



CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS

Département de l'économie, de l'énergie et du territoire
Service de l'énergie et des forces hydrauliques
Departement für Volkswirtschaft, Energie und Raumentwicklung
Dienststelle für Energie und Wasserkraft

Rapport final

Identification des rejets thermiques industriels en Valais



Rapport public

Version 01 / 13 février 2012



Centre de Recherches Energétiques et Municipales

Spécifications

Mandant Service de l'énergie et des forces hydrauliques (SEFH) du Canton du Valais
Avenue du Midi 7
1950 Sion

Groupe d'accompagnement MM. Joël Fournier et Guy Jacquemet, ingénieurs au SEFH

Mandataire Centre de Recherches Energétiques et Municipales, CREM
Avenue du Grand-St-Bernard 4 – CP 256
1920 Martigny
Tél. : +41 27 721 25 40
Fax. : +41 27 721 25 39
www.crem.ch

Chef de projet et auteur : **M. Fabien Kuchler**, Chef de projet

Traitement des données et réalisation des cartes :

M. Thierry Bernhard, Ingénieur de projet

M. Mathias Cudilleiro, Civiliste

M. Loïc Darmayan, Ingénieur de projet

Sous la direction de : **M. Gaëtan Cherix**, Directeur

0. Résumé

Au printemps 2007, le Grand Conseil valaisan a accepté un postulat dont l'objet était de réaliser un cadastre des rejets thermiques industriels du Valais. Le Service de l'Energie et des Forces Hydrauliques a mandaté le Centre de Recherches Energétiques et Municipales (CREM) afin de réaliser ces travaux.

Quatre ans plus tard, les premiers résultats sont accessibles ; près de 200 industries ont été contactées afin de compléter ce cadastre et le constat premier est le suivant : malgré l'absence de quelques informations, il existe quelque 2'000 GWh/an d'énergie issue de **rejets thermiques dont plus de 1'500 GWh/an pourraient être encore valorisés**. La caractérisation et la géolocalisation de ces rejets permettront d'établir quels sont les projets avec les plus grands potentiels afin de pouvoir susciter l'attention de tous les acteurs du domaine de l'énergie : les collectivités, les industries, les privés etc., afin de valoriser cette énergie disponible et gratuite.

Objectif

L'établissement de l'inventaire des rejets industriels de chaleur disponibles sur le territoire cantonal est digne d'intérêt. L'avantage d'une géolocalisation de ces rejets réside dans la visualisation et l'identification des différentes zones de densité des rejets. A l'échelle d'une commune, la possibilité d'identifier des zones énergétiques sur le territoire offrira de nouvelles perspectives en matière d'approvisionnement en énergie.

La finalité du projet consiste donc en un outil SIG en ligne, permettant de visualiser les rejets thermiques. Basé sur la technologie arcGIS, cet outil web permet d'afficher la provenance des rejets thermiques sur la carte du Valais, de consulter leurs caractéristiques et de trouver la meilleure application favorisant une valorisation. La plateforme publique sera consultable par internet sous restriction que seuls les rejets dont les industries ont donné un accord de publication seront visibles.

Valorisation

L'utilisation d'un rejet thermique dépend en priorité de sa température. Des dégagements à haute température ou à température ambiante ne représentent pas un potentiel équivalent et il faut par conséquent identifier le meilleur moyen d'utiliser le contenu énergétique et exergetique du rejet en fonction de son état. La connaissance de sa forme (phase), de sa température moyenne et de son débit annuel, nous permet d'évaluer le potentiel énergétique qu'il est possible de valoriser pour chaque rejet.

L'utilisation des rejets peut être ainsi catégorisée en 6 types d'utilisation :

- Production d'électricité
- Production de froid
- Chauffage à distance
- Chauffage direct des bâtiments
- Eau chaude sanitaire
- Source pour des pompes à chaleur

Type d'utilisation	Température minimale idéale* du rejet thermique	Température minimale de la source froide pour une pompe à chaleur
Production d'électricité (processus haute température)	150°C	n.d.
Production de froid	100°C	n.d.
Chauffage à distance (CAD)	85°C	n.d.
Chauffage / Eau chaude sanitaire (ECS)	60°C / 65°C	10°C

Résultats et perspectives

Vu la récente décision du conseil fédéral sur le nucléaire, l'approvisionnement énergétique devra faire face à de nombreux défis dans les années à venir. En plus de grandes centrales, il faudra compter sur le développement d'énergies renouvelables et sur la valorisation de rejets thermiques.

Ces derniers étaient encore peu connus du fait qu'il n'existait jusqu'à ce jour, aucun document permettant de recenser et quantifier les données territoriales.

Les données obtenues auprès des industries ont maintenant permis de déterminer qu'il existe un potentiel significatif pour les différentes applications définies précédemment.

Les rejets thermiques doivent dès lors être valorisés de manière cohérente, au travers de projets à plusieurs échelles et en fonction de leur localisation. Les différentes politiques énergétiques régionales vont permettre de structurer la priorisation des actions en vue de déclencher des projets.

Les communes, quant à elle, peuvent aussi prendre part à la réalisation de cet objectif et ont le pouvoir de prescrire aux propriétaires l'obligation de raccorder leurs bâtiments à un réseau ou une installation commune à plusieurs bâtiments lorsque l'énergie distribuée est produite principalement au moyen d'énergies renouvelables ou de rejets de chaleur. Elles ont ainsi le devoir d'évaluer la faisabilité des projets dont l'échelle locale permettrait de déployer par exemples des petits réseaux de CAD.

Application	Région	Potentiel	Total
Electricité	Monthey	16.5 GWh	16.5 GWh
Froid	Monthey	1.4 GWh	3.8 GWh
	Martigny	2.4 GWh	
CAD	Monthey	463.5 GWh	604.3 GWh
	Martigny	2.8 GWh	
	Sion	138 GWh	
Chauffage et ECS	Monthey	3.7 GWh	16.3 GWh
	Martigny	8.1 GWh	
	Granges	0.6 GWh	
	Viège	3.9 GWh	
Réseau basse température/PAC	Monthey	106 GWh	940.3 GWh
	Sierre	126 GWh	
	Steg	28.6	
	Viège	679.7	
Total			1581.2 GWh

Finalement, chaque niveau de décision doit influencer les projets qui les concernent :

- Projets de CAD importants : dans ce cas de figure, le canton doit pouvoir soutenir et planifier le développement de ces projets, qui représentent un potentiel important pour des régions s'étendant sur plusieurs communes. Les régions de Monthey, Viège et Sierre ont une stratégie d'approvisionnement énergétique qui valorise les rejets thermiques. L'UTO à Uvrier, de son côté, avance aussi vers une telle démarche et le présent rapport doit contribuer à encourager ce type de projets vers une réalisation, en mettant en avant la quantité d'énergie actuellement disponible qui pourrait être utilisée.
- Projets de CAD à l'échelle de quartiers ou à basse température avec utilisation de pompes à chaleur : dans ce cas de figure, en plus d'un soutien du canton, les collectivités doivent absolument prendre à leur charge ces projets en les intégrant dans leur planification énergétique territoriale. Ceci doit être fait en coordination avec les industries dont sont issus les rejets. Il est important de noter que le pouvoir des collectivités en termes de décisions liées au territoire est très important dans la mesure où celles-ci ont le devoir de planifier un développement territorial cohérent.
- Projets de petite dimension : dans ce cas, les collectivités doivent intervenir pour soutenir les industries désirant valoriser leurs rejets de façon appropriée. L'évaluation des possibilités visant à établir des nouveaux modèles de contrat pour la vente ou l'échange d'énergie avec les entités environnantes doit être envisagée. Le projet d'écologie industrielle du canton devrait pouvoir donner quelques lignes directrices et fournir un support aux industries intéressées via l'antenne de promotion économique du canton.
- Projets industriels : la mise à profit des rejets thermiques pour des applications industrielles (production de froid ou d'électricité) doit être portée par les industries en étroite collaboration avec le canton et les collectivités. De grandes quantités d'énergie sont en jeu et il est nécessaire de connaître le contexte local pour valoriser celles-ci à bon escient. La démarche devrait être initiée par le canton.

TABLE DES MATIERES

0.	Résumé	3
1.	Contexte	8
2.	Objectifs du projet	10
3.	Résultats	14
3.1	Méthodologie générale	14
3.1.1	Production d'électricité	14
3.1.2	Production de froid	16
3.1.3	Chauffage à distance	17
3.1.4	Chauffage	18
3.1.5	Eau chaude sanitaire	18
3.1.6	Pompe à chaleur :	18
3.2	Forme des rejets	19
3.2.1	Effluents gazeux	20
3.2.2	Air	20
3.2.3	Eau	20
3.2.4	Vapeur d'eau	20
3.3	Valorisation des rejets thermiques	21
3.3.1	Etats des lieux	21
3.3.2	Valorisation des rejets suivant les différents types d'applications	24
3.3.3	Valorisation des rejets industriels envisagées/en projet	26
4.	Analyse et propositions de valorisation	28
4.1	Les multiples solutions de CAD dans la région chablaisienne	28
4.2	Le potentiel de CAD dans la région sédunoise	31
4.3	Le potentiel encore présent dans la région de Viège	32
4.4	L'évaluation d'un CAD dans la région sierroise	32
4.5	Les projets de CAD à l'échelle de quartiers	33
4.6	Les projets d'utilisation en direct de la chaleur issue des rejets	33
4.7	Les projets de valorisation pour produire du froid ou de l'électricité	33
5.	Perspectives	35
	Annexes	39
A.	Données à disposition	39
B.	Récolte de données	41
C.	Identification des producteurs potentiels de rejets thermiques	44
D.	Caractérisation des rejets des producteurs identifiés	46
E.	Courrier officiel du chef du Département (DEET) du canton du Valais	49
F.	Formulaire pour la base de données des rejets	51
G.	Aide à la récolte des données	53
H.	Méthodologie pour le calcul du potentiel	56
I.	Tableau récapitulatif de température des rejets et de l'état de valorisation	60
J.	Tableau récapitulatif des projets de valorisation des rejets	61
K.	Cartes réalisées	62

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : zones industrielles valaisannes émettant des rejets thermiques	7
Figure 2 : Présentation du principe des flux énergétiques et des rejets thermiques d'un processus dans le diagramme de Sankey(Source : Récupération de chaleur et utilisation des rejets thermiques, RAVEL).....	11
Figure 3 : vue de l'outil avec sélection des rejets thermiques et de leur niveau de température	12
Figure 4 : Vue de l'outil, sélection des rejets thermiques valorisables pour des pompes à chaleur	13
Figure 5 : vue de de l'outil, visualisation des caractéristiques des rejets thermiques d'une entreprise	13
Figure 6 : schéma d'un cycle de Rankine	15
Figure 7 : Cycle ORC pour la production de chaleur et d'électricité combinées à partir de biomasse	15
Figure 8 : Diagramme T- s de fluides ORC et de l'eau	15
Figure 9 : alternatives pour produire du froid	16
Figure 10 : Température et forme des rejets industriels en Valais	22
Figure 11 : Synergies entre l'usine d'incinération KVA et Lonza	23
Figure 12 : Rejets industriels valorisés en Valais	23
Figure 13 : Valorisation des rejets pour des applications de type froid	24
Figure 14 : Valorisation des rejets pour des applications de type CAD	25
Figure 15 : Valorisation des rejets pour des applications de type chauffage ou ECS	25
Figure 16 : Valorisation des rejets pour des applications de type PAC.....	26
Figure 17 : Projets de valorisation des rejets industriels en Valais	27
Figure 18 : plan CAD alimenté par la SATOM	28
Figure 19 : Exploitation potentielle des rejets de TAMOIL	29
Figure 20 : Exploitation potentielle des rejets de CIMO	30
Figure 21 : Projet d'agglomération du Châblais	31
Figure 22 : Exemple d'utilisation des rejets des industries de Sierre pour alimenter un CAD	32
Figure 23 : consommation d'énergie du Valais et potentiel de production d'énergie renouvelable, SEFH, canton du Valais	36
Figure 24 : Symbologie utilisée pour les représentations cartographiques	46
Figure 25 : Cartographie globale des rejets thermiques présents en Valais, état au 31 août 2010	47
Figure 26 : Cartographie des rejets thermiques de la région de Martigny, état au 31 août 2010.....	48
Figure 27 : Exemple d'affichage d'un industriel émettant plusieurs rejets thermiques de natures différentes	48



Figure 1 : zones industrielles valaisannes émettant des rejets thermiques

1. Contexte

Approvisionnement énergétique suisse et impact environnemental

Le début du 21^{ème} siècle laissera vraisemblablement dans l'histoire une empreinte de la prise de conscience collective des enjeux énergétiques et climatiques. La sécurité d'approvisionnement en énergie de notre société est remise en cause à moyen terme, voire à court terme si la problématique climatique est prise en compte. Les récentes découvertes scientifiques et notamment les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC - (IPCC, 2010) amènent en effet la presse et l'opinion publique internationales à réaliser les conséquences de notre mode de consommation actuel, notamment concernant l'influence anthropogénique sur le climat. Les gouvernements à travers le monde prennent conscience de l'impact d'une éventuelle pénurie d'énergie et de leurs responsabilités, à savoir de limiter notre consommation de ressources actuelle de manière à ne pas compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins. Sur cette base, d'ambitieuses politiques énergie-climat sont mises en place en Suisse, tant au niveau national que cantonal.

