par une génératrice électrique synchrone.

Plus précisément, une centrale hydroélectrique se situe en contrebas d'un barrage. La force de chute de l'eau va ainsi permettre d'actionner la turbine, qui va ensuite faire fonctionner l'alternateur. Ce dernier va alors produire un courant alternatif qui va être envoyé au transformateur électrique de la centrale hydroélectrique. La puissance de la centrale hydroélectrique dépend essentiellement de la force de l'eau. Ainsi, les barrages au fil de l'eau, dépendants des courants marins, vont produire une puissance électrique moindre que les barrages de rétention. Le transformateur est le dernier élément clé qui permet de générer de l'hydroélectricité. Celui-ci va élever la tension du courant que l'alternateur produit. Cette électricité va ensuite être transportée par les lignes à haute et très haute tension.

L'eau qui a été acheminée vers la turbine est renvoyée vers la rivière ou le cours d'eau grâce au canal de fuite.

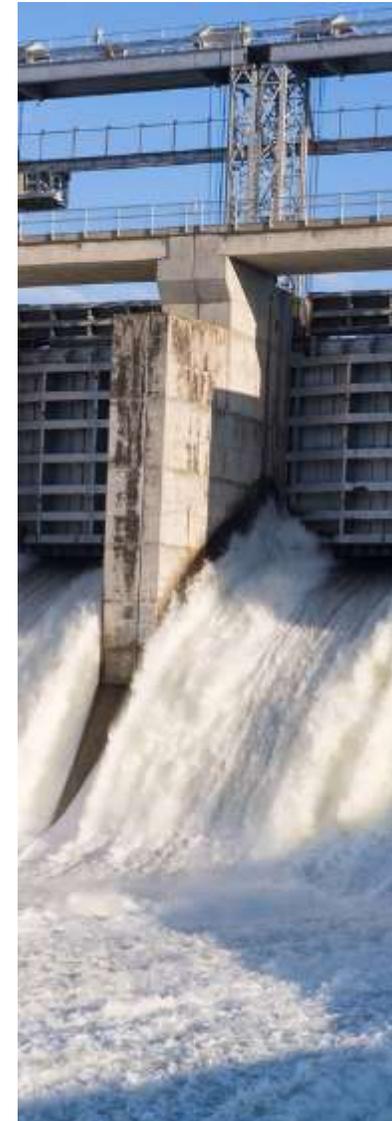
Concernant le potentiel de développement de l'hydroélectricité dans le bassin de la Mayenne l'état des lieux du SAGE (2013) tire les conclusions suivantes :

« Un potentiel hydroélectrique supplémentaire pourrait provenir de :

- l'optimisation des autres installations hydroélectriques,
- l'équipement d'ouvrages existants sachant que les sites les plus intéressants (en termes de hauteur de chute et de débit turbinable) sont déjà équipés.

Des études ont été réalisées sur plusieurs sites non-équipés mais n'ont pas abouti essentiellement pour des questions liées à la rentabilité économique. Aussi, le potentiel supplémentaire mobilisable sur le bassin de la Mayenne reste très faible. Ponctuellement, sur les affluents, des installations d'une puissance installée nettement plus faible que sur la Mayenne, peuvent répondre aux besoins locaux de quelques personnes. Toutefois, comme sur la Mayenne, les obligations réglementaires relatives au classement des cours d'eau sont à respecter. »

Nous étudierons donc dans la suite de cette partie uniquement le potentiel (petite hydro ou micro hydro) sur les ouvrages existants.



Hydraulique



2. Méthodologie d'identification du gisement

Une extraction de la base de données du ROE (référentiel des Obstacles à l'Écoulement) sur le territoire de Laval Agglomération a été réalisée. Cela permet de disposer de l'ensemble des ouvrages identifiés par le ROE par type, par usage, hauteur de chute, tronçon hydrographique. Sur le territoire il existe **96 ouvrages** hydrauliques existants recensés dans cette base de données.

La caractérisation du gisement brut est réalisée suite à l'élimination de plusieurs ouvrages selon les critères suivants :

- Les ouvrages dont la hauteur de chute est indéterminée ou inférieure à 0,1m sont exclus.
- Les sites à usage 'énergie et hydroélectricité', sites 'détruits' ou à usage spécifique du type navigation ou alimentation en eau potable sont exclus.

Nous calculons pour les sites restants (64 ouvrages) la puissance électrique disponible par obstacle selon la formule suivante :

$$P_{\text{brut}} = \text{hauteur de chute} * \text{débit} * 9,8$$

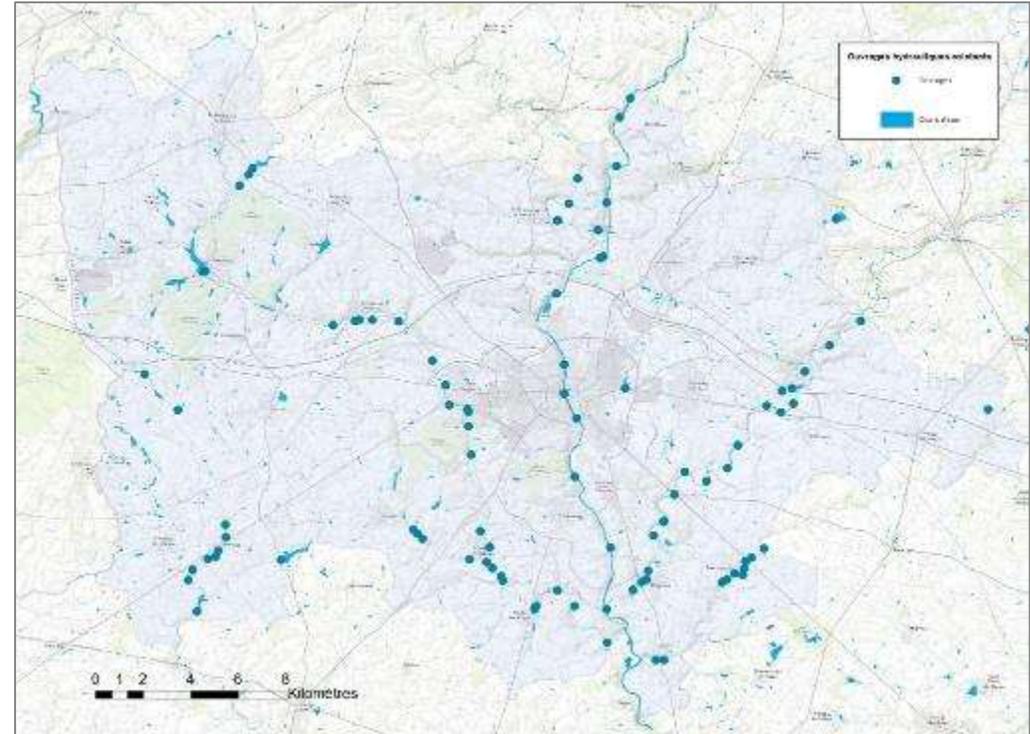
Passage au potentiel net en appliquant un rendement de 80%

$$P_{\text{élec}} = 0,8 * P_{\text{brut}}$$

Les résultats obtenus permettent alors d'écartier l'ensemble des sites ou la puissance électrique disponible ($P_{\text{élec}}$) est inférieure à 10kWe qui constitue la limite pour les installations dites 'micro hydro'.

Ce tri permet d'aboutir à une liste de **21 sites**.

→ On applique alors une base de fonctionnement nominal de 4000h par an (environ 50% du temps) ce qui permet d'obtenir le productible potentiel (E_{prod}).



