

CONCEPT ENERGETIQUE TERRITORIAL du PDQ
Bureau Enercore, Septembre 2012

Commune d'Avully
Chemin des Tanquons, 40
Case Postale 51
1237 Avully



Plan Directeur de Quartier à Avully (extension du village)

Concept énergétique territorial

Septembre 2012

Mandataire

Daniel Gasser
ENERCORE
81, avenue Louis-Casaï
1216 Cointrin
www.enercore.net

Table des matières

1	Résumé.....	1
2	Introduction.....	2
3	Mise en contexte.....	4
3.1	Situation géographique du territoire.....	4
3.2	Choix des périmètres.....	5
3.3	Contexte foncier.....	5
3.4	Acteurs en présence et phasages de développement.....	6
3.5	Contexte énergétique et environnemental.....	7
3.5.1	Energie.....	7
3.5.2	Air.....	7
3.5.3	Bruit.....	8
3.5.4	Autres concept énergétique territorial à proximité.....	9
3.6	Objectifs du concept énergétique.....	9
4	Ressources et filières renouvelables, locales et régionales.....	10
4.1	Géothermie.....	10
4.1.1	Basse profondeur.....	10
4.1.2	Moyenne et grande profondeur.....	13
4.2	Biomasse.....	14
4.2.1	Filière biogaz.....	14
4.2.2	Bois.....	14
4.3	Solaire.....	14
4.4	Eaux usées.....	15
4.5	Déchets.....	15
4.6	Rejets thermiques.....	15
4.7	Aérothermie.....	15
5	Infrastructures énergétiques disponibles ou en développement.....	16
6	Synthèse Intermédiaire.....	17
7	Structure quantitative des besoins énergétiques.....	18
7.1	Bases de calcul.....	18
7.2	Besoins thermiques.....	19
7.3	Besoins électriques.....	20

8	Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local.....	21
8.1	Axes de développement des ressources et des filières.....	21
8.2	Opportunités et contraintes de valorisation des ressources	21
8.3	Options d’approvisionnement retenues	22
9	Mise en œuvre des options d’approvisionnement	23
9.1	Champ de sondes géothermiques par secteur.....	23
9.2	Pompage nappe du Rhône + CAD local	24
9.3	Champ de sonde centralisé + CAD local	25
9.4	Comparaison des options.....	27
9.5	Mesures à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs.....	27
10	Synthèse des orientations et des recommandations pour les acteurs concernés.....	28
11	Annexes	29
11.1	Performances de sondes géothermiques verticales	29
11.2	Ratios de besoins énergétiques appliqués – bâti futur	29
12	Références.....	30

Tableaux

<i>Tableau 1 : programme de construction du PDQ – SBP en m² _ d’après rapport URBAPLAN.....</i>	<i>3</i>
<i>Tableau 2 : acteurs.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 3 : énergie thermique disponible par utilisation de champs de sondes géothermique (1).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 4 : énergie thermique disponible par utilisation de champs de sondes géothermique (2).....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 5 : caractéristiques et potentiel de la nappe phréatique du Rhône – d’après Référence 2.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 6 : potentiel solaire.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 7 : synthèse des ressources et filières mobilisables pour le PDQ.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 8 : surface de sondes nécessaires dans les secteurs à bâtir.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 9 : CAD localisé avec géothermie – paramètres dimensionnels principaux.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 10 : comparaison des options – Scénario Minergie sans rénovation.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 11 : ratios de performance de SGV implantées en champ (d’après Référence 2).....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 12 : ratios de consommation en énergie finale appliqués – logements et activités.....</i>	<i>29</i>

Figures

<i>Figure 1 : situation du PDQ – d’après rapport URBAPLAN.....</i>	<i>2</i>
<i>Figure 2 : situation géographique du PDQ.....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 3 : état du foncier.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4 : évolution des particules fines – source Service de Protection de l’Air.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5 : immissions de NO₂ – moyenne de 2004 à 2011 –source SITG.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 6 : carte de sensibilité au bruit.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 7 : Présence de la nappe du Rhône.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 8 : localisation des terrains argileux dans le canton de Genève (tiré de la Référence 2).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 9 : Besoins thermiques - consommation annuelle.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 10 : Besoins thermiques – puissance spécifique.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 11 : Besoins électriques – consommation annuelle.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 12 : implantation de champ de sondes géothermiques verticales dans les secteurs à bâtir.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 13 : pompage sur la nappe du Rhône et réseau CAD.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 14 : champ de sonde centralisé + CAD local – synoptique de fonctionnement.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 15 : champ de sonde centralisé + CAD local – implantation.....</i>	<i>26</i>

1 Résumé

Un projet de PDQ situé sur la commune d'Avully, prévoit la création d'un quartier résidentiel qui constituera une extension du village vers le groupe scolaire. Le programme prévoit la construction d'immeubles de petit gabarit (R+2+C¹) ainsi que de quelques équipements d'intérêt publics pour la commune. L'ensemble constituera une SBP globale d'environ 40'000 m². Les parcelles concernées, principalement en zone agricole, sont propriétés de la commune ou de personnes privées. Des accords de développement immobilier sont déjà bien avancés, ainsi plus de 70% du programme est envisagé à court terme.

Les ressources principales dont le PLQ peut bénéficier sont la géothermie basse profondeur, le bois énergie ainsi que l'énergie solaire. La géothermie bénéficie d'un contexte très favorable avec la présence de la nappe du Rhône ainsi que d'un sous-sol argileux favorable au stockage. Le réseau de gaz est par ailleurs absent du périmètre. Trois options de mise en œuvre de ces ressources sont proposées pour approvisionner le PDQ. La première est de mettre en œuvre des champs des sondes géothermiques, raccordés à des pompes à chaleur, au fur et à mesure de la construction des bâtiments. La seconde consiste à réaliser un système de doublet géothermique sur la nappe du Rhône (si les conditions de pompage le permettent) et de créer un réseau thermique local (chaud et froid). La troisième option propose l'implantation d'un réseau de chaleur à distance, à partir d'un champ de sondes unique couplé à des PAC et éventuellement à un CCF² au bois; cette option permet une production locale d'électricité. Le bois-énergie (ou le mazout) est envisagé comme énergie d'appoint (pics de demande) pour les trois options.

Les deuxième et troisième options sont jugées prioritaires étant donné leur potentiel à structurer une solution commune pour l'ensemble du PDQ. Une étude de faisabilité devra arbitrer entre celles-ci selon les conditions du sous-sol. Ces deux options nécessitent toutefois une réelle collaboration entre tous les acteurs du périmètre sur le plan de la planification technique, organisationnelle et financière. La première option est proposée en alternative aux deux autres.

¹ RDC, 2 étages et combles

² Couplage Chaleur Force

2 Introduction

Le PDQ³ du village d’Avully prévoit la création d’un quartier résidentiel autour du groupe scolaire de la commune. Ce projet, élaboré par le bureau URBAPLAN, constitue une extension du village et a pour but de permettre son développement modéré (Figure 1).

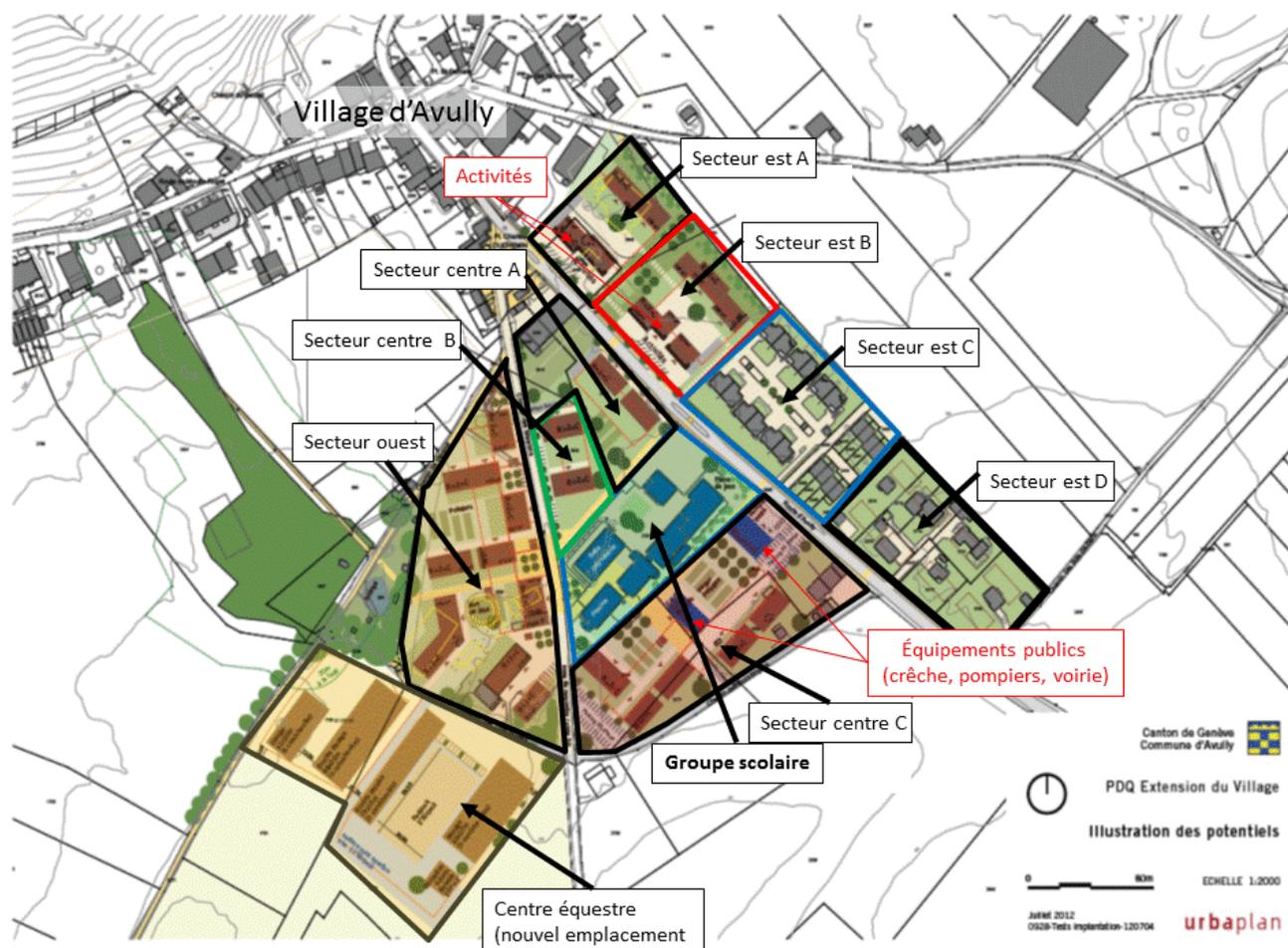


Figure 1 : situation du PDQ – d’après rapport URBAPLAN

Le programme prévoit la construction, sur des parcelles agricoles, d’immeubles de logements de petit gabarit (R+2+C), ainsi que de quelques équipements publics (secteur centre C). Les RDC de certains immeubles des secteurs Est A et Est B seront également alloué pour l’implantation d’activités. On note également que la réalisation du PDQ impliquera le déplacement au sud du centre équestre (actuellement situé sur le secteur Ouest).

Le PDQ inclue des bâtiments existants qui seront maintenus (en gris sur la Figure 1), notamment dans le secteur Est C. Le secteur Est D, constitué de villas, pourra éventuellement, à très long terme faire l’objet d’une opération de densification avec la construction d’immeubles villageois.