En parallèle, la récente catastrophe de Fukushima a eu des retombées fondamentales quant au thème de la production d'énergie. La Confédération a ainsi décidé de se passer du nucléaire dès 2035. Afin de pouvoir garantir la sécurité d'approvisionnement en électricité à moyen et long terme, et en tenant compte des objectifs climatiques fixés tant dans le cadre d'accords internationaux que sur la base d'objectifs volontaires, des solutions innovantes devront être rapidement développées et mises en œuvre. Elles devront permettre de produire de l'électricité pour substituer l'approvisionnement nucléaire actuel, d'augmenter l'efficacité énergétique globale notamment pour diminuer les consommations d'électricité, et enfin de diminuer très largement les émissions de gaz à effet de serre.

Les rejets thermiques, source d'énergie

Parmi les options possibles pour améliorer les performances des systèmes énergétiques à l'échelle de collectivités locales, la valorisation des rejets thermiques à différents niveaux de température, provenant notamment d'industries, d'entreprises, de stations d'épuration, etc., semble particulièrement prometteuse.

Dans la situation actuelle, bon nombre d'industries rejettent de la chaleur dans l'environnement, sous forme solide, liquide ou gazeuse. Ces rejets sont produits à des températures souvent inférieures à celles exigées pour une valorisation directe par l'émetteur, mais la température de ces rejets peut néanmoins être suffisante pour qu'ils soient utilisés par d'autres consommateurs situés à proximité. La substitution de consommation d'énergie fossile par la valorisation de rejets thermiques peut largement contribuer aux objectifs de politiques énergie-climat fixés par les autorités nationales, cantonales et communales.

Caractériser les rejets et les localiser pour identifier des projets

L'objectif de ce projet est d'identifier, de caractériser et de cartographier les principaux rejets thermiques industriels en Valais afin d'inciter les partenaires locaux à étudier les opportunités de valorisation. Il s'agit aussi d'imaginer des projets d'envergures au niveau des agglomérations et d'inciter les collectivités à repenser l'approvisionnement au niveau local, dans le cadre de rénovations ou de constructions de nouveaux quartiers par exemple. Les projets de valorisation des rejets thermiques déjà en cours ou en réflexion seront aussi recensés afin d'évaluer leur caractère exemplaire en vue de répliquer la démarche sur des territoires similaires ou de susciter l'intérêt d'industries d'autres milieux ou régions géographiques en Valais.

Ce projet correspond à une des mesures prioritaires du Service de l'énergie et des forces hydrauliques du Canton du Valais (SEFH). Il constitue une réponse au postulat accepté par le Grand Conseil valaisan au printemps 2007 sur ce sujet :

« Certaines activités industrielles génèrent des rejets de chaleur importants sans que ceux-ci soient valorisés. De nouvelles activités industrielles pourraient avantageusement bénéficier de cette énergie perdue, et ainsi avoir un intérêt à s'établir dans notre canton. D'autre part, cette énergie pourrait aussi être utilisée pour chauffer des bâtiments. Le projet d'usine à pellets dans le Valais romand, qui a bien mis en évidence cette problématique, ou l'exemple de Kalundborg au Danemark, devrait nous inciter à être plus actif dans l'écologie industrielle. Afin de disposer de données fiables dans ce domaine, nous demandons au Conseil d'Etat, l'établissement d'un cadastre public des rejets de chaleur importants dans le canton du Valais et des possibilités de les valoriser. »

2. Objectifs du projet

Les objectifs cette étude sont multiples :

- identifier les rejets industriels du territoire valaisan ;
- structurer les données récoltées auprès des industries ;
- évaluer le potentiel de valorisation des rejets thermiques ;
- mettre à disposition un outil en ligne pour visualiser et consulter les données relatives aux rejets thermiques.

Identification des rejets industriels sur le territoire cantonal

Il s'agit dans un premier temps d'identifier les rejets de chaleur importants offrant un potentiel de valorisation (en termes de quantité et de qualité). A cet effet, un recensement des entreprises établies sur le territoire cantonal émettant potentiellement des rejets de chaleur a été établi. Ces informations ont été trouvées soit par rapport à leur consommation d'énergie (grands consommateurs) soit en consultant différents registres (commerce, industrie) là où la dénomination de l'entreprise semblait avoir un lien direct avec l'énergie et donc éventuellement produisant des rejets thermiques.

En effet, une industrie produit selon des exigences et des contraintes environnementales ou techniques en consommant de l'énergie et des matières premières. Chaque entreprise fonctionne de manière totalement indépendante, et n'accorde finalement que peu d'importance au contenu énergétique de ses rejets.

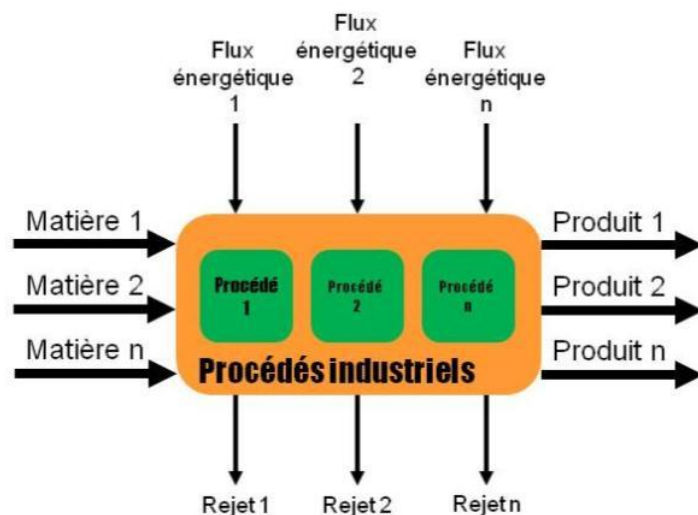
Même si un rejet thermique n'est pas exploitable au sein d'une entreprise ou dans un cercle géographique proche, il pourrait toutefois être valorisé chez un tiers. De tels "échanges d'énergie" constituent une source de revenu non négligeable et favorisent la réduction de l'impact environnemental des entreprises concernées.

Dans le cadre de son plan directeur cantonal, le canton du Valais a adopté à la fin 2008 une fiche de coordination relative à l'approvisionnement en énergie. Celle-ci propose notamment de :

- promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables et indigènes ainsi que celle des rejets de chaleur en veillant à l'intégration des nouvelles installations sur le territoire;
- encourager la réalisation de projets énergétiques, en particulier la maîtrise de l'énergie, la valorisation des rejets de chaleur et le développement des énergies renouvelables, à l'aide de programmes d'incitations;
- recenser les rejets de chaleur industriels afin de trouver des synergies avec des consommateurs potentiels.

Structuration des données récoltées

Dans un deuxième temps, une structure de donnée a été élaborée, testée avec l'aide de quelques entreprises pilotes et validée en collaboration avec le SEFH. Cette structuration a permis de demander aux entreprises concernées les renseignements pertinents permettant de caractériser les rejets du point de vue de leur nature, des quantités, des niveaux de température, du profil saisonnier, et ce qui a déjà été réalisé ou pensé pour valoriser les rejets etc. Ceci a permis d'évaluer les



potentiels d'énergie disponible en fonction de différentes applications (et niveaux de température) comme le chauffage à distance, de la chaleur pour le conditionnement des locaux et la production d'eau chaude sanitaire, des potentiels de production de froid ou encore de l'énergie pour élever les températures via l'utilisation de pompes à chaleur. Ce choix a été déterminé d'une part afin de valoriser au mieux les rejets dont les niveaux de températures seraient plus propices à l'une ou l'autre des applications recherchées, mais aussi de sorte à ce que lorsqu'une application est sélectionnée, il soit possible de connaître la quantité d'énergie agrégée de tous les rejets à proximité.

Etant donné que tous les rejets n'ont pas les mêmes propriétés physiques (température, pression, forme), le contenu énergétique peut fortement varier en fonction de l'application et donc de son niveau de température désiré. Ainsi dans certains cas, il n'est possible que de valoriser l'énergie en interne, alors que dans d'autres, il faut identifier des zones à haute densité de besoins énergétiques pour récupérer au maximum les rejets thermiques.

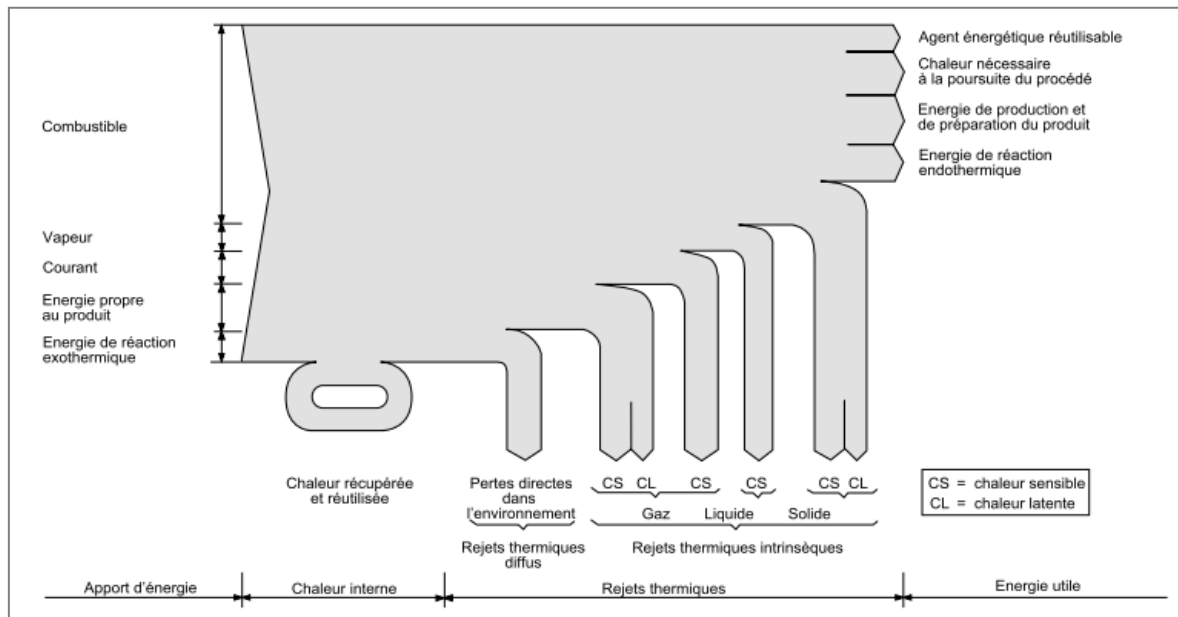


Figure 2 : Présentation du principe des flux énergétiques et des rejets thermiques d'un processus dans le diagramme de Sankey (Source : Récupération de chaleur et utilisation des rejets thermiques, RAVEL)

Evaluer les potentiels d'utilisation

Enfin, selon la localisation des émetteurs de rejets et la caractérisation des rejets, il a été possible d'évaluer sommairement l'adéquation entre les rejets et les consommateurs de chaleur existants ou projetés coexistant dans le même voisinage.

L'établissement de l'inventaire des rejets industriels de chaleur disponibles sur le territoire cantonal est digne d'intérêt. L'avantage d'une géolocalisation de ces rejets réside dans la visualisation et l'identification des différentes zones de densité des rejets. A l'échelle d'une commune, la possibilité d'identifier des zones énergétiques sur le territoire offrira de nouvelles perspectives en matière d'approvisionnement en énergie.

L'analyse du contexte industriel permettra d'identifier rapidement les synergies énergétiques possibles entre les différentes industries voisines, favorisant ainsi une écologie industrielle. Celle-ci est fondée sur la mise en place d'une gestion innovante des flux de matières premières et d'énergie, dans le but d'accroître la performance environnementale des entreprises, tout en consolidant et en améliorant leur compétitivité économique. Une telle démarche intégrera une logique de management énergétique qui devrait permettre la création de nouveaux postes de travail à haute valeur ajoutée.

Désireuses de pouvoir bénéficier d'une énergie disponible à des prix maîtrisés, des industries pourraient avoir un intérêt à s'établir dans notre canton. L'implantation de nouvelles industries permettrait de créer une émulation sur les sites industriels.

Les objectifs définis dans le cadre du mandat pour l'établissement d'un cadastre cantonal des rejets thermiques ne peuvent être atteints qu'avec la contribution de l'ensemble des industries valaisannes. En contrepartie, celles-ci pourraient bénéficier des avantages suivants :

- connaissance renforcée des rejets thermiques in situ ;
- possibilité de valoriser économiquement et énergétiquement leurs rejets de chaleur ;
- création d'emplois liés au management énergétique et à la gestion des rejets ;
- soutien financier pour la réalisation de travaux de valorisation des rejets de chaleur sur les projets importants.

Le cadastre des rejets thermiques industriels : un outil disponible en ligne

La finalité du projet consiste en un outil SIG en ligne, permettant de visualiser les rejets thermiques.