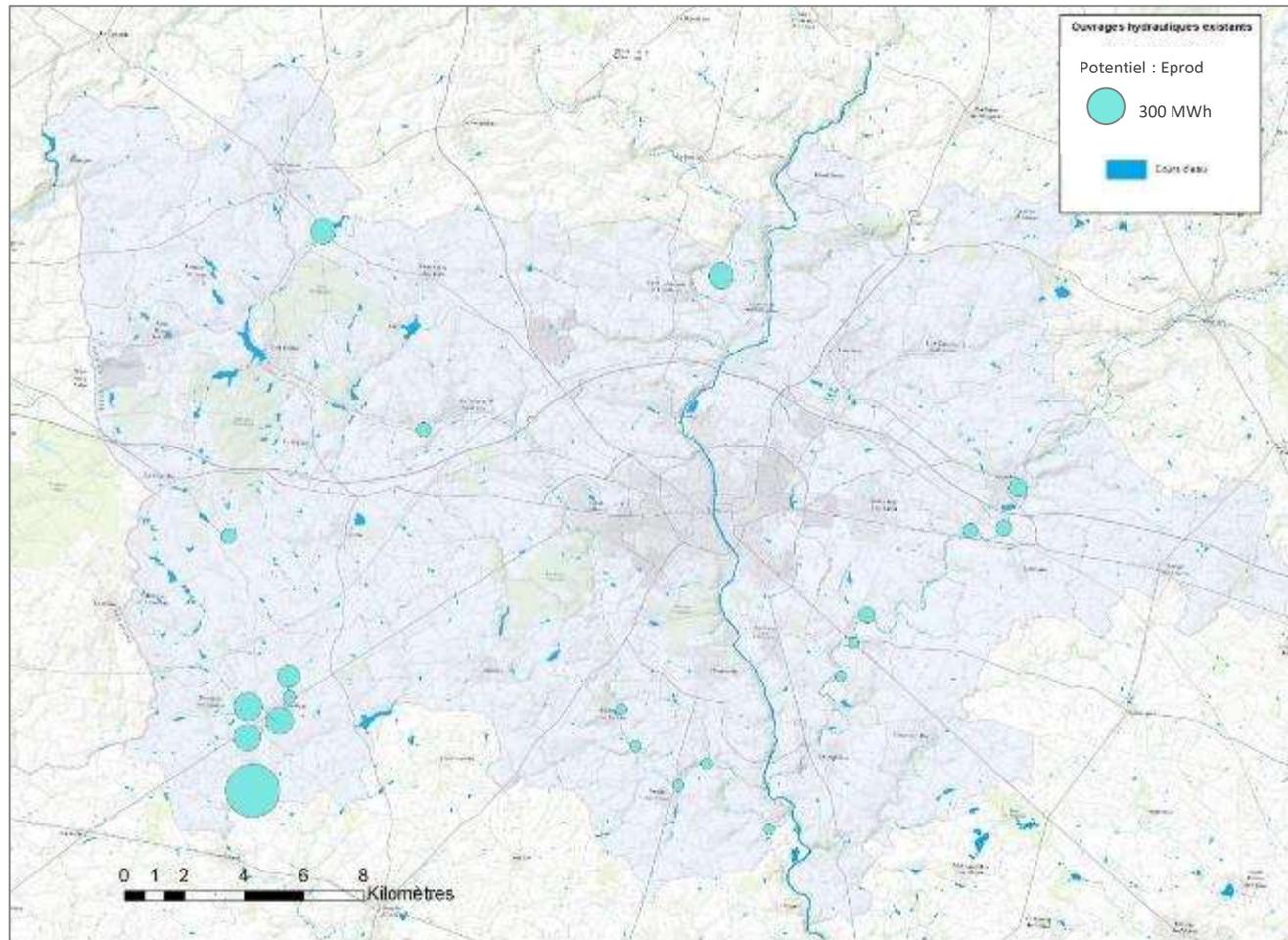
Hydraulique

3. Potentiel net sur 21 ouvrages existants

Code	Nom	Cours d'eau	Hauteur de Chute (m)	Débit (m3/S)	Pbrut(kW)	Pelec(kWe)	Eprod(MWh)
ROE6132	Déversoir de Soufrette	Rivière la Jouanne	0,68	1,98	13,2	10,6	42
ROE6134	Pont de Forcé (station jaugeage)	Rivière la Jouanne	0,73	1,98	14,2	11,3	45
ROE6136	Barrage de Formusson	Rivière la Jouanne	1,34	1,98	26,0	20,8	83
ROE6150	Barrage de l'Hermitage	Rivière la Jouanne	1,19	1,98	23,1	18,5	74
ROE6155	Clapet des Roches	Rivière la Jouanne	1,4	1,98	27,2	21,8	87
ROE6160	Barrage du Roc	Rivière la Jouanne	1,83	1,98	35,5	28,4	114
ROE16601	Moulin Réhard	Rivière l'Ernée	1,75	3,96	68,0	54,4	218
ROE16904	Moulin de Régereau	Rivière le Vicoin	0,75	1,87	13,8	11,0	44
ROE16927	Barrage de La Roche	Rivière le Vicoin	0,75	1,87	13,8	11,0	44
ROE16932	Barrage de Nuillé-sur-Vicoin	Rivière le Vicoin	0,72	1,87	13,2	10,6	42
ROE16934	Moulin de la Bigottière	Rivière le Vicoin	0,77	1,87	14,1	11,3	45
ROE16968	Barrage de Montigné	Rivière le Vicoin	0,77	1,87	14,1	11,3	45
ROE17068	Moulin du Bas Coudray	Rivière le Vicoin	1,25	1,87	22,9	18,3	73
ROE17076	Barrage de la Chaine	Rivière le Vicoin	3,6	1,87	66,0	52,8	211
ROE30561	La Guéhardière	Rivière l'Oudon	3,5	9,04	310,4	248,3	993
ROE30584	Barrage d'Audray	Rivière l'Oudon	0,9	9,04	79,8	63,9	255
ROE30686	Clapet aval de Montjean	Rivière l'Oudon	0,95	9,04	84,2	67,4	270
ROE30693	Clapet de la station d'épuration	Rivière l'Oudon	0,95	9,04	84,2	67,4	270
ROE30707	Côteau de Lanfrière	Rivière l'Oudon	0,6	9,04	53,2	42,6	170
ROE30721	Seuil de la Foucherie	Rivière l'Oudon	0,3	9,04	26,6	21,3	85
ROE111454	Prise d'eau de l'étang de lanfrière	Rivière l'Oudon	0,2	9,04	17,7	14,2	57
TOTAL					1 021	817	3 269

Hydraulique

3. Potentiel net sur 21 ouvrages existants



Sur les 96 ouvrages étudiés, **21** ont été retenus. Au total ils pourraient permettre de produire environ **3 GWh** par an. La majorité du potentiel est concentré dans les communes de Beaulieu-sur-Oudon et Montjean. Afin de valider ce potentiel chacun de ces ouvrages devrait faire l'objet d'une étude plus approfondie permettant de valider l'absence de contraintes réglementaires ainsi que la rentabilité économique d'une telle installation.

Eolien terrestre



1. Description et contexte

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, dite énergie éolienne, laquelle est ensuite transformée en énergie électrique.

Les plus courantes sont celles à axe horizontal. Elles sont généralement composées de 3 pales assemblées en hélice qui, sous l'action des masses d'air et du vent, enclenchent un mouvement de rotation actionnant un rotor. Celui-ci entraîne un axe dans la nacelle appelé « arbre », qui est relié à un alternateur. L'énergie issue de la rotation de l'axe permet de produire un courant électrique alternatif.

Les vents soufflant toujours plus fort en altitude, le rotor est situé au sommet d'un mât de 10 à 100 mètres de haut. À l'intérieur de ce mât, un transformateur a pour fonction d'élever la tension du courant électrique produit par l'alternateur afin qu'il puisse être transporté plus facilement à travers les lignes à moyenne tension.

L'éolien terrestre est répandu en France ; allant généralement d'une puissance de 1,8 à 3 MW les éoliennes terrestres installées ont des rotors mesurant entre 80 et 110 m de diamètre.

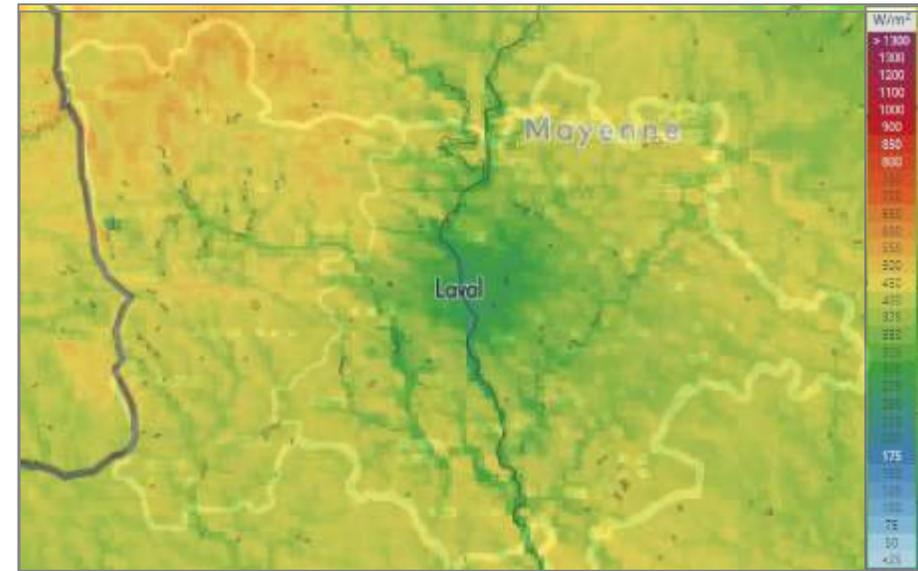
Le schéma régional éolien terrestre (SRE) des Pays de la Loire, prescrit par la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, a été approuvé par arrêté du préfet de région le 8 janvier 2013. Par un jugement du 31 mars 2016, le tribunal administratif de Nantes a annulé cet arrêté.



Eolien terrestre

2. Gisement brut

D'après les données du Global Wind Atlas la densité de puissance moyenne du vent sur le territoire est d'environ 350 W/m². De plus, sur l'ensemble du territoire la vitesse moyenne à une hauteur de 90 m dépasse les 4,5 m/s, valeur compatible avec l'exploitation d'un parc éolien.



Densité de puissance moyenne – Global Wind Atlas

Eolien terrestre

3. Potentiel net

L'estimation du potentiel net dépend principalement de la surface disponible pour l'installation d'un parc éolien. Un certain nombre de contraintes peuvent limiter ou interdire l'implantation d'éoliennes.

Le résultat du croisement des surfaces du territoire avec les surfaces de protection permet de réaliser une première approche des zones potentiellement favorables à l'implantation d'éoliennes.

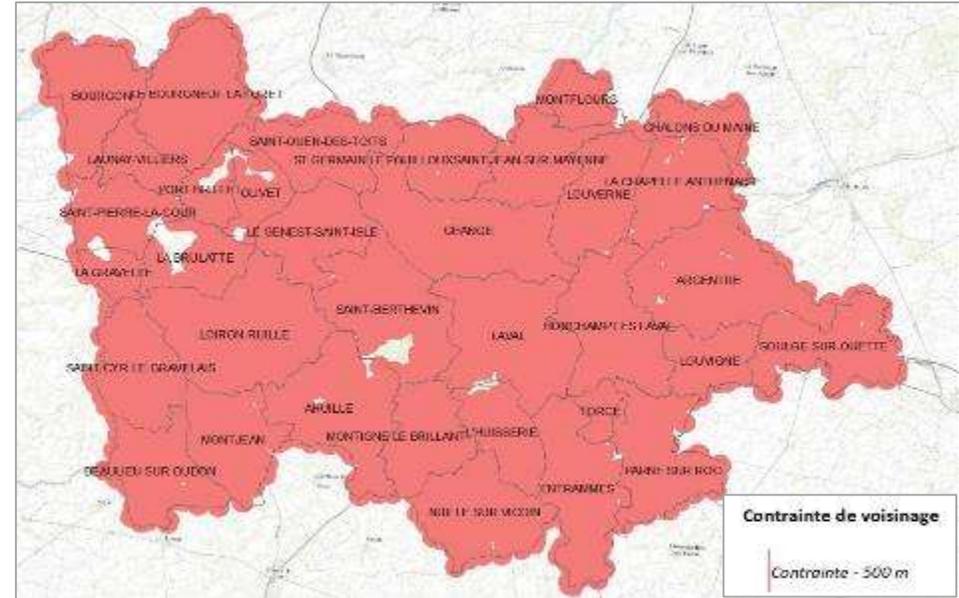
1. Contrainte d'éloignement de 500 m minimum entre toute éolienne et bâtiment d'habitation.

Dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte un amendement relatif à la distance d'éloignement des éoliennes aux constructions riveraines a fixé la distance minimale à 500 m.

A partir des données SIG de Laval Agglo il est possible de créer une zone tampon à 500 m autour du bâti du territoire*.

Très peu de zones sont hors contraintes. En appliquant, à ce premier filtre l'ensemble des contraintes naturelles la surface favorable sera affinée.

***N.B.** Nous ne disposons pas des différentes typologies d'usages des bâtiments. Ainsi une zone de protection de 500 m est appliquée à l'ensemble des bâtiments du territoire, pas uniquement aux bâtiments d'habitation.



Contrainte de voisinage sur le territoire de Laval Agglomération

Eolien terrestre



3. Potentiel net

2. Contraintes liées au patrimoine naturel

Les zones de protection naturelles suivantes sont localisées sur le territoire:

- Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) type I et II
- Zone spéciale de conservation (ZSC)
- Sites d'intérêt communautaire (SIC)
- Zones forestières

Nous considérons les ZNIEFF comme ayant de fortes contraintes environnementales et nous les excluons de la zone favorable pour l'éolien. Cette contrainte n'est toutefois pas réglementaire.

Avec l'application de cette 2^{ème} contrainte il reste environ **200 ha sur le territoire** qui ne sont pas soumis à des contraintes. La carte de ces zones favorables figure sur la page suivante

Nous prenons pour hypothèse une emprise minimale pour 3 éoliennes de 2,5 à 3 MW de 26 ha. Il s'agit de la densité du parc éolien de Quelaines-Saint Gault (parc éolien à proximité du territoire).

5 sites possèdent une surface suffisante sur le territoire. Il est donc possible d'implanter 5 fermes éoliennes de 3 mâts soit 15 mâts d'une puissance de 3 MW, ce qui correspond à une puissance totale de 45 MW

Pour obtenir le productible annuel nous prenons le facteur de charge régional moyen qui était en 2019 de 22,6% selon le panorama annuel de RTE.

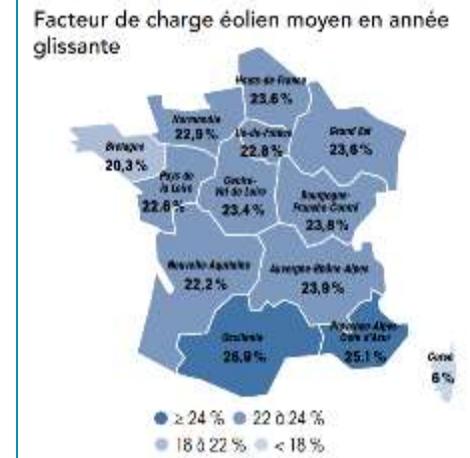
$$E_{\text{prod}} = 45 \text{ MW} * 8760 \text{ h} * 22,6\%$$

$$E_{\text{prod}} = 89 \text{ GWh}$$

Ce potentiel correspond au potentiel maximum identifié sur le territoire et ne prend pas en compte les conflits d'usages concernant l'occupation des sols par exemple.

