

Evaluation du potentiel énergétique issu des eaux usées sur le territoire fribourgeois



Plan

- Introduction à l'exploitation énergétique des eaux usées
- Potentiel énergétique à la sortie des STEP
- Potentiel énergétique dans les collecteurs

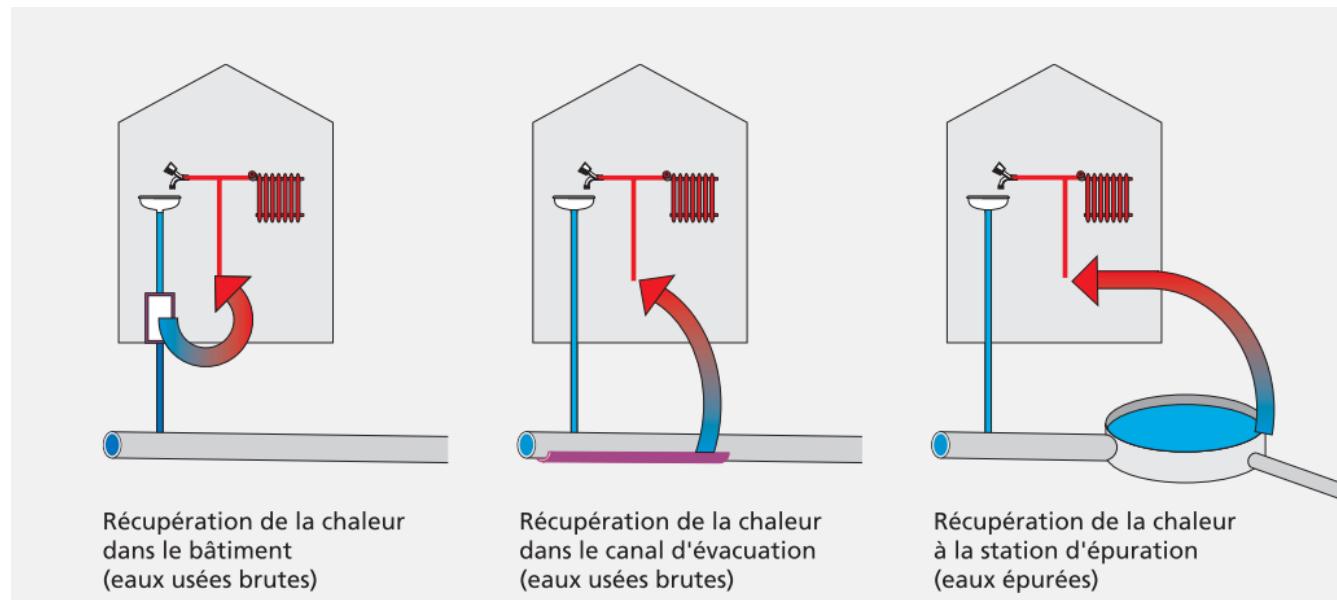


ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE
WWW.FR.CH/SdE

Potentiel énergétique issu des eaux usées

- Potentiel énergétique des eaux épurées en sortie de STEP
- Potentiel énergétique des eaux usées dans les réseaux de collecteurs en amont des STEP



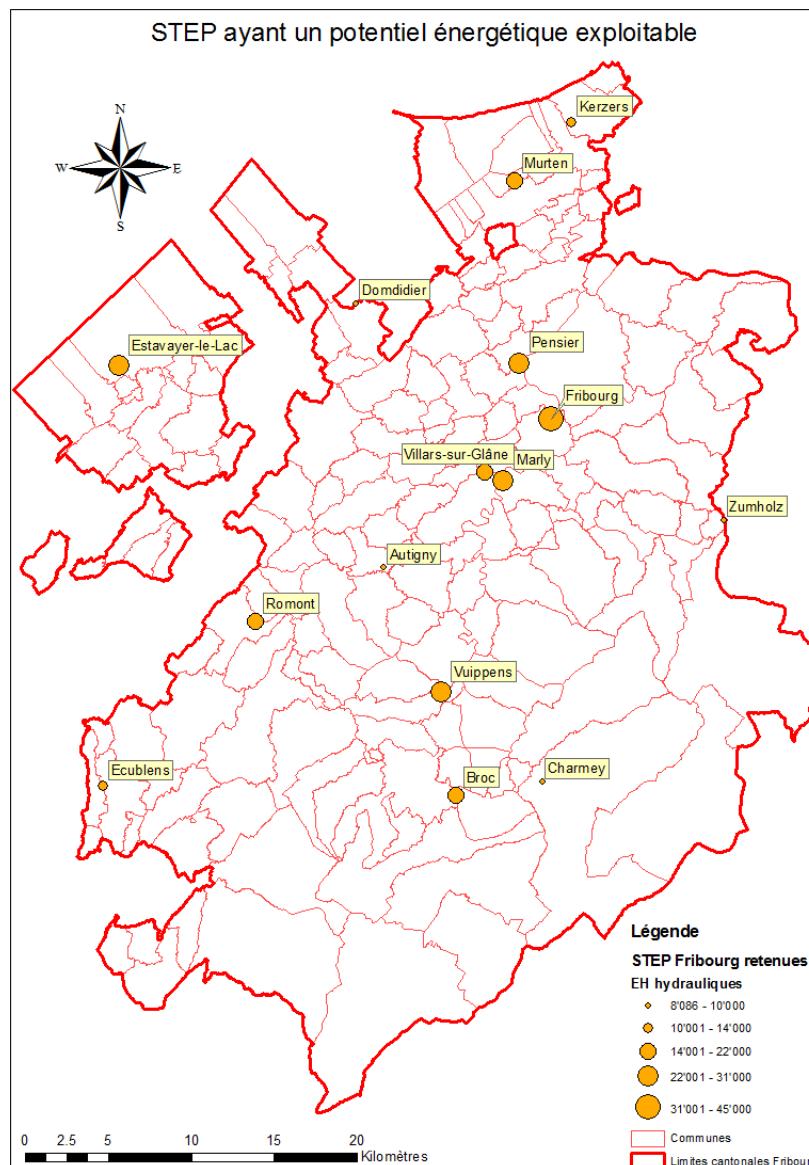
Evaluation du potentiel énergétique d'un fluide

- Puissance thermique [kW] = $Q_{TS} * \rho * c_p * \Delta T$
 Q_{TS} = Débit par temps sec [l/s]
 ρ = Masse volumique de l'eau (1 [kg/l] pour une eau entre 0 et 20°C)
 c_p = Pouvoir calorifique de l'eau (4,186 [kJ/kg*K] pour une eau entre 0 et 20°C)
 ΔT = variation de température entre température initiale de l'eau et température après extraction [K]
- Energie = Puissance thermique * durée de fonctionnement par an [h/an]

Potentiel énergétique à la sortie des STEP

Potentiel énergétique en sortie de STEP

- Etat des lieux:
 - En 2011, Fribourg comprenait 27 STEP dont certaines visées par des mesures de restructuration/suppression (centralisations de STEP)
- Critères de sélection des STEP:
 - STEP se trouvant dans les limites cantonales fribourgeoises
 - STEP traitant un débit > 5000 équivalents habitants hydrauliques



15 STEP sélectionnées:

- Domdidier
- Zumholz
- Charmey
- Autigny
- Kerzers
- Romont
- Ecublens
- Broc
- Marly
- Murten
- Pensier
- Vuippens
- Villars-sur-Glâne
- Estavayer-le-Lac
- Fribourg

Sortie de STEP – calculs

- Puissance extractible des eaux usées:

$$P_{\text{extr.}} = Q_{\text{TS}} * ([T_{\text{moy eaux usées (déc.-fév.)}}] - 5) * c_p$$

5 = température de rejet limite des eaux usées

c_p = capacité calorifique de l'eau (4.186 [kJ/kg*K] pour une eau entre 0 et 20°C)

Q_{TS} = débit par temps sec:

$$Q_{\text{TS}} = \frac{(Q_{20} + Q_{50})}{2}$$

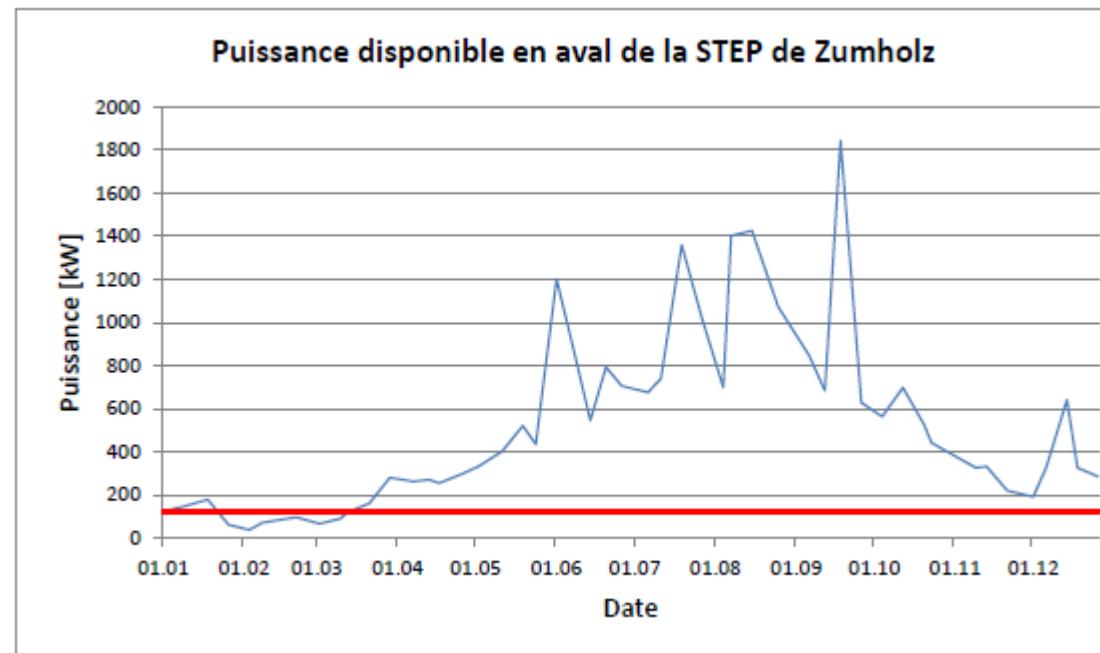
Où :

Q_{20} = débit qui n'est pas dépassé pour 20% des jours

Q_{50} = débit qui n'est pas dépassé pour 50% des jours (Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud, 2007)