Basé sur la technologie arcGIS, cet outil web permettra d'afficher la provenance des rejets thermiques sur la carte du Valais, de consulter leurs caractéristiques et de trouver la meilleure application favorisant une valorisation. La plateforme publique sera consultable par internet sous restriction que seuls les rejets dont les industries ont donné un accord de publication seront visibles. Les mandants auront accès à toutes les données pour identifier les grands projets.

Les fonctionnalités sont :

- Visualisation sur une carte des rejets thermiques et de leur niveau de température

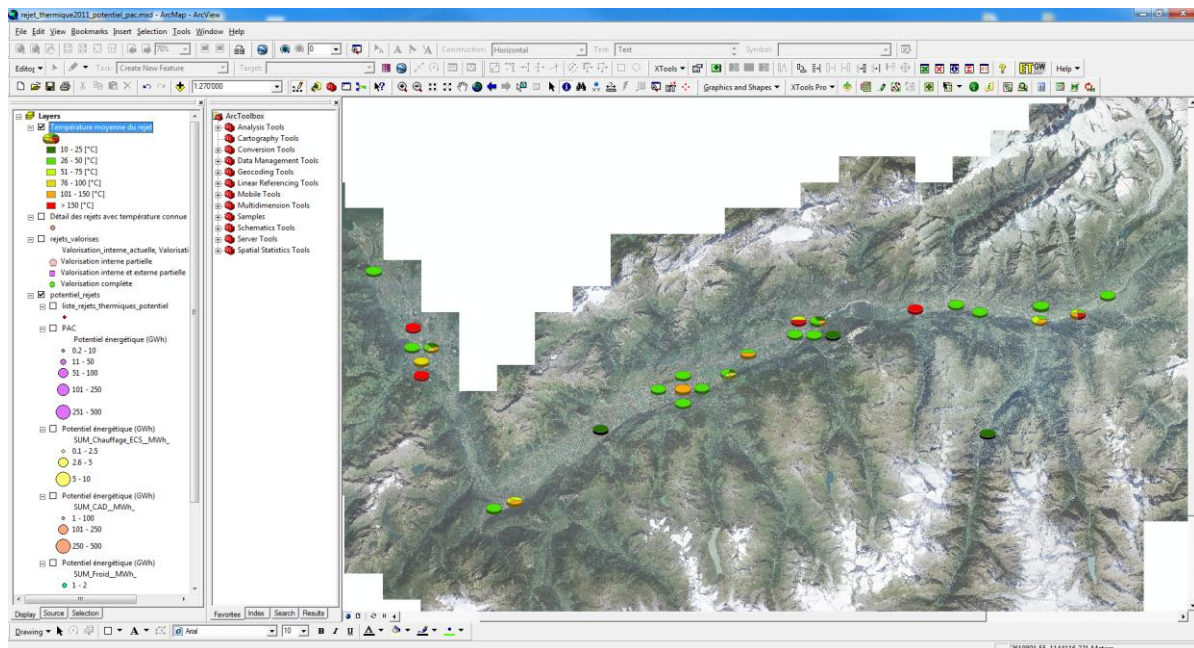


Figure 3 : vue de l'outil avec sélection des rejets thermiques et de leur niveau de température

- Choix d'applications pour la valorisation des rejets thermiques (production d'électricité, de froid, de chauffage et ECS etc.)

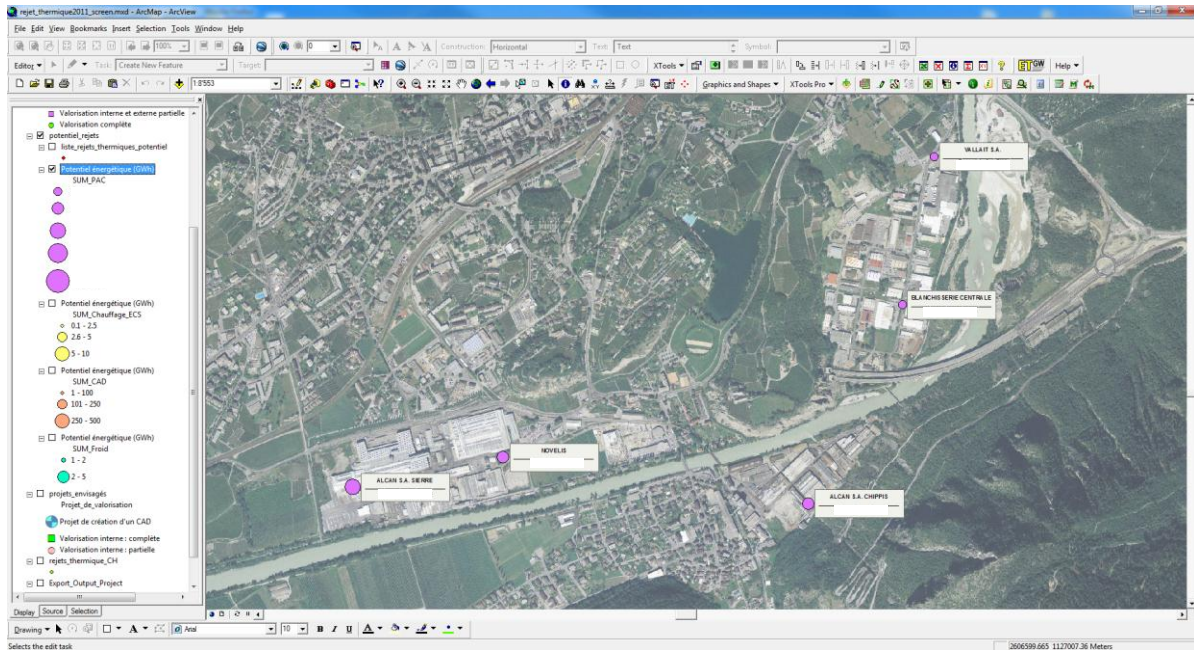


Figure 4 : Vue de l'outil, sélection des rejets thermiques valorisables pour des pompes à chaleur

- Affichage des caractéristiques (saisonnalité, type de rejet etc.)

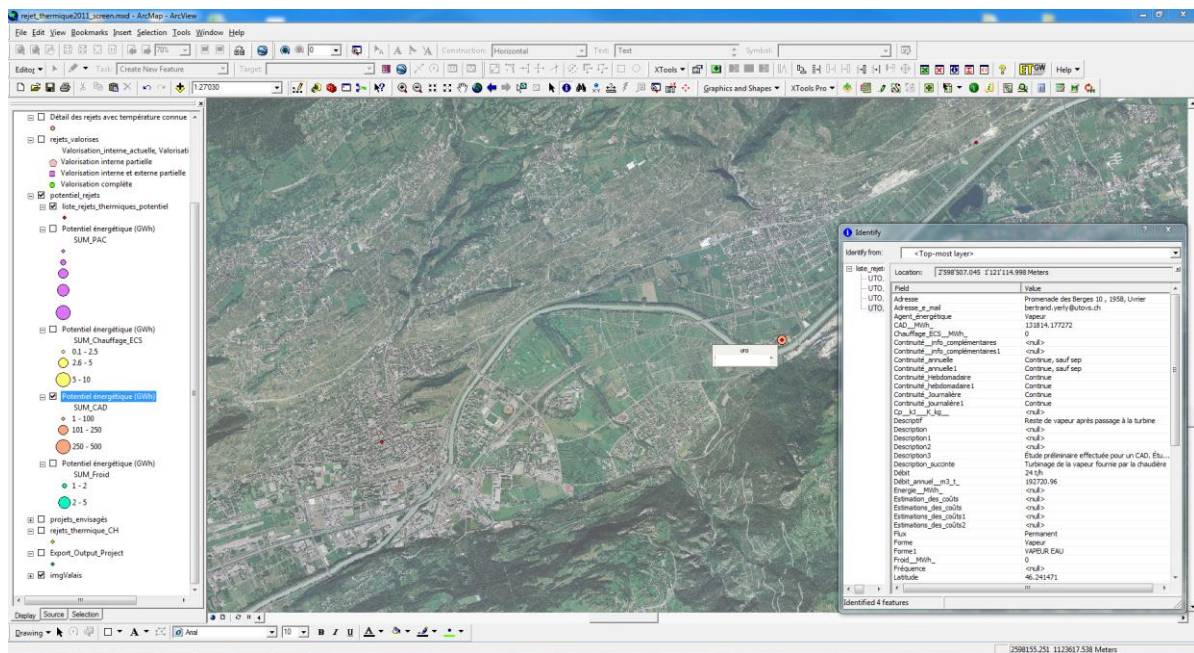


Figure 5 : vue de l'outil, visualisation des caractéristiques des rejets thermiques d'une entreprise

L'outil SIG contient aussi toutes les fonctionnalités usuelles comme le zoom, le déplacement, la sélection de couches etc.

Il s'agit d'un outil de travail et une version publique devra faire l'objet de développements complémentaires pour pouvoir être pris en main facilement par les futurs utilisateurs.

3. Résultats

Les données présentées dans les paragraphes suivants se basent sur différentes hypothèses de calcul. Il y a d'une part des niveaux de température en fonction des applications souhaitées pour la valorisation des rejets thermiques et d'autre part des hypothèses quant aux conditions chimiques et physiques des flux. Ainsi, un même rejet aura différents potentiels de valorisation selon l'application choisie.

3.1 Méthodologie générale

Valorisation des rejets en fonction de leur niveau de température

L'utilisation d'un rejet thermique dépend en priorité de sa température. Des dégagements à haute température ou à température ambiante ne représentent pas un potentiel équivalent et il faut par conséquent identifier le meilleur moyen d'utiliser le contenu énergétique et exergétique du rejet en fonction de son état. La connaissance de sa forme (phase), de sa température moyenne et de son débit annuel, nous permet d'évaluer le potentiel énergétique qu'il est possible de valoriser pour chaque rejet.

Afin de séparer les rejets thermiques en fonction de leur utilisation potentielle, des températures minimales ont été fixées pour chaque type d'utilisation :

Type d'utilisation	Température minimale idéale* du rejet thermique	Température minimale de la source froide pour une pompe à chaleur
Production d'électricité (processus haute température)	150°C	n.d.
Production de froid	100°C	n.d.
Chauffage à distance (CAD)	85°C	n.d.
Chauffage / Eau chaude sanitaire (ECS)	60°C / 65°C	10°C

*Les niveaux de température mentionnés dans le précédent tableau ne sont pas exclusifs mais représentent les valeurs idéales pour chaque type d'utilisation. D'autres niveaux de température impliquent des technologies plus pointues ou des démarches plus restrictives en matière d'exploitation.

Une fois les températures minimales des rejets fixées par type d'utilisation, la température froide du rejet, soit après valorisation de l'énergie thermique, doit être définie. Ainsi le potentiel d'énergie thermique à disposition peut être calculé. Il a été considéré dans la plupart des cas que l'énergie contenue dans les rejets était récupérée par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur du fait des problèmes de pollution. Les schémas ci-dessous récapitulent les hypothèses prises :

3.1.1 Production d'électricité

Turbiner un gaz haute/moyenne température pour produire de l'électricité

L'utilisation des rejets thermiques pour produire de l'électricité peut être réalisée de deux façons différentes :

- avec un cycle de Rankine utilisant de la vapeur (typiquement une turbine à vapeur) ;
- avec un cycle de Rankine organique (ORC).

Dans le premier cas, par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, le cycle d'eau se vaporise dans un générateur de vapeur, généralement à plus de 300°C et à des pressions importantes (> 30bars). Puis il est détendu dans la turbine de détente pour produire de l'électricité. Le rendement de ces installations est de l'ordre de 30%.

Il est donc impossible de produire de l'électricité par l'intermédiaire d'un cycle vapeur avec des rejets inférieurs à 300°C.

En remplaçant l'eau par un autre fluide choisi en fonction du niveau de température de la source chaude, on obtient un cycle de Rankine organique adapté à de nombreuses applications (petite cogénération biomasse, solaire thermodynamique, récupération de chaleur, géothermie basse température, etc.).

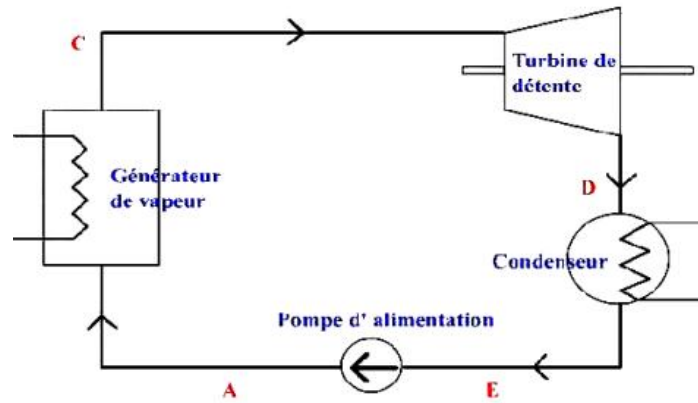


Figure 6 : schéma d'un cycle de Rankine

Si l'on utilise par exemple un cycle ORC pour des applications de production d'électricité et de chaleur à partir de la biomasse (voir schéma ci-dessous), il est nécessaire de rajouter un circuit d'huile thermique inflammable avant le cycle ORC vu les hautes températures de la chaudière à bois (1'100°C).

