



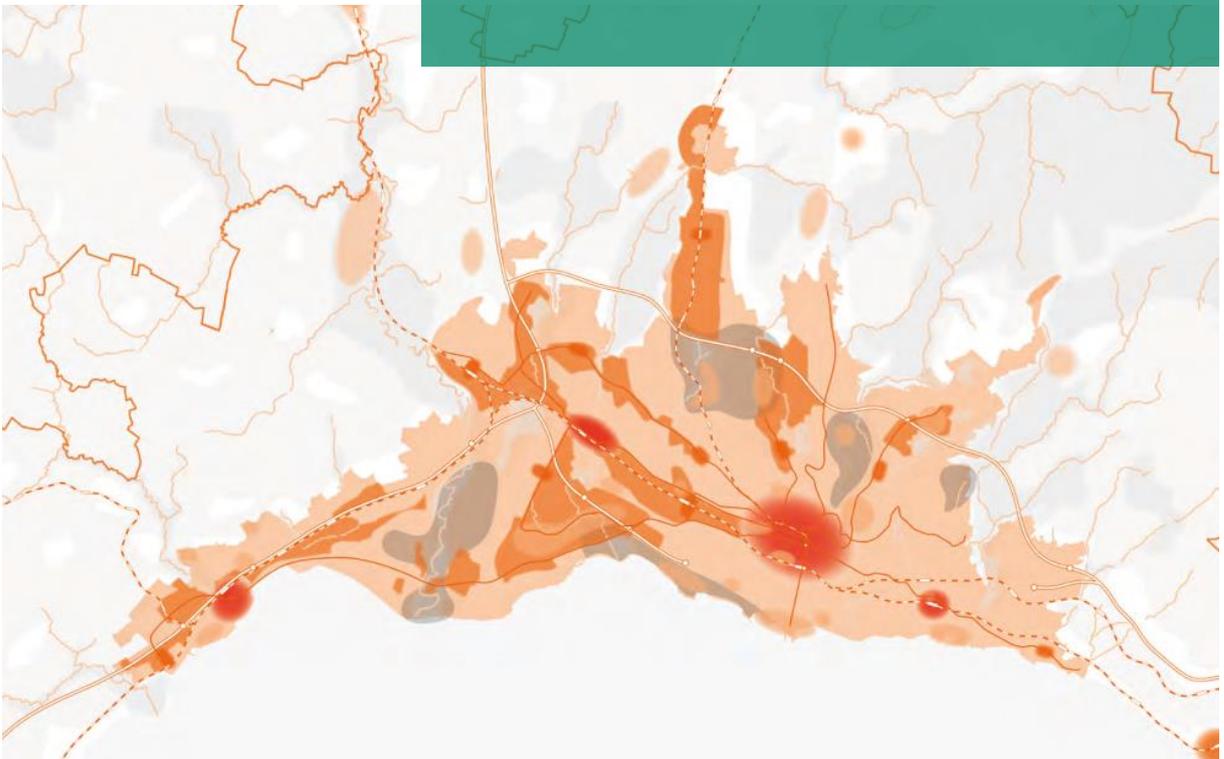
DGE - Direction de l'énergie de
l'Etat de Vaud



PLANIFICATION ENERGETIQUE DU PROJET
D'AGGLOMERATION LAUSANNE-MORGES

VOLET 1 :

DIAGNOSTIC ENERGETIQUE
DU TERRITOIRE



Source: PALM 2016

VERSION	Version finale
DATE	12 mai 2022
ELABORATION	Alexandre Epp
COLLABORATION	Céline Weber (Focus-E), DGE-DIREN

TABLE DES MATIERES

	Page
1. Introduction	3
1.1 Contexte	3
1.2 Stratégies existantes	4
1.2.1 Stratégies fédérale et cantonale	5
1.2.2 Stratégies énergétiques communales et intercommunales	7
1.3 Acteurs concernés par la planification énergétique du PALM	8
1.4 Principales opportunités et contraintes	10
1.4.1 Opportunités liées à l'aménagement du territoire	10
1.4.2 Contraintes liées aux sites protégés	11
1.4.3 Contraintes économiques	12
1.4.4 Opportunités liées aux aides financières	12
1.5 Méthodologie et gestion des données	13
2. Besoins énergétiques du territoire	13
2.1 Besoins énergétiques liés au parc bâti	15
2.1.1 Besoins en énergie thermique	15
2.1.2 Consommation d'énergie électrique	19
2.2 Besoins énergétiques liés aux activités	21
2.2.1 Besoins en énergie thermique des grands consommateurs	22
2.2.2 Besoins en énergie électrique des grands consommateurs	23
2.3 Besoins énergétiques et émissions de CO ₂ liés à la mobilité	24
2.3.1 Sources de données et approches pour mesurer les impacts de la mobilité	24
2.3.2 Approche 1 : plan des charges de trafic	24
2.3.3 Approche 2 : Données des entreprises de transports publics	27
2.3.4 Approches 3 et 4 basées sur les distances parcourues par personne	29
2.3.5 Réduction potentielle des impacts liée au transfert modal et aux véhicules électriques	34
2.3.6 Principales conclusions sur la mobilité	39
3. Ressources locales	40
3.1 Ressources thermiques	40
3.1.1 Bois	40
3.1.2 Biogaz	43
3.1.3 Chaleur des eaux usées	47
3.1.4 Rejets thermiques	48
3.1.5 Eau du lac	49
3.1.6 Géothermie de moyenne profondeur (entre 500m et 3'000m)	51
3.1.7 Géothermie faible profondeur (< 500m)	52
3.1.8 Nappes superficielles	53
3.1.9 Air ambiant	54
3.1.10 Solaire thermique	55
3.2 Ressources électriques	56
3.2.1 Solaire photovoltaïque	56

3.2.2	Hydroélectricité	60
3.2.3	Energie éolienne	61
4.	Réseaux énergétiques	62
4.1	Réseaux thermiques	62
4.2	Réseaux de gaz	63
5.	Bilan en énergie finale	64
5.1	Chaleur	64
5.2	Électricité	66
5.3	Mobilité	68
5.4	Comparaison avec les objectifs de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération et les objectifs de la Conception cantonale de l'énergie	69
6.	Bilan en énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre	71
7.	Enjeux	73
8.	Annexes	74

1. Introduction

1.1 Contexte

La planification énergétique territoriale est une étude prévue dans le Projet d'agglomération Lausanne-Morges (PALM) de 3e génération (volume A, Chapitre 3.6.6. : énergie ; étude : réaliser une planification énergétique à l'échelle de l'agglomération). Ses résultats seront intégrés au PALM 2025. Cette planification comprend un **document de synthèse** ainsi que les trois volets ci-dessous. Le contexte de l'étude, sa portée, la structure de projet et les objectifs visés, sont détaillés dans le document de synthèse.

- **Le diagnostic énergétique du territoire (volet 1)**, comprenant une analyse des besoins énergétiques du parc bâti et de la mobilité (chapitre 2), des ressources (chapitre 3), ainsi que des infrastructures énergétiques existantes (chapitre 4). Il se termine par un bilan énergétique et des émissions de CO₂ à l'échelle de l'agglomération (chapitres 5 et 6) et les enjeux (chapitre 0).
- **La stratégie énergétique territoriale (volet 2)**, soit l'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement en énergie et de réduction de la consommation d'énergie ainsi que des émissions de CO₂ induites, pour l'agglomération. Cette stratégie tiendra compte des éléments identifiés lors de la phase 1 et des orientations choisies par les acteurs du territoire.
- **L'élaboration d'un plan de mesures (volet 3)** ayant pour but de guider la mise en œuvre de la stratégie énergétique territoriale. Ces mesures seront identifiées sur la base de la stratégie énergétique territoriale et concerneront des acteurs et des modes de mise œuvre à différentes échelles.

Pour le diagnostic énergétique du territoire, le périmètre d'étude comprend les communes appartenant aux schémas directeurs du PALM et les communes contenant le site stratégique cantonal du Littoral Parc, lequel représente une consommation d'énergie importante. Outre la commune de St-Prex, qui fait partie du schéma directeur Région Morges (SDRM), ce site stratégique se situe sur les communes d'Aubonne, Etoy et Allaman. Le périmètre du diagnostic énergétique regroupe 38 communes. Pour la stratégie énergétique et le plan de mesures, le périmètre est restreint aux communes du périmètre compact.

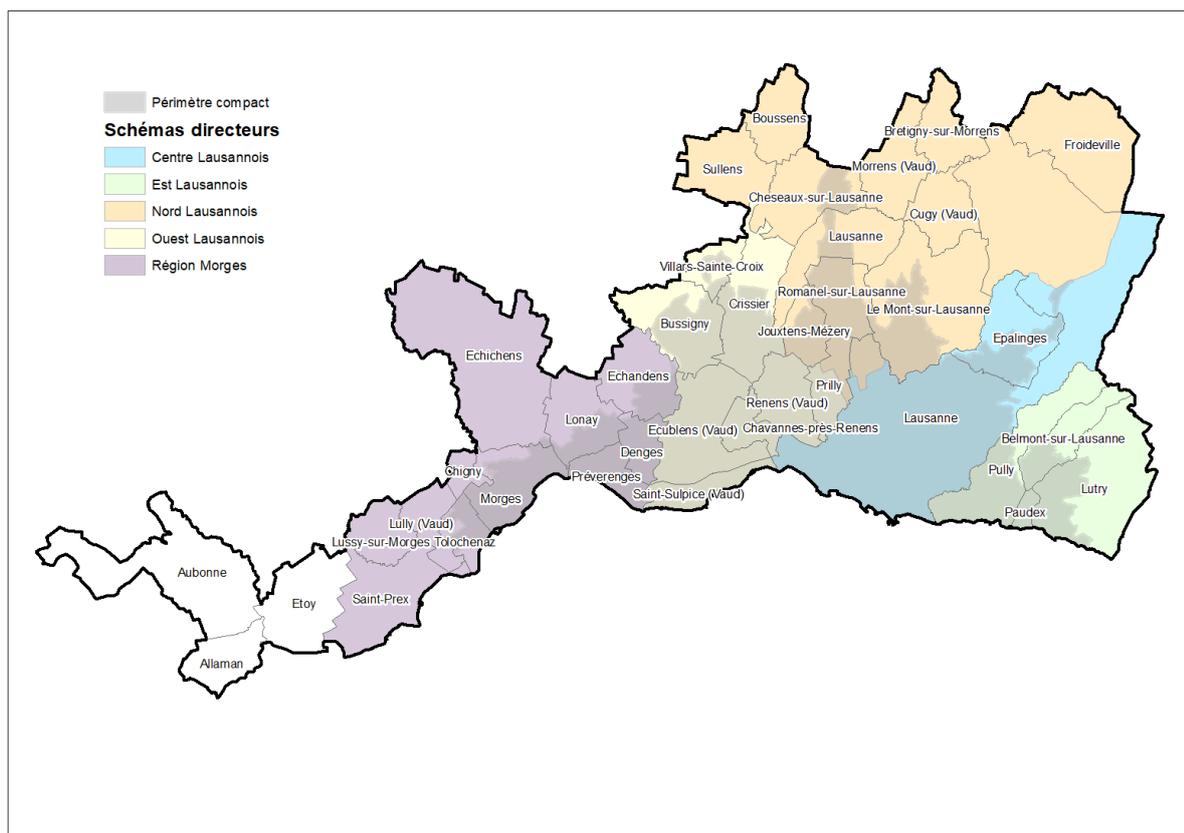


Figure 1: Périmètre d'étude du diagnostic énergétique, comprenant les communes des schémas directeurs et les communes du site stratégique cantonal Littoral Parc (Etoy, Allaman et Aubonne)

Les données suivantes sur ces périmètres montrent que l'agglomération Lausanne-Morges représente une part considérable de la population et des emplois du Canton, avec plus d'un tiers de la population et environ la moitié des emplois pour le périmètre compact.

	PERIMETRE POUR LE DIAGNOSTIC	PERIMETRE COMPACT
Nombre de communes	38	26
Population	326'434	294'000
Part cantonale de la population	41%	37%
Nombre d'équivalents plein temps (ETP)	185'481	176'953
Part des ETP cantonaux	53%	51%

Tableau 1: Données générales. Statistiques de population : valeurs 2017 (source: OFS). Statistiques emplois: valeurs 2015 (source: État de Vaud)

1.2 Stratégies existantes

Plusieurs documents stratégiques, établis au niveau fédéral et cantonal servent de base pour la conception et la mise en œuvre de la stratégie énergétique territoriale du PALM. De plus, les planifications énergétiques communales et intercommunales viendront alimenter cette stratégie énergétique.

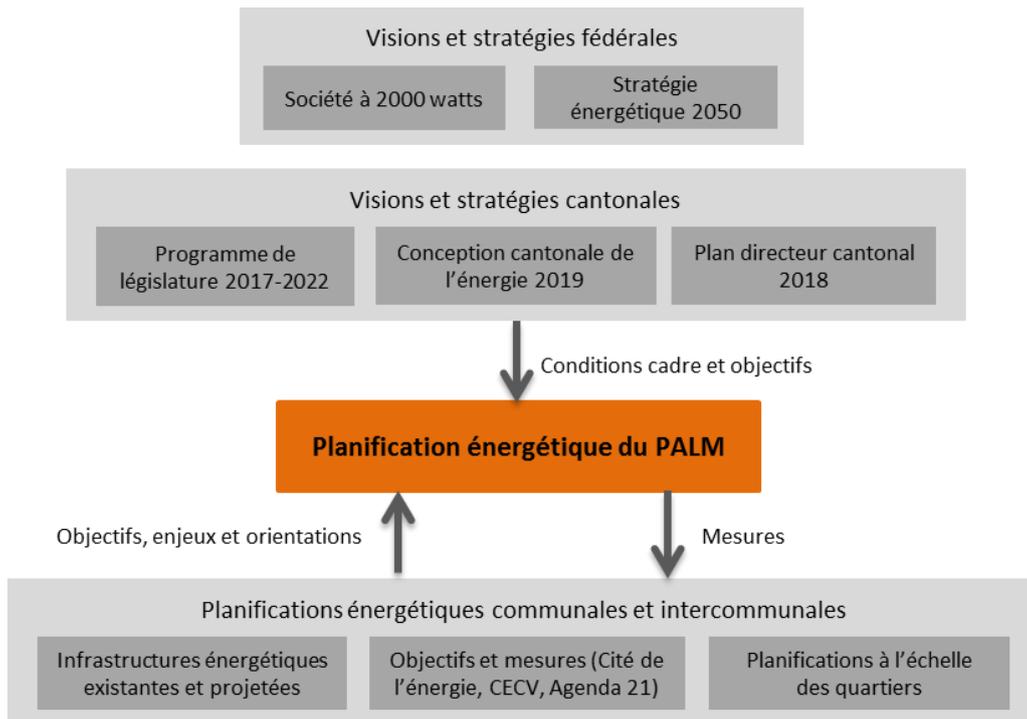


Figure 2: Coordination entre la planification énergétique du PALM et les stratégies existantes (source : étude de cadrage)

1.2.1 Stratégies fédérale et cantonale

Les objectifs contenus dans les documents stratégiques au niveau fédéral et cantonal sont résumés dans le Tableau 2.

DOCUMENT STRATEGIQUE	STRATEGIE ET OBJECTIFS VISES
Stratégie énergétique 2050	<p>Stratégie énergétique élaborée par la Confédération visant à améliorer la situation énergétique nationale à l'horizon 2050. Les objectifs généraux de cette stratégie sont les suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Par rapport à l'année 2000 qui est l'année de référence, d'ici à 2035 la consommation annuelle d'énergies finales doit diminuer de 43% par personne et la consommation d'électricité de 13%. D'ici 2050, il faut tendre à réduire la consommation annuelle d'énergie finale de 54% par personne et la consommation d'électricité de 18%. • Il faut que la production d'électricité générée par de nouvelles énergies renouvelables, notamment le vent, l'énergie solaire, la biomasse et la géothermie, augmente à 15 TWh d'ici à 2035 et à 24 TWh jusqu'à 2050.
Programme de législation 2017-2022	<p>Programme de mesures et d'actions destinées à répondre au mieux aux défis auxquels le canton de Vaud fera face durant la période concernée.</p> <p>Les principaux éléments de ce programme concernant la présente stratégie énergétique territoriale sont les suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mesure 1.13: Mettre en œuvre une politique environnementale cohérente : développer la stratégie énergétique 2050. Élaborer une politique climatique cantonale cohérente par rapport aux lignes directrices fédérales et internationales. Gérer de manière durable les ressources naturelles, minérales et forestières du canton, en particulier la biodiversité, et en maintenant l'attractivité et la qualité du paysage naturel. • Objectifs 2: Action contre le réchauffement climatique, promotion des énergies renouvelables et des transports publics. Il s'agit de faire converger les politiques publiques, programmes et projets vers les objectifs de la « société à 2000 watts » en agissant particulièrement sur l'aménagement du territoire, les constructions, la mobilité, l'efficacité énergétique, la consommation et le recours accru aux énergies renouvelables. Au niveau quantitatif, les objectifs fixés pour l'année 2035 sont 2.3 millions de tonnes d'émissions de CO2 et une part de 35% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie.
Plan directeur cantonal	<p>La 4^e version du Plan directeur cantonal (PDCn) a été approuvée le 31 janvier 2018. Le principal volet concernant la présente stratégie énergétique est le chapitre F5: favoriser les ressources renouvelables et indigènes. La mesure F51 inscrite dans le PDCn consiste à favoriser une utilisation rationnelle et économe de l'énergie et promouvoir le recours aux énergies renouvelables et indigènes, pour mieux diminuer la dépendance face aux énergies fossiles et aux fluctuations des marchés mondiaux. Le PDCn contient notamment la stratégie cantonale pour l'énergie éolienne.</p>
Plan climat vaudois – 1^{ère} génération	<p>Les objectifs du Plan climat s'articulent autour de trois axes stratégiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction: réduire de 50% à 60 % les émissions de gaz à effet de serre (GES) du territoire cantonal d'ici 2030 et de viser la neutralité carbone au plus tard en 2050. • Adaptation: limiter les risques et adapter les systèmes naturels et humains. • Documentation: documenter les effets des mesures prises et l'impact des changements climatiques sur le territoire. <p>Il se déploie sur 7 domaines d'action thématiques : la mobilité, l'énergie, l'agriculture, l'aménagement du territoire, les milieux et ressources naturels, la santé, les dangers naturels. Pour mener à bien une politique climatique forte et instaurer une véritable dynamique à toutes les échelles, 3 domaines d'action transverses complètent le Plan : le rôle de l'État (exemplarité en tant qu'employeur, propriétaire et partenaire), les conditions cadres (réglementaires, financières et gouvernance) et l'accompagnement au changement (information, sensibilisation, formation).</p> <p>En tout, ce sont plus d'une centaine de mesures opérationnelles regroupées en 30 mesures stratégiques qui constituent la première génération du Plan climat vaudois.</p>
Conception cantonale de l'énergie (CoCEn 2019)	<p>La CoCEn est un document stratégique du Conseil d'Etat visant à définir, pour le Canton de Vaud, la vision à long terme, les objectifs et les champs d'actions prioritaires à engager pour répondre aux défis posés par la transition énergétique et la sécurité</p>

	<p>d'approvisionnement énergétique. Il reprend les objectifs de la stratégie énergétique fédérale 2050, l'accord de Paris de 2015. La CoCEn est à la base du volet énergétique et climatique du Programme de législature 2017-2022.</p> <p>La vision définie par la CoCEn est exprimée ainsi : « Grâce à la mobilisation de tous les acteurs, à la mise en œuvre de conditions cadres propices, et à l'exemplarité, le Canton de Vaud garantit sur tout son territoire un approvisionnement sûr en énergie entièrement locale et renouvelable, respectant l'environnement et les objectifs climatiques. »</p> <p>Ses trois axes stratégiques sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'amélioration de l'efficacité énergétique, technique et comportementale, • le développement des ressources énergétiques locales et renouvelables, toute l'année. • la sécurité d'approvisionnement par l'adaptation des systèmes et infrastructures énergétiques. <p>L'objectif principal formulé par la CoCEn est d'atteindre 35% d'énergie locale et renouvelable dans la consommation d'énergie finale en 2030 en diminuant la consommation d'énergie finale et en augmentant la production d'énergie renouvelable vaudoise (les objectifs 2035 ont été avancés à 2030 suite au Plan Climat Vaudois). Ces objectifs sont soutenus par des objectifs stratégiques sectoriels, dans les domaines de la consommation, de la production et des infrastructures.</p>
--	---

Tableau 2: Principaux documents stratégiques au niveau fédéral et cantonal

1.2.2 Stratégies énergétiques communales et intercommunales

Sur le territoire du PALM, un grand nombre de communes disposent déjà de documents stratégiques concernant leur approvisionnement en énergie :

- Planifications énergétiques communales: elles définissent les stratégies d'approvisionnement en énergie adoptées par les communes, de manière spatialisée. Elles serviront donc de base pour l'élaboration de la stratégie énergétique à l'échelle de l'agglomération. Sur le périmètre du diagnostic, 8 communes ont déjà établi une planification énergétique et 6 communes ont une planification en cours d'élaboration.
- Plans directeurs communaux contenant un chapitre énergie, lequel définit la stratégie énergétique au même titre que la planification énergétique communale. Le chapitre énergie est généralement issu d'une planification énergétique territoriale. Par le fait que les plans directeurs sont approuvés par les autorités et servent de référence pour les plans d'affectation, cela donne une reconnaissance légale à la planification énergétique communale.
- Politiques énergétiques communales : Cité de l'énergie, Concept énergétique des communes vaudoises (CECV), Convention des Maires, Plan Energie et Climat Communal (PECC). Ces différents programmes de politique énergétique fixent des objectifs énergétiques ainsi que des mesures de mise en œuvre. Sur le périmètre du diagnostic, 11 communes sont labellisées Cité de l'énergie, 8 communes se sont engagées dans une démarche PECC et 2 ont adopté la Convention des Maires (situation en avril 2022).
- Planifications énergétiques réalisées dans le cadre de plans d'affectation.

Ces planifications énergétiques et ces politiques énergétiques communales seront prises en compte dans l'élaboration de la stratégie énergétique à l'échelle de l'agglomération.

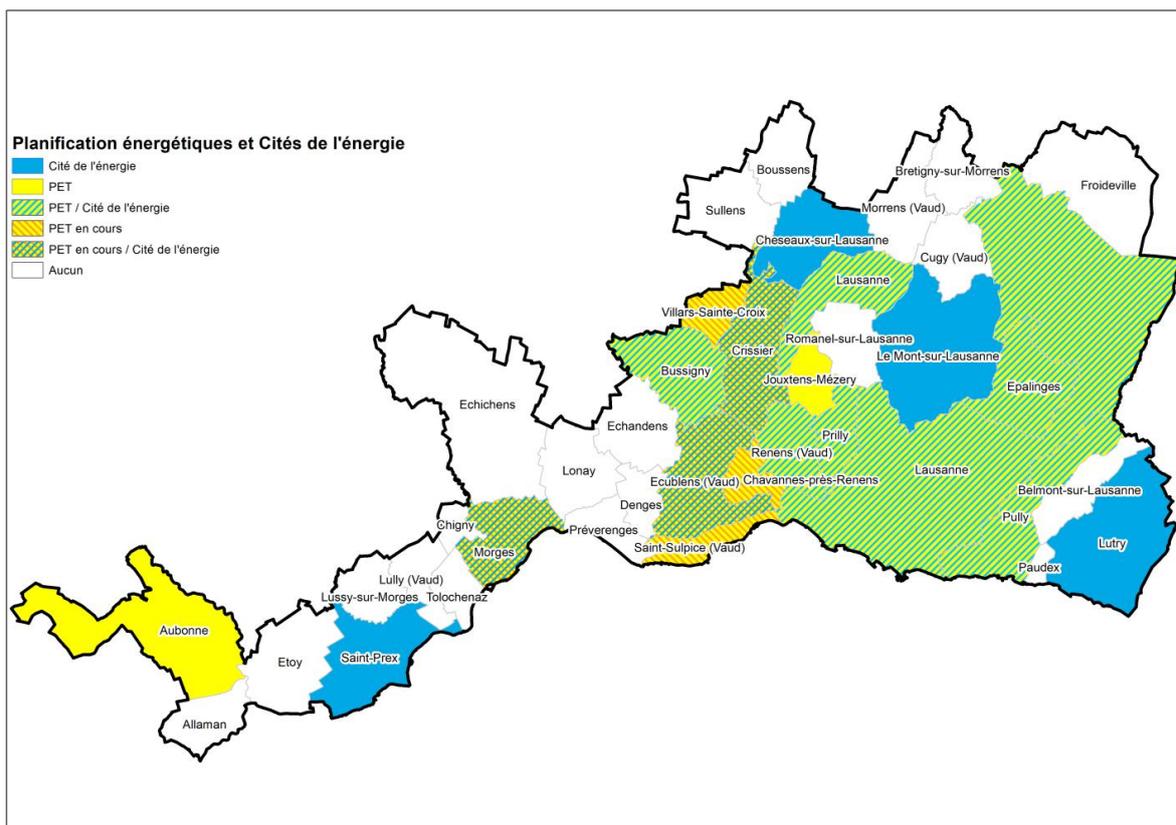


Figure 3: Communes labellisées Cités de l'énergie et planifications énergétiques communales réalisées et en cours (source; DIREN, 2018)

Des précisions concernant ces différents documents stratégiques figurent à l'annexe 2.

Le périmètre du PALM comprend également les sites de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL) et de l'Université de Lausanne (UNIL), lesquels ont une influence notable sur les bilans à l'échelle de l'agglomération. Ces deux sites ont des objectifs ambitieux en matière d'énergie et de développement durable :

- Le site de l'EPFL possède son propre plan directeur des énergies et a un objectif d'exemplarité de la Confédération ;
- Le site de l'UNIL est engagé dans une démarche pilote « site 2000 watts en transformation » avec pour objectif l'atteinte des objectifs de la société à 2000 watts d'ici 20 ans.

Par ailleurs, la stratégie énergétique de l'agglomération devra être coordonnée avec les stratégies sectorielles figurant dans le PALM 2016 et le plan des mesures de l'assainissement de l'air de l'agglomération (plan OPair).

1.3 Acteurs concernés par la planification énergétique du PALM

La planification énergétique du PALM concerne à la fois les acteurs institutionnels (Canton, communes) et d'autres acteurs, illustrés par la Figure 4. Elle a pour but de mettre en cohérence la vision de ces différents acteurs en définissant une stratégie et des mesures communes. Les acteurs non-institutionnels, en particulier les fournisseurs d'énergie, seront notamment impliqués dans la mise en œuvre des mesures. Les différents fournisseurs de gaz, de chauffage à distance et d'électricité, ainsi que les communes desservies par ces fournisseurs, sont représentés au chapitre 2.

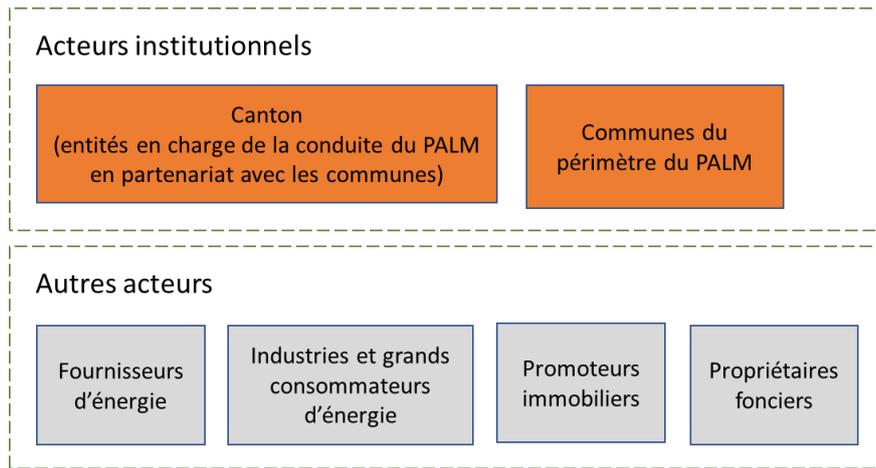


Figure 4: Schéma des principaux acteurs concernés par la planification énergétique du PALM

Les enjeux propres à chaque acteur ainsi que leur périmètre d'action figurent dans le Tableau 3.

ACTEURS	ENJEUX	PERIMETRE D'ACTION
Canton	Atteinte des objectifs de politique énergétique, climatiques et environnementaux. Développement durable. Promotion d'une mobilité respectueuse de l'environnement.	Cadre légal et réglementaire. Planification cantonale et de l'agglomération par la structure de gouvernance mise en place pour le PALM. Soutiens financiers. Informations et exemplarité. Soutien au développement des infrastructures d'importance cantonale pour l'approvisionnement en énergie et pour la mobilité.
Communes du périmètre du PALM (et schémas directeurs)	Atteinte des objectifs de politique énergétique, climatiques et environnementaux. Développement durable. Promotion d'une mobilité respectueuse de l'environnement. Maintien de la qualité de vie.	Planification directrice communale et plans d'affectations communaux. Planification de l'agglomération par la structure de gouvernance mise en place pour le PALM. Aménagement des espaces publics. Information et exemplarité. Certification (Cité de l'énergie). Planification de la mobilité et développement d'infrastructures favorisant les transports publics et la mobilité douce.
Fournisseur d'énergie	Gestion durable des ressources. Rentabilité technico-économique. Efficacité énergétique.	Développement des infrastructures énergétiques. Approvisionnement énergétique sûr et durable.
Industries et grands consommateurs	Maîtrise des coûts. Utilisation rationnelle de l'énergie. Image de marque.	Audits et suivis énergétiques. Optimisation des processus industriels. Valorisation des rejets thermiques. Certification.
Promoteurs immobiliers	Approvisionnement en énergies non fossiles. Utilisation rationnelle de l'énergie. Maîtrise des coûts. Image de marque.	Performance énergétique des bâtiments. Valorisation des énergies renouvelables locales. Certification.

Propriétaires fonciers	Qualité de vie. Utilisation rationnelle de l'énergie. Maîtrise des coûts.	Consommation écoresponsable. Actions citoyennes.
------------------------	---	---

Tableau 3: Enjeux liés aux acteurs concernés par la planification énergétique du PALM et leur périmètre d'action

1.4 Principales opportunités et contraintes

1.4.1 Opportunités liées à l'aménagement du territoire

Le territoire du PALM, en particulier le périmètre compact, présente un tissu bâti dense qui répond à la stratégie d'urbanisation du PALM. Cette structure du tissu urbain est globalement favorable à une transition énergétique, par la mise en place de réseaux d'approvisionnement en énergie et le transfert modal.

Le PALM 2016 identifie les zones les plus denses ou à densifier de l'agglomération :

- **Les quatre centralités principales du projet d'agglomération:** Lausanne, Morges, Renens et Pully;
- **Les centralités secondaires et locales,** existantes et en projet, à soutenir;
- **Les sites stratégiques:** sites avec d'importantes capacités d'accueil en habitants et emplois et une bonne accessibilité en transports publics (existante ou à terme) à mettre en œuvre (selon les cas, friches industrielles, nouveaux quartiers, densifications, etc.);
- **Les polarités d'activités et d'équipements collectifs.**

Ces zones représentent une part importante des besoins énergétiques (voir la densité thermique sur la Figure 10).

Les **mesures d'urbanisation** du PALM 2016, illustrées sur la Figure 5, sont des plans d'affectation qui constituent l'état de la mise en œuvre la plus concrète du PALM sur le périmètre compact (voir le PALM 2016, volume A, rapport de projet). Certaines sont réalisées, d'autres sont en projet. Une grande partie des mesures d'urbanisation se trouve dans les sites stratégiques.

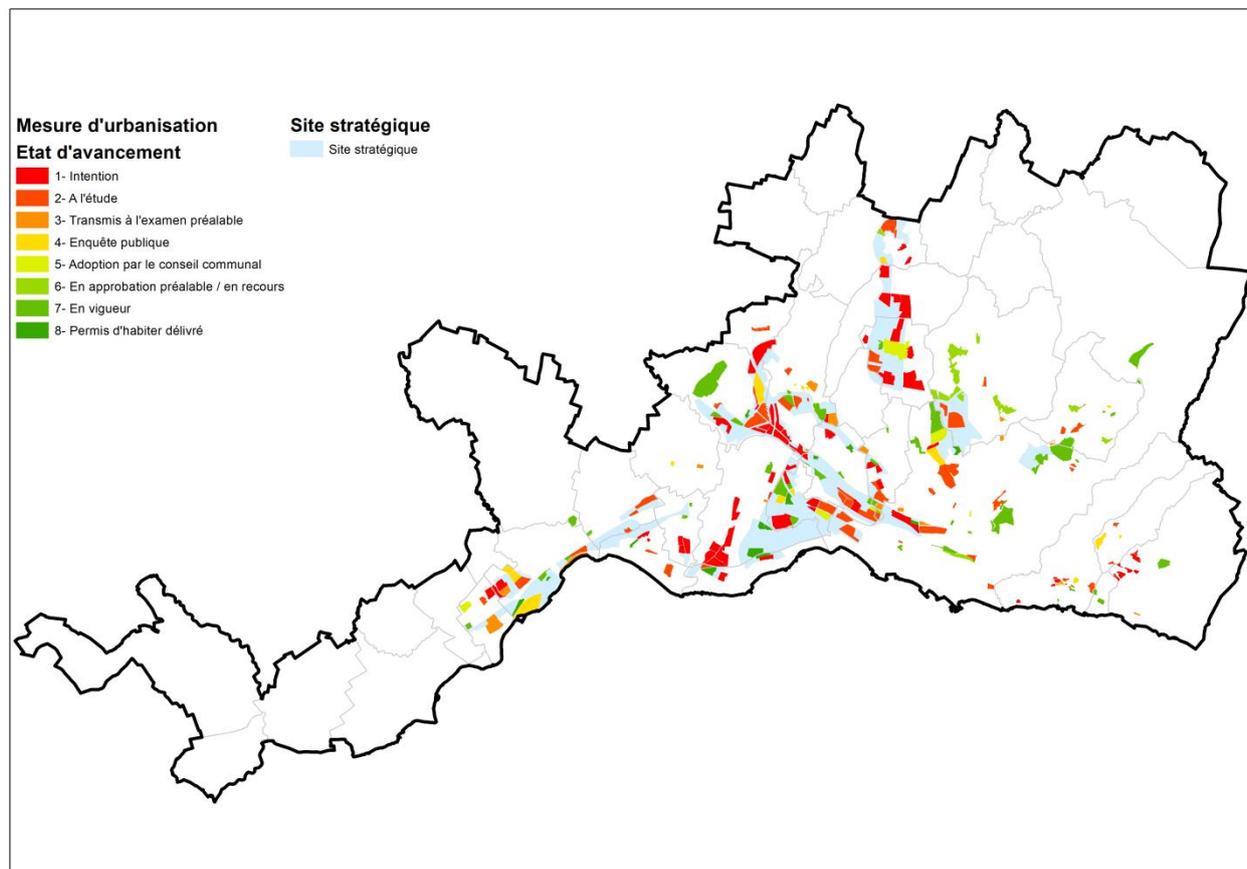


Figure 5: Sites stratégiques et état d'avancement des mesures d'urbanisation selon le PALM 2016 (état en 2016), avec modifications pour le secteur de Lausanne-Vernand - Romanel (source: DGTL, 2018)

La majorité de ces mesures d'urbanisation concernent les zones actuellement les plus denses du périmètre et sont encore à l'état d'étude. Ces nouveaux quartiers sont des opportunités pour la réalisation de projets énergétiquement exemplaires. Le potentiel d'accueil en habitants de ces mesures d'urbanisation, lequel permettra d'estimer la consommation énergétique future dans le cadre de la stratégie énergétique, ainsi que leur année de réalisation sont disponibles en annexe 3.

Concernant les zones d'activités, leur localisation actuelle est présentée au chapitre 2.2. Elles font actuellement l'objet d'une étude spécifique visant à élaborer une stratégie régionale de gestion des zones d'activités à l'échelle du PALM.

1.4.2 Contraintes liées aux sites protégés

Les objets et sites protégés représentent certaines contraintes pour la planification énergétique du PALM dans la mesure où la modification de ces bâtiments peut être complexe : par exemple pour l'intégration d'une installation solaire, la rénovation ou le changement d'agent énergétique. Dans certains cas, les travaux nécessaires sont possibles mais demandent une intégration soignée. Dans d'autres cas, ils sont difficiles à réaliser pour des raisons techniques ou économiques, ces travaux étant généralement beaucoup plus complexes et coûteux que des travaux standards. En revanche, les bâtiments d'intérêt national et régional (note 1 et 2) ne peuvent en principe pas subir de modification.

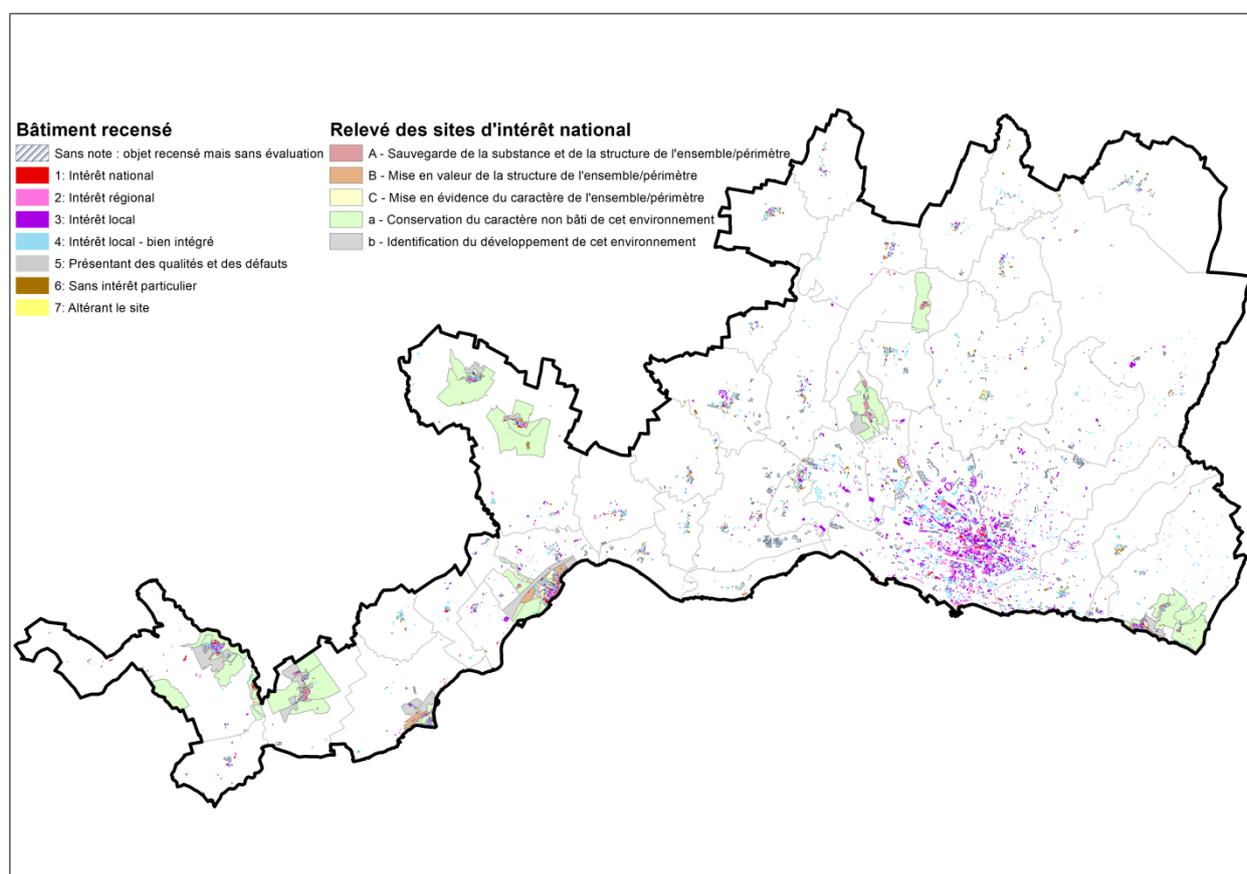


Figure 6: Inventaire des sites et bâtiments protégés (source: Géodonnées canton de Vaud, 2018)

L'agglomération comprend un nombre important de bâtiments recensés en note 2 à 4, avec une concentration sur la commune de Lausanne. Plusieurs sites sont recensés en périphérie et sur la commune de Morges. Une explication détaillée des différentes catégories de sites et objets protégés se trouve à l'annexe 4.

La Commission consultative pour la promotion et l'intégration de l'énergie solaire et de l'efficacité énergétique (Com-Sol) est à disposition des communes dans le but de les accompagner dans les démarches de modifications de bâtiments protégés ou de sites sensibles.

1.4.3 Contraintes économiques

Afin que la stratégie énergétique du PALM soit applicable, les solutions proposées pour les acteurs en charge de sa mise en œuvre devront être compétitives par rapport à la configuration actuelle et à l'utilisation des ressources fossiles. Cela implique un coût de l'énergie compétitif et un temps de retour sur investissement raisonnable pour l'intégration de nouvelles infrastructures énergétiques. Les contraintes économiques sont souvent limitantes dans le cadre de la transition énergétique, que ce soit pour les acteurs publics ou privés :

- Les acteurs publics (Canton, communes) sont tributaires de contraintes financières: des objectifs ambitieux ne peuvent être définis de façon réaliste que si les autorités publiques ont les moyens de concrétiser la mise en place des mesures nécessaires pour les atteindre. Ces contraintes vont impacter à la fois les projets en vue de la transition énergétique envisagés par les autorités publiques, et les programmes de subventionnement s'adressant aux acteurs privés.
- Les fournisseurs d'énergie ont également une capacité d'investissement limitée et doivent d'assurer d'une certaine rentabilité économique des projets contribuant à la transition énergétique.
- Les propriétaires fonciers sont souvent limités par un coût trop élevé des changements envisagés sur leur bien. Dans la plupart des cas, sans aide extérieure, le temps de retour sur investissement d'un changement de système de production d'énergie ou de la rénovation de l'enveloppe du bâtiment se monte à plus de 15 ans.

1.4.4 Opportunités liées aux aides financières

Dans le but de favoriser la transition énergétique et d'atteindre des objectifs climatiques, un certain nombre de subventions ont été mises en place dans le domaine de l'énergie à diverses échelles.

NIVEAU	SUBVENTIONS ET OBJETS
Confédération	<p>Programme Bâtiment : Ce programme a été mis en place par la Confédération avec les Cantons dans le but de soutenir les propriétaires fonciers pour l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments. Il soutient également le remplacement des chauffages utilisant des énergies fossiles ou une alimentation électrique directe par des énergies renouvelables. Les subventions sont allouées par la Confédération et en partie par les Cantons.</p> <p>SuisseEnergie : Ce programme est le programme du Conseil fédéral pour la promotion de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables grâce à des mesures volontaires. Les villes, les communes, les sites ainsi que les régions y jouent un rôle très important et sont soutenus par SuisseEnergie.</p> <p>ProKilowatt : Ce programme vise à abaisser la consommation d'électricité dans l'industrie, les services et les ménages en soutenant des projets ou des programmes portant sur des mesures d'efficacité énergétique.</p>
Canton de Vaud	<p>Les mesures du Programme Bâtiment proposées par le Canton de Vaud sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certificat énergétique cantonal des bâtiments (CECB et CECB Plus) • Isolation thermique des bâtiments • Bonus à l'isolation lors d'une rénovation globale • Chauffage à bois • Pompe à chaleur (PAC air/eau, sol/eau ou eau/eau) • Installation solaire thermique • Rénovation complète Minergie ou CECB • Nouvelle construction Minergie-P, Minergie-P-ECO • Réseaux de chauffage à distance (CAD) <p>Le Canton propose également les subventions suivantes hors Programme Bâtiment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remplacement d'un chauffage à bois • Batterie de stockage d'électricité photovoltaïque • Etude de planification énergétique • Etude de faisabilité CAD

	<ul style="list-style-type: none"> • Concept pour l'éclairage public • Etude sur la mobilité électrique
Communes	Subventions communales propres à chaque entité territoriale.

Tableau 4: Liste des éléments subventionnés dans le domaine de l'énergie

À titre informatif, le nombre de subventions accordées dans le cadre de Programme Bâtiments sur les communes du diagnostic énergétique pour l'année 2017 est détaillé dans le tableau suivant:

DESCRIPTION DE LA MESURE	NOMBRE DE DEMANDES SUR LE PÉRIMÈTRE DU DIAGNOSTIC
Isolation de la façade, du toit, des murs et du sol contre terre	227
Chauffage à bûches ou à pellets avec réservoir journalier	2
Chauffage à bois automatique, puissance cal. ≤ 70kW	6
Chauffage à bois automatique, puissance cal. > 70kW	0
Pompe à chaleur air/eau	47
Pompe à chaleur sol/eau ou eau/eau	38
Installation de capteurs solaires thermiques	20
Rénovation complète avec certificat Minergie	1
Rénovation complète avec certificat CECB®	0
Bonus pour la rénovation complète de l'enveloppe du bâtiment	51
Bonus pour l'atteinte du standard Minergie rénovation	0
Nouvelle construction Minergie-P, Minergie-P-ECO	5

Tableau 5: Nombre de subventions accordées en 2017 dans le cadre du Programme Bâtiments

Nous pouvons constater que la grande majorité des subventions concernent l'enveloppe des bâtiments. Ce constat est positif car les économies d'énergie les plus importantes peuvent se faire par ce biais. Les changements de systèmes d'approvisionnement énergétique viennent en seconde position. En revanche, peu de demandes sont effectuées pour des rénovations en vue de certification Minergie ou CECB. Le programme Bâtiments est actuellement assuré jusqu'en 2025.