Le Tableau 1 indique les surfaces construites des bâtiments existants ainsi que les SBP⁴ potentielles des bâtiments en projet selon trois horizons temporels (Court terme, long et très long terme).

³ Plan Directeur de Quartier

⁴ Surface Brute de Plancher

Secteurs	Existant	Court terme			Long terme			Très long terme
	Log.	Log.	Activités	Equipts publics	Log.	Activités	Equipts publics	Log.
ouest	565	13735						
centre – A	1510				2165			
centre - B		2815						
Centre C	770	8200		1000				
Est A					4'020	620		
Est B		4580	620					
Est C	4649							
Est D								5340
Centre équestre			1755					
Totaux	7494	29330	2375	1000	6185	620		5340

Tableau 1 : programme de construction du PDQ – SBP en m² _ d'après rapport URBAPLAN

Un concept énergétique territorial est présenté dans ce rapport, conformément à la directive du ScanE relative à la nouvelle loi sur l'énergie (LEn L 230) et à son règlement d'application.

3 Mise en contexte

3.1 Situation géographique du territoire

La commune d'Avully se trouve à l'ouest du canton de Genève sur l'entité paysagère de la champagne, sa population est de 1765 habitants (OCTAT 2012). Le territoire communal est largement occupé par des terres agricoles, des bois ainsi que du vignoble. Le bâti est structuré autour de quatre secteurs⁵ (Figure 2):

- Le village historique d'Avully par lequel passe les axes routiers principaux. Le village accueille notamment la mairie et le groupe scolaire construit dans les années 1970. C'est dans ce secteur que se trouve le PDQ à l'étude.
- Gennecy, situé à proximité immédiate du village, qui est une zone résidentielle constituée d'immeubles bas, avec équipements services et petit commerces. Cette zone s'est développée à partir des années 1950.
- Epeisses, hameau situé sur une boucle du Rhône, constitué de quelques anciennes fermes et d'habitations.
- Eaumorte autre hameau situé à l'est de la commune et regroupant quelques fermes.

Du point de vue du développement futur de la commune, on peut citer, outre le PDQ :

- La zone de la Touvière fait l'objet d'un intérêt de la part d'un consortium pour construire du logement. L'opération nécessitera toutefois une dépollution, le site ayant abritée une usine.
- Il est prévu la création d'une zone industrielle ou artisanale à eaumorte.

Le PDQ se situe dans une zone rurale, encore à l'écart des grands axes de développement de l'agglomération.

⁵ D'après le Plan Directeur Communal de 2007

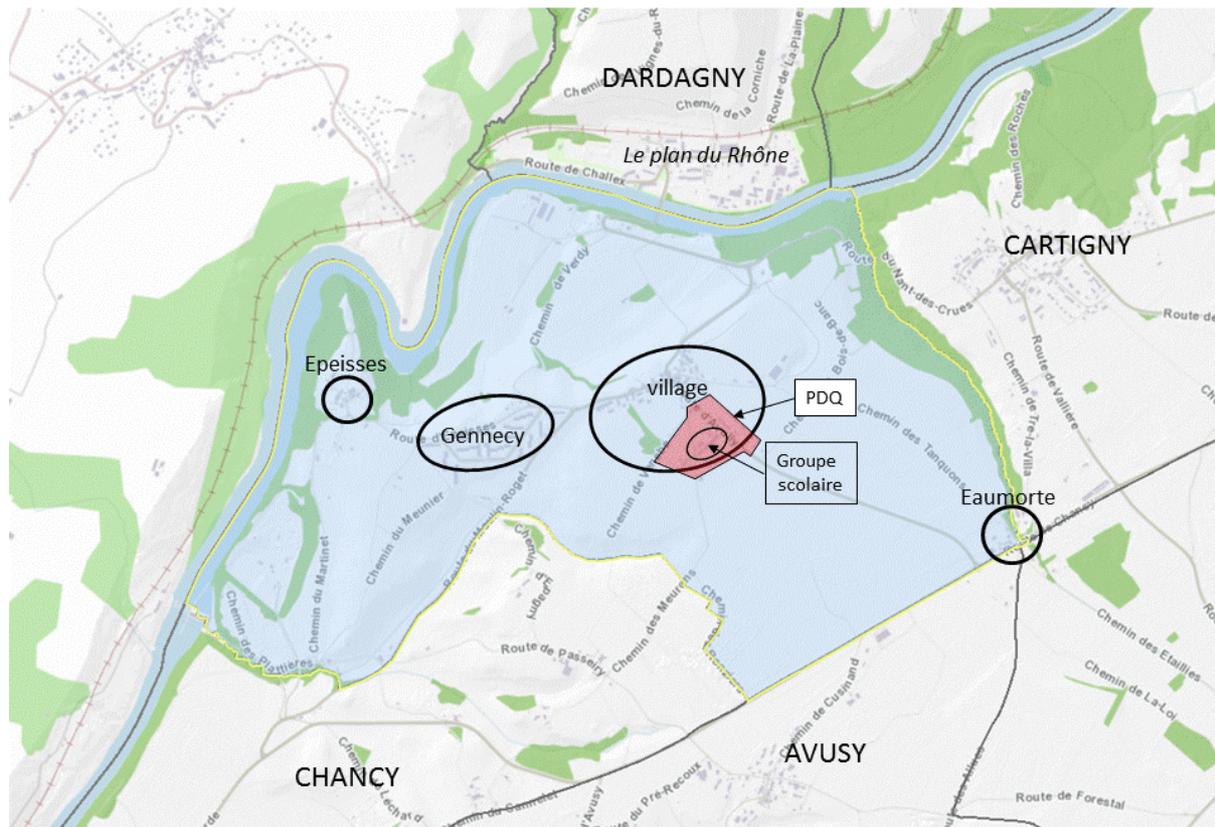


Figure 2 : situation géographique du PDQ

3.2 Choix des périmètres

Un périmètre élargi, comprenant le territoire de la commune et une partie des communes limitrophes, sera appréhendé afin de ne pas perdre de vue le contexte général et pour analyser la présence éventuelle de certaines ressources locales et réseaux d'énergie.

Le périmètre d'étude sera celui du PDQ (tel que défini dans la Figure 1).

3.3 Contexte foncier

La Figure 3 indique l'état de propriété des parcelles dans le périmètre d'étude.

On constate que les parcelles propriétés de la commune forment un ensemble homogène : groupe scolaire existant et une partie du secteur centre C (notamment là où sont prévus les équipements publics). Toutefois, la majorité des parcelles à bâtir sont en propriétés privées.

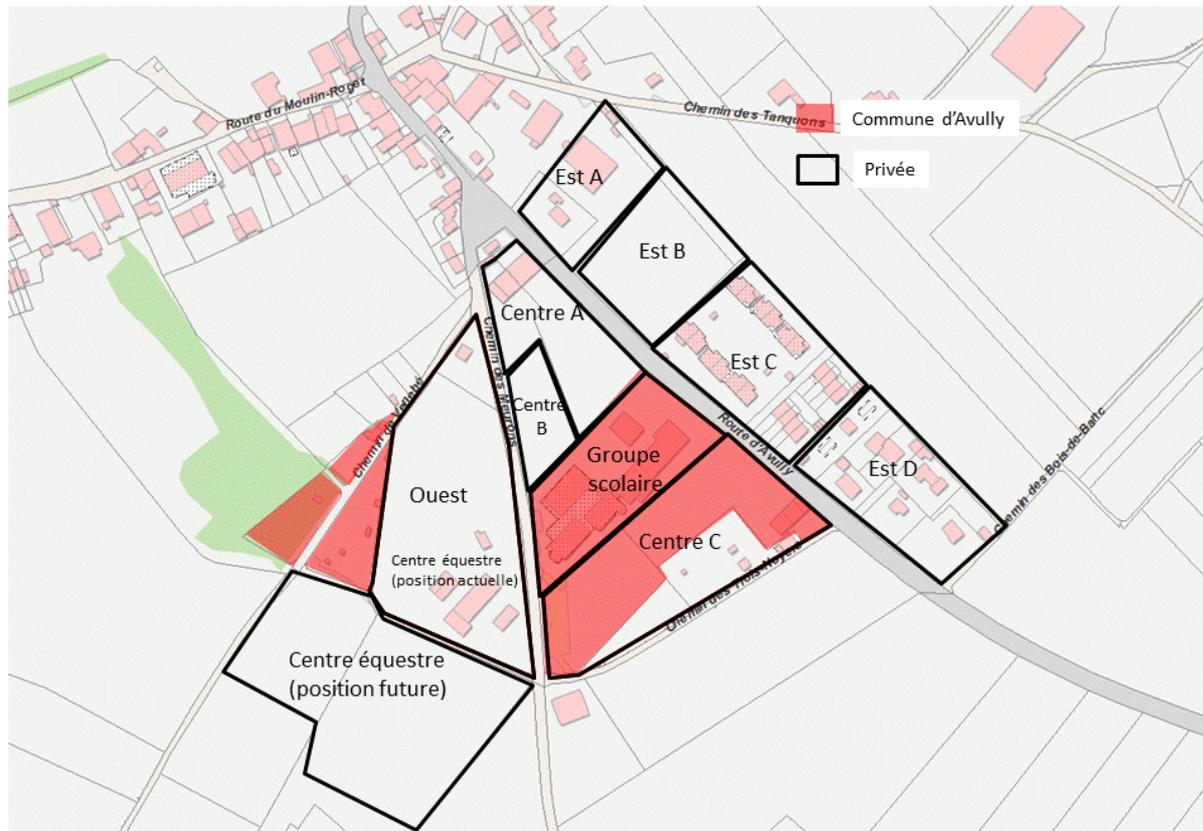


Figure 3 : état du foncier

3.4 Acteurs en présence et phasages de développement

Les principaux acteurs sont, d'une part, la commune et, d'autre part les propriétaires des parcelles privées. L'état de Genève serait aussi une partie prenante pour encourager la mise en œuvre de sa politique énergétique dans le cadre du PDQ.

On sait par ailleurs que le secteur ouest est déjà pris en charge par un promoteur, en accord avec le propriétaire des parcelles, et que la reconstruction du centre équestre fait l'objet d'un projet architectural. Les parcelles du secteur ouest et celles qui accueilleront le nouveau centre équestre appartiennent au même propriétaire.

On peut donc un peu affiner le phasage des réalisations futures, par rapport aux informations du Tableau 1 :

1. Centre équestre et secteur Ouest
2. Centre B, Centre C et Est B
3. Centre A, Est A
4. Est D

Les objectifs, contraintes, opportunités et horizons temporels des différents acteurs identifiés ci-dessus sont résumés dans le Tableau 2.