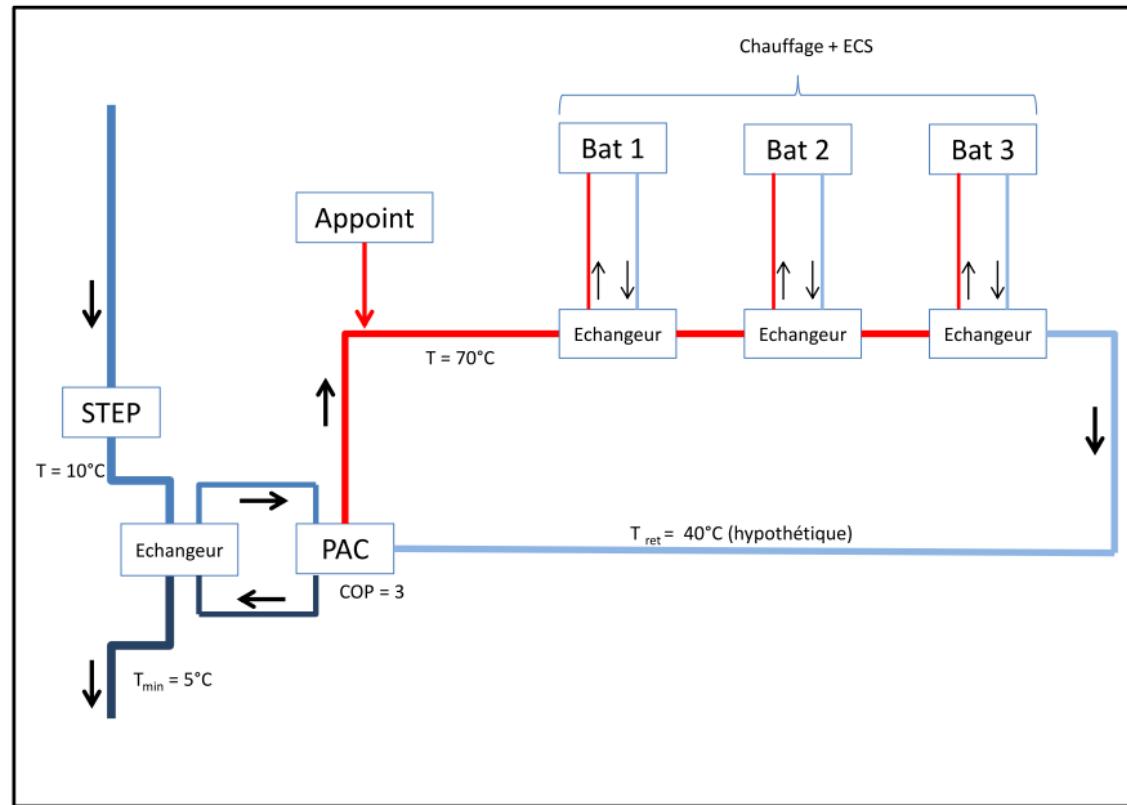
Potentiel en sortie de STEP - résultats

Exemple de résultat avec la puissance extractible des eaux usées en rouge:



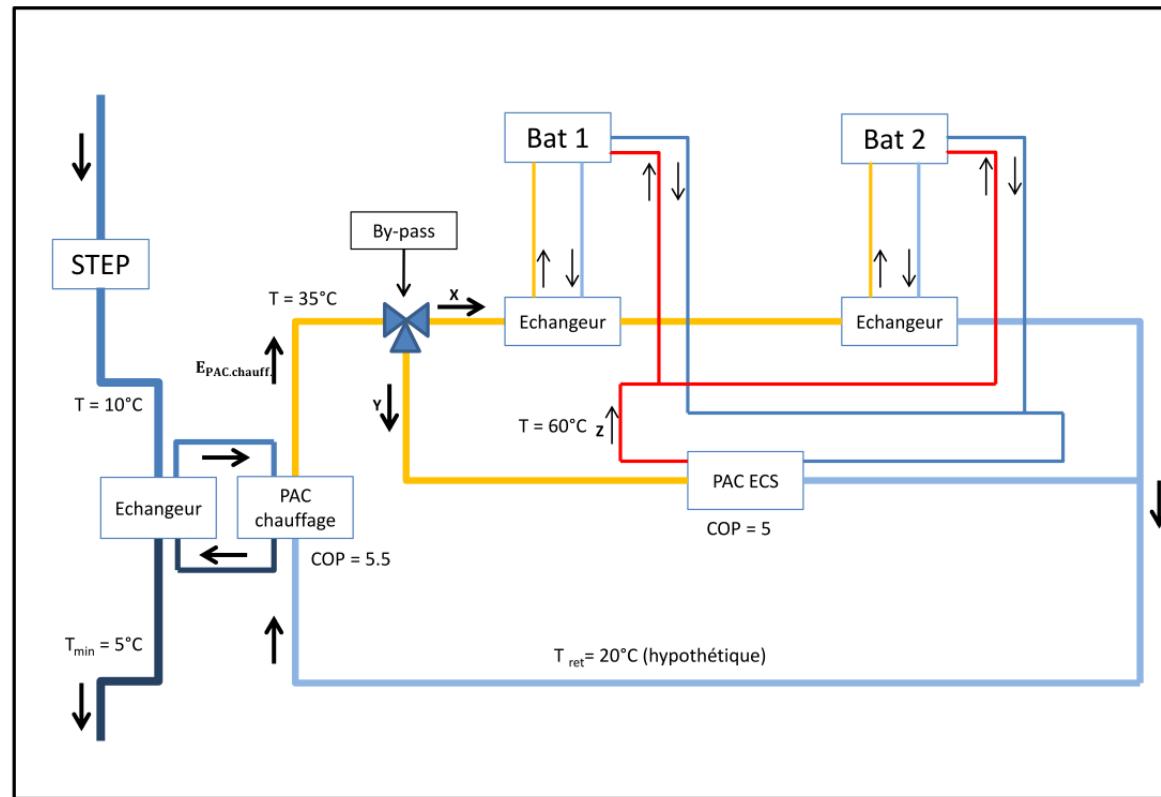
Potentiel en sortie de STEP – scénario 1

- Chauffage à distance à 70 °C



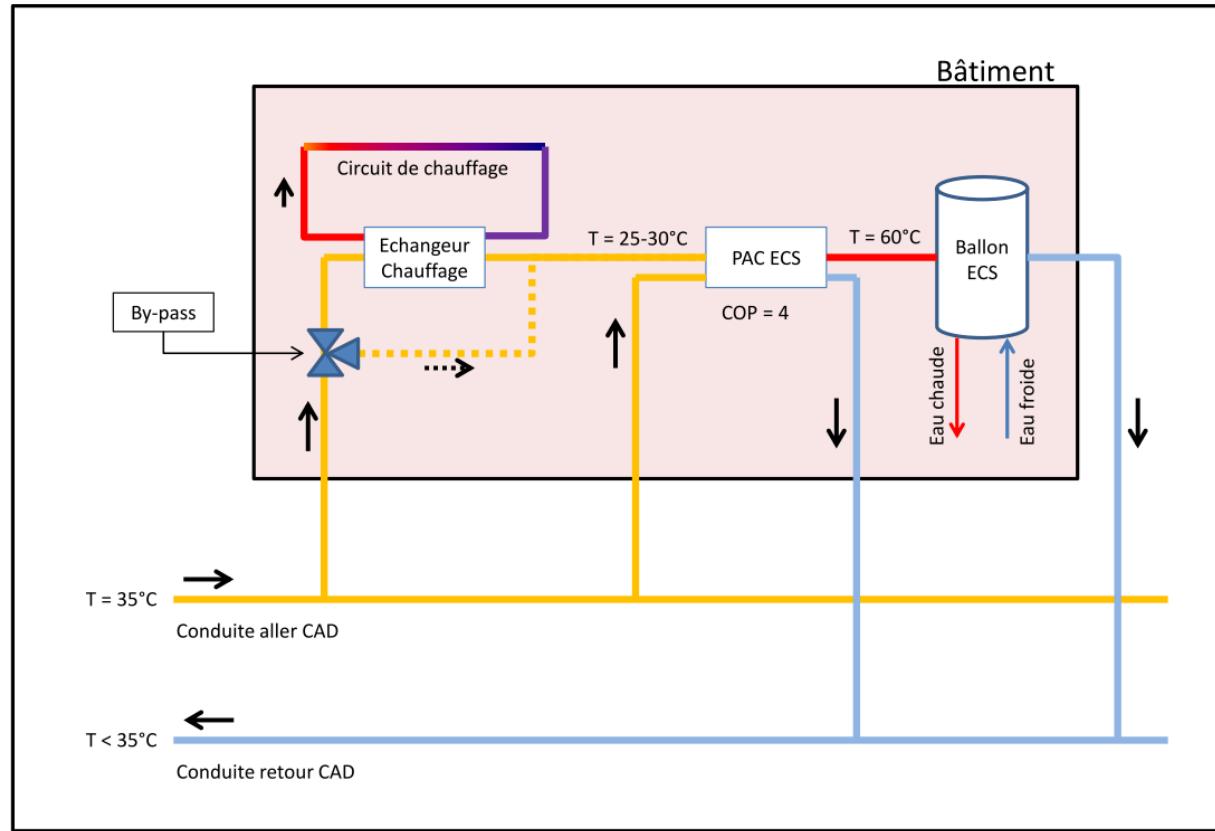
Potentiel en sortie de STEP – scénario 2

- Chauffage à distance basse température à 35 °C



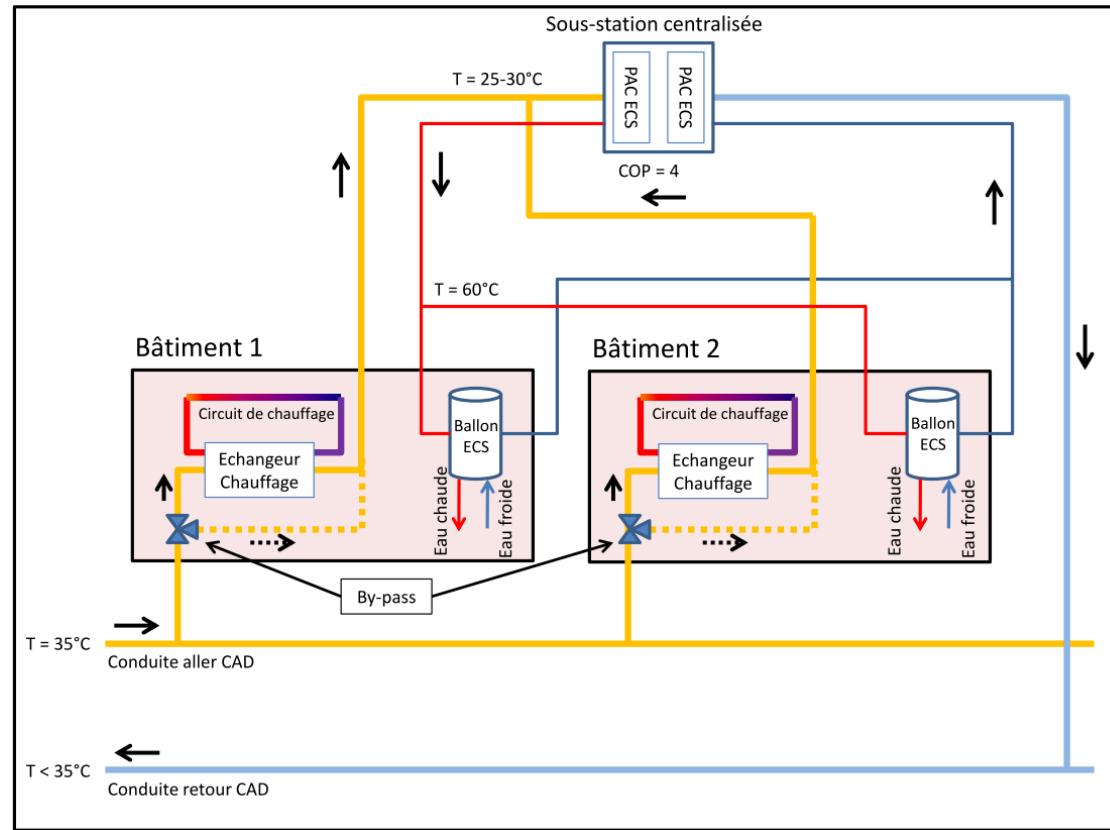
Potentiel en sortie de STEP – scénario 2