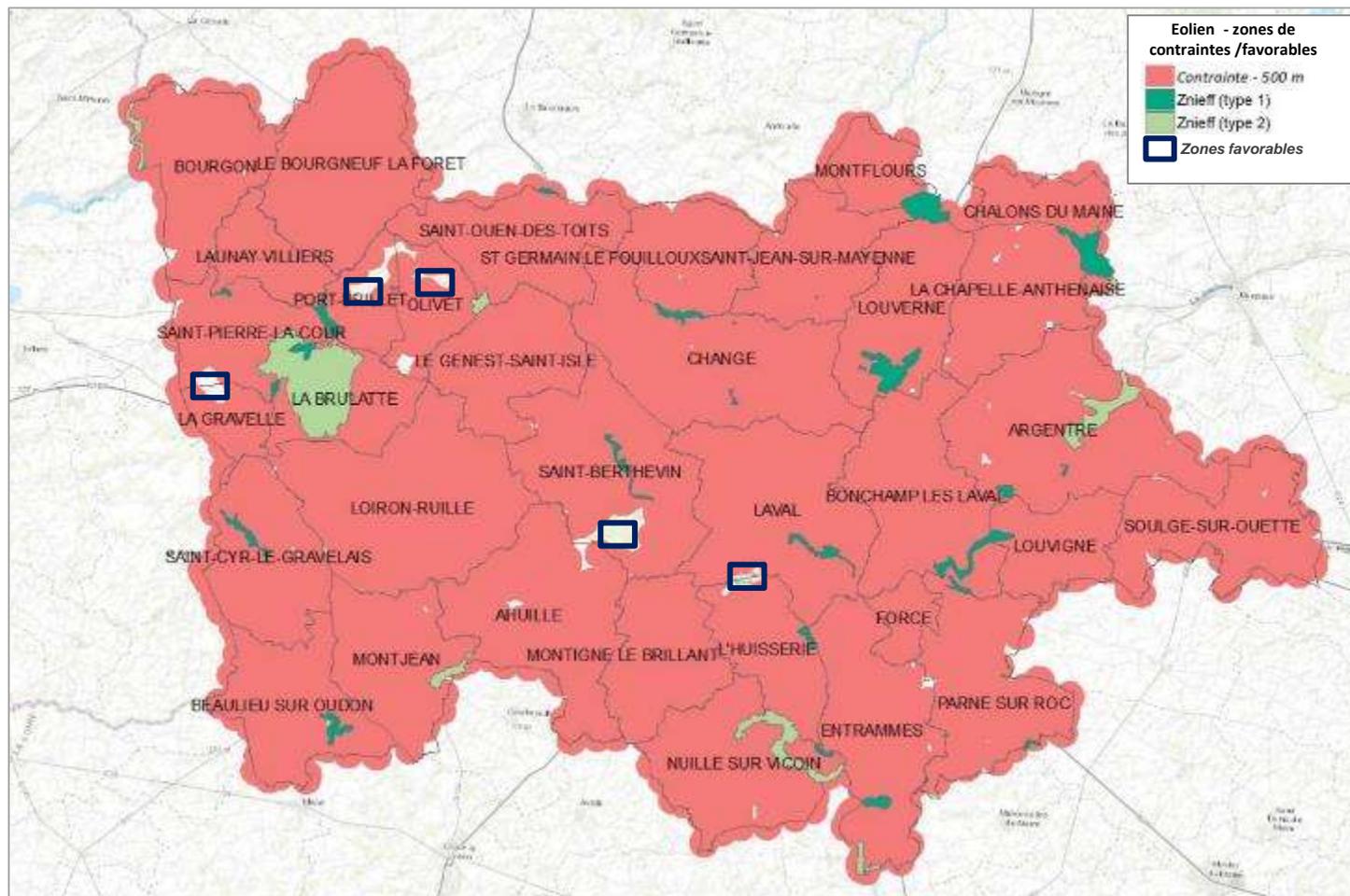


Zone humide du bassin du Vicoin



Eolien terrestre

2. Potentiel net



Biomasse dont bois énergie

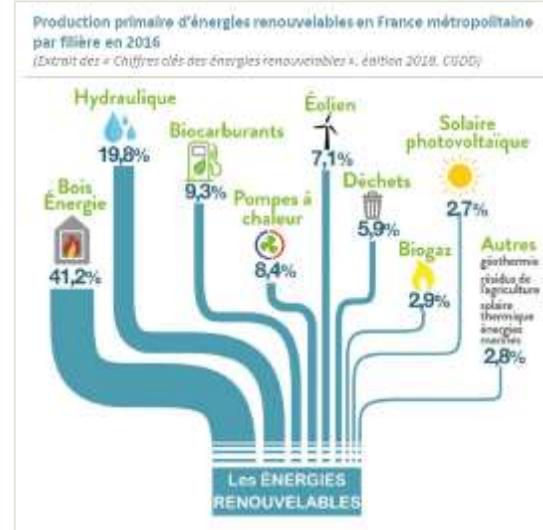


1. Description et contexte

Le bois énergie est le terme désignant les applications du bois comme combustible en bois de chauffage. Le bois énergie est un combustible intéressant sur le plan de la transition énergétique. Il représente une source d'énergie stable, disponible localement et qui est neutre en carbone si la ressource est gérée durablement. Le bois utilisé comme source d'énergie dans l'habitat représente 4 % de l'énergie primaire consommée en France (9 Mtep) et le bois énergie est la principale source d'énergie renouvelable thermique en France (voir ci-contre).

En Pays de la Loire, la récolte annuelle de bois est inférieure à l'accroissement biologique des forêts. La ressource non prélevée est encore très abondante, Atlanbois estime que seulement la moitié de la ressource disponible est valorisée chaque année. Par ailleurs, la filière bois énergie permet de valoriser les sous-produits et déchets d'autres filières (entretien et élagage des bois urbains, connexes des scieries, déchets d'emballages, etc.)

Les projets d'installation de bois énergie peuvent être soutenus par les Contrats d'objectifs territoriaux de développement des énergies renouvelables (COTER). En effet ce dispositif présent dans tous les départements de Pays de la Loire permet à une plus large gamme d'installations de production de chaleur renouvelable d'être soutenue par l'ADEME. De plus, il s'agit d'un dispositif d'animation qui visent à mobiliser tous les acteurs, publics comme privés (hors particuliers), pour faire émerger de nouveaux projets de production de chaleur renouvelable.



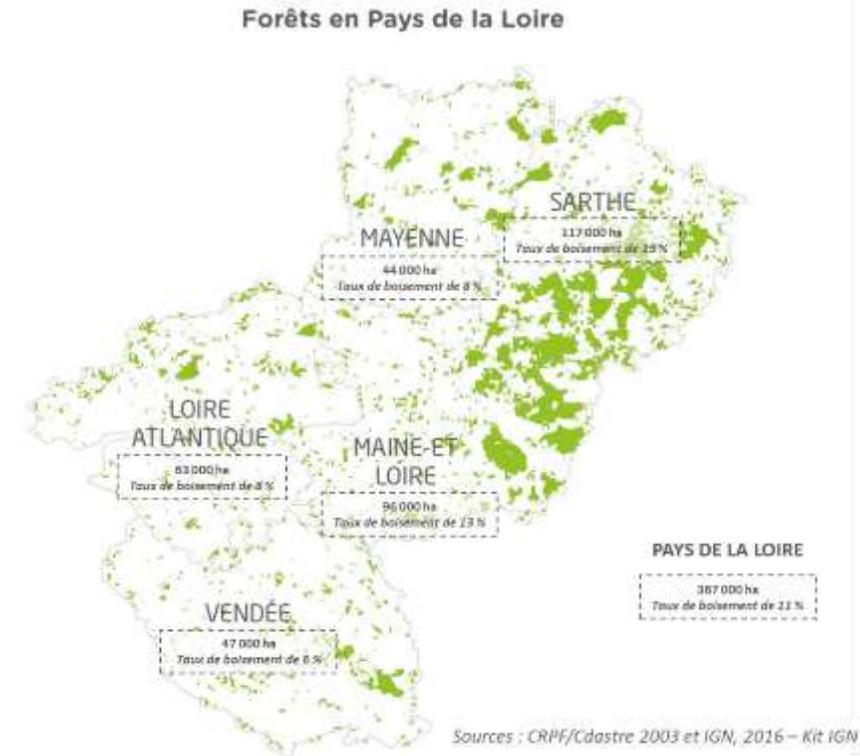
Biomasse dont bois énergie



2. Gisement brut

Pour évaluer le potentiel mobilisable pour la filière biomasse solide (dont le bois énergie) il est possible de réaliser deux estimations : l'une sur la ressource locale (production des forêts sur le territoire) et l'autre sur les besoins locaux (potentiels chaufferies alimentées en bois local ou issu des territoires voisins). En effet, le bois-énergie est une filière qui dépasse souvent les frontières d'un EPCI, d'un département. Les chaufferies biomasse peuvent être alimentées par du bois provenant de territoires voisins, de départements voisins ou même de régions voisines.

Le Schéma Régional Biomasse des Pays de la Loire évalue (à l'échelle régionale et départementale) les gisements et fixe des objectifs à horizon 2030 (graphique ci-dessous). Afin de connaître le gisement identifié sur le territoire de Laval Agglomération, les données à l'échelle départementale ont été transmises par Atlanbois. Un ratio basé sur la surface boisée du territoire (4106 ha [1] soit environ 10% de la surface boisée de la Mayenne).



Biomasse dont bois énergie

2. Gisement brut

Données départementales pour la production de bois énergie en Mayenne transmises par Atlanbois

- Surface boisée : 44 000 ha, production biologique 7m³/ha/an (sans considérer l'ensemble du volume du houppier) soit 6,3 tonnes/ha/an dont 65% font du bois énergie (en valorisation locale du bois d'œuvre) soit 184 275 tonnes par an.
- Linéaire de haie : 30 000 km soit l'équivalent de 30 000 ha, production de 5 tonnes/ha/an dont 90% font du bois énergie (peu de bois d'œuvre, paillage et de piquets) soit 135 000 tonnes par an.
- 10% de plus lié à l'activité humaine (déchets verts et bois non recyclable propre).

Gisement brut Mayenne :

- La production annuelle de bois énergie est d'environ 350 000 tonnes par an. La récolte est estimée à 50% du potentiel soit 175 000 tonnes.
- Cela correspond à 468 GWh.

Gisement brut Laval Agglomération (application du ratio de la surface forestière) :

- Récolte de 16 300 tonnes par an
- Cela correspond à **43 GWh**

Biomasse dont bois énergie

3. Potentiel net – ressource locale

A l'échelle du département :

Sur les 175 000 tonnes de bois non exploitées aujourd'hui nous pouvons faire l'hypothèse d'une récolte supplémentaire d'environ 84 000 tonnes de bois (environ 50% de ce qui n'est pas exploitée) pour s'assurer d'un retour au sol en carbone, en minéraux, biodiversité. Cette valorisation supplémentaire de bois est cohérente avec l'approche régionale.

Ce qui donne pour le potentiel net de Laval Agglomération:

- 7 800 tonnes par an
- Correspondant à un potentiel net de 21GWh.

Schéma Régional Biomasse – objectifs de mobilisation ressource forestière

Gisement	Estimation des volumes potentiels produits/an	Usages potentiels	Volumes valorisés en énergie en 2016	Objectif de mobilisation énergétique à 2030
Forêt	2,7 millions de m ³ /an (hors branches et menus bois inférieurs à 7 cm) soit 2,43 millions de tonnes (période 2005-2013)	– Matière : bois d'œuvre, bois industrie ... – Énergie	– Autoconsommation estimée à environ 470 000 m ³ (Ademe 2013) – Bois énergie récolté hors autoconsommation : 270 000 m ³ (Agreste 2016) Total d'environ 740 000 m ³ soit 670 000 tonnes	+ 400 000 tonnes sur l'ensemble de la filière
Industries du bois	400 000 tonnes (connexes de première et seconde transformation) (estimation 2015)	– Matière : bois d'œuvre, bois industrie ... – Énergie	Environ la moitié valorisée en énergie soit 200 000 tonnes	
Total			870 000 t	1 270 000 t

Facteur de conversion : 1m³ = 0,9 tonne¹⁸

Biomasse dont bois énergie

4. Potentiel net – besoin local

Afin de compléter le calcul effectué sur la ressource locale il est intéressant de voir quelle quantité de bois pourra être valorisée localement pour alimenter des chaufferies sur le territoire. Atlanbois a transmis une estimation de ce potentiel besoin local par commune.