Acteurs	Objectifs	Opportunités/contraintes	horizon temporel
Commune d'Avully	<ul style="list-style-type: none"> Réalisation des équipements publics Réalisation du PDQ conforme aux objectifs établis 	intérêt à promouvoir des solutions énergétiques efficaces (image, aides publiques, qualité de vie)/Contraintes d'investissement et de rentabilité	Court/Moyen terme
Etat de Genève	Réalisation du PDQ conforme aux objectifs établis	Promotion de solutions correspondant à la politique énergétique du canton	Moyen/Long terme
Promoteurs investisseurs	Rentabilité économique	Gains financiers, promotion de l'image en cas de réalisation d'un projet durable sur le plan énergétique/ Contraintes d'investissement et de rentabilité	Variable
Propriétaires privés actuels	Variables	Gains financiers	Variable

Tableau 2 : acteurs

3.5 Contexte énergétique et environnemental

3.5.1 Energie

Le périmètre élargi n'est pratiquement pas couvert par le réseau de gaz ; celui-ci s'arrête de l'autre côté du Rhône dans le secteur dit du « plan du Rhône » (en lien notamment avec la zone industrielle de Firmenich). Ainsi les installations de chauffage au mazout sont très largement représentées sur le territoire d'Avully. A la marge du périmètre élargi, on signale la présence d'un réseau de chauffage au bois qui a été développé sur la commune de Cartigny. Aucune installation significative utilisant la géothermie (hormis trois sondes verticales pour une construction située à la périphérie du village) n'est à signaler.

3.5.2 Air

Du point de vue de la qualité de l'air, on constate que les concentrations en particule fines (Figure 4), mesurées à proximité (Passeiry) sont, ces dix dernières années, plutôt restées au-dessous de la valeur limite fixée par l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair). Pour ce qui est des immissions de dioxyde d'azote (Figure 5), celles-ci sont au-dessous de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ soit sous la limite OPair qui est de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le PDQ, bénéficiant de sa situation à la périphérie du canton, est donc dans un environnement favorable du point de vue de la pollution.

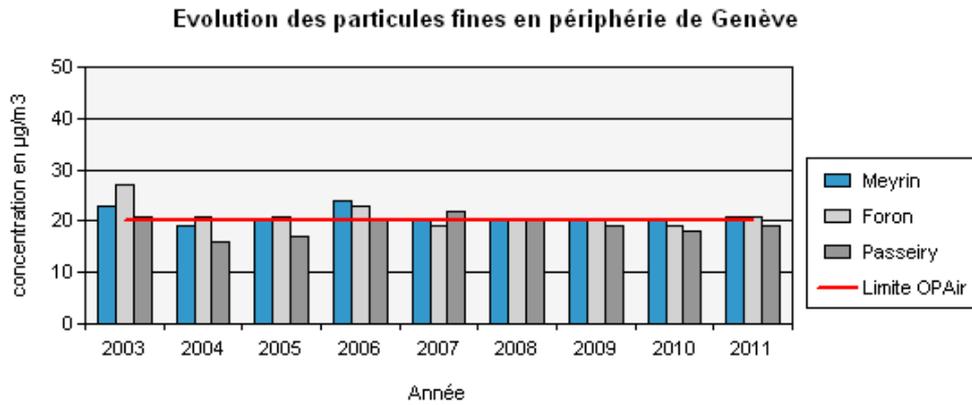


Figure 4 : évolution des particules fines – source Service de Protection de l’Air

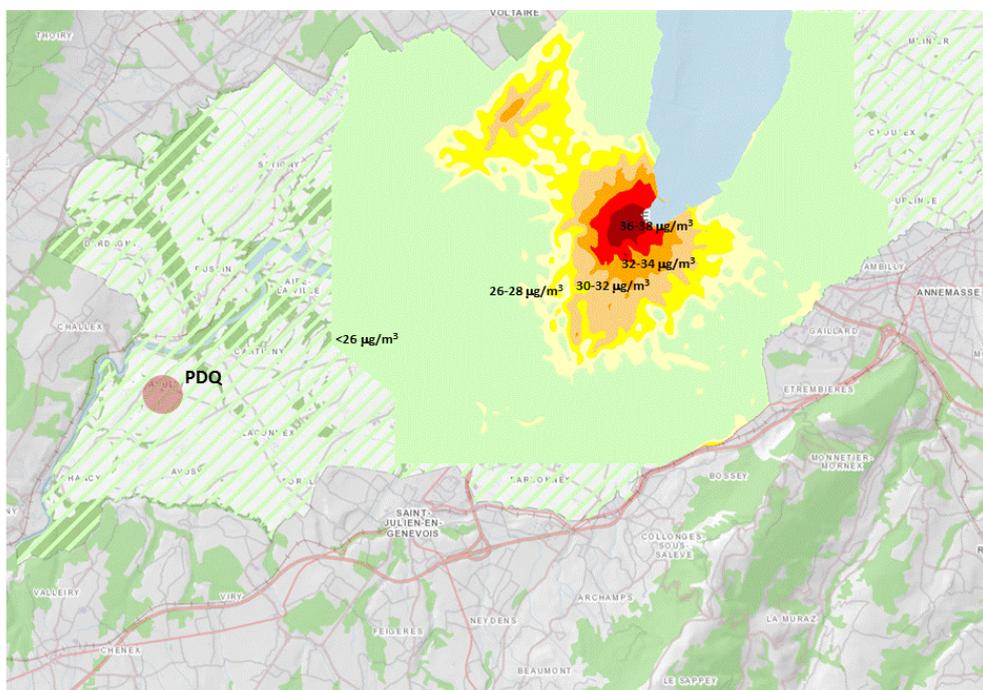


Figure 5 : immissions de NO₂ – moyenne de 2004 à 2011 –source SITG

3.5.3 Bruit

Le PDQ se situe en partie dans une zone de sensibilité au bruit DSII (zone d’habitation du village), le reste étant en zone DSIII (zone agricole - Figure 6).

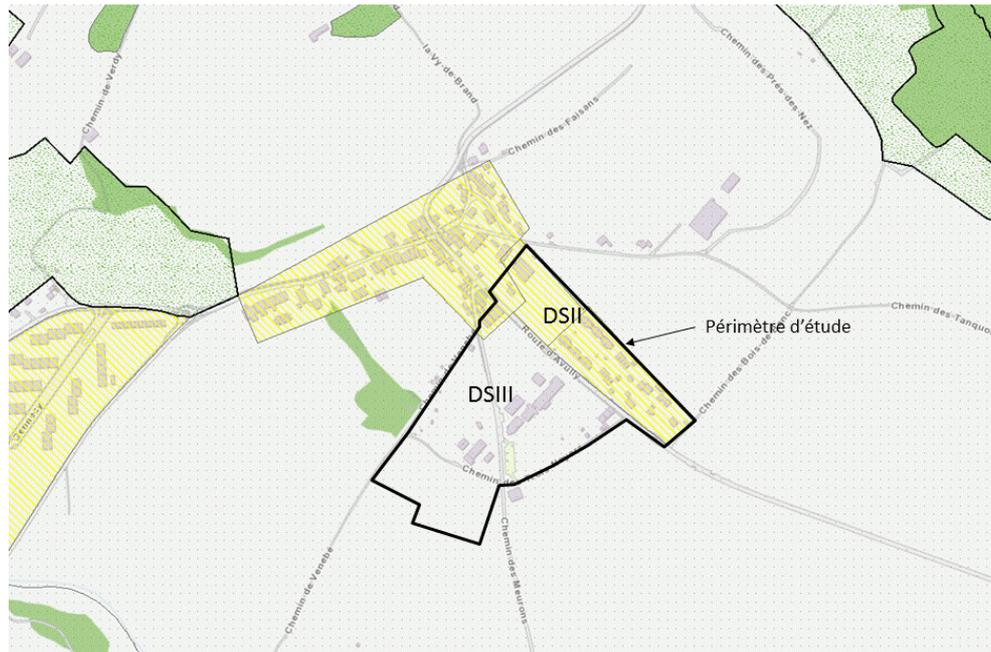


Figure 6 : carte de sensibilité au bruit

3.5.4 Autres concept énergétique territorial à proximité

Il n'y a pas de concept énergétique territorial (CET) existant dans un périmètre immédiat. On peut toutefois citer un CET récemment réalisé (n° SCANE 2001-16), lié au projet d'aménagement du plan du Rhône sur la commune de Dardagny (EMS, logements, écoles) pour environ 20'000 m² de surface de plancher.

3.6 Objectifs du concept énergétique

L'objectif du concept énergétique est de définir, en amont de l'opération d'aménagement, des orientations à court et long terme sur des solutions d'approvisionnements permettant notamment :

- Une valorisation aussi large possible des ressources renouvelables locales
- La mise en œuvre de techniques privilégiant l'efficacité énergétique
- La description des infrastructures à prévoir en termes d'implantation et de contrainte spatiale
- La mise en évidence des acteurs impliqués et des contraintes temporelles pour la mise en œuvre des solutions proposées.
- La maîtrise de la demande énergétique.

4 Ressources et filières renouvelables, locales et régionales

4.1 Géothermie

4.1.1 Basse profondeur

Du point de vue de l'utilisation de la géothermie basse profondeur, le PDQ est caractérisé par les éléments suivants (voir aussi Figure 7 et Figure 8) :

- L'implantation de sondes géothermiques est autorisée.
- La nappe phréatique du Rhône couvre tout le périmètre.
- Le périmètre se situe dans une zone de terrain argileux de 10 à plus de 20 mètres de profondeur (Référence 2), qui est très favorable pour la mise en œuvre d'un stockage thermique saisonnier.