- Sous-station décentralisée



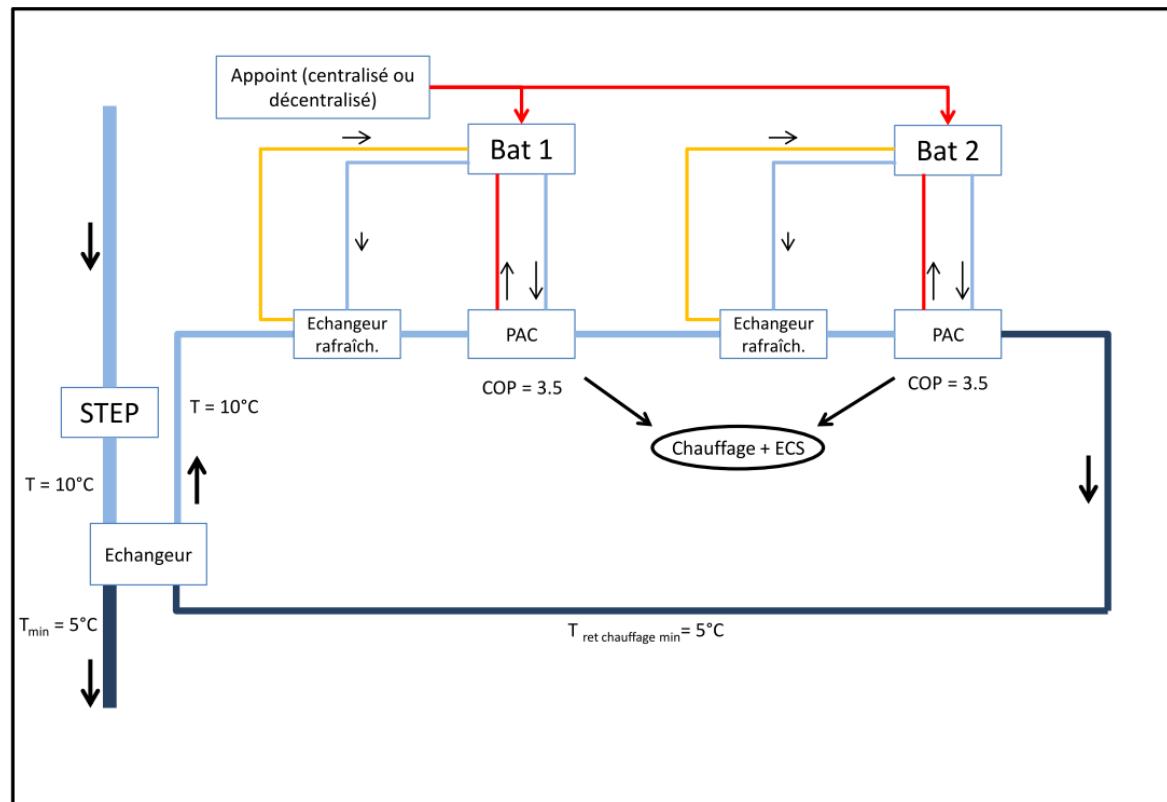
Potentiel en sortie de STEP – scénario 2

- Sous-station centralisée



Potentiel en sortie de STEP – scénario 3

- Bus thermique à 10 °C (température des eaux épurées)



Potentiel en sortie de STEP – paramètres

- Durée annuelle de fonctionnement du système à pleine charge:
 - Scénario 1 (CAD à 70°C): 4'000 h/an
 - Scénario 2 (CAD à 35°C): 2'500 h/an
 - Scénario 3 (Bus thermique à 10°C): 2'800 h/an
- Coefficients de performance des pompes à chaleur:
 - Scénario 1 (CAD à 70°C): 3
 - Scénario 2 (CAD à 35°C):
 - PAC chauffage: 5.5
 - PAC ECS: 5
 - Scénario 3 (Bus thermique à 10°C): 3.5

Potentiel en sortie de STEP – paramètres

- Température limite de retour des eaux épurées: 5°C (limite technique des PAC)
- La PAC sur les eaux usées est dimensionnée pour fournir **1/3** de la puissance et **3/4** de l'énergie annuelle totale

Potentiel en sortie de STEP - résultats

STEP	Equivalents-habitants hydrauliques	CAD à 70°C		CAD à 35°C (scénario B)		Bus thermique (10°C)	
		Puissance globale de chauffe (CAD+appoint) [kW]	Potentiel annuel de production de chaleur [MWh/an]	Puissance de chauffe à la sortie de la PAC chauffage [kW]	Potentiel annuel de production de chaleur [MWh/an]	Puissance globale de chauffe (PAC+appoint) [kW]	Potentiel annuel de production de chaleur [MWh/an]
Domdidier	8'086	1'805	3'177	485	1'305	1'685	2'075
Charmey	8'260	1'439	2'533	387	1'040	1'343	1'655
Zumholz	9'000	567	999	153	410	530	653
Autigny	10'000	2'154	3'791	579	1'557	2'011	2'477
Kerzers	13'488	3'425	6'028	921	2'475	3'196	3'938
Ecublens	14'000	3'279	5'771	882	2'370	3'060	3'770
Romont	18'000	3'140	5'526	844	2'269	2'930	3'610
Villars-sur-Glâne	20'000	6'745	11'872	1'814	4'876	6'296	7'756
Murten	21'613	5'121	9'013	1'377	3'702	4'780	5'888
Broc	22'000	3'957	6'964	1'064	2'860	3'693	4'550
Estavayer-le-Lac	27'500	9'060	15'945	2'436	6'548	8'456	10'417
Vuippens	27'500	10'714	18'857	2'881	7'744	10'000	12'320
Pensier	30'000	6'500	11'440	1'748	4'698	6'067	7'474
Marly	31'000	6'761	11'900	1'818	4'887	6'311	7'775
Fribourg	45'000	26'645	46'894	7'164	19'259	24'868	30'638

Potentiel en sortie de STEP - résultats

- Potentiel de production de chaleur total en aval des STEP:
 - Scénario 1: 160 GWh/an
 - Scénario 2: 66 GWh/an
 - Scénario 3: 105 GWh/an

Potentiel en sortie de STEP – Extension des CAD

- Calcul de l'extension à partir des consommateurs
- Paramètres pour un CAD classique:
 - Potentiel énergétique linéaire minimal par mètre de conduite: **2 MWh/m*an**
 - Longueur de conduite moyenne nécessaire pour l'implantation d'un CAD par hectare: **250 m**

Densité thermique minimale par hectare: **500 MWh/ha*an**

Potentiel en sortie de STEP – Extension des CAD

- L'extension maximale des CAD est calculée comme suit:

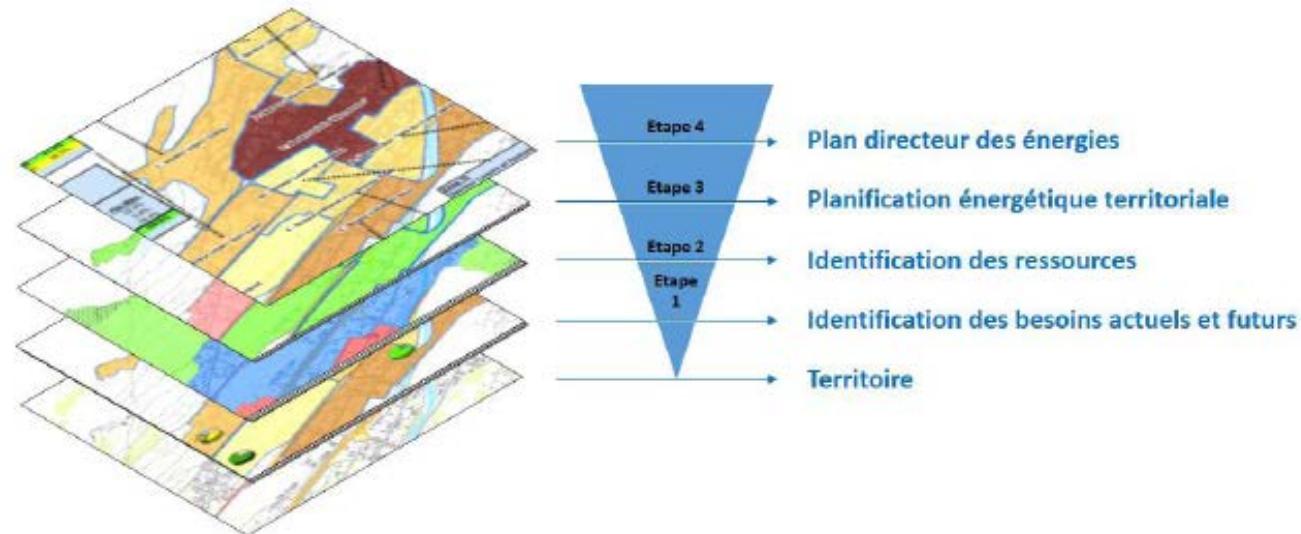
$$\text{Rayon [m]} = \frac{\text{Densité}_{ha,zone} \left[\frac{MWh}{ha * an} \right] - \text{Densité}_{ha,lim} \left[\frac{MWh}{ha * an} \right]}{\text{Densité}_{lin,lim} \left[\frac{MWh}{m * an} \right]} * \text{Superficie}_{zone} [\text{ha}]$$

$$\text{Rayon [m]} = \frac{\text{Densité}_{ha,zone} - 500}{2} * \text{Superficie}_{zone} [\text{ha}]$$

NB: Il est question de densité thermique, donc de besoin de chaleur par unité de surface

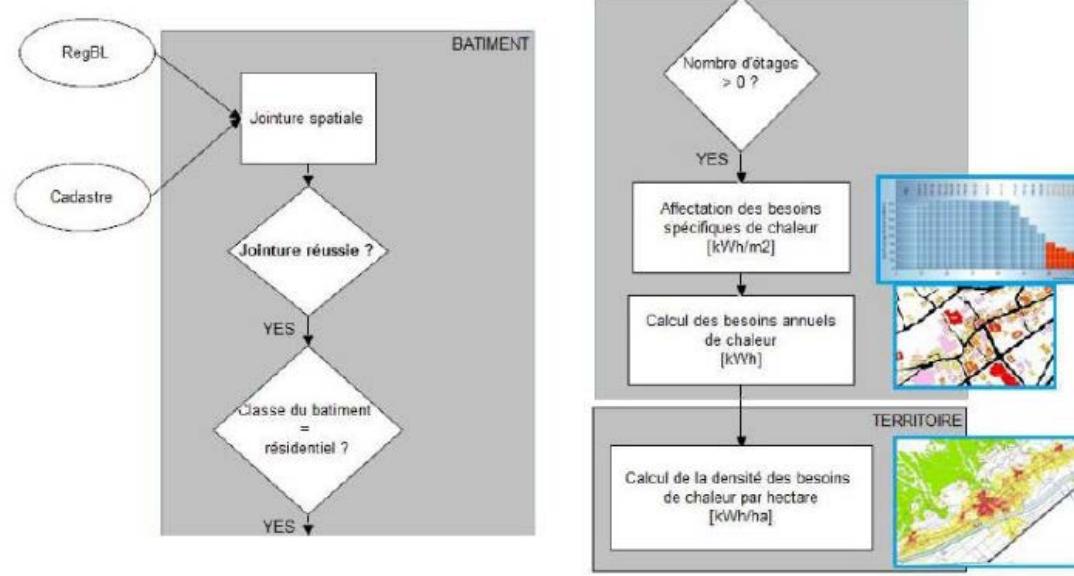
Potentiel en sortie de STEP – Extension des CAD