1.5 Méthodologie et gestion des données

La maille d'analyse du présent diagnostic est **la commune** pour la majorité des données. Il n'a pas paru nécessaire d'effectuer une analyse plus fine à ce stade. Néanmoins, les données dont la spatialisation est importante sont représentées à une échelle inférieure pour davantage de précision.

La liste des données disponibles pour cette étude et leur source se trouve en annexe 1. De nombreuses données proviennent du cadastre des énergies mis en place par la DGE-DIREN. À noter que les données qui alimentent le cadastre proviennent du registre cantonal des bâtiments, qui comporte certaines imprécisions et lacunes concernant les données énergétiques des bâtiments.

Une base de données géoréférencées a été constituée dans le cadre de cette étude. Elle contient la plupart des données qui se trouvent à l'annexe 1.

2. Besoins énergétiques du territoire

Les besoins énergétiques du territoire sont déclinés dans les chapitres suivants en trois secteurs :

1. Les besoins liés au parc bâti : besoins énergétiques pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité pour la climatisation et les appareils électriques;

2. Les besoins liés aux activités : ces besoins correspondent aux besoins de chaleur et d'électricité non compris dans le point 1 (besoin de process, électricité pour les besoins de froid, etc.). Ces activités correspondent donc à des entreprises, centres commerciaux, activités artisanales ou de loisir. Elles ne sont pas strictement liées aux zones d'activité selon l'affectation du sol. Toutefois, pour ce secteur, seules les données des sites considérés comme grands consommateurs d'énergie sont disponibles (voir la définition au chapitre 2.2). Néanmoins, au vu des données disponibles, les consommations électriques liées à ces activités sont déjà incluses dans les consommations électriques du parc bâti. De même, les besoins de chaleur liés au chauffage et à l'eau chaude sanitaire sont également incluses dans les besoins du parc bâti;
3. Les besoins liés à la mobilité.

Les deux premiers secteurs sont déclinés en 2 catégories, lesquelles sont les besoins thermiques et les besoins électriques.

Voici quelques valeurs clé pour le périmètre du diagnostic:

	Valeur du périmètre de diagnostic	Part du canton de Vaud (valeurs 2016)
Estimation des besoins thermiques totaux [GWh/an]	3'339	42%
Consommation électrique totale hors chaleur (consommation électrique pour le froid comprise) [GWh/an]	1'570	37%
Estimation de la consommation d'énergie totale pour la mobilité liée au PALM (y compris les déplacements des frontaliers) [GWh/an]	3'893	-
Estimation des besoins thermiques spécifiques moyens (hormis les grands consommateurs thermiques) [kWh/m ² /an]	130	-
Consommation électrique spécifique hors chaleur moyenne (hormis les grands consommateurs électriques) [kWh/m ² /an]	41	-
Surface de référence énergétique (SRE) moyenne par personne	66 m ²	-

Tableau 6: Valeurs clé du périmètre du diagnostic, en énergie finale. Pour le calcul des besoins spécifiques, la surface considérée est la surface de référence énergétique.

La consommation d'énergie totale liée à la mobilité n'est pas comparée à une moyenne vaudoise, en raison des différentes méthodologies de calcul. Concernant les besoins thermiques spécifiques moyens, à titre comparatif, les bâtiments neufs ont des besoins spécifiques inférieurs à 54 kWh/m²/an (logement collectifs)¹. Les bâtiments du territoire du PALM sont donc en moyenne 2.4 fois plus gourmands en chaleur. La consommation électrique spécifique moyenne indiquée ici dépend fortement d'autres paramètres que les performances des bâtiments, comme l'éclairage public ou l'électricité consommée par les petites entreprises. Cette valeur n'est donc pas comparable avec des valeurs de référence.

2.1 Besoins énergétiques liés au parc bâti

Les besoins thermiques sur le territoire, estimés par bâtiment, proviennent du cadastre des énergies. Les consommations électriques proviennent des gestionnaires de réseaux de distribution.

Attention à bien distinguer les termes "besoins" et "consommation" en ce qui concerne la chaleur. Toutes les **valeurs thermiques** sont ici exprimées en **besoins**, tandis que les **valeurs électriques** sont exprimées en **consommations**².

2.1.1 Besoins en énergie thermique

Les besoins en énergie thermique du parc bâti comprennent les besoins liés au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire (ECS).

Note méthodologique : Les hypothèses de calcul prises pour l'évaluation des besoins thermiques sont issues des données du cadastre des énergies publié par la DGE, basées notamment sur le registre cantonal des bâtiments. Ces valeurs chiffrées à l'échelle du bâtiment ont été calculées sur la base d'hypothèses génériques définies à l'annexe 6. A noter que le registre cantonal des bâtiments peut contenir des imprécisions concernant les agents énergétiques et les surfaces de référence énergétique par rapport aux informations détenues par les communes.

Une première analyse du parc bâti montre que la majorité des bâtiments datent d'avant 1985 (65%, voir la Figure 7). En raison de leur faible isolation, ces bâtiments auront un fort impact sur le bilan thermique du parc bâti.

¹ Valeur limite pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire selon la norme 380/1, avec un facteur de forme égal à 1

² Les **besoins**, exprimés en énergie utile, correspondent à la quantité d'énergie effective de chaleur pour chauffer une habitation par exemple. La **consommation**, exprimée en énergie finale, équivaut à l'énergie facturée au consommateur (gaz, électricité, ...) pour satisfaire les besoins de chauffage par exemple. Les pertes de transformation (rendement de chaudière p.ex) et de distribution sont prises en compte (consommation = besoins + pertes).

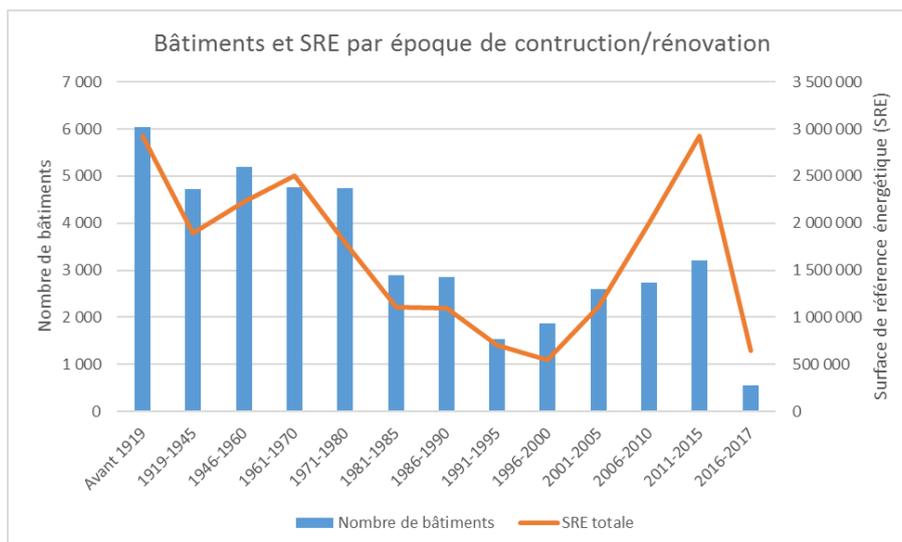


Figure 7: Répartition du nombre de bâtiments et de la surface de référence énergétique (surface chauffée) par époque de construction. Les bâtiments rénovés sont représentés ici au même titre que les nouveaux bâtiments. La dernière série comprend seulement deux années (2016-2017).

Selon le cadastre des énergies, les besoins de chaleur du parc bâti sont estimés à 2'800 GWh/an. Leur répartition par agent énergétique est illustrée sur la Figure 8. La **dominance du gaz et du mazout** est encore extrêmement marquée sur l'ensemble de l'agglomération³. À titre de comparaison, la moyenne suisse 2017 se situe à environ **33% pour le gaz et 35% pour le mazout**. Par ailleurs, le chauffage électrique direct occupe encore une part importante au sein des systèmes de production thermique. Il est toutefois possible que certains changements d'agent énergétique n'aient pas été répertoriés dans le registre cantonal des bâtiments.

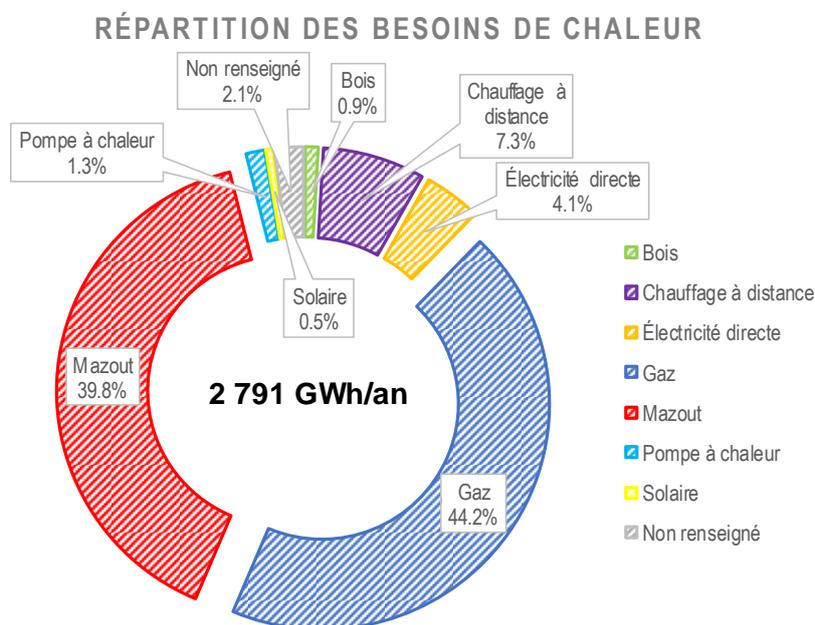


Figure 8: Répartition des besoins de chaleur du parc bâti par agent énergétique (source des données: cadastre des énergies, 2018). La répartition des besoins pour chaque commune se trouve à l'annexe 5.

Les besoins thermiques pour les communes du périmètre du diagnostic est représentée sur la Figure 9:

³ Ce constat se base sur les données de l'année 2018. La tendance observée ces dernières années est une diminution des chauffages à mazout et une augmentation des pompes à chaleur.

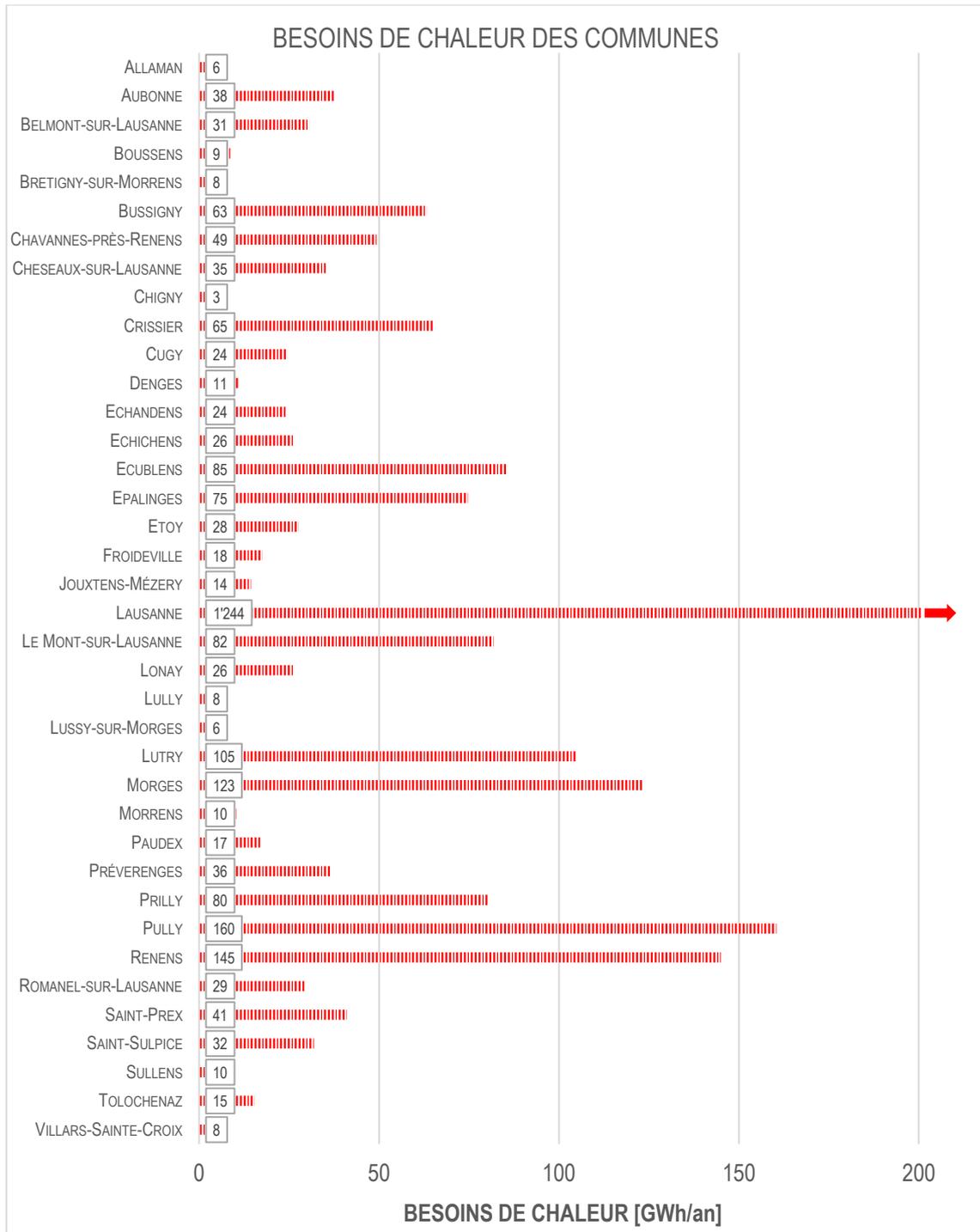


Figure 9: Besoins de chaleur du parc bâti pour les communes du périmètre du diagnostic (source des données: DIREN, 2018)

Le constat majeur est le suivant: **la grande majorité des besoins (46%) thermiques se trouvent sur la commune de Lausanne**. Ceci est expliqué par la taille importante de la commune et sa densité du bâti bien plus importante qu'ailleurs sur l'agglomération. Les communes de Pully, Renens, Morges et Lutry ont également des besoins thermiques significatifs pour l'agglomération.

Les besoins thermiques par commune sont répartis par agent énergétique à l'annexe 5.

Certaines communes, comme Lausanne ou Renens, bénéficient d'une part plus importante des besoins thermiques satisfaits grâce aux réseaux de chaleur. Toutefois, il conviendra de considérer le mix énergétique utilisé pour alimenter ces réseaux dans le cadre du bilan énergétique et environnemental. Par exemple, pour le réseau de la Ville de Lausanne, 39% de la chaleur est produite par du gaz et du mazout (valeurs 2017).

La densité des besoins de chaleur est représentée à l'hectare sur la Figure 10. Les valeurs proviennent du cadastre des énergies et sont calculées sur la base des besoins thermiques par bâtiment. La Figure 10 montre que la densité des besoins thermiques est la plus élevée dans les centres urbains, correspondant aux centralités d'agglomération (Lausanne, Morges, Renens et Pully – voir le chapitre 1.4.1).

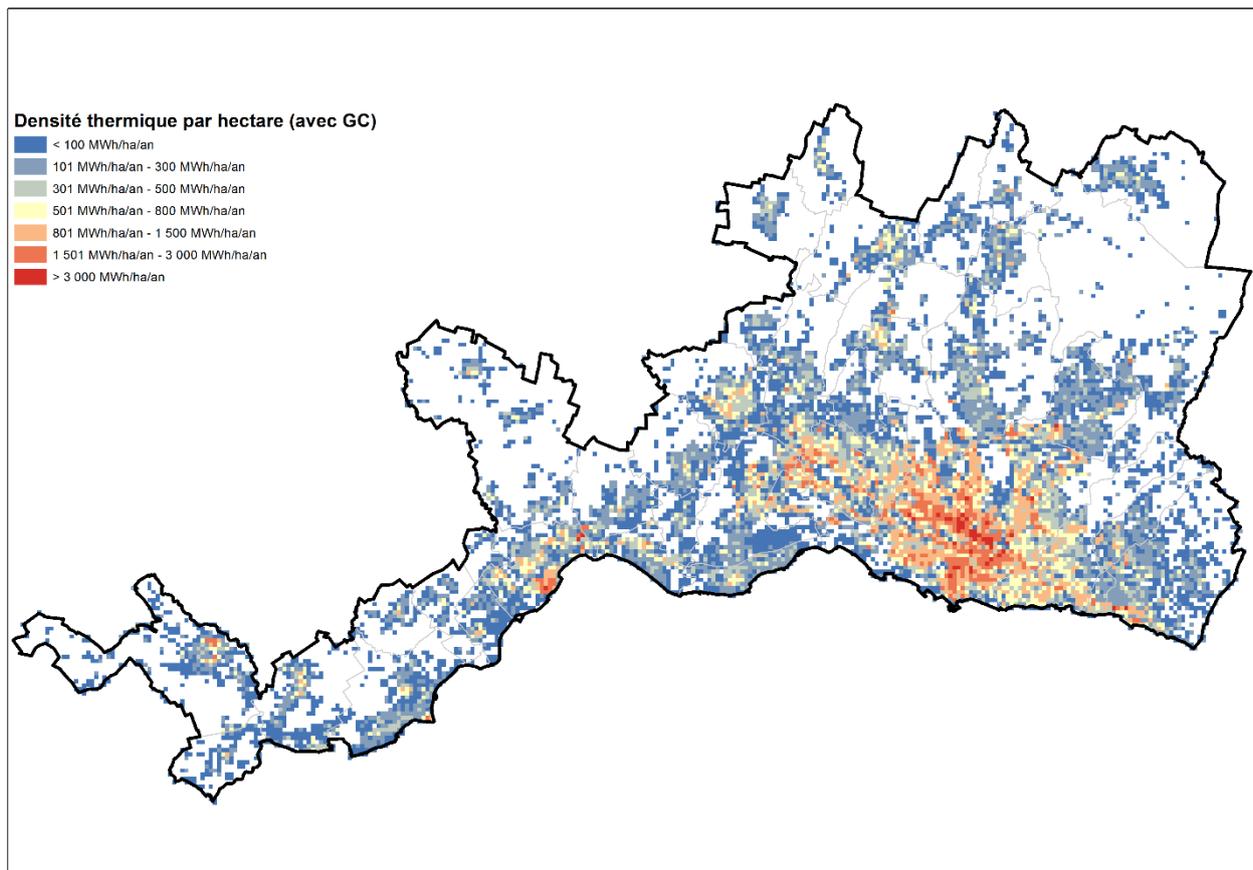


Figure 10: Densité des besoins thermiques par hectare (source: DIREN, 2018). Les besoins thermiques des grands consommateurs sont compris.

Cette représentation est particulièrement intéressante pour la définition d'une stratégie de développement des réseaux thermiques. En effet, une certaine densité thermique est nécessaire pour qu'un réseau de chaleur à distance puisse être développé⁴. La Figure 11 montre les zones favorables aux réseaux thermiques sur la base de cette hypothèse (> 500 MWh/ha/an) ainsi que les zones potentiellement intéressantes (entre 300 et 500 MWh/ha/an) pour raccorder deux zones favorables. En raison de la densité du territoire bâti laquelle induit une densité thermique élevée, le PALM est un territoire particulièrement propice au développement de réseaux thermiques et plusieurs réseaux sont déjà existants (voir le chapitre 4.1).

⁴ Généralement, cette densité est comptée en énergie délivrée **par mètre linéaire de conduite** (minimum 2 MWh/mL/an pour qu'un réseau de chaleur soit économiquement viable). En prenant une hypothèse de longueur moyenne de réseau par hectare, il est possible d'exprimer cette valeur en MWh/ha/an. Par exemple, si l'on considère que chaque hectare comprend en moyenne 250 m de conduite, la densité thermique minimale sera de 500 MWh/ha/an.

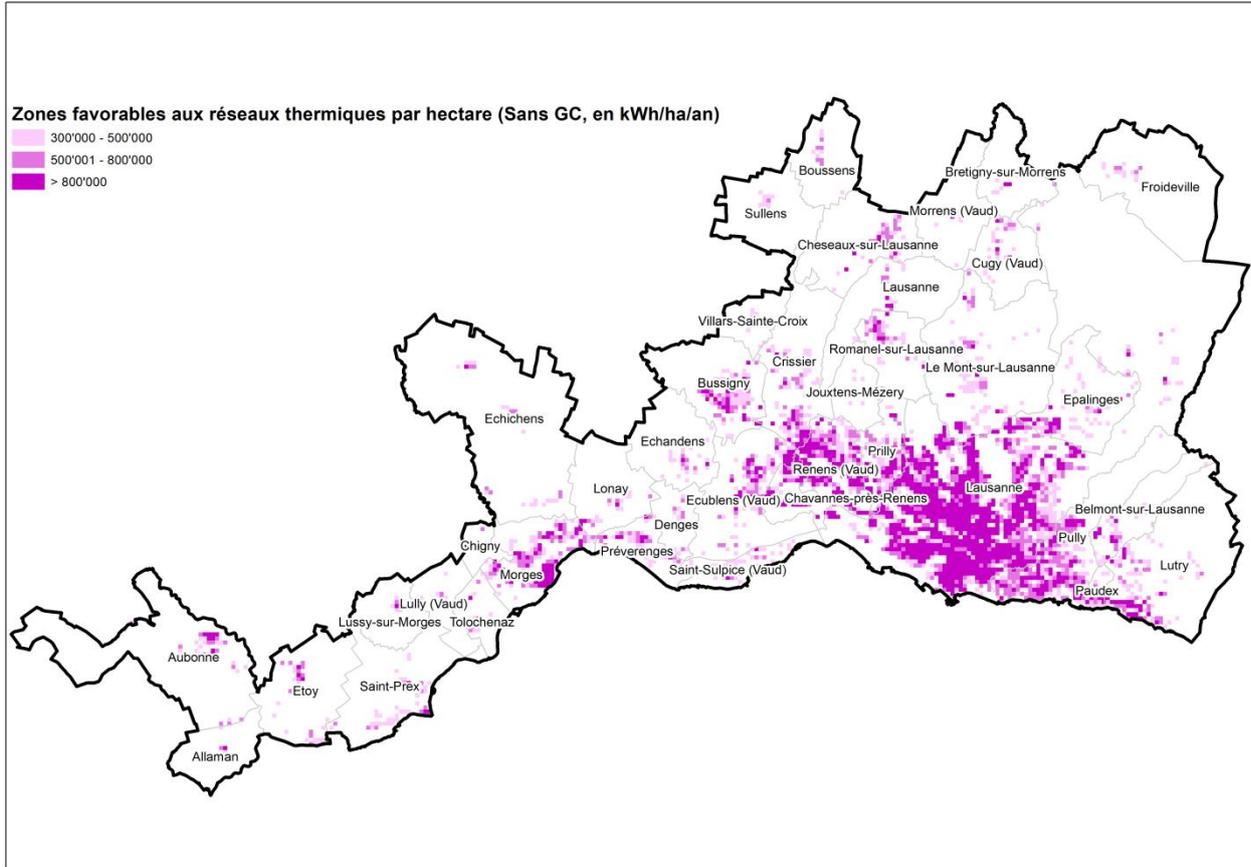


Figure 11: Zones favorables aux réseaux thermiques selon la densité thermique du territoire (source: DIREN, 2018). Les besoins thermiques des grands consommateurs ne sont pas compris.

2.1.2 Consommation d'énergie électrique

La consommation d'énergie électrique est répartie comme suit sur le périmètre de diagnostic:

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

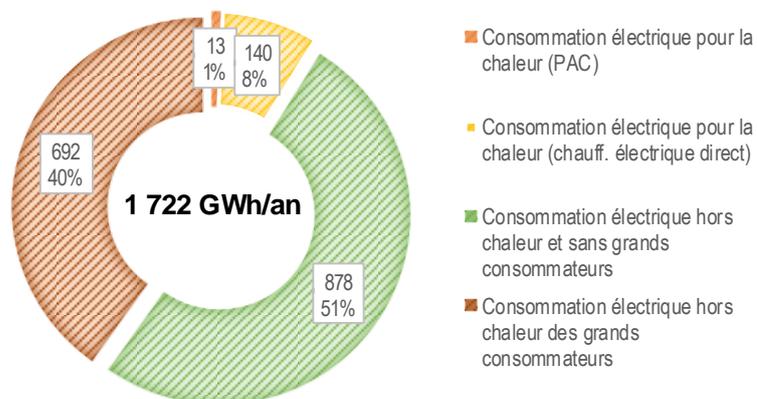


Figure 12: Répartition de la consommation électrique selon son utilisation

La part de la consommation électrique dédiée au parc bâti est de 51% hors chaleur et de 60% en comptant l'électricité nécessaire pour les pompes à chaleur et le chauffage électrique direct. Le reste de la consommation électrique (40%) est dédiée aux grands consommateurs.

Les données de consommation électrique par commune ont été fournies par tous les fournisseurs. Le tableau suivant montre les fournisseurs et l'électricité délivrée par chacun pour l'année 2017 sur le périmètre du diagnostic:

COMMUNE	ELECTRICITÉ FOURNIE (2017) [GWH/AN]
SIL	828
Romande Energie	287
SEFA	64
SI Belmont	10
SI Lutry et Romande Energie	41
SI Paudex	6
SI Pully	50
SI Romanel	15
SIE	350
Services électriques de Bussigny	70
TOTAL	1721

Tableau 7: Fourniture d'électricité par distributeur pour l'année 2017 (tous consommateurs confondus)

Les SIL et Romande Energie fournissent la quasi-totalité de l'électricité consommée sur le territoire. En effet, mis à part pour les SIL et la SEFA, l'électricité est distribuée par les fournisseurs cités au Tableau 7, mais elle est fournie par Romande Energie SA.

Ces consommations sont réparties par commune à la figure suivante.

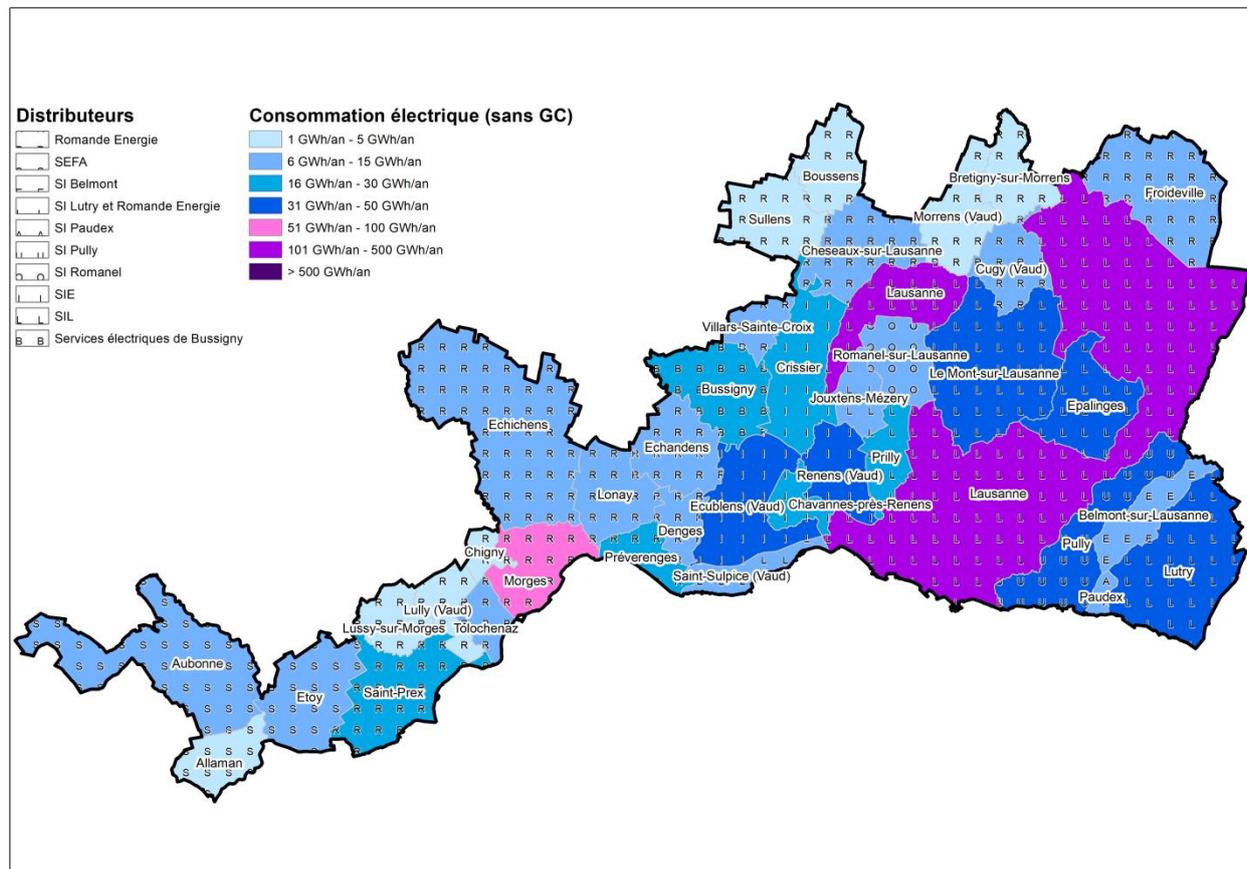


Figure 13: Consommation électrique et distributeur d'électricité des communes du périmètre du diagnostic

Ces valeurs sont les consommations totales du parc bâti issues du **réseau** électrique pour chaque commune. Elles comprennent donc:

- Les consommations pour l'utilisation des bâtiments (éclairage, appareils électriques)
- Les consommations pour les pompes à chaleur et le chauffage électrique direct

Les consommations électriques des grands consommateurs ont été déduites. Néanmoins, les consommations liées aux activités non répertoriées comme grand consommateur d'énergie sont comprises.

Un mix électrique moyen a été calculé pour l'ensemble du PALM, sur la base de l'électricité fournie par chaque distributeur et de leur mix électrique. À noter qu'à part la SEFA et les SIL, tous les fournisseurs ont le même marquage électrique que Romande Energie SA.

Les mix électriques de chaque distributeur sont disponibles à l'annexe 7.

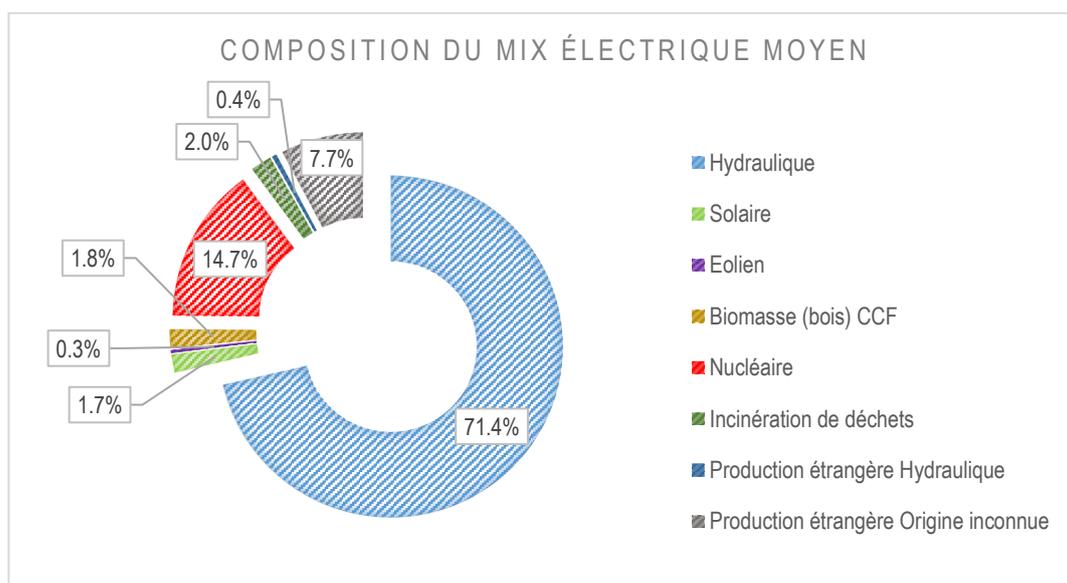


Figure 14: Mix électrique (provenance de l'électricité consommée) moyen pour le périmètre du diagnostic

L'électricité consommée provient en majeure partie de l'extérieur de l'agglomération. Une part provient également de l'étranger (énergie hydraulique et d'origine inconnue).

Les consommations électriques par commune ne comprennent pas la production photovoltaïque autoconsommée. Concernant la production photovoltaïque réinjectée dans le réseau, il est supposé qu'elle est incluse dans la part d'électricité solaire annoncée par les distributeurs d'électricité, ces derniers ayant la possibilité d'acheter les garanties d'origine des producteurs. Cette hypothèse est appuyée par le fait que la part photovoltaïque de l'approvisionnement électrique total et la production photovoltaïque sur le périmètre sont quasiment identiques (29 GWh/an pour les deux valeurs).

Même si un certain nombre d'installations photovoltaïques existent sur le périmètre (voir chapitre 3.2.1), la part de production photovoltaïque (1.7%) est encore très faible en comparaison de la consommation totale. À titre comparatif, la part d'électricité solaire produite sur l'ensemble de la Suisse en 2017 représente 2.9% de la consommation en énergie finale (source: Swissolar, 2018).

Des programmes communaux visant la réduction de la consommation électrique des ménages sont déjà en place, comme le programme Equiwatt sur la Ville de Lausanne. Ces programmes seront pris en compte dans le cadre de la stratégie énergétique.

2.2 Besoins énergétiques liés aux activités

Les besoins énergétiques liés aux activités comprennent les besoins de chaleur et d'électricité spécifiques, hors chauffage, eau chaude sanitaire et appareils électriques (éclairage, électroménager). Pour ce secteur, seules les données des grands consommateurs d'énergie sont disponibles, c'est-à-dire les sites consommant au minimum 0.5 GWh_{él} ou/et

5 GWh_{th} par année. Il s'agit donc principalement d'industries (chimiques, pharmaceutiques agro-alimentaires), mais également de certains hôpitaux, de commerces (grands centres commerciaux), de certains établissements publics (centres sportifs, autres), et de certains acteurs du secteur tertiaire (datacenters, établissement bancaires, etc.). Les besoins énergétiques spécifiques des entreprises, activités commerciales, artisanales ou tertiaires avec une consommation en dessous du seuil des grands consommateurs n'ont pas pu être estimés dans le cadre de cette étude et ne sont pas inclus dans ce chapitre.

La localisation exacte des grands consommateurs ne peut pas être représentée dans cette étude car il s'agit de données confidentielles. Une partie de ces sites est située dans les zones d'activité de l'agglomération (zones industrielles, zones d'activités artisanales, zones d'activité tertiaire, zone de centres commerciaux), mais ils peuvent également être situés en dehors de ces zones (en zones mixtes par exemple).

À noter que les grands consommateurs, thermiques et électriques, font déjà l'objet de programmes d'amélioration de l'efficacité énergétique au vu de la loi cantonale sur l'énergie.

2.2.1 Besoins en énergie thermique des grands consommateurs

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 15, la plupart des grands consommateurs thermiques se situent sur la commune de Lausanne ou sur les communes environnantes.

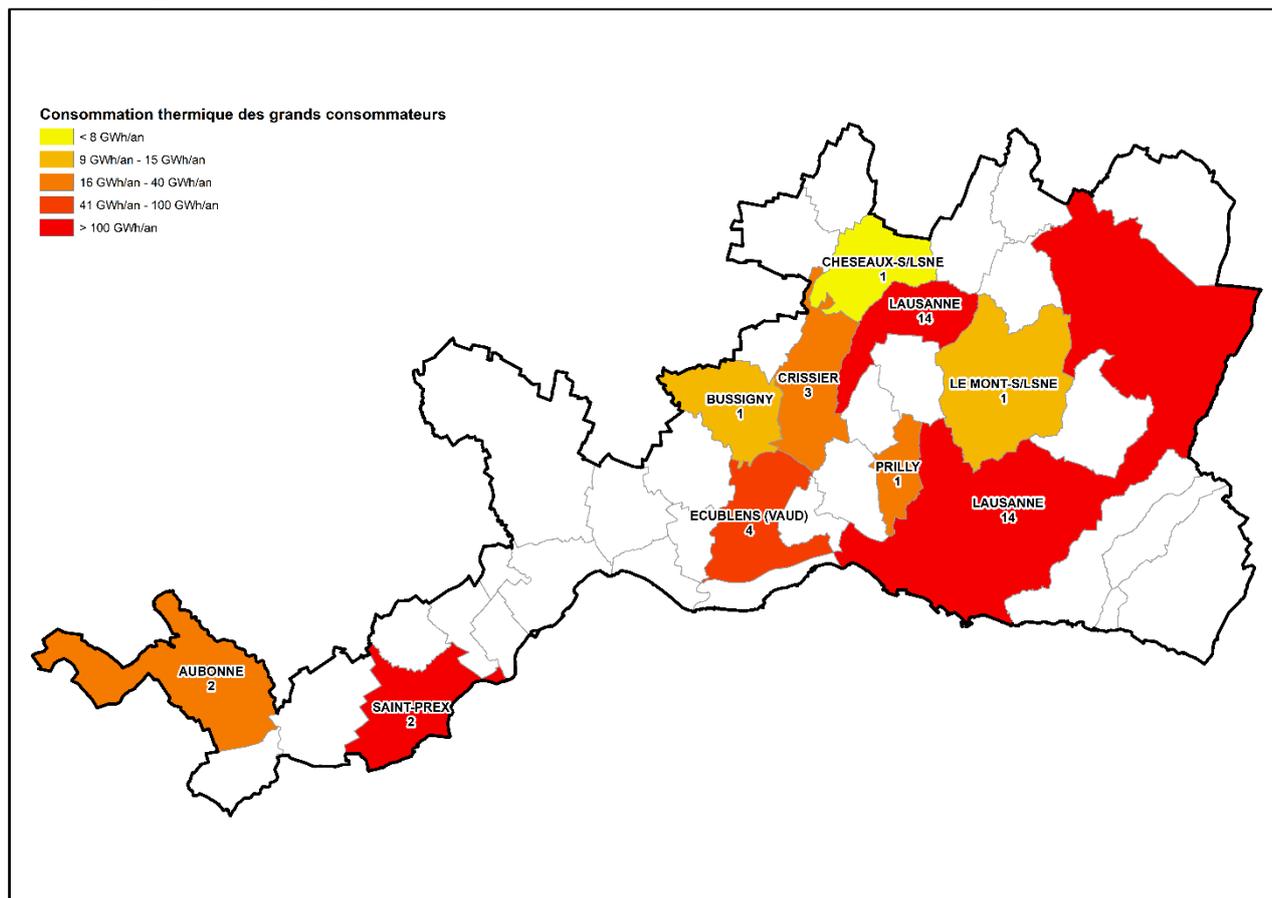


Figure 15: Nombre de grands consommateurs thermiques et consommation de chaleur totale par commune. Le chiffre sur chaque commune représente le nombre de grands consommateurs (source: DIREN, 2018).

Ces derniers totalisent des besoins thermiques valant **549 GWh/an**. La Figure 16 confirme qu'une part significative (16%) des besoins de chaleur est liée aux grands consommateurs. Dans le cadre de cette étude, il est estimé que tous les besoins thermiques liés aux grands consommateurs sont satisfaits grâce au gaz. Cette hypothèse est basée sur les observations faites dans le milieu industriel.

RÉPARTITION DES BESOINS THERMIQUES

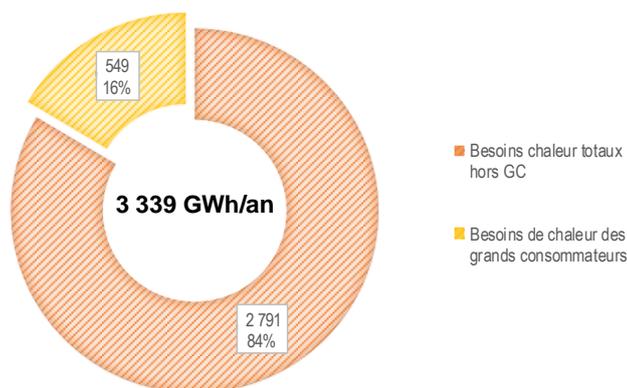


Figure 16: Répartition des besoins thermiques sur le périmètre (source: DIREN, 2018)

2.2.2 Besoins en énergie électrique des grands consommateurs

La Figure 17 montre la répartition des grands consommateurs électriques par commune. La majorité des grands consommateurs électriques se trouvent sur la commune de Lausanne ou sur les communes environnantes. Toutefois, certaines communes comme Morges ou Etoy en comprennent un certain nombre. À noter que les sites répertoriés comme grands consommateurs électriques sont beaucoup plus nombreux que les grands consommateurs thermiques, avec un total de 273 sites sur le périmètre considéré.

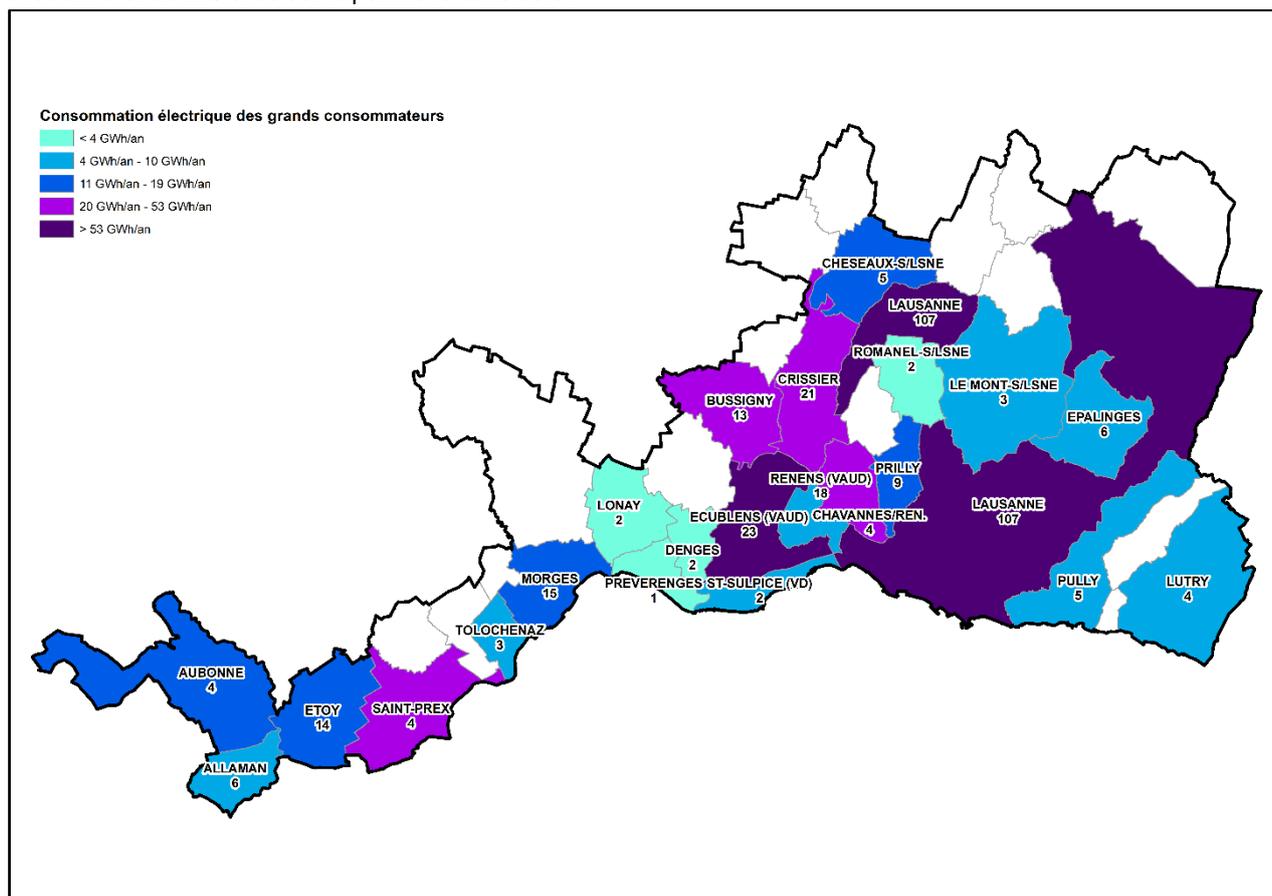


Figure 17: Consommation électrique des grands consommateurs par commune. Le chiffre sur chaque commune représente le nombre de grands consommateurs (source: DIREN, 2018)

Ces consommations électriques incluent la consommation pour la production de froid. Comme cela est montré à la Figure 12, la consommation électrique attribuée aux grands consommateurs vaut 40% de la consommation électrique

totale. Cette consommation électrique est principalement liée aux process industriels (production de froid, compresseurs d'air, autre).

2.3 Besoins énergétiques et émissions de CO₂ liés à la mobilité

2.3.1 Sources de données et approches pour mesurer les impacts de la mobilité

L'impact énergétique et climatique de la mobilité générée par le périmètre du PALM est abordé selon quatre approches complémentaires, qui s'appuient sur cinq sources de données. Ces données fournissent des distances parcourues de véhicules ou des distances parcourues des personnes par type de véhicule, lesquelles sont ensuite converties en consommation d'énergie et en émissions de CO₂ en utilisant des facteurs de conversion⁵.