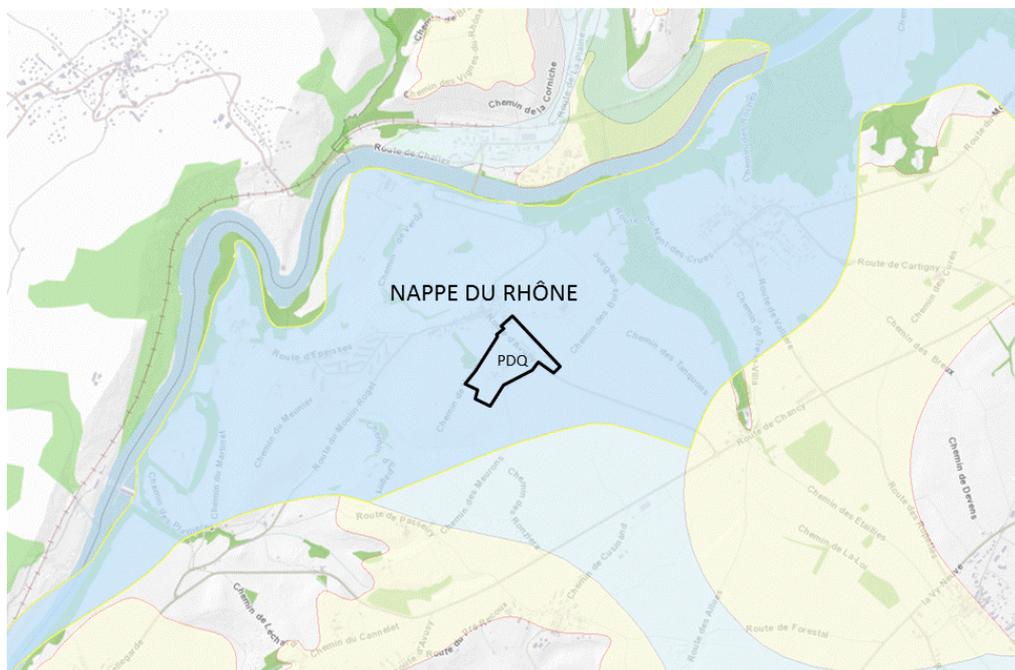


Figure 7 : Présence de la nappe du Rhône

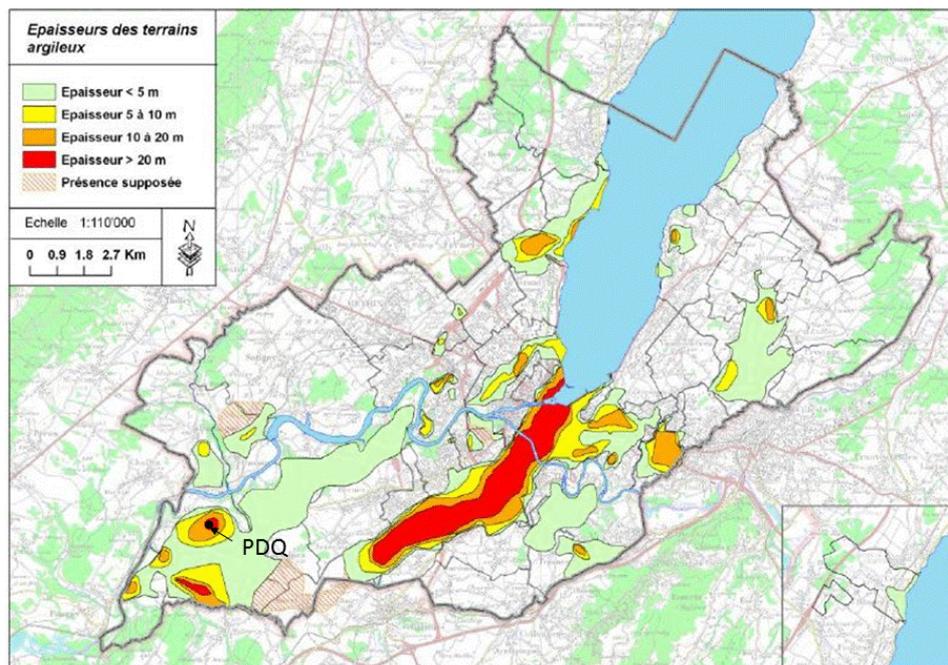


Figure 8 : localisation des terrains argileux dans le canton de Genève (tiré de la Référence 2)

Le potentiel de la géothermie basse profondeur est évalué selon deux modes de valorisation :

- La mise en œuvre de sondes géothermiques verticales couplées à des pompes à chaleur (PAC) pour le chauffage, et comme source de température pour du rafraîchissement direct (geocooling). On considère qu'il serait possible d'implanter des sondes dans tous les secteurs du PDQ (selon Figure 1) sauf le secteur Est C qui va conserver tous ses bâtiments, et le secteur Est D constitué de villas dont le renouvellement du bâti est un horizon encore très lointain. On considère une fraction de 15% à 80% de la superficie des secteurs qui pourrait être couvert par des sondes, selon les contraintes d'utilisation du sol qui sont liées à la présence de bâtiments maintenus dans le cadre du PDQ.
- L'utilisation de l'eau du Rhône comme source de température pour le chauffage par PAC ou le rafraîchissement direct. On estime en effet la température des nappes phréatiques aux alentours de 10°C tout au long de l'année.

Les Tableau 3 et Tableau 4 donnent les potentiels thermiques de champ de sondes géothermiques verticales implantées dans les différents secteurs. On envisage deux profondeurs extrêmes (50 et 300 m), ainsi qu'un espacement entre sondes de 20 m. On estime un potentiel chaud correspondant à l'extraction de chaleur du terrain (environ 2000 heures annuelles à pleine charge) et un potentiel froid qui correspond à la quantité d'énergie annuelle à réinjecter afin de maintenir une température stable à long terme. Les ratios de performances utilisés pour le calcul sont donnés en annexe (Tableau 11)

			Centre C		Ouest		Centre B		groupe scolaire	
Surface de terrain			14'118	m2	18'118	m2	2'840	m2	8'473	m2
Surface potentielle de terrain pour les sondes			11'294	m2	14'494	m2	2'272	m2	1'500	m2
Surface par sondes pour 20 m d'espacement			400	m2	400	m2	400	m2	400	m2
nombre de sondes possibles			28		36		6		4	
CHAUD	puissance calorifique extraite des sondes	prof 50 m	52	kW	67	kW	11	kW	7	kW
		prof 300 m	390		500		78		52	
	Energie calorifique annuelle extraite des sondes	prof 50 m	103'061	kWh	132'261	kWh	20'732	kWh	13'688	kWh
		prof 300 m	762'372		978'372		153'360		101'250	
	Puissance calorifique fournie par PAC (COP=4,5)	prof 50 m	67	kW	86	kW	14	kW	9	kW
		prof 300 m	501		643		101		67	
FROID	puissance calorifique à injecter dans les sondes	prof 50 m	13	kW	16	kW	3	kW	2	kW
		prof 300 m	229		294		46		30	
	énergie calorifique annuelle à injecter dans les sondes	prof 50 m	35'295	kWh	45'295	kWh	7'100	kWh	4'688	kWh
		prof 300 m	694'606		891'406		139'728		92'250	

Tableau 3 : énergie thermique disponible par utilisation de champs de sondes géothermique (1)

		centre équestre		centre A		Est A		Est B	
Surface de terrain		17'000	m2	6'162	m2	4'400	m2	8'000	m2
Surface potentielle de terrain pour les sondes		13'600	m2	3'760	m2	3'520	m2	6'400	m2
Surface par sondes pour 20 m d'espacement		400	m2	400	m2	400	m2	400	m2
nombre de sondes possibles		34		9		9		16	
CHAUD	puissance calorifique extraite des sondes	prof 50 m	63	kW	17	kW	16	kW	30
		prof 300 m	469		130		121		221
	Energie calorifique annuelle extraite des sondes	prof 50 m	124'100	kWh	34'310	kWh	32'120	kWh	58'400
		prof 300 m	918'000		253'800		237'600		432'000
	Puissance calorifique fournie par PAC (COP=4,5)	prof 50 m	81	kW	22	kW	21	kW	38
		prof 300 m	603		167		156		284
FROID	puissance calorifique à injecter dans les sondes	prof 50 m	15	kW	4	kW	4	kW	7
		prof 300 m	275		76		71		130
	énergie calorifique annuelle à injecter dans les sondes	prof 50 m	42'500	kWh	11'750	kWh	11'000	kWh	20'000
		prof 300 m	836'400		231'240		216'480		393'600

Tableau 4 : énergie thermique disponible par utilisation de champs de sondes géothermique (2)

Le Tableau 5 donne les caractéristiques principales et le potentiel thermique de la nappe du Rhône. Etant donné qu'il s'agit d'un réservoir en écoulement, la source de température est toujours disponible, on peut donc considérer qu'il s'agit d'un potentiel chaud ou froid.

puissance thermique exploitable selon la surface de la nappe	1,87			W/m ²
Perméabilité moyenne	5.E-04			m/s
Epaisseur de la nappe	5	à	30	m
Débit théorique avec 20% de rabattement	200	à	3000	litre/min
puissance thermique extraite avec un $\Delta T=3$ K (chaud ou froid)	42	à	627	kW

Tableau 5 : caractéristiques et potentiel de la nappe phréatique du Rhône – d'après Référence 2

4.1.2 Moyenne et grande profondeur

Aucune infrastructure utilisant cette technologie n'est encore planifiée. Toutefois, une stratégie systématique de qualification du potentiel géothermique à moyenne et grande profondeur (>2000 m) est en train de se mettre en place à l'échelle du canton en utilisant toutes les sources de données géologiques à disposition ainsi que des moyens de mesure géophysiques. L'objectif est de déterminer plusieurs zones de forages exploratoires ayant des chances d'aboutir avec succès.

On imagine pas toutefois de projet de géothermie grande profondeur dans une zone périphérique comme celle du PDQ étudié.

4.2 Biomasse

4.2.1 Filière biogaz

Le secteur d'Avully, ainsi que toute la région environnante (champagne), a déjà été identifiée⁶ comme une zone d'apport potentielle en matière organique d'origine agricole (fumiers, déchets de culture) que l'on peut valoriser en énergie par un procédé de digestion anaérobie produisant du biogaz. Toutefois, le potentiel d'Avully est déjà utilisé pour un projet actuellement en cours dans le mandement (agriculteur Zeller et entreprise Millo). Cette filière n'est a priori pas envisageable pour le PDQ.

4.2.2 Bois

L'emploi du bois-énergie est envisageable par les filières suivantes :

- Filière de recyclage de déchets de bois industriels (scierie, menuiserie ...) avec un combustible sous forme de granulés ou de pellets.
- Filière d'exploitations forestières avec un combustible sous forme de plaquettes (ou éventuellement de bûches). Il faut toutefois noter que pour cette filière, le potentiel des forêts du canton est actuellement saturé, donc une provenance, principalement de France voisine, voire du canton de Vaud est à considérer.

Ces filières sont régionales ; selon une étude approfondie menée dans le cadre du projet VIRAGE (Thèse J. Faessler - Référence 3), on estime les potentiels thermique suivants par habitant à l'échelle de l'agglomération franco-valdo-genevoise :

- recyclage : 15 Watts⁷/habitant
- exploitation forestière : 48 Watts/habitant.

Ramené à la population estimée dans le périmètre du PDQ, une fois celui-ci réalisé, soit 600 habitants (Référence 1), on obtiendrait un total de 38 kW thermique brut pour l'emploi du bois énergie, soit 333 MWh annuel environ. Ces chiffres sont toutefois à considérer avec précaution, dans la mesure où le bois-énergie ne peut pas être valorisé uniformément sur tout le territoire de l'agglomération ; notamment celui-ci est rarement utilisé dans les zones urbaines denses en raison de la pollution.

4.3 Solaire

On considère une valorisation de la ressource par l'emploi de panneaux thermique pour la production d'ECS, et de panneaux photovoltaïques pour la production d'électricité injectée dans le réseau. Le potentiel est évalué pour le PDQ à partir des hypothèses suivantes :

- Emploi prioritaire de panneaux solaire thermique sur le toit des bâtiments résidentiels à bâtir, le reste de la surface disponible de ces bâtiments est utilisé pour du photovoltaïque.

⁶ « Valorisation énergétique des déchets et co-produits agricoles genevois : étude d'orientation », ACADE, BG ingénieurs conseils, AgriGenève – Juillet 2007

⁷ Moyenne de puissance sur l'année

- Emploi de panneaux photovoltaïque sur le toit des bâtiments d'activités et d'équipements à bâtir.
- La surface disponible sur les toits des bâtiments est estimée entre 15 et 40% de la surface au sol selon l'orientation.
- Productivité des panneaux thermiques de 430 kWh/m² pour un taux de couverture des besoins en eau chaude de 55%.
- Production électrique des panneaux photovoltaïques de 117 kWh/m².
- En ce qui concerne les bâtiments existants, on considère uniquement le groupe scolaire qui fait actuellement l'objet d'un projet global pour l'implantation de panneaux thermiques et photovoltaïques.

Les résultats de l'évaluation du potentiel sont donnés dans le Tableau 6.

Type de bâtiment	Potentiel thermique	Potentiel électrique
A bâtir	275 MWh	335 MWh
Groupe scolaire	45 MWh	65 MWh

Tableau 6 : potentiel solaire

On suppose ici la réalisation de bâtiments de type villageois (avec des toitures inclinés) correspondant au style architectural du lieu. Si toutefois des toitures plates étaient réalisables, cela augmenterait le potentiel solaire.

4.4 Eaux usées

Cette filière n'est pas privilégiée ici en raison de toutes les opportunités liées à la géothermie.