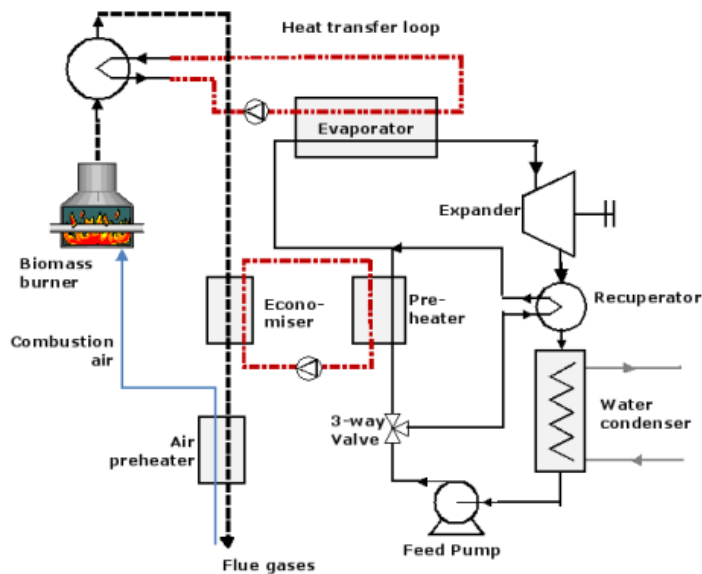


Figure 7 : Cycle ORC pour la production de chaleur et d'électricité combinées à partir de biomasse

Le nombre de fluides potentiellement utilisables dans un ORC est très important ce qui permet de s'adapter au mieux à la température de la source chaude¹ :

- Des gaz frigorigènes (réfrigérants) sont utilisés pour les sources basse température (<150°C).
- Des hydrocarbures permettent de valoriser des sources à moyenne température (150°C - 250°C).
- Enfin pour les sources chaudes avec des températures plus élevées, supérieures à 250°C, on utilise une catégorie de fluides appelés "siloxanes", des chaînes carbonées possédant un ou plusieurs atomes de silicium.

Le diagramme entropique (T- s) suivant montre la courbe de saturation de l'eau et de fluides souvent utilisés dans des cycles ORC :

Cette dernière technologie est plus adaptée à

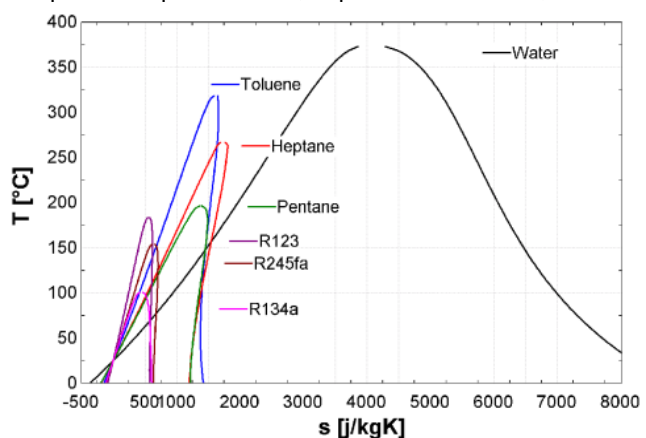


Figure 8 : Diagramme T- s de fluides ORC et de l'eau²

¹ Source : <http://www.cycle-organique-rankine.com/>

² Source : Sustainable Energy Conversion Through the Use of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery and Solar Applications, these, Université de Liège

l'exploitation des rejets de chaleur. Un module ORC fonctionnant à basse température entre une source chaude à 150°C et une source froide à 30°C (l'air) possède une efficacité d'environ 12%. L'efficacité idéale de Carnot est dans ce cas de 23%.

Il a donc été fait l'hypothèse que la température minimale idéale du rejet de chaleur pour la production d'électricité devait être de 150°C afin d'éviter de recourir à des technologies avec de trop faibles rendements.

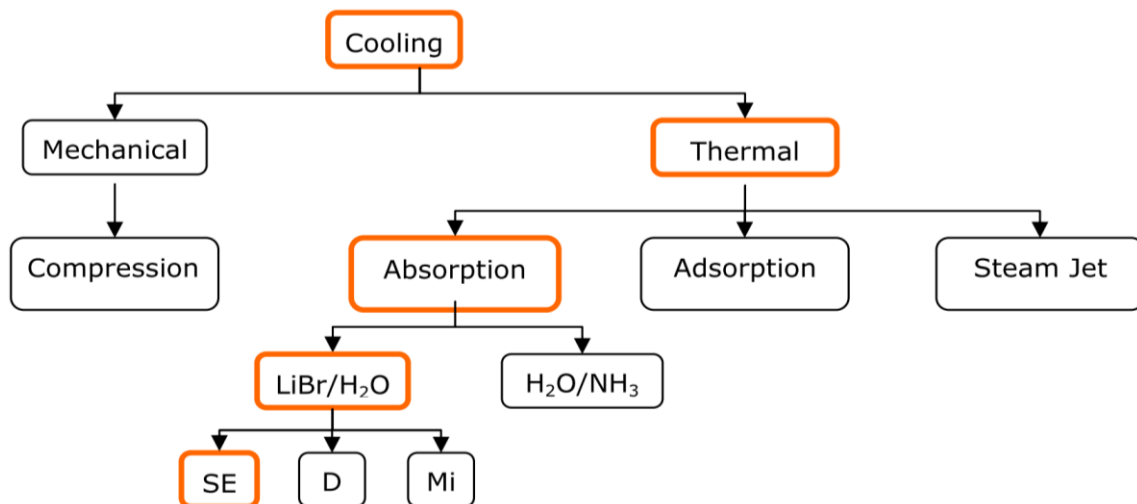
La température de la source froide a été considérée à 35°C (température source froide). Cela implique que la température au niveau du condenseur soit égale à 40°C pour tenir compte de l'efficacité de l'échangeur (delta T de 5°C).

Pour le calcul du potentiel de production d'électricité, on prend l'énergie récupérable calculée pour des applications de type chauffage à distance (voir chapitre 3.1.3) qu'on multiplie par le rendement de Carnot pour obtenir la production maximale d'électricité idéale. Ensuite, il a été appliqué un facteur de 50% sur ce rendement idéal de Carnot pour tenir compte de l'efficacité réel de ce genre de technologie.

3.1.2 Production de froid

Produire du froid grâce à des rejets industriels courants

Les rejets de chaleur peuvent aussi être utilisés pour la production de froid ou servir l'été au rafraîchissement des locaux en utilisant principalement des machines à absorption ou à compression par l'intermédiaire d'énergie mécanique fournie par les rejets thermiques.



Overview: Thermal cooling technologies

Figure 9 : alternatives pour produire du froid

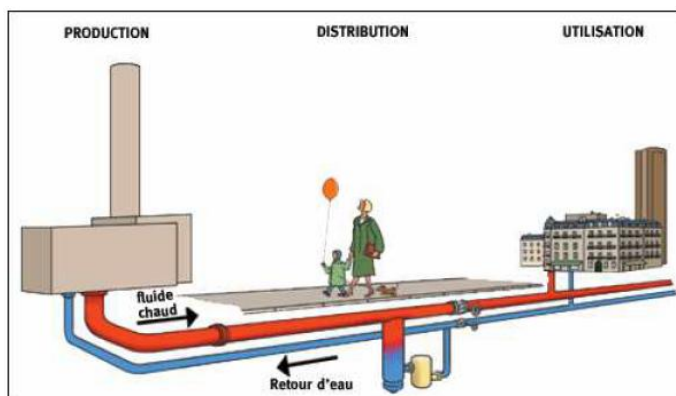


Figure 9 : schéma CAD, Plaquette SummerHeat, projet européen, guide des bonnes pratiques

Pendant les mois d'été, dans la situation où des réseaux de chaleur sont alimentés en permanence par des unités de cogénération ou des rejets provenant d'usines d'incinération, une grande partie de la chaleur produite pourrait être utilisée comme source chaude pour de la production de froid pour la climatisation, étant donné la faible charge des réseaux de chaleur durant cette période.

En effet, seule la chaleur destinée à des besoins industriels spécifiques et à la

production d'eau chaude sanitaire, serait soutirée du réseau.

On distingue les solutions de type "centralisé" et "décentralisé". Dans la solution "centralisée", une machine frigorifique éloignée du point de consommation, produit de l'eau glacée qui est distribuée vers les différents bâtiments à climatiser. Dans la solution "décentralisée", les bâtiments sont reliés au réseau de chaleur et les machines frigorifiques produisent de l'eau glacée à partir de l'eau chaude qui arrive au pied de chaque bâtiment.

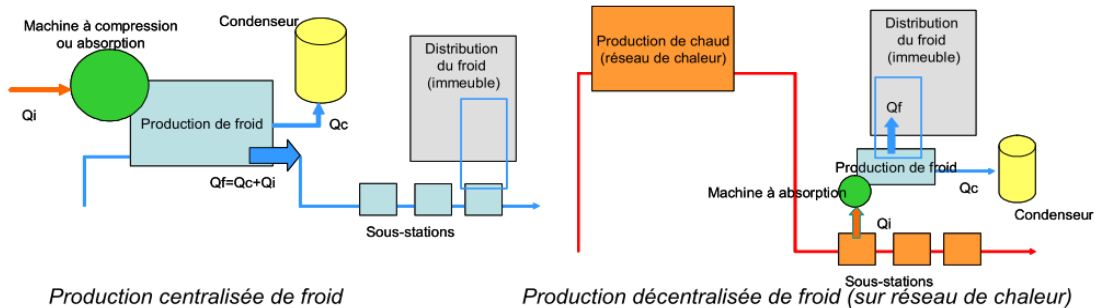


Figure 10 : Production centralisée / décentralisée de froid à partir de chaleur

(Source : Plaquette SummerHeat, projet européen, guide des bonnes pratiques)

Par analogie avec un réseau de chauffage à distance (voir chapitre 3.1.3) où la différence de température entre le départ et le retour du rejet est de 40°C, dans le cas où la température minimale du rejet est de 100°C, la température froide du rejet doit être égale à 60°C.

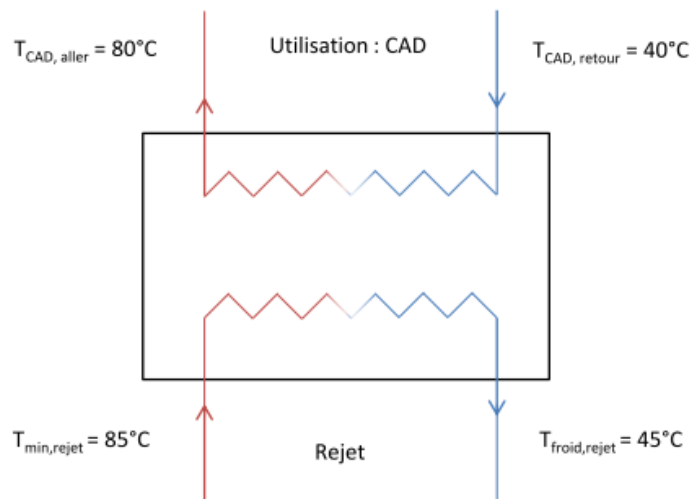
Il est bien entendu possible de réaliser une production de froid qui soit également favorable au conditionnement des locaux, avec des niveaux de températures de rejets plus faibles (80°C-100°C) et supérieures (120°). Toutefois, une température minimale de 100°C a été ici retenue par soucis de cohérence avec les autres applications.

3.1.3 Chauffage à distance

Les rejets comme source d'énergie pour les réseaux de chauffage urbain

Pour des rejets thermiques servant à alimenter un réseau de chauffage à distance, ce sont les températures de départ (80°C) et de retour (40°C) du thermoréseau de la SATOM qui ont été prises comme références.

En effet, le réseau récent de la SATOM représente une solution efficace en termes de potentiel d'énergie à valoriser. La différence de température entre le flux chaud et le flux froid dans l'échangeur de chaleur à contre-courant a été considérée à $\Delta T = 5^\circ\text{C}$. La température froide du rejet est donc égale à 45°C.

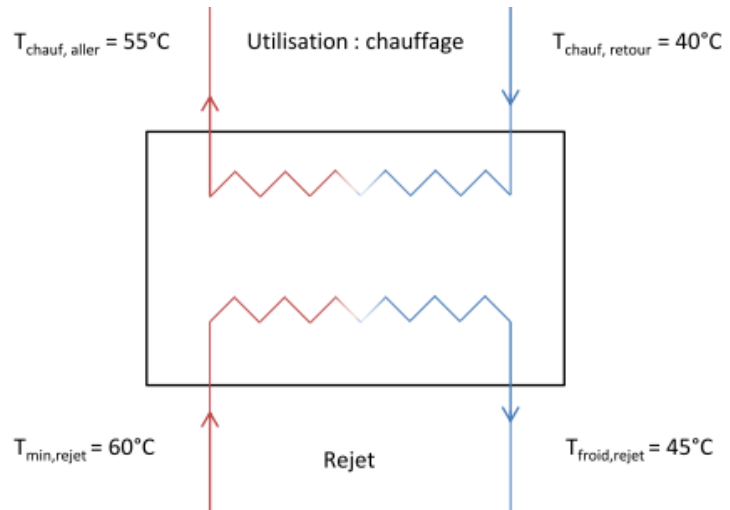


Ainsi, le potentiel de récupération de chaleur se calculera entre la température du rejet et une température référence de 45°C. Seuls les rejets avec un potentiel supérieur à 1 GWh/an ont été retenus pour ce type d'utilisation.