APPROCHES	DESCRIPTION
APPROCHE 1 : PLAN DES CHARGES DE TRAFIC	<p>Cette approche s'appuie sur des comptages de trafic journalier, à partir desquels des distances parcourues annuellement par hectare sont calculées pour les 4 types de moyens de transports suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> • les voitures ; • les motocycles ; • les poids-lourds (transports publics inclus) ; • les camionnettes. <p>Les résultats sont spatialisés à l'échelle du périmètre de référence pour le diagnostic (distances, consommation d'énergie et émissions de CO₂ par hectare).</p> <p>Cette approche ne tient pas compte de la partie des flux entrant et sortant du périmètre réalisée à l'extérieur de celui-ci.</p>
APPROCHE 2 : DONNEES DES ENTREPRISES DE TRANSPORTS PUBLICS	<p>Cette approche permet d'évaluer l'impact énergétique et climatique des entreprises de transports publics, et notamment des bus à moteur thermique, à partir des données sur les distances parcourues par les véhicules (bus, trolleybus, bateaux, métros). L'entier du parcours des lignes desservant l'agglomération Lausanne-Morges est pris en compte. Les résultats obtenus servent également de complément à l'approche selon le plan des charges de trafic, car ils permettent de distinguer les camions des bus/trolleybus.</p>
APPROCHE 3 : DEPLACEMENTS TOUS MOTIFS (MRMT)	<p>Cette approche exploite les données du micro-recensement mobilité et transport (MRMT 2015), et plus précisément les distances parcourues par personne (personnes domiciliées en Suisse uniquement), tous motifs de déplacement confondus et par mode de transport. Ces données considèrent l'entier des déplacements effectués en lien avec les communes du périmètre compact de l'agglomération Lausanne-Morges (déplacements internes, entrants et sortants, y compris la partie des trajets réalisée à l'extérieur du périmètre considéré).</p>
APPROCHE 4 : DEPLACEMENTS DES PENDULAIRES (RELEVÉ STRUCTUREL+FRONTALIERS)	<p>Cette approche est similaire à l'approche précédente. Elle s'appuie uniquement sur les distances des flux pendulaires (motif travail), qui sont structurants pour le dimensionnement des infrastructures aux heures de pointe. Les données utilisées proviennent des statistiques du relevé structurel des Suisses, complétées par la base de données des frontaliers.</p>

Tableau 8: Approches de mesure des impacts de la mobilité

2.3.2 Approche 1 : plan des charges de trafic

L'approche selon le plan des charges de trafic mesure la consommation énergétique et les émissions de CO₂ du trafic routier dans les limites du périmètre de référence du diagnostic (communes des schémas directeurs, y compris com-

⁵ Seule l'approche 1 « plan des charges de trafic » est comparable à la méthodologie utilisée du bilan carbone territorial à l'échelle du canton (Quantis, 2021)

munes non concernées par le périmètre compact du PALM, et communes d'Ettoy, d'Allaman et d'Aubonne). Elle ne considère donc pas la partie des déplacements en relation avec ce périmètre effectuée au-delà de ses limites.

L'approche s'appuie sur les résultats des comptages quinquennaux de l'agglomération, qui renseignent sur le trafic journalier moyen sur les principaux axes du réseau routier, par types de véhicules. Ces données sont ensuite complétées par une estimation du trafic diffus sur le réseau routier résiduel. Enfin, les données de trafic sont converties en distances parcourues annuellement par hectare.

La consommation d'énergie finale et les émissions de CO₂ sont obtenues en multipliant les distances parcourues (kilomètres-véhicules) par des facteurs de conversion selon les types de véhicules spécifiquement développés pour la Suisse (HBEFA). Ces facteurs varient selon le type de route (autoroute, route urbaine, etc.), la pente, le type de véhicule, les conditions de trafic, etc. Ils sont donc adaptés à une approche selon le plan des charges de trafic.

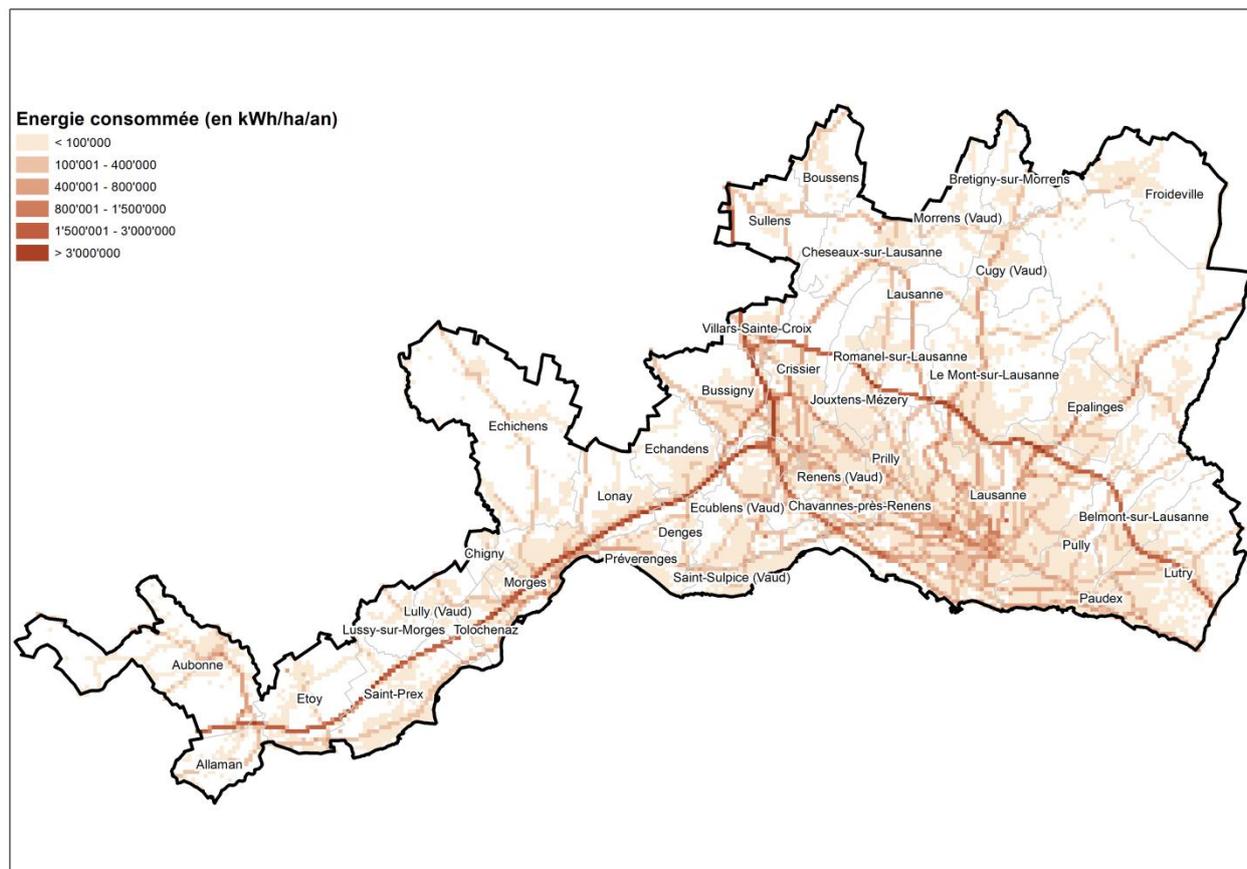


Figure 18: Consommation d'énergie annuelle par hectare en énergie finale (source: DIREV, 2018)

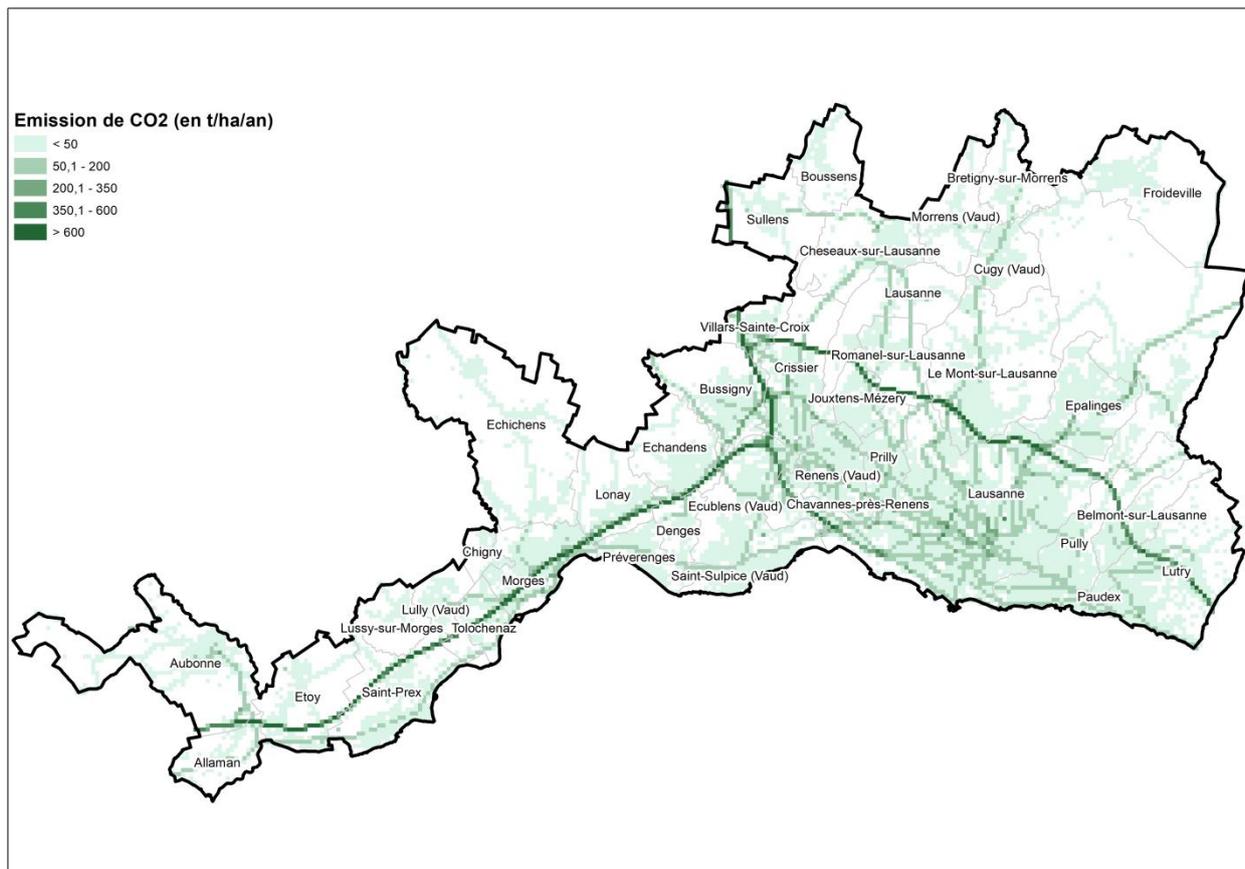


Figure 19: Émissions de gaz à effet de serre par hectare (source: DIREV, 2018)

De manière logique, les consommations d'énergie finale et les émissions de CO₂ liées au trafic par hectare mettent en évidence les axes et les secteurs concentrant les plus grandes charges de trafic, en particulier le réseau autoroutier et le centre-ville de Lausanne.

Les résultats sont représentés de manière quantitative par type de véhicule dans les graphiques ci-dessous. Pour rappel, les distances parcourues par les trolleybus et les autobus proviennent des entreprises de transport.

DISTANCE PARCOURUE PAR TYPE DE VÉHICULE (MILLIONS DE KM/AN)

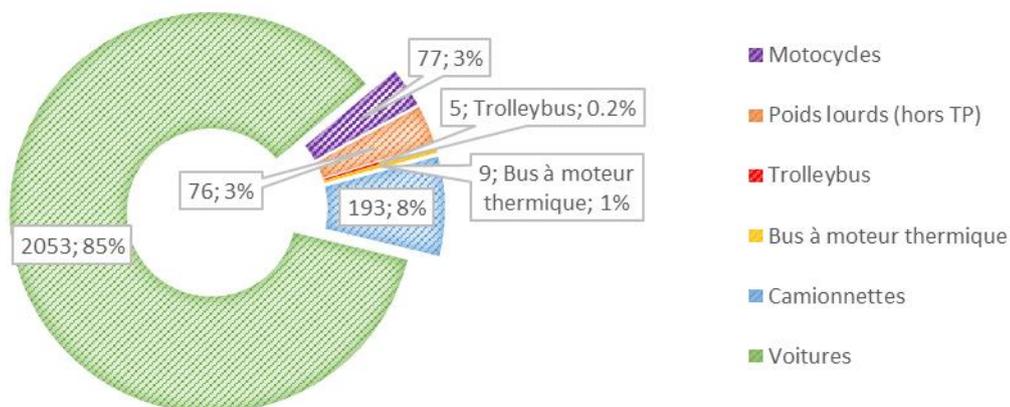


Figure 20: Distance annuelle totale parcourue par type de véhicule (source: DIREV, 2018). La distance annuelle totale tout confondu est de **2'412 millions de km/an**.

Les voitures représentent la grande majorité des distances parcourues à l'intérieur du périmètre de référence du diagnostic (2053 millions de km/an, soit 85% des distances). Le transport de marchandises représente 11% des distances parcourues, dont 8% sont effectuées par des camionnettes. Enfin, les transports publics (bus et trolleybus) ne représentent que 0.2 % des distances parcourues. A noter que seuls les transports sur route sont étudiés ici.

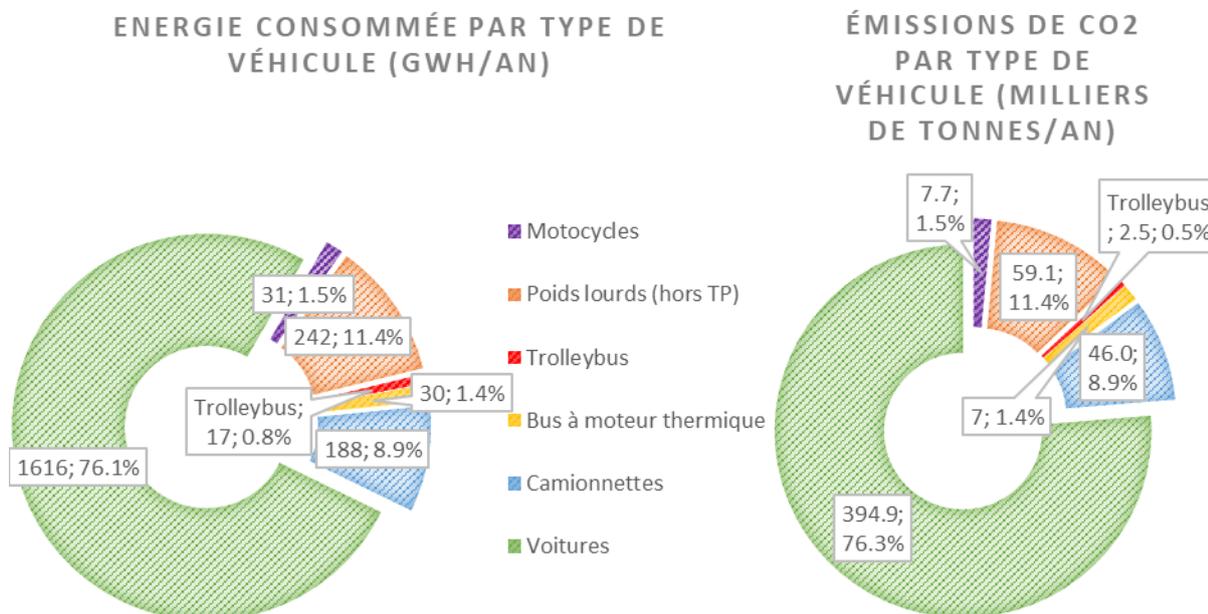


Figure 21: Energie finale consommée et émissions de CO₂ annuelles par type de véhicule (source: DIREV, 2018). Chaque étiquette représente la valeur réelle accompagnée de la part que cela représente. La consommation d'énergie totale est de **2'124 GWh/an**, tandis que le total des émissions de CO₂ vaut **517 milliers de tonnes/an**.

En reflet des distances parcourues, les voitures représentent de loin les parts les plus importantes d'énergie consommée et d'émissions de gaz à effet de serre lié au trafic à l'intérieur du périmètre du diagnostic. À noter que la part actuelle des voitures électriques sur le canton se limite à seulement 0.6% du parc de voitures⁶, ce qui justifie l'hypothèse prise d'un parc de véhicules à moteur thermique uniquement.

Ces constats démontrent que la voiture est la principale cible des mesures de réduction de l'impact énergétique et environnemental lié au trafic routier.

2.3.3 Approche 2 : Données des entreprises de transports publics

Les rapports d'activités des entreprises de transports publics (Transports Lausannois, Transports de la région de Morges-Bières-Cossonay, CarPostal et Compagnie Générale de Navigation sur le lac Léman) permettent d'obtenir les distances parcourues annuellement par les lignes desservant les communes du PALM (prise en compte de l'entier du parcours des lignes), selon le type de véhicule utilisé⁷. À noter que les distances parcourues par les trains n'ont pas été considérées.

⁶ Valeur 2018, comprenant les voitures 100% électriques et les hybrides rechargeables

⁷ tl : données 2017 ; lignes du réseau urbain et lignes régionales 54, 60, 62, 65 et 67. MBC : données 2017 ; lignes du réseau urbain et lignes régionales 724, 726, 728, 730 et 735. CarPostal : données 2016 ; lignes du réseau urbain (Bussigny) et lignes régionales 56, 75, 410, 415, 425 et 435. CGN : données 2017 ; lignes N1 et N2.

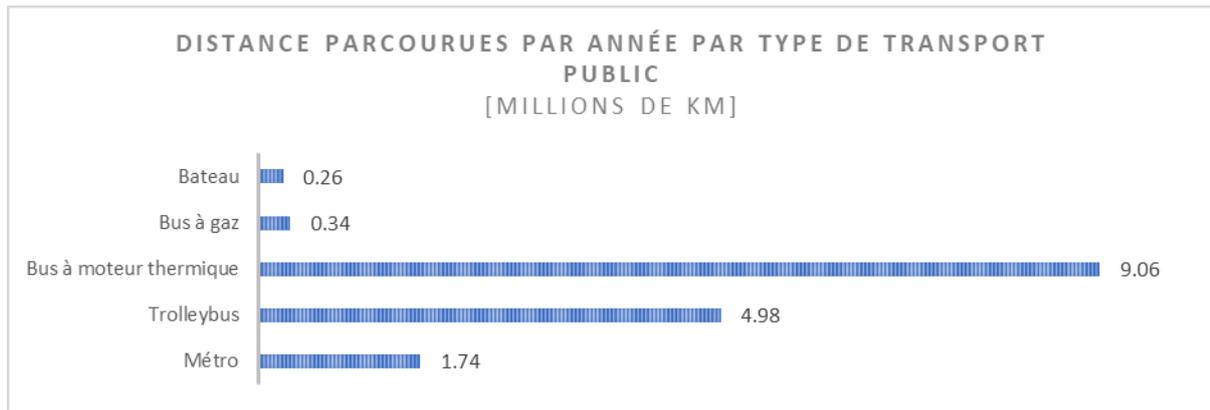


Figure 22: Distance parcourue annuellement par les transports publics desservant les communes du PALM, selon le type de véhicule (trains non compris)

Avec plus de 9 millions de km, les bus à moteur thermique représentent environ 55% des distances parcourues annuellement par les lignes de transports publics du PALM. Ils sont suivis par les trolleybus (près de 5 millions de km/an, soit environ 30% des distances), puis par les métros m1 et m2 (1.74 millions de km/an, soit près de 11% des distances).

Les bus à moteur thermique émettent une quantité importante de gaz à effet de serre. Au sein des transports publics, ils sont donc la cible prioritaire des mesures d'amélioration des bilans environnementaux. Leur remplacement par d'autres types de bus (trolleybus, bus à gaz, bus à hydrogène) serait une mesure permettant d'améliorer ces bilans.

De par la distance parcourue et la nature de l'énergie consommée (électricité), les métros (lignes M1 M2) ont une influence restreinte dans le bilan énergétique et environnemental. Ils ne représentent que 10% de la consommation d'énergie finale totale du parc de transports publics. Le plus gros poste de consommation est attribué aux bus à moteur thermique.

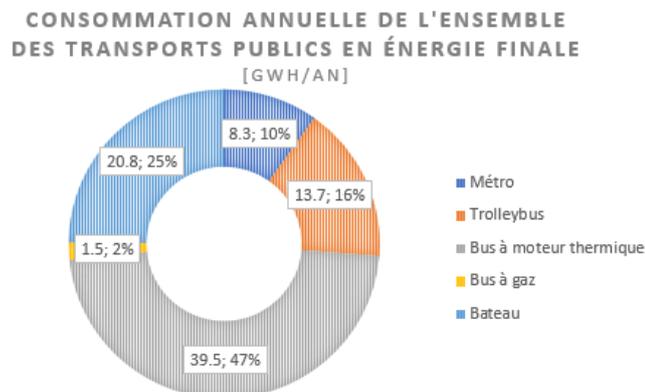


Figure 23: Consommation en énergie finale du parc des transports publics en 2017, hormis les trains (source: DIREN, 2018)

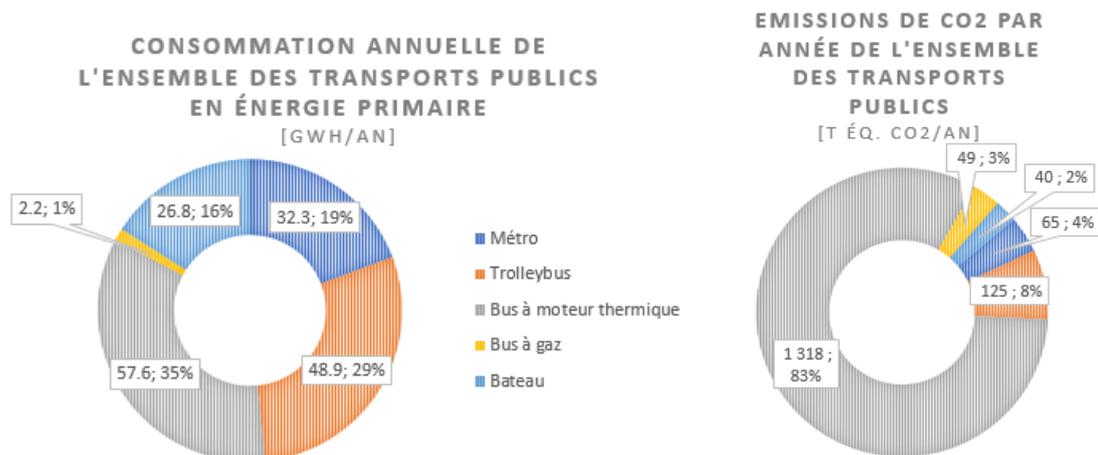


Figure 24: Consommation en énergie primaire et émissions de CO₂ du parc des transports publics en 2017 (source: DIREN, 2018)

En termes d'énergie primaire, les trolleybus représentent près de 30% de la consommation totale. Ceci est dû aux importantes distances parcourues couplées à l'impact énergétique de la conception des véhicules. Les métros occupent la 3^e position avec 19%, ceci principalement attribué à l'énergie grise requise, tout comme pour le trolleybus.

La grande majorité des émissions de CO₂ est attribuée aux bus à moteur thermique, avec 83% des émissions totales.

2.3.4 Approches 3 et 4 basées sur les distances parcourues par personne

2.3.4.1 Éléments méthodologiques

Les approches 3 « Déplacements tous motifs (MRMT) » et 4 « Déplacements des pendulaires (relevé structurel et flux frontaliers) » s'appuient sur des données relatives aux distances parcourues par les personnes, qui sont converties en distances par moyens de transport.

Le périmètre de référence et la « logique territoriale » des approches 3 et 4 diffèrent de l'approche 1 (approche selon le plan des charges de trafic). Pour les approches basées sur les distances parcourues par les personnes, **le périmètre de référence correspond aux communes du périmètre compact du PALM (26 communes)**, alors que l'approche 1 se réfère, comme le reste du diagnostic énergétique, à un périmètre comprenant les communes des schémas directeurs, auxquelles sont ajoutées les communes d'Allaman, Aubonne et Etoy pour inclure les effets de la zone d'activités de « Littoral Parc ». Le périmètre des approches 3 et 4 a été défini dans un souci de cohérence avec le PALM et ses mesures⁸.

Par ailleurs, les approches 3 et 4 considèrent l'entier des déplacements en relation avec le périmètre des communes du PALM (déplacements internes, déplacements entrants et déplacements sortants), y compris la partie des déplacements réalisée à l'extérieur du périmètre. Cette logique garantit la prise en compte de l'ensemble des impacts de la mobilité générée par le PALM, et doit permettre un suivi pertinent de leur évolution. Limiter l'analyse aux déplacements ou parties de déplacements effectués à l'intérieur du périmètre de référence reviendrait à sous-estimer les impacts de la mobilité liée au PALM, d'une part, et pourrait amener à des conclusions erronées quant à l'évolution de ces impacts (stabilité des impacts à l'intérieur du périmètre masquant une hausse effective des impacts due à une croissance des distances parcourues, par exemple), d'autre part.

Dans le cadre des approches 3 et 4, les données sur les distances moyennes parcourues par jour par les personnes ont été converties en distances de véhicules annualisées⁹, puis en consommation d'**énergie primaire**¹⁰ et émissions de CO₂, en s'appuyant sur les outils de la plateforme « Mobitool ». La plateforme suisse Mobitool fournit des outils de gestion de la mobilité et des données environnementales. Parmi les outils proposés se trouvent un ensemble de facteurs permettant de chiffrer les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergie primaire de plus de

⁸ A titre d'illustration, les communes concernées par la zone d'activités de « Littoral Parc » génèrent de nombreux déplacements sans lien avec le PALM, comme par exemple des déplacements en lien avec l'agglomération genevoise, et par conséquent sur lesquels les mesures du PALM n'ont aucune prise.

⁹ Pour approche 3 (MRMT), 365 jours par an. Pour approche 4 (pendulaires), 220 jours de travail par an.

¹⁰ L'énergie primaire est l'énergie disponible dans l'environnement et directement exploitable sans transformation. Étant donné les pertes d'énergie à chaque étape de transformation, stockage et transport, la quantité d'énergie primaire est toujours supérieure à l'énergie finale disponible.

150 moyens de transport en fonction de la distance parcourue des personnes selon le type de véhicule utilisé, sur la base d'hypothèses de taux d'occupation moyen de ces véhicules. La consommation en énergie primaire données dans l'outil Mobitool comprend les domaines suivants : l'utilisation directe du véhicule (carburant), l'utilisation indirecte via la production d'énergie, l'entretien du véhicule, sa construction et son recyclage, et le déplacement (routes, rails, ports). **L'analyse du point de vue de l'énergie primaire est donc beaucoup plus large que l'analyse en énergie finale, laquelle comprend uniquement l'utilisation directe du véhicule, c'est-à-dire la consommation de carburant.**

2.3.4.2 Approche 3 : déplacements tous motifs (MRMT)

Cette approche se base sur les données du micro-recensement mobilité et transport (MRMT). Le MRMT est une enquête quinquennale organisée par l'OFS et l'ARE à l'échelle nationale. Elle renseigne sur **les déplacements** des personnes par mode de transports, et en particulier sur les **distances** des déplacements, tous motifs confondus. Cette approche permet d'obtenir une image de l'ensemble de la mobilité engendrée par l'agglomération, quel que soit le motif de déplacement considéré (travail, achats, loisirs, etc.), et aussi bien pour les déplacements réalisés exclusivement dans les limites du périmètre de référence que pour les déplacements en échange avec celui-ci. Cette image se limite toutefois aux déplacements des personnes habitant en Suisse. La mobilité étrangère et touristique, ou encore les déplacements en transit dans l'agglomération, ne sont pas pris en compte. Cette approche permet de prendre en compte tous les modes de déplacements, notamment le train et la mobilité douce.

À des fins de lisibilité, tous les résultats ont été synthétisés sous forme de graphiques.

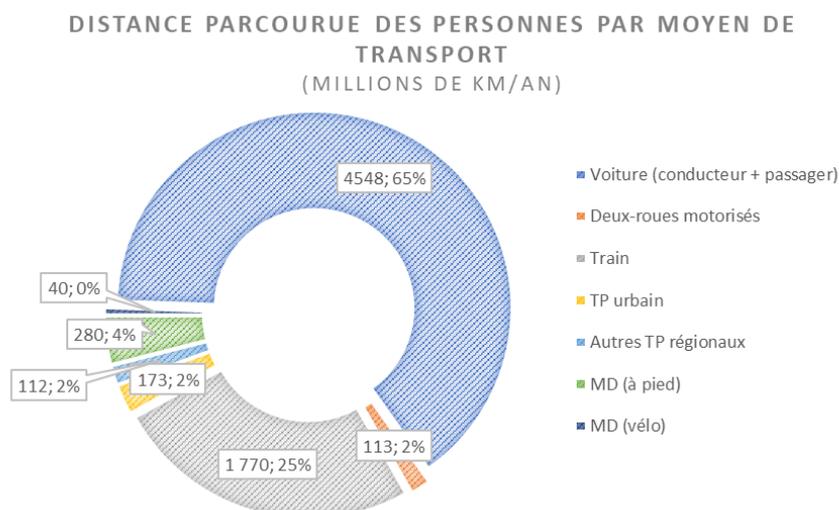


Figure 25: Distance annuelle parcourue par moyen de transport en lien avec les communes du périmètre compact, déplacements tous motifs en personnes-kilomètres (source: Microrecensement 2015). Le total des distances vaut **16,1 millions de km**. Les autres TP régionaux sont les autobus longue distance, en opposition aux bus et trolleybus circulant dans les centres urbains.

Avec plus de 4'550 millions de personnes-km par année, la voiture représente près de 65% des distances parcourues en relation avec les communes du PALM. Près de 84% des distances parcourues en voiture correspondent à des déplacements dont l'origine ou la destination se situe à l'extérieur du périmètre des communes du PALM.

Les déplacements liés aux trains représentent près de 1'800 millions de personnes-km par année, soit environ 25% des distances parcourues en relation avec le PALM, et près de 98% des distances parcourues en train sont liées à des déplacements avec une origine ou une destination à l'extérieur du périmètre des communes du PALM.

Avec respectivement 91% de la consommation énergétique en énergie primaire et 95% des émissions de CO₂ liées aux déplacements générés par le PALM, l'impact massif et prépondérant de la voiture sur le bilan énergétique et environnemental de la mobilité est une nouvelle fois démontré. Cela s'explique par le recours élevé à ce moyen de transport, par les grandes distances parcourues par les automobilistes (conducteurs et passagers) et par leurs coefficients élevés de consommation d'énergie et d'émission de CO₂. La voiture est donc la principale cible à viser dans le cadre des mesures pour l'amélioration du bilan énergétique et climatique de la mobilité, que ce soit en réduisant son usage (report modal ou la distance) ou ses impacts (par exemple véhicule électrique ou covoiturage).

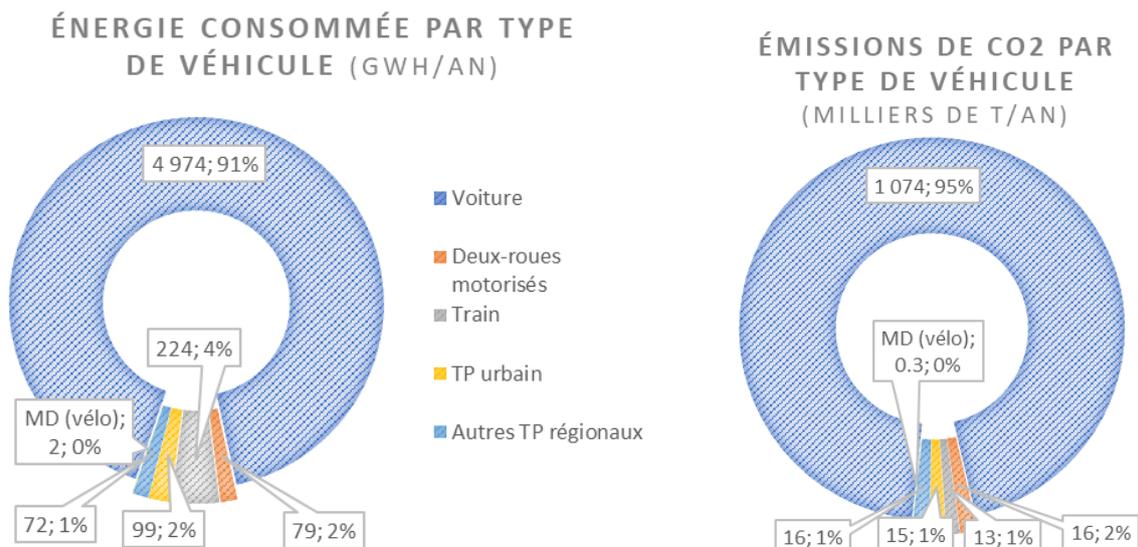


Figure 26: Consommation d'énergie primaire et émissions de CO2 par année par moyen de transport, déplacements tous motifs en lien avec les communes du périmètre compact du PALM. La consommation d'énergie totale vaut **5'450 GWh/an** et la totalité des émissions de CO₂ vaut **1'134 milliers de tonnes/an**.

Les données statistiques permettent de distinguer trois types de flux : les flux internes aux communes du PALM, les flux entrant dans le périmètre des communes du PALM et les flux sortant du périmètre des communes du PALM. La comparaison de ces 3 types de flux montre le poids prépondérant des déplacements en échange avec le PALM (flux entrant et sortant), au niveau des distances comme des impacts de la mobilité.

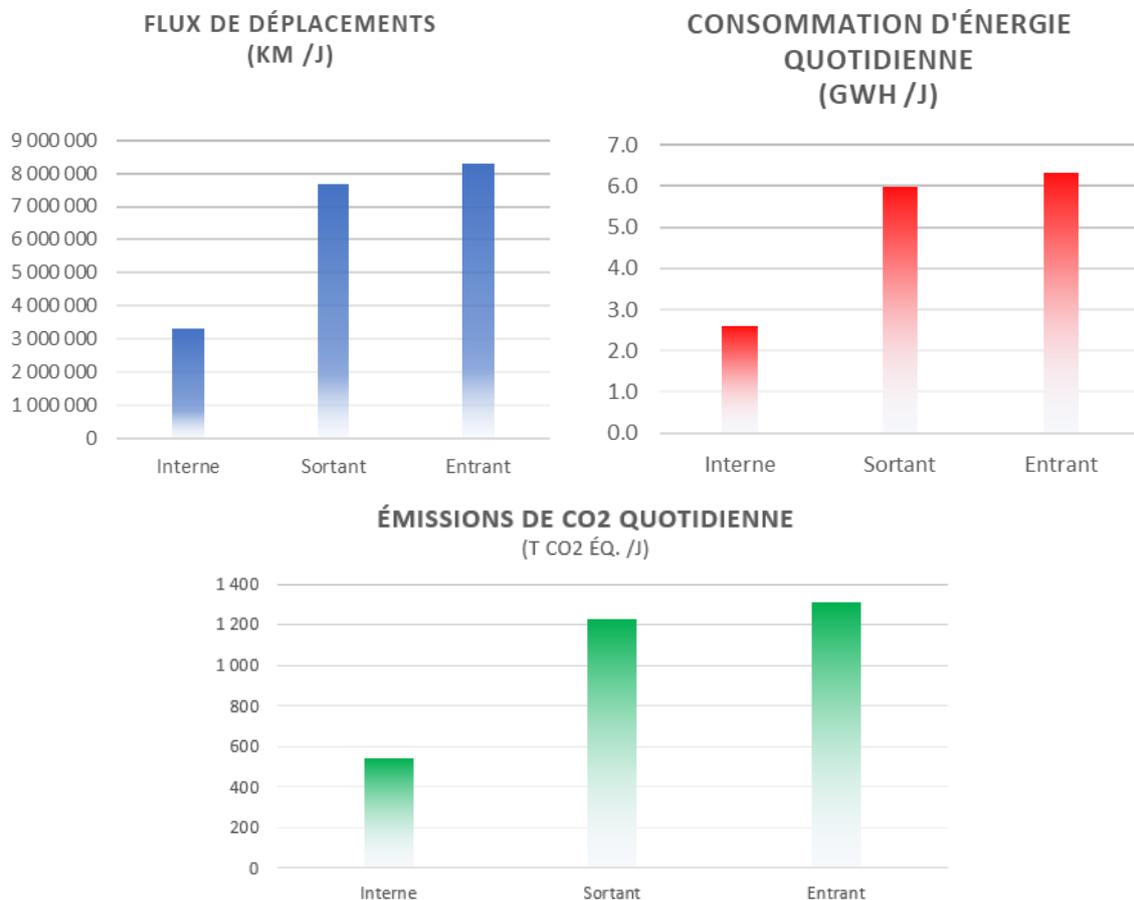


Figure 27: Distances et impacts quotidiens des déplacements internes, sortants et entrants - déplacements tous motifs en lien avec les communes du périmètre compact du PALM

2.3.4.3 Approche 4 : déplacements des pendulaires (relevé structurel et flux frontaliers)

Les déplacements des pendulaires (motif travail uniquement) sont constitués des bases de données du relevé structurel (RS) de l'Office fédéral de la statistique (OFS) mettant en relation les lieux de départ pour se rendre au travail (en principe le domicile, notion retenue ci-après) et les lieux de travail (lieux de destination). Ces bases de données sont complétées par les données sur les flux frontaliers. Pour obtenir le total des flux aller-retour, l'hypothèse retenue est celle d'une symétrie de ces déplacements. De ce fait, les flux considérés ne couvrent pas la même information que ceux du MRMT analysés selon l'approche 3 :

- Flux pendulaire interne : personne habitant et travaillant dans le périmètre ;
- Flux pendulaire sortant : personne habitant dans le périmètre et travaillant à l'extérieur du périmètre ;
- Flux pendulaire entrant : personne habitant à l'extérieur du périmètre et travaillant à l'intérieur du périmètre.

À titre d'exemple, un flux sortant comprend ici non seulement le trajet aller d'un habitant vers son lieu de travail situé à l'extérieur du périmètre de référence, mais également son trajet de retour vers son domicile situé à l'intérieur de ce périmètre.

Avec plus de 1'071 millions de personnes-km par année, les automobilistes (conducteurs et passagers) représentent 53% des distances parcourues pour les trajets domicile-travail en relation avec les communes du PALM. Plus de 92% des distances parcourues en voiture pour le motif travail correspondent à des flux en échange avec le périmètre des communes du PALM (lieu de travail ou de domicile situé à l'extérieur).

Les déplacements liés aux trains représentent près de 774 millions de personnes-km par année, soit environ 38% des distances parcourues pour les trajets domicile-travail en relation avec le PALM, et près de 97% des distances parcourues en train pour le motif travail correspondent à des flux en échange avec le périmètre des communes du PALM (lieu de travail ou de domicile situé à l'extérieur). La voiture représente respectivement 93% de la consommation énergétique et 95% des émissions de CO₂ liées aux déplacements domicile-travail générés par le PALM. L'analyse par l'approche des flux pendulaires confirme également qu'elle constitue l'enjeu principal en termes de bilan énergétique et environnemental de la mobilité.

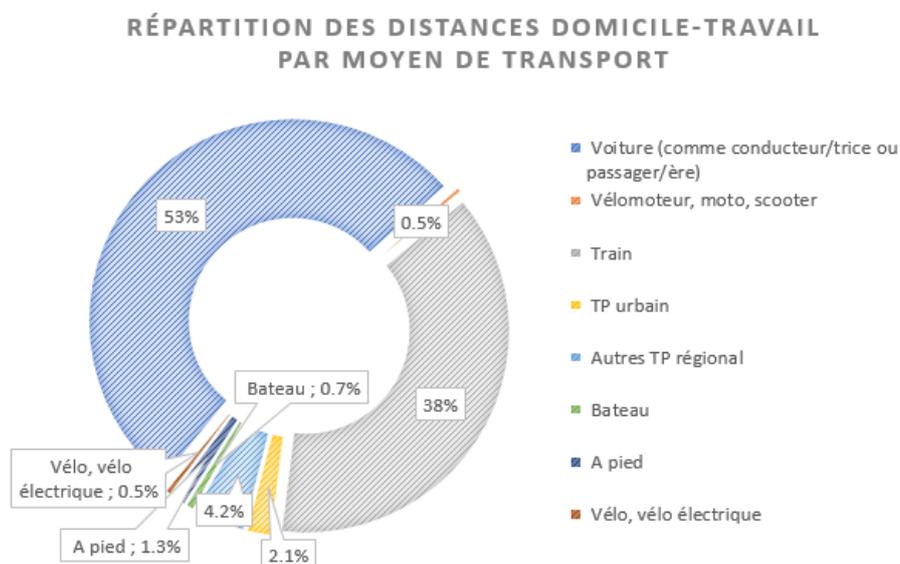


Figure 28: Répartition des distances domicile-travail annuelles parcourues par moyen de transport

La voiture représente respectivement 93% de la consommation énergétique et 95% des émissions de CO₂ liées aux déplacements domicile-travail générés par le PALM. L'analyse par l'approche des flux pendulaires confirme également qu'elle constitue l'enjeu principal en termes de bilan énergétique et environnemental de la mobilité.

RÉPARTITION DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE CONSOMMÉE PAR TYPE DE VÉHICULE (GWH/AN)

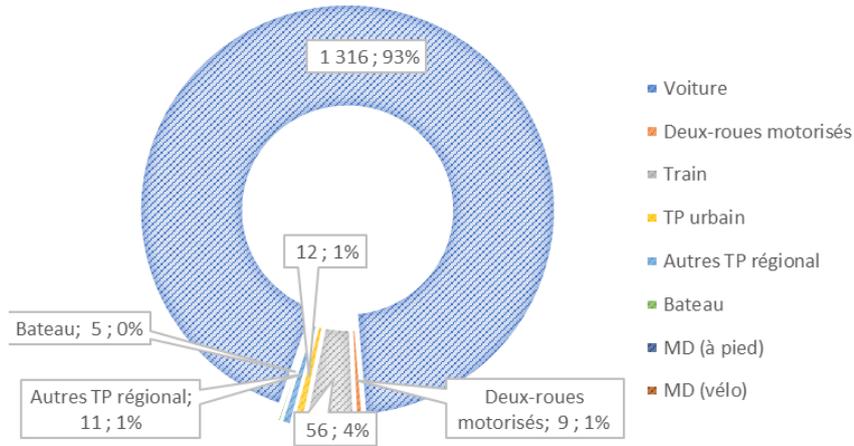


Figure 29: Répartition de la consommation d'énergie primaire annuelle liée aux pendulaires par type de véhicule

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE CO2 ÉMISES PAR TYPE DE VÉHICULE

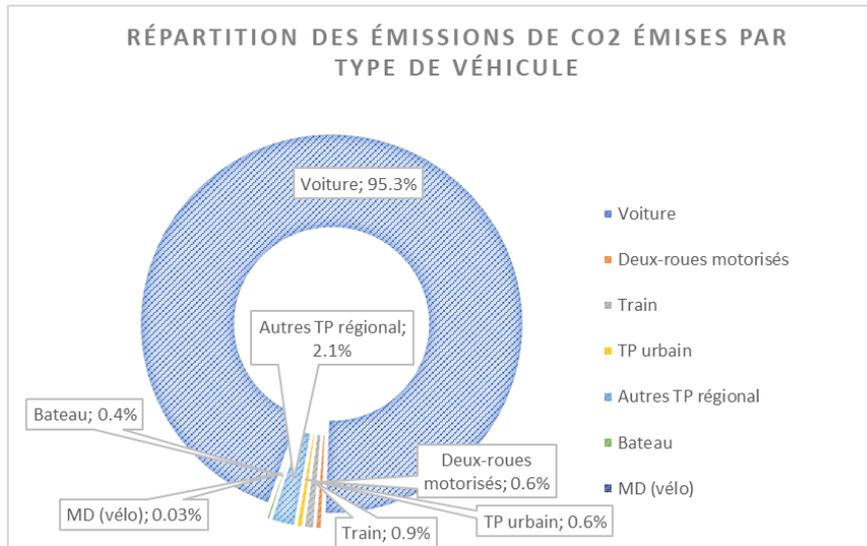


Figure 30: Répartition des émissions de CO2 annuelles liées aux pendulaires par type de véhicule

Les déplacements des pendulaires peuvent également être répartis par types de flux:

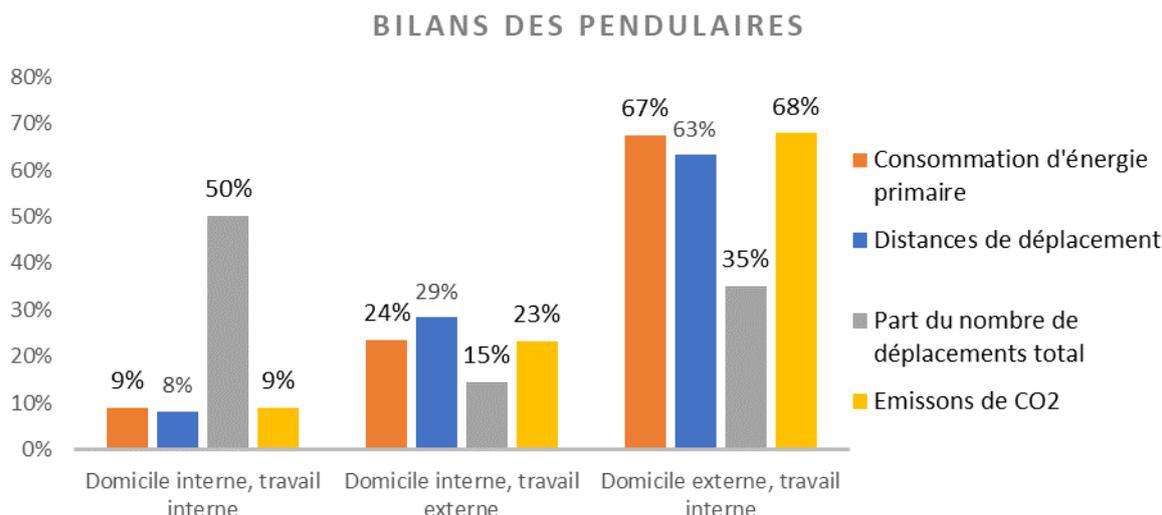


Figure 31: Part des déplacements, des distances et des impacts énergétiques et climatiques selon le type de flux pendulaires (source: DGMR, 2018)

Ce graphique fournit les enseignements suivants :

- La grande majorité des pendulaires (86%) travaillent au sein du périmètre des communes du PALM (38% de pendulaires résidant à l'extérieur et 48% de pendulaires résidant à l'intérieur du périmètre), alors que la part des pendulaires travaillant à l'extérieur des communes du PALM se limite à 14% ;
- En termes de distances parcourues, les déplacements pendulaires internes ne pèsent que 8%, contre 28% pour les déplacements pendulaires en lien avec l'extérieur du périmètre, et surtout 64% pour les déplacements de pendulaires habitant à l'extérieur du périmètre et venant y travailler. Cela s'explique par les grandes variations de distance moyenne selon le type de déplacements pendulaires ;
- L'impact environnemental des déplacements de pendulaires internes au périmètre est considérablement plus faible que celui des pendulaires résidant ou travaillant à l'extérieur du périmètre.