4.5 Déchets

On recense ici les déchets pouvant entrer dans une filière de production de biogaz :

- Les déchets organiques ménagers liés à la population supplémentaire qui s'installera, une fois le PDQ réalisé. Si on considère 600 habitants supplémentaires et 25 kg déchets/habitant/an, on obtient 15 tonnes de déchets par an. Cette quantité constitue 6'000 kWh annuel de potentiel énergétique du biogaz produit⁸.
- Les déchets verts produit sur la surface du PDQ ; aucune de donnée locale n'est disponible.

En tout état de cause, ces déchets rentrent dans des filières de récupération à l'échelle du canton⁹ et ne peuvent pas être considérés comme des ressources valorisables directement dans une infrastructure dédiée pour le PDQ.

4.6 Rejets thermiques

Aucun rejet thermique significatif n'a été identifié dans un périmètre élargi.

4.7 Aérothermie

L'utilisation de l'air comme source de chaleur dans des PAC donne de moins bon rendement que la géothermie sur sonde ou nappe phréatique, elle n'est donc pas privilégiée ici.

⁸ On considère 394 kWh de PCI du biogaz par tonne de déchets.

⁹ Par exemple usine du Nant de Châtillon ou projet pôle bio dans la zone du bois de Bay.

5 Infrastructures énergétiques disponibles ou en développement

La seule disponible actuellement sur le périmètre d'étude est le réseau électrique

6 Synthèse Intermédiaire

L'analyse du contexte montre que le PDQ constitue un ensemble assez homogène autour de parcelles publiques et privés. Il est prévu une réalisation à court terme de plus de 70% du programme. La possibilité de réaliser une solution d'approvisionnement commune pour l'ensemble du programme est donc à privilégier.

Parmi les ressources et filières identifiés précédemment, on résume dans le Tableau 7 le potentiel de celles qui sont mobilisables pour le PDQ.

Ressources	Energie thermique			Energie électrique	Flux	Remarques/contraintes d'utilisation
	chaud	froid	niveau T			
	kWh		oC	kWh		
Géothermie (champ de sondes)	3'836'754	3'495'709	5 à 15		continu	L'utilisation de l'énergie thermique pour le chaud ou le froid est interpellante - stabilité en température dans le temps du terrain
Nappe du Rhône	668'800	668'800	10		continu	En considérant un débit moyen de pompage de 1600 l/min et 2000 heures annuelles à pleine charge – Cette capacité moyenne peut très fortement fluctuer selon le lieu de pompage
Solaire	320'000		40 à 80	400'000	saisonnier	L'énergie thermique est valorisée directement sur place - l'énergie électrique est de préférence injectée dans le réseau
Bois énergie	85'000		300		continu	Ressource régionale, potentiel correspondant à une utilisation moyenne dans toute l'agglomération
Déchets (méthanisation)	6'000		>800		continu	ressource non valorisable sur place, mais à l'échelle du canton

Tableau 7 : synthèse des ressources et filières mobilisables pour le PDQ

Le PDQ se situe à l'écart des grands réseaux d'énergie du canton, et le mazout constitue aujourd'hui une ressource massivement utilisée.

La géothermie présente un contexte très favorable (présence d'une nappe phréatique avec un sous-sol argileux favorable au stockage saisonnier), il est donc souhaitable de la mettre en avant dans les solutions d'approvisionnement. La biomasse n'est toutefois pas à négliger comme appoint étant donné le contexte rural du programme.

7 Structure quantitative des besoins énergétiques

7.1 Bases de calcul

La quantification des besoins en énergie finale pour le bâti futur est faite sur les bases et hypothèses suivantes :

- On considère deux standards de construction possibles (Minergie désormais minimum légal et Minergie-P) appliqués avec une solution d’approvisionnement thermique traditionnelle (facteur de pondération minergie = 1) et un coefficient de surconsommation de 20%.
- Les puissances thermiques spécifiques sont prises à 25 W/m² pour minergie et 16 W/m² pour minergie-P.
- Aucun besoin significatif en rafraîchissement n’est pris en compte, étant donné la nature essentiellement résidentielle du programme.
- La part de besoins en eau chaude sanitaire est calculée sur la base de la norme SIA 380/1.
- Les besoins électriques sont estimés sur la base d’une application de la norme SIA 380/4 au type de construction envisagée et prennent en compte, l’éclairage, l’appareillage et des équipements classiques de climatisation et ventilation. Des valeurs nettement plus élevées sont appliquées pour les surfaces d’activités, par rapport au résidentiel, dans la mesure où ces surfaces seront probablement équipées avec une plus forte densité d’appareillage électrique.

Les ratios ainsi appliqués sont détaillés en annexe (Tableau 12). En première approche, on ne considère pas de différence sur les besoins pour l’ECS entre les deux standards (Minergie et Minergie-P).

La quantification des besoins en énergie finale pour le bâti existant est faite sur les bases suivantes :

- Les besoins thermiques des bâtiments existants des secteurs Ouest, Centre A et Centre C sont déterminés en fonction d’une moyenne statistique de 175 kWh/m²
- Les besoins thermiques des bâtiments existants du secteur Est C sont calculés à partir des relevés d’IDC ¹⁰ qui sont disponibles en grande partie (source : ScanE – A.SCANE_INDICE_MOYENNES, extraction du 27/08/2012)
- Les puissances thermiques spécifiques demandées par ces bâtiments sont calculées à partir des besoins annuels en chaleur en supposant un temps de fonctionnement à pleine charge de 2300 heures/an.
- Les besoins thermiques et électriques du groupe scolaires sont tirés de relevés réguliers effectués depuis plus de 10 ans.
- Les besoins électriques des bâtiments existants (sauf le groupe scolaire) sont estimés en appliquant un ratio moyen de consommation de 50 kWh/m². Ce ratio est obtenu en divisant, sur l’ensemble du territoire de la commune d’Avully, les relevés de consommation électrique par sous-secteur¹¹ (année 2009 et 2010), par la surface totale actuelle du bâti (tirée des statistiques de l’OCSTAT).

¹⁰ Indice de Dépense de Chaleur

¹¹ Source SIG et OCSTAT

La structure des besoins en énergie finale est présentée ci-après sous forme d’histogrammes sur l’ensemble du périmètre d’étude, en décomposant le bâti existant et le bâti futur à court terme, long terme et très long terme (voir Tableau 1) et en considérant trois scénarios :

- Constructions nouvelles au standard minergie
- Constructions nouvelles au standard minergie + rénovation de l’existant permettant une réduction de 25% de la demande thermique.
- Constructions nouvelles au standard minergie-P + rénovation de l’existant permettant une réduction de 25% de la demande thermique.

7.2 Besoins thermiques

La comparaison des différentes hypothèses de construction montre que, la rénovation de l’existant et le passage d’un scénario minergie à un scénario minergie-P ont des contributions équivalentes dans la réduction de la demande globale.