3.1.4 Chauffage

Les rejets pour le chauffage des bâtiments

Pour l'utilisation d'un rejet pouvant servir au chauffage de locaux ou de halles industrielles se situant à proximité, il a été fait l'hypothèse que le fluide de chauffage avait une consigne de 55°C et une température de retour à 40°C. Ces valeurs correspondent à une moyenne résultant de mesures effectuées sur plusieurs bâtiments du quartier des Morasses en Ville de Martigny. Ces derniers, datant de différentes époques de construction réparties entre 1960 et 1995, représentent un échantillon type du domaine bâti.



La différence de température de 5°C entre le fluide à chauffer et la température froide du rejet implique que cette dernière soit à 45°C. Pour le chauffage des bâtiments, les rejets doivent excéder 0.1 GWh/an pour qu'ils représentent un potentiel jugé intéressant.

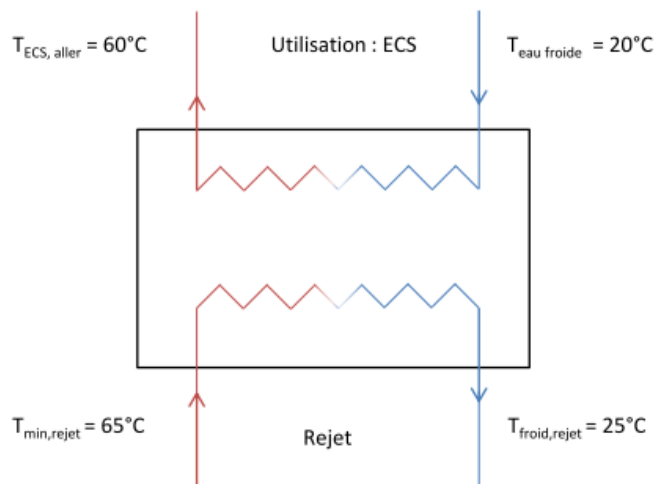
3.1.5 Eau chaude sanitaire

Les rejets pour produire de l'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire (ECS) est généralement chauffée à 60°C. Il a été fait l'hypothèse que l'eau froide qui rentrait dans le ballon était à 20°C. Cela implique que la température froide du rejet soit égale à 25°C.

Pour considérer une production d'ECS jugée significative, les rejets doivent excéder 0.1 GWh/an.

Il est également concevable d'utiliser des rejets thermiques pour préchauffer de l'eau chaude sanitaire. Dans ce cas, les niveaux de températures pourraient se limiter à des valeurs de l'ordre de 30°C à 60°C. Le potentiel n'a cependant pas été calculé car il dépend essentiellement de la température haute disponible et varie de cas en cas.



3.1.6 Pompe à chaleur :

Les rejets comme source pour l'utilisation de pompes à chaleur

Pour l'utilisation de rejets par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur, il a été fait l'hypothèse que seuls les rejets inférieurs à 60°C étaient pris en compte. Deux cas ont été différenciés :

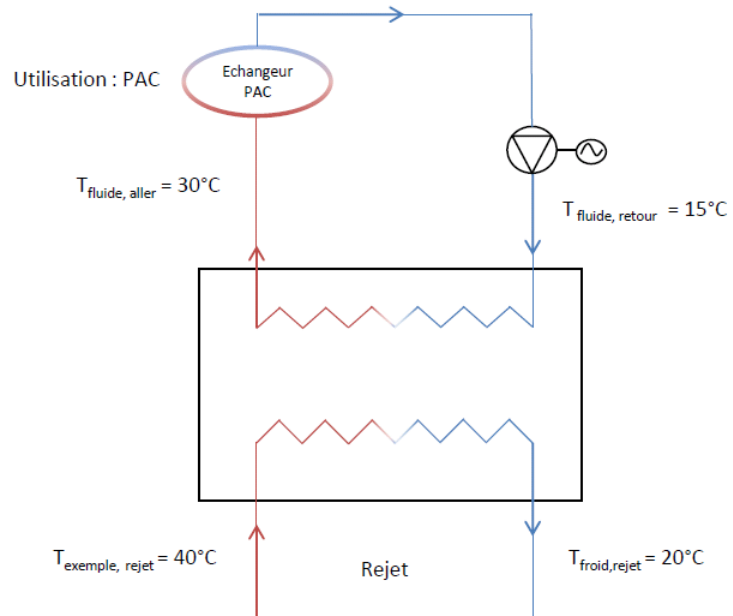
- Température du rejet > 30°C
- Température du rejet ≤ 30°C

Il est aussi possible d'utiliser des pompes à chaleur spécifiques travaillant à d'autres plages de température. Dans la mesure où il ne s'agit plus de matériel conventionnel, de telles machines thermiques n'ont pas été retenues dans ce rapport. Elles pourraient faire l'objet d'une analyse plus précise le cas échéant.

Température du rejet > 30°C :

Pour une utilisation efficace des pompes à chaleur standards que l'on trouve sur le marché, la source froide ne doit pas excéder 30°C.

Ainsi, pour récupérer la totalité des rejets de chaleur (eau ou air) compris entre 30°C et 60°C, il a été choisi de valoriser les rejets thermiques au travers d'un réseau de transport d'eau tiède. Cette chaleur à basse température peut alors être utilisée comme source froide pour des pompes à chaleur. Le rejet thermique sera valorisé au travers d'un échangeur de chaleur transférant l'énergie du rejet au réseau d'eau tiède.



Cette solution permet de valoriser des rejets qui ne peuvent pas être utilisés pour d'autres applications. Elle pourrait aussi être couplée à l'utilisation de rejets "étagés" (en cascade), d'abord pour produire de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage de 60°C à 30°C, et ensuite servir de source à un réseau d'eau tiède.

Il est bien entendu qu'un tel concept doit faire l'objet d'analyses complètes, pour évaluer si la densité de consommation d'énergie thermique est suffisante dans le voisinage du lieu d'émission des rejets.

Température du rejet ≤ 30°C :

Lorsque les rejets de chaleur (air ou eau) sont inférieurs à 30 °C, il est possible si la densité disponible est importante, de les utiliser directement comme source froide pour des PAC ou comme réseau basse température avec des pompes à chaleur décentralisées. Les rejets avec un potentiel inférieur à 10'000 kWh/an et une température inférieure à 10°C n'ont pas été retenus.

Cette température de 10°C correspond à la température minimale d'eaux usées nécessaire à l'exploitation de PAC au bénéfice d'un COP intéressant.

3.2 Forme des rejets

Caractéristiques physiques et chimiques des rejets

Dans la base de données créée pour les besoins du projet, les rejets thermiques se présentent sous différentes formes et sont caractérisés par de nombreux paramètres physiques et chimiques, comme la température, la pression, la composition, la continuité etc.

Afin d'obtenir les données de potentiel des prochains chapitres, de nombreux calculs ont été réalisés en prenant en compte différentes hypothèses. La méthodologie complète de calcul, les équations utilisées ainsi que les conditions considérées sont explicitées dans l'annexe H du présent rapport.

Quelques considérations principales sont présentées ici en fonction de la forme du rejet thermique, caractéristique qui a le plus d'influence en termes de potentiel énergétique sous-jacent.

3.2.1 Effluents gazeux

Hypothèses retenues pour les gaz

Pour évaluer le contenu énergétique des effluents gazeux, différentes opérations sont nécessaires. D'une part, le volume doit être transformé de normaux mètres cube en mètres cubes. Pour simplifier cette transformation, il a été considéré que les effluents sont des gaz parfaits et que la norme ISO 2533 constituait la norme de référence.

Puis, il a été considéré que la combustion provenait de gaz composé de 100% de méthane CH₄ avec combustion complète et 20% d'excès d'air. Les fractions molaires et massiques ont ainsi pu être calculées pour l'équation de combustion.

Le calcul de l'enthalpie est réalisé avec différents coefficients en fonction des températures et des décompositions polynomiales. Le potentiel final est enfin déterminé par la différence entre la somme des enthalpies de formation et sensible à la température du rejet, et la même somme enthalpique à la température après récupération de chaleur.

La solution consistant à utiliser des PAC sur les effluents gazeux n'a pas été retenue, en raison notamment des températures de rejets souvent exploitables directement.

3.2.2 Air

Air considéré sec

Le contenu énergétique de l'air a été calculé en considérant un air totalement sec. Par conséquent, une évaluation précise des rejets lors d'une identification de projets potentiels devra être faite afin de préciser si l'air à une concentration d'humidité pouvant avoir un impact sur son contenu énergétique.

La variation de la masse volumique de l'air en fonction de la température a été prise en compte, de manière à respecter le principe du bilan des masses.

3.2.3 Eau

L'eau considérée sans modification de masse volumique

Le contenu énergétique est déterminé de la même manière que pour l'air, en y ajoutant la condition supplémentaire que la masse volumique ne varie pas en fonction de la température.

En effet, dans les exemples identifiés, la variation de température n'avait pas d'influence majeure et a donc été négligée dans les calculs.

3.2.4 Vapeur d'eau

La vapeur d'eau considérée comme saturée

Le contenu énergétique de la vapeur d'eau est obtenu en calculant l'enthalpie de la vapeur d'eau saturée en fonction de sa température, et jusqu'à 100°C, la chaleur latente de condensation, ainsi que l'enthalpie d'utilisation de l'eau entre 100°C et la température minimale du rejet.

La somme calculée donne le contenu énergétique global du rejet initialement sous forme de vapeur d'eau.

Comme pour les effluents gazeux, l'utilisation de PAC n'a pas été considérée.

3.3 Valorisation des rejets thermiques

3.3.1 Etats des lieux

Localisation des rejets thermiques en fonction de leurs températures

La vue générale suivante recense les rejets thermiques dont la forme et le niveau de température sont connus. Force est de constater que les zones industrielles ressortent de façon claire. Monthey, Martigny, Sion, Sierre et Viège sont des villes dont l'activité économique est fortement influencée par de moyennes ou grandes industries. Ces industries consomment de l'énergie et en rejettent aussi sous différentes formes, dont certaines à de très hautes températures.

Pour chaque entreprise, la température et la forme du rejet ont été représentées à l'aide d'étiquettes. Les couleurs et les niveaux de température ont été choisis pour correspondre au mieux aux différentes utilisations possibles. Pour des questions de représentation, les formes des rejets ont été simplifiées : eau, air, gaz pour effluents gazeux et VAP pour vapeur d'eau.

A noter aussi que cette carte représente l'état de la base de données au 15 août 2011 et que certaines données devront être complétées et mises à jour afin d'avoir une meilleure vision des gros potentiels énergétiques.

La carte suivante se retrouve aussi en grand format dans l'annexe K.