Ce travail a été réalisé avec les données Insee disponibles sur les bâtiments cibles du bois énergie. Les bâtiments cibles sont des bâtiments consommateurs, à faible intermittence (établissement de santé, scolaire, EHPAD, piscine...). Le tableau ci-dessous détaille les besoins identifiés sur les communes prioritaires (priorité 1 ou 2). Le potentiel se trouve principalement à Laval avec une hypothèse sur l'augmentation de l'intégration de la biomasse solide dans le réseau de chaleur. Au total le besoin local représente environ **109 GWh ou 44 000 tonnes de bois énergie** (soit 5 fois plus que la ressource locale mobilisable). En effet le territoire représente à l'échelle du département /de la région un point de forte consommation de chaleur plutôt qu'un potentiel gros producteur de bois.

Priorité	Commune	Besoins (MWh)	Besoins (tonne de bois)
1	Laval	85 818	34 681
2	Saint Berthevin	4 803	1 941
2	Changé	2 724	1 101
2	L'Huisserie	2 299	929
2	Port-Brillet	1 994	806
2	Louverné	1 834	741
2	Bonchamp-lès-Laval	1 720	695
TOTAL (sur l'ensemble des communes)	35 communes	109 334	44 199

Biomasse dont bois énergie

4. Potentiel net – besoin local

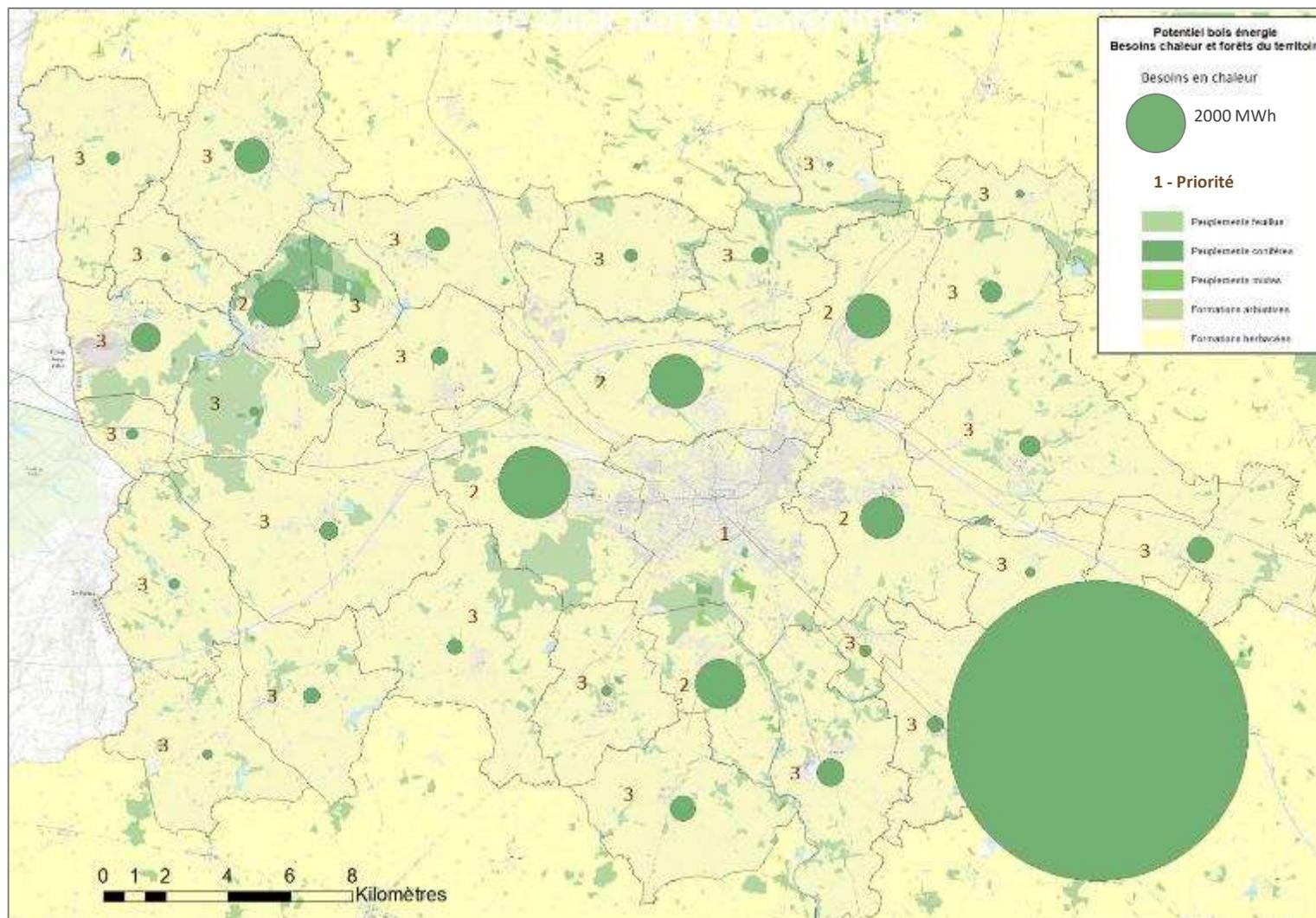
Tableau complet

Priorité	Commune	Nb	Pop	Besoins MWh	Tonne de bois	Commentaire
1	LAVAL	1	50 843	85 818	34 681	78% du potentiel global : déploiement du réseau de chaleur et création réseau quand la ramification n'est pas possible et chaufferie individuelle quand bâtiment isolé (exemple lycée agricole de Laval) : 79000 MWh annoncé à terme par le concessionnaire soit environ le potentiel indiqué (20 000 tonnes de bois)
2	SAINT BERTHEVIN	1	7 282	4 803	1 941	Réseau de chaleur créé, d'autres chaufferies à créer
2	CHANGE	1	5 606	2 724	1 101	Petit réseau et chaufferies individuelles granulé ou plaquette
2	L'HUISSERIE	1	4 124	2 299	929	Etude réseau dans le bourg non concluant, potentiel dans l'EHPAD et logements collectifs
2	PORT-BRILLET	1	1 876	1 994	806	Chaufferies individuelles comme le collège, la gendarmerie, le CFP... ont déjà, d'autres chaufferies possibles
2	LOUVERNE	1	3 983	1 834	741	Petit réseau à étudier sinon chaufferies individuelles
2	BONCHAMP LES LAVAL	1	5 820	1 720	695	Projet en réflexion, école mairie EHPAD
3	LE BOURGNEUF LA FORET	1	1 818	1 118	452	En général, chaufferie individuelle au granulé, petit réseau sans vente possible parfois entre école/mairie/salle polyvalente...
3	SAINT-PIERRE-LA-COUR	1	2 009	786	318	
3	ENTRAMMES	1	2 219	690	279	
3	SOULGE SUR OUETTE	1	1 109	630	255	
3	NUILLE SUR VICOIN	1	1 253	591	239	
3	SAINT OUEN DES TOITS	1	1 678	512	207	
3	ARGENTRE	1	2 690	423	171	
3	LA CHAPELLE ANTHENAISE	1	930	420	170	
3	LOIRON RUILLE	1	1 494	309	125	
3	LE-GENEST-SAINT-ISLE	1	2 082	274	111	
3	LE GENEST SAINT ISLE	1	2 082	274	111	
3	PARNE SUR ROC	1	1 263	249	101	
3	MONTJEAN	1	1 007	251	101	
3	SAINT JEAN SUR MAYENNE	1	1 556	247	100	
	AHUILLE	1	1 860	222	99	
	SAINT GERMAIN LE FOUILLOUX	1	1 048	158	64	
	BOURGON	1	627	156	63	
	FORCE	1	992	130	53	
	LA GRAVELLE	1	530	113	46	
	SAINT CYR LE GRAVELAIS	1	543	101	41	
	MONTIGNE LE BRILLANT	1	1 261	92	37	En général, chaufferie individuelle granulé
	BEAULIEU SUR OUDON	1	499	91	37	
	LOUVIGNE	1	1 095	88	36	
	LA BRULATTE	1	703	71	29	
	LAUNAY VILLIERS	1	393	59	24	
	CHALONS DU MAINE	1	663	56	23	
	MONTFLOURS	1	241	31	13	
	OLIVET	1	427	0	0	
	TOTAL	35	113 606	109 334	44 199	

Sources : Données à l'échelle communale transmises par Atlanbois

Biomasse dont bois énergie

4. Potentiel mobilisable – besoin local



Sources : Données à l'échelle communale transmises par Atlanbois

Biogaz (méthanisation)



1. Description

La **méthanisation** est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène, donc en milieu anaérobie, contrairement au compostage qui est une réaction aérobie.

Cette dégradation provoque :

- un produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée, appelé digestat. Il est généralement envisagé le retour au sol du digestat après éventuellement une phase de maturation par compostage ;
- du biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50 % à 70 % de méthane (CH₄), de 20 % à 50 % de gaz carbonique (CO₂) et de quelques gaz traces (NH₃, N₂, H₂S). Le biogaz a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 5 à 7 kWh/Nm³. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous forme combustive pour la production d'électricité et de chaleur, de production d'un carburant, ou d'injection dans le réseau de gaz naturel après épuration.

Quatre secteurs sont favorables au développement de cette technique : agricole, industriel, déchets ménagers et boues urbaines.

Les 5 modes de valorisation du biogaz :

- Production de chaleur : l'efficacité énergétique est intéressante si le besoin en chaleur des débouchés est assez important pour permettre de valoriser le maximum de l'énergie disponible. Cela nécessite également des débouchés à proximité pour limiter le transport coûteux de la chaleur ou du biogaz.
- Production d'électricité : l'efficacité énergétique est plus faible (- 37 %) du fait du rendement énergétique de l'électricité se limitant, pour des moteurs, aux environs de 33 %.
- Production combinée d'électricité et de chaleur, ou cogénération : c'est le mode de valorisation du biogaz le plus courant. En plus de l'électricité produite grâce à un générateur, de la chaleur est récupérée, principalement au niveau du système de refroidissement. La valorisation de cette chaleur nécessite un débouché à proximité. Ce cas est encouragé par une prime à l'efficacité énergétique présente dans le tarif d'achat d'électricité.
- Carburant véhicule : pour être utilisé en tant que carburant véhicule, le biogaz suit une série d'étapes d'épuration/compression. Cette valorisation peut être envisagée dans le cadre d'une flotte captive de véhicule (bus, bennes déchets, ...).
- Injection du biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel.



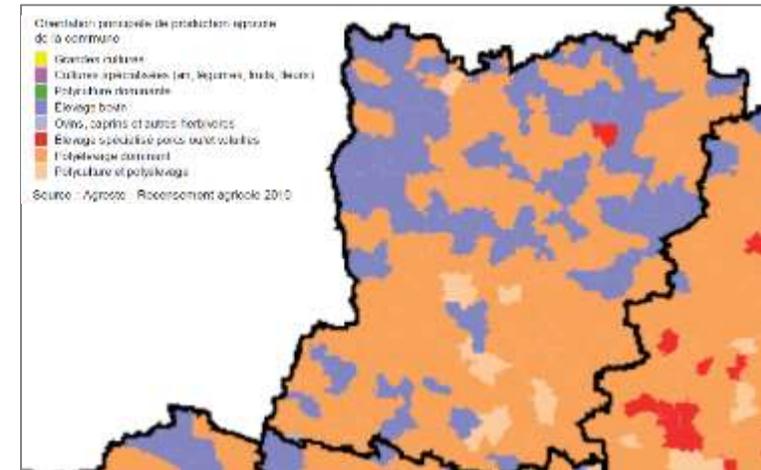
Biogaz (méthanisation)



2. Gisement brut

Une estimation du gisement méthanisable a été réalisée sur le département de la Mayenne à l'échelle des cantons en 2014. Ces données recensent les gisements issus de l'élevage, des industries agro-alimentaires (IAA) et des déchets gérés par les collectivités (boues de STEP, déchets verts).

Le gisement principal en Mayenne provient des effluents d'élevage. En effet la principale production agricole du département est l'élevage (polyélevage ou élevage bovin) comme l'illustre la carte ci-contre. Selon le recensement agricole de 2010, 11 communes ont comme principale production agricole l'élevage de bovins et 23 sont concernées par le polyélevage. Le secteur de Laval Agglomération représente un cheptel de plus de 87 000 (en unité de gros bétail) soit 12% du cheptel du département.