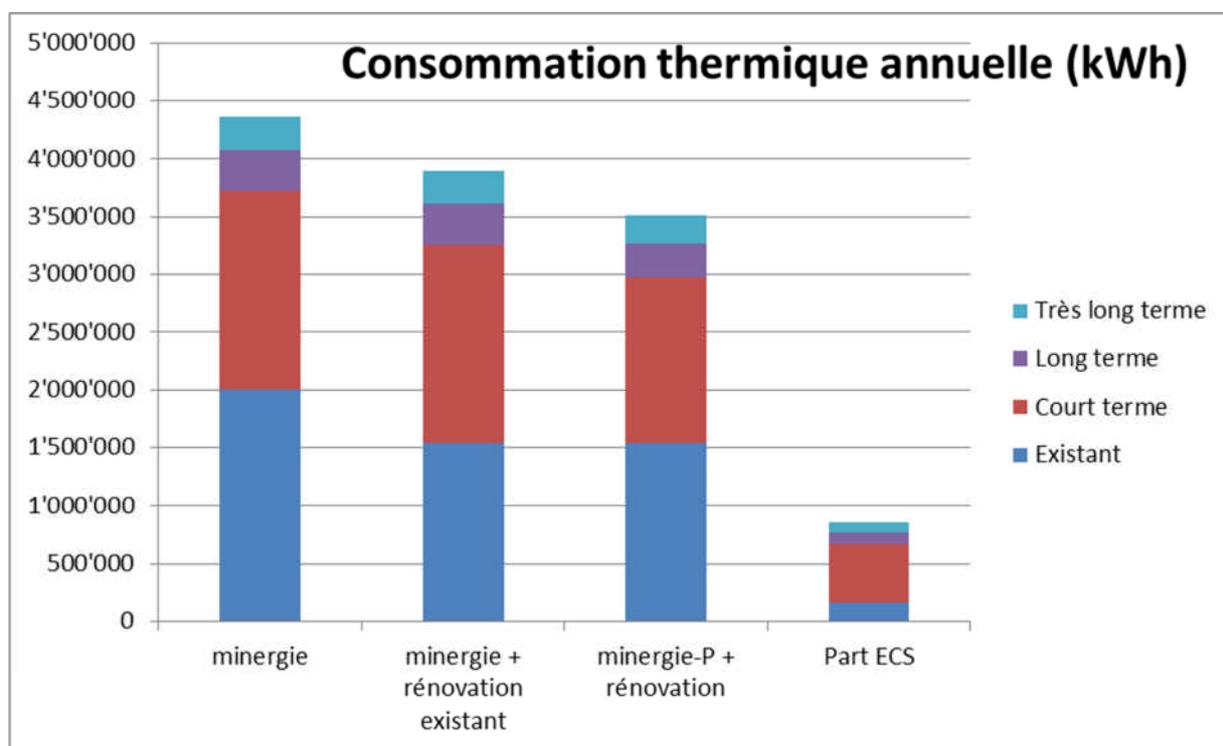


Figure 9 : Besoins thermiques - consommation annuelle

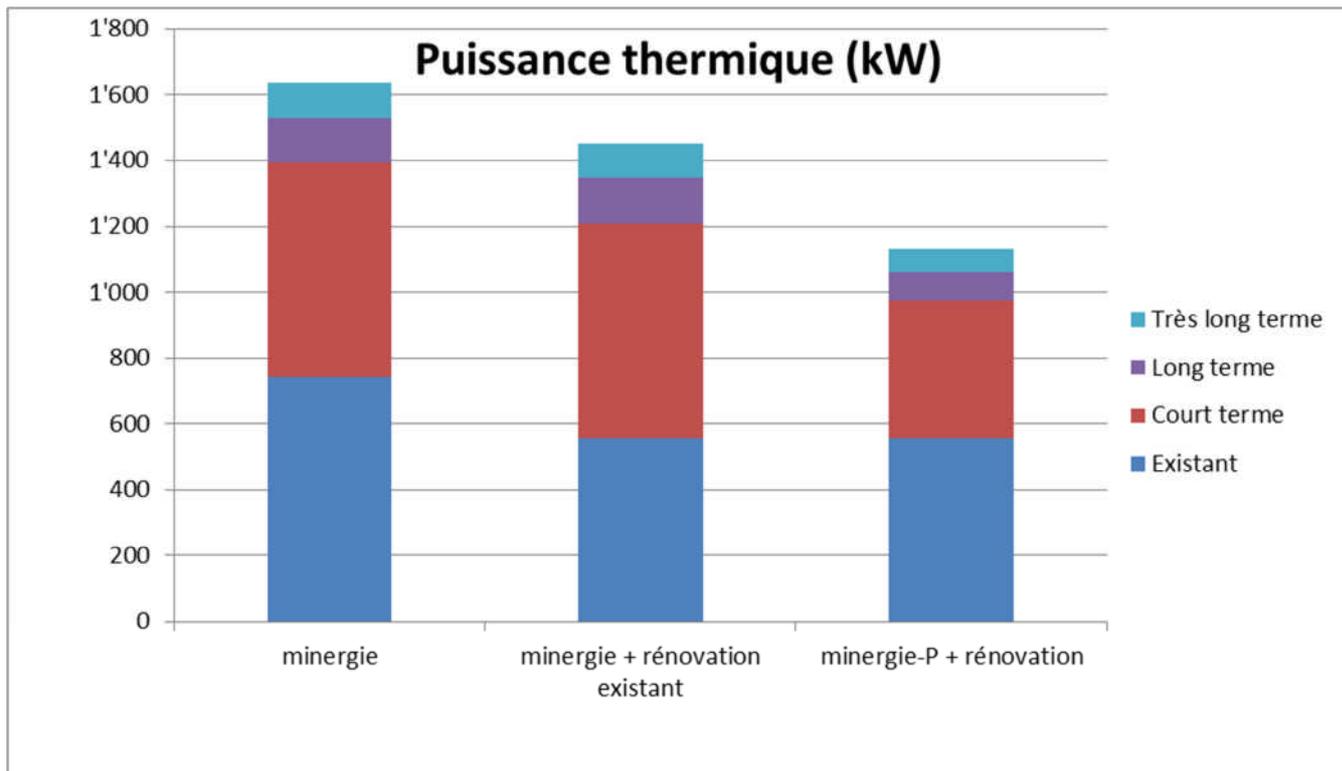


Figure 10 : Besoins thermiques – puissance spécifique

7.3 Besoins électriques

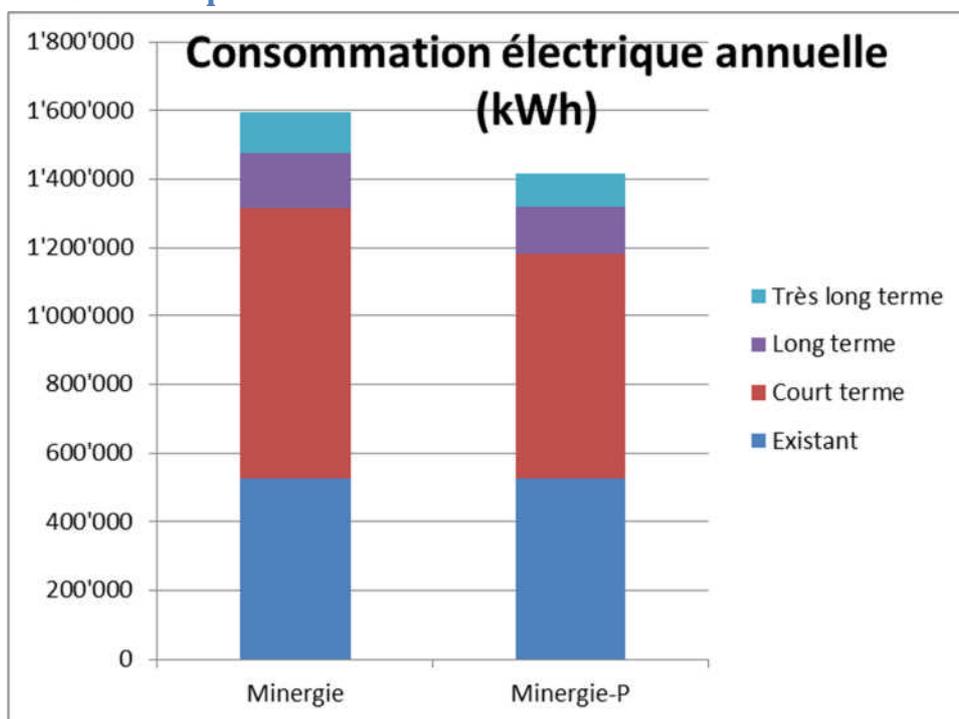


Figure 11 : Besoins électriques – consommation annuelle

8 Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local

8.1 Axes de développement des ressources et des filières

Partant des ressources mobilisables identifiées précédemment, on propose des axes de développement centrés autour de la géothermie basse profondeur qui offre un contexte très favorable :

- Mise en œuvre de champs de sondes géothermiques avec intégration, selon les conditions du sous-sol, de stockage thermique saisonnier.
- Pompage de la nappe du Rhône à partir d'un puits de captage, afin de récupérer en surface la chaleur de l'eau (par la mise en œuvre d'un réseau thermique et de pompes à chaleur), puis restitution de cette eau dans un puits de rejet (système de doublet géothermique).
- Valorisation aussi intense que possible de l'énergie solaire.
- Valorisation de la biomasse en énergie d'appoint.

8.2 Opportunités et contraintes de valorisation des ressources

Dès lors, plusieurs options d'approvisionnement énergétiques sont envisageables. On en discute ci-dessous les avantages et inconvénients relatifs.

La première consiste à généraliser la mise en œuvre de champs de sondes géothermiques verticales couplés à des pompes à chaleur. Cette option a l'avantage de pouvoir s'envisager indépendamment par secteur (ou par bâtiment) et apporte, lorsque nécessaire, une prestation de rafraîchissement passif grâce à la source en température du sous-sol. D'un point de vue technique, comme cela a été évoqué précédemment (4.1.1), il est souhaitable de pouvoir maintenir à long terme les champs de sondes stables en température. Pour cela, une réinjection de chaleur estivale est nécessaire ; les besoins en froid n'étant pas significatifs, il faudrait donc envisager l'emploi de panneaux solaires thermiques supplémentaires afin d'assurer une recharge suffisante du terrain. Ainsi sur le plan économique, outre l'investissement financier à prévoir pour des forages de sondes, des coûts additionnels viendraient systématiquement se rajouter pour les panneaux solaires. Il faut noter toutefois que si la nappe du Rhône présentait un écoulement suffisant (ce qu'il n'est pas possible de savoir à ce stade), la question de la stabilité en température pourrait ne plus se poser. Ici, le potentiel thermique global de la géothermie par champ de sondes (environ 3,8 GWh – cf Tableau 7) pourrait couvrir une très large partie des besoins (voir Figure 9) ; les pointes hivernales étant assurées par un appoint au mazout (ou au bois énergie). Toutefois, certains secteurs actuellement bâtis (groupe scolaire, Est C et Est D) ne pourraient pas ou très peu bénéficier de la ressource, étant donné le manque de place pour implanter les sondes.

Dans le cas où le débit de pompage de la nappe du Rhône, dans la zone du PDQ, se rapprochait de la limite haute, soit 3000 litre/min (cf Tableau 5), un système de doublet géothermique pourrait être mis en œuvre. Le réseau thermique (CAD¹²) couvrirait l'ensemble du PDQ et pourrait éventuellement être étendu sur une partie du village (ce qui nécessiterait toutefois des opérations de rénovation des bâtiments pour les rendre compatibles). Dans cette configuration, les pompes à chaleur seraient installées par bâtiments pour relever le niveau de température du réseau (environ 10°C) à une température adéquate pour le chauffage (40 à 60°C). Cette option présente l'avantage d'offrir une

¹² Chauffage A Distance

prestation de rafraîchissement directe simple d'utilisation, par l'intermédiaire du réseau à 10°C. Ici, le potentiel thermique annuel est d'environ 700 MWh (cf Tableau 7) ce qui impose la mise en œuvre d'un appoint au mazout (ou au bois énergie). La mise en œuvre d'une telle option nécessiterait une réelle collaboration entre tous les acteurs du PDQ sur le plan de la planification technique, organisationnelle et financière ; une structure commune, avec la présence de tiers investisseurs bénéficiant du produit de la vente de l'énergie, serait même souhaitable.

Enfin, une troisième option propose de ne prévoir qu'un seul champ de sondes, plus restreint, localisé sur un des secteurs du périmètre d'étude. Le raccordement des sondes à un ensemble PAC + CCF bois (Couplage Chaleur Force) + chaudières mazout (ou bois) pour les pointes hivernales permettrait, avec un dimensionnement adéquat, de développer un réseau CAD local à basse température (50-60°C) qui satisferait tous les besoins du PDQ avec une extension possible vers le village. Si nécessaire (écoulement insuffisant de la nappe du Rhône), la recharge estivale serait assurée par des panneaux solaires (comme pour la première option). Les secteurs Ouest, Centre C ou Centre Equestre pourraient accueillir le champ de sonde. Cette option à l'avantage d'offrir une production locale d'électricité (CCF) revendue au réseau. Sur le plan économique, elle pourrait s'avérer beaucoup moins coûteuse que la première option étant donné le nombre réduit de sondes et de panneaux solaire à installer. En revanche, la mise en œuvre d'une telle option nécessite une réelle collaboration entre tous les acteurs du périmètre sur le plan de la planification technique, organisationnelle et financière ; une structure commune, avec la présence de tiers investisseurs, bénéficiant du produit de la vente de l'énergie serait même souhaitable.

Indépendamment des trois options discutées ci-dessus, l'emploi de panneaux solaires thermiques pour le préchauffage de l'ECS (et éventuellement en appoint au chauffage) pourra s'envisager, par bâtiment, sans contrainte particulière de planification. Il en est de même pour l'installation de panneaux photovoltaïques raccordés au réseau sur les surfaces de toit disponibles.

8.3 Options d'approvisionnement retenues

Les trois options discutées se déclinent ainsi :

1. Mise en œuvre de champs de sondes géothermiques pour les secteurs Ouest, Centre Equestre, Centre C, Centre B, Centre A, groupe scolaire, Est A et Est B.
2. Mise en œuvre d'un réseau CAD local à partir du pompage sur la nappe du Rhône (doublet géothermique)
3. Mise en œuvre d'un réseau CAD local alimenté par un champ de sondes unique et une installation technique centralisée avec CCF.

9 Mise en œuvre des options d’approvisionnement

9.1 Champ de sondes géothermiques par secteur

Dans cette option, des champs de SGV¹³ sont créés par secteur au fur et à mesure du développement du PDQ, avec une installation des PAC de façon décentralisée dans les bâtiments. Des chaudières au mazout (ou au bois) peuvent être installées au cas par cas dans les bâtiments pour assurer les pointes hivernales. La Figure 12 donne une indication de l’emprise des champs de sondes dans les différents secteurs.



Figure 12 : implantation de champ de sondes géothermiques verticales dans les secteurs à bâtir

Le Tableau 8 indique, par secteur, les puissances requises et les puissances disponibles au niveau des PAC, ainsi que les puissances extraites des sondes, compte tenu des surfaces à disposition. Le nombre de sondes est calculé pour des profondeurs unitaires de 300 m. Le dimensionnement est donné pour le scénario minergie sans rénovation. On constate que le groupe scolaire aurait un potentiel géothermique très insuffisant pour satisfaire ses besoins.

Les tailles des champs de sondes, données dans le Tableau 8, sont calculées pour satisfaire la puissance spécifique, il s’agit donc de valeurs maximales qui pourraient être diminuées selon les conditions économiques en adjoignant un appoint au mazout (ou au bois). Ainsi, un scénario minergie-P avec rénovation réduirait la demande en puissance et permettrait plus facilement de se passer de cet appoint.