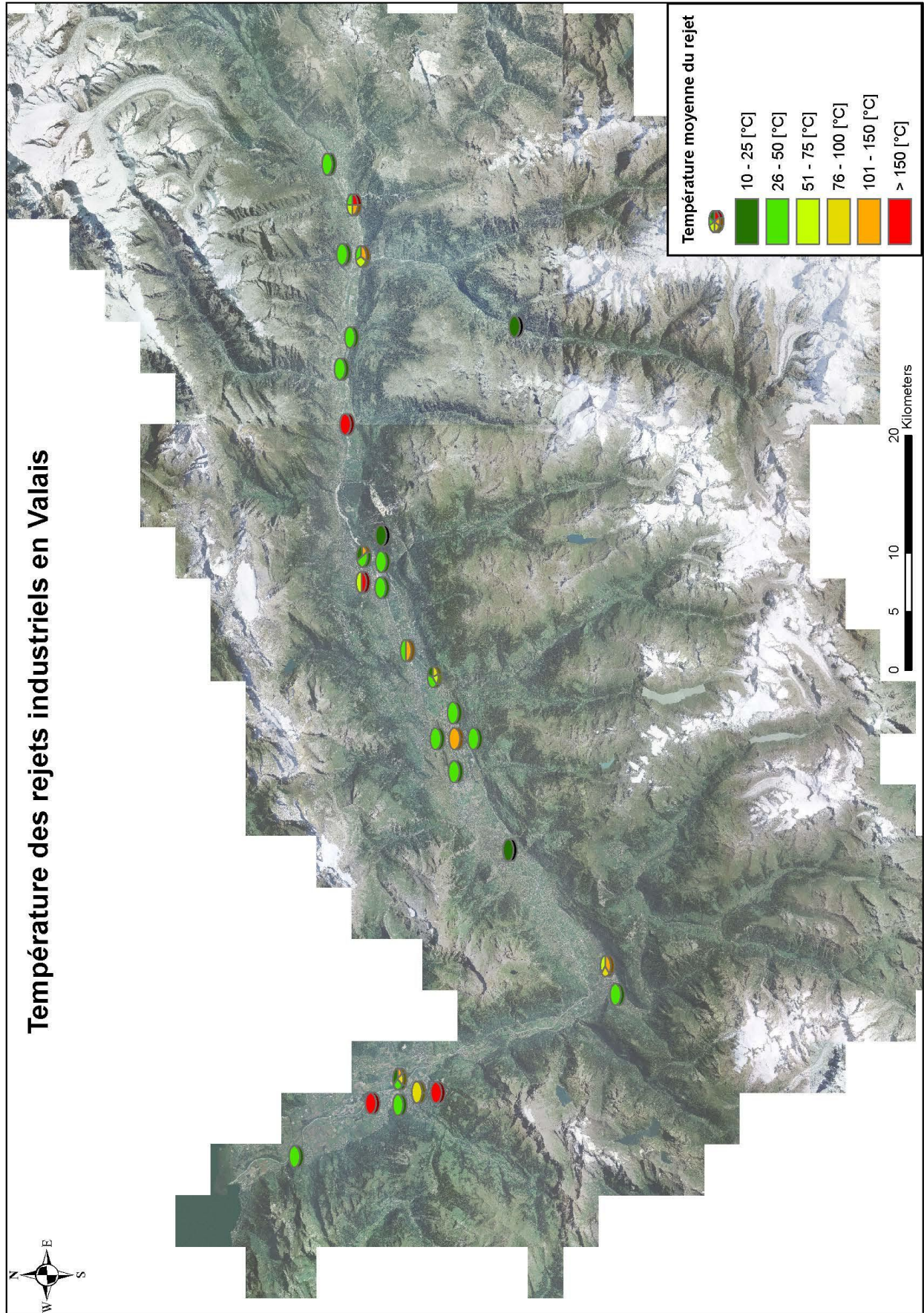


Figure 10 : Température et forme des rejets industriels en Valais

Des rejets thermiques déjà valorisés par des industries

La thématique des rejets thermiques est déjà connue par certaines industries. Une vingtaine d'entreprises ont répondu au formulaire en indiquant qu'elles valorisaient déjà partiellement ou complètement leurs rejets. Pour ces 23 entreprises, l'énergie valorisée représente quelque 522 GWh/an électricité et chaleur confondues (calcul de valorisation réalisé lorsque les données étaient disponibles). Ces exemples doivent servir à encourager les autres industries valaisannes à réaliser la même démarche.

Par exemple, l'usine d'incinération des ordures ménagères et des déchets encombrants de Gamsen valorise complètement en interne et en externe ses rejets thermiques.



Figure 11 : Synergies entre l'usine d'incinération KVA et Lonza

Elle produit pour ses propres besoins 5.8 GWh/an d'électricité grâce à une turbine à vapeur et fournit aussi 120'000 t/an de vapeur à 14.5 bars et 260°C pour les process de Lonza, ce qui correspond à une énergie thermique de 98 GWh.

Un tableau récapitulatif des niveaux de température et de l'état de valorisation des rejets est disponible en annexe I du rapport.

Rejets industriels valorisés en Valais

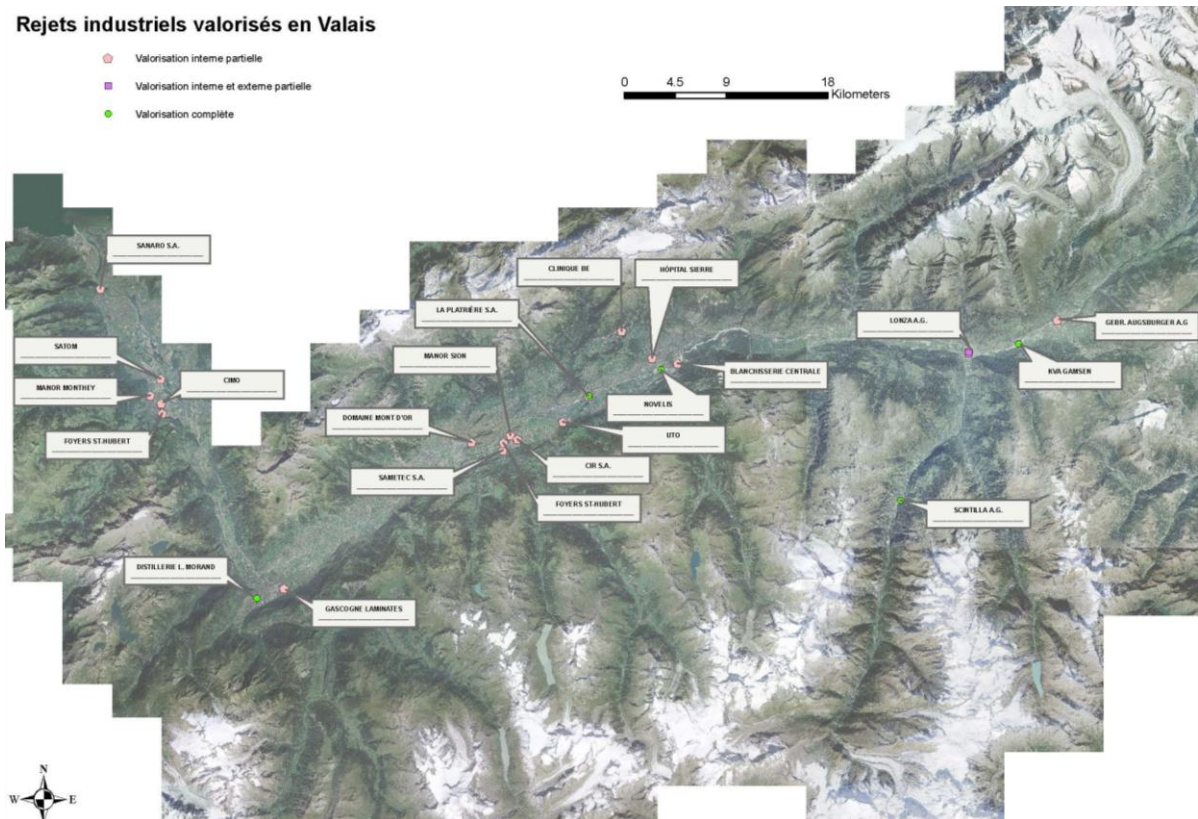


Figure 12 : Rejets industriels valorisés en Valais

3.3.2 Valorisation des rejets suivant les différents types d'applications

La création des cartes va permettre d'identifier de nouveaux projets selon différentes applications réalisables. Pour les rejets ayant une valorisation partielle sans données exactes, il a été fait l'hypothèse d'une valorisation de 20%, typique pour le conditionnement des locaux et pour la production d'ECS. A noter qu'un rejet peut avoir plusieurs applications possibles et donc un potentiel qui varie suivant les hypothèses faites précédemment.

Les cartes suivantes montrent le potentiel de valorisation de ces rejets.

Une production potentielle d'électricité de 16.5 GWh

Seule l'entreprise TAMOIL pourrait exploiter ses effluents gazeux à la sortie des 3 cheminées pour produire potentiellement 16.5 GWh d'électricité par l'intermédiaire d'un cycle ORC (rendement de Carnot de 35%). En prenant en compte quelque 8'000 heures d'exploitation, la turbine pourrait développer une puissance d'environ 2 MW. La faisabilité technique d'une telle solution doit bien entendu faire l'objet d'une analyse détaillée.

3.8 GWh valorisables pour des applications de type froid

Comme montré sur la carte, les entreprises CIMO et Gascogne Laminates auraient un potentiel intéressant pour produire du froid. Les quelque 3.8 GWh de chaleur, utilisés avec la technologie des machines à absorption conventionnelles, pourraient potentiellement produire 3 GWh de froid.

Valorisation des rejets pour des applications de type froid

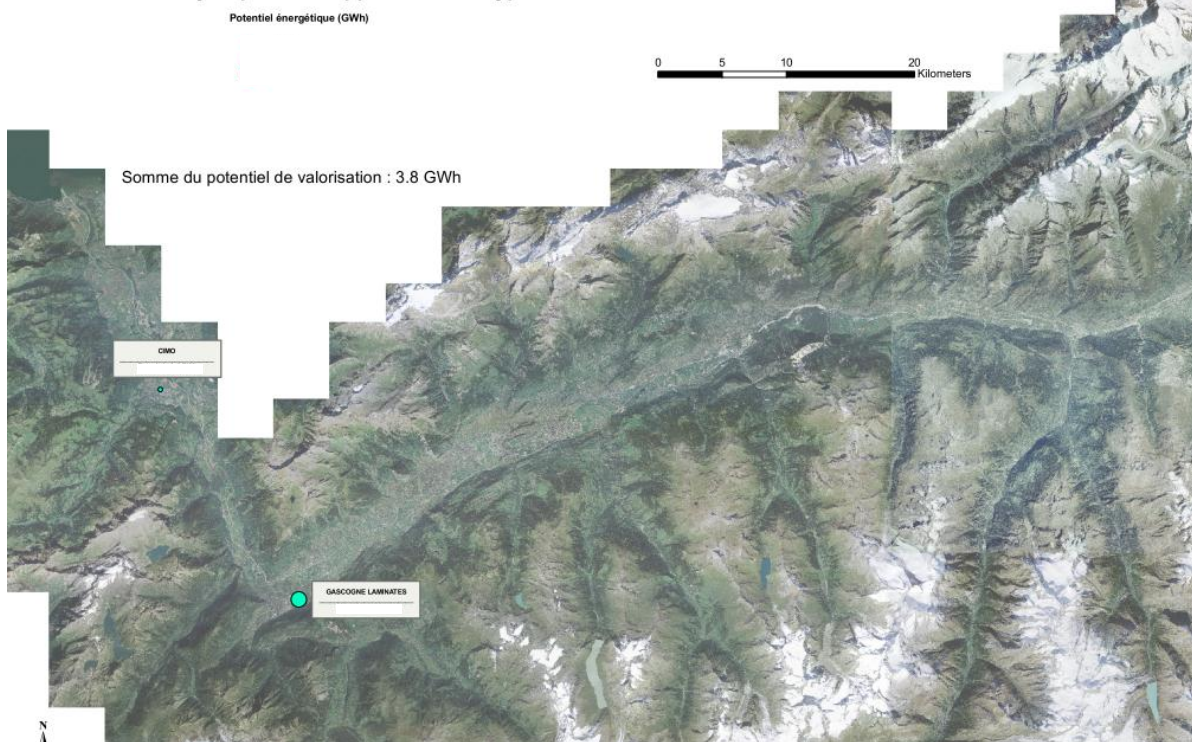


Figure 13 : Valorisation des rejets pour des applications de type froid

Plus de 600 GWh d'énergie disponible pour des CAD

Le potentiel énergétique des rejets est considéré comme constant dans la mesure où ceux-ci pourraient être utilisés tout au long de l'année sans interruption significative.

Certaines entreprises pourraient s'installer à proximité des rejets de manière à pouvoir les utiliser pour leur process durant toute l'année. Le solde éventuellement disponible pourrait servir au chauffage des habitations.

Valorisation des rejets pour des applications de type CAD

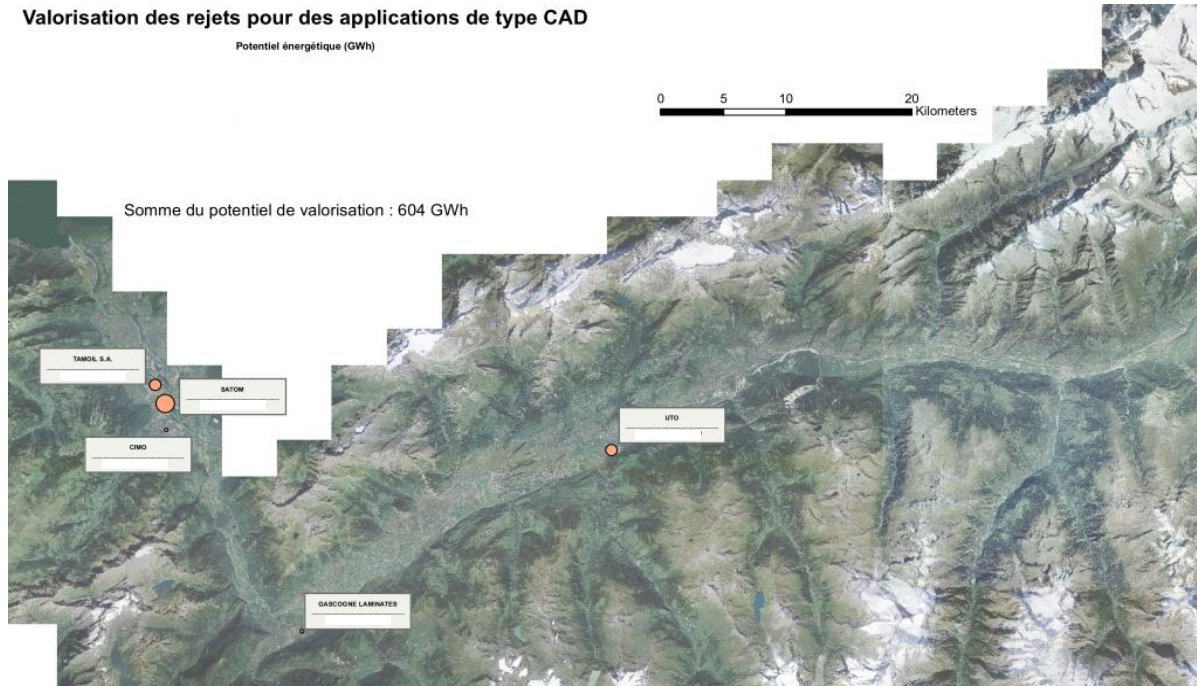


Figure 14 : Valorisation des rejets pour des applications de type CAD

La zone industrielle de Monthey et Collombey-Muraz (SATOM, Tamoil, CIMO) possède un fort potentiel pour le développement d'un réseau de chauffage à distance. Des synergies entre ces différentes entreprises doivent faire l'objet de réflexions. On note également que les rejets de l'UTO à Sion ainsi que ceux de Gascogne Laminates pourraient aussi servir au développement de CAD.