Ci-dessous les tableaux récapitulatifs de ces données :

Effluents d'élevages (gisement en tonnes)									TOTAL
Bovins		Porcins		Volailles	Caprins	Ovins	Equins	Cultures	
Fumier_B	Lisier_B	Fumier_P	Lisier_P	Fumier_V	Fumier_C	Fumier_O	Fumier_E	Menues_pailles	
462 078	338 306	21 420	210 062	47 206	332	2 187	10 685	19 608	1 111 885

IAA															TOTAL
Céréales grains	Cereales farines	Fruits et légumes Ecartés de tri	Lactoserum	Lait eaux blanches	Babeurre	Lait Caille	Graisses	Huiles	Boues liquides	Boues solides et pâteuses	Matières stercoraires	Sang	Dechets de dégrillage	Graisses de flottation	
0	0	0	1 001	11	540	7 940	28	0	3 175	1 258	989	2 499	432	587	18 462

Collectivités						TOTAL
Déchets vegetaux	FFOM	Résidus de separateur de graisses	Huiles alimentaires usagees	Boues liquides	Boues solides et pateuses	
5 640	9 859	231	453	15 322	169	31 673

Biogaz (méthanisation)

2. Gisement brut

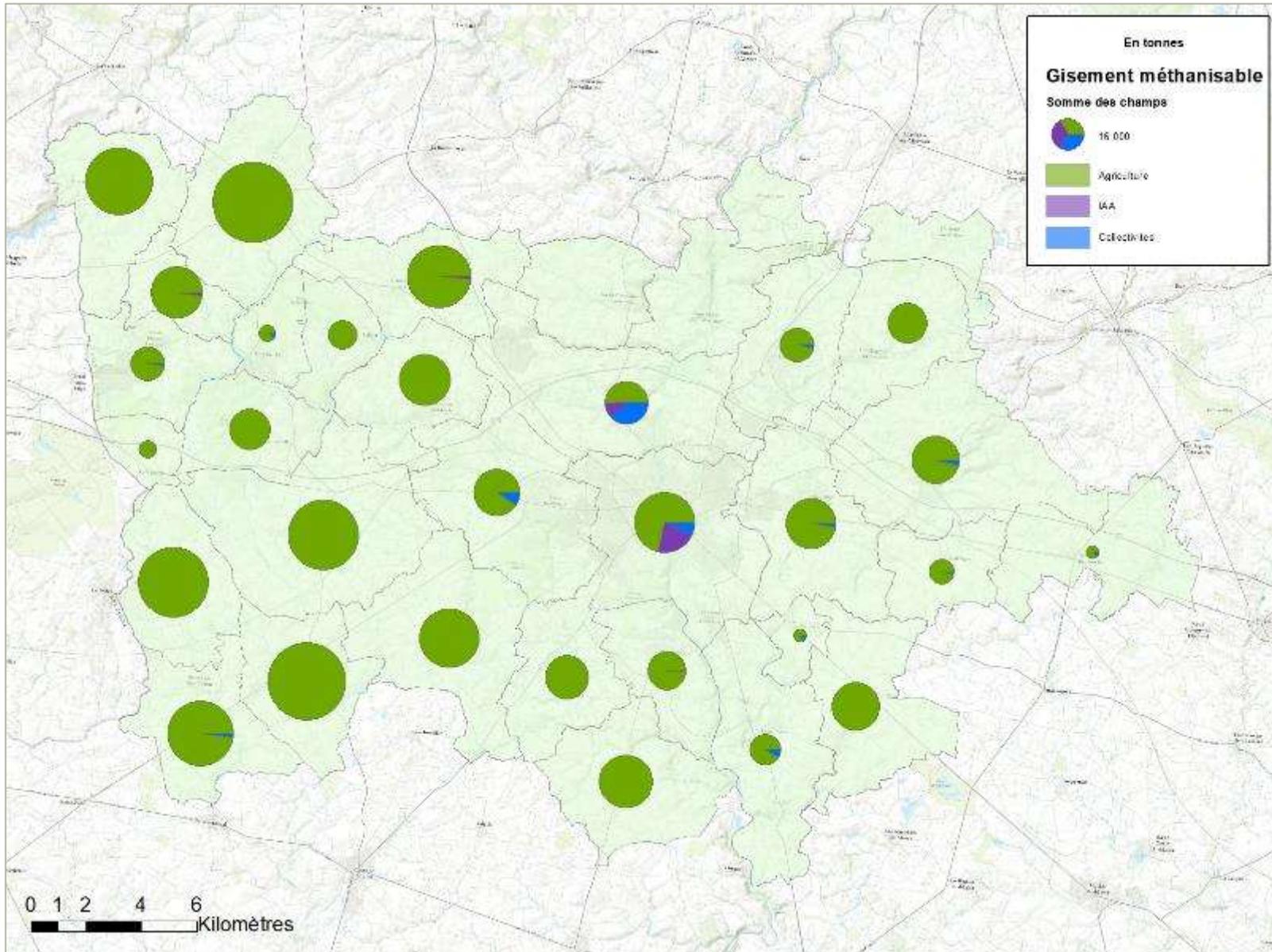
Synthèse des données précédentes par canton :

Synthèse	Gisement Agricole (en tonnes)	IAA (en tonnes)	Collectivité (en tonnes)
Argentré	162 944	0	3 986
Laval-Nord-Est	14 873	3 399	11 191
Laval-Nord-Ouest	13 809	10 712	2 440
Loiron	302 620	0	4 993
Laval-Est	13 827	0	1 263
Laval-Sud-Ouest	13 674	1 465	1 091
Laval-Saint-Nicolas	13 674	0	698
Saint-Berthevin	130 930	0	3 599
Chailland	445 532	2 885	2 412
Laval Agglomération	1 111 885	18 462	31 673

Afin de répartir ces gisements plus finement par commune nous avons utilisé les données suivantes :

- Gisement Agricole réparti grâce aux données Agreste – cheptel et surface agricole utile.
- Gisement Industrie Agroalimentaire réparti grâce aux données sur le nombre d'emploi par commune
- Gisement Collectivité réparti en fonction du nombre d'habitants par commune et la localisation des STEP

Biogaz (méthanisation)



Biogaz (méthanisation)

3. Potentiel net

Afin de passer au potentiel net nous utilisons les hypothèses suivantes :

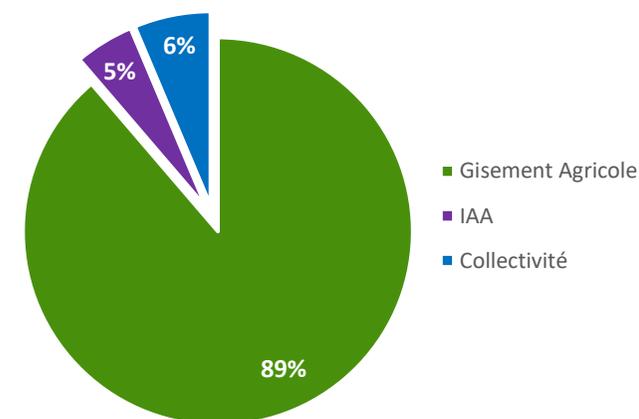
- Pouvoirs méthanogène par type de substrat issus de l'étude *Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation de l'ADEME (Avril 2013)* (détaillés dans les tableaux page suivante) ;
- La part 'mobilisable' correspond à la part mobilisable utilisée dans le projet de Schéma Régional Biomasse. Cil s'agit des parts mobilisable à court/moyen-terme pour chaque type de gisement. C'est selon ces valeurs que les objectifs du projet de SRB ont été fixés (détaillés dans les tableaux page suivante) ;
- Conversion des m^3CH_4 en kWh : $9,95kWh/ m^3CH_4$ [1]

N.B. Tableaux complets présentés dans la page suivante

Synthèse	Gisement Agricole	IAA	Collectivité	TOTAL
Potentiel (m3 CH4)	7 026 786	388 315	501 422	7 916 522 m3 CH4
Potentiel (MWh)	69 917	3 864	4 989	78 769 MWh

Au total il s'agit de **79 GWh** de potentiel net. Ce potentiel est principalement issu du gisement agricole (qui représente 89% du potentiel total).

Répartition du potentiel net - méthanisation



Biogaz (méthanisation)

3. Potentiel net

Tableaux complets potentiel net :

	Bovins		Porcins		Volailles	Caprins	Ovins	Equins	Cultures	TOTAL
	Fumier_B	Lisier_B	Fumier_P	Lisier_P	Fumier_V	Fumier_C	Fumier_O	Fumier_E	Menues_pailles	
Part mobilisable	20%	30%	20%	30%	20%	20%	20%	20%		
Potentiel (m3 CH4/t.)	33,1	16,24	62,2	7,2	140,3	86,4	57,5	116,3	193	
Potentiel (m3 CH4/t.)	3 054 337	1 648 227	266 460	453 735	1 324 606	5 740	25 151	248 530	0	7 026 786
Potentiel (MWh)	30 391	16 400	2 651	4 515	13 180	57	250	2 473	0	69 917

	IAA														TOTAL	
	Céréales grains	Céréales farines	Fruits et légumes Ecart de tri	Lactosérum	Lait eaux blanches	Babeurre	Lait Caille	Graisses	Huiles	Boues liquides	Boues solides et pâteuses	Matières stercoraires	Sang	Déchets de dégrillage		Graisses de flottation
Part mobilisable	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	
Potentiel (m3 CH4/t.)	380,3	330,3	84,5	23	34,5	32,1	35,2	181,5	736,4	7,6	391	37	107,1	16,2	241,5	
Potentiel (m3 CH4/t.)	0	0	0	6 908	113	5 204	83 847	1 544	0	7 240	147 541	10 979	80 292	2 100	42 548	388 315
Potentiel (MWh)	0	0	0	69	1	52	834	15	0	72	1 468	109	799	21	423	3 864

	Collectivités						TOTAL
	Déchets végétaux	FFOM	Résidus de séparateur de graisses	Huiles alimentaires usagées	Boues liquides	Boues solides et pâteuses	
Part mobilisable	25%	25%	25%	25%	25%	25%	
Potentiel (m3 CH4/t.)	81,8	95,1	260,3	736,4	9,6	391	
Potentiel (m3 CH4/t.)	115 332	234 398	15 026	83 373	36 773	16 520	501 422
Potentiel (MWh)	1 148	2 332	150	830	366	164	4 989

Récupération de chaleur fatale

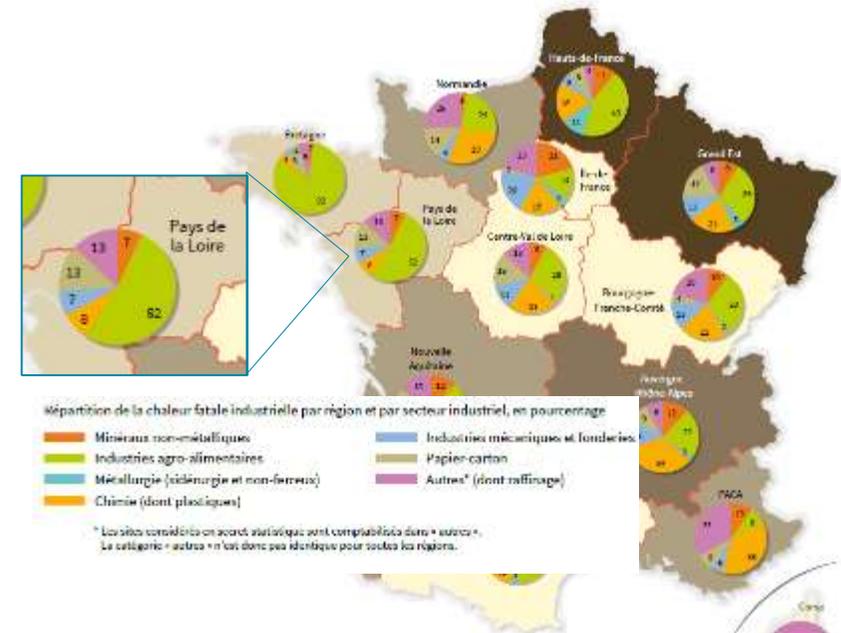


1. Gisement brut

Concernant la récupération de chaleur fatale, des données sont disponibles à l'échelle régionale (voir carte ci-contre). Afin d'estimer le potentiel de récupération de chaleur fatale sur le territoire nous réalisons une extrapolation à partir de ces données. Les ratios utilisés pour extrapoler le potentiel sont basés sur la nombre d'emplois par sous-secteur industriel. Cet indicateur permet d'approximer l'importance d'une activité sur le territoire. Un contrôle de cohérence est réalisé afin de s'assurer que le potentiel total calculé ne dépasse pas environ 36% [1] de la consommation de combustibles chaleur du secteur industriel de Laval, ce qui est vérifié par le résultat obtenu.