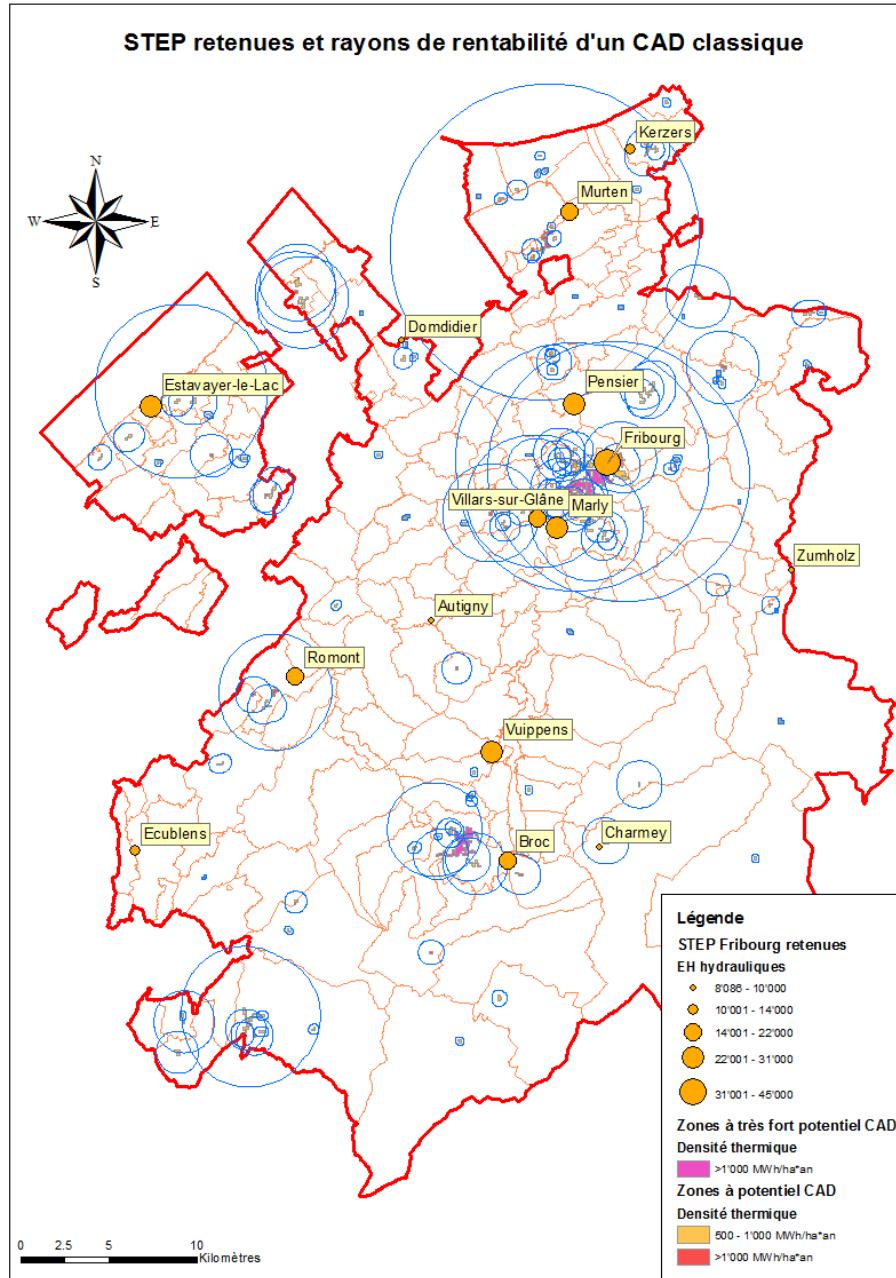
- L'outil PlanEter – Planification Energétique Territoriale permet de représenter:
 - Les besoins du territoire
 - Les ressources énergétiques
 - Les synergies entre les besoins et les ressources



Potentiel en sortie de STEP – Extension des CAD

- L'outil PlaneTer – données récoltées et utilisées:
 - Registre des bâtiments et logements (RegBL)
 - Couche empreinte au sol des bâtiments créée grâce à la mensuration officielle et l'empreinte simplifiée disponible chez Swisstopo (géodonnées)
 - Couche cadastre des bâtiments (géodonnées)





ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE
WWW.FR.CH/SdE

Rayon de rentabilité des CAD pour les différentes zones.

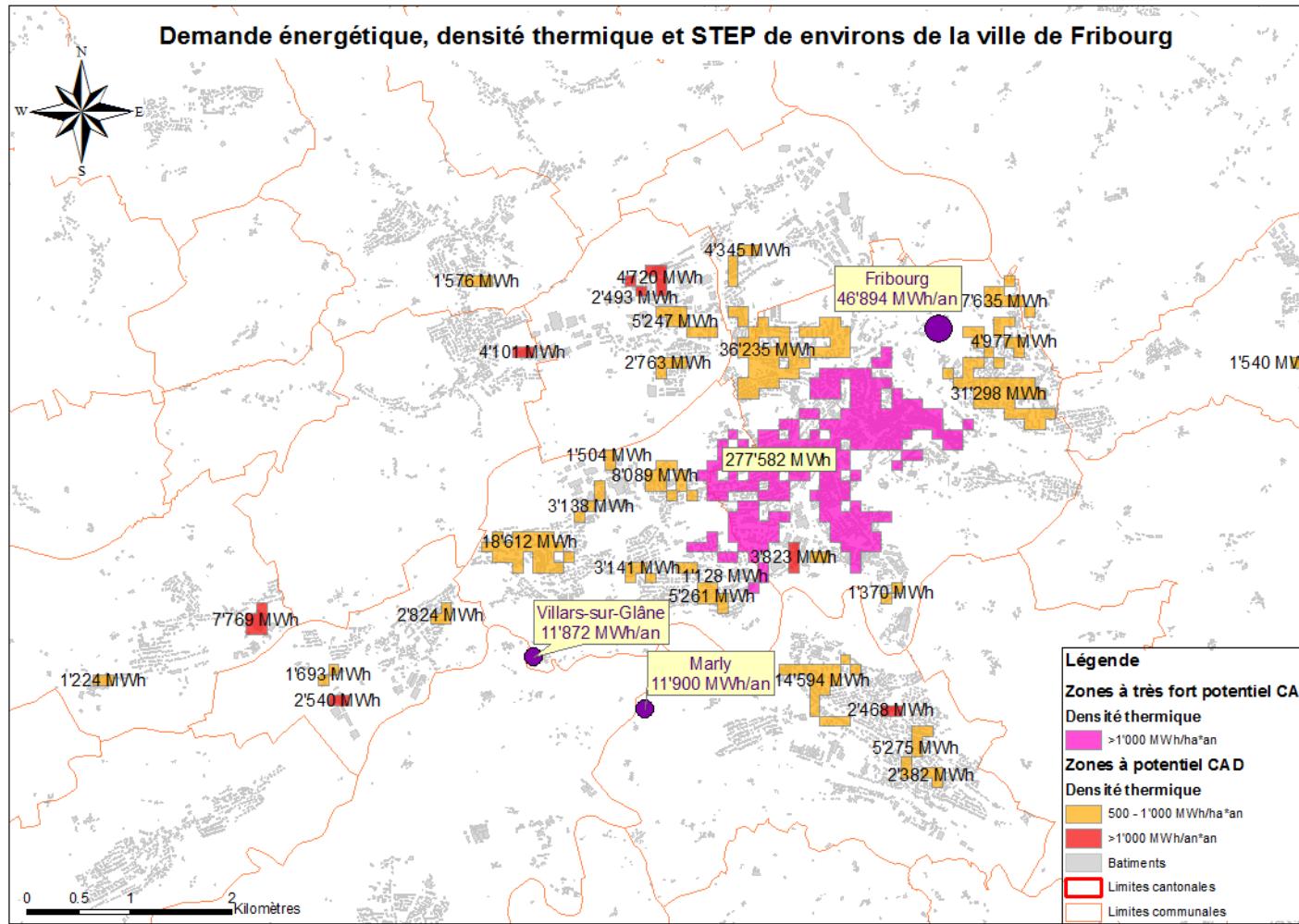
Zones dites favorables à un CAD:

- Entièrement dans les limites cantonales
- Densité thermique > 500 MWh/ha*an
- Surface > ou = 2 hectares

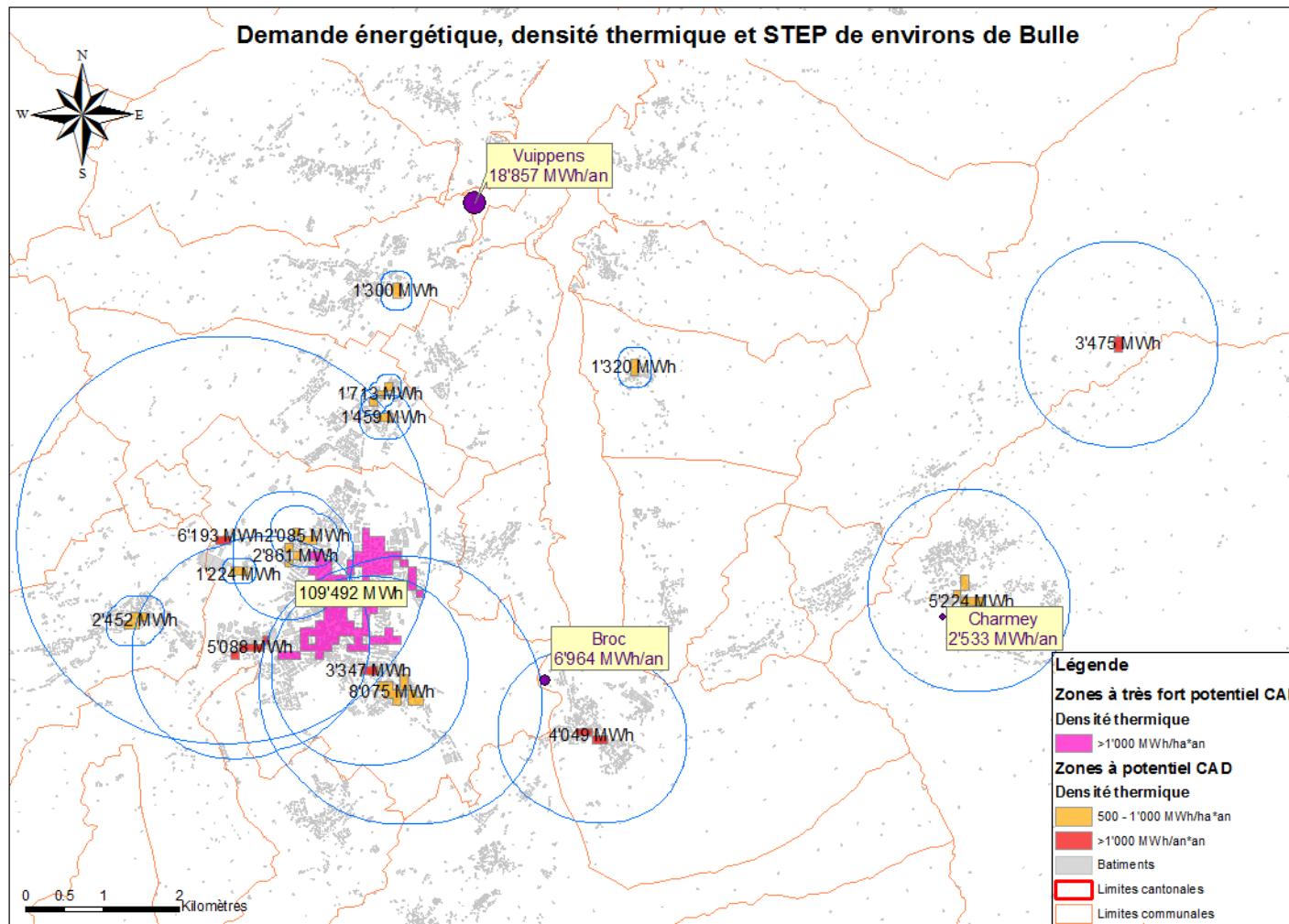
Potentiel en sortie de STEP – Extension des CAD