Pour comparaison par rapport à l'ensemble des déplacements en relation avec les communes du PALM, les déplacements liés aux trajets domicile-travail (frontaliers non compris) représentent les ordres de grandeur suivants :

- Environ 27% des distances des déplacements générés par le PALM ;
- Environ 14% des distances des déplacements réalisés à l'intérieur du périmètre des communes du PALM, et 29% des distances des déplacements en échange avec ce périmètre ;
- Environ un quart de la consommation énergétique liée aux déplacements générés par le PALM ;
- Environ un quart des émissions de CO₂ liées aux déplacements générés par le PALM.

2.3.5 Réduction potentielle des impacts liée au transfert modal et aux véhicules électriques

Les facteurs Mobitool permettent d'évaluer les effets potentiels d'un transfert modal sur la consommation énergétique et les émissions de CO₂, pour les déplacements tous motifs (approche 3), d'une part, et pour les déplacements pendulaires (approche 4), d'autre part. Les effets sont calculés en tant que réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ par personne et par kilomètre.

Pour les déplacements tous motifs (voir chapitre 2.3.4.2), la valeur de référence est la voiture transportant en moyenne 1,6 personnes. Pour les déplacements pendulaires (voir chapitre 2.3.4.3), la valeur de référence est la voiture transportant en moyenne 1,2 personne (moyenne vaudoise 2015).

	POURCENTAGE DE RÉDUCTION PAR RAPPORT À LA VOITURE (ENERGIE PRIMAIRE ET EQUIVALENT CO ₂)	
	[MJ-equ./pers./km]	[g CO ₂ -equ./pers.km]
Valeur de référence: Voiture (1.6 pers/véh)	3.3	197.2
Transfert modal		
Deux-roues motorisés (2RM)	-24%	-26%
TP urbain	-37%	-57%
Autres TP régional	-30%	-26%
Train	-86%	-96%
Mobilité douce (vélo)	-96%	-96%
Mobilité douce (à pied)	-100%	-100%
Taux d'occupation		
Voiture (1.9 pers/véh) soit +50% de passager	-16%	-16%
Voiture (2.2 pers/véh) soit 2x plus de passagers	-27%	-27%
Voiture (2.8 pers/véh) soit 3x plus de passagers	-43%	-43%
Voiture électrique		
Voiture électrique (1.6 pers./véh)	-22%	-56%

Tableau 9: Réduction potentielle des impacts liée au changement d'usage de la voiture (transfert modal, augmentation du taux d'occupation ou véhicule électrique) - selon approche 3 « Déplacements tous motifs (MRMT) ». Les autres TP régionaux sont les autobus longue distance, en opposition aux TP urbains (bus et trolleybus circulant dans les centres urbains).

Concernant la voiture électrique, le mix électrique moyen actuel du PALM a été appliqué dans l'outil Mobitool¹¹. Le reste des hypothèses définies sont les hypothèses de base de l'outil, à savoir:

- Consommation [kWh/km]: 20;
- Poids du véhicule [kg]: 1580;
- Poids de la batterie [kg]: 318;
- Nombre de changements des accus au cours de la vie du véhicule: 0,5.

¹¹ Les valeurs de Mobitool pour les voitures électriques datent de 2008 et n'ont pas été mises à jour en fonction de l'évolution de leurs performances énergétiques et de leurs émissions de CO₂.

	POURCENTAGE DE RÉDUCTION PAR RAPPORT À LA VOITURE (ENERGIE PRIMAIRE ET EQUIVALENT CO ₂)	
	[MJ-equ./pers./km]	[g CO ₂ -equ./pers.km]
Valeur de référence: Voiture (1.2 pers/véh)	4.4	263
Transfert modal		
Deux-roues motorisés (2RM)	-24%	-26%
Bateau	-75%	-71%
TP urbain	-76%	-84%
Autres TP régional	-74%	-72%
Train	-94%	-99%
Mobilité douce (vélo)	-97%	-97%
Mobilité douce (à pied)	-100%	-100%
Taux d'occupation		
Voiture (1.3 pers/véh) soit +50% de passager	-8%	-8%
Voiture (1.4 pers/véh) soit 2x plus de passagers	-14%	-14%
Voiture (1.6 pers/véh) soit 3x plus de passagers	-25%	-25%
Voiture électrique		
Voiture électrique (1.2 pers./véh.)	-22%	-56%

Tableau 10: Réduction potentielle des impacts liée au changement d'usage de la voiture (transfert modal, augmentation du taux d'occupation ou véhicule électrique) - Selon approche 4 « Déplacements des pendulaires »

Il ressort de l'analyse que les transferts de la voiture vers la marche, le vélo ou le train recèlent les réductions potentielles les plus fortes en termes de consommation énergétique et d'émissions de CO₂, pour les déplacements tous motifs comme pour les seuls déplacements pendulaires (réduction de 84% à 100% de la consommation énergétique et de 96% à 100% des émissions de CO₂).

Les effets potentiels sont plus prononcés pour les déplacements pendulaires, en raison du taux d'occupation plus faible des voitures et plus élevé de tous les transports publics (train, TP urbains et régionaux). L'impact d'une croissance du taux d'occupation des voitures via le covoiturage doit être relativisé. Le doublement du nombre de passagers moyen dans les voitures ne permet par exemple qu'une réduction des impacts d'environ 30% pour la mobilité tous motifs et d'environ 15% pour la mobilité pendulaire. Pour la mobilité tous motifs, l'effet d'un doublement des passagers est donc comparable au remplacement de la voiture par un deux-roues motorisés (2RM), et un triplement serait nécessaire pour atteindre un effet à la hauteur des TP urbains. Pour la mobilité pendulaire, un triplement du nombre de passagers ne permet qu'une réduction de 25% des impacts, largement en-dessous des effets permis par un transfert vers les transports publics. Du point de vue énergétique et des émissions de CO₂, les transports publics resteront toujours plus favorables que le covoiturage, sans même mentionner les impacts de la voiture en termes de consommation d'espace pour circuler ou stationner¹².

Enfin, le remplacement de la voiture par une voiture électrique permet une économie d'énergie de 22% et une réduction de moitié des émissions de CO₂. Néanmoins, il s'agit d'être prudent avec ce constat, car les émissions de CO₂ dépendent entièrement du mix électrique utilisé. Dans le cas présent, un mix moyen consommateur suisse est considéré, majoritairement renouvelable¹³.

Le transfert modal, l'amélioration du taux d'occupation des voitures ou la croissance du parc de voitures électriques représentent des paramètres clés pour maîtriser les impacts de la mobilité. Leurs effets potentiels sont toutefois susceptibles d'être contrecarrés par la croissance démographique et l'augmentation des distances de déplacement, qui

¹² Avec 5 occupants dans une voiture, la réduction potentielle des impacts atteint 68% pour les déplacements tous motifs, soit un effet presque comparable aux TP régionaux, mais encore bien inférieur au train.

¹³ Mix consommateur CH 2016: 58% d'énergie hydraulique, 36% d'énergie nucléaire, et 5% restants fournis par usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) et nouvelles énergies renouvelables comme le vent, le soleil et la biomasse. (source: <https://www.kernenergie.ch/fr/mix-electrique-suisse.html>, 2018)

correspond actuellement à une tendance forte. Cela démontre la nécessité de retourner vers une « proximité » (diminution des distances parcourues) pour obtenir un impact réel sur l'énergie et l'environnement¹⁴.

Les effets potentiels sur la consommation en énergie primaire et les émissions de CO₂ ont été quantifiés pour deux trajets type, pour les déplacements tous motifs, sur les figures ci-dessous. Une comparaison en énergie finale a également été établie pour le premier trajet considéré.

- Le premier trajet considéré correspond à un aller-simple entre Lausanne et Yverdon-les-Bains (38 km). Ce trajet a été pris en considération pour les moyens de transport permettant de parcourir de longues distances: voitures, deux-roues motorisés, train.
- Le deuxième trajet considéré correspond à un aller-simple entre Lausanne-Gare et l'EPFL (5 km). Ce trajet a été pris en considération pour les moyens de transport permettant de parcourir de courtes distances: transports publics, vélo électrique. La voiture a été considérée à titre comparatif. La mobilité douce n'est pas représentée car son impact énergétique est considéré comme nul.

Pour la voiture électrique, il est estimé que 50% des véhicules sont hybrides et 50% sont entièrement électriques. A noter que le mix électrique spécifique du PALM est appliqué.

Les résultats obtenus permettent d'identifier les alternatives à la voiture à cibler afin de garantir un impact maximal. Plus les valeurs sont basses, plus les alternatives sont favorables.

En ce qui concerne les trains, les facteurs suivant ont été utilisés pour calculer les consommations d'énergie et émissions de CO₂:

- Trajet Lausanne Yverdon-les-Bains: facteurs pour les trains de grande ligne
- Trajet Lausanne-Gare – EPFL: facteurs pour les trains régionaux

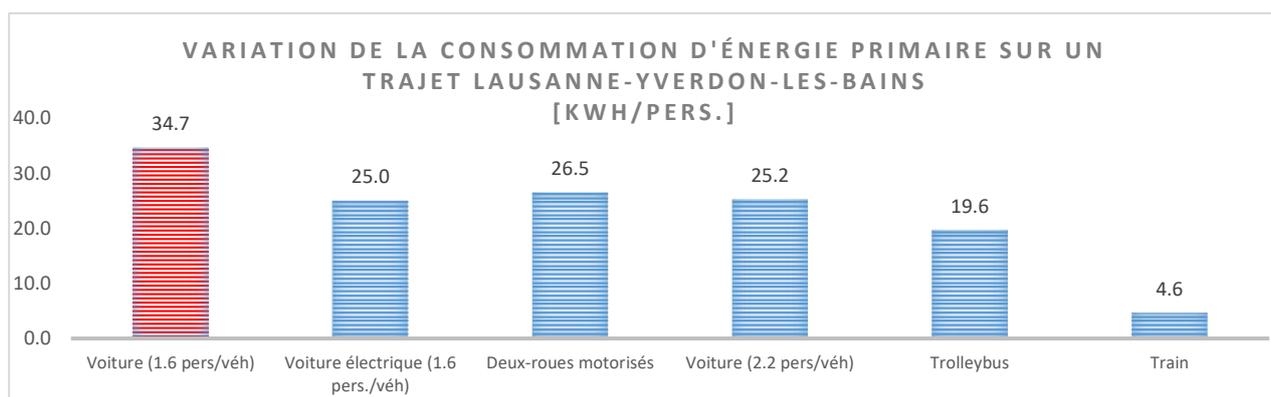


Figure 32: Réduction de la consommation énergétique en énergie primaire pour un trajet Lausanne - Yverdon-les-Bains, selon le type de changement d'usage de la voiture (transfert modal, augmentation du taux d'occupation ou véhicule électrique) - selon l'approche 3 « Déplacements tous motifs (MRMT) »

¹⁴ Dans une étude SNCF de 2015 en France, un seul scénario, celui de la « proximité », permet d'atteindre l'objectif de réduction par quatre des émissions de gaz à effet de serre au niveau national (Facteur 4). A noter que compte tenu des coûts réels des différents modes de transport, ce scénario permet également à la collectivité d'économiser près de 100 milliards d'euros par an par rapport à la situation actuelle et aux autres scénarios.

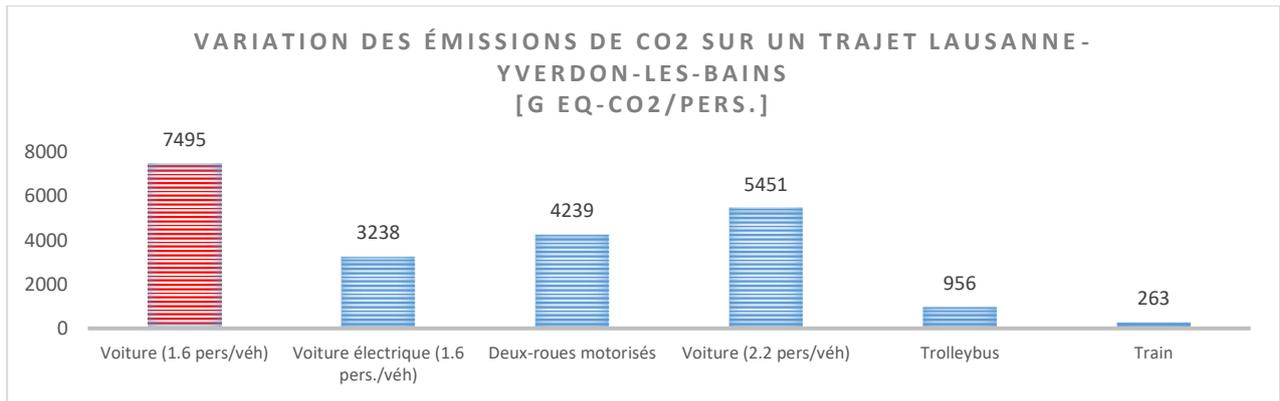


Figure 33: Réduction des émissions de CO₂ pour un trajet Lausanne - Yverdon-les-Bains, selon le type de changement d'usage de la voiture (transfert modal, augmentation du taux d'occupation ou véhicule électrique) - selon l'approche 3 « Déplacements tous motifs (MRMT) »

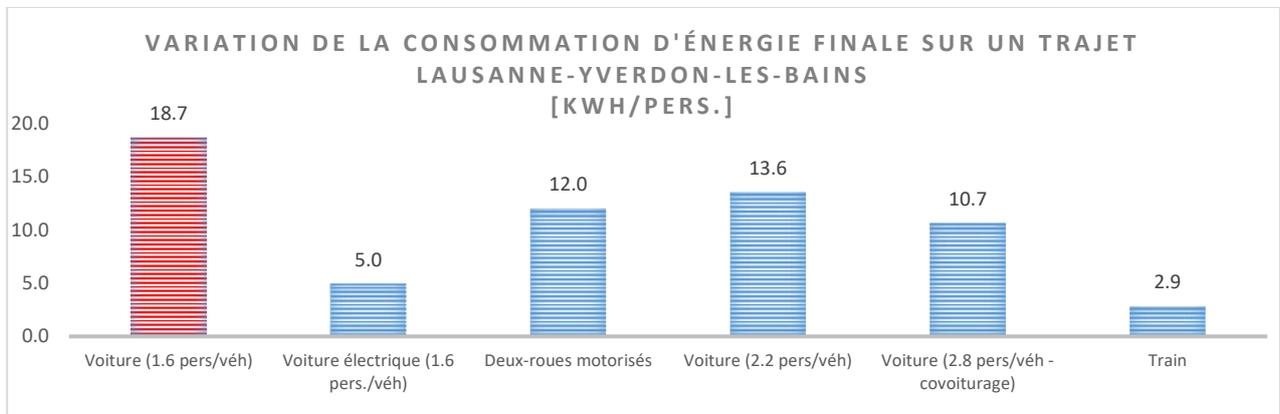


Figure 34: Réduction de la consommation énergétique en énergie finale pour un trajet Lausanne - Yverdon-les-Bains, selon le type de changement d'usage de la voiture (transfert modal, augmentation du taux d'occupation ou véhicule électrique) - selon l'approche 3 « Déplacements tous motifs (MRMT) »

Sur un trajet d'une quarantaine de kilomètres, le remplacement de la voiture par le train permet les réductions les plus fortes en termes de consommation énergétique comme d'émissions de CO₂. La voiture électrique permet une réduction significative des émissions de CO₂, mais son effet sur l'énergie primaire est marginal. L'impact est beaucoup plus marqué sur l'énergie finale, avec une réduction de la consommation de plus de 60%. Enfin, une croissance très élevée, et peu réaliste, du taux d'occupation des voitures est nécessaire pour atteindre un effet prononcé.

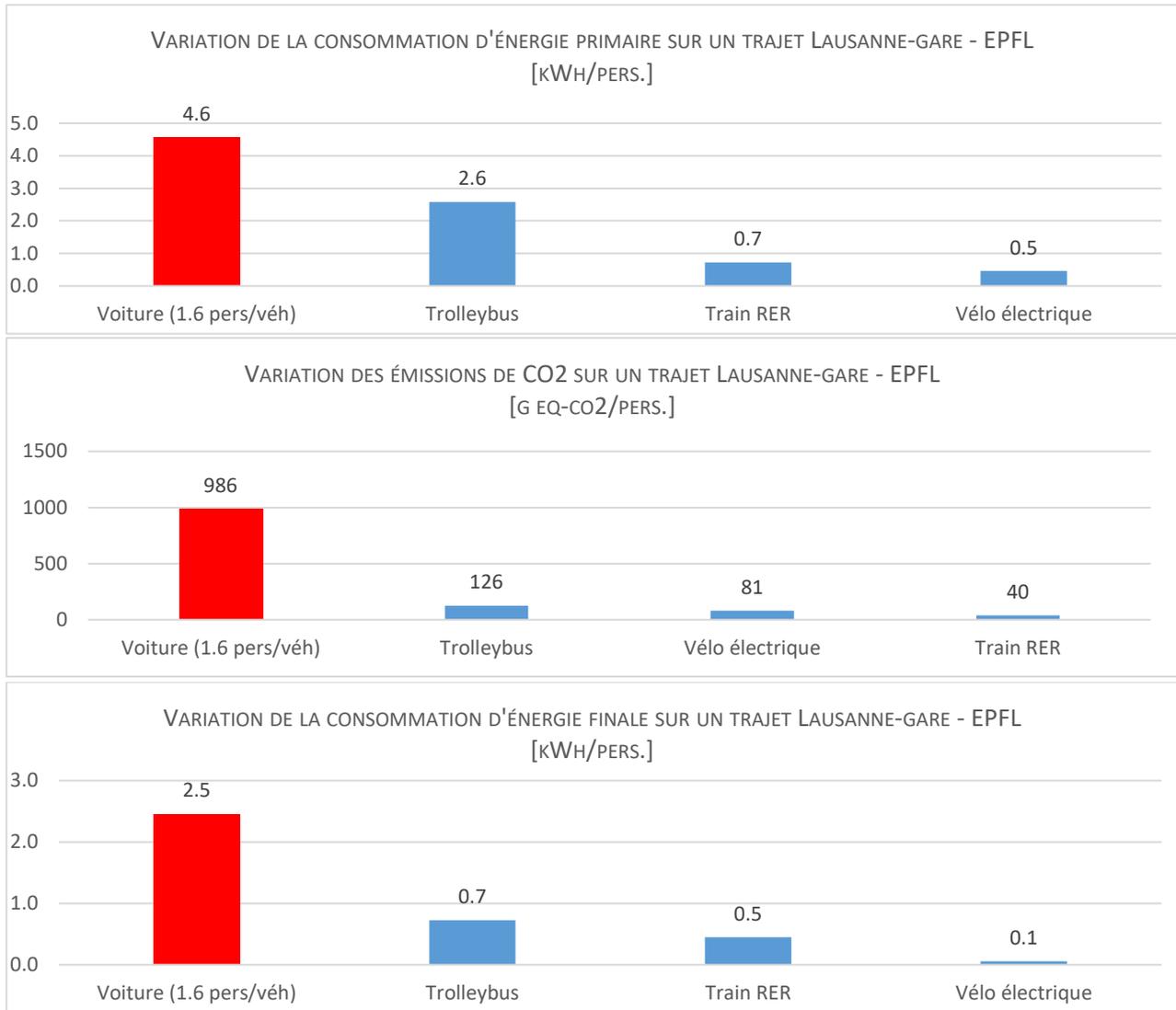


Figure 35: Consommation d'énergie primaire, finale et réduction des émissions de CO₂ pour un trajet Lausanne- Gare - EPFL, selon le type de moyen de transport urbain (transfert modal, augmentation du taux d'occupation ou véhicule électrique) - selon l'approche 3 « Déplacements tous motifs (MRMT) ». L'impact de la mobilité douce n'est pas représenté car il est considéré comme nul.

Sur un trajet courte distance (5 km), l'emploi du vélo électrique entraîne une réduction importante de la consommation en énergie primaire et des émissions de CO₂ comparé aux transports publics urbains (trolleybus et train RER).

2.3.6 Principales conclusions sur la mobilité

- L'analyse des impacts énergétiques et en termes d'émissions de CO₂ de la mobilité générée par le PALM, menée selon 4 approches complémentaires, fournit les principaux enseignements suivants: les voitures représentent de loin les parts les plus importantes (76%) d'énergie consommée et d'émissions de CO₂ liées au trafic routier à l'intérieur du périmètre de référence du diagnostic (approche 1 selon le plan des charges de trafic). Elles sont suivies par les poids lourds (hors transports publics), puis par les camionnettes. Les transports publics (bus, trolleybus) représentent 2% de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ du trafic routier.
- Les bus à moteur thermique représentent 35% de la consommation d'énergie primaire et 83% des émissions de CO₂ liées aux transports publics de l'agglomération (hormis le train). Parmi les transports publics considérés, ils représentent les plus grandes distances parcourues annuellement. L'enjeu principal concernant les TP est donc la suppression progressive des bus à moteur thermique. Ils peuvent être remplacés par d'autres types de TP (nouvelles lignes de métros ou de trolleybus par exemple) ou par la mobilité douce.

- La voiture représente 91% de la consommation d'énergie primaire et 95% des émissions de CO₂ liées aux déplacements (tous motifs) générés par le PALM (approche 3 « Déplacements tous motifs »). Il s'agit donc de la cible prioritaire pour des mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions de CO₂.
- Le transfert modal de la voiture vers le train est le moyen le plus efficace de réduction de la consommation d'énergie primaire et des émissions de CO₂ (respectivement -86% et -96% pour la mobilité tous motifs) sur les trajets de moyenne et grande distance. Pour les petites distances, la mobilité douce est le moyen d'en supprimer quasiment tous les impacts. Cela démontre également que la croissance des distances moyennes de déplacement affecte directement la quantité d'énergie et les émissions CO₂, et qu'une réflexion sur les moyens de promouvoir une mobilité de proximité « proximobilité » est nécessaire.
- Les voitures électriques ne représentent actuellement qu'une part très faible du parc automobile vaudois, mais leur nombre est en nette augmentation. Ces véhicules ont un impact potentiel significatif sur les émissions de CO₂. Leurs effets potentiels sur la consommation d'énergie primaire sont très limités, toutefois ils permettent une réduction significative de la consommation en énergie finale.

3. Ressources locales

3.1 Ressources thermiques

Les ressources thermiques locales sont les suivantes, avec les possibilités de valorisation dans un réseau thermique (réseau de chauffage et/ou de froid à distance):

RESSOURCE	VALORISATION POSSIBLE DANS UN RÉSEAU THERMIQUE ?
Biogaz déchets verts	Oui
Bois	Oui
Déchets incinérables	Oui
Biogaz STEP	Oui
Géothermie moyenne Profondeur	Oui
Géothermie faible profondeur	Oui, en réseau à basse/moyenne température
Chaleur des eaux usées	Oui, en réseau à basse/moyenne température
Eau du lac	Oui, en réseau à basse/moyenne température
Solaire thermique	Potentiellement pour les réseau à moyenne température

Tableau 11: Ressources thermiques disponibles sur le périmètre du diagnostic et possibilité de valorisation dans un réseau thermique

3.1.1 Bois

La première précision importante concernant cette ressource est la classification d'une grande partie du territoire comme zone à émissions excessives de Type 1. Le plan d'assainissement de l'air des mesures OPAir 2018¹⁵ comprend des mesures d'assainissement de l'air sur le territoire du PALM dans les domaines de l'aménagement du territoire, de la mobilité, des poids lourds, de l'énergie, de l'industrie, de l'artisanat et des ménages.

¹⁵ Plan des mesures OPAIR de l'agglomération Lausanne-Morges, 2018, Canton de Vaud

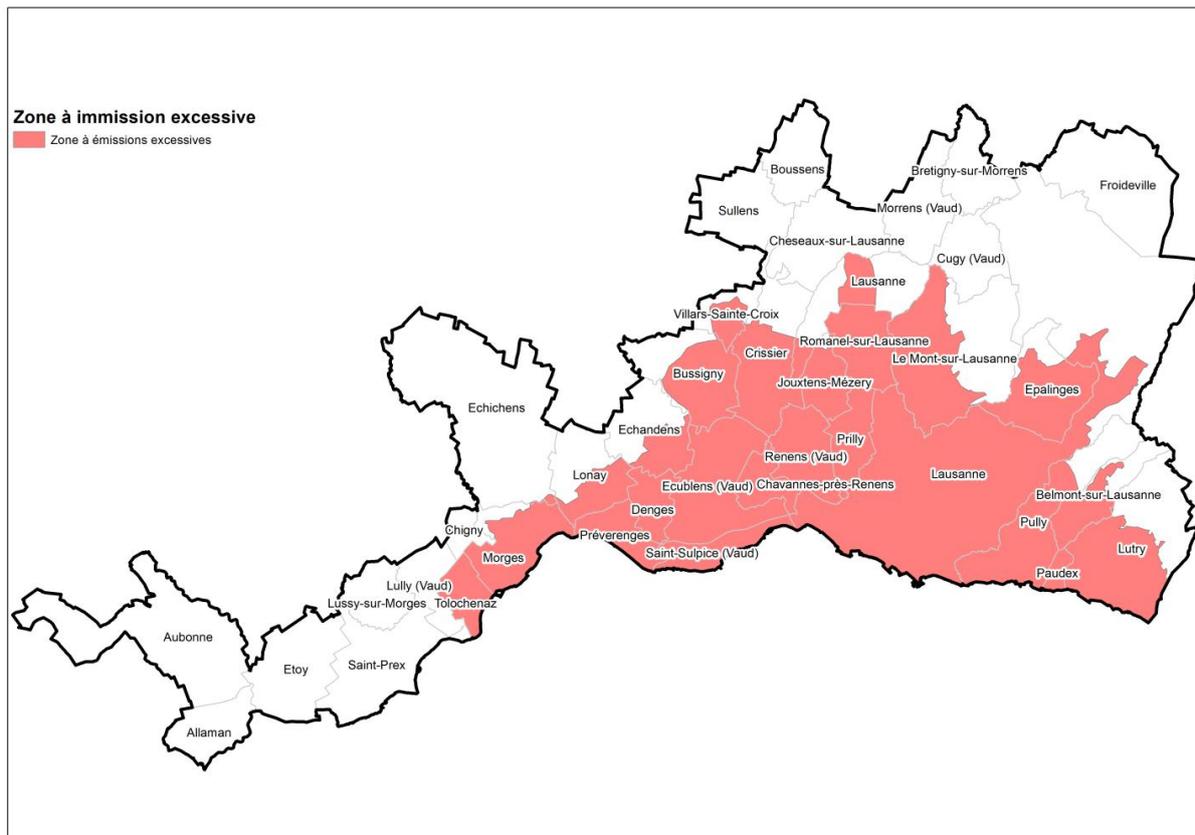


Figure 36: Zones à émissions excessives (source : DIREN, 2018)

Ces zones suivent une réglementation très stricte consignée dans la Directive cantonale pour l'implantation du chauffage à bois. La réglementation régissant les installations de chauffage à bois dans ces zones est disponible à l'annexe 11. Cette réglementation rend les installations de chauffage à bois très onéreuses dans ces zones, ce qui tend à favoriser l'utilisation de cette ressource dans les installations collectives afin d'alimenter un réseau de chauffage à distance.

Le potentiel bois-énergie sur le périmètre du diagnostic est séparé en 2 catégories: le bois de forêt et le bois usagé. Les hypothèses utilisées dans le cadre de la CoCEn ont été reprises, à savoir que **le bois de forêt est valorisé en chaudière et le bois usagé par cogénération**.

Le potentiel maximum sur l'ensemble du périmètre est le suivant:

		POTENTIEL TOTAL [GWh/an]			
QUANTITÉ (T)		VALORISATION PAR COMBUSTION	VALORISATION PAR COGÉNÉRATION		
		POTENTIEL THERMIQUE	POTENTIEL THERMIQUE	POTENTIEL ÉLECTRIQUE	ÉLEC-
Bois de forêt	9 435	28.3			
Bois usagé	28 650		85.0		18.2

Tableau 12: Potentiel bois-énergie du périmètre (source: Rapport Xylon, 2017). Il s'agit du potentiel en sortie d'installation, après application des rendements de combustion ou cogénération

Le potentiel bois-énergie du PALM représente 6,9% du potentiel du canton de Vaud (1'200 GWh/an¹⁶). La part du bois de forêt déjà valorisée énergétiquement sur le périmètre du PALM n'est pas recensée. Toutefois, une estimation est donnée en se basant sur la part de bois de forêt exploitée actuellement au niveau du canton pour une valorisation

¹⁶ Source: stratégie bois-énergie du canton de Vaud

énergétique¹⁷. Concernant le bois usagé, une certaine partie de ce potentiel est déjà valorisée énergétiquement sur le périmètre de diagnostic, principalement à l'usine d'incinération TRIDEL et pour le réseau de chauffage à distance CRICAD sur la commune de Crissier (Tableau 13). Ces résultats permettent de voir que plus de 15'000 tonnes sont exportées à l'extérieur du périmètre. Parmi ces 15'000 tonnes, 9'749 sont exportées à l'étranger. Le reste est valorisé énergétiquement dans d'autres installations du canton. Nous pouvons donc constater que plus de la moitié du bois usagé pourrait encore être valorisé localement.

		POTENTIEL DÉJÀ VALORISÉ SUR PÉRIMÈTRE [GWH/AN]		
	QUANTITÉ (T)	VALORISATION PAR COMBUSTION	VALORISATION PAR COGÉNÉRATION	
		THERMIQUE	THERMIQUE	ÉLECTRIQUE
Bois de forêt	~5 660	~5 660		
Bois usagé	13 611		40.4	8.7

Tableau 13: Répartition du potentiel bois-énergie du périmètre (source: Rapport Xylon, 2017)

Le potentiel du bois de forêt et le bois usagé valorisé sont répartis spatialement de la manière suivante:

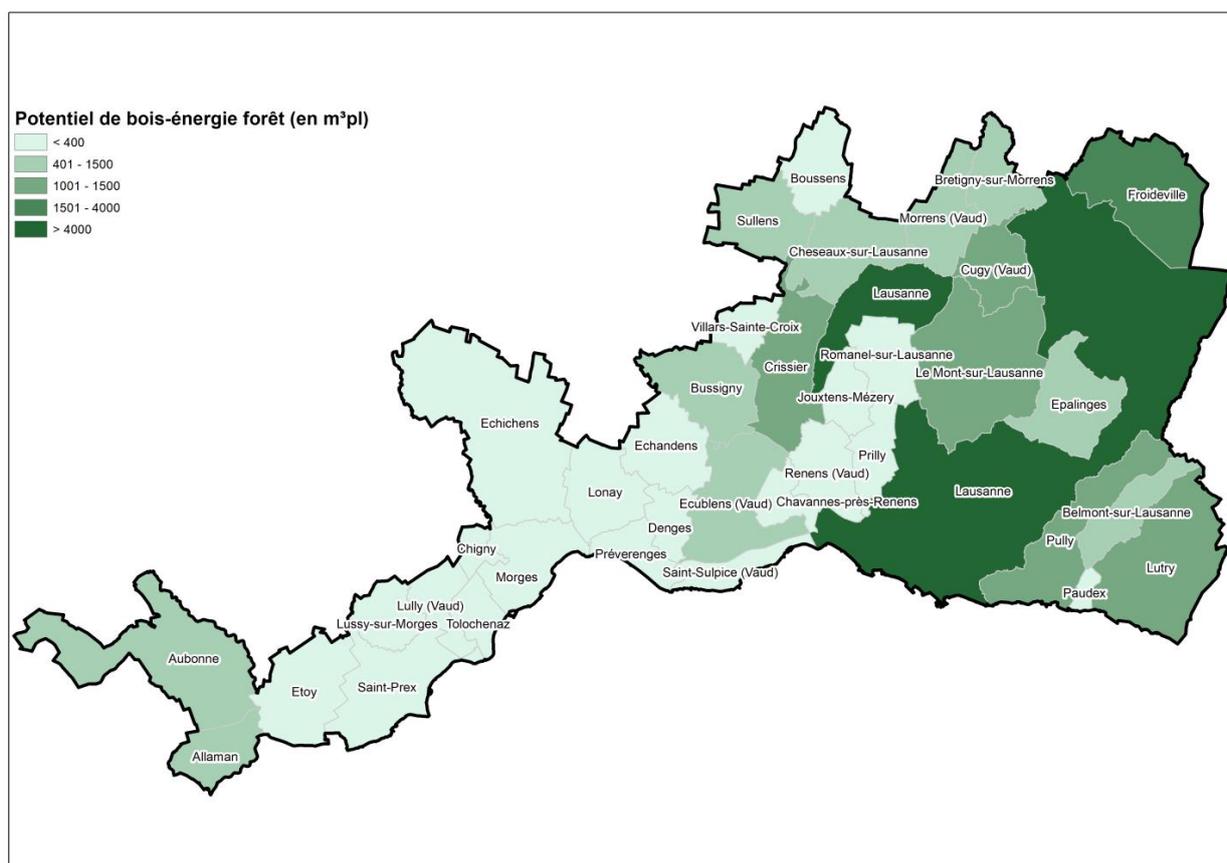


Figure 37: Potentiel annuel du bois-énergie provenant des forêts

¹⁷ Il est considéré que l'exploitation du bois de forêt peut être augmentée de 20% par rapport à la situation actuelle et que la part dédiée à une valorisation énergétique peut être augmentée de 25% à 35%. Ces hypothèses conduisent à une valorisation actuelle du bois-énergie de 60% du potentiel maximum (potentiel considéré ici).

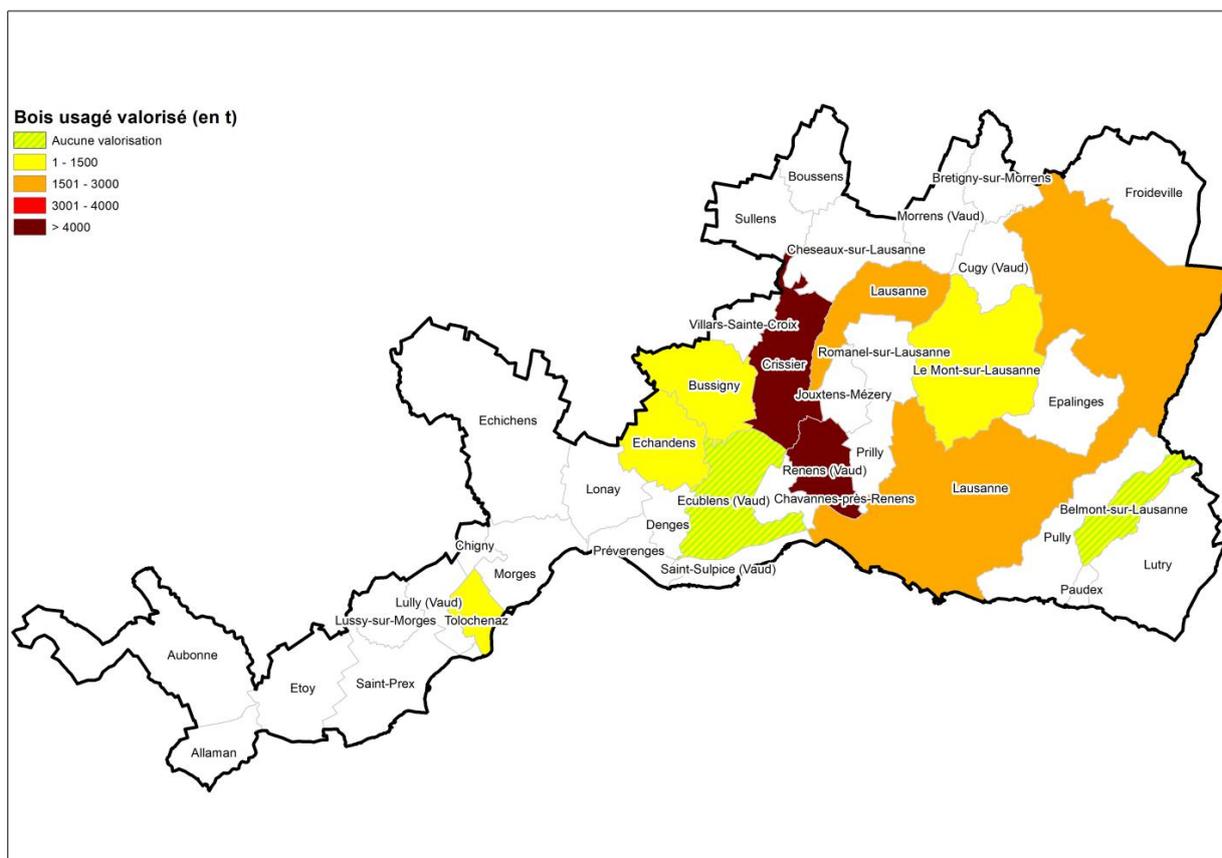


Figure 38: Bois usagé valorisé annuellement sur le territoire du périmètre de diagnostic

A noter que la répartition spatiale du bois usagé valorisé dépend de la localisation des centres de collecte du bois usagé. Ces centres peuvent être approvisionnés par plusieurs communes selon les zones d'apport. Les valeurs par commune concernant le bois-énergie et le bois usagé sont disponibles à l'annexe 12.

3.1.2 Biogaz

Les sources de production de biogaz considérées dans ce rapport sont les déchets organiques et les boues d'épuration. Le biogaz peut être utilisé pour la production de chaleur (chaudière à gaz) ou de chaleur et d'électricité (cogénération). Dans le cadre de ce diagnostic, pour la quantification du potentiel énergétique, il est considéré que la totalité du biogaz disponible sur le territoire du diagnostic énergétique est utilisé pour la cogénération. Toutefois, pour les installations d'une certaine taille, il peut être intéressant d'épurer le biogaz afin de l'injecter dans le réseau de gaz naturel ou pour une utilisation comme biocarburant dans les véhicules.

3.1.2.1 Potentiel des biodéchets

Afin d'estimer le potentiel de biogaz lié aux biodéchets, trois types de déchets sont pris en compte:

- Les déchets communaux méthanisables (part organique des ordures ménagères et déchets végétaux) ;
- Les déchets agricoles ;
- Les lavures (restes d'aliments, principalement issus de la restauration). Le potentiel lié aux lavures est disponible pour la commune de Lausanne uniquement.

Le potentiel des déchets méthanisables est calculé sur la base des biodéchets récoltés par les communes, auquel s'ajoute une part des ordures ménagères qui pourraient être valorisées comme biodéchets¹⁸. Ce potentiel est représenté spatialement ci-dessous :

¹⁸ Il est considéré que les ordures ménagères contiennent 28% de biodéchets, dont 40% pourraient être valorisés.

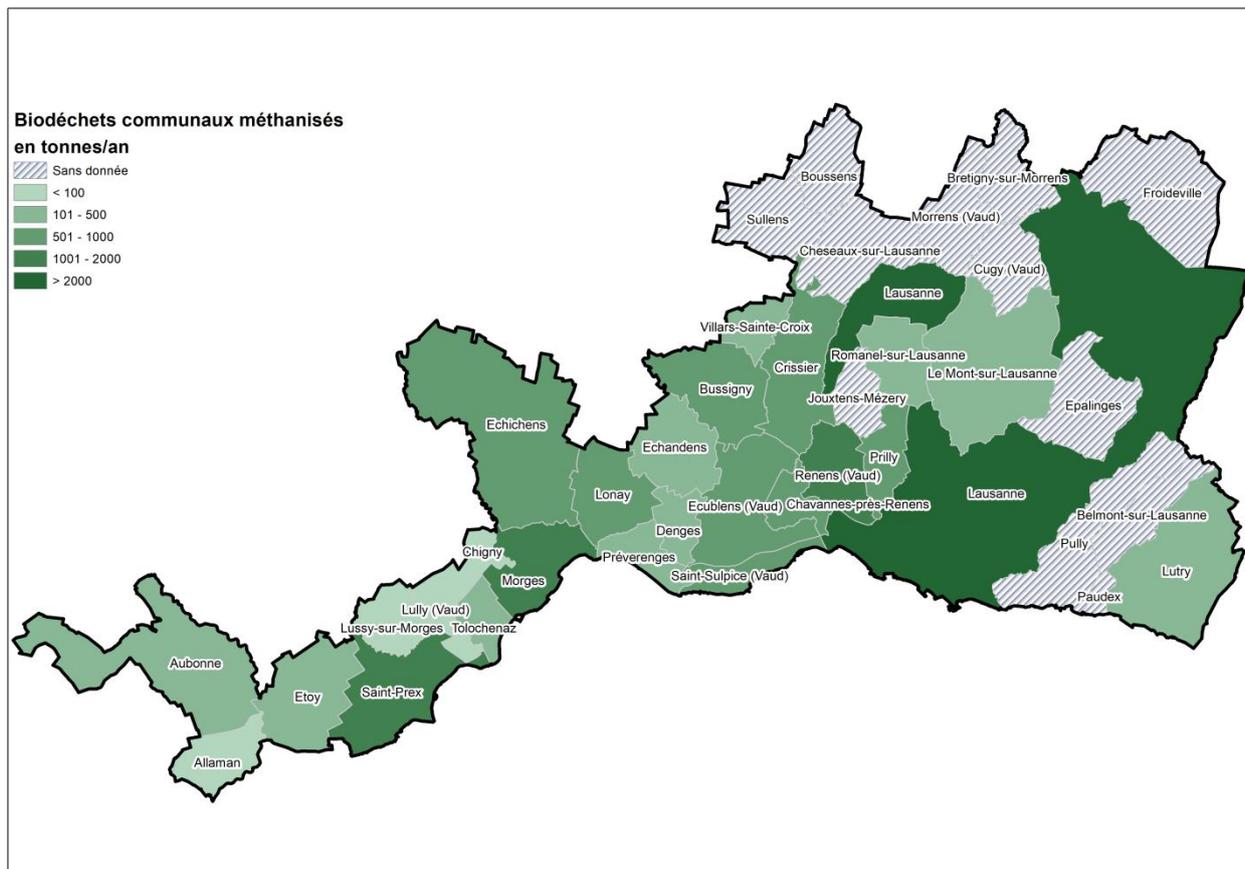


Figure 40: Biodéchets méthanisés (source: DGE, 2018)

En revanche, le taux de déchets agricoles déjà méthanisé est inconnu. Par conséquent, il est considéré comme non utilisé pour la méthanisation à l'heure actuelle. Le Tableau 14 résume le potentiel lié au biogaz et la part déjà valorisée.

POTENTIEL TOTAL [GWh/AN]	POTENTIEL VALORISE [GWh/AN]	POTENTIEL THERMIQUE TOTAL [GWh/AN]	POTENTIEL ELECTRIQUE TOTAL [GWh/AN]	POTENTIEL THERMIQUE VALORISE [GWh/AN]	POTENTIEL ELECTRIQUE VALORISE [GWh/AN]
86	62	43	30	31	22

Tableau 14: Potentiel énergétique du biogaz (source : DIREN, 2018)

- **Potentiel total** : potentiel énergétique pour tout type de déchets confondus indépendamment du type d'utilisation (électrique ou thermique). Il est calculé sur la base du pouvoir calorifique inférieur moyen du biogaz (voir annexe 10).
- **Potentiel valorisé** : potentiel des déchets méthanisés aujourd'hui.
- **Potentiel thermique ou électrique total**: potentiel de production thermique ou électrique après application du rendement d'une installation de couplage chaleur-force.
- **Potentiel thermique ou électrique valorisé**: potentiel de production thermique ou électrique valorisé actuellement, après application du rendement d'une installation de couplage chaleur-force.

Cela montre que sur le périmètre du diagnostic plus de 25% du potentiel de production de biogaz lié aux biodéchets est non valorisé.

Les paramètres de calcul de la production par cogénération, de même que le potentiel énergétique par commune, sont disponibles à l'annexe 10.

3.1.2.2 Potentiel de production de biogaz des stations d'épuration

Les stations d'épuration (STEP) produisent des boues dans le cadre du traitement des eaux usées. Ces boues peuvent être méthanisées afin de produire du biogaz. Le biogaz est ensuite soit épuré et injecté dans le réseau de gaz, soit valorisé sur site par cogénération (production de chaleur et d'électricité).