Secteurs	Pays de la Loire		Laval		
	Emplois	Potentiel	Emplois	Ratio	Potentiel
Industries alimentaires	56 654	3 431	1266	2%	77
Industrie du papier et du carton	5 237	865	138	3%	23
Métallurgie	3 367	27	136	4%	1
Industrie mécanique et fonderie	28 396	466	3161	11%	52
Chimie (dont plastique)	21 394	532	1035	5%	26
Minéraux non métalliques	5 276	466	307	6%	27
Autres	12 400	865	230	2%	16
TOTAL	132 724	6 650 GWh	6 273	5%	221 GWh

Répartition de la chaleur fatale industrielle par région et par secteur industriel



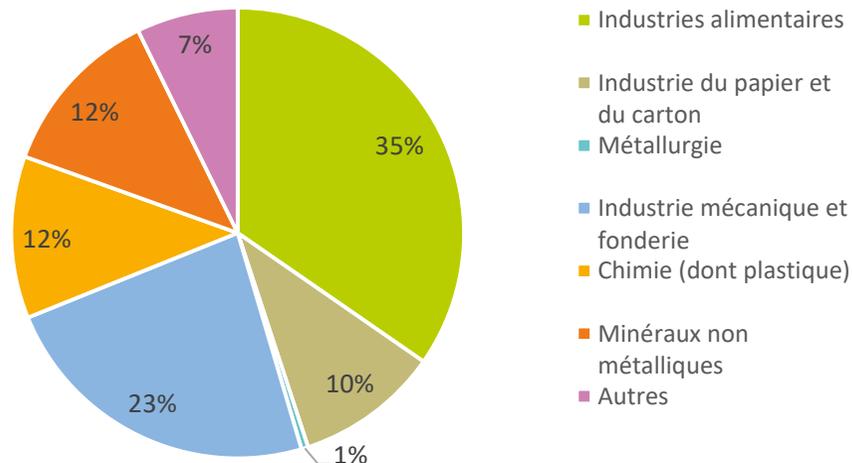
Récupération de chaleur fatale

1. Gisement brut

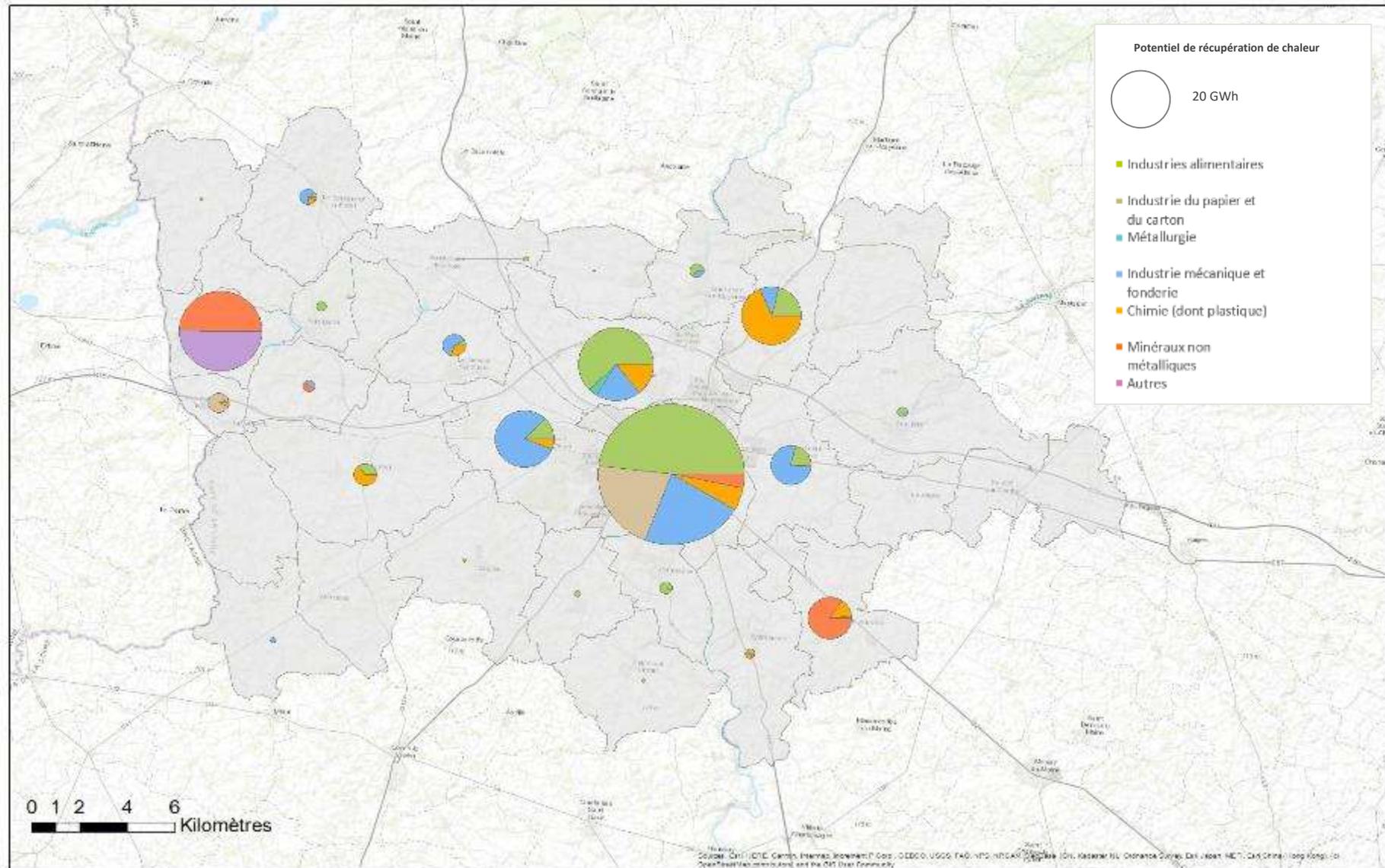
On obtient un gisement global d'environ **200 GWh**. Le sous secteur avec le potentiel le plus élevé est l'industrie alimentaire suivi par la catégorie 'Industrie mécanique et fonderie'.

NB. La cimenterie de Saint Pierre la Cour rentre dans la catégorie 'Autres'

Potentiel récupération de chaleur - Laval Agglo



Récupération de chaleur fatale



Pompes à chaleur – géothermie et aérothermie

1. Description (1/3)

La pompe à chaleur (ou PAC) est un équipement de chauffage thermodynamique à énergie renouvelable. Elle prélève des calories dans une source renouvelable tels que l'air extérieur, l'eau (de nappe ou de mer), la terre, pour la transférer à plus haute température vers un autre milieu (un bâtiment, un local, un logement...). La PAC est une technologie devenue incontournable avec une marge de progression technique et de diffusion importante : elle permet l'exploitation de différents gisements d'énergie renouvelable grâce à ses nombreuses déclinaisons.

On distingue plusieurs types de pompe à chaleur, le premier terme définit l'origine de l'énergie / le deuxième terme définit le type de diffusion possible

Pompe à chaleur air/air = aérothermique : la chaleur est prélevée dans l'air et est transférée directement à l'air du local à chauffer ou à refroidir.

Pompe à chaleur air/eau = aérothermique : La chaleur est prélevée dans l'air et est transférée à un circuit d'eau qui alimentera par exemple un plancher chauffant et/ou rafraîchissant, des radiateurs ventilo-convecteurs ou aérothermes.

Pompe à chaleur eau/eau = géothermique : le système prélève la chaleur dans un circuit d'eau en contact avec un élément qui lui fournira la chaleur (terre, nappe phréatique) pour la transférer à un autre circuit d'eau.

Pompe à chaleur sol/sol = géothermique : La pompe à chaleur sol/sol puise la chaleur dans la terre et la diffuse dans la maison via un plancher chauffant.

Pompe à chaleur sol/eau = géothermique : La pompe à chaleur sol/eau puise la chaleur dans la terre et la diffuse dans un circuit d'eau.

Pour faire fonctionner la « pompe », une source d'énergie est nécessaire. Aussi les PAC consomment-elles de l'électricité ou du gaz. Selon la technologie, la source renouvelable ou les usages de la chaleur, le coefficient de performance de la PAC (le COP) est plus ou moins élevé. Plus le coefficient de performance est élevé, plus la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner la pompe est faible par rapport à la quantité d'énergie renouvelable prélevée au milieu.

Pour donner un exemple, le COP d'une pompe aérothermique sera environ de 3 pour une température extérieure de 7°. Si 1 kWh est acheté, le dispositif restitue 3 fois plus d'énergie. L'environnement a donc fourni gratuitement 2 kWh.

Ce type de rendement va concerner les régions méditerranéennes essentiellement ou les bords de mer. Pour des COP plus performants, il est donc conseillé d'opter pour des dispositifs géothermiques, moins sensibles aux écarts de température. La terre ou l'eau sont en effet d'excellents conservateurs de chaleur.



Pompes à chaleur – géothermie et aérothermie



1. Description (2/3)

La géothermie

Laval Agglomération ne se situe pas sur une zone favorable au développement de la géothermie profonde. Aucune installation de géothermie profonde n'est d'ailleurs recensée sur le territoire. Nous aborderons dans cette étude donc uniquement les pompes à chaleur géothermiques (géothermie de surface).

La pompe à chaleur géothermique comporte un circuit de captage formé de capteurs.

Dans le cas de capteurs horizontaux :

Le circuit est constitué de tubes en boucle, enterrés à faible profondeur entre 0,60 et 1,20 mètre, sur une surface devant représenter entre 1,5 et 2 fois la surface à chauffer. Pour une maison de 150 m², le capteur occupera entre 225 et 300 m² de votre jardin. Pour un chauffe-eau thermodynamique, la surface de capteurs nécessaire est de 25 m² environ.

Dans le cas de capteurs verticaux :

Pour les capteurs verticaux, deux sondes géothermiques d'environ 70 m de profondeur chacune et distantes d'au moins 10 m, peuvent convenir pour chauffer une maison de 150 m² habitables (en fonction de la zone climatique et de l'isolation de la maison). L'emprise au sol est faible par rapport à des capteurs horizontaux mais la réalisation du forage exige un minimum de place et une bonne accessibilité.

Le COP (coefficient de performance) est de l'ordre de 5 sur les modèles de pompe à chaleur géothermiques installés actuellement (cela signifie que pour 1 kWh d'électricité consommée, la maison recevra 5 kWh de chaleur).

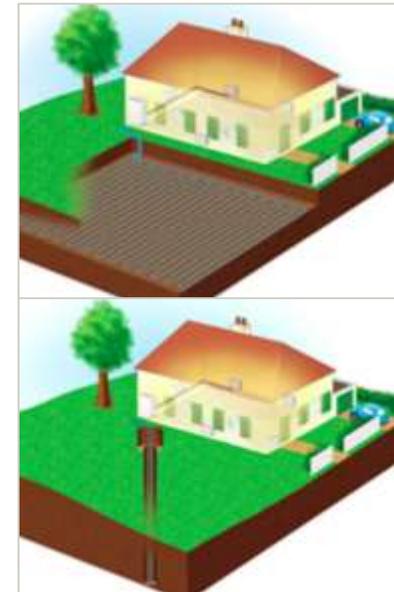


Schéma des différents types de circuit de captage

Pompes à chaleur – géothermie et aérothermie



1. Description (3/3)

Pompes à chaleur et énergie renouvelable

Dans le droit français, la réglementation thermique en vigueur renvoie à la directive européenne 2009/28/CE ainsi qu'à l'article 19 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Sont considérées comme sources d'énergie renouvelable, « *la chaleur d'origine renouvelable, à partir notamment de la biomasse, de la géothermie et de l'énergie solaire, par l'injection de biogaz dans les réseaux de transport et de distribution* », « *La production d'électricité d'origine hydraulique et éolienne* ».