- Mise en relation des STEP (potentiel du scénario CAD à 70°C) et des zones d'influence des CAD
 - La STEP n'est à l'intérieur d'aucune zone d'influence de CAD
➔ Pas d'installation de CAD possible
 - [Quantité d'énergie produite par la STEP à travers le CAD] \geq [Demande de chaleur]
➔ Excédant de chaleur non valorisé (surtout durant l'été)
 - [Quantité d'énergie produite par la STEP à travers le CAD] $<$ [Demande de chaleur]
➔ Une grande partie de l'énergie des eaux usées est valorisée
 - a. On choisit une zone de consommateurs plus restreinte
 - b. On satisfait la part non couverte grâce à des installations d'appoint

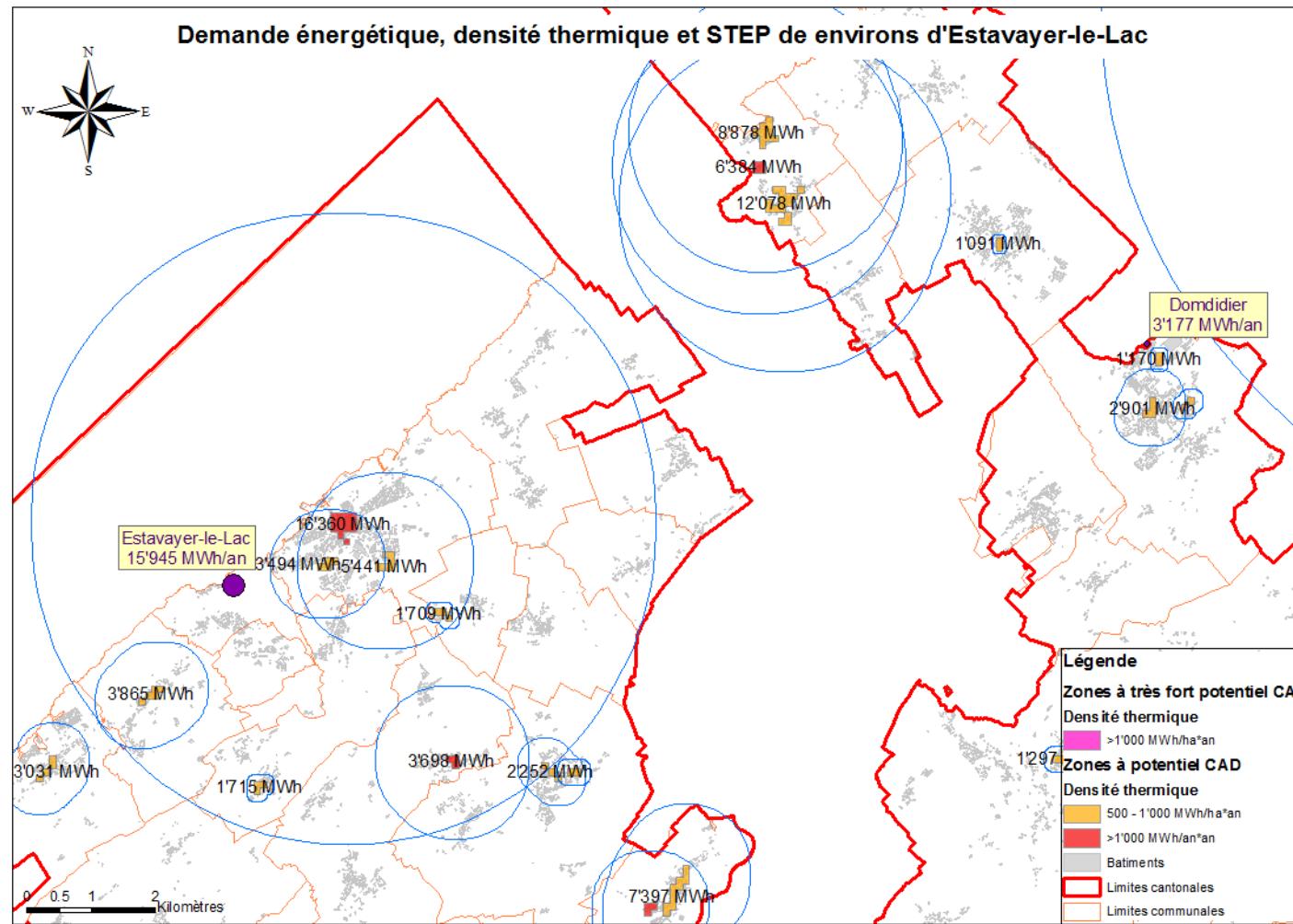
Potentiel en sortie de STEP - résultats



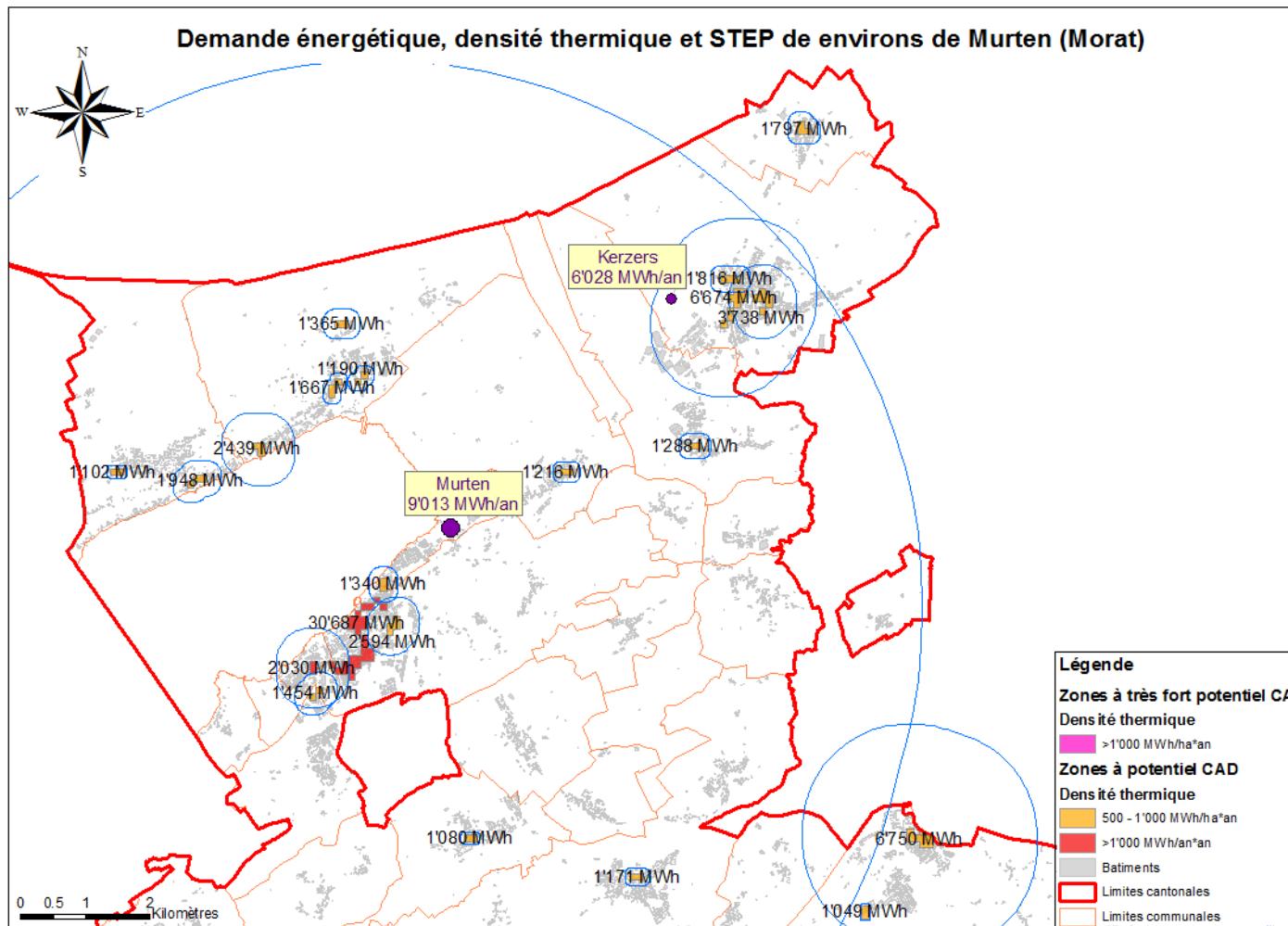
Potentiel en sortie de STEP - résultats



Potentiel en sortie de STEP - résultats



Potentiel en sortie de STEP - résultats



Potentiel en sortie de STEP - piste

- La STEP de Laupen (potentiel environ équivalent à 'Estavayer-le-Lac par analogie de taille)





Potentiel énergétique dans les collecteurs

Potentiel énergétique dans les collecteurs

L'étude des collecteurs s'articule en 2 volets:

1. Identification d'un potentiel énergétique par réseau de collecteurs
2. Sélection des collecteurs favorables

Potentiel énergétique dans les collecteurs – volet 1

Identification d'un potentiel énergétique par réseau de collecteurs

- Problème: débits d'eau dans les collecteurs inconnus
 - ➔ Expression d'un potentiel énergétique pour la totalité d'un réseau de collecteurs raccordés à la même STEP
- Paramètres:
 - Le débit d'eau en entrée de STEP
 - La température de l'eau en entrée de STEP

$$P_{EU,cond} [kW] = Q_{TS,STEP} * c_p * \Delta T_{max}$$

Avec:

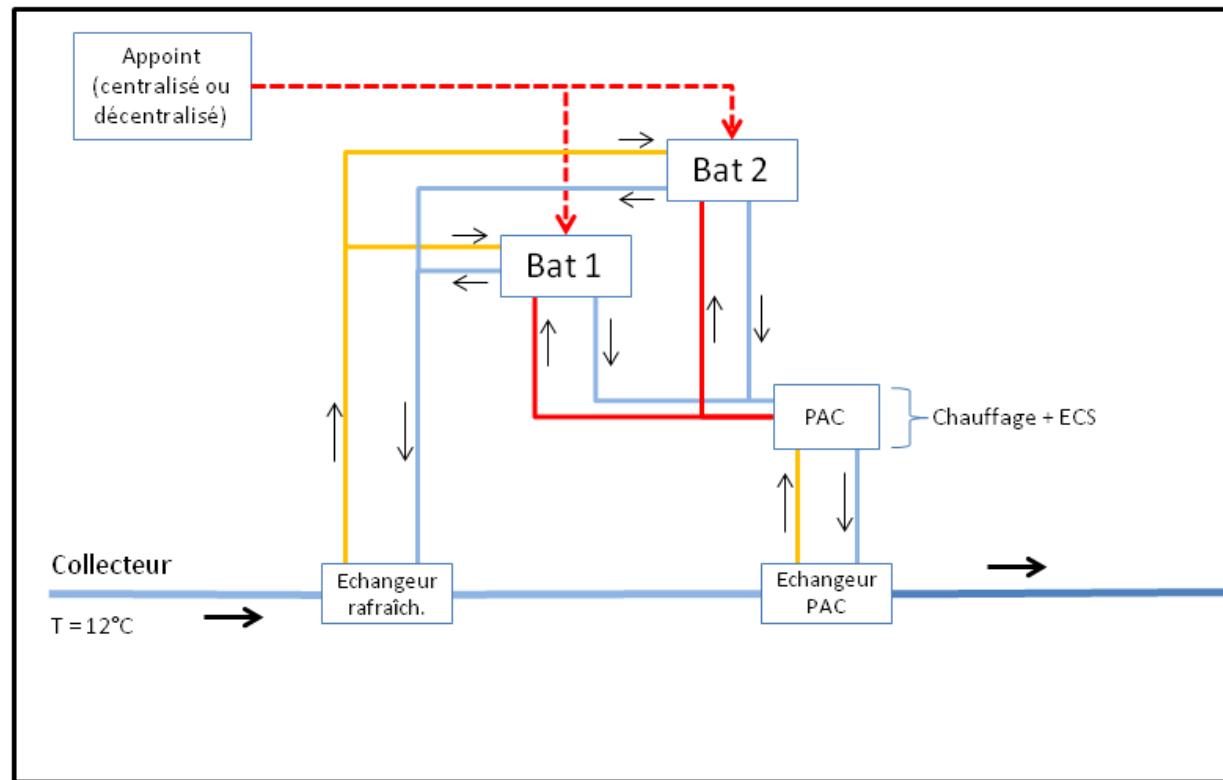
$Q_{TS,STEP}$ = Débit moyen par temps sec à la STEP [l/s]

c_p = Pouvoir calorifique de l'eau (4,186 [kJ/kg*K] pour une eau entre 0 et 20°C)