Un potentiel de 16 GWh pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire

Les rejets pouvant être utilisés pour le chauffage ou l'ECS ont été représentés sur une unique carte. Leurs niveaux de températures entre 50°C et 60°C seraient exploitables pour les bâtiments existants.

Une moyenne du potentiel a été calculée lorsque le rejet pouvait servir aux 2 applications.

Valorisation des rejets pour des applications de type chauffage ou eau chaude sanitaire

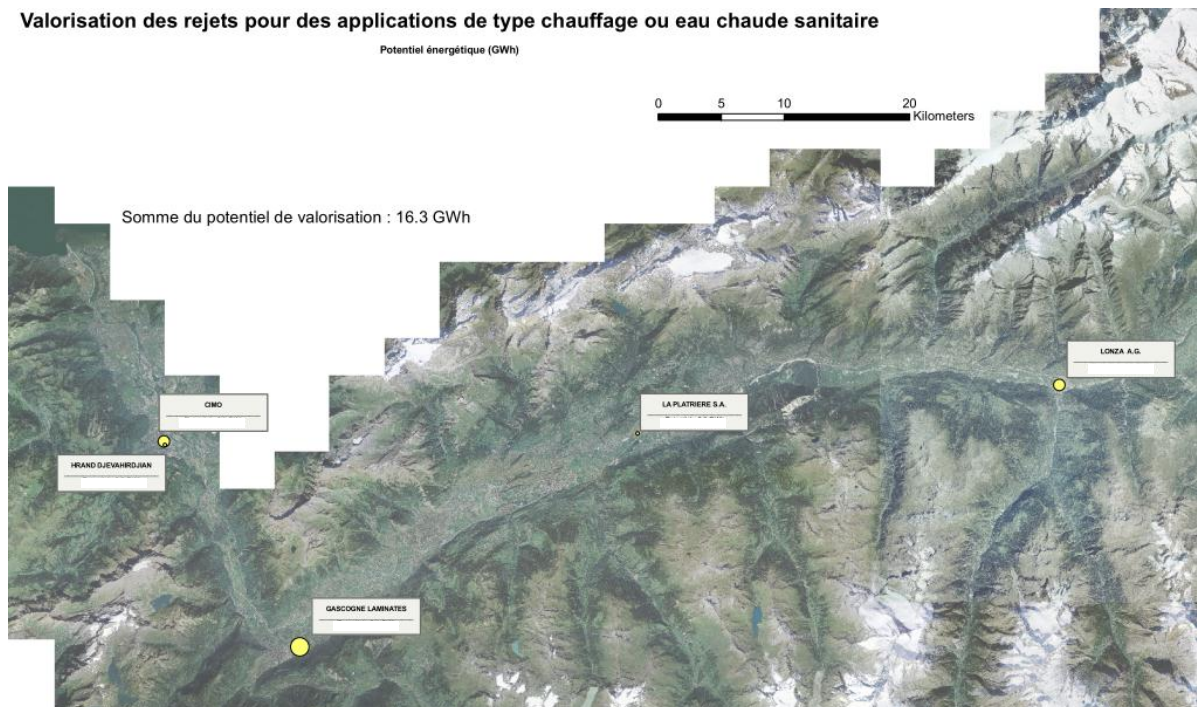
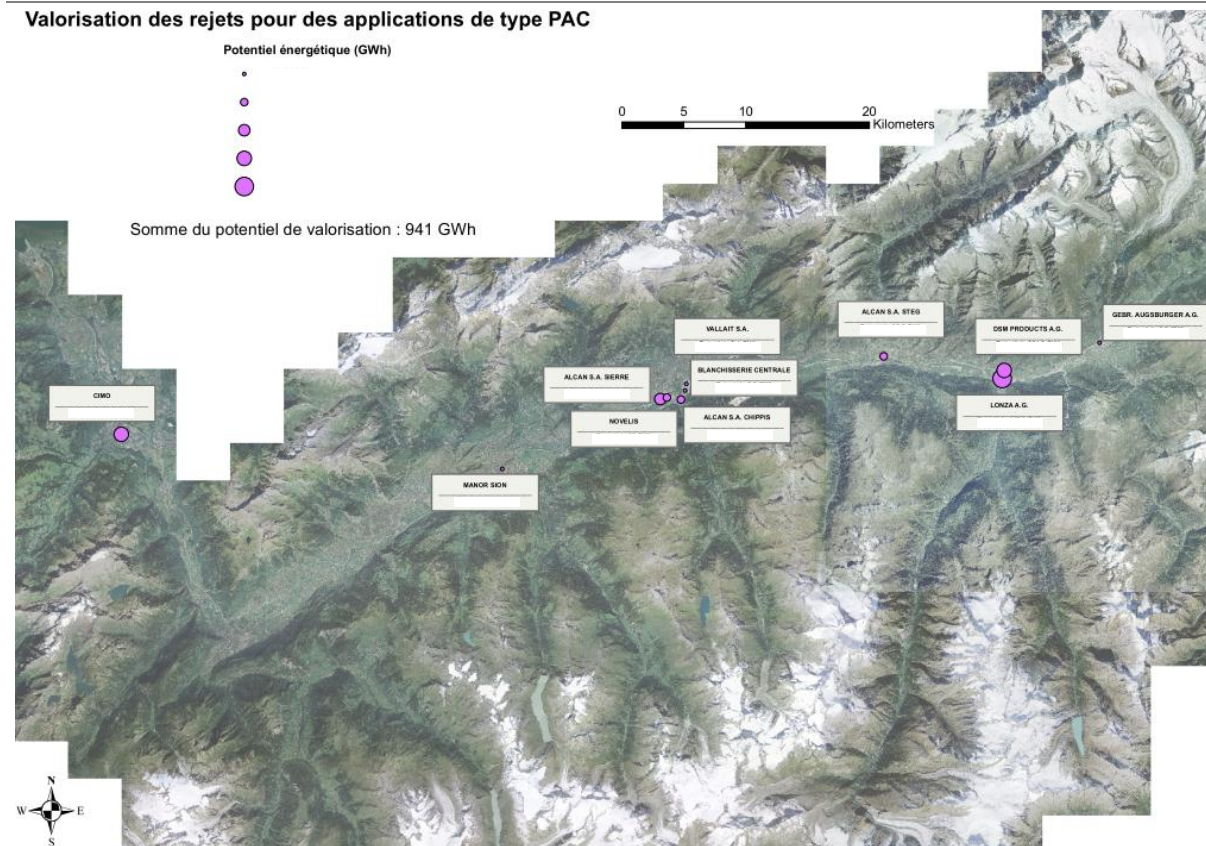


Figure 15 : Valorisation des rejets pour des applications de type chauffage ou ECS

Les rejets identifiés sur cette carte pourraient servir directement au chauffage de locaux ou de halles industrielles situés à proximité, et également comme source de chaleur pour l'optimisation de processus industriels internes. Les projets éventuellement identifiés sur la base de ces rejets devront faire l'objet de contrôles de faisabilité technico-économiques.

941 GWh valorisables au travers de pompes à chaleur



De nombreuses entreprises rejettent de la chaleur potentiellement valorisable pour des applications de type pompe à chaleur (ou réseaux à basses températures). Parmi celles-ci, trois entreprises montrent un potentiel utilisable supérieur à 100 GWh/an : CIMO, Lonza et DSM Nutritional Products.

Il est important de noter que dans les cas d'utilisation de rejets de chaleur comme source froide pour des pompes à chaleur, il est nécessaire de prendre en compte l'énergie électrique (ou un autre agent) nécessaire au fonctionnement des pompes. Dans le présent chapitre, cette énergie n'a pas été soustraite au potentiel valorisable.

3.3.3 Valorisation des rejets industriels envisagée/en projet

De conséquents projets de valorisation

La valorisation des rejets thermiques industriels en Valais fait partie intégrante de la thématique énergétique actuelle. Quatorze entreprises ayant répondu au questionnaire ont des projets de valorisation de leurs rejets thermiques tant en interne qu'en externe. Dans ce contexte, il faut noter que quatre projets de CAD sont en cours d'étude ou de construction.

Les projets de valorisation industriels correspondent à une récupération d'environ 630 GWh/an (calcul des projets de valorisation réalisé lorsque les données étaient disponibles). Un tableau récapitulatif de ces projets est disponible en annexe J du rapport.

Valorisation des rejets industriels envisagée / en projet

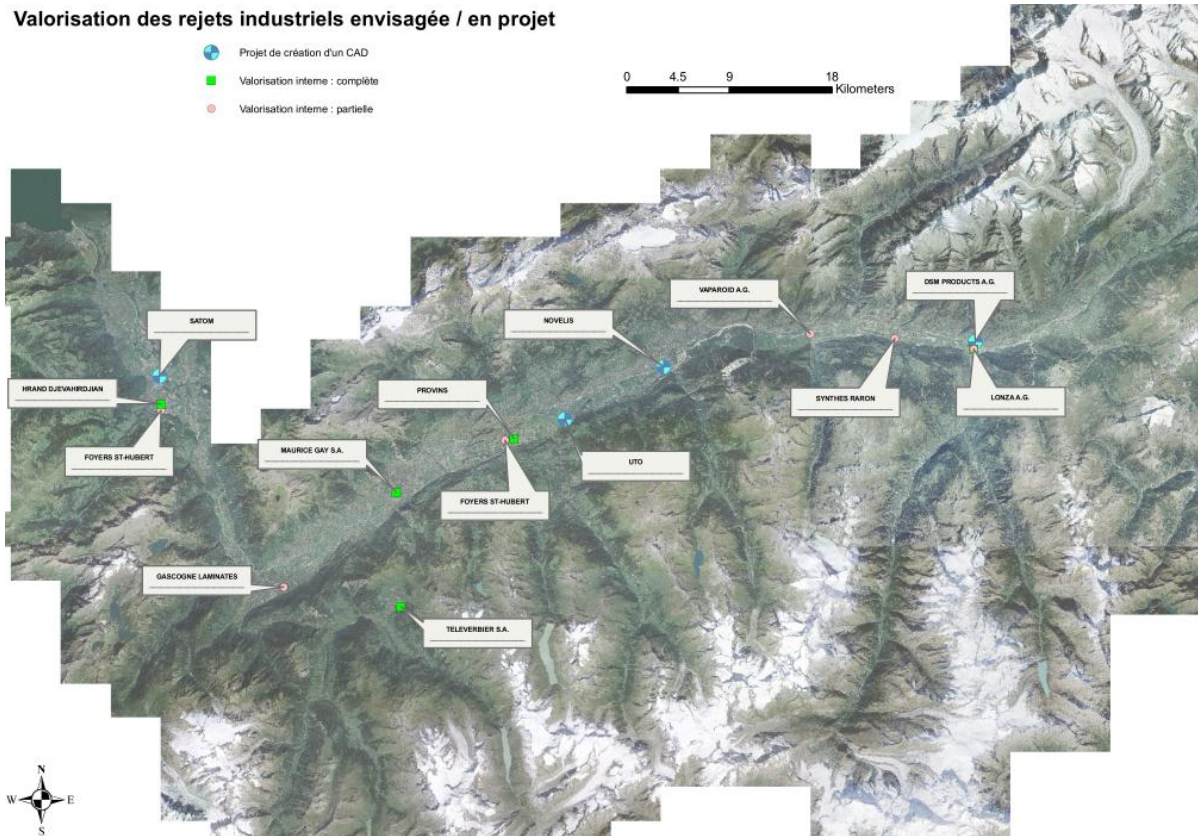
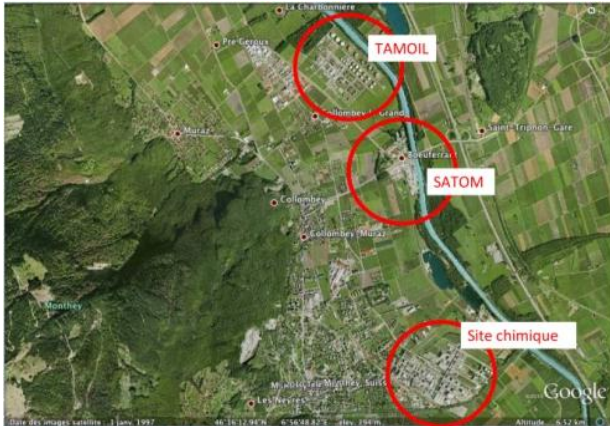


Figure 17 : Projets de valorisation des rejets industriels en Valais

L'ensemble des cartes présentées est disponible en annexe K et consultable en version informatique.