Le périmètre du diagnostic comprend 16 STEP. Leur potentiel de production de biogaz est illustré à la figure suivante:

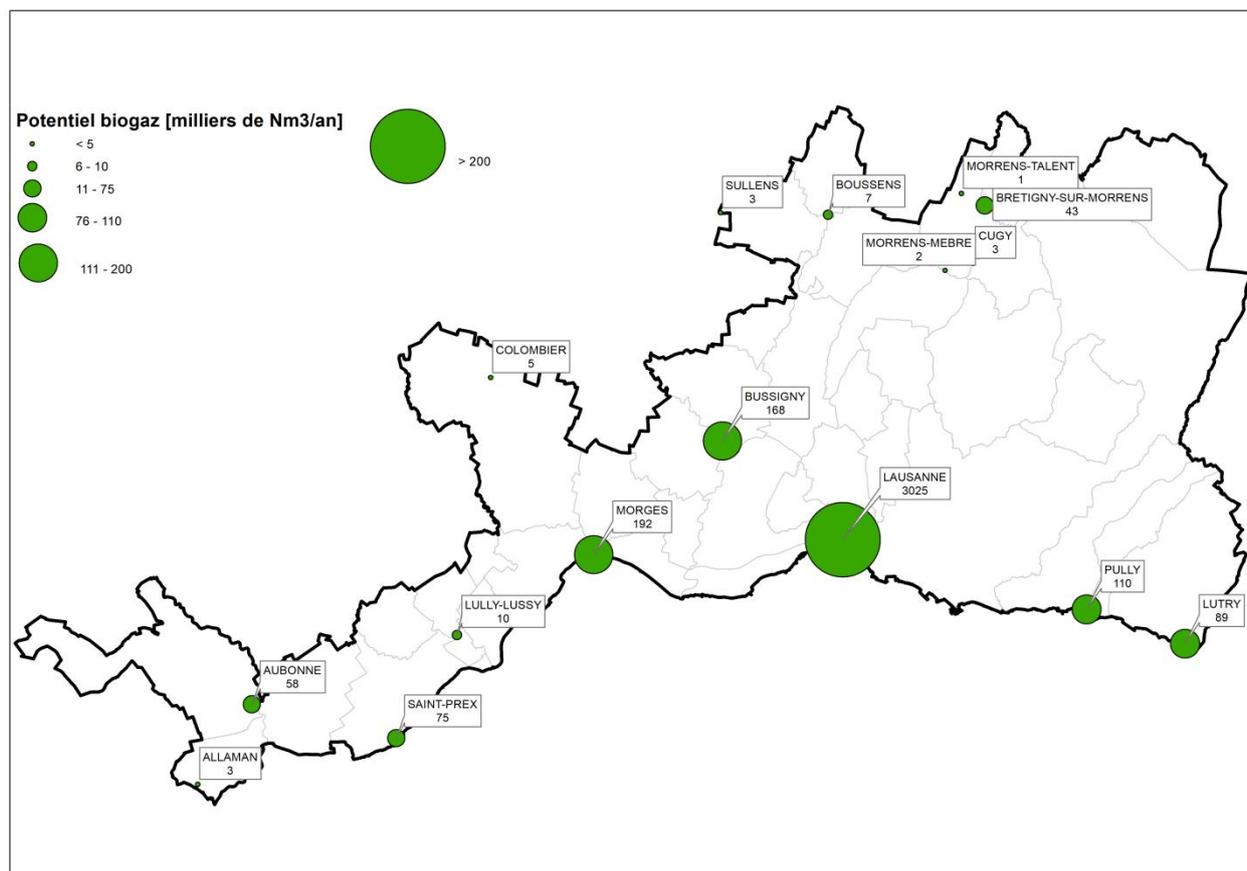


Figure 41: Potentiel de production de biogaz des STEP

Un tableau contenant les valeurs détaillées est disponible à l'annexe 11.

En 2015, sur le périmètre du diagnostic énergétique, seules 4 STEP possédaient des installations de méthanisation: Lutry, Morges, Pully et St-Prex (source: État des lieux et perspectives énergétiques des STEP vaudoises, 2018). Les petites STEP, n'ayant pas la taille critique pour mettre en place une installation de méthanisation, acheminent généralement leurs boues vers les installations existantes.

Actuellement, la STEP de Lausanne incinère directement – sans passer par l'étape de méthanisation - ses boues d'épuration, lesquelles représentent 80% du potentiel de production de biogaz issu des boues d'épuration pour le PALM¹⁹. Dans le cadre du réaménagement de la STEP, une installation de méthanisation est prévue. Ainsi, suite à la mise en service de cette installation, la grande majorité du potentiel de production de biogaz sur le périmètre du diagnostic sera valorisée. Le Tableau 15 montre que même s'il est faible comparé à celui d'autres ressources, le potentiel énergétique du biogaz des STEP n'en est pas moins négligeable. Pour la quantification de ce potentiel, il est supposé que le biogaz est valorisé entièrement dans des installations de cogénération. Le détail de ces hypothèses se trouve à l'annexe 11.

	PRODUCTION DE BOUES 2017 [TMS]	ÉQUIVALENT BIOGAZ [Nm³]	POTENTIEL THERMIQUE [GWh]	POTENTIEL ÉLECTRIQUE [GWh]
Potentiel estimé	9 582	3 794 630	13.3	7.6

¹⁹Etat en 2018. L'installation de méthanisation de la STEP de Lausanne a été mise en service courant 2021.

Valorisation connue	1 093	432 846	1.5	1.6
---------------------	-------	---------	-----	-----

Tableau 15: Synthèse du potentiel de biogaz des STEP et sa valorisation thermique et électrique possible, supposant que le biogaz soit valorisé par cogénération

Sur le site des STEP, l'électricité issue de la cogénération peut être autoconsommée. Quant à la chaleur, elle est généralement utilisée en partie pour le chauffage du digesteur. Cependant, une importante part de la chaleur ne peut pas être valorisée sur site et est souvent rejetée dans l'atmosphère. La valorisation de la chaleur restante sur le site de la STEP ou à proximité, par exemple pour le chauffage des bâtiments, permettrait de diminuer le temps de retour sur investissement de ces installations. Le choix de la cogénération du biogaz ou de son épuration pour une injection dans le réseau de gaz doit être évalué au cas par cas.

Un processus de régionalisation des STEP vaudoises est en cours, suite à l'exigence fédérale concernant le traitement des micropolluants. Les STEP de Lausanne, Morges ainsi qu'une nouvelle STEP à Allaman font partie des STEP qui doivent mettre en place ce traitement. Concernant la STEP de Pully, il est prévu qu'elle soit réaménagée pour traiter les micropolluants ou raccordée à la STEP de Lausanne. Dans la perspective de traiter un maximum d'eaux usées avec les micropolluants, il est prévu que la STEP Bussigny soit raccordée à la STEP de Lausanne, de même que les STEP d'Aubonne et de St-Prex soient raccordées à la STEP d'Allaman.

3.1.2.3 Installations de méthanisation existantes

Des installations de méthanisation sont présentes sur le site des stations d'épuration suivantes :

- Morges
- Pully
- Lutry
- St-Prex

Hormis les installations de méthanisation des stations d'épuration, le périmètre d'étude ne comprend pas d'installation de méthanisation. En effet, la ferme de Saugealles qui méthanisait des déchets agricoles, au nord de la commune de Lausanne, n'est plus en service (source de l'information : SIL, 2019).

Le reste des biodéchets valorisés actuellement, estimé à 31.3 GWh_{th}/an et 21.9 GWh_{el}/an, est exporté à l'extérieur du périmètre. La zone de collecte d'Ecorecyclage SA à Lavigny occupe une grande partie du périmètre d'étude et méthanise tous les déchets verts.

Le périmètre de diagnostic comprend deux sites potentiels identifiés pour la méthanisation des biodéchets:

- La compostière de la Coulette sur la commune de Belmont-sur-Lausanne ;
- Le site de Cery sur la Ville de Lausanne (projet actuellement abandonné).

3.1.3 Chaleur des eaux usées

La chaleur contenue dans les eaux usées peut être exploitée grâce à des pompes à chaleur. La quantité de chaleur extractible varie en fonction de la température des eaux usées et du débit. Il est possible d'exploiter cette chaleur en amont des stations d'épuration, au niveau des bâtiments ou dans les collecteurs des eaux usées, ou en aval sur les eaux épurées. Généralement, l'exploitation en aval des stations d'épuration est privilégiée car le débit est plus important, et les changements de température induits n'influencent pas le processus de traitement des eaux. Il peut également être intéressant de valoriser les eaux usées à l'échelle d'un quartier, pour autant qu'il n'y ait pas d'influence négative sur le fonctionnement de la STEP en aval. Afin de garantir leur rentabilité, ce type d'installations est généralement lié à un réseau de chauffage à distance de basse ou moyenne température.

Il est important de garder à l'esprit qu'une telle valorisation énergétique est non seulement tributaire de la ressource, mais également des besoins de chaleur à proximité. Ceux-ci doivent être suffisamment importants et proches de la STEP pour justifier l'implantation d'un réseau thermique. D'autre part, les réseaux basse température sont adaptés pour alimenter en chaleur les nouveaux quartiers et les bâtiments rénovés, ainsi que pour couvrir les besoins de rafraîchissement.

Le potentiel thermique des eaux en sortie des stations d'épuration est exprimé à la Figure 42.

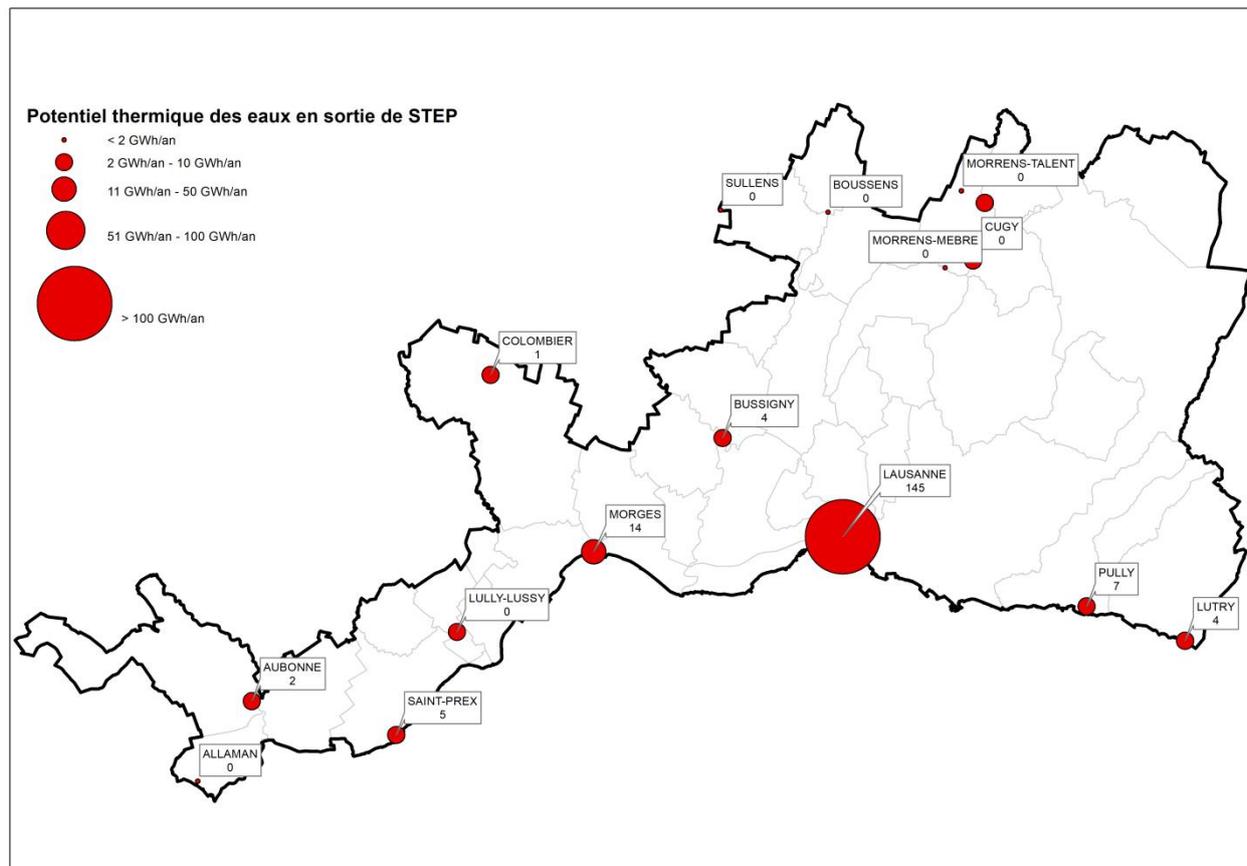


Figure 42: Potentiel thermique des eaux en sortie de STEP. Le potentiel correspond à la chaleur délivrée par les pompes à chaleur exploitant les eaux usées en sortie de station d'épuration.

Le potentiel le plus important est celui de la STEP de Lausanne, traitant la majorité des eaux usées du périmètre, avec un potentiel théorique de 202 GWh/an. La STEP de Morges occupe la deuxième place avec 19 GWh/an. Deux projets de réseaux basse température sont actuellement en cours de réalisation sur ces STEP. Le projet sur la STEP de Lausanne exploite qu'une partie du potentiel théorique, faute de besoins de chaleur adaptés à la ressource à sa proximité.

Le potentiel global sur l'ensemble du périmètre est chiffré ci-dessous.

POTENTIEL THERMIQUE EXTRACTIBLE DES EAUX USÉES [GWH/AN]	POTENTIEL THERMIQUE EN SORTIE DE POMPE À CHALEUR [GWH/AN]
183	257

Tableau 16: Potentiel thermique des eaux usées sur l'ensemble du périmètre

Il est important de préciser que l'exploitation de cette chaleur engendre une forte consommation électrique, due à la consommation des pompes à chaleur. Dans le cas présent, cette consommation se monte à **73 GWh/an** en faisant l'hypothèse que la chaleur des eaux épurées est valorisée sur toutes les STEP, avec un coefficient de performance énergétique (COP) de 3,5. Les paramètres pris en compte pour le calcul de cette ressource ainsi que le détail par station d'épuration se trouvent à l'annexe 15.

3.1.4 Rejets thermiques

Des rejets thermiques importants sont présents sur l'agglomération, issus de l'incinération des déchets à l'usine TRIDEL. Celle-ci est équipée d'un système de cogénération (couplage chaleur-force), produisant de l'électricité et de la chaleur. La production électrique était de 70 GWh en 2017. Les rejets thermiques, à haute température, sont valorisés dans les réseaux de chauffage à distance de la Ville de Lausanne et CADouest. En 2017, TRIDEL a fourni 298 GWh

thermiques à ces réseaux. Les déchets incinérés sont principalement composés de déchets ménagers (46%), de déchets industriels (35%) et de déchets de bois (12%)²⁰. L'apport de ces déchets est réglementé par le plan cantonal de gestion des déchets²¹. Ainsi, la zone d'apport de l'usine TRIDEL s'étend au-delà de l'agglomération Lausanne-Morges. Le potentiel des rejets de chaleur est légèrement supérieur à 298 GWh/an étant donné qu'en été, les besoins thermiques sont plus faibles. En conséquence une part des rejets thermique est actuellement non valorisée en été. Par ailleurs, la planification cantonale des déchets prévoit une très légère augmentation des déchets incinérables à l'horizon 2030 due à l'augmentation de la population.

L'incinération des boues d'épuration sur le site de la STEP de Vidy est également une source de rejets de chaleur. La chaleur produite, soit environ 18 GWh, est valorisée grâce au réseau de chauffage à distance de la Ville de Lausanne. Suite à la mise en place d'une installation de méthanisation sur la STEP de Lausanne, la chaleur récupérée sur l'incinération sera inférieure²², même si le bilan énergétique global sera amélioré. Un projet de récupération de chaleur sur les fumées est actuellement à l'étude.

	VALORISATION THERMIQUE (GWH/AN)	VALORISATION ÉLECTRIQUE (GWH/AN)
TRIDEL (incinération)	262	70
STEP Vidy (incinération)	18	-
Total	280	70

Tableau 17: Valorisation thermique des rejets de chaleur (source: données TRIDEL et SIL, 2017). La production thermique annoncée par TRIDEL a été diminuée de 12% afin de soustraire la part liée au bois usagé, qui est déjà comptabilisée dans le bois-énergie.

D'autres rejets thermiques industriels sont présents sur l'agglomération. Toutefois, leur potentiel est difficile à chiffrer précisément en raison des spécificités propres à chaque entreprise. Des données non exhaustives sur les rejets thermiques potentiels sont disponibles sur le guichet cartographique cantonal, basées sur une méthodologie caractérisant en fonction du type d'activité de l'entreprise. Selon leurs caractéristiques (quantité, température, disponibilité), ces rejets peuvent être valorisés sur le site de production, dans un réseau thermique, ou stocker en sous-sol.

3.1.5 Eau du lac

L'eau du lac Léman est une ressource énergétique très importante. Elle peut être utilisée à des fins de chauffage grâce à des pompes à chaleur eau-eau ou à des fins de rafraîchissement (freecooling ou utilisation d'un groupe froid). Selon la loi sur la protection des eaux, l'exploitation des eaux de surface ne doit pas changer la nature du milieu exploité de manière significative (température et dynamique du milieu).

La valorisation de cette ressource ne dépend pas de l'énergie contenue dans le lac, mais de la possibilité d'exploiter le froid ou la chaleur des eaux à proximité du bord du lac. Afin de diminuer l'impact environnemental sur le milieu naturel et de maximiser les chances de rentabilité des installations, il convient d'envisager un réseau centralisé. En revanche, la production de chaleur peut être centralisée ou se faire dans chaque bâtiment. Il est possible d'envisager les configurations suivantes :

- Un réseau basse/moyenne température, avec une centrale de chauffe fournissant l'énergie à un ensemble de bâtiment;
- Un réseau basse température avec des pompes à chaleur par bâtiment pour la production de chaleur. Cette configuration est particulièrement intéressante pour couvrir des besoins de froid en supplément des besoins de chaleur.

De plus, la prise d'eau doit être posée à une profondeur minimum d'environ 30-35m pour pouvoir bénéficier de la stabilité de la température de l'eau entre les saisons. Il convient donc d'identifier les zones où le plancher lacustre descend le plus rapidement possible afin de limiter la longueur de conduites immergées à installer. La variation de la température de l'eau du lac en fonction de la profondeur peut être observée à l'annexe 16. La Figure 43 montre la zone défavorable à la pose d'une prise d'eau (en rouge).

²⁰ Site internet TRIDEL, valeurs 2017 : <https://www.tridel.ch/fr/donnees-dexploitation>

²¹ Plan cantonal de gestion des déchets, Canton de Vaud, DGE-GEODE, 2016

²² La digestion conduit à une perte de masse des boues de 40%

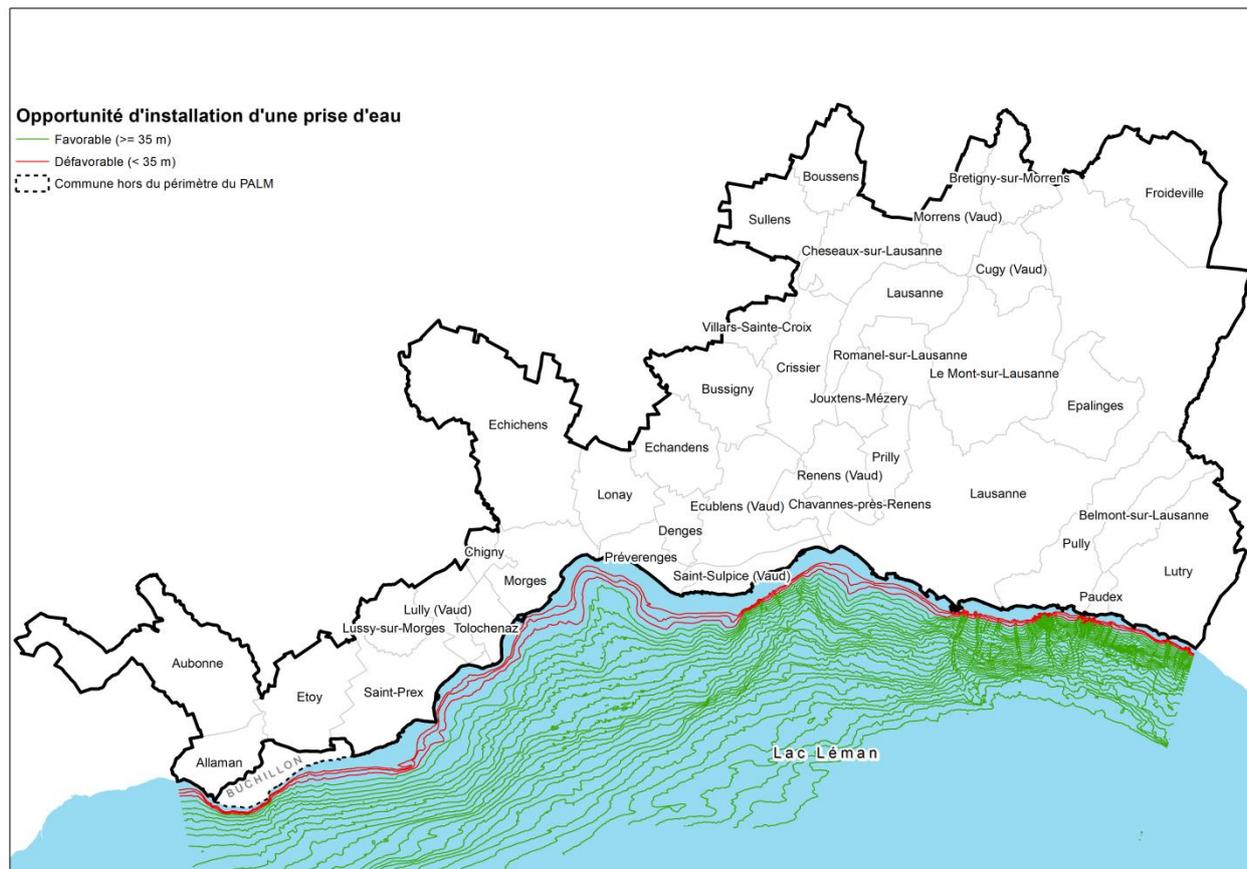


Figure 43: Zone à profondeur favorable pour l'installation d'une prise d'eau (source: DIREN, 2018)

Dans le cadre des Perspectives chaleur du canton de Vaud, un potentiel énergétique "eau du lac" a été chiffré pour le canton par district. Ce potentiel est estimé sur la base des besoins de chaleur des bâtiments se trouvant à moins de 2 km du lac Léman et situés dans les zones favorables au développement des réseaux thermiques. Ainsi le potentiel de valorisation thermique de l'eau du lac pour le périmètre agglomération est estimé à **300 GWh/an** en sortie des pompes à chaleur. L'exploitation de cette ressource entraîne une forte consommation d'électricité pour le fonctionnement des pompes à chaleur. Pour un COP des pompes à chaleur de 3.5, cette consommation est estimée à **86 GWh/an**.

DISTRICT	POTENTIEL THERMIQUE MAXIMAL [GWH/AN]	NOMBRE DE CAPTAGES POSSIBLES	POTENTIEL THERMIQUE POUR LE PERIMETRE DU DIAGNOSTIC [GWH/AN]
Lausanne et Ouest lausannois	100	2	100
Morges	100	2	100
Lavaux-Oron	150	4	100
Total	350	8	300

Tableau 18: Potentiel pour la valorisation thermique de l'eau du lac par district selon les perspectives chaleur du canton de Vaud, et nombre de captages estimés. Les potentiels correspondent à l'énergie thermique en sortie des pompes à chaleur.

Les installations existantes et en projet valorisant l'eau du lac sont les suivantes :

- Réseau basse température sur le site de l'EPFL/UNIL (26 GWh/an pour la production de chaleur et 30 GWh/an pour la production de froid), avec un projet d'augmenter la puissance.

- Réseaux basse température sur la commune de Morges pour l’approvisionnement en chaleur et en froid au centre-ville de Morges (projet MorgesLac) et pour le site de Medtronics (Projet EnerLac).

3.1.6 Géothermie de moyenne profondeur (entre 500m et 3'000m)

La géothermie de moyenne profondeur est une ressource intéressante pour le PALM, dans la mesure où elle pourrait servir de ressource complémentaire pour alimenter des réseaux thermiques existants, ou de ressource primaire pour des nouveaux réseaux. L’utilisation de cette ressource est règlementée par la loi cantonale sur les ressources naturelles du sous-sol.

Un cadastre du potentiel de géothermie moyenne profondeur pour le territoire cantonal est publié par la DGE, il couvre le plateau molassique et le Chablais. Dans ce cadre, les potentiels thermiques ont été estimés pour différentes couches géologiques dans les zones favorables à l’implantation d’un réseau thermique, ceci étant une condition préalable pour la valorisation de cette ressource.

Les trois couches géologiques considérées sont:

- Le Crétacé
- Le Malm
- Le Dogger

Pour chaque profondeur sont chiffrées :

- Une indication du nombre de doublets sur les zones favorables aux réseaux ainsi que du taux de couverture potentiel des besoins thermiques par commune ;
- Une gamme de profondeur estimée de la cible géologique ;
- Une gamme de température estimée de la cible géologique.

Les hypothèses retenues pour la quantification du potentiel de cette ressource se trouvent à l’annexe 17. A noter que des débits relativement optimistes ont été considérés et que les potentiels sont plafonnés par les besoins thermiques des zones favorables aux réseaux.

Le tableau ci-dessous donne les potentiels thermiques maximaux estimés pour chacune de ces couches géologiques, pour l’ensemble du périmètre du diagnostic. Ces potentiels ne doivent pas être additionnés dans la mesure où ils permettraient de couvrir les mêmes besoins de chaleur du territoire. Dans le cadre du diagnostic, nous retiendrons donc le **potentiel du Malm s’élevant à environ 400 GWh/an**, cette couche permettant d’atteindre des températures intéressantes pour un réseau de chauffage à distance avec une profondeur de forage inférieure à 2'000m. Par ailleurs, ces potentiels impliquent un nombre élevé de centrales. Dans le cadre de la stratégie énergétique, il s’agira de définir un nombre réaliste de centrales pour le PALM. En effet, si l’on considère en particulier le risque d’échec et le temps nécessaire à l’appropriation d’activités dans un nouveau domaine pour la région, le nombre de centrales qui pourraient voir le jour d’ici 2050 sera vraisemblablement limité par rapport aux chiffres annoncés ici.

COUCHE GÉOLOGIQUE	POTENTIEL THERMIQUE MAXIMAL [GWH/AN]	ESTIMATION DU-NOMBRE DE CENTRALES	PROFONDEUR [m]	TEMPÉRATURE [°C]
Crétacé	250	15	1200 - 2200	50 - 75
Malm	400	20	1300 - 2400	55 - 90
Dogger	660	40	2500 - 3300	90 - 115

Tableau 19: Potentiel maximal pour la géothermie de moyenne profondeur, nombre de centrales approximatif, profondeur et température pour les trois couches géologiques considérées. Les gammes de profondeur et de température sont données pour la commune de Lausanne.

La Figure 44 montre le taux de couverture potentiel des besoins thermiques des communes par la géothermie pour la couche du Malm. Par exemple, un taux de couverture de 25% signifie que le quart des besoins thermiques de la commune pourraient théoriquement être couverts par la géothermie de moyenne profondeur, ceci pouvant impliquer plusieurs forages dans certains cas. Les communes disposant un taux de couverture de 0% sont celles:

- N’ayant pas de potentiel, ou;
- Ayant un potentiel mais pas de zones favorables aux réseaux thermiques sur le territoire communal.

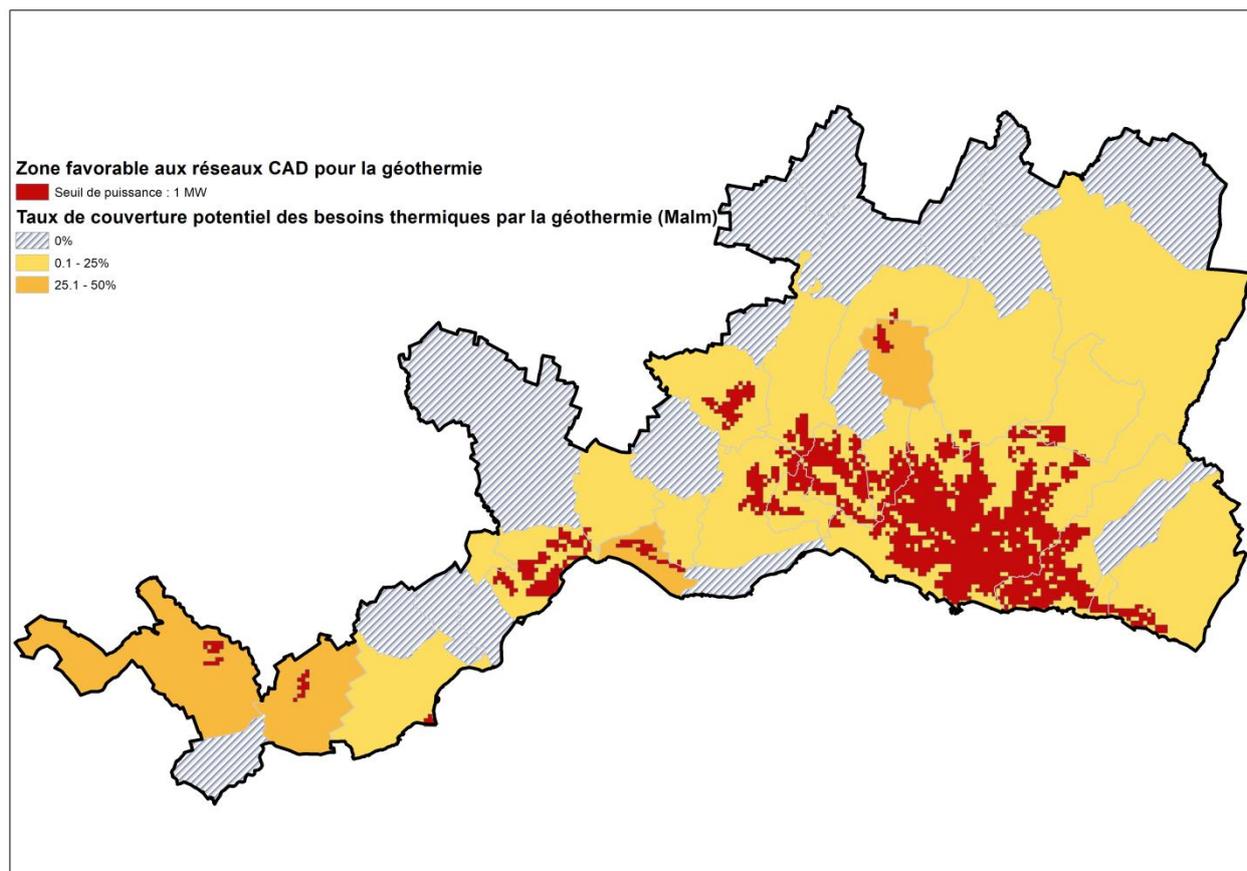


Figure 44: Taux de couverture des besoins thermiques par la géothermie pour le Malm pour les communes ayant un potentiel et une (des) zone(s) propice(s) à un réseau.

Cette représentation montre que le périmètre du diagnostic est globalement favorable pour la géothermie de moyenne profondeur. Si la Ville de Lausanne possède le plus grand potentiel de valorisation, avec près de la moitié du potentiel total, certaines communes voisines bénéficient aussi d'indices favorables pour le développement de projets.

Les estimations ci-dessus sont basées sur des modèles géologiques. Afin de connaître plus précisément la géologie du sous-sol, il est recommandé de mener une campagne sismique. Finalement, un forage exploratoire peut être réalisé pour confirmer la présence d'eau et connaître le débit exploitable. A ce jour, aucun doublet géothermique de moyenne profondeur n'est présent sur le périmètre du diagnostic, néanmoins des études sont en cours. En revanche, plusieurs projets de sondes géothermiques profondes - entre 500 m et 800 m - se développent sur le PALM, notamment sur la commune de Lausanne (projets Sirius, des Plaines du Loup et de l'Ecole Hôtelière). Ces sondes géothermiques sont basées sur le principe des sondes géothermiques de moyenne profondeur, c'est-à-dire que le liquide injecté dans la sonde est réchauffé par la chaleur du sol, au contraire des forages géothermiques de moyenne profondeur impliquant le pompage d'un aquifère. Le but visé par ces sondes est l'approvisionnement en chaleur de quartiers urbains via un réseau local. Les forages d'une profondeur supérieure à 500 m sont recensés sur le géoportail de la Confédération²³.

Dans le but de favoriser le développement de la géothermie de moyenne profondeur, la Confédération a mis en place un système de subventions qui permet d'obtenir jusqu'à 60% des coûts liés au forage et aux installations en sous-sol. En effet, la valorisation de la géothermie de moyenne et grande profondeur (> 3'000m) est prévue dans le cadre de la Stratégie Énergétique 2050.

3.1.7 Géothermie faible profondeur (< 500m)

Dans le cadre de l'élaboration de la Conception Cantonale de l'Energie, une méthodologie a été mise en place par la DIREN pour calculer le potentiel énergétique lié aux pompes à chaleur, ceci incluant les pompes à chaleur alimentées

²³ <https://map.geo.admin.ch/>

par des sondes géothermiques. Pour l'estimation de ce potentiel maximum, il est supposé que tous les bâtiments neufs ou rénovés d'ici à 2050 sont alimentés par des pompes à chaleur.

Le potentiel énergétique lié à la géothermie faible profondeur (jusqu'à 300m) sur le territoire du diagnostic a été estimé d'après le potentiel cantonal, en fonction des besoins thermiques actuels, ceux-ci représentant 33% des besoins de chaleur du canton. Le potentiel maximum dans le périmètre du diagnostic est estimé à **327 GWh_{th}/an**. La méthodologie ne permet pas de répartir ce potentiel par commune pour l'instant. En revanche, le potentiel peut être en partie géolocalisé grâce aux zones d'admissibilité des forages. La consommation électrique des pompes à chaleur sol-eau, correspondant au potentiel de production de 327 GWh_{th}/an, est estimée à 72 GWh_{él}/an.

Nous pouvons observer à la Figure 45 que la grande majorité du territoire est en zone admissible ou limitée. Les zones interdites correspondent à des secteurs de protection des eaux. Pour la valorisation de cette ressource, les conflits d'utilisation du sous-sol avec d'autres infrastructures souterraines doivent être évités (par exemple réseaux de gaz, lignes électriques souterraines, réseaux d'eaux usées, tunnels) : certaines zones avec en sous-sol des tunnels ou des cours d'eau enterrés, principalement sur la Ville de Lausanne, sont également classées en zone interdite. La Figure 45 montre également que des sondes géothermiques verticales sont présentes sur l'ensemble du périmètre du diagnostic. Dans la perspective d'une valorisation accrue de la géothermie de faible profondeur, il sera nécessaire de combiner l'usage de cette ressource avec la recharge thermique du sous-sol, par exemple avec le solaire thermique, et de veiller aux effets de concurrence entre les installations.

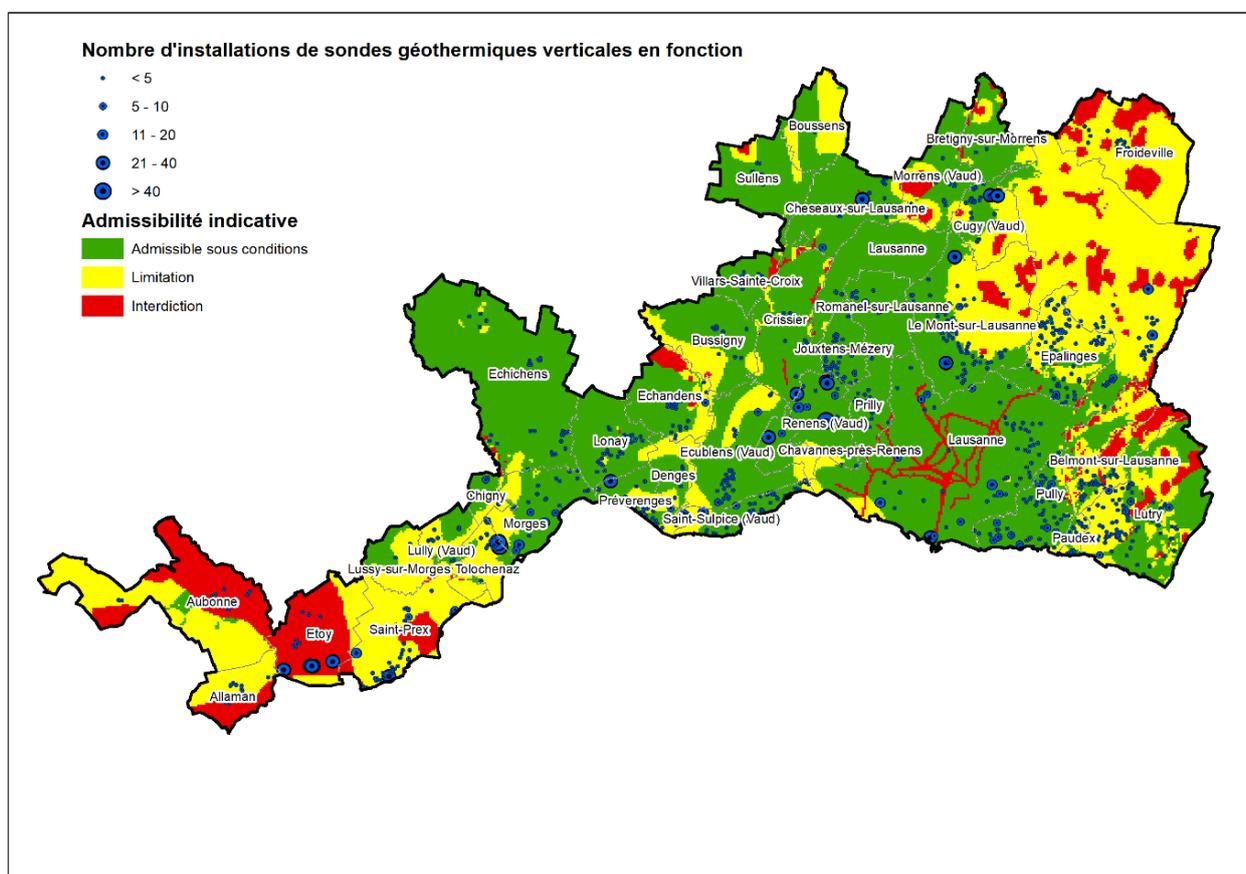


Figure 45: Admissibilité des sondes géothermiques verticales et nombre d'installations en fonction. (source : guichet cartographique cantonal, 2018)

Par ailleurs, dans les zones nécessitant des géostructures pour les nouvelles constructions, les géostructures énergétiques - soit des pieux équipés de tubes permettant à l'eau de se réchauffer avec la chaleur du sol - sont préconisées.

3.1.8 Nappes superficielles

Les nappes superficielles permettent une production de chaleur via des pompes à chaleur eau-eau. Elles peuvent également fournir des besoins de froid à des fins de rafraîchissement. Plusieurs nappes sont répertoriées sur le périmètre du diagnostic selon le cadastre de l'énergie cantonal²⁴, notamment sur les communes de St-Prex, Etoy et Allaman. Leur potentiel de valorisation thermique est estimé à **18 GWh_{th}/an**. **Néanmoins ce potentiel doit être considéré comme une valeur maximale car il existe une grande incertitude sur cette ressource, notamment sur les débits disponibles localement.** La disponibilité de la ressource doit être confirmée localement par un forage test.

Comme dans le cas des pompes à chaleur sol-eau, cette ressource est davantage adaptée pour l'approvisionnement en chaleur des bâtiments neufs ou rénovés. Grâce au niveau de température des nappes superficielles (entre 8°C et 12°C), les pompes à chaleur eau-eau permettent d'atteindre des performances énergétiques légèrement plus élevées que les pompes à chaleur avec sondes géothermiques. Cette ressource devrait donc être valorisée en priorité. Toutefois, l'exploitation des nappes superficielles doit être faite de manière coordonnée par nappe, de façon à assurer leur pérennité. La valorisation de la chaleur des nappes par le biais de réseaux thermiques est à privilégier. La consommation électrique des pompes à chaleur eau-eau, correspondant au potentiel de production de 18 GWh/an, est estimée à 3.6 GWh_é/an.

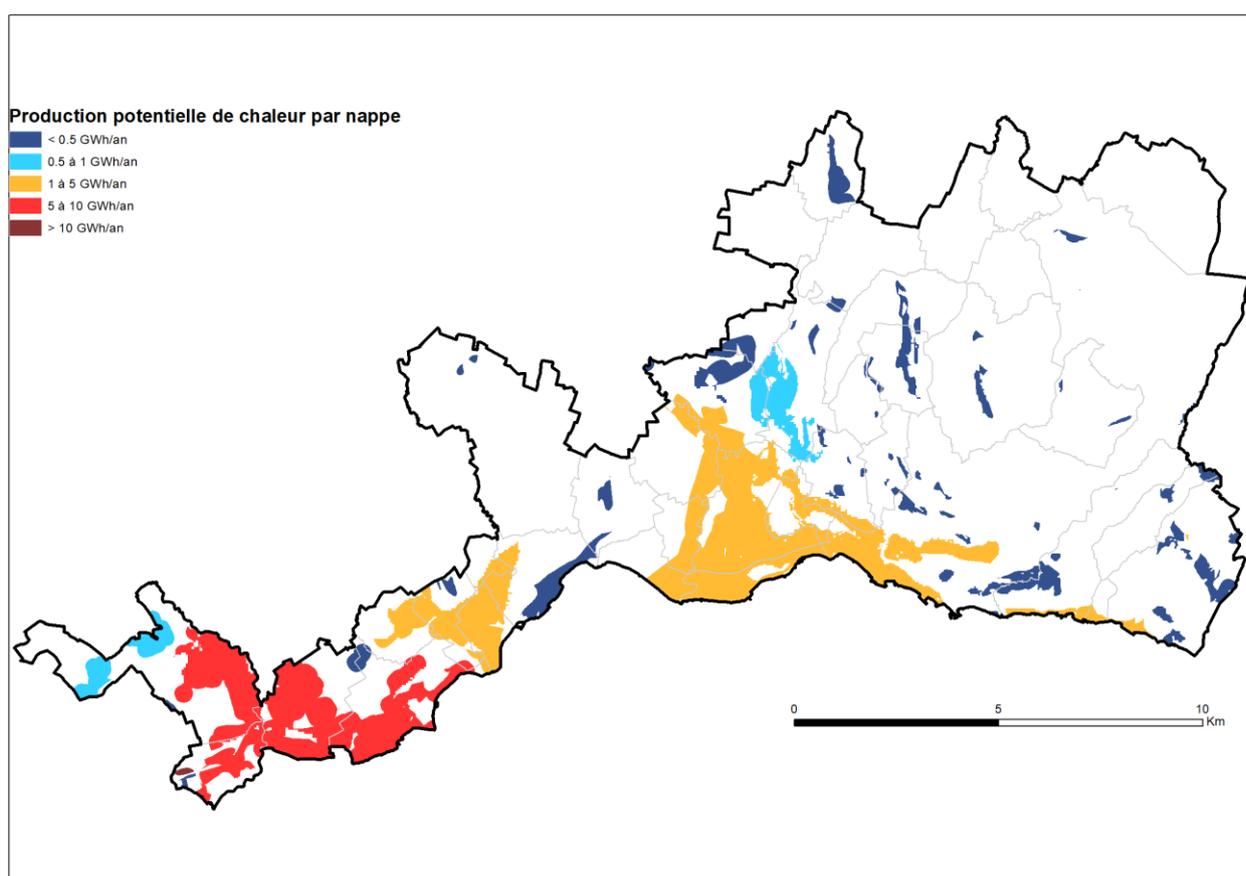


Figure 46: Nappes superficielles selon le cadastre de géothermie de faible profondeur (source : guichet cartographique cantonal, 2018)

3.1.9 Air ambiant

La méthodologie permettant de calculer le potentiel énergétique de l'air ambiant, via des pompes à chaleur air-eau, a été reprise de la Conception Cantonale de l'Énergie. Comme dans le cas des pompes à chaleur sol-eau, le potentiel théorique est calculé en supposant que tous les bâtiments neufs ou rénovés d'ici à 2050 sont alimentés par des pompes à chaleur. Parmi ces bâtiments, la part des PAC air-eau est estimée à 35%.

Le potentiel énergétique lié aux PAC air-eau sur le territoire du diagnostic a été calculé d'après le potentiel cantonal en fonction des besoins thermiques actuels, de la même manière que pour la géothermie faible profondeur. Le potentiel

²⁴ Sous https://www.geo.vd.ch/theme/energie_thm; couche « exploitation thermique des nappes superficielles » sous le cadastre de géothermie de faible profondeur.

maximum dans le périmètre du diagnostic est estimé à **286 GWh_{th}/an**. Un COP de 3 est pris en compte, ce qui correspond à une consommation électrique de 95 GWh /an. La méthodologie ne permet pas de répartir ce potentiel par commune.

3.1.10 Solaire thermique

3.1.10.1 Potentiel

Le potentiel solaire est issu du cadastre solaire « Toitsolaire.ch » mis à disposition par la Confédération. Un potentiel a été calculé pour chaque bâtiment en fonction des caractéristiques de la toiture. Selon la méthodologie employée par la Confédération, **seuls les besoins d'eau chaude sanitaire** sont couverts par le solaire thermique. La surface de toiture restante peut ainsi être exploitée pour le solaire photovoltaïque. Cette méthodologie permet d'estimer à la fois le potentiel global pour le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. Toutefois, pour un bâtiment donné, la répartition entre la production thermique et photovoltaïque doit être étudiée en fonction de ses besoins énergétiques et de la solution d'approvisionnement en chaleur.

Notons que les installations existantes sont incluses dans ce potentiel. En revanche, le cadastre solaire n'exclut pas les bâtiments et sites protégés, qui peuvent présenter des difficultés pour la mise en place d'installations solaires et sont relativement nombreux sur le périmètre de l'agglomération (voir chapitre 1.4.2). Sur cette base, un potentiel solaire thermique maximal global a été agrégé par commune.