Cette directive précise dans le cas des pompes à chaleur que les pompes à chaleur permettant l'usage de la chaleur (aérothermique, géothermique) à un niveau de température utile ont besoin d'électricité ou d'une autre énergie auxiliaire pour fonctionner. L'énergie utilisée pour faire fonctionner des pompes à chaleur devrait dès lors être décomptée de la chaleur utilisable totale. Seules devraient être prises en compte les pompes à chaleur dont le rendement dépasse significativement l'énergie primaire requise pour leur fonctionnement.

Depuis 2013, de nouvelles directives, règlement CE 626/2011, imposent aux industriels fabricants de PAC d'afficher non plus le COP mais le SCOP (coefficient de performance saisonnier). C'est un indicateur plus précis des performances réelles des systèmes car il prend mieux en compte le fait que le rendement de la pompe à chaleur est relié à la température extérieure. Plus cette dernière est élevée, meilleures sont les performances calorifiques.

Avec cette nouvelle précision, le coefficient de performance saisonnier minimal des pompes à chaleur à entraînement électrique entrant dans le calcul de la part d'énergie renouvelable au sens de la directive européenne est de 2,5. [1]



Sources : [1] Décision n° 2013/114/UE du 01/03/13 établissant les lignes directrices relatives au calcul, par les Etats membres, de la part d'énergie renouvelable produite à partir des pompes à chaleur pour les différentes technologies de pompes à chaleur conformément à l'article 5 de la directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil

Pompes à chaleur – géothermie et aérothermie

2. Gisement brut

Pour estimer le gisement brut pour les pompes à chaleur géothermiques et aérothermiques, nous pouvons considérer que ce potentiel théorique (la production d'énergie maximale qui peut être réalisée) correspond au besoin de chaleur des bâtiments où ces installations peuvent être développées.

En effet pour les **PAC aérothermiques** il est possible d'installer ce type de système sur l'ensemble des logements du territoire (avec très peu de contraintes sur les maisons individuelles par exemple).

En ce qui concerne les **PAC géothermiques**, il n'existe pas de données sur les ressources géothermiques de la région Pays de la Loire. Sur le territoire de Laval Agglomération la géothermie profonde ne présente pas un potentiel intéressant. En revanche, la géothermie de surface, soumise au régime GMI (géothermie de minime importance – moins de 200 m de profondeur) présente un fort intérêt sur le territoire. Il s'agit donc de petites et moyennes installations permettant de chauffer des maisons individuelles, subvenir à une part importante des besoins de chaleur en logement collectif ou d'offrir une source de chaleur renouvelable pour des usages tertiaires. Deux principaux facteurs limitant sont recensés :

- Ce type d'installation nécessite d'avoir une surface disponible (assez faible pour une sonde verticale mais élevée si il est nécessaire d'opter pour un système horizontal) ce qui peut être difficile en milieu dense sur du bâti existant
- Une cartographie réglementaire délimite des zones plus ou moins sensibles, selon la couleur de la zone le processus réglementaire sera plus ou moins exigeant, nécessitant l'avis d'un expert, ou une autorisation préfectorale. Pour la région Pays de la Loire il n'existe pas encore de déclinaison de cette carte à l'échelle régionale. La résolution est donc encore très grossière. La carte régionale devrait voir le jour en 2021 et permettre une meilleure appréhension des zones sensibles. Pour l'instant le territoire de Laval est en zone verte dans son ensemble (cf carte ci-contre) : éligible au régime de la GMI sans besoin de l'avis d'un expert ou d'une décisions instruite par les services de l'Etat. C'est donc une zone propice à ce type d'installations où les contraintes réglementaires sont moindres.



Zones réglementaires géothermie de Minime Importance (GMI) moins de 200 m de profondeur

Pompes à chaleur – géothermie et aérothermie



2. Gisement brut

Compte tenu des contraintes détaillées précédemment nous considérons que le gisement brut pour la production d'énergie correspond au besoin en chaleur de l'ensemble des logements du territoire.

Le potentiel théorique pour la production d'énergie par pompes à chaleur dans les logements est donc d'environ **660 GWh** sur le territoire de Laval Agglo. Ce besoin est issu des données Basemis pour le secteur résidentiel.

A cela il est possible d'ajouter les besoins en chaleur des bâtiments tertiaire avec un besoin important en chaleur (cf. calcul détaillé dans la partie solaire thermique).

Sur l'ensemble de l'agglomération, le gisement sur le tertiaire est de l'ordre de **45 GWh** dont les 2/3 se trouvent sur les bâtiments et équipements de la ville de Laval.

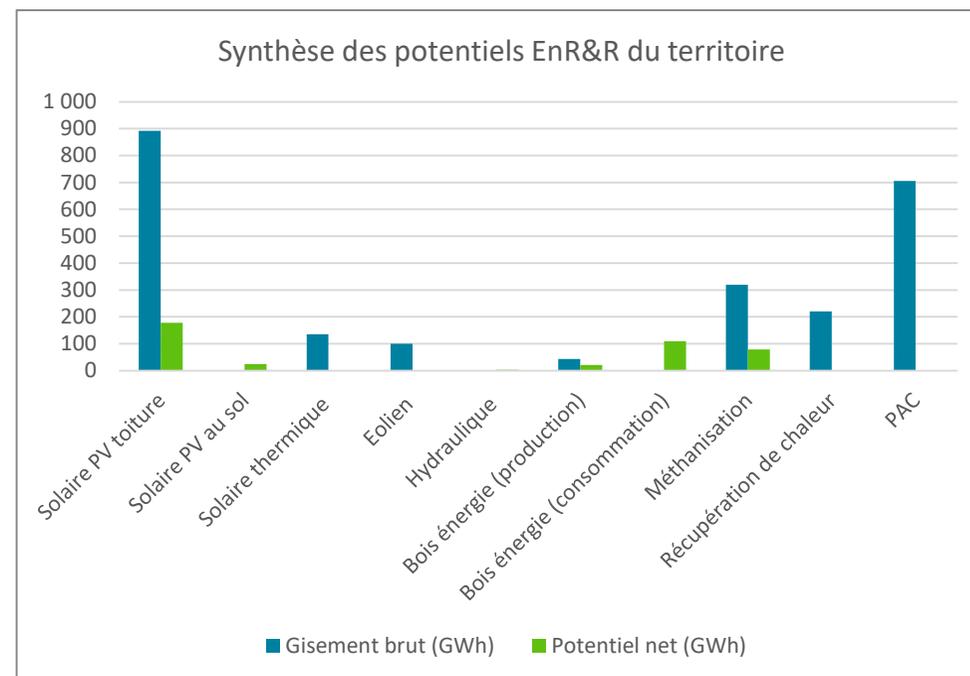
III. Synthèse



Synthèse

Tableau récapitulatif

	Gisement brut (GWh)	Potentiel net (GWh)
Solaire PV toiture	892	141
Solaire PV au sol	-	25
Solaire thermique	103	
Eolien		89
Hydraulique	-	3
Bois énergie (production)	43	21
Bois énergie (consommation)		109
Méthanisation	320	79
Récupération de chaleur	221	
Pompes à chaleur (PAC)	705	



Ces potentiels ne peuvent pas être simplement additionnés. En effet, pour le bois énergie par exemple deux calculs sont présentés (approche par la ressource ou par le besoin) et les valeurs n'ont pas vocation à être sommées l'une à l'autre. De plus, pour les sources de chaleur renouvelable telles que le solaire thermique, les pompes à chaleurs et le bois énergie, le potentiel prend en compte le besoin de chaleur (chauffage et ECS) dans l'ensemble des logements du territoire ou dans le bâti tertiaire. Il faut considérer que ce besoin peut être rempli par chacune de ces sources d'énergie avec une certaine répartition entre ces différentes filières.

Synthèse



Potentiels : Sources de données

Le tableau suivant récapitule les sources des données utilisées pour le calcul de potentiels de développement des énergies renouvelables et de récupération sur le territoire.

Production d'énergie actuelle – données d'entrée

Filière	Sources des données	Fiabilité
Solaire PV	PVGIS, Données SIG Laval, Données INSEE, Recensement de sites propices pour le PV au Sol DDT	
Solaire thermique	PVGIS, Données INSEE	
Hydraulique	SAGE bassin de la Mayenne, référentiel des obstacles à l'écoulement ROE	
Eolien	Global Wind Atlas, Données SIG bâti Laval, SIGLoire, Données de la ferme éolienne Quelaines-Saint-Gault	
Biomasse (dont bois énergie)	Données et estimations Atlanbois	
Biogaz (méthanisation)	Données étude départementale (2014), répartition communale grâce aux données Agreste et INSEE	
Géothermie	Géothermies.fr, BRGM , Données Basemis sur le besoin en chaleur	
Valorisation énergétique des déchets et énergie de récupération	Extrapolation de données régionales étude ADEME <i>La chaleur fatale</i> rapport 2017, données INSEE emplois par filière	

► Annexes



- Focus sur la ZAC Ferrié : potentiel ENR
- Fiches de la DREAL sur les sites pour le photovoltaïque au sol

Focus sur la ZAC Ferrié



Estimation des potentiels ENR

Propriétaire et catégorie bâtiment	Estimation PV MWh	Estimation chauffage ENR - MWh	Estimation panneaux solaires thermiques pour eau chaude sanitaire (ECS) - MWh	Estimation production panneaux PV restante* MWh
BAIL. SOC	58	226	90	26
<i>Dont Logements collectifs</i>	58	226	90	26
PRIVE	2098	5516	1036	1723
<i>Dont commerces</i>	85	297	0	85
<i>Dont logements indiv.</i>	603	250	100	567
<i>Dont logements interm.</i>	65	54	22	57
<i>Dont logements collectifs</i>	590	2287	915	260
<i>Dont tertiaire</i>	754	2627	0	754
PUBLIC	1083	1845	150	1029
<i>Dont commerces</i>	22	75	0	22
<i>Dont EHPAD</i>	215	750	150	161
<i>Dont équipement</i>	482	0	0	482
<i>Dont parking</i>	72	0	0	72
<i>Dont tertiaire</i>	293	1020	0	293
SEM	123	430	0	123
<i>Dont tertiaire</i>	123	430	0	123
Total général	3363	8016	1277	2901



*si une partie de la surface des toits est consacrée aux panneaux solaires thermiques ECS
Voir hypothèses de calcul page suivante

Focus sur la ZAC Ferrié



Estimation des potentiels ENR

A partir des plans de la ZAC et des surfaces de plancher des différents îlots programmés (données fournies par Laval Mayenne Aménagement), il est possible d'estimer grossièrement :

- Les surfaces de toitures et la production photovoltaïque qui en résulterait dans le cas d'une couverture totale des toits
 - Les besoins de chauffage donc la production potentielle de chaleur renouvelable dans le cas d'une couverture à 100% des besoins de chauffage par une source d'énergie renouvelable (pompe à chaleur, réseau de chaleur ENR, bois...)
 - Les besoins en eau chaude sanitaire (ECS) et la production issue du solaire thermique qui en résulterait dans le cas de la couverture de ces besoins par des panneaux solaires thermiques.
 - Dans le cas de la « cohabitation » entre panneaux photovoltaïques et solaires thermiques, la production photovoltaïque en serait amoindrie – le calcul a été réalisé à partir de la surface potentiellement utilisée par les panneaux solaires thermiques.
- Les potentiels les plus importants sont sur le bâti privé (logements individuels, collectifs et tertiaires) ainsi que sur les îlots publics (équipement, tertiaire et EHPAD).
- A noter que par leur surface importante de chauffe importante, l'EHPAD et les logements collectifs sont particulièrement pertinents pour développer un mode de chauffage renouvelable. L'EHPAD peut aussi être modèle sur une production d'eau chaude sanitaire, d'autant plus que sa consommation est importante.
- Les toits sont des potentiels importants pour la production photovoltaïque ; le potentiel max estimé s'élevant à 3 GWh.