¹³ Sondes Géothermiques Verticales

Secteurs	puissance disponible	Puissance requise	Puissance extraite du champ de sondes (COP = 4,5)	nb sondes requis (300 m par sonde)	Surface requise (20 m entre sondes)	surface disponible
	kW				m2	
Centre équestre	603	35	27	2	791	13'600
Ouest	643	298	232	17	6729	14'494
Centre B + Centre A	268	163	127	9	2272	6'032
Groupe scolaire	67	320	52	4	1500	1'500
Centre C	501	216	168	12	4879	11'294
Est B + Est A	440	197	153	11	4437	9'920

Tableau 8 : surface de sondes nécessaires dans les secteurs à bâtir

9.2 Pompage nappe du Rhône + CAD local

Un système de doublet géothermique sur la nappe du Rhône est créé avec un puits de captage et un puits de rejet. Le puits de captage alimente, via une station de pompage (voir Figure 13), un réseau CAD, dont le niveau de température correspond à celui de la nappe (environ 10°C) ; le retour du réseau est relié au puits de rejet. Ce réseau a vocation à alimenter tout le périmètre du PDQ y compris les bâtiments existants. On propose de construire l'installation de pompage avec tous les équipements associés (vannes, régulation etc ...) au sous-sol d'un des bâtiments du secteur centre C sur une parcelle communale.

Le réseau CAD alimente des sous stations réparties dans chaque bâtiment raccordé ; ces sous stations incluent une pompe à chaleur, alimentant un échangeur de chaleur auquel vient se raccorder le client pour le chauffage, ainsi qu'un autre échangeur pour le rafraîchissement d'été (Figure 13). Ces sous-stations ne nécessitent pas plus de place qu'une installation classique. Un appoint au mazout (ou au bois) serait à prévoir au cas par cas dans les bâtiments.

L'emploi de PAC décentralisés, plutôt qu'un système centralisé alimentant un réseau directement à la température de chauffage, permet d'envisager, pour chaque bâtiment, de fournir une prestation de rafraîchissement direct en été (à la température de la nappe).

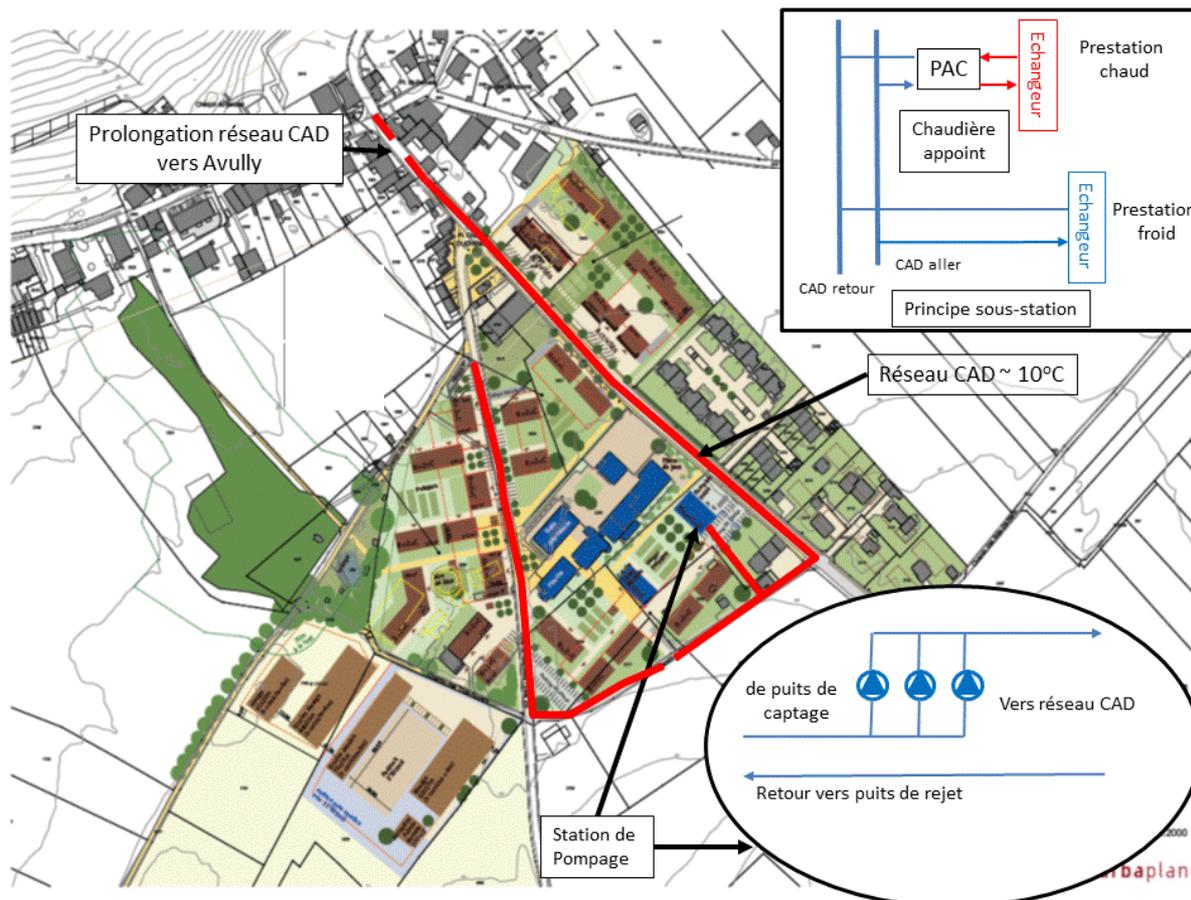


Figure 13 : pompage sur la nappe du Rhône et réseau CAD

La mise en œuvre du réseau de chaleur à distance peut aussi s’envisager au-delà du périmètre du PDQ, c’est-à-dire vers le village d’Avully, situé à proximité immédiate dont les bâtiments publics et les bâtiments privés intéressés pourraient bénéficier.

On rappelle que cette option est subordonnée à un débit de pompage de la nappe qui soit suffisant.

9.3 Champ de sonde centralisé + CAD local

Un réseau CAD local est créé à l’échelle du périmètre d’étude, avec une extension envisageable vers le village d’Avully. Ce réseau est alimenté à partir d’une centrale technique constituée de pompes à chaleur raccordées à un champ de sondes géothermiques. La recharge estivale (si elle est nécessaire) est effectuée à partir de panneaux solaires thermiques installés sur les toits des bâtiments. On propose également d’associer à l’installation un CCF au bois-énergie¹⁴ dont les rendements thermiques et électriques, combinés avec celui des PAC, permettent d’obtenir, en puissance, un rendement global de 130% sur la combustion du bois (Figure 14).

¹⁴ Rendements calculés sur la base d’un cycle de Rankine Organique avec 15% de pertes dans la chaudière au bois.

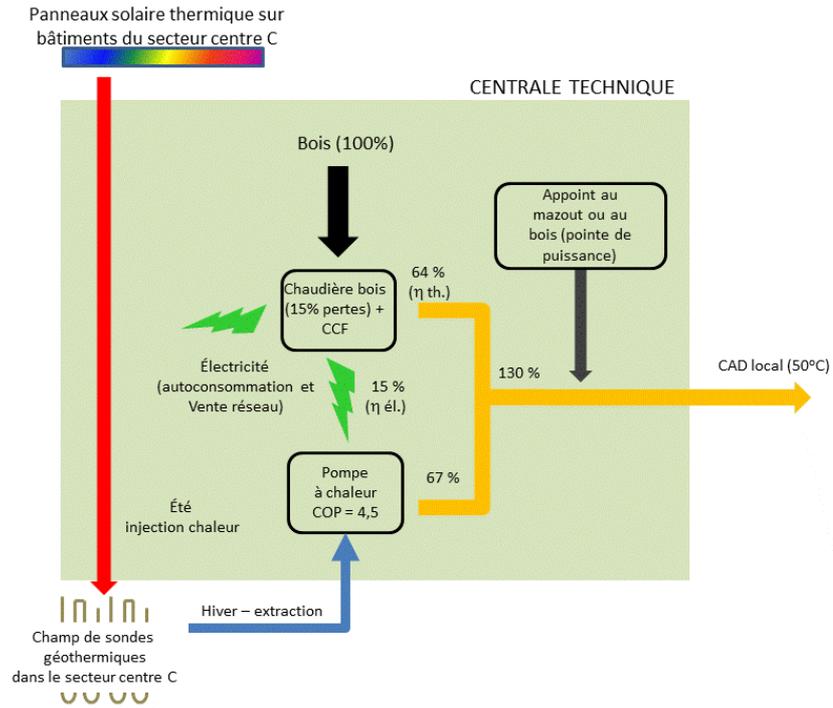


Figure 14 : champ de sonde centralisé + CAD local – synoptique de fonctionnement

Le champ de sonde pourrait par exemple être implanté dans le secteur centre C, avec la centrale technique au sous-sol d'un des bâtiments sur une parcelle communale (Figure 15).

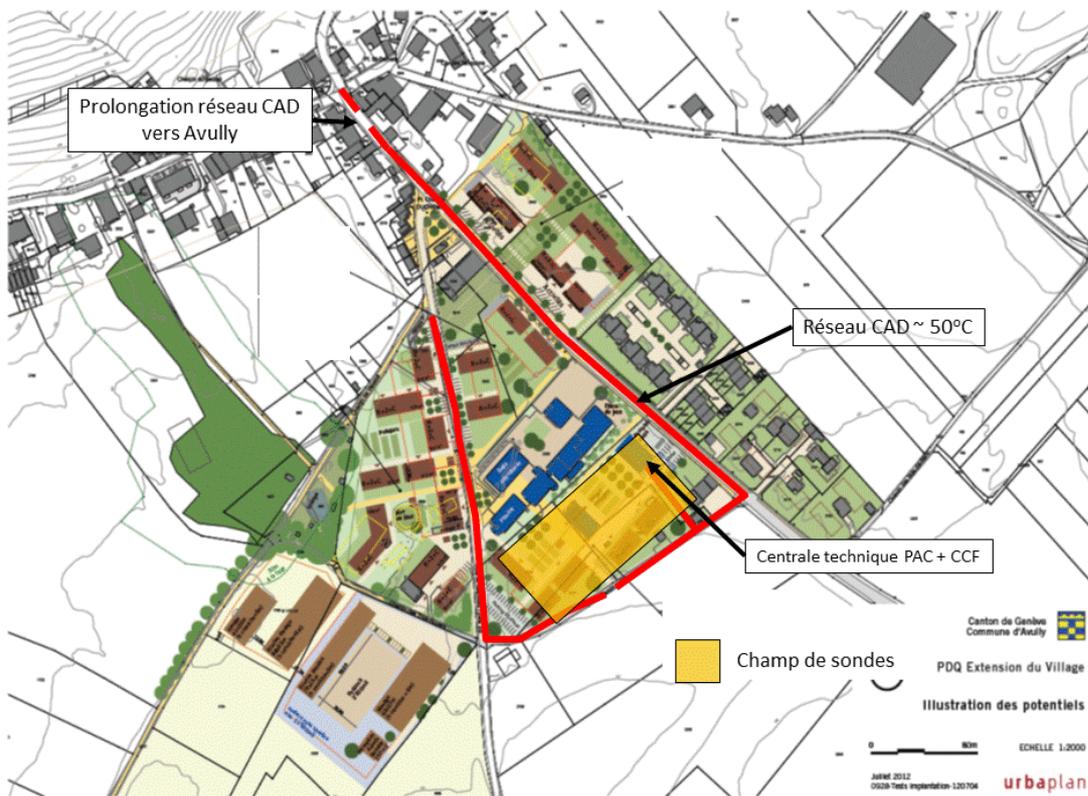


Figure 15 : champ de sonde centralisé + CAD local – implantation

Le Tableau 9 donne une estimation des principaux paramètres dimensionnels de l'installation.

rendement chaudière bois	0.85	
rendement thermique CCF	0.75	
rendement électrique CCF	0.18	
COP PAC	4.5	
Puissance calorifique PACs	500	kW
puissance électrique CCF	110	kW
Puissance thermique CCF	460	kW
Puissance bois CCF	730	kW
Puissance thermique totale PAC + CCF	960	kW
Temps de fonctionnement du CCF annuel	4'200	heures
Nombre de sondes (300 mètre de profondeur)	28	
Taille du champ de sondes (20 mètres entre sondes)	11'200	m ²

Tableau 9 : CAD localisé avec géothermie – paramètres dimensionnels principaux

9.4 Comparaison des options

Le Tableau 10 compare les performances énergétiques des trois options proposées. On suppose à chaque fois que l'appoint en puissance (pointes hivernales) est assuré par des chaudières au mazout.

	consommation énergie finale			production électrique revendue au réseau
	bois (pour CCF)	Mazout	Electricité pour PAC	
	kWh			kWh
SGV décentralisés + PAC	0	1'184'370	706'374	0
Pompage Rhône + CAD local + PAC	0	1'090'764	727'176	0
CAD local + SGV centralisé + PAC + CCF	3'510'355	297'781	150'385	130'990

Tableau 10 : comparaison des options – Scénario Minergie sans rénovation

Les options 1 et 2 donnent des résultats équivalents avec une part significative de mazout qui est fortement réduite dans l'option 3 grâce au gain en puissance fourni par l'association PAC + CCF.