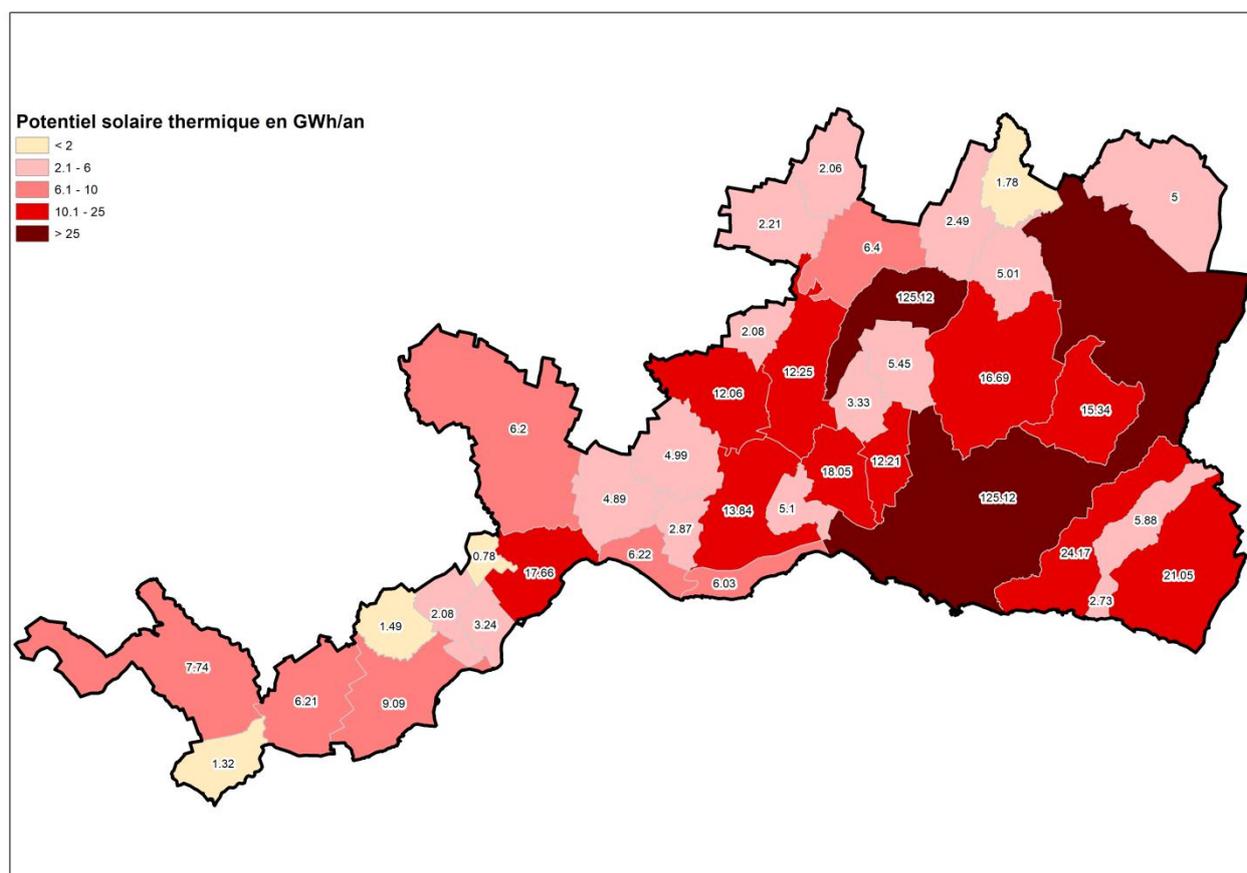


Figure 47: Répartition du potentiel solaire thermique (source: Toitsolaire.ch, 2018)

Le potentiel retenu s'élève à **401 GWh/an**, avec un potentiel de 125 GWh/an pour la seule commune de Lausanne. Ce potentiel est proportionnel à la surface de toiture sur le territoire concerné. La commune de Lausanne, avec un territoire très étendu et une densité du bâti importante, possède un potentiel élevé.

Ce potentiel serait plus élevé en considérant l'utilisation du solaire thermique à des fins de chauffage. Dans ce cas, il est important de prendre en compte les éventuels conflits d'utilisation avec le solaire photovoltaïque.

Les hypothèses utilisées par la Confédération pour estimer la surface de toiture utile se trouvent à l'annexe 8 et le potentiel exact par commune est chiffré à l'annexe 9.

Par ailleurs, les panneaux solaires hybrides peuvent permettre une production à la fois thermique et électrique, néanmoins avec rendement plus faible au niveau thermique et électrique. Cette solution peut s'avérer intéressante, mais doit être adaptée aux besoins énergétiques à couvrir (niveaux de température, saisonnalité).

3.1.10.2 Installations solaires thermiques existantes

La production solaire thermique existante a été calculée selon la valeur cantonale donnée dans la Conception cantonale de l'énergie, rapportée au nombre d'habitants sur l'agglomération. La valeur cantonale est basée à la fois sur les installations solaires thermiques subventionnées par le Canton et sur une estimation de la production solaire thermique exigée par la loi vaudoise sur l'énergie, afin de produire au minimum 30% d'eau chaude sanitaire renouvelables pour les nouveaux bâtiments (depuis 2006).

Selon cette estimation, la production solaire thermique sur le périmètre du diagnostic est de **18.8 GWh/an**, soit **57 kWh/an** par habitant. En regard du potentiel de 401 GWh/an donné par le cadastre solaire de la Confédération, il reste donc un fort potentiel de valorisation du solaire thermique pour l'agglomération. Selon Swissolar, 697 GWh d'énergie solaire thermique ont été produits en Suisse en 2017, soit une moyenne de **82.1 kWh/hab**. Cette valeur est sensiblement plus élevée que la moyenne du périmètre de diagnostic.

3.2 Ressources électriques

3.2.1 Solaire photovoltaïque

3.2.1.1 Potentiel

De même que pour le potentiel solaire thermique, le potentiel solaire photovoltaïque est issu du cadastre « Toitso-laire.ch » constitué par la Confédération. Ce potentiel correspond à la surface de toiture restante après la valorisation du solaire thermique.

Le potentiel solaire photovoltaïque global a été agrégé par commune. Le potentiel pour l'ensemble du périmètre s'élève à **932 GWh/an** (source des données: cadastre de la Confédération, 2018). Le potentiel le plus élevé est à nouveau celui de la commune de Lausanne, ceci étant encore une fois lié au nombre de bâtiments et à la surface de toiture se trouvant sur le territoire cantonal.

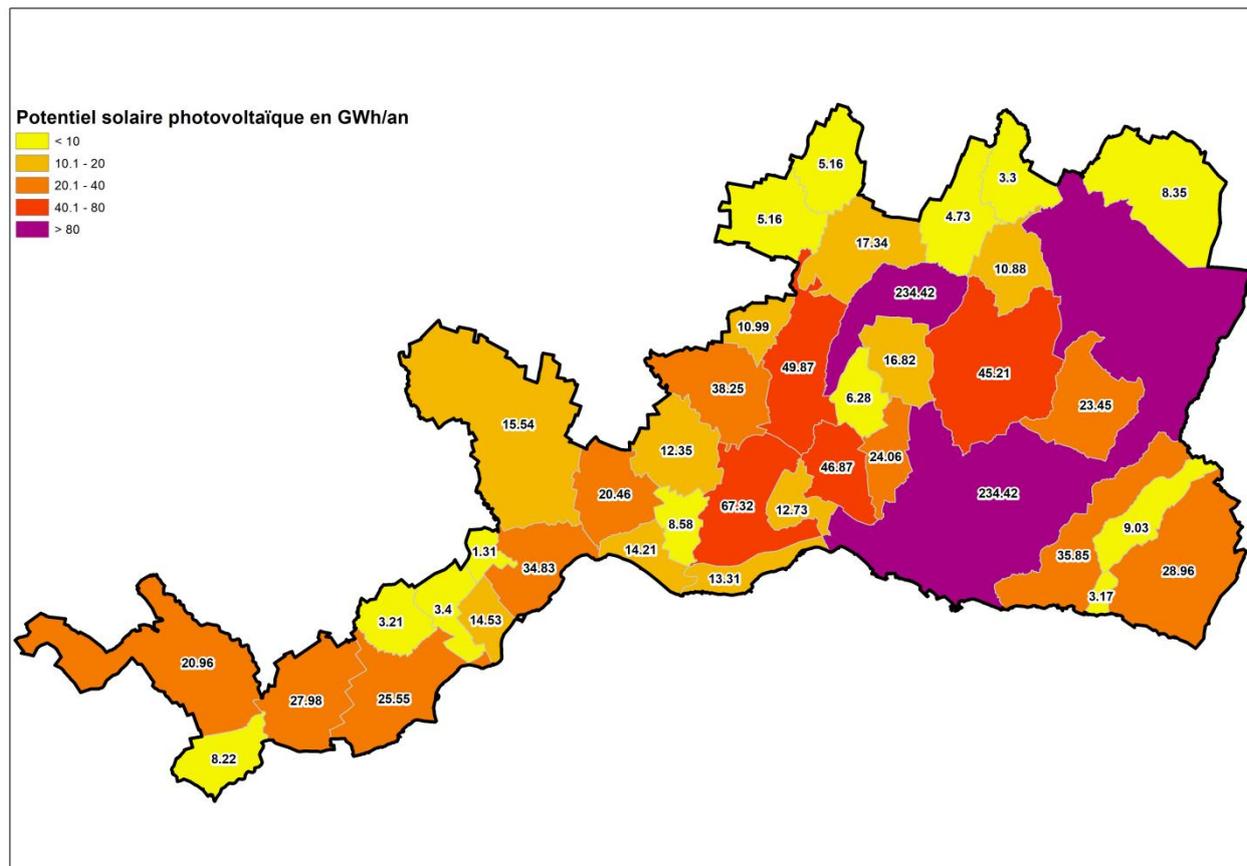


Figure 48: Potentiel solaire photovoltaïque (source: Toitsolaire.ch, 2018)

À nouveau, le potentiel photovoltaïque est dépendant de l'utilisation du solaire thermique. Si la surface allouée au solaire thermique augmente, celle allouée au photovoltaïque diminue. Par conséquent, si le solaire thermique est également utilisé pour le chauffage, le potentiel solaire photovoltaïque diminuera. Les bâtiments et sites protégés n'ont pas été exclus pour le calcul de ce potentiel.

Le potentiel exact par commune est chiffré à l'annexe 14.

3.2.1.2 Installations solaires photovoltaïques existantes

Les installations solaires photovoltaïques ont recensées sur la base des subventions accordées par Swissgrid. La production photovoltaïque existante sur le périmètre du diagnostic s'élève à **32,2 GWh/an**. Cela représente 3,5% du potentiel électrique total estimé sur ce territoire.

INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES EXISTANTES			INSTALLATIONS EN ATTENTE (LISTE DE SWISSGRID)	
NOMBRE D'INSTALLATIONS EXISTANTES	PUISSANCE TOTALE (kW)	PRODUCTION ANNUELLE EXISTANTE (GWh/an)	PUISSANCE TOTALE (kW)	PRODUCTION ANNUELLE EXISTANTE (GWh/an)
1 304	32 508	32.2	41 600	41

Tableau 20: Installations photovoltaïques existantes et en attente (source: Swissgrid, 2018)

La production photovoltaïque est répartie de la manière suivante sur le territoire:

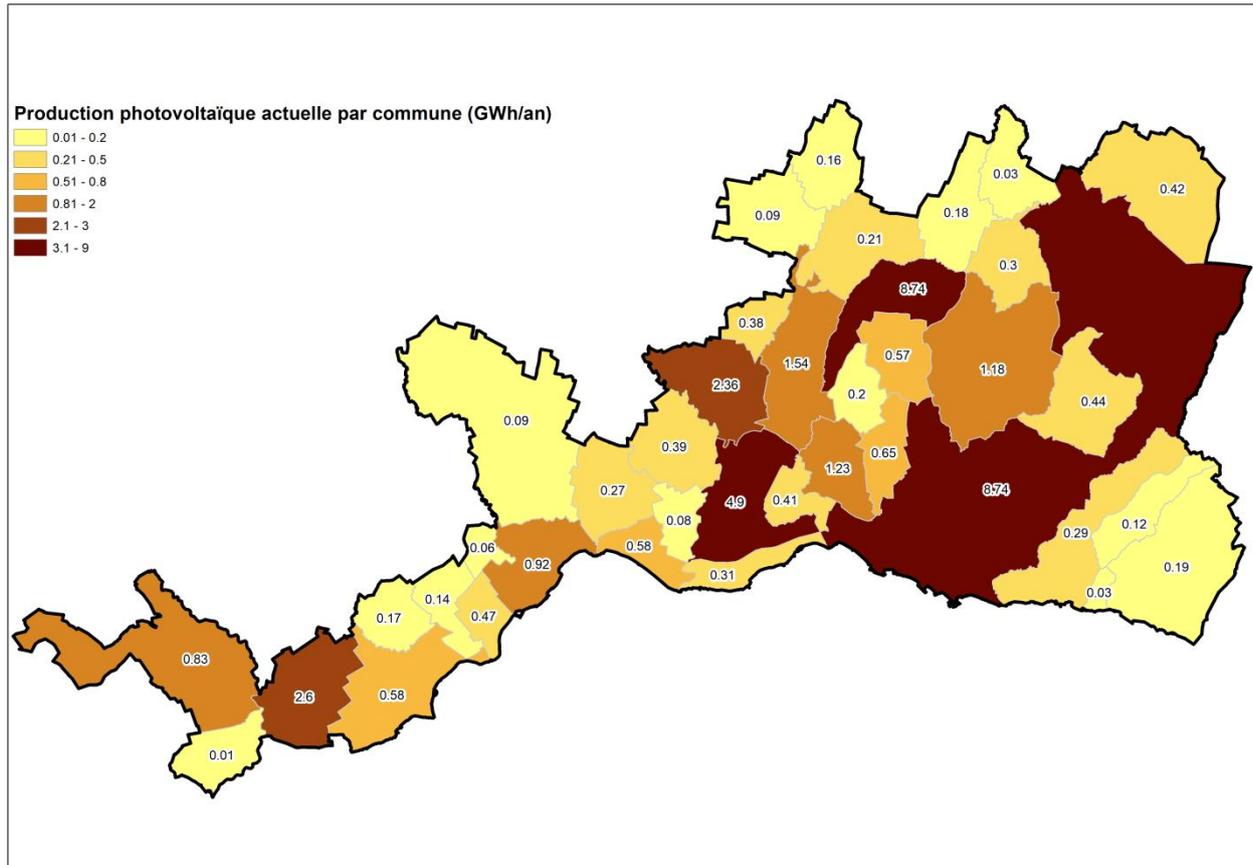


Figure 49: Production solaire photovoltaïque actuelle par commune (source : Swissgrid, 2018).

Les communes faisant état de la production la moins importante sont majoritairement les communes ayant la densité de bâti la plus faible (communes rurales) et n'ayant pas de zones d'activités importantes. En effet, la présence de zones d'activité semble être un facteur influent: les communes du centre lausannois, de l'ouest lausannois, de Morges ainsi que les communes du Littoral-Parc ont les productions les plus élevées.

La Ville de Lausanne présente à nouveau la production la plus élevée. Toutefois, la représentation de la production photovoltaïque par habitant donne une autre image du territoire :

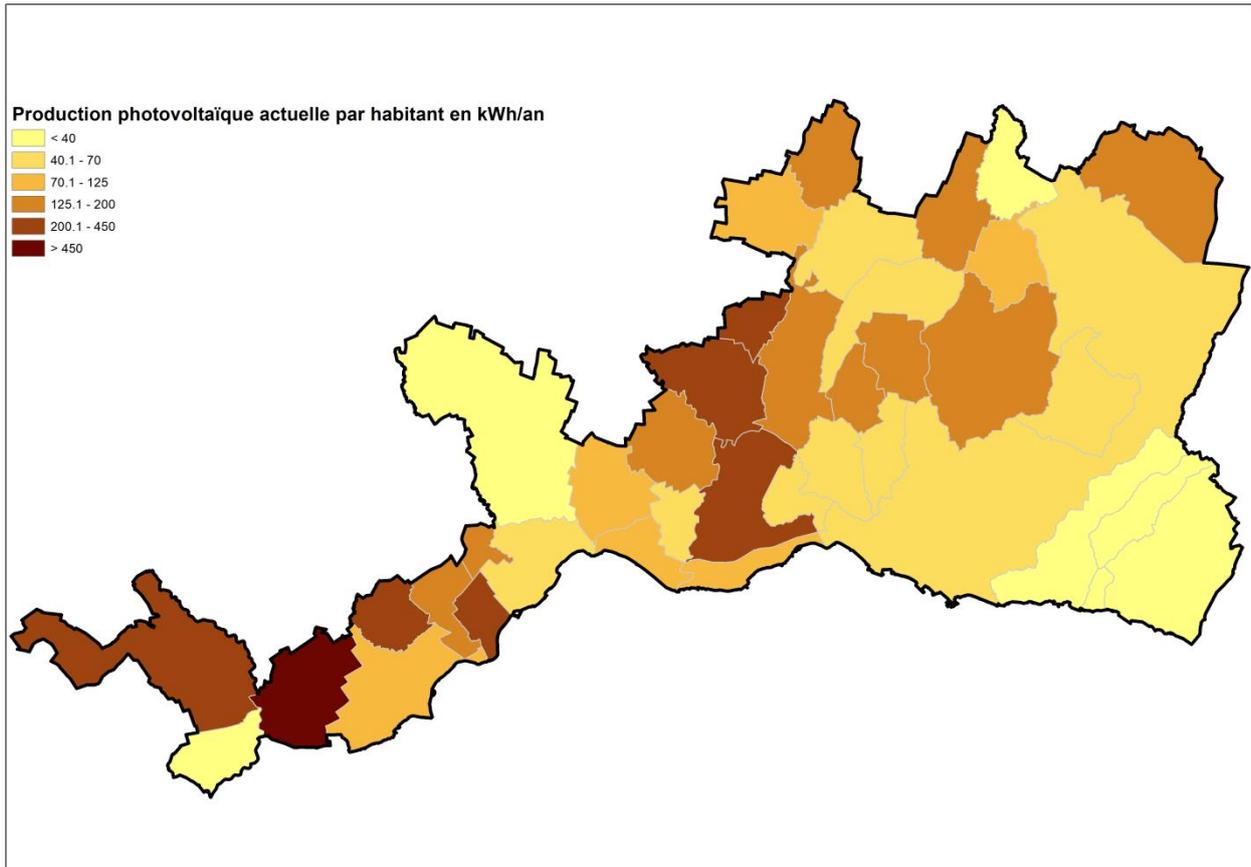


Figure 50: Production photovoltaïque actuelle par habitant (source: Swissgrid, 2018)

Nous pouvons remarquer que la densité du bâti est un facteur important. En effet, plus le bâti est dense (immeubles locatifs), moins la surface de toiture par habitant est importante, ce qui résulte une production photovoltaïque moyenne par habitant plus faible. D'autre part, cette production est bien corrélée avec la présence de zones d'activités, en particulier sur l'Ouest Lausannois et sur le site du Littoral Parc.

Certaines communes comme Etoy ou Villars-Sainte-Croix ont une production par habitant très importante. Ceci est dû à la taille importante des installations sur ces communes, couplée au faible nombre d'habitants. Pour Etoy par exemple, la production moyenne par installation est de 64 MWh/an, contre seulement 5 MWh/an pour Echichens.

La Figure 51 confirme que les communes ayant les productions moyennes par installations les plus élevées comprennent des zones d'activités importantes. Ceci s'explique par le fait que:

- Les surfaces de toitures dans les zones d'activité sont importantes et donc propices aux installations de grande taille;
- Les zones d'activités comprennent des consommateurs d'électricité importants qui cherchent à compenser un maximum de leur consommation électrique, soit par autoconsommation, soit par injection dans le réseau.

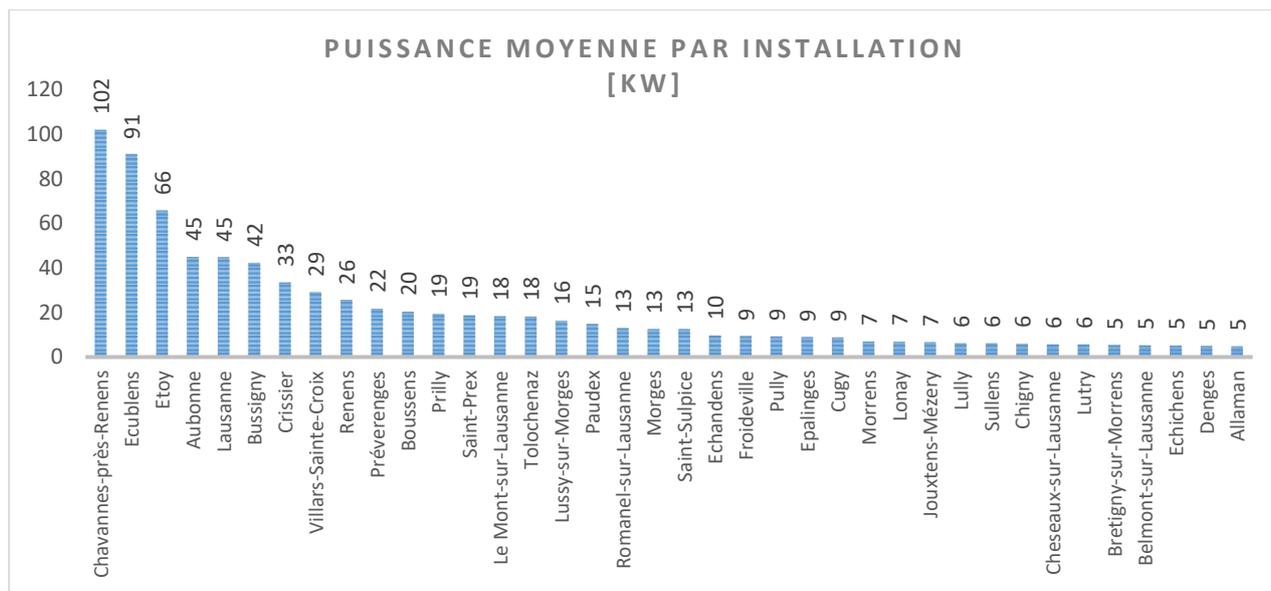


Figure 51: Puissance moyenne des installations photovoltaïques par commune

Les chiffres détaillés par commune sont disponibles à l'annexe 14.

3.2.2 Hydroélectricité

La ressource hydroélectrique est peu importante sur le territoire du PALM. Sur le périmètre du diagnostic énergétique, seules les communes d'Aubonne et de Lavigny recensent des installations hydroélectriques d'importance, avec une production de 38 GWh/an. Seules les installations existantes et en projet ont été considérées. Dans le cadre du diagnostic, le potentiel des installations abandonnées et hors service n'est pas pris en compte.

La production hydroélectrique totale sur le périmètre du diagnostic est de **39 GWh/an**. La production réelle ou projetée par installation est exprimée dans le tableau suivant.

COMMUNE	NOM DE L'INSTALLATION	ÉTAT DU PROJET	STATUT	PRODUCTION ÉLECTRIQUE [MWH/AN]
Aubonne	Plan Dessous	Existant	En service	28'000
Aubonne	Armary - Es-Bon	Existant	En service	177
Lavigny	La Vaux	Existant	En service	10'000
Lausanne	Centrale du Capelard	Existant	En service	Inconnu
Morges	Installation sur eau potable	Existant	En service	291
Morges	Installation sur eau potable	Existant	En service	143
Lausanne	Installation sur eau potable	Existant	En service	113
Morges	Patinoire	En projet		Inconnu

Tableau 21: Potentiel hydroélectrique des installations en service et en projet (source : DIREN, 2018)

Le détail des installations est disponible à l'annexe 18.

3.2.3 Energie éolienne

Les sites les plus propices pour les éoliennes sont régis par la planification cantonale de l'éolien qui figure dans le plan directeur cantonal. Cette planification prévoit deux sites éoliens sur le périmètre du diagnostic:

SITE	COMMUNE	POTENTIEL DU PROJET [GWH/AN]	PART CONSIDEREE POUR LE PALM	POTENTIEL [GWH/AN]
EolJorat Sud	Lausanne	55-70	100%	55-70
EolJorat Nord	Froideville	25-30	25% (1 éolienne)	6-8

Tableau 22: Potentiel éolien sur le périmètre de diagnostic (source: <http://www.eoljoratsud.ch>, <http://www.eoljoratnord.ch>, 2018)

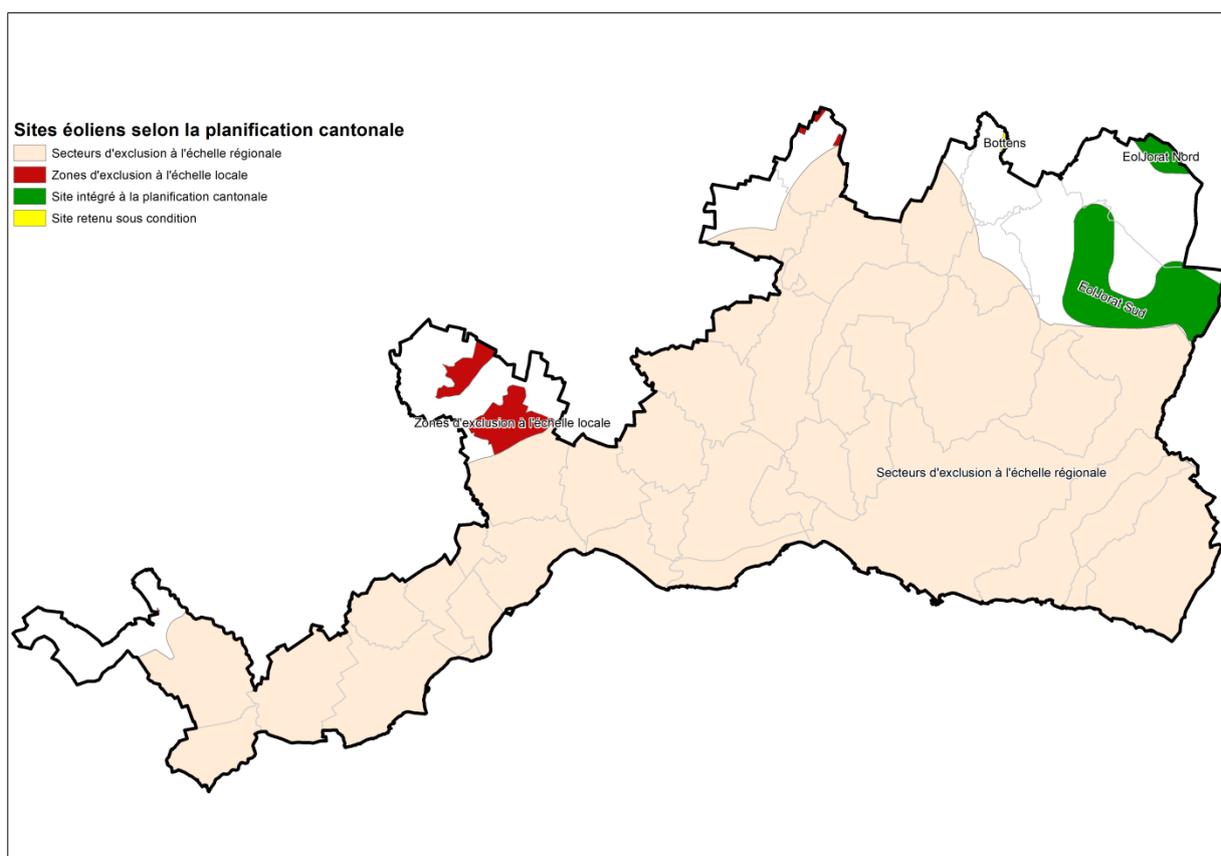


Figure 52: Potentiel éolien du périmètre (source : DIREN, 2018). Les zones blanches sont les zones sans exclusion non retenues par la planification cantonale.

La majorité du périmètre de diagnostic est exclu des sites potentiels éoliens en raison de l'affectation du territoire en zone à bâtir.

Le potentiel des deux sites ci-dessus est pris en compte dans le cadre de ce diagnostic. Le projet éolien Eoljorat Sud est à un stade avancé de son développement. Il prévoit l'installation de 8 éoliennes, qui produiront l'équivalent de la consommation électrique d'environ 16'000 ménages. Ce parc éolien représente environ 6% du potentiel éolien selon la planification cantonale.

Pour ce type de projet ayant un impact territorial important, la concertation des acteurs du territoire est nécessaire au bon développement du projet.

4. Réseaux énergétiques

Les réseaux énergétiques identifiés sont deux types:

- Réseaux thermiques, soit les réseaux de chauffage à distance ou les réseaux basse température
- Réseaux de gaz

4.1 Réseaux thermiques

Le périmètre du diagnostic recense 11 réseaux de chauffage à distance ou basse température.

Les zones d'affectations desservies par ces réseaux thermiques selon le cadastre cantonal des énergies sont représentées à la figure suivante.

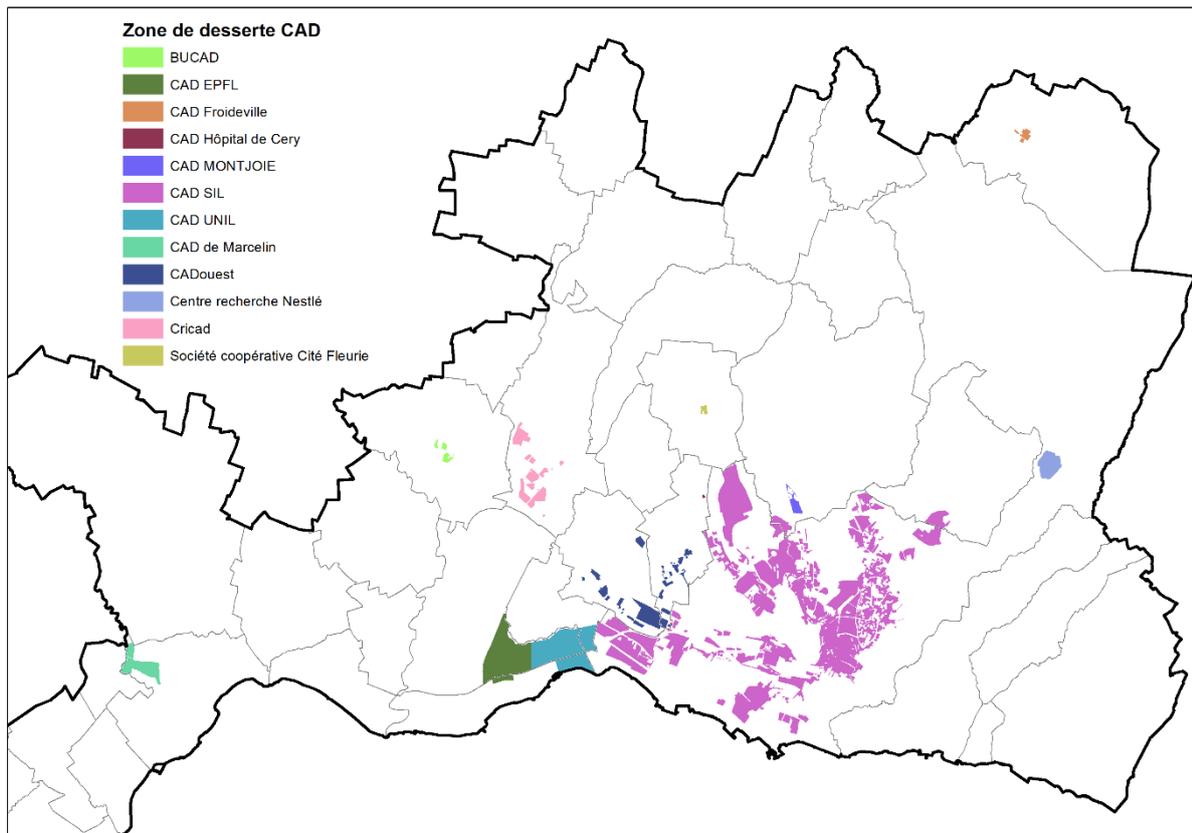


Figure 53: Zones de desserte des CAD (source: DIREN, 2018)

Le réseau basse température valorisant la chaleur des eaux en sortie de la STEP de Morges n'est pas représenté car trop récent. Quant aux CAD EPFL et UNIL, il s'agit de réseaux de froid et par conséquent, leur production n'est pas comptabilisée dans les bilans thermiques.

Les besoins de chaleur totaux satisfaits grâce aux réseaux CAD sont estimés à **242 GWh/an** sur l'ensemble du territoire, soit **8.7%** des besoins totaux de chaleur. Le CAD SIL couvre 85% de cette demande. Le mix énergétique moyen des CAD du périmètre est le suivant:

	MARQUAGE CAD GLOBAL (ÉNERGIE FINALE)
Incinération déchets	54.3%
Gaz	37.7%
Mazout	0.4%
Incinération boues d'épuration	3.3%
Bois	4.3%
PAC STEP	0.0%

Figure 54: Mix moyen des réseaux CAD sur le périmètre de diagnostic

L'agent énergétique principal et secondaire par CAD sont détaillés à l'annexe 19. À noter que les gestionnaires de CRICAD projettent de bientôt doubler la puissance délivrée.

4.2 Réseaux de gaz

La même représentation que pour les réseaux thermiques a été employée pour les réseaux de gaz. Les fournisseurs de gaz sur le territoire sont les suivants:

- Les Services Industriels de Lausanne;
- Les Services Industriels de Morges;
- Les services industriels de Lutry;
- La société électrique des forces de l'Aubonne;
- Holdigaz.

Il est supposé que tous les besoins de chaleur satisfaits grâce au gaz sur le périmètre sont couverts par le réseau de gaz. Au vu de la configuration générale (parc bâti dense, réseau de gaz présent sur une majeure partie du territoire), il est peu probable que certains besoins soient satisfaits grâce à des citernes à gaz.

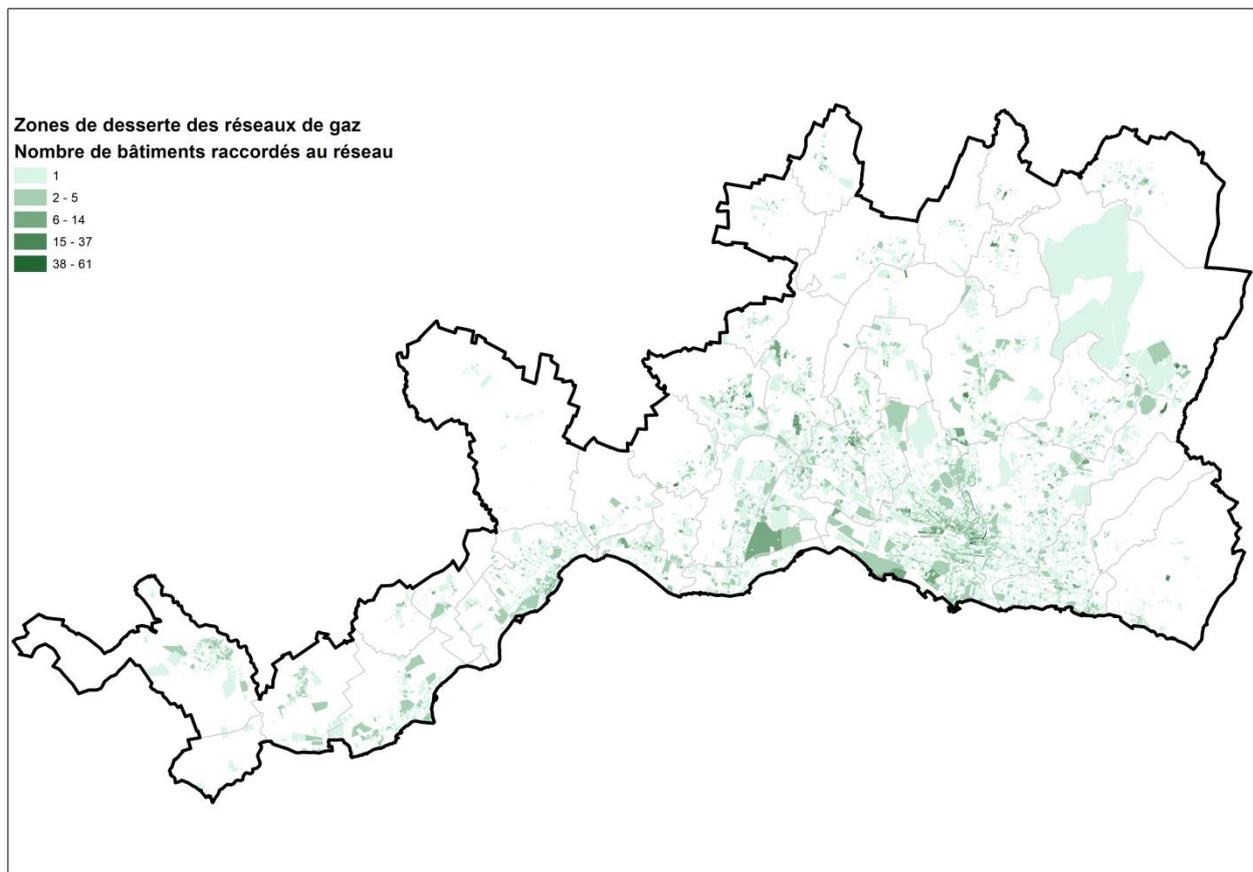


Figure 55: Zones de desserte des réseaux de gaz (source : DIREN, 2018)

On remarque que le réseau de gaz est présent sur toutes les communes du périmètre du diagnostic et que les zones à plus forte densité de gaz se trouvent dans les centres urbains. Les besoins de chaleur totaux satisfaits grâce aux réseaux de gaz sont estimés à **926 GWh/an** sur l'ensemble du territoire, soit 33.2% des besoins totaux de chaleur. C'est le 2^{ème} agent énergétique le plus représenté derrière le mazout.

Le Canton prépare actuellement une stratégie pour le gaz qui précisera le rôle de cette ressource dans l'approvisionnement énergétique du Canton. En attendant, les principes fondamentaux suivants devraient être suivis :

- Pas d'extension des réseaux de gaz;
- Substitution du gaz naturel fossile par du gaz d'origine renouvelable ;

- Priorité d'utilisation du gaz pour les processus industriels haute température, comme appoint dans les réseaux de chauffage à distance.

5. Bilan en énergie finale

Un des principaux objectifs de ce diagnostic énergétique est d'établir un bilan des consommations énergétiques du territoire et des ressources disponibles. Ce bilan est exprimé en **énergie finale**²⁵ dans ce chapitre.

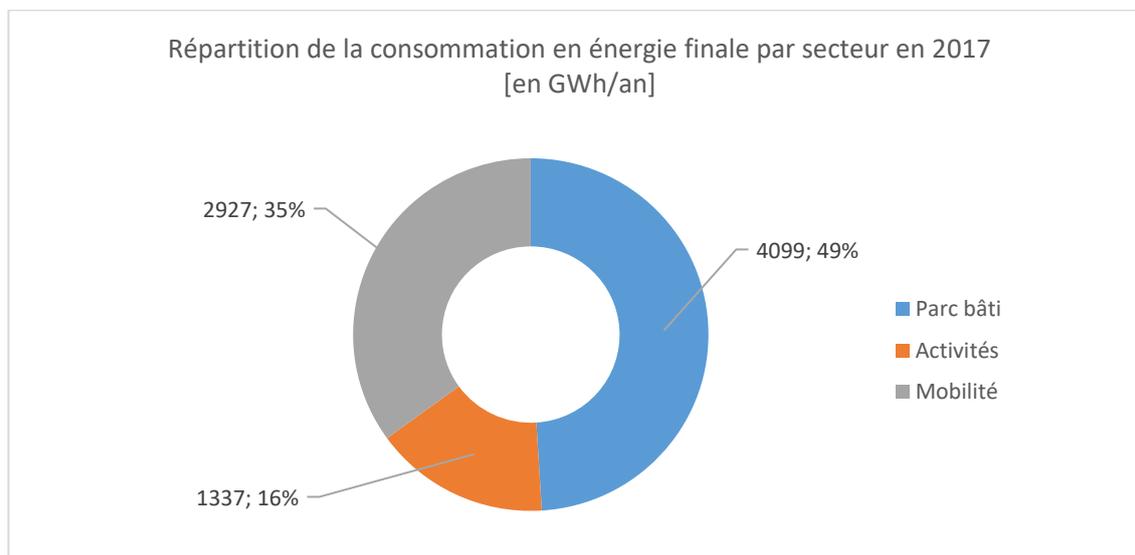


Figure 56: Répartition de la consommation énergétique par secteur en 2017 (chaleur et électricité confondues).

Le parc bâti est responsable de la consommation d'énergie finale la plus importante. Cependant, il convient de relever l'importance presque égale de la consommation liée à la mobilité. Pour rappel, la mobilité considérée ici prend en compte tous les déplacements liés à l'agglomération, elle n'est donc pas limitée à la mobilité sur le territoire du PALM. Quant à la consommation liée aux activités, elle inclut uniquement les consommations des grands consommateurs (chaleur et électricité).

Les bilans plus détaillés de ces consommations sont établis dans les chapitres suivants pour la chaleur et l'électricité, avec le bilan des potentiels en énergies renouvelables.

Nous pourrions voir ci-dessous que les potentiels énergétiques théoriques surpassent les besoins. Attention toutefois à interpréter ces informations avec précaution. Le potentiel théorique des ressources n'équivaut pas nécessairement au potentiel réel. Certains paramètres réduisent parfois la part effectivement exploitable de manière réelle.

5.1 Chaleur

La comparaison de la consommation de chaleur actuelle, répartie par agent énergétique, et des potentiels en énergies renouvelables locales pour la chaleur est faite ci-dessous, en énergie finale. La consommation de chaleur, actuellement largement couverte par des ressources fossiles, peut en théorie être couverte par les ressources renouvelables locales à hauteur de 72%. Les potentiels les plus importants sont liés à l'incinération des déchets, à la géothermie de moyenne et faible profondeur, au solaire thermique et à l'eau du lac.

²⁵ Pour rappel, l'énergie finale équivaut à l'énergie facturée au consommateur (gaz, électricité, ...) pour satisfaire les besoins énergétiques. Les pertes de transformation et de distribution sont prises en compte.

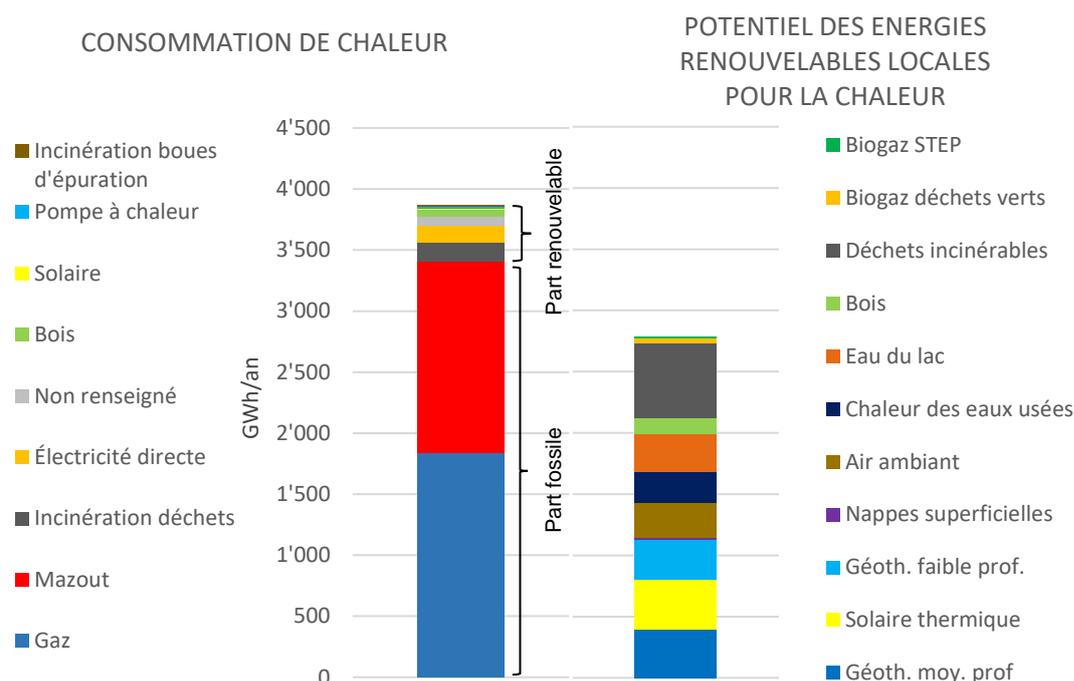


Figure 57: Bilan thermique du périmètre du diagnostic énergétique: consommation de chaleur (2017) répartie par source énergétique, y compris pour les grands consommateurs, et potentiels des énergies renouvelables locales pour l'approvisionnement en chaleur. Pour la géothermie de moyenne profondeur, le potentiel de la couche du Malm est considéré. Le potentiel thermique des ressources exploitées grâce aux pompes à chaleur (géothermie faible profondeur, chaleur des eaux usées, eau du lac, air ambiant) inclut la chaleur prélevée à l'environnement et l'électricité consommée par la PAC. La consommation liée aux réseaux de chaleur est répartie entre les différentes ressources utilisées.

Il faut toutefois garder à l'esprit que les caractéristiques de la ressource doivent correspondre aux caractéristiques des besoins afin que celle-ci puisse être utilisée : saisonnalité, niveau de température, autres potentiels sur le site, disponibilité des infrastructures de distribution, critères économiques. Par conséquent, en fonction des caractéristiques retenues, les potentiels illustrés ci-dessus ne pourront pas forcément être valorisés dans leur totalité. Ces considérations s'effectueront lors de l'établissement de la stratégie d'approvisionnement en énergie en fonction des besoins de chaleur et des ressources concernés. Par ailleurs, les ressources situationnelles, qui doivent être valorisées sur place sous peine d'être perdues (géothermie, chaleur des eaux usées, eau du lac) doivent être priorisées par rapport aux ressources transportables afin de pouvoir valoriser l'ensemble des ressources disponibles (voir chapitre 2).

Le bilan des consommations de chaleur en **énergie finale** est exprimé dans les tableaux ci-dessous. Le bois est considéré comme une ressource renouvelable locale, c'est-à-dire provenant du territoire du diagnostic. L'électricité renouvelable est considérée comme locale étant donné son origine majoritairement hydraulique.