ΔT_{max} = variation de température maximale à la STEP [K]

Potentiel dans les collecteurs - scénario

- Prélèvement dans les collecteurs grâce à des PAC



Potentiel dans les collecteurs - paramètres

- Température minimale de l'eau à l'entrée de STEP: 10°C
- Ecart de température maximal: 0.5 K
- Débit par temps sec à la STEP
- Durée annuelle de fonctionnement des PAC: 2800 h/an
- Coefficient de performance des PAC: 3.5

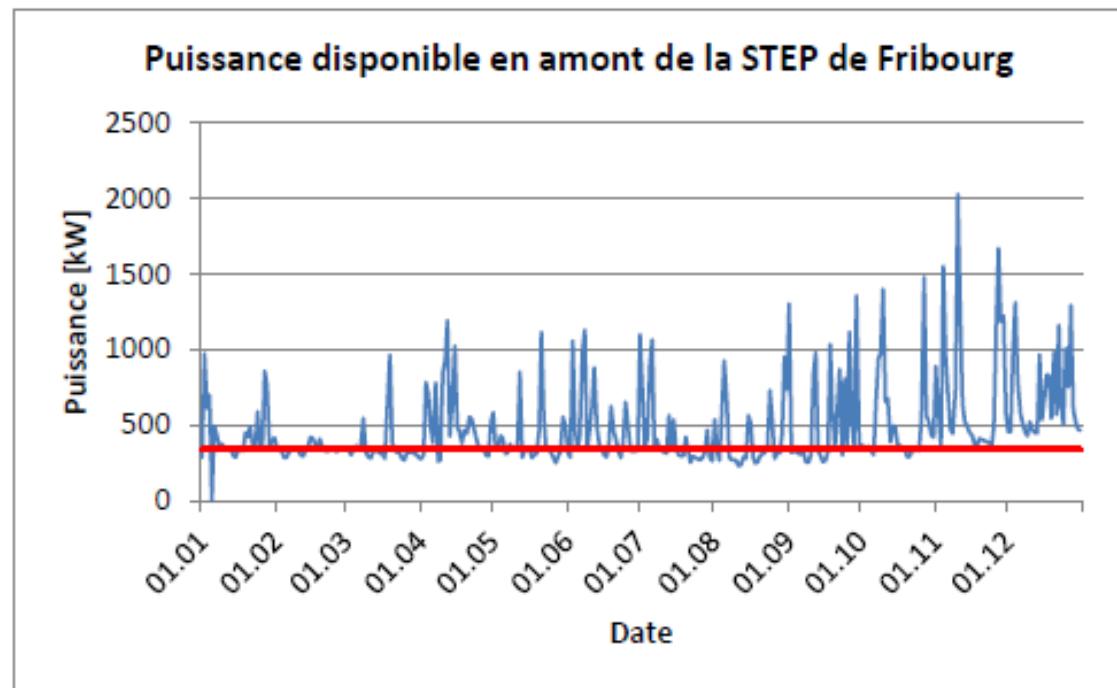
Potentiel dans les collecteurs - résultats

- Réseaux de collecteurs ayant un potentiel énergétique exploitable toute l'année

STEP	Potentiel énergétique théorique [MWh/an]	Puissance thermique extraite par l'(les)échangeur(s) [kW]	Puissance électrique fournie à la PAC [kW]	Puissance de chauffe à la sortie de la PAC [kW]	Puissance globale de chauffe (PAC + appoint) [kW]	Energie thermique extraite des eaux usées [MWh/an]	Energie électrique fournie à la PAC [MWh/an]	Energie thermique fournie par la PAC [MWh/an]	Energie thermique fournie par l'appoint [MWh/an]	Production de chaleur totale (PAC + appoint) [MWh/an]
Villars-sur-Glâne	1'000	99	39	138	418	276	110	386	129	515
Murten	787	79	32	111	337	222	89	311	104	415
Estavayer-le-Lac	805	73	29	102	308	203	81	285	95	380
Fribourg	4'282	341	136	477	1'447	955	382	1'337	446	1'782

Potentiel dans les collecteurs - résultats

- Exemple de la STEP de Fribourg

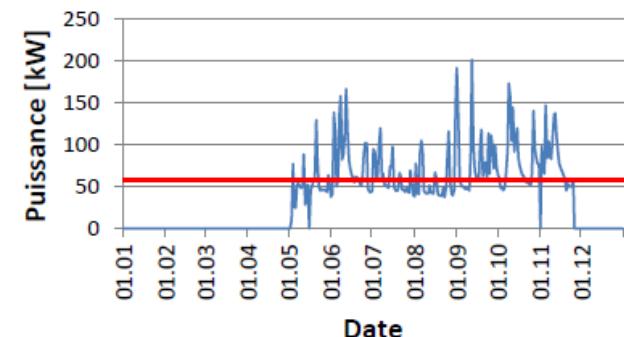


Potentiel dans les collecteurs - résultats

- Réseaux de collecteurs ayant un potentiel énergétique exploitable sur une période donnée

STEP	Période d'exploitation	Potentiel thermique théorique des eaux usées [MWh/an]	Puissance thermique extractible des eaux usées [kW]	Durée annuelle d'exploitation maximale [h/an]
Domdidier	Avril à décembre (9 mois)	282	38	6480
Charmey	Mai à novembre (7 mois)	350	58	5040
Zumholz	Mai à octobre (6 mois)	128	30	4320
Autigny	Mai à décembre (8 mois)	459	68	5760
Kerzers	Mars à novembre (9 mois)	674	89	6480
Ecublens	Avril à décembre (9 mois)	539	70	6480
Romont	Mars à novembre (9 mois)	684	85	6480
Broc	Mai à décembre (8 mois)	747	37	5760
Vuippens	Avril à décembre (9 mois)	1810	196	6480
Pensier	Avril à octobre (7 mois)	1122	127	5040
Marly	Avril à novembre (8 mois)	1353	179	5760

Puissance disponible en amont de la STEP de Charmey



Potentiel énergétique dans les collecteurs – volet 2

Sélection des collecteurs favorables:

- Collecteurs alimentant une STEP traitant un débit > 5000 EH
- Dans les limites cantonales
- Collecteurs à eaux usées et eaux mixtes
- Conduites à écoulement libre
- Conduites actuellement en service
- Identification des collecteurs dont le diamètre ≥ 50 cm

Diamètre du collecteur	Collecteur existant	Collecteur neuf/à remplacer
< 500 mm	Pas de valorisation possible	Pas de valorisation possible
Entre 500 et 800 mm	Echangeur externe	Echangeur interne (éléments préfabriqués)
> ou = 800 mm	Echangeur interne	Echangeur interne

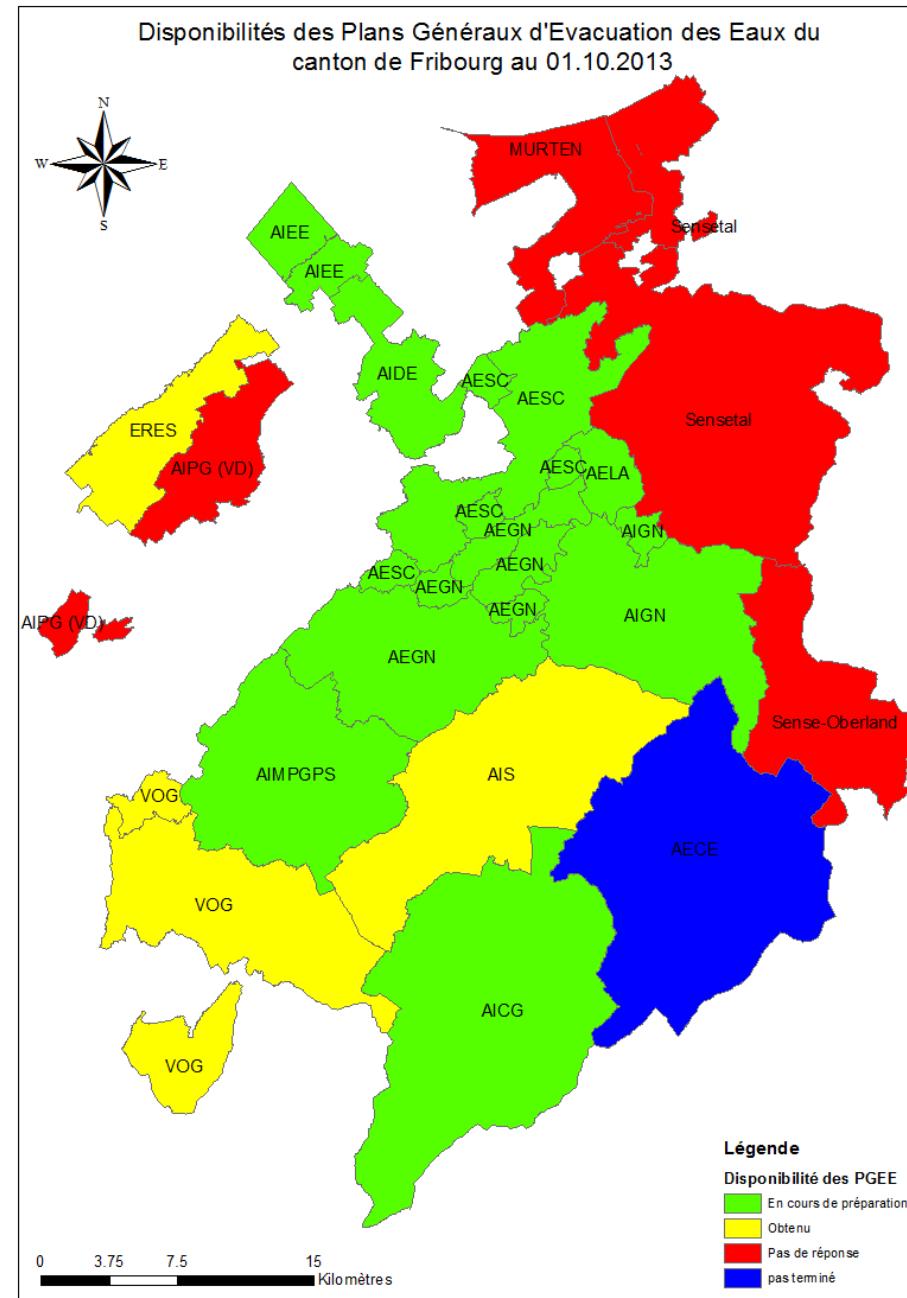
Potentiel énergétique dans les collecteurs – volet 2