4. Analyse et propositions de valorisation



La mise en forme des cartes engendre différents constats. En premier lieu, il n'est plus à démontrer que les rejets thermiques issus des 3 usines d'incinération d'ordures ménagères valaisannes, dont une partie est déjà valorisée, constituent un potentiel très important de 760 GWh.

Consciente de ce potentiel, la SATOM déploie actuellement un réseau de chauffage à distance qui devrait être mis en service ces prochains mois. Animée des mêmes intentions, l'UTO a mis à l'étude la valorisation de ses rejets au travers d'un tel réseau CAD.

4.1 Les multiples solutions de CAD dans la région chablaisienne

Les nombreux rejets thermiques rejetés par les industries du Chablais

4.1.1 Projet Satom

La SATOM SA possède une centrale thermique d'incinération sur la commune de Monthey. Auparavant, une turbine à vapeur permettait de produire de l'électricité sans récupération de chaleur, celle-ci étant rejetée dans l'atmosphère.

Après transformation des processus, les rejets de chaleur vont maintenant pouvoir être récupérés et valorisés au travers d'un réseau de chauffage à distance qui permettra d'alimenter quelque 10'000 foyers. Il est important de noter que ce réseau bénéficie d'un important potentiel de croissance. Des zones supplémentaires pourraient être raccordées en fonction de la disponibilité des rejets thermiques et des optimisations prévues dans le temps.

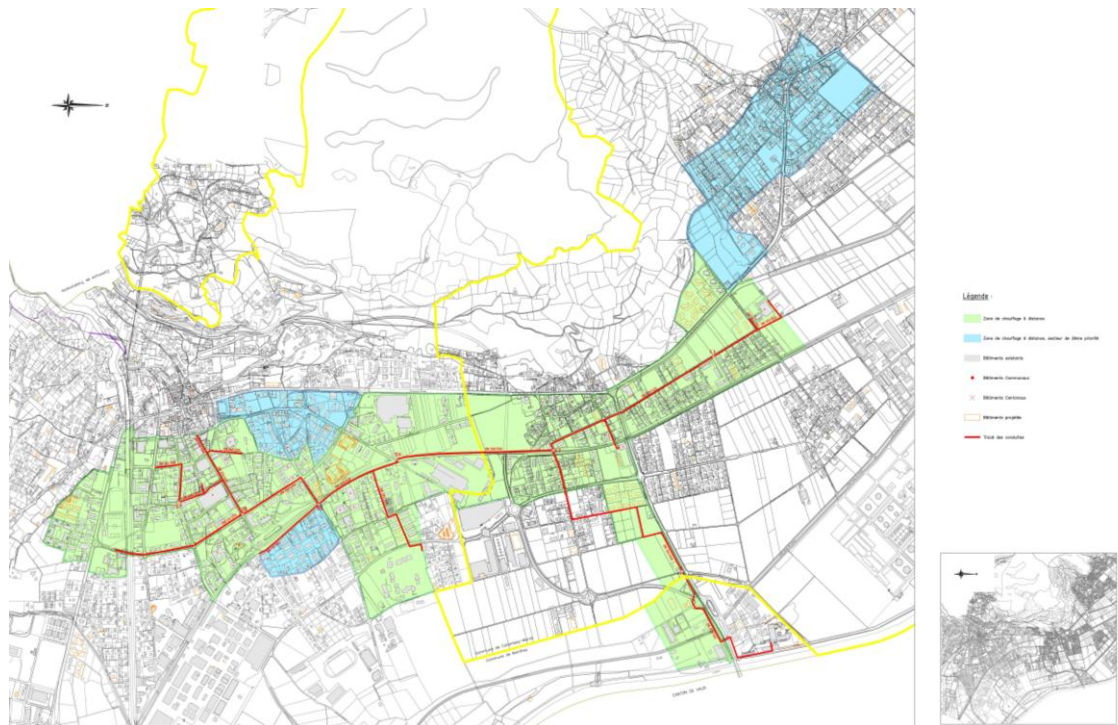


Figure 18 : plan CAD alimenté par la SATOM

En plus de l'exploitation du réseau de CAD prévu aujourd'hui et en considérant une optimisation des processus internes visant à améliorer son efficacité énergétique, la SATOM bénéficie d'un potentiel supplémentaire de 236 GWh/an.

Compte tenu d'aspects liés à la sécurité d'approvisionnement du CAD, et vu les besoins en vapeur de ces sociétés, des synergies ont été développées avec CIMO et Tamoil. Une conduite entre Tamoil et la SATOM est d'ailleurs déjà en service, et Tamoil a souscrit à 20 MW de puissance thermique pour alimenter ses processus. En échange, un projet d'alimentation de secours du chauffage à distance par les installations de production de chaleur de TAMOIL est actuellement en discussion.

4.1.2 Projet Tamoil

La raffinerie du groupe Tamoil située à proximité de la SATOM, consomme beaucoup d'énergie tout en produisant des rejets de chaleur.

Sans prendre en compte la chaleur éventuellement fournie par Tamoil au CAD de la SATOM (en cours de négociation), cette entreprise aurait un potentiel de valorisation supérieur à 100 GWh/an pour d'autres utilisations de type CAD.

Il paraît opportun que Tamoil puisse valoriser ses rejets en alimentant la zone industrielle et les foyers situés sur la commune avoisinante de Collombey-le-Grand, tel que le montre le schéma ci-contre. Dans ce contexte, il est intéressant de noter que le thermoréseau de la SATOM ne devrait pas se développer dans cette zone, et que les industries à proximité auraient peut-être des besoins de chaleur en adéquation avec les rejets de disponibles de Tamoil.

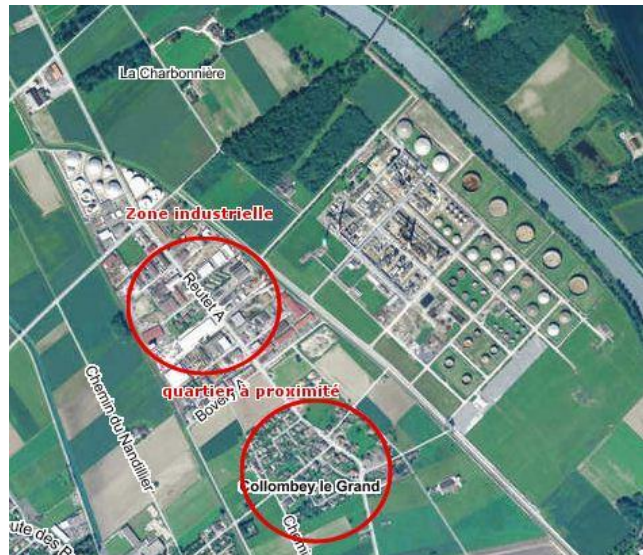


Figure 19 : Exploitation potentielle des rejets de TAMOIL

Une pré-étude pourrait être lancée sur cette zone pour définir si les densités de consommations sont atteintes pour déployer un CAD de quartier.

4.1.3 Projet CIMO

Cimo Compagnie industrielle de Monthey SA est la propriété commune de BASF et Syngenta Crop Protection sous la forme d'une « joint venture ». Cimo fournit diverses prestations aux sociétés partenaires du site dont notamment la fourniture de vapeur, d'eaux et de gaz (VEG).

Après utilisation de tels flux dans les processus des sociétés, CIMO rejette actuellement une quantité très importante d'eau et d'effluents gazeux. Le potentiel de valorisation de ces rejets représente ainsi 106 GWh/an pour l'utilisation des rejets d'eau par l'intermédiaire de pompes à chaleur, et 2.5 GWh/an pour alimenter un réseau de CAD en valorisant l'énergie contenue dans les effluents gazeux.

Comme le montre le schéma ci-dessous, un réseau basse température couplé à des PAC décentralisées pourrait être créé pour alimenter le quartier Sud de la Ville de Monthey, voire même la zone industrielle des llettes et la commune de Massongey (si la densité de consommation est suffisante).

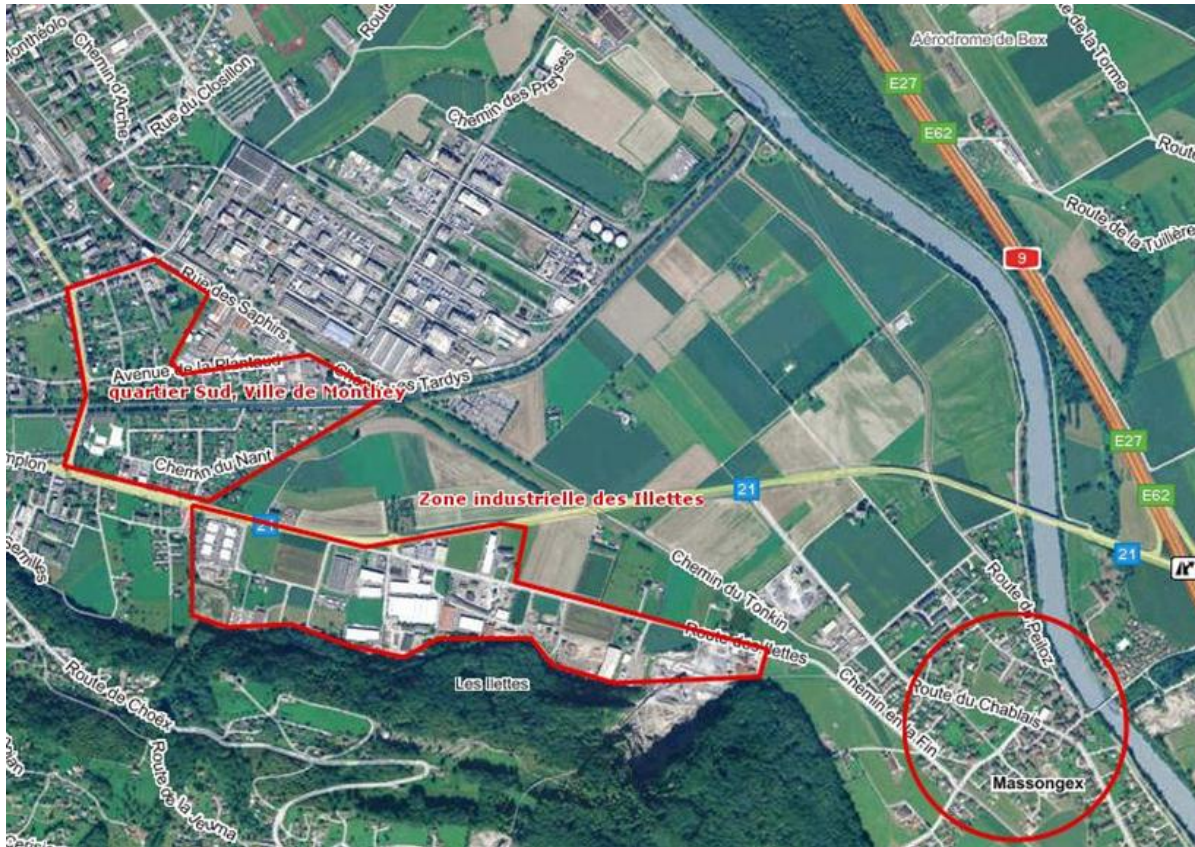


Figure 20 : Exploitation potentielle des rejets de CIMO

La mise en place d'un réseau basse température s'avère nettement plus économique que le développement d'un CAD classique, du fait que les canalisations peuvent être réalisées en PVC. Un bas niveau de température permet, même sans isolation onéreuse, de transporter de l'eau tiède sans pertes conséquentes. Bien entendu, une telle solution requiert l'installation de pompes à chaleur.

Cette solution présente l'avantage de favoriser la mise en place de pompes à chaleur locales au bénéfice de coefficients de performance élevés, même pour de vieux bâtiments nécessitant de hauts niveaux de température. Comme le COP d'une pompe à chaleur dépend de la différence entre la température de la source froide et celle de la source chaude, avec une source froide à quelque 30°C, les COP sont performants même pour des circuits de distribution à haute température (70 - 80°C).

4.1.1 Le projet d'agglomération du Chablais

Le projet Chablais Agglo est un projet de développement territorial qui a pour but la mise en cohérence de l'urbanisation, du paysage et de la mobilité (réseau routier, transports publics, mobilités douces,..). Le projet d'agglomération du Chablais se structure en 5 concepts coordonnés :

- Concept urbanisation
- Concept paysage
- Concept des transports individuels motorisés
- Concept des transports publics
- Concept de la mobilité douce

En date du 25 mars 2010, le comité de pilotage de Chablais Agglo a arrêté un scénario de développement pour l'agglomération.

Ce scénario prévoit de concentrer l'urbanisation future dans les centres urbains déjà existants de Monthey et d'Aigle, garantissant ainsi un développement équilibré de l'agglomération.