Part de chaleur renouvelable locale	6.3%
Part de chaleur renouvelable	9%
Part de chaleur non-renouvelable	91%

Tableau 23: Part renouvelable de la consommation totale de chaleur en énergie finale

AGENT ÉNERGÉTIQUE	DÉCENTRALISÉ [GWh/an]	CHALEUR À DISTANCE [GWh/an]	CONSOMMATION TOTALE [GWh/an]	PART DE LA CONSOMMATION TOTALE	PART RENOUVELABLE	PART NON-RENOUVELABLE
Bois	43	12	56	1.4%	100%	0%
Incinération déchets	0	155	155*	4.0%	100%	0%
Gaz	1 734	107	1 841	47.6%	0%	100%
Mazout	1 561	1	1 562	40.4%	0%	100%

Incinération boues d'épuration	0	9	9	0.2%	100%	0%
Électricité directe	146	0	146	3.8%	76%	24%
Pompe à chaleur	13	0	13	0.3%	76%	24%
Solaire	16	0	16	0.4%	100%	0%
Non renseigné	69	0	69	1.8%	0%	100%
TOTAL	3 582	285	3 867	100%		

Tableau 24: Répartition des consommations de chaleur par agent énergétique (en énergie finale). Dans ce bilan, la chaleur à distance est répartie entre les différents agents énergétiques également. La part renouvelable des PAC est calculée selon le marquage électrique moyen.

*Valeur selon les données provenant du cadastre des énergies, qui est sous-estimée. La valeur indiquée par la Ville de Lausanne est d'environ 260 GWh/an.

Les parts de chaleur renouvelable, produite localement ou hors du territoire du diagnostic, sont de 6% et 9%. L'objectif cantonal pour la part renouvelable de la chaleur et des carburants est d'atteindre 20% en 2035²⁶. Même si actuellement les besoins de chaleur du territoire sont majoritairement couverts par le gaz et le mazout, le territoire du PALM possède différentes ressources renouvelables actuellement peu valorisées. Ces possibilités seront abordées dans le cadre de la stratégie énergétique du PALM.

5.2 Électricité

Le territoire du diagnostic possède un potentiel local de production d'électricité important, de 1'098 GWh/an, réparti entre le potentiel photovoltaïque qui s'élève à près de 900 GWh/an, l'incinération des déchets, le biogaz, l'éolien et l'hydroélectricité (Figure 58) selon les hypothèses prises dans ce rapport. **Ce potentiel électrique théorique permet de couvrir 74% des besoins électriques.** Notons que l'électricité utilisée pour la production de chaleur (chauffage électrique direct, pompes à chaleur) n'est pas comptée ici car elle est déjà comptabilisée dans le volet chaleur. Cette part équivaut à 152 GWh/an.

Contrairement à la chaleur, l'électricité est une ressource facilement transportable. Par conséquent, la valorisation des potentiels de production d'électricité renouvelable n'impose pas de contrainte spatiale. En revanche, l'électricité souffre de contraintes temporelles: elle doit être utilisée instantanément sous peine d'être perdue. Il est néanmoins possible de stocker cette énergie à l'aide de dispositifs adéquats comme les batteries ou les barrages. Ceux-ci nécessitent cependant un investissement important. À l'avenir, l'augmentation de la production électrique d'origine renouvelable nécessitera davantage de capacité de stockage afin d'augmenter la flexibilité du réseau électrique. Par conséquent, un enjeu important à moyen terme sera le stockage électrique.

Le bilan des consommations d'électricité en **énergie finale** est exprimé dans le Tableau 25 et le Tableau 26. L'électricité provenant du solaire, de la biomasse et une partie de l'électricité hydraulique (17GWh selon le chapitre 3.2.2) sont considérées comme produites localement, c'est-à-dire sur le territoire du diagnostic. **La part d'électricité renouvelable locale consommée sur le territoire équivaut à 5%.** L'objectif cantonal pour la production d'électricité renouvelable locale est d'atteindre 65% en 2035²⁷. Toutefois, comme le montre la Figure 58, le périmètre du diagnostic possède un faible potentiel pour l'hydraulique, le potentiel principal à valoriser étant le solaire photovoltaïque. Contrairement à la chaleur, la part d'électricité renouvelable consommée, comprenant les productions hors périmètre du PALM, est élevée, avec 76%. Cette électricité provient majoritairement de centrales hydrauliques suisses.

²⁶ Objectif fixé dans la Conception cantonale de l'énergie 2019, sous réserve d'approbation du Grand Conseil

²⁷ Objectif fixé dans la Conception cantonale de l'énergie 2019, sous réserve d'approbation du Grand Conseil

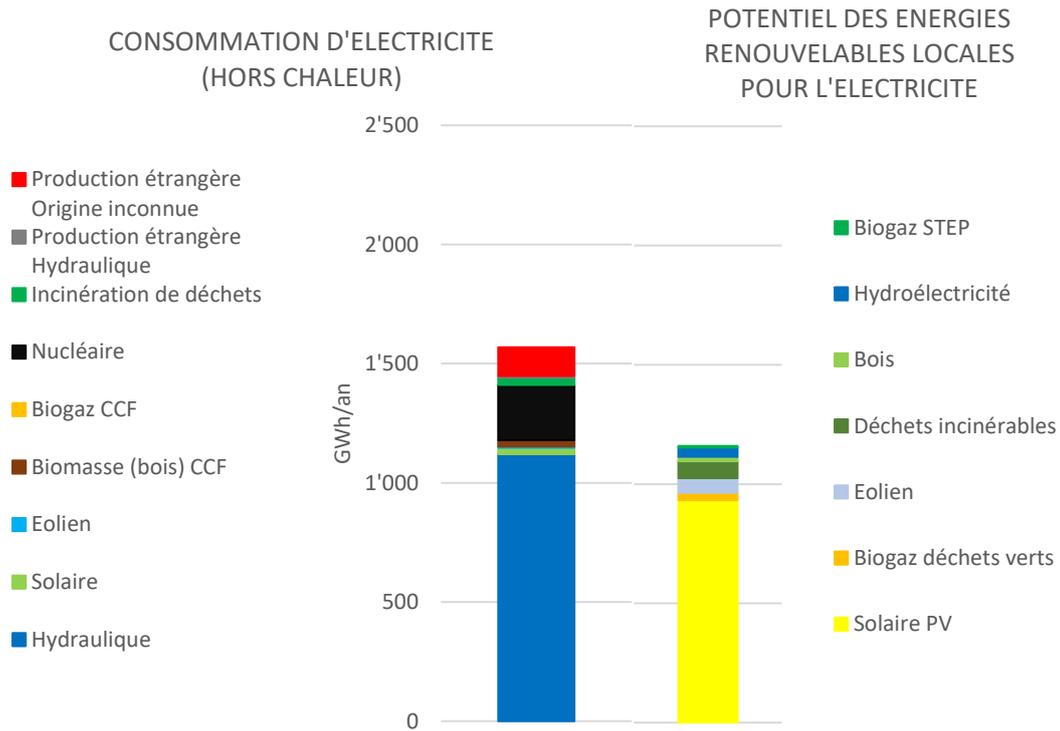


Figure 58: Bilan électrique du périmètre du diagnostic énergétique: consommations d'électricité (2017) réparties par ressource énergétique, y compris les grands consommateurs, et potentiels des énergies renouvelables locales pour l'alimentation en électricité.

Part d'électricité renouvelable locale	4.6%
Part d'électricité renouvelable	75.6%
Part d'électricité non-renouvelable	24.4%

Tableau 25: Part renouvelable de la consommation totale d'électricité en énergie finale

RESSOURCE	PROVENANCE	CONSOMMATION TOTALE D'ÉLECTRICITÉ [GWH/AN]	PART DES BESOINS TOTAUX
Hydraulique	Suisse	1'121	71.4%
Solaire	Suisse	27	1.7%
Éolien	Suisse	4	0.3%
Biomasse (bois) CCF	Suisse	28	1.8%
Nucléaire	Suisse	231	14.7%
Hydraulique (importée)	Importée	7	0.4%
Origine inconnue	Importée	121	7.7%
TOTALE		1'570	100%

Tableau 26: Répartition de la consommation d'électricité par agent énergétique en énergie finale.

5.3 Mobilité

Le bilan en énergie finale de la mobilité, basé sur les déplacements tous motifs en lien avec le périmètre du PALM, y compris les déplacements à l'extérieur du périmètre, est sans appel: 91% de l'énergie consommée est due à la voiture à moteur thermique. Viennent ensuite le train et les transports publics urbains (autobus et trolleybus). Ce bilan serait significativement meilleur en considérant uniquement les déplacements ayant lieu à l'intérieur du périmètre compact. D'une part, les distances parcourues sont grandement réduites en se limitant au périmètre compact. D'autre part, la part des déplacements effectués en transports publics est plus élevée.

ÉNERGIE FINALE CONSOMMÉE PAR TYPE DE VÉHICULE (GWH/AN)

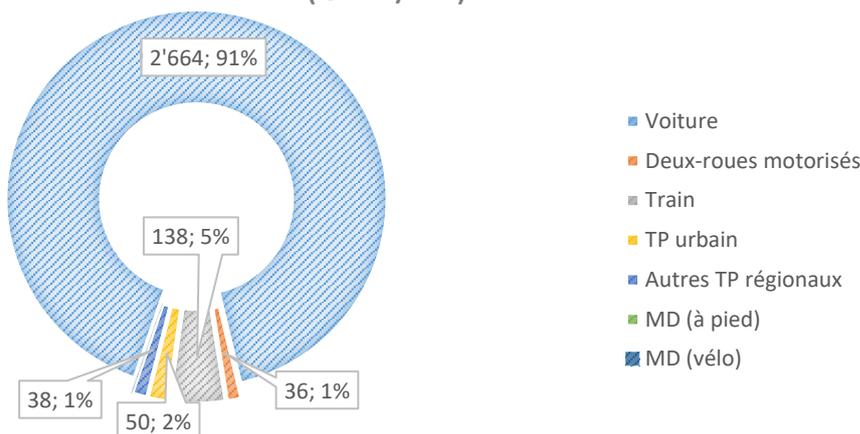


Figure 59: Consommation d'énergie finale pour la mobilité en 2015

Les principales cibles à viser pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ liées à la mobilité pour le PALM sont donc ces 3 moyens de transport. Ce constat est confirmé à la Figure 60 par les valeurs rapportées au nombre d'habitants et emplois du périmètre. Comme expliqué au chapitre 2.3.4.1, la méthode tient compte de tous les flux de déplacements engendrés par le périmètre compact du PALM: flux internes, entrants et sortants. Pour cette raison, il fait sens de tenir compte non seulement des habitants du périmètre, mais également des personnes y travaillant.

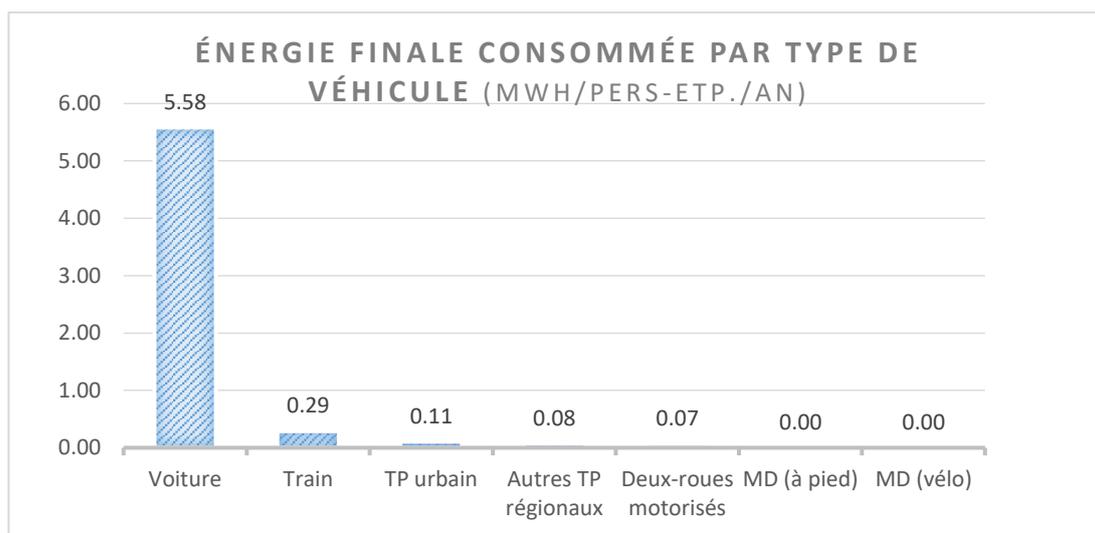


Figure 60: Consommation d'énergie finale pour la mobilité par habitants + emplois en 2015

5.4 Comparaison avec les objectifs de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération et les objectifs de la Conception cantonale de l'énergie

Les objectifs de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération et de la Conception cantonale de l'énergie sont regroupés dans le tableau ci-dessous:

Stratégie énergétique 2050 de la Confédération	OBJECTIFS 2035
Consommation finale d'énergie par personne (par rapport à 2000)	-43%
Consommation finale d'électricité par personne (par rapport à 2000)	-13%
Conception cantonale de l'énergie et Plan climat vaudois (Les objectifs 2035 ont été avancés à 2030 suite au Plan Climat Vaudois)	OBJECTIFS 2030
Part renouvelable locale (chaleur, électricité et carburants)	35%

Tableau 27: Objectifs énergétiques fédéraux et cantonaux

Le premier objectif de la Stratégie énergétique 2050 porte sur la consommation globale d'énergie (chaleur, carburants et électricité) tous secteurs confondus, y compris la mobilité et le secteur des activités. L'évolution de la consommation d'énergie finale par habitant entre l'année 2000 et l'année 2017 est donnée sur la Figure 61, à l'échelle cantonale. Depuis l'année 2000, une diminution de la consommation finale d'énergie par habitant est observée au niveau cantonal et au niveau suisse. Comme indiqué sur la Figure 61, l'objectif de la Stratégie énergétique 2050 extrapolé pour l'année 2017 n'est pas tout à fait atteint. Cela montre que les efforts devront être intensifiés afin d'atteindre les objectifs fixés aux horizons 2035 et 2050.

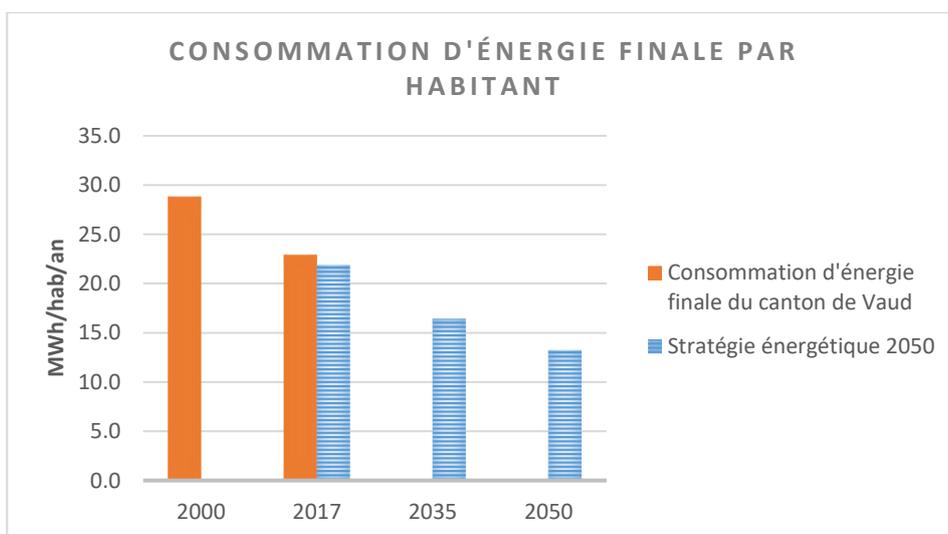


Figure 61: Évolution de la consommation d'énergie finale par habitant sur le Canton de Vaud et comparaison avec les objectifs de la stratégie énergétique 2050 (SE 2050) sur le territoire cantonal

En ce qui concerne le PALM, l'absence de valeur pour l'année 2000 (l'année de référence ne permet pas de suivre l'évolution de la consommation sur ce périmètre et d'établir une comparaison avec les objectifs de la stratégie énergétique 2050). Les valeurs cantonales ne peuvent pas être appliquées au périmètre du PALM pour les raisons suivantes :

- La configuration du territoire sur le périmètre du PALM n'est pas représentative du canton;
- La consommation moyenne par habitant liée à la mobilité ne peut pas être considérée comme similaire;
- Les hypothèses retenues pour le calcul des valeurs statistiques cantonales diffèrent de la méthodologie utilisée pour le PALM. Elles risqueraient d'entraîner des différences importantes sur les résultats, notamment pour la mobilité.

Ces constats sont en partie justifiés par la comparaison des valeurs de consommation d'énergie moyenne par habitant entre le canton de Vaud et le PALM, pour l'année 2017 (Tableau 28). En ce qui concerne la consommation liée au bâti,

nous pouvons constater que la valeur du périmètre de diagnostic est similaire à celle du canton. Pour la mobilité, les valeurs pour le PALM sont nettement supérieures, probablement en raison de la méthodologie de calcul choisie.

ANNÉE 2017	CANTON DE VAUD	PALM
Consommation d'énergie moyenne par habitant pour le parc bâti [MWh/an]	16.3	16.7
Consommation d'énergie moyenne par habitant pour la mobilité [MWh/an]	6.5	9.0

Tableau 28: Comparatif de la consommation énergétique moyenne par habitant pour le canton de Vaud²⁸ et pour périmètre du PALM (année 2017). Dû à l'absence de données pour la mobilité en 2017, le bilan de 2015 a été utilisé pour la comparaison.

La Conception cantonale de l'énergie permet d'affiner la stratégie fédérale au niveau cantonal et définit un objectif pour la part de consommation couverte par les énergies renouvelables disponibles dans le canton. Le bilan en **énergie finale** permet de calculer la part de la consommation couverte par des énergies renouvelables pour le PALM, et la part couverte par des énergies renouvelables locales, c'est-à-dire produites sur le périmètre en question. Le Tableau 29 montre que la part renouvelable consommée actuellement sur le territoire est élevée pour l'électricité (76%). Elle est par contre en dessous de 10% pour la chaleur et la mobilité, laquelle influence le bilan global de manière significative. Dans la globalité, **la part renouvelable s'élève à 20% alors qu'elle est de 4% pour la production renouvelable locale**. Ces résultats montrent que **les énergies renouvelables devront être développées sur le territoire de l'agglomération pour contribuer à l'objectif cantonal de couvrir 35% de la consommation globale avec des énergies renouvelables locales en 2030**.

	CONSOMMATION TOTALE [GWh/an]	CONSOMMATION COUVERTE PAR DES ÉNERGIES RENOUVELABLES [GWh/an]	PART RENOUE-LABLE	PART RENOUE-LABLE LOCALE
Chaleur	3'867	355	9.2%	6.3%
Électricité	1'570	1186	75.6%	4.6%
Mobilité	2'927	123	4.2%	0.2%
GLOBAL	8'364	1664	20%	3.9%

Tableau 29 : Consommation totale exprimée en énergie finale, part d'énergie renouvelable et d'énergie renouvelable locale pour la chaleur, l'électricité et la mobilité (2017)

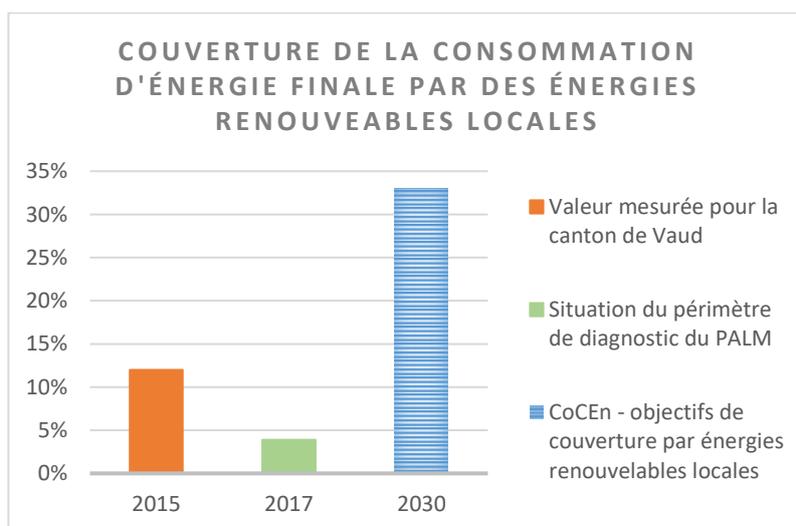


Figure 62 : Part de la consommation d'énergie finale globale (chaleur, carburants, électricité) couverte par des énergies renouvelables locales pour le Canton de Vaud (2015), le périmètre de diagnostic du PALM (2017) et comparaison avec l'objectif 2030 de la Conception cantonale de l'énergie

²⁸ Source : Statistiques vaudoises

6. Bilan en énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre

Afin de compléter le bilan en énergie finale, un bilan en **énergie primaire**²⁹ a été établi sur périmètre du diagnostic dans le but de comparer la situation du territoire avec les objectifs de la société à 2000 watts.

Les indicateurs société à 2000 watts en énergie primaire comprennent le domaine des bâtiments (parc bâti et activités) et de la mobilité. L'énergie grise n'est pas comptabilisée. Le bilan est établi selon deux critères:

- La consommation d'énergie primaire par habitant et par année ;
- Les émissions de gaz à effet de serre par habitant et par année, soit principalement le CO₂, le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃).

A noter que la mobilité comprend uniquement les déplacements sur le territoire suisse en lien avec le PALM. Selon une étude mandatée par le Canton, la mobilité à l'étranger compte pour 34% de l'énergie primaire, soit 688 W/hab./an sur un total de 2023 W/hab./an³⁰.

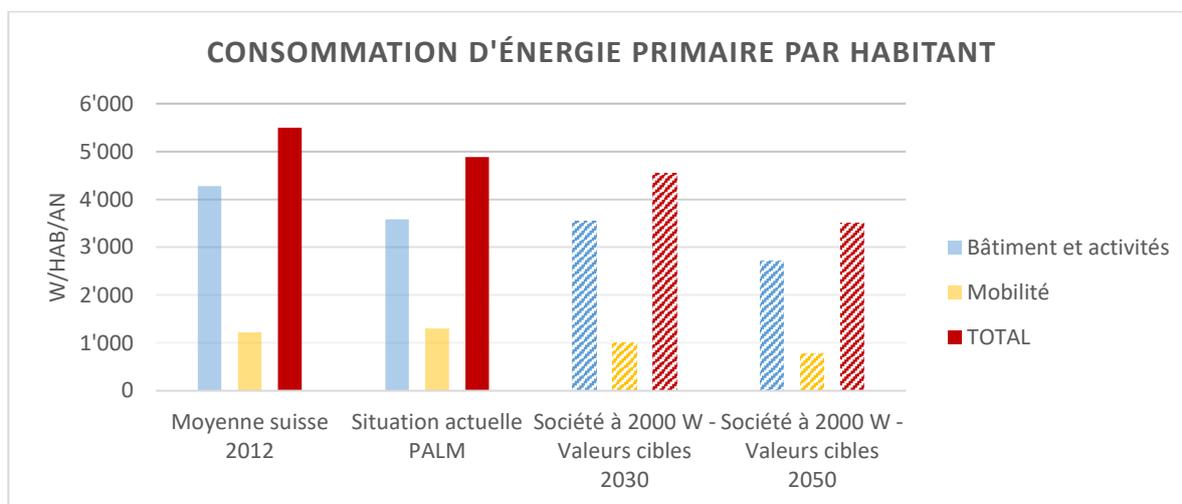


Figure 63: Bilan de consommation d'énergie primaire selon les objectifs de la société à 2'000 watts. Ces valeurs ont été calculées sur la base des documents de Suisse Energie pour les communes et les facteurs KBOB 2016 pour l'énergie primaire. Les valeurs cibles 2030, de même que les répartitions entre bâtiment-activités et mobilité ont été extrapolées sur la base des valeurs globales et des valeurs mobilité pour la situation actuelle. L'hypothèse suivante est donc émise: la répartition des consommations et émissions entre les deux catégories sera la même dans le futur. Concernant la mobilité, les valeurs sont exprimées par habitant + emplois.

²⁹ Pour rappel, l'énergie primaire est l'énergie disponible dans l'environnement et directement exploitable sans transformation. Étant donné les pertes d'énergie à chaque étape de transformation, stockage et transport, la quantité d'énergie primaire est toujours supérieure à l'énergie finale disponible.

³⁰ Référence étude (valeurs 2015)

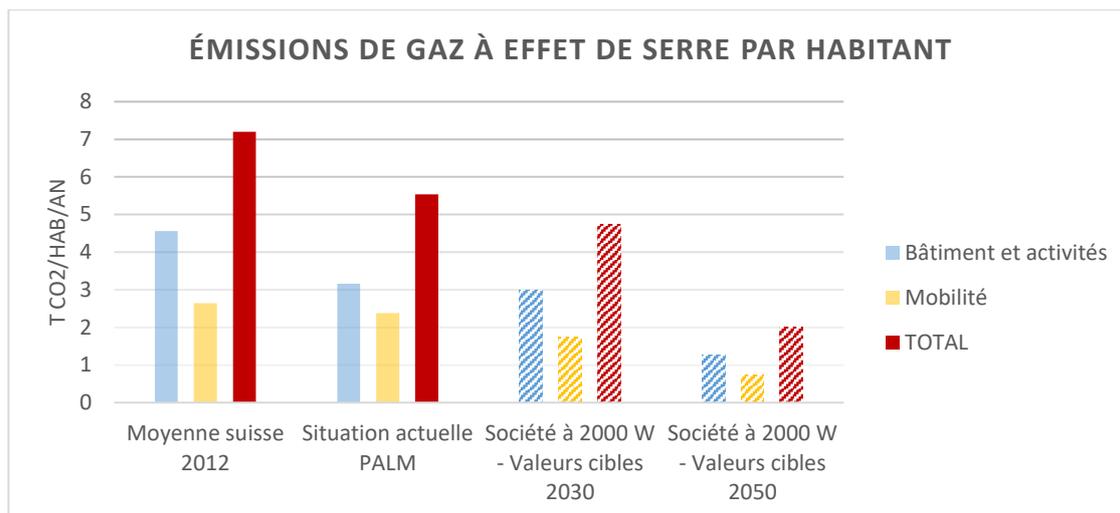


Figure 64: Bilan d'émissions de gaz à effet de serre selon les objectifs de la société à 2'000 Watts. Ces valeurs ont été calculées sur la base des documents de Suisse Energie pour les communes et les facteurs KBOB 2016 pour l'énergie primaire. Concernant la mobilité, les valeurs sont exprimées par habitant + emplois.

Les valeurs cibles à atteindre pour 2030 ont été extrapolées par rapport aux valeurs cibles 2050. Elles correspondent à des moyennes suisses.

Comme nous pouvons le voir, les valeurs 2017 pour le PALM sont sensiblement plus faibles que la moyenne suisse (2012). Les hypothèses suivantes peuvent expliquer cet écart:

- Comme mentionné dans le chapitre 2.2, les besoins énergétiques liés aux activités considérés dans ce rapport prennent en compte les grands consommateurs et les besoins électriques uniquement liés aux activités hors grand consommateur. La prise en considération de l'entier des besoins liés aux activités ferait augmenter l'énergie primaire pour le secteur bâtiments et activités.
- Les statistiques suisses montrent une augmentation de la part renouvelable de consommation d'énergie finale renouvelable de 1,5% entre 2012 et 2017³¹. Même si les valeurs statistiques à l'échelle du PALM ne sont pas disponibles, une tendance similaire peut être supposée. Une telle augmentation de la part renouvelable entraîne une diminution de la consommation d'énergie primaire.

Les valeurs cibles extrapolées pour l'année 2030 ne sont pas encore atteintes. Les résultats concernant la mobilité sont difficilement comparables à la moyenne suisse et aux valeurs cibles 2030 pour l'énergie primaire et pour les émissions de gaz à effet de serre. Comme expliqué au chapitre 2.3, l'entier des flux entrants et sortants sont considérés dans cette analyse, ce qui implique des valeurs par habitant + emplois. Ces flux ne sont pas considérés dans les valeurs de référence pour la Suisse, basées uniquement sur le nombre d'habitants. Les résultats concernant la mobilité sont donc à interpréter avec précaution. Ce constat influence également les valeurs pour l'énergie primaire totale.

Ces résultats nous montrent qu'il faudra intensifier les efforts afin d'atteindre les objectifs de la société à 2000 watts. En particulier, il est nécessaire d'augmenter la part d'énergie renouvelable pour atteindre les objectifs en matière d'émission de gaz à effet de serre.

³¹ Source: Statistiques suisses globales de l'énergie, OFEN, 2017

7. Enjeux

Suite au diagnostic énergétique, les enjeux suivants sont identifiés en vue de l'établissement d'une stratégie énergétique pour le territoire de l'agglomération:

1. Coordination stratégique avec les planifications existantes

Au regard de la complexité du territoire du PALM, il est nécessaire de tenir compte des spécificités intercommunales et communales afin que les différents acteurs puissent s'approprier la stratégie énergétique du PALM. Cette stratégie doit être coordonnée avec les planifications existantes dans le domaine de l'énergie et les autres domaines en lien avec l'énergie. Elle doit définir des lignes directrices communes et identifier les actions nécessitant une coordination des acteurs à l'échelle intercommunale.

2. Valorisation adéquate des ressources énergétiques locales

L'analyse des ressources montre que le territoire du PALM dispose d'importantes ressources renouvelables locales, notamment la géothermie de moyenne et faible profondeur, le solaire photovoltaïque et thermique, l'eau du lac et la chaleur des eaux usées. Selon les perspectives chaleur cantonales³² et dans l'optique de s'affranchir des énergies fossiles, ces ressources dites situationnelles, c'est-à-dire non transportables et ne pouvant être valorisées que là où elles se trouvent, doivent être utilisées en priorité. Parmi les ressources situationnelles disponibles sur le territoire du PALM, certaines nécessitent le développement de réseaux thermiques pour leur valorisation : géothermie de moyenne profondeur, eau du lac, rejets thermiques des STEP. Concernant les ressources renouvelables non situationnelles (bois-énergie et biogaz), celles-ci doivent être réparties de manière judicieuse à l'échelle canton de manière à ne pas concurrencer les ressources situationnelles. De plus, le bois-énergie et le biogaz doivent être favorisés pour des utilisations à haute température, par exemple pour les processus industriels.

3. Réduction des besoins énergétiques

La réduction des besoins énergétiques concerne l'efficacité énergétique des bâtiments (enveloppe thermique et efficacité des appareils) et l'efficacité énergétique dans le domaine des activités (par exemple les processus industriels). L'agglomération dispose d'un fort potentiel de réduction étant donné son parc bâti relativement ancien et la part importante des industries, services et commerces sur son territoire. L'assainissement énergétique de l'enveloppe thermique des bâtiments permet, d'une part, de réduire les besoins thermiques et, d'autre part, d'avoir une meilleure adéquation avec les ressources renouvelables fournissant de la chaleur à basse température, comme la géothermie de faible profondeur, les pompes à chaleur sur l'air ambiant et les réseaux basse température qui seront développés sur le territoire de l'agglomération.

4. Renforcement du transfert modal de la voiture vers les transports publics et la mobilité douce

Le bilan pour la mobilité montre que la voiture est responsable de 91% de la consommation d'énergie liée à la mobilité. La comparaison de l'impact énergétique des différents modes de transport montre que le transfert modal de la voiture vers les transports publics et la mobilité douce est moyen le plus efficace pour réduire la consommation d'énergie liée à la mobilité. Or, la stratégie mobilité définie dans le PALM 2016 est déjà axée sur le transfert modal. Le bilan énergétique pour la mobilité vient donc conforter la stratégie du PALM 2016. Il s'agit donc de renforcer et d'accélérer les mesures prévues afin d'atteindre les objectifs énergétiques.

5. Réduction de l'impact énergétique des transports individuels motorisés

Cet enjeu concerne le solde de la mobilité individuelle suite au transfert modal. La comparaison de l'impact énergétique des différents modes de transport montre que la voiture électrique présente un gain énergétique et en émissions de CO₂ par rapport à la voiture à moteur thermique. Etant donné le taux de renouvellement rapide du parc automobile (en comparaison du parc bâti), le remplacement du solde de voitures à moteur thermique par des véhicules plus efficaces peut contribuer aux objectifs énergétiques et climatiques à l'horizon 2030.

6. Urgence d'atteindre les objectifs climatiques internationaux

Le GIEC a montré l'urgence de réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre afin de contenir le réchauffement climatique sous le seuil de 1.5°C. Selon le dernier rapport du GIEC, une action de réduction des émissions de GES de 50% doit impérativement être déployée durant la décennie 2020-2030. Passé ce délai, l'objectif ne serait plus atteignable (voir également le Plan climat vaudois, 2020). En ce sens, les objectifs énergétiques au niveau fédéral et cantonal ont été revus : souhait au niveau fédéral d'atteindre la neutralité en 2050, avancement des objectifs 2035 de la Conception cantonale de l'énergie à 2030 suite à la publication du Plan climat vaudois.

³² Perspectives de valorisation du potentiel de chaleur renouvelable du Canton de Vaud, 2021

8. Annexes

1.	Liste des données fournies aux mandataires et utilisées dans le cadre du diagnostic	75
2.	Documents stratégiques communaux	76
3.	Sites stratégiques et mesures d'urbanisation	78
4.	Classification des bâtiments et sites protégés	79
5.	Répartition des besoins de chaleur par agent énergétique pour chaque commune	81
6.	Méthodologie pour le calcul des besoins de chaleur par bâtiment	82
7.	Marquages électriques des distributeurs d'électricité du PALM	84
8.	Hypothèses de la Confédération pour l'élaboration du cadastre solaire	86
9.	Potentiel solaire thermique par commune	87
10.	Potentiel de production de biogaz lié aux déchets organiques	88
11.	Potentiel de production de biogaz issu des boues d'épuration	90
12.	Potentiel bois-énergie	91
13.	Potentiel lié aux déchets incinérables	94
14.	Potentiel photovoltaïque	95
15.	Potentiel thermique des eaux usées	96
16.	Température de l'eau du lac	98
17.	Hypothèses de calcul du potentiel de géothermie moyenne profondeur	99
18.	Installations hydroélectriques	100
19.	Réseaux thermiques existants sur le périmètre du diagnostic	101

1. Liste des données fournies aux mandataires et utilisées dans le cadre du diagnostic

INTITULÉ	PRÉCISIONS
Communes	Liste des communes avec schéma directeur
Périmètres	Périmètre OFS, périmètre compact, périmètre des schémas directeurs
Projets de développement	Sites stratégiques
Projets de développement	Mesures d'urbanisation du PALM pour périmètre compact
Zones affectation	Zones d'affectation du sol
Infrastructures énergétiques	Réseaux CAD et gaz
Fournisseurs d'énergie	Liste des fournisseurs CAD, gaz et électricité
Installations solaires photovoltaïques	Installations photovoltaïques (données Swissgrid)
Installations solaires thermiques	Installations thermiques subventionnées par commune Estimation de la production solaire thermique obligatoire par commune
Grands consommateurs	Grands consommateurs thermiques : consommation totale par commune et nombre de grands consommateurs Grands consommateurs électriques : consommation totale par commune et nombre de grands consommateurs
Densité thermique	Estimation de la densité thermique du territoire y compris la consommation thermique des grands consommateurs, avec ECS et chauffage pour les bâtiments
Zones favorables aux réseaux thermiques	Selon la densité thermique du territoire
Consommation électrique	Consommation électrique totale, par commune
Ressource : géothermie basse profondeur	Carte d'amissibilité, forages, conductivité thermique du sol
Ressource : géothermie moyenne profondeur	Valeurs moyennes par commune
Ressource : potentiel solaire photovoltaïque	Cadastre solaire des toitures et des façades (Toitsolaire.ch)
Ressource : hydrothermie	Bathymétrie du lac Léman
Ressource : potentiel biogaz	Quantité de déchets verts récoltés par les communes Déchets agricoles
Ressource : rejets thermiques	Rejets thermiques des STEP
Ressource : bois-énergie	Potentiel bois-énergie des forêts par commune Potentiel du bois usagé
Ressource : hydroélectricité	Installations actuelles et projetées
Ressource : éolien	Sites éoliens selon la planification cantonale de l'éolien
Zone à émission excessive	Zone à émission excessive pour le plan OPAIR
Mobilité	Données liées au plan de charge Données des flux de déplacements

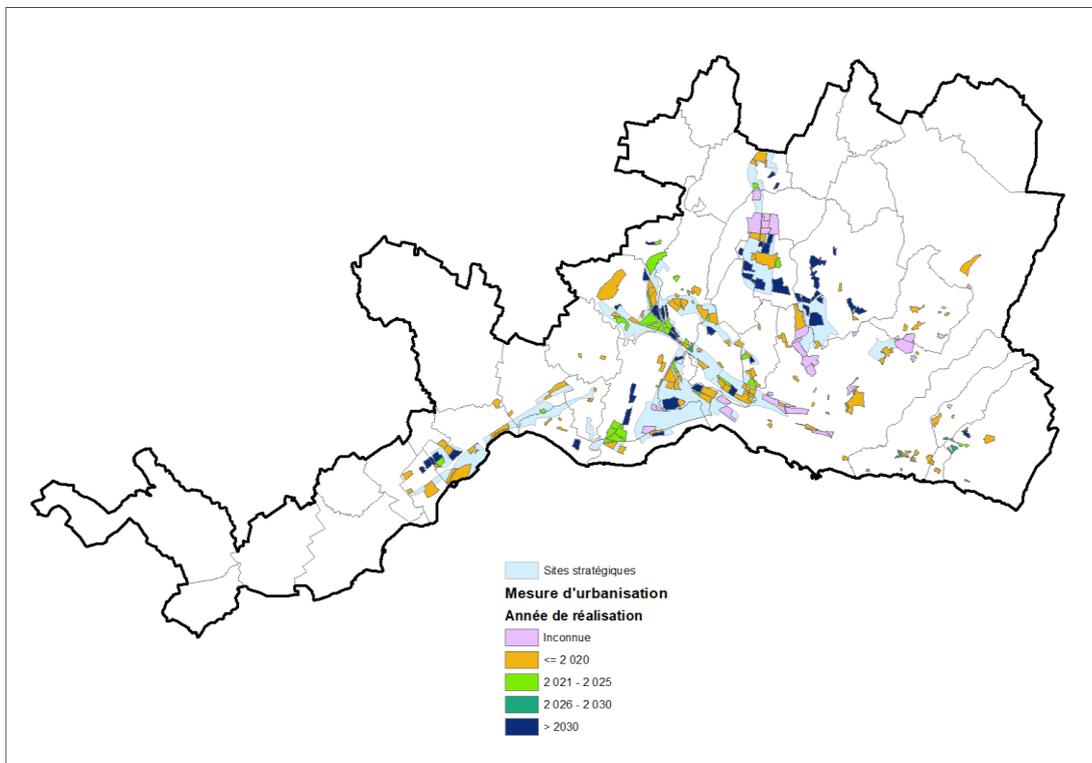
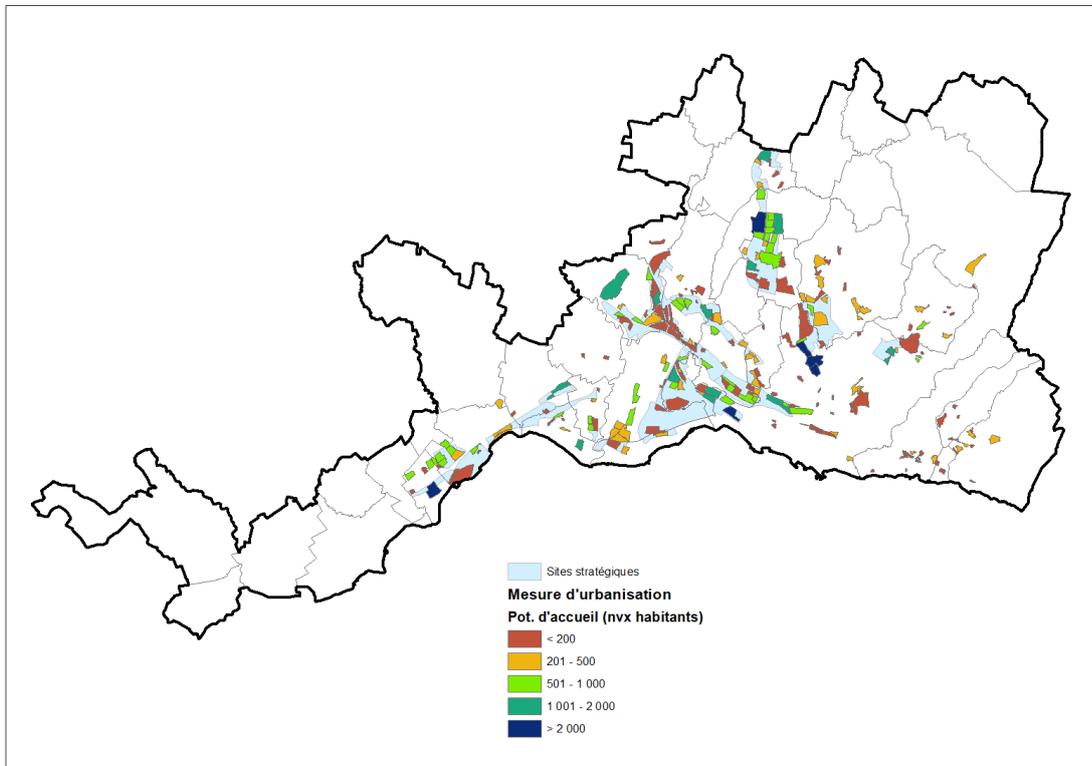
2. Documents stratégiques communaux

COMMUNE	PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE AVEC APPROVISIONNEMENT PAR ZONE	OBJECTIFS ÉNERGÉTIQUES QUANTIFIÉS	VOLET ÉNERGIE DANS LE PDCOM	CITÉ DE L'ÉNERGIE	CECV	AGENDA 21	CONVENTION DES MAIRES	AUTRE	PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE DE QUARTIERS
Allaman	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	-	Non
Aubonne	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	-	Non
Belmont	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Boussens	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Bretigny-sur-Morrens	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Bussigny	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Ville verte, ville santé	Oui
Chavannes-près-Renens	En cours (Pdi)	Non	En cours	Non	Non	Non	Non	-	Non
Cheseaux-sur-Lausanne	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	-	Oui
Chigny	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Ecublens	En cours (Pdi)	Non	En cours	Oui	Non	Non	Non	-	Non
Crissier	En cours (Pdi)	Non	En cours	Oui	Non	Non	Non	-	Oui
Cugy	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Denges	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Echandens	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Echichens	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Epalinges	Oui	Oui	En cours	Oui	Non	Non	Non	-	Oui
Etoy	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	-	Non
Froideville	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	-	Non
Jouxens-Mézery	Oui	Oui	En cours	Non	Non	Non	Non	-	Non
Lausanne	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	-	Oui
Le Mont-Sur-Lausanne	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	-	Oui
Lonay	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Lully	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Lussy-sur-Morges	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	-	Non
Lutry	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	-	Non
Morges	En cours	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui
Morrens	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Oui
Paudex	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Préverenges	Non	Non	En cours	Non	Oui	Oui	Non	-	Non
Prilly	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	-	Oui
Pully	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	United for smart & sustainable cities	Oui
Renens	Oui	Oui	En cours	Oui	Non	Non	Non	-	Oui
Romanel-sur-Lausanne	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Saint-Prex	Non	Non	En cours	Oui	Non	Non	Non	-	En cours

Saint-Sulpice	En cours (Pdi)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Oui
Sullens	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	-	Non
Tolochenaz	Non	Non	En cours	Non	Non	Non	Non	-	Oui
Villars-Sainte-Croix	En cours (Pdi)	Non	En cours	Non	Non	Non	Non	-	Non

3. Sites stratégiques et mesures d'urbanisation

Potentiel d'accueil des mesures d'urbanisation et année de réalisation selon le PALM 2016 (certains secteurs ont évolué depuis le PALM 2016, notamment celui de Lausanne-Vernand):



4. Classification des bâtiments et sites protégés

BATIMENTS:

Objet d'intérêt national (concerne essentiellement les notes *1*)

Objet dont le classement comme monument historique est requis (LPNMS, art. 52 et suivants) et exigeant la conservation intégrale de sa forme et de sa substance.

Objet d'intérêt régional (concerne essentiellement les notes *2*)

Objet d'importance cantonale, dont l'inscription à l'inventaire est requise (LPNMS, art. 49 et suivants) et exigeant la conservation de sa forme et de sa substance.

Objet d'intérêt local (concerne essentiellement les notes *3* et *4*)

Objet intéressant au niveau communal et méritant d'être conservé. Un tel objet est placé sous la protection générale (LPNMS, art. 46 et suivants). Des modifications peuvent y être envisagées, pour autant que les qualités qui ont justifié sa note n'en soient pas altérées.

La principale autorité compétente pour la sauvegarde de ces objets est la Commune.

Objet bien intégré (note *4*)

Objet bien intégré, par son volume, sa composition et souvent sa fonction, et participant à la définition de l'identité de la localité.

La principale autorité compétente pour la sauvegarde de ces objets est la Commune.

Un tel objet ne possède ni la qualité architecturale ni l'authenticité justifiant l'intervention de la Section des monuments et sites (SIPAL). Il nécessite néanmoins un traitement approprié et soigné afin de préserver l'image du site. Sa sauvegarde et sa mise en valeur doivent être garanties dans le cadre de la planification communale.

Objet présentant des qualités et des défauts (note *5*)

Objet présentant des défauts d'intégration, malgré son architecture soignée et intéressante. C'est le cas d'un édifice à l'architecture importée, en inadéquation avec son environnement bâti.