L'option 3 permet une production significative d'électricité, qui revendue à un tarif RPC, pourrait rendre l'opération intéressante sur un plan économique. Par ailleurs, le nombre de sondes à implanter est fortement réduit par rapport à l'option 1.

9.5 Mesures à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs

Quelle que soit la solution d'approvisionnement finalement retenue, les bâtiments et leurs installations techniques doivent être conçus de façon à pouvoir chauffer avec un bas niveau de température (<40°C) et, le cas échéant, rafraîchir avec un haut niveau de température (>15°C).

Le choix de construction des bâtiments devrait idéalement s'orienter vers un standard de type Minergie-P.

10 Synthèse des orientations et des recommandations pour les acteurs concernés

Les trois options retenues pour l’approvisionnement énergétique du PDQ sont les suivantes :

1. Mise en œuvre de champs de sondes géothermiques décentralisés dans les différents secteurs
2. Mise en œuvre d’un réseau CAD local à partir du pompage sur la nappe du Rhône (doublet géothermique)
3. Mise en œuvre d’un réseau CAD local alimenté par un champ de sondes unique et une installation technique centralisée incluant si possible un couplage chaleur force.

Afin d’orienter un choix, parmi les variantes d’approvisionnement proposées, on donne la priorité aux options 2 ou 3. Une étude de faisabilité devrait rapidement arbitrer entre le pompage de la nappe du Rhône ou le champ de SGV centralisé, puis évaluer en détail les aspects techniques et économiques de l’opération. Il est proposé d’envisager l’option 1 (champs de SGV décentralisés) en tant qu’alternative.

Afin de favoriser la réalisation de l’option 2 ou 3, une structure dédiée de projet, couvrant les aspects techniques et financiers, devrait rapidement être mise en œuvre. Cette structure peut être constituée d’une association entre des tiers investisseurs et la commune ; elle serait en charge de la réalisation complète du projet, jusqu’à son exploitation et sa commercialisation (i.e. vente de l’énergie du réseau thermique). Une aide de l’état, sous forme de cautionnement, dans les premiers stades du projet (étude de faisabilité, avant-projet) serait souhaitable. Par ailleurs, les différents promoteurs et propriétaires, impliqués dans les réalisations immobilières, devraient être informés et un engagement mutuel devrait être conclu entre ceux-ci et la structure de projet, afin de garantir d’une part, un raccordement au réseau thermique et d’autre part, la mise à disposition de celui-ci dans les délais. La commune, avec le soutien de l’état, devrait jouer un rôle moteur afin d’intéresser des tiers à investir dans ce type de projet.

Les acteurs impliqués dans la réalisation de l’option 1 seraient principalement les maîtres d’ouvrage (propriétaires, promoteurs) des différents secteurs. Ceux-ci pourraient investir directement dans la réalisation des champs de sondes, avec l’appui d’une structure technique. Il faut toutefois noter que ce genre d’organisation serait plus fragile sur le plan financier et ainsi susceptible de vouloir basculer, par facilité, vers des solutions fossiles.

Enfin d’un point de vue architectural, la réalisation de toitures plates (si le contexte villageois le permet) serait souhaitable pour maximiser le potentiel solaire.

11 Annexes

11.1 Performances de sondes géothermiques verticales

Conductivité thermique dans la zone du PDQ (dès 50 m de profondeur)			2,4	W/m/K
CHAUD	Puissance extractible	prof 50 m	37	W/m
		prof 300 m	46	
	Energie extraite annuelle (pour environ 2000 heures à pleine charge)	prof 50 m	73	kWh/m/an
		prof 300 m	90	
FROID	Puissance injectable	prof 50 m	9	W/m
		prof 300 m	27	
	Energie annuelle à injecter pour maintenir équilibre température	prof 50 m	25	kWh/m/an
		prof 300 m	82	

Tableau 11 : ratios de performance de SGV implantées en champ (d'après Référence 2)

11.2 Ratios de besoins énergétiques appliqués – bâti futur

	Logements			Activités et équipements		
	ratio besoins chauffage + ECS	ratio besoins ECS	Besoins électriques	ratio besoins chauffage	ratio besoins ECS	Besoins électriques
	kWh/m ²			kWh/m ²		
Minergie	46	21	28	48	7	48
Minergie-P	36		23	30		43

	Logements		Activités et équipements	
	Puissance spécifique chauffage		Puissance spécifique chauffage	
	W/m ²		W/m ²	
Minergie	25		25	
Minergie-P	16		16	

Tableau 12 : ratios de consommation en énergie finale appliqués – logements et activités

12 Références

Référence 1 : Canton de Genève/Commune d'Avully – *Plan Directeur de Quartier – extension village* – Rapport URBAPLAN – Document provisoire pour consultation – Juillet 2012

Référence 2 : Service cantonal de l'énergie (SCANE), Services industriels de Genève (SIG) – *Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève* – Volume 1 – Rapport final – Elaboré par le groupe de travail PGG – Août 2011

Référence 3 : Université des sciences – Université de Genève - *Valorisation Intensive des Energies Renouvelables dans l'agglomération France-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2000 W* – Thèse – Jérôme Faessler – 2011

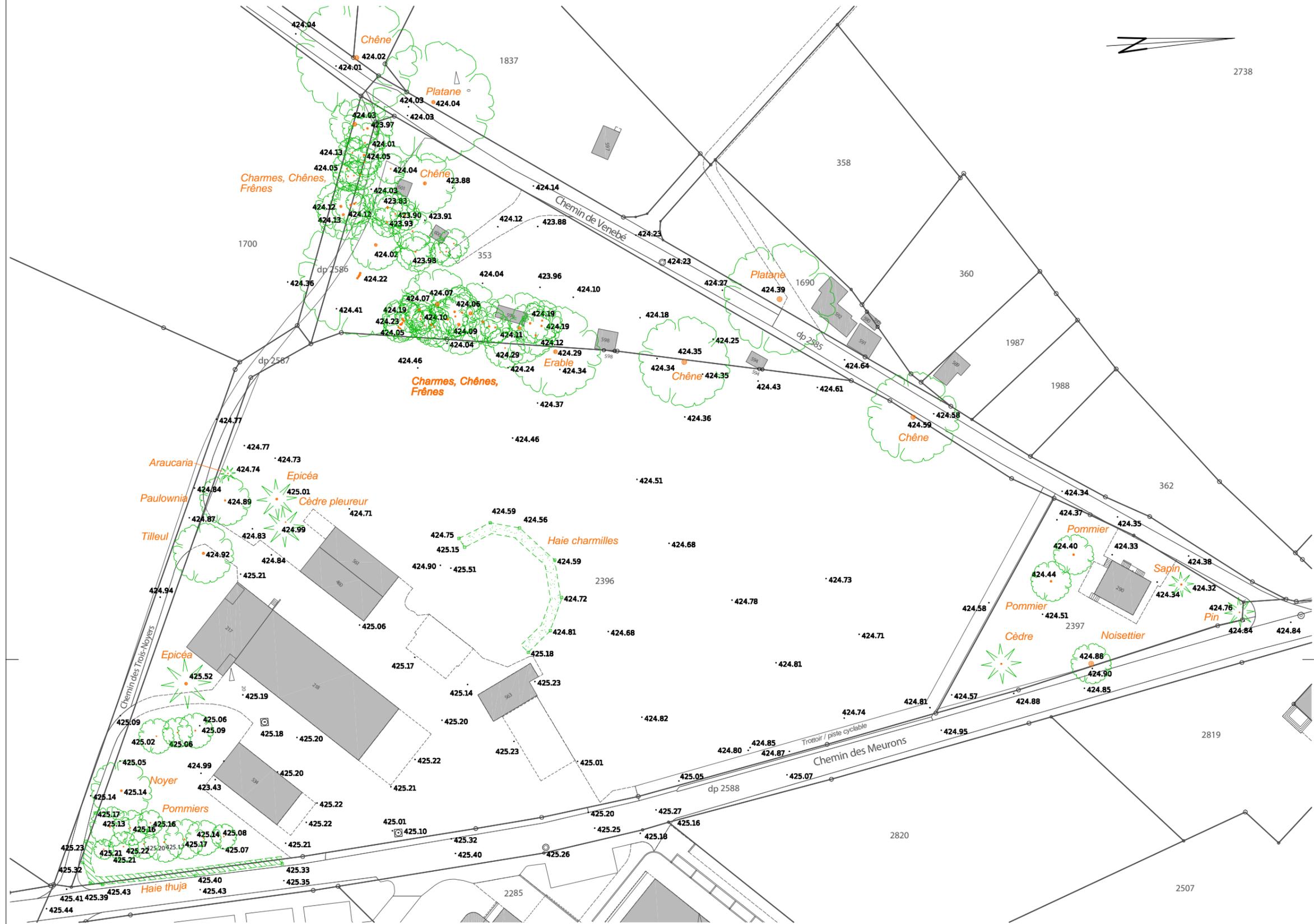
ANNEXE 2 – LEVÉ DE L'ARBORISATION

Levé de l'arborisation sur le secteur ouest
Bureau Christian HALLER Ingénieur géomètre officiel, Mai 2012

Commune : AVULLY
Plan(s): 18
Immeuble(s): 2396-2397-2586



2738



Christian HALLER
Ingénieur EPFL-SIA Géomètre officiel AGG
4, rue du Lièvre 1227 GENEVE-ACACIAS
Tél: 41 22 827 16 40
Fax: 41 22 827 16 49
E-Mail: bureau@haller-sa.ch
Dossier No. 3699.1 Etabli, le 25.05.2012/DaP
Modifié, le -----

ATTENTION
LES ELEMENTS ISSUS DE LA BASE DE DONNEES
CADASTRALES, ONT UN ECART MAXIMAL DE 20 cm
Légende: www.cadastre.ch/legende
Echelle : 1:500