Sélection des collecteurs favorables:

- Collecteurs à proximité de zones bâties ayant des bâtiments à demande de chaleur supérieure ou égale à 100 kW

Demande de chaleur	Distance maximale
< 100 kW	Pas de potentiel
100 kW	100 m
250 kW	200 m
> 500 kW	300 m

→ Géoréférencement des puissances chaudières du canton



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE
WWW.FR.CH/SdE

Dimensions des collecteurs:

La récolte des données PGEE et la centralisation des informations plus difficiles que prévu



Disponibilité des informations des PGEE

<i>Associations d'épuration</i>	<i>Cadastre eaux mixtes</i>	<i>Cadastre eaux usées</i>	<i>Distinction écoulement libre/forcé</i>	<i>Conduites hors service</i>	<i>Conduites futures</i>	<i>Dimensions des conduites</i>	<i>Échéances de révision des conduites</i>
Abwasserverband der Region Murten							
ERES - Association intercommunale d'épuration des eaux de la région d'Estavayer-le-Lac (Ribi)							
ERES - Association intercommunale d'épuration des eaux de la région d'Estavayer-le-Lac (Brasey)	X	X				X	X
AICG - Association intercommunale pour l'épuration des eaux usées du Comté de Gruyère							
AIS - Association intercommunale pour l'épuration des eaux usées du bassin Sionge	X	X				X	X
Zweckverband der Abwasserregion Sensetal							
VOG - Association intercommunale pour l'épuration des eaux usées de la Haute-Broye		X	X	X	X	X	
AEGN - Association pour l'épuration Glâne-Neirigue							
AIDE - Association intercommunale pour l'épuration des eaux de Domdidier et environs							
AIMPGPS - Association intercommunale pour l'épuration des eaux du Moyen Pays de Glâne et des communes de la paroisse de Sâles							
AIGN - Association intercommunale pour l'épuration des eaux usées du bassin versant Gérine-Nesslera							
Abwasser-Gemeindeverband Obere Bibera							
AESC - Association intercommunale pour l'épuration Sonnaz-Crausaz							
Abwasserverband der Region Sense-Oberland							
Abwasserverband Region Kerzers							

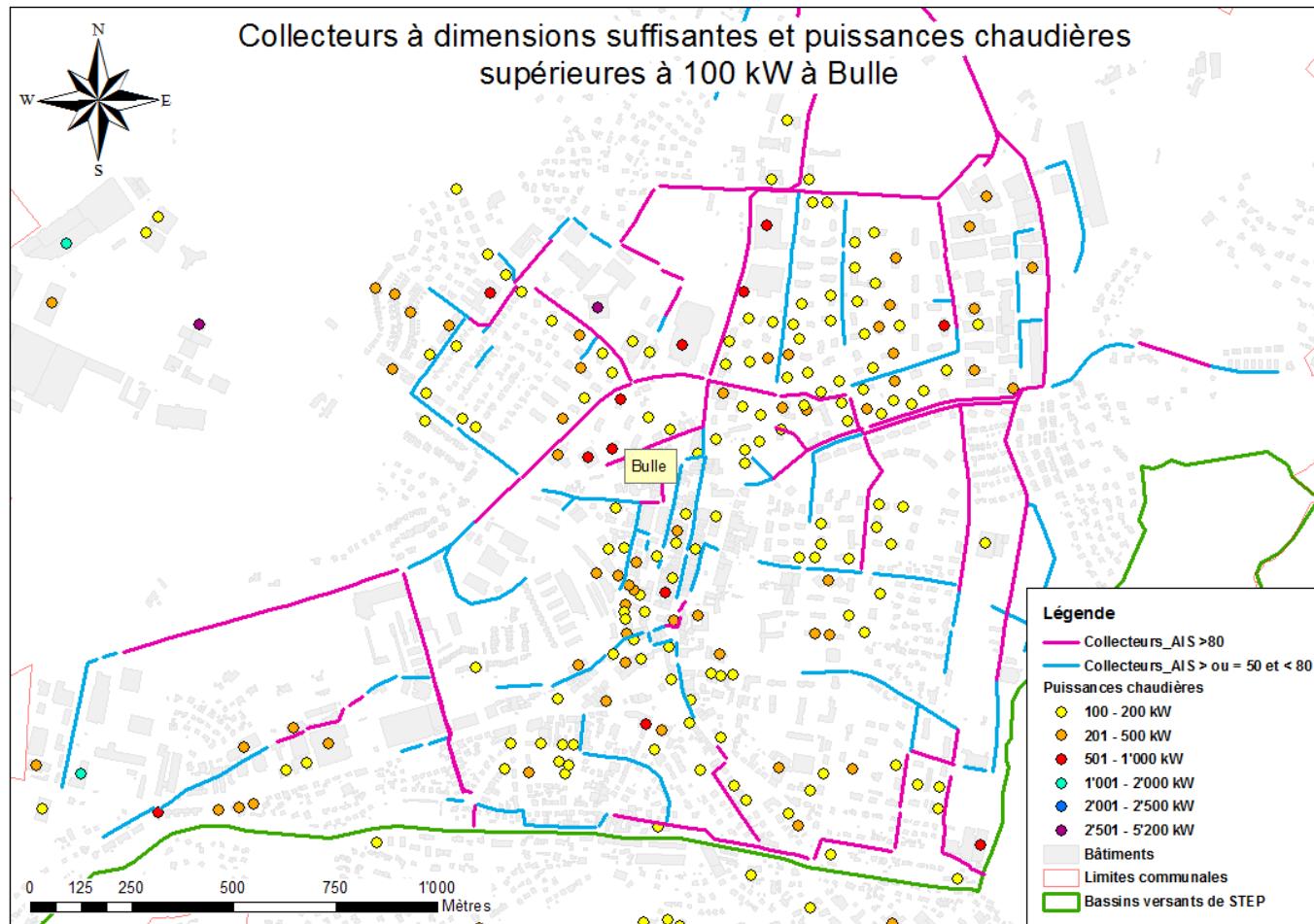
Potentiel énergétique dans les collecteurs – volet 2

- Géoréférencement des puissances chaudières > 100 kW à l'aide d'une liste fournie par le Service de l'Environnement

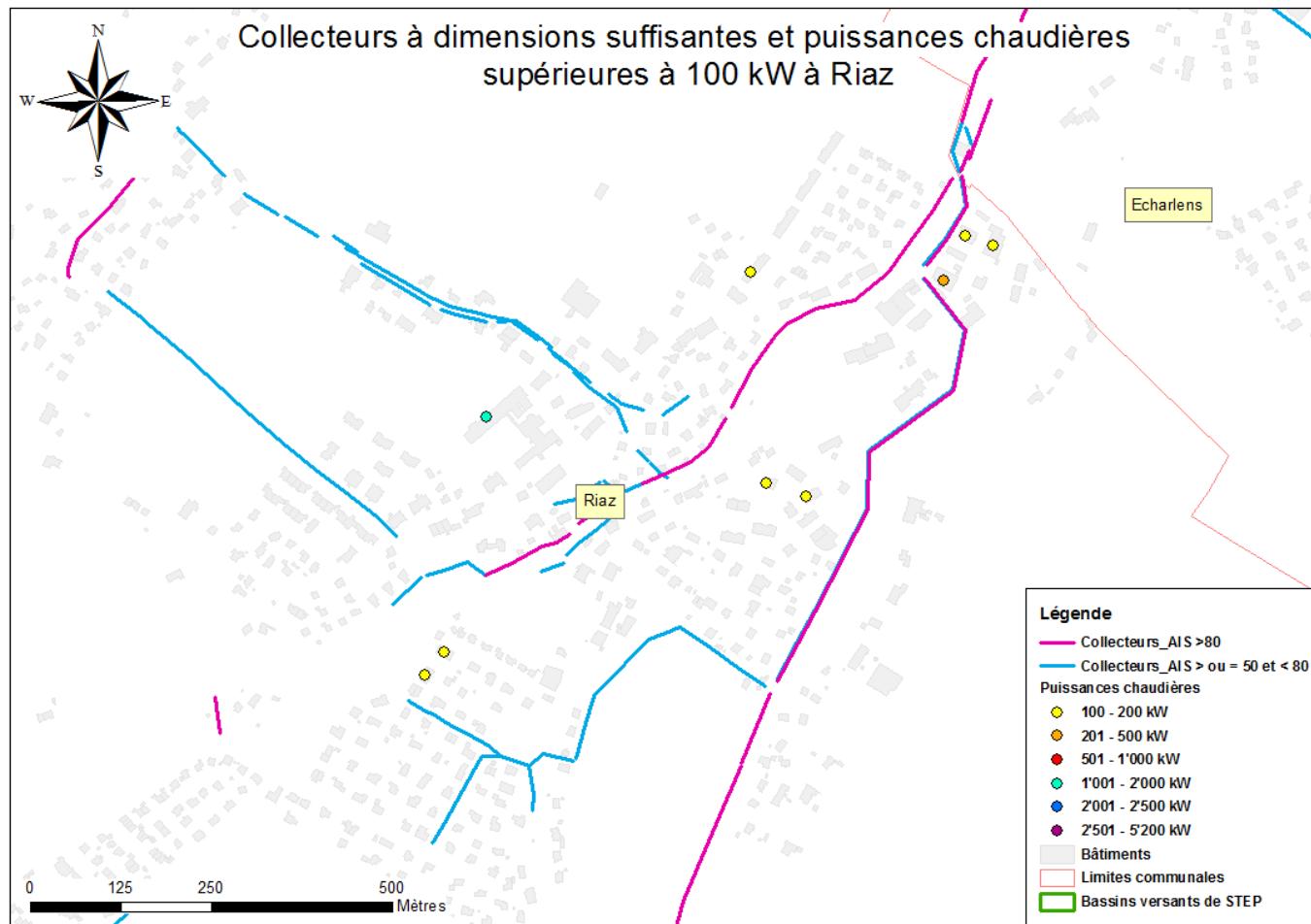
Statistiques du géoréférencement:

Classe de puissance chaudière	< 250 kW	250-500 kW	> 500 kW	Total
Total	2'131	684	312	3'127
Non géoréférencées	507	191	104	802
Pourcentage géoréférencées	76%	72%	67%	74%