Appartiennent également à cette catégorie les constructions qui ne sont pas évaluées dans les catégories précédentes, mais qui présentent néanmoins des caractéristiques dignes d'intérêt.

Objet sans intérêt (note *6*)

Objet considéré comme neutre et sans intérêt patrimonial, tant du point de vue de son intégration que de son architecture ou de son histoire. Sa présence n'est pas déterminante pour l'harmonie du site.

Dans le cadre de la planification communale, ces objets peuvent être pris en compte pour accroître le potentiel de densification.

Objet altérant le site (note *7*)

Objet compromettant l'harmonie d'un site et en altérant les qualités. Les graves défauts d'intégration de ce type d'objets relèvent plus souvent d'erreurs d'aménagement du territoire que d'architecture.

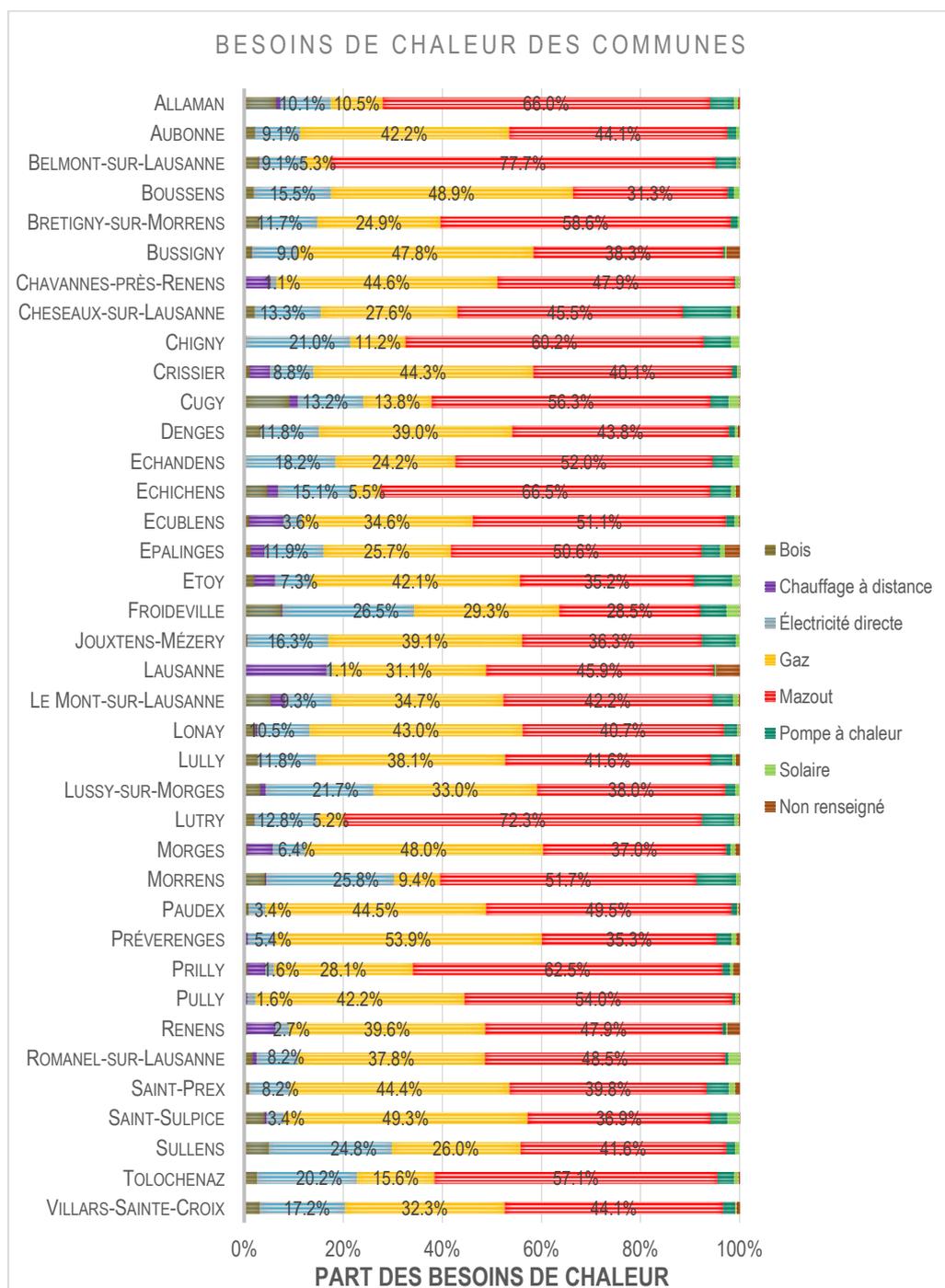
Dans le cadre de la planification communale, ces objets peuvent être pris en compte pour accroître le potentiel de densification.

SITES D'INTERET NATIONAL:

Catégorie d'inventaire		Obj. de sauvegarde	
	Périmètre ou ensemble construit :		Pour tous les périmètres et tous les ensembles construits, il est conseillé de consulter les services des monuments et des sites, les instances officielles compétentes ou d'autres spécialistes. Dans tous les cas s'appliquent les recommandations générales de sauvegarde suivantes :
A	La catégorie d'inventaire « A » indique l'existence d'une substance d'origine . La plupart des bâtiments et des espaces présentent les caractéristiques propres à une même époque ou à une même région.	A	L'objectif de sauvegarde « A » préconise la sauvegarde de la substance . Conservation intégrale de toutes les constructions et composantes du site, de tous les espaces libres ; suppression des interventions parasites. - démolitions et constructions nouvelles interdites - prescriptions détaillées en cas d'intervention
B	La catégorie d'inventaire « B » indique l'existence d'une structure d'origine . L'organisation spatiale historique est conservée ; la plupart des bâtiments présentent les caractéristiques propres à une même époque ou à une même région.	B	L'objectif de sauvegarde « B » préconise la sauvegarde de la structure . Conservation de la disposition et de l'aspect des constructions et des espaces libres ; sauvegarde intégrale des éléments et des caractéristiques essentiels pour la conservation de la structure. - démolition de constructions anciennes uniquement à titre exceptionnel - prescriptions particulières en cas d'intervention et lors de l'intégration de constructions nouvelles
C	La catégorie d'inventaire « C » indique l'existence d'un caractère spécifique d'origine . Les constructions anciennes et nouvelles sont mélangées ; les bâtiments et les espaces présentent des caractéristiques propres à une époque ou à une région différentes.	C	L'objectif de sauvegarde « C » préconise la sauvegarde du caractère . Maintien de l'équilibre entre les constructions anciennes et nouvelles ; sauvegarde intégrale des éléments essentiels pour la conservation du caractère. - prescriptions particulières lors de l'intégration de constructions nouvelles
	Périmètre environnant ou échappée dans l'environnement :		Les suggestions générales de sauvegarde suivantes s'appliquent :
a	La catégorie d'inventaire « a » indique qu'il s'agit d'une partie indispensable du site construit, libre de constructions ou dont les constructions participent à l'état d'origine de l'environnement.	a	L'objectif de sauvegarde « a » préconise la sauvegarde de l'état existant en tant qu'espace agricole ou libre. Conservation de la végétation et des constructions anciennes essentielles pour l'image du site ; suppression des altérations. - zone non constructible - prescriptions strictes pour les constructions dont la destination impose l'implantation - prescriptions particulières pour les transformations de constructions anciennes
b	La catégorie d'inventaire « b » indique qu'il s'agit d'une partie sensible pour l'image du site, souvent construite.	b	L'objectif de sauvegarde « b » préconise la sauvegarde des caractéristiques essentielles pour les composantes attenantes au site. - prescriptions concernant les constructions nouvelles, les plantations, etc.

Source: https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/isos---inventaire-federal-des-sites-construits-dimportance-natio/les-sites-d_importance-nationale.html

5. Répartition des besoins de chaleur par agent énergétique pour chaque commune



Les pourcentages représentent les parts attribuées au mazout, au gaz et au chauffage électrique direct (source des données: DIREN, 2018).

6. Méthodologie pour le calcul des besoins de chaleur par bâtiment

Données sources et utilisation par ordre de priorité

- 1) Données provenant du CECB/CECB+
- 2) Données provenant du registre des ramoneurs
- 3) Données provenant du registre cantonal des bâtiments (RCB)

Hypothèses de calcul

Détermination de l'affectation des bâtiments

- Bâtiments principalement à usage d'habitation (Catégorie 1021,1025, 1030) : Le bâtiment est considéré comme du logement avec code d'affectation SIA 1 ou 2.
- Bâtiments partiellement à usage d'habitation (Catégorie 1040) : La partie logement prend code affectation SIA : 2. La partie activité est déterminée par la Classe du bâtiment
- Bâtiments sans usage d'habitation (Catégorie 1060, 1080) : Le bâtiment est considéré comme de l'activité (hors logement).

Détermination de la surface de référence énergétique (SRE)

- Si existante, la colonne SRE du RCB est utilisée
- Si la SRE n'est pas disponible, $SRE = 80\%$ de la surface brute de plancher
- Si la surface brute de plancher n'est pas disponible, elle calculée par la surface au sol du bâtiment multipliée par le nombre de niveau

Détermination de l'indice de dépende énergétique pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

- Si disponible (CECB), utilisation de l'indice Qh. Sinon :
- Sans rénovation : utilisation des valeurs du tableau ci-dessous
- Avec rénovation : 125% des valeurs du tableau ci-dessous pour le chauffage

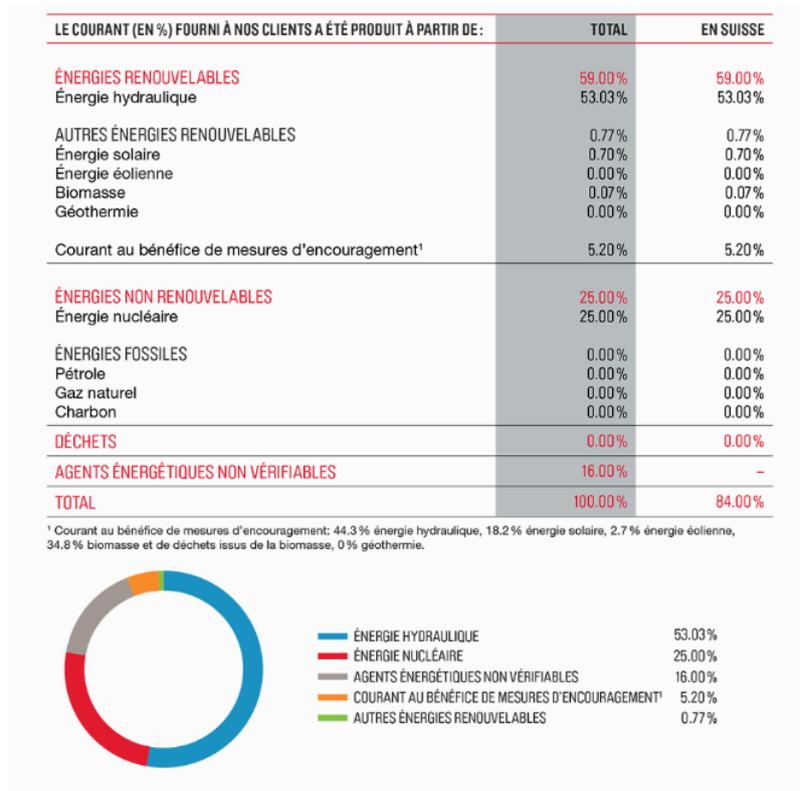
Détermination du besoin de chauffage et d'eau chaude sanitaire

- Besoins chauffage = $SRE * IDE_chauffage$
- Besoins ECS = $SRE * IDE_ECS$

AFFECTATION	EPOQUE ÉNERGÉTIQUE	CODE SIA	CODE EPOQUE	IDE CHAUF-FAGE [kWh]	IDE ECS [kWh]	IDE CHALEUR [kWh]
Habitat collectif (Affectation SIA : 1)	Avant 1919	1	1	135	21	156
	1919-1945	1	2	154	21	175
	1946-1960	1	3	144	21	165
	1961-1970	1	4	135	21	156
	1971-1980	1	5	140	21	161
	1981-1985	1	6	129	21	150
	1986-1990	1	7	132	21	153
	1991-1995	1	8	107	21	128
	1996-2000	1	9	103	21	124
	2001-2005	1	10	63	21	84
	2006-2010	1	11	62	21	83
	2011-2015	1	12	37	21	58
	2016-2020	1	13	37	21	58
Habitat individuel (Affectation SIA : 2)	Avant 1919	2	1	142	14	156
	1919-1945	2	2	161	14	175
	1946-1960	2	3	151	14	165
	1961-1970	2	4	142	14	156
	1971-1980	2	5	147	14	161
	1981-1985	2	6	136	14	150
	1986-1990	2	7	139	14	153
	1991-1995	2	8	114	14	128
	1996-2000	2	9	110	14	124
	2001-2005	2	10	70	14	84
	2006-2010	2	11	69	14	83
	2011-2015	2	12	44	14	58
	2016-2020	2	13	44	14	58
Administration (Affectation SIA : 3)	Avant 1919	3	1	142	7	149
	1919-1945	3	2	162	7	169
	1946-1960	3	3	152	7	159
	1961-1970	3	4	143	7	150
	1971-1980	3	5	148	7	155
	1981-1985	3	6	136	7	143
	1986-1990	3	7	139	7	146
	1991-1995	3	8	114	7	121
	1996-2000	3	9	109	7	116
	2001-2005	3	10	68	7	75
	2006-2010	3	11	68	7	75
	2011-2015	3	12	42	7	49
	2016-2020	3	13	42	7	49
Ecole (Affectation SIA : 4)	Avant 1919	4	1	146	7	153
	1919-1945	4	2	167	7	174
	1946-1960	4	3	156	7	163
	1961-1970	4	4	147	7	154
	1971-1980	4	5	152	7	159
	1981-1985	4	6	140	7	147
	1986-1990	4	7	143	7	150
	1991-1995	4	8	117	7	124
	1996-2000	4	9	112	7	119
	2001-2005	4	10	70	7	77
	2006-2010	4	11	69	7	76
	2011-2015	4	12	43	7	50
	2016-2020	4	13	43	7	50

7. Marquages électriques des distributeurs d'électricité du PALM

Marquage de l'électricité fournie par Romande Energie :



Marquage de l'électricité fournie par les SIL :

La totalité de l'électricité fournie a été produite à partir de:	Total	En Suisse
Energies renouvelables	90.3%	89.4%
Energie hydraulique	84.7%	83.8%
Autres énergies renouvelables	1.0%	1.0%
Énergie solaire photovoltaïque ¹	0.7%	0.7%
Énergie éolienne	0.3%	0.3%
Biomasse	0.0%	0.0%
Géothermie	0.0%	0.0%
Courant au bénéfice de mesures d'encouragement²	4.6%	4.6%
Energies non renouvelables	5.6%	5.6%
Energie nucléaire	5.6%	5.6%
Energies fossiles	0.0%	0.0%
Déchets	4.1%	4.1%
Agents énergétiques non vérifiables	0.0%	-
Total	100.0%	99.1%

Marquage de l'électricité fournie par la SEFA :

L'énergie que nous avons fournie à nos clients
était composée de:

	TOTAL	En Suisse
Energies renouvelables	100.0 %	100.0 %
Energie hydraulique	90.8 %	90.8 %
Autres énergies renouvelables	4.0 %	4.0 %
Energie solaire	4.0 %	4.0 %
Energie éolienne	0.0 %	0.0 %
Biomasse	0.0 %	0.0 %
Géothermie	0.0 %	0.0 %
Courant au bénéfice de mesures d'encouragement ¹	5.2 %	5.2 %
Energies non renouvelables	0.0 %	0.0 %
Energie nucléaire	0.0 %	0.0 %
Agents énergétiques fossiles	0.0 %	0.0 %
Pétrole	0.0 %	0.0 %
Gaz naturel	0.0 %	0.0 %
Charbon	0.0 %	0.0 %
Déchets	0.0 %	0.0 %
Agents énergétiques non vérifiables	0.0 %	
Total	100.0 %	100.0 %

¹ Courant au bénéfice de mesures d'encouragement: 44.3% Energie hydraulique, 18.2% Energie solaire, 2.7% Energie éolienne, 34.8% Biomasse, 0% Géothermie.

8. Hypothèses de la Confédération pour l'élaboration du cadastre solaire

Exemple pour la commune de Lausanne :

Scénario 2: production de chaleur et d'électricité	
Chaque bâtiment de la commune est uniquement équipé de capteurs solaires thermiques pour l'eau chaude et le chauffage. Pour évaluer le rendement thermique, on utilise une surface de capteurs qui, à certaines conditions, est plus petite que la surface de toiture disponible. C'est la condition requise pour pouvoir dimensionner l'installation de façon optimale en fonction des besoins en eau chaude et en chauffage du bâtiment et pour ne pas produire de chaleur excédentaire. Les installations de production de chaleur solaire couvrent ainsi au moins 30% des besoins annuels en chauffage et en eau chaude.	
Potentiel de production de chaleur (eau chaude et chauffage):	125.12 GWh/an
En complément à ce potentiel, les surfaces de toiture restantes qui s'y prêtent sont utilisées pour la production d'électricité.	
Potentiel de production électrique en complément de la chaleur:	234.42 GWh/an

Remarques au sujet du calcul

Le calcul du potentiel solaire d'une commune prend en compte la totalité des données des différentes toitures de www.toitsolaire.ch situées sur le territoire de la commune, à quelques exceptions près:

- les toitures partielles d'une surface inférieure à 10 m² ne sont pas prises en compte;
- les toitures partielles moyennement ou faiblement appropriées ne sont pas prises en compte;
- les toitures partielles utilisables sont assorties d'un coefficient de réduction qui varie selon le type de toiture (incliné ou non), l'affectation du bâtiment (maison individuelle, immeuble locatif, etc.) ou la surface de la toiture. Ce coefficient tient compte du fait que, pour des raisons architecturales ou techniques, les toitures ne peuvent jamais être entièrement recouvertes d'installations solaires.

Les calculs sont effectués selon une procédure standardisée. Les particularités des différentes communes, telles qu'une proportion de bâtiments protégés supérieure à la moyenne, ne sont pas pris en compte. Pour l'utilisation des résultats, il est donc recommandé de demander à un spécialiste de les interpréter.

Pour des raisons méthodologiques, il est par ailleurs important que les installations solaires déjà réalisées soient intégrées au potentiel.

9. Potentiel solaire thermique par commune

COMMUNE	POTENTIEL MAXIMAL [GWH/AN]
Allaman	1.3
Aubonne	7.7
Belmont-sur-Lausanne	5.9
Boussens	2.1
Bretigny-sur-Morrens	1.8
Bussigny	12.1
Chavannes-près-Renens	5.1
Cheseaux-sur-Lausanne	6.4
Chigny	0.8
Crissier	12.3
Cugy	5.0
Denges	2.9
Echandens	5.0
Echichens	6.2
Ecublens	13.8
Epalinges	15.3
Etoy	6.2
Froideville	5.0
Jouxens-Mézery	3.3
Lausanne	125.1
Le Mont-sur-Lausanne	16.7
Lonay	4.9
Lully	2.1
Lussy-sur-Morges	1.5
Lutry	21.1
Morges	17.7
Morrens	2.5
Paudex	2.7
Préverenges	6.2
Prilly	12.2
Pully	24.2
Renens	18.1
Romanel-sur-Lausanne	5.5
Saint-Prex	9.1
Saint-Sulpice	6.0
Sullens	2.2
Tolochenaz	3.2
Villars-Sainte-Croix	2.1
TOTAL	401

10. Potentiel de production de biogaz lié aux déchets organiques

Potentiel énergétique par commune supposant que le biogaz est valorisé dans des installations de cogénération et potentiel non valorisé (restant):

COMMUNE	POTENTIEL TOTAL [GWH/AN]	POTENTIEL RESTANT [GWH/AN]	TOTAL THERMIQUE APRÈS RENDEMENT [GWH/AN]	TOTAL ÉLECTRIQUE APRÈS RENDEMENT [GWH/AN]	RESTANT THERMIQUE APRÈS RENDEMENT [GWH/AN]	RESTANT ÉLECTRIQUE APRÈS RENDEMENT [GWH/AN]
Allaman	0.12	0.03	0.06	0.04	0.02	0.01
Aubonne	1.35	0.65	0.67	0.47	0.33	0.23
Belmont-sur-Lausanne	0.40	0.40	0.20	0.14	0.20	0.14
Boussens	0.47	0.47	0.24	0.16	0.24	0.16
Bretigny-sur-Morrens	0.17	0.17	0.09	0.06	0.09	0.06
Bussigny	3.09	0.34	1.55	1.08	0.17	0.12
Chavannes-près-Renens	1.90	0.28	0.95	0.66	0.14	0.10
Cheseaux-sur-Lausanne	0.79	0.79	0.39	0.28	0.39	0.28
Chigny	0.15	0.01	0.08	0.05	0.01	0.00
Crissier	2.92	0.26	1.46	1.02	0.13	0.09
Cugy	0.35	0.35	0.17	0.12	0.17	0.12
Denges	1.03	0.05	0.51	0.36	0.03	0.02
Echandens	0.85	0.09	0.43	0.30	0.05	0.03
Echichens	3.13	1.23	1.57	1.10	0.62	0.43
Ecublens	2.64	0.39	1.32	0.92	0.20	0.14
Epalinges	0.52	0.52	0.26	0.18	0.26	0.18
Etoy	0.92	0.15	0.46	0.32	0.08	0.05
Froideville	0.71	0.71	0.35	0.25	0.35	0.25
Jouxens-Mézery	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02
Lausanne	33.63	10.22	16.81	11.77	5.11	3.58
Le Mont-sur-Lausanne	1.62	0.88	0.81	0.57	0.44	0.31
Lonay	2.17	0.10	1.08	0.76	0.05	0.03
Lully	0.37	0.09	0.19	0.13	0.04	0.03
Lussy-sur-Morges	0.18	0.03	0.09	0.06	0.01	0.01
Lutry	0.86	0.48	0.43	0.30	0.24	0.17
Morges	6.27	0.65	3.13	2.19	0.33	0.23
Morrens	0.40	0.40	0.20	0.14	0.20	0.14
Paudex	0.09	0.09	0.05	0.03	0.05	0.03
Préverenges	1.62	0.19	0.81	0.57	0.09	0.07
Prilly	3.17	0.46	1.58	1.11	0.23	0.16
Pully	1.30	1.30	0.65	0.45	0.65	0.45
Renens	5.59	0.72	2.80	1.96	0.36	0.25
Romanel-sur-Lausanne	0.53	0.12	0.26	0.18	0.06	0.04
Saint-Prex	3.39	0.36	1.70	1.19	0.18	0.13
Saint-Sulpice	1.79	0.15	0.89	0.63	0.07	0.05
Sullens	0.29	0.29	0.15	0.10	0.15	0.10
Tolochenaz	0.75	0.06	0.37	0.26	0.03	0.02
Villars-Sainte-Croix	0.56	0.11	0.28	0.20	0.06	0.04
TOTAL	81	24	41	28	12	8

Hypothèses de calcul pour la production de biogaz et la cogénération :

PARAMÈTRE	VALEUR	UNITÉ
Biogaz		
Matière organique dégradée (moyenne)	80%	
Production de biogaz	600	NM3/t de MO dégradée
Taux de CH4	60%	
%Matière sèche	30%	
Taux matière organique / matière sèche	80%	
Pouvoir calorifique		
CH4	9.94	kWh/m3 PCI
Biogaz	5.96	kWh/m3 PCI
Rendement CCF		
Thermique	50%	
Électrique	35%	
Rendement Chaudière à gaz		
Thermique	95%	

11. Potentiel de production de biogaz issu des boues d'épuration

Pour calculer le potentiel de production de biogaz à partir des boues d'épuration, la méthode utilisée dans le cadre du rapport " État des lieux et perspectives énergétiques des STEP vaudoises" a été utilisée:

Quantité biogaz (Nm3) = 0.55 * 720 * quantité de boues en TMS (tonnes de matière sèche)

avec:

- 0.55 = fraction tMS organique / tMS total. Cette valeur considère que les STEP font la nitrification, ce qui sera le cas pour la majorité des boues traitées dans les années à venir (STEP de Lausanne, Morges)
- 720 = quantité de biogaz produite en Nm3 pour 1 tMS de matière organique

Potentiel de production de biogaz issu des boues d'épuration pour les STEP présentes sur le périmètre du diagnostic :

STEP	PRODUCTION DE BOUES 2017	ÉQUIVALENT BIO-GAZ	POTENTIEL THERMIQUE	POTENTIEL ÉLECTRIQUE	PRÉSENCE CCF	PRODUCTION ÉLECTRIQUE 2015
	T DE MATIÈRE SÈCHE	NM3	GWH/AN	GWH/AN		GWH
ALLAMAN	8.2	3 247	0.01	0.01	Non	
AUBONNE	146.5	58 014	0.20	0.12	Non	
BOUSSENS	18	7 128	0.02	0.01	Non	
BRETIGNY-SUR-MORRENS	109.3	43 283	0.15	0.09	Non	
BUSSIGNY	424.4	168 062	0.59	0.34	Non	
COLOMBIER	11.6	4 594	0.02	0.01	Non	
CUGY	8.2	3 247	0.01	0.01	Non	
LAUSANNE	7639	3 025 044	10.59	6.05	Non	
LULLY-LUSSY	24.4	9 662	0.03	0.02	Non	
LUTRY	225	89 100	0.31	0.18	Oui	0.16
MORGES	486	192 456	0.67	0.38	Oui	0.96
MORRENS-MEBRE	4.6	1 822	0.01	0.00	Non	
MORRENS-TALENT	3.4	1 346	0.00	0.00	Non	
PULLY	277.6	109 930	0.38	0.24	Oui	0.24
SAINT-PREX	188.2	74 527	0.26	0.15	Oui	0.15
SULLENS	8	3 168	0.01	0.01	Non	

12. Potentiel bois-énergie

Potentiel bois-énergie du bois de forêt par commune :

COMMUNE	POTENTIEL TOTAL [M3 DE PLAQUETTES]	VOLUME FEUILLUS DE [M3 DE PLAQUETTES]	VOLUME RÉSINEUX DE [M3 DE PLAQUETTES]	POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE [MWH/AN]	POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE APRÈS RENDEMENT [MWH/AN]
Allaman	439	429	10	403	343
Aubonne	717	531	186	598	508
Belmont-sur-Lausanne	454	378	77	393	334
Boussens	319	295	24	286	243
Bretigny-sur-Morrens	775	701	74	691	587
Bussigny	440	251	190	341	290
Chavannes-près-Renens	62	56	7	55	47
Cheseaux-sur-Lausanne	702	661	41	635	540
Chigny	22	18	4	19	16
Crissier	1 456	1 350	106	1 310	1 114
Cugy	1 074	918	156	939	798
Denges	29	13	16	21	18
Echandens	207	95	112	153	130
Echichens	360	270	91	302	257
Ecublens	485	397	88	418	355
Epalinges	913	823	90	813	691
Etoy	165	136	30	142	121
Froideville	3 986	3 318	668	3 453	2 935
Jouxten-Mézery	120	97	23	103	88
Lausanne	18 481	16 511	1 971	16 405	13 944
Le Mont-sur-Lausanne	1 486	1 329	158	1 320	1 122
Lonay	68	39	29	53	45
Lully	144	129	15	128	109
Lussy-sur-Morges	136	115	22	118	100
Lutry	1 394	1 197	197	1 221	1 038
Morges	41	32	9	35	30
Morrens	822	767	55	741	630
Paudex	8	7	2	7	6
Préverenges	15	6	9	11	9
Prilly	94	87	8	84	71
Pully	1 280	1 166	114	1 144	972
Renens	39	34	5	34	29
Romanel-sur-Lausanne	46	37	9	40	34
Saint-Prex	199	168	31	173	147
Saint-Sulpice	42	22	20	32	27
Sullens	536	485	51	478	406
Tolochenaz	26	17	9	21	18
Villars-Sainte-Croix	157	144	13	141	120
TOTAL	37 739	33 029	4 720	33 261	28 272

Potentiel bois-énergie du bois usagé par commune :

COMMUNE	BOIS USAGÉ [TONNES]		VALORISATION EN CHAUDIÈRE		VALORISATION PAR COGÉNÉRATION			
	BOIS USAGÉ COLLECTÉ EN 2017 (CHIFFRES NETS, ENT)	EXPORTATION	VALORISATION ÉNERGÉTIQUE ACTUELLE DANS PALM [GWh/AN]	VALORISATION POTENTIELLE SUPPLÉMENTAIRE [GWh/AN]	VALORISATION ÉNERGÉTIQUE ACTUELLE DANS PALM [GWh/AN]		VALORISATION POTENTIELLE SUPPLÉMENTAIRE [GWh/AN]	
					CHA-LEUR	ÉLECTRICITÉ	CHA-LEUR	ÉLECTRICITÉ
Allaman								
Aubonne								
Belmont-sur-Lausanne	2243	391		8.1			6.7	1.4
Boussens								
Bretigny-sur-Morrens								
Bussigny	4024	4121	1.0	13.5	0.8	0.2	11.1	2.4
Chavannes-près-Renens								
Cheseaux-sur-Lausanne								
Chigny								
Crissier	8998		25.8	6.6	21.3	4.6	5.4	1.2
Cugy								
Denges								
Echandens	77		0.3		0.2	0.0		
Echichens								
Ecublens	3365	2647		12.1			10.0	2.1
Epalinges								
Etoy								
Froideville								
Jouxten-Mézery								
Lausanne	1810		6.5		5.4	1.2		
Le Mont-sur-Lausanne	1207		0.3	4.1	0.2	0.0	3.4	0.7
Lonay								
Lully								
Lussy-sur-Morges								
Lutry								
Morges								
Morrens								
Paudex								
Préverenges								
Prilly								
Pully								
Renens	4093		14.8		12.1	2.6		
Romanel-sur-Lausanne								
Saint-Prex								
Saint-Sulpice								
Sullens								
Tolochenaz	2833	2590	0.4	9.8	0.3	0.1	8.1	1.7
Villars-Sainte-Croix								
TOTAL	28 650	9 749	49.1	54.2	40.4	8.7	44.6	9.6

Résumé concernant la part de bois de forêt et la part de bois usagé :

	Quantité (t)	Potentiel total [GWh/an]		
		Valorisation par combustion	Valorisation par cogénération	
		Potentiel thermique	Potentiel thermique	Potentiel électrique
Bois de forêt	9 435	28.3		
Bois usagé	28 650		85.0	18.2

	Quantité (t)	Potentiel déjà valorisé sur périmètre [GWh/an]		
		Valorisation par combustion	Valorisation par cogénération	
		Potentiel thermique	Potentiel thermique	Potentiel électrique
Bois de forêt	Inconnu	Inconnu		
Bois usagé	13 611		40.4	8.7

Règlementation concernant les chaudières à bois dans les zones à immissions excessives :

Site Puissance calorifique	exigences	Zones à immissions excessives 1 (Plan des mesures)	Zones à immissions excessives 2 (hors Plan des mesures)	Hors zones à immissions excessives
		P ≤ 70 [kW]	Contrôle	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)
	Filtre	Filtre obligatoire	Recommandé	Recommandé
	VLE	VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé
70 < P ≤ 500 [kW]	Contrôle	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Recommandé
	VLE	P ≥ 250kW : 20 [mg/m ³] Poussières	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
500 < P ≤ 1000 [kW]	Contrôle	Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE	VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
P > 1000 [kW]	Contrôle	Luft Union (annuel)	Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE
	Filtre	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE	NOx : 200 [mg/m ³]	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi	Filtre + CO (+ NO _x)	Filtre + CO (+ NO _x)	Filtre

Contrôle : Organe procédant au contrôle périodique

Filtre : Obligation ou recommandation d'installer un filtre à particule (ou un système permettant un rabattement équivalent des poussières)

VLE : Valeurs limites d'émissions (VLE OPair = standard ou valeurs renforcées spécifiques)

Suivi : Filtre = mesure en continu du fonctionnement du filtre

CO = mesure en continu des concentrations de CO (éventuellement de NO_x)

Contrat d'entretien = nécessite d'avoir un contrat d'entretien avec une entreprise spécialisée pour l'entretien et le contrôle de l'installations

Le PALM contient une zone à immissions excessive de type 1 (Source : État de Vaud)

13. Potentiel lié aux déchets incinérables

Les hypothèses de calcul pour la production thermique et électrique se basent sur les valeurs de Tri-del :

DONNÉES TRIDEL (2017)	PRODUCTION	UNITÉ	RENDEMENT
Thermique	297'805	MWh	49%
Électrique	70'548	MWh	11%
Total	368'353	MWh	60%
Déchets incinérés	180'640	tonnes	
Valorisation énergétique	2'039	kWh/t	

14. Potentiel photovoltaïque

Potentiel photovoltaïque par commune (selon toitsolaire.ch) et production existante :

COMMUNE	NOMBRE D'INSTALLATIONS	PUISSANCE TOTALE (KW)	PRODUCTION ANNUELLE EXISTANTE (KWH/AN)	POTENTIEL TOTAL [GWH/AN]
Allaman	3	15	14 560	8.2
Aubonne	18	810	834 445	21.0
Belmont-sur-Lausanne	24	125	122 344	9.0
Boussens	8	162	161 620	5.2
Bretigny-sur-Morrens	5	27	27 040	3.3
Bussigny	56	2 367	2 357 214	38.3
Chavannes-près-Renens	4	408	407 810	12.7
Cheseaux-sur-Lausanne	37	209	208 585	17.3
Chigny	11	65	58 710	1.3
Crissier	46	1 540	1 540 148	49.9
Cugy	34	301	299 065	10.9
Denges	17	83	82 548	8.6
Echandens	40	388	386 915	12.4
Echichens	17	86	85 730	15.5
Ecublens	54	4 915	4 901 045	67.3
Epalinges	49	442	439 883	23.5
Etoy	41	2 699	2 597 272	28.0
Froideville	46	433	421 717	8.4
Jouxens-Mézery	30	200	197 265	6.3
Lausanne	198	8 881	8 738 000	234.4
Le Mont-sur-Lausanne	65	1 188	1 178 773	45.2
Lonay	40	273	272 418	20.5
Lully	23	145	144 820	3.4
Lussy-sur-Morges	11	180	174 605	3.2
Lutry	34	191	190 771	29.0
Morges	73	915	917 955	34.8
Morrens	26	182	181 825	4.7
Paudex	2	30	29 030	3.2
Préverenges	26	567	581 415	14.2
Prilly	34	662	649 066	24.1
Pully	32	295	294 076	35.9
Renens	48	1 230	1 225 320	46.9
Romanel-sur-Lausanne	44	571	570 625	16.8
Saint-Prex	31	581	579 645	25.6
Saint-Sulpice	25	313	312 305	13.3
Sullens	15	95	94 320	5.2
Tolochenaz	26	472	470 872	14.5
Villars-Sainte-Croix	13	380	378 750	11.0
TOTAL	1 304	32 425	32 128 507	932.6

15. Potentiel thermique des eaux usées

Potentiel par STEP:

COMMUNE	STEP	POTENTIEL THERMIQUE EXTRACTIBLE [MWH/AN]	POTENTIEL THERMIQUE EN SORTIE DE PAC [MWH/AN]	PUIS-SANCE [kW]	DÉBIT PAR TEMPS SEC [kg/s]	DÉBIT PAR TEMPS SEC [m3/J]
AUBONNE	AUBONNE	1 740	2 436	199	12	1 025
Lully	LULLY-LUSSY	458	642	52	3	270
Morrens	MORRENS-MEBRE	124	174	14	1	73
Morrens	MORRENS-TALENT	133	187	15	1	79
CUGY	CUGY	419	586	48	3	247
PULLY	PULLY	7 033	9 846	803	48	4 144
Echichens	COLOMBIER	586	820	67	4	345
SAINT-PREX	SAINT-PREX	4 733	6 626	540	32	2 788
BRETIGNY-SUR-MORRENS	BRETIGNY-SUR-MORRENS	1 121	1 570	128	8	661
LAUSANNE	VIDY	144 704	202 585	16 519	987	85 258
SULLENS	SULLENS	349	489	40	2	206
MORGES	MORGES	13 673	19 142	1 561	93	8 056
BOUSSENS	BOUSSENS	250	350	29	2	147
LUTRY	LUTRY	4 001	5 601	457	27	2 357
ALLAMAN	ALLAMAN	202	283	23	1	119
BUSSIGNY	BUSSIGNY	3 765	5 271	430	26	2 218
TOTAL		183 291	256 608	20 924	1 250	107 993

Hypothèses de calcul:

COP des pompes à chaleur eau-eau	3.5
Changement de température moyen de l'eau entre avant et après extraction de chaleur	4 K
Heures d'exploitation annuelles	8760 h

Calcul:

$$P = \dot{m} * c_{p,eau} * \Delta T$$

Où:

- P = puissance thermique extractible en kW
- \dot{m} = débit massique d'eau **par temps sec** en kg/s
- $c_{p,eau}$ = capacité calorifique de l'eau: 4,186 kJ/kg*K
- ΔT = différence de température entre l'eau en entrée et sortie de pompe à chaleur (4 dans ce cas)

Pour calculer une énergie annuelle disponible, cette puissance doit être multipliée par la disponibilité temporelle du rejet sur l'année.

$$E_{th} = P * t_{an}$$

Dans cette équation, l'énergie est donnée en kWh/an.

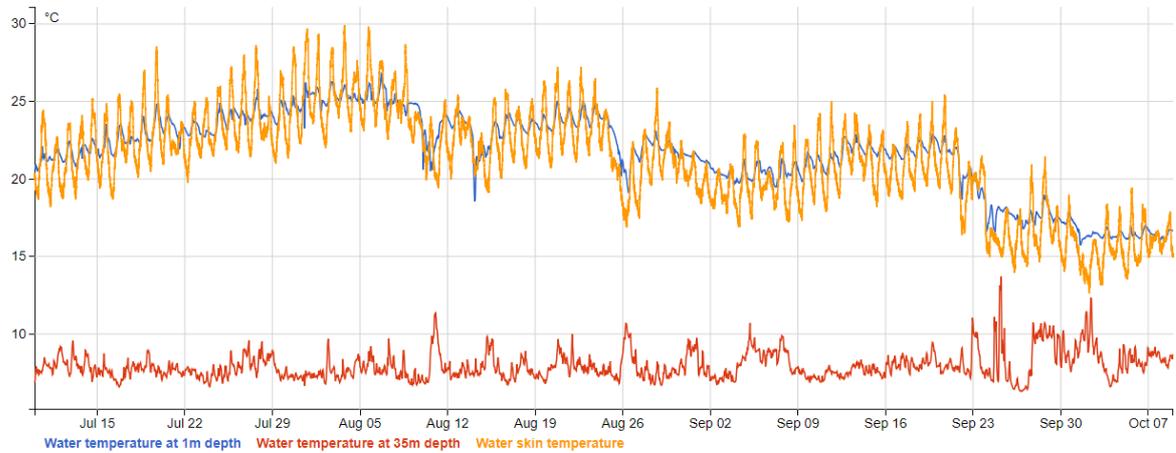
Précisions :

- La différence de température de 4K est théorique car certaines données sur les températures manquent. Il est possible que ce potentiel ne soit pas si élevé en période hivernale, faute de température de l'eau trop basse pour être exploitée (< 5°C).
- Même remarque pour la durée d'exploitation annuelle: dans le cas où la température est trop basse, la chaleur ne peut pas être exploitée et cette durée annuelle diminue.

- La durée d'exploitation annuelle correspond à une exploitation via un réseau de chauffage à distance. En cas d'exploitation décentralisée, cette durée diminue.
- Le potentiel chiffré est le potentiel théorique maximal. Le potentiel réaliste sera certainement sensiblement plus faible.

16. Température de l'eau du lac

Water temperature



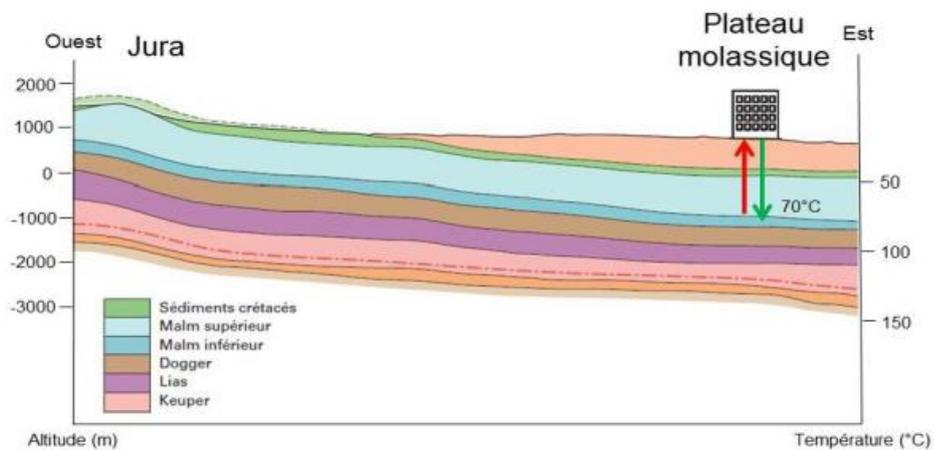
Températion de l'eau mesurée à la station de Buchillon entre juillet et octobre (source: <http://meteolakes.ch>, 2018)

17. Hypothèses de calcul du potentiel de géothermie moyenne profondeur

Hypothèses de calcul :

- Les informations tirées du cadastre de géothermie profonde sont issues de données géologiques obtenues de manière indirecte ou à partir de modélisation. Les valeurs mentionnées sont donc théoriques et indicatives. Elles résultent d'un traitement à l'échelle du Canton aussi soigné que possible des données à disposition, toutefois des incertitudes existent. Une étude locale de faisabilité serait nécessaire afin de préciser ce potentiel et définir les suites à donner.
- Les débits considérés pour un doublet géothermique exploitant les aquifères du Crétacé et du Malm sont de 20 l/s et de 15 l/s pour l'aquifère du Dogger.
- La puissance géothermique exploitable prend en considération une température de rejet de 10°C.
- Le taux de couverture des besoins thermiques est défini en confrontant les besoins de chaleur identifiés au sein de la Commune (hors grands consommateurs) avec le potentiel de production des différents aquifères. Ce potentiel est plafonné par les besoins de chaleurs sur les zones propices à un réseau de chaleur.
- Le taux de couverture présenté est une donnée théorique. Le taux de couverture réaliste sera généralement plus faible. En effet, l'ensemble des habitations ne pourra pas forcément être raccordé à un chauffage à distance.
- Les zones propices pour du chauffage à distance correspondent, entre autres, aux secteurs qui possèdent des besoins de chaleur potentiellement supérieurs à 500 MWh/ha/an et qui incluent un seuil de puissance pour un doublet géothermique de 1 MW.
- Dans le cas où la zone propice se situe à la frontière communale, une coordination intercommunale est nécessaire.

Exemple de couple géologique utilisée:



Coupe géologique illustrative (adapté de Swisstopo (2017): GeoMol: Modèle géologique 3D du bassin molassique suisse – rapport final.). Les flèches vertes et rouges représentent les deux forages constituant un doublet géothermique

18. Installations hydroélectriques

Commune	Nom de l'installation	État du projet	STATUT	Lieu-dit	Exploitant	Production électrique [MWh/an]
Aubonne	Plan Dessous	Existant	En service		SEFA	28'000
Aubonne	Armary - Es-Bon	Existant	En service	Allaman	Groupe d'arrosage et de turbinage de l'Armary	177
Lausanne	Centrale du Capelard	Existant	En service	La Louve	VILLE DE LAUSANNE	Inconnu
Morges	Installation sur eau potable	Existant	En service			291
Morges	Installation sur eau potable	Existant	En service			143
Lausanne	Installation sur eau potable	Existant	En service			113
Lavigny	La Vaux	Existant	En service	La Vaux	SEFA	10'000
Bretigny-sur-Morrens	Au Pré du Moulin	Existant	Hors service	Au Pré du Moulin	BUGNON Irène	20
Cugy (Vaud)		Existant	Hors service	Es Bochets	COMMUNE DE CUGY	32
Echandens	La Chocolatière	Existant	Hors service	La Venoge	La Chocolatière S.A.	Inconnu
Le Mont-sur-Lausanne	Les Moulins	Existant	Hors service	Les Moulins	JACOTTET René	11
Lutry		Abandonné		Bossières	SIL	349
Pully	Paudéze	Abandonné				Inconnu
Morges	Patinoire	En projet			Eaux minérales	Inconnu

19. Réseaux thermiques existants sur le périmètre du diagnostic

Réseaux de chauffages et de froid à distance recensés sur le périmètre avec leurs agents énergétiques :

COMMUNE	NOM	AGENT ÉNERGÉTIQUE PRINCIPAL	AGENT ÉNERGÉTIQUE SECONDAIRE	EXPLOITANT
Belmont-sur-Lausanne				Commune
Bussigny	BUCAD	Bois	Gaz	Commune
Crissier	CRICAD SA	Bois	Gaz	CGC Energie SA GE
Ecublens	CAD EPFL	Eau du lac	Gaz	EPFL
Froideville	Centrale de chauffage à distance Froideville S.A.			Centrale de chauffage à distance Froideville SA
Lausanne	CAD Ville de Lausanne	Incinération des déchets		SIL
Lausanne	Centre de recherche Nestlé	Gaz		Centre de recherche Nestlé
Lausanne, Ecublens, Saint-Sulpice	CAD UNIL	Eau du lac	Gaz	UNIL
Le Mont-sur-Lausanne	CAD Montjoie	Bois	Gaz	Groupe E SA
Morges	CAD de Marcelin	Bois	Gaz	Etat de Vaud - DFIRE - SIPA
Morges		Eau en sortie de la STEP		Romande Energie SA
Prilly, Renens	CADOUEST SA	Incinération des déchets	Gaz	CADOUEST SA
Prilly	Hôpital de Cery			Hôpital de Cery
Romanel-sur-Lausanne	CAD Cité Fleurie			Société coopérative Cité Fleurie