NB : ces calculs ont été fait avec de nombreuses hypothèses dans le but d'une 1^{ère} estimation du potentiel ENR de la ZAC ; des études de faisabilité par îlot doivent venir préciser ces potentiels.

Hypothèses production PV : Hypothèses : toits plats permettant une orientation optimale des panneaux vers le sud ; irradiation locale 1412 kWh/m² ; rendement panneaux 16% ; rendement installation 80%.

Hypothèses surface moyenne de toiture = 7% de la surface au plancher pour logement collectif ; 16% pour commerces, EHPAD, bâti public, tertiaire et parking ; 33% pour équipements et logements intermédiaires ; 67% pour individuel.

Hypothèses besoins de chauffage : 50 kWh/m² en moyenne pour les logements et bâtiment publics et 100 kWh/m² pour les bâtiments tertiaires, EHPAD et commerces.





Photovoltaïque sites propices repérés 01353130

avis : verif

- LAVAL (53130) 013
- LAVAL, COMMUNE DE / USINE DE TRAITEMENT DES ORDURES MENAGERES
- Zone industrielle TOUCHES (des)

- Site repéré
- PCI parcelle
- RPG

cc_site ut_seso l_ruse
 Activité terminée http://basias.brgm.fr/fiche_synthetique.asp?ID7=FA530174601353130

code1	code2	com01	avs_geo	sur_aval	d_rues
DECHARGE DECHET	02 decharge dechet casse	localisation	verif	2,3	01353130



Photovoltaïque sites propices repérés 00853094

avis : verif

- ENTRAMMES (53094) 008
- carrières nord-ouest

- Site repéré
- PCI parcelle
- RPG

cc_site ut_seso l_ruse
 00853094

code1	code2	com01	avs_geo	sur_aval	d_rues
		localisation	verif		00853094

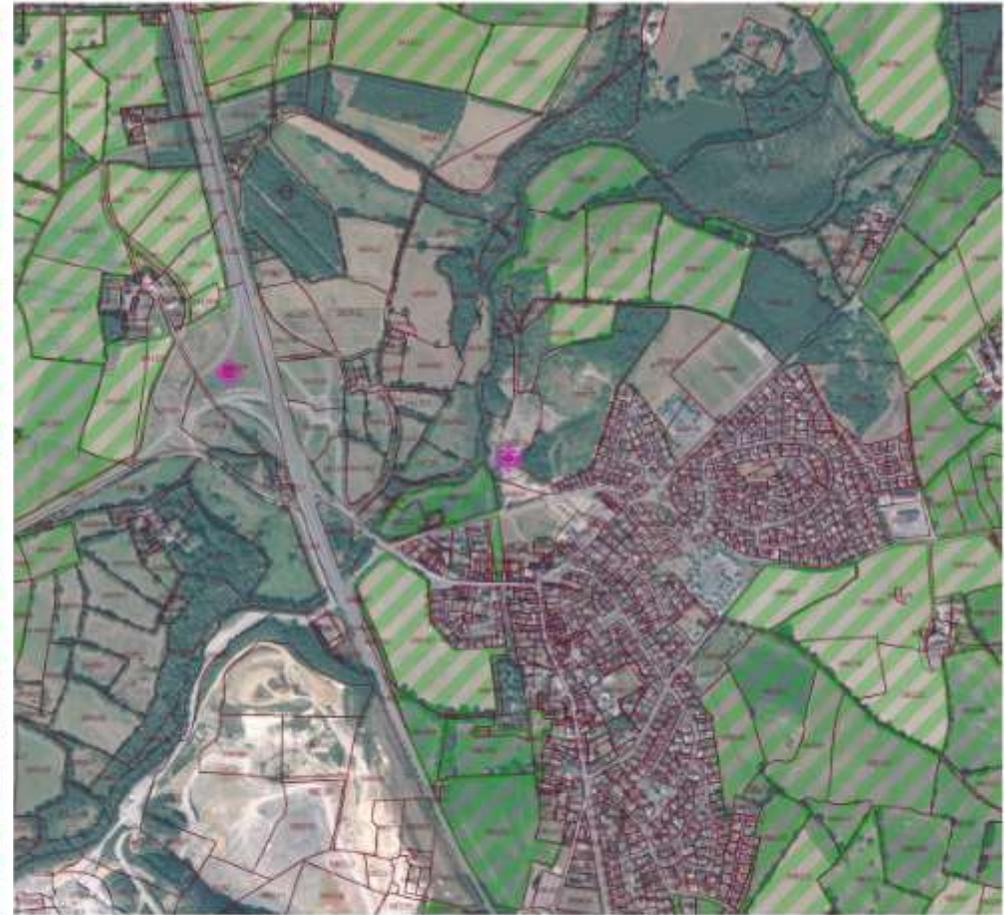


0 1 2 3 4 5 100m

Sources : BDORTHO/DIGN/ DDT 53 /BASIAS/SIGLOIRE

Date : 10/04/2018

Service/Unité : MT/GEO



0 1 2 3 4 5 100m

Sources : BDORTHO/DIGN/ DDT 53 /BASIAS/SIGLOIRE

Date : 10/04/2018

Service/Unité : MT/GEO


Photovoltaïque sites propices repérés 00353054

avis : oui

- CHANGE (53054) 003

- SECHE ENVIRONNEMENT

- Lieu dit HETRES (les)

Site repéré



code1	code2	serv01	avis_geo	sur_eval	d_insee
GARAGE	01	garage mecanique station-service	verif surface	oui	2

code1	code2	serv01	avis_geo	sur_eval	d_insee
GARAGE	01	garage mecanique station-service	verif surface	oui	2


Photovoltaïque sites propices repérés 00853094

avis : verif

- ENTRAMMES (53094) 008

- carrières nord-ouest

Site repéré



code1	code2	serv01	avis_geo	sur_eval	d_insee
		localisation	verif		00853094

code1	code2	serv01	avis_geo	sur_eval	d_insee
		localisation	verif		00853094



0 1 2 3 4 5 100m

Sources : BDORTHO(IGN) DDT 53 /BASIAS/SIGLOIRE

Date : 10/04/2018

Service/Unité : MT/GEO



0 1 2 3 4 5 100m

Sources : BDORTHO(IGN) DDT 53 /BASIAS/SIGLOIRE

Date : 10/04/2018

Service/Unité : MT/GEO


Photovoltaïque sites propices repérés 03153094

avis : verif

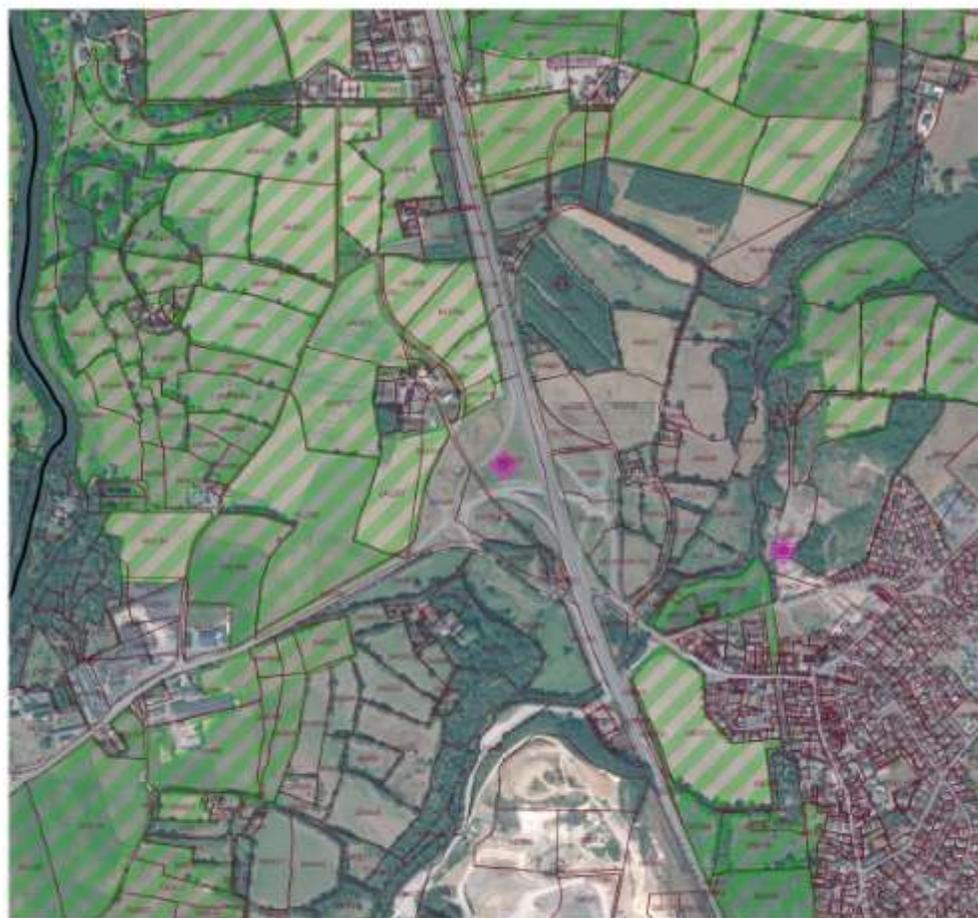
- ENTRAMMES (53094) 031
- délaissé routier échangeur n162/d910

bis_jan

- Site repéré
- PCI parcelle
- RPG

 doc_situa_base_d_l_insee
 03153094

code1	code2	serv01	avis_gro	sur_eval	d_insee
		verif terrain cf 006	verif	1	03153094



0 1 2 3 4 5 100m

Sources : BDORTHO@IGN/ DDT 53/BASIAS/SIGLOIRE

Date : 10/04/2018

Service/Unité : MT/GED

Direction Départementale des Territoires de la Mayenne - Cité administrative - Rue Mac Donald BP 23009 - 53063 Laval cedex 09


Photovoltaïque sites propices repérés b4553140

avis : verif

- LOUVERNE (53140) b40
- COMPAGNIE FRANCAISE DES FERRAILLES / DEPOT DE FERRAILLES
- Gare LOUVERNE (de)

bis_200

- Site repéré
- PCI parcelle
- RPG

 doc_situa_base_d_l_insee
 Activité terminée http://basias.brgm.fr/fiche_synthetique.asp?IDT=PNL53003262b4553140

code1	code2	serv01	avis_gro	sur_eval	d_insee
		DEPOT FERRAILLES 02 decharge dechet casse	verif	1,6	b4553140



0 1 2 3 4 5 100m

Sources : BDORTHO@IGN/ DDT 53/BASIAS/SIGLOIRE

Date : 10/04/2018

Service/Unité : MT/GED



Photovoltaïque sites propices repérés 02953103

avis : oui

- LE GENEST-SAINT-ISLE (53103) 029

- PRODUITS CHIMIQUES DE LA LUCETTE / EXTRACTION TRAITEMENT ET FONDERIE D'ANTIMOINE. TRAVAIL DE MATIERES PLASTIQUES

- Zone industrielle VALLEE VERTE (de la)

Site_053

Site repéré

PCI parcelle

RPG

BASOL

● d_basol_p_053

code1 code2 code3 code4 code5
 En activité http://basias.brgm.fr/fiche_synthetique.asp?DDT=PA530000202953103

code1	code2	code3	code4	code5	code6	code7	code8	code9	code10
FONDERIE FORGE	07	activite fonderie forge soerie tannerie	verif PCI	AA0027, AA0030	oui	2.5	02953103		



0 1 2 3 4 500m

Sources : BDORTHO/EIGM/ DDT 53 /BASIAS/SIGLOIRE

Service/Unité : MT/GEO

Date : 10/04/2018