Potentiel dans les collecteurs - résultats

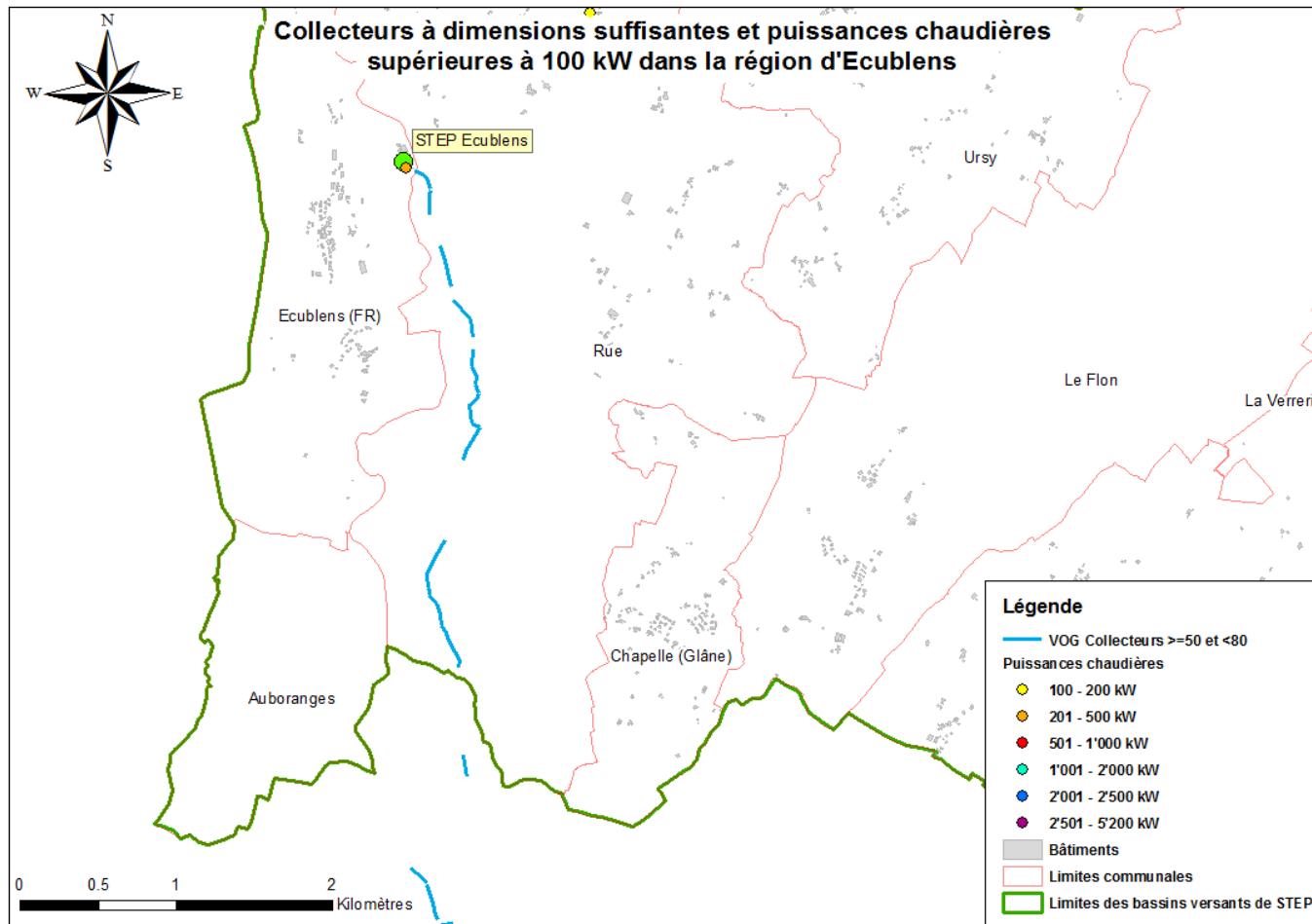


Potentiel dans les collecteurs - résultats

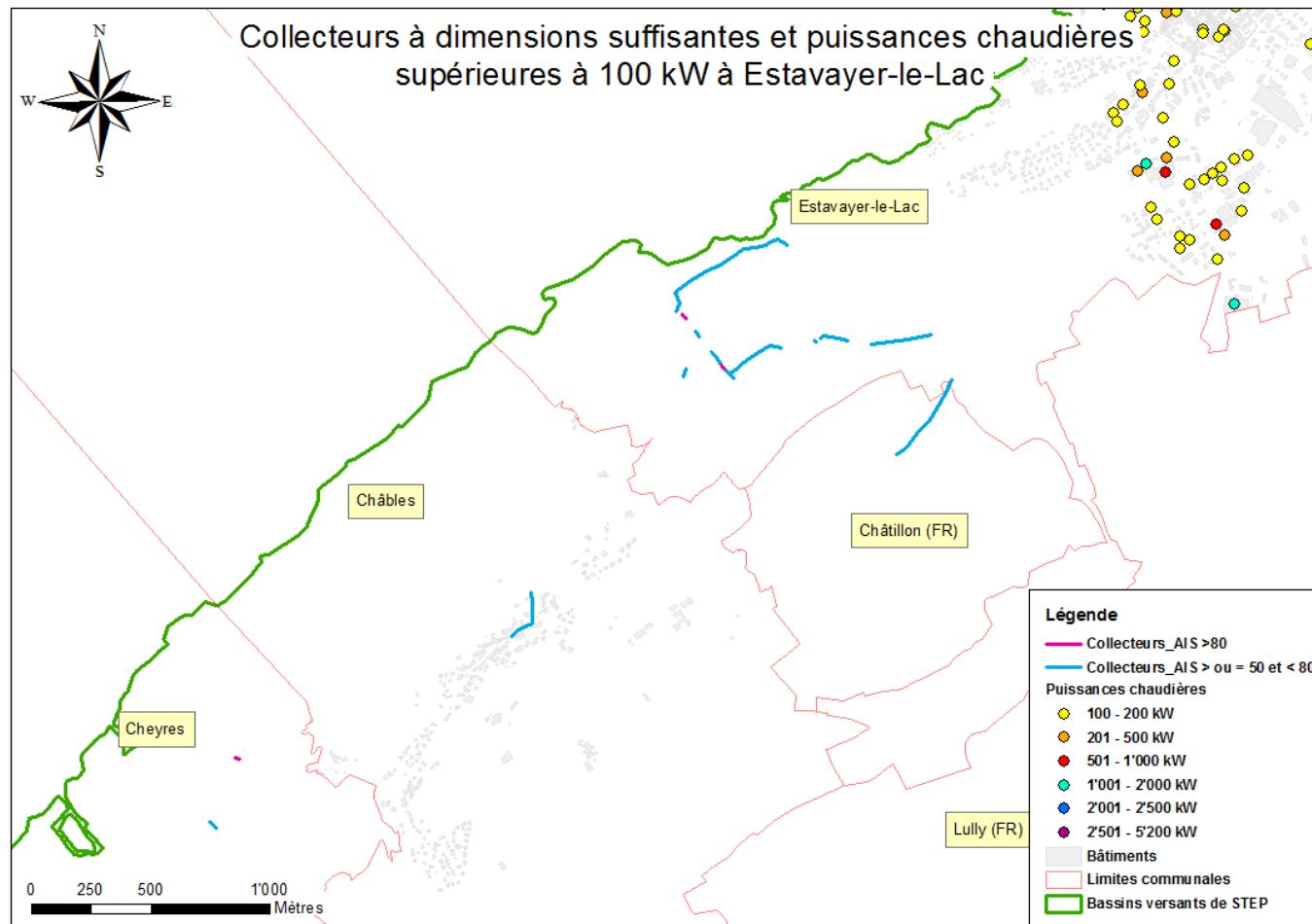




Potentiel dans les collecteurs - résultats



Potentiel dans les collecteurs - résultats



Potentiel dans les collecteurs - synthèse

- Synthèse des limites à la valorisation de la chaleur des eaux usées
 - Exigences relatives aux bâtiments
 - Exigences relatives aux eaux usées
 - Exigences relatives aux installations
 - Distances maximales
 - Ordre de priorité des divers systèmes de chauffage

Ordre des priorités des sources d'énergie indigènes et non indigènes, selon la politique énergétique

1. Source indigène de chaleur à haute température : *chauffage à distance utilisant la chaleur résiduelle.*
2. Source indigène de chaleur basse température : *eaux usées, eaux souterraines.*
3. Réseau existant de gaz naturel.
4. Energie renouvelable disponible dans la région : *bois indigène.*
5. Source non indigène de chaleur environnementale : *air ambiant, énergie solaire, géothermie.*
6. Mazout.

Potentiel dans les collecteurs - synthèse

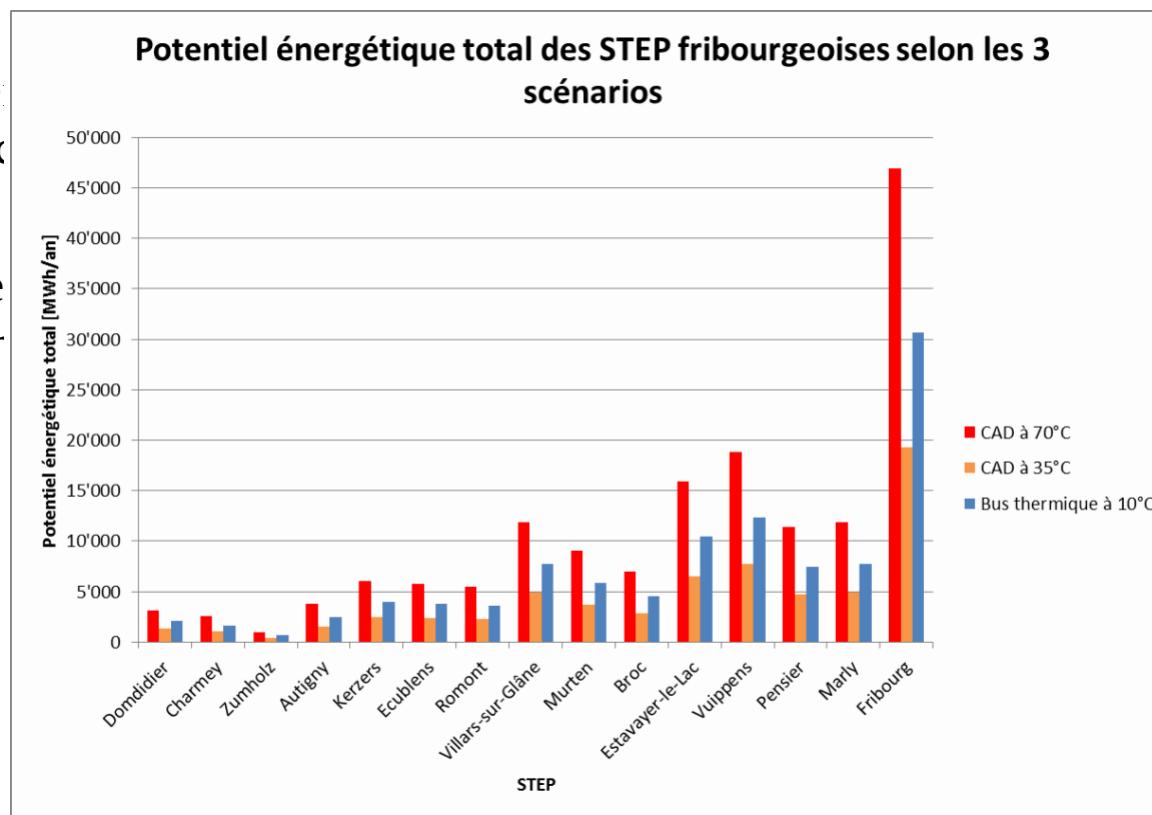
- Contraintes propres au canton de Fribourg

STEP	Equivalents-habitants hydrauliques	Etat
Charmey	8'260	Etude régionale en cours
Autigny	10'000	Transformation en cours
Kerzers	13'488	Etude régionale en cours
Vuippens	27'500	Transformation en cours

Conclusion

- Un potentiel énergétique important et disponible toute l'année à la sortie de 15 STEP

- Un pote
l'image de la
ville
- Lorsque
l'énergie
est moir



collecteurs à
l'égout pour
l'assainissement car elle



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE
WWW.FR.CH/SdE

Alexandre Epp et Loïc Darmayan
CREM – Centre de Recherches
Energétiques et Municipales
CP 256
Av. du Grand-St-Bernard 4
1920 Martigny

info@crem.ch
www.crem.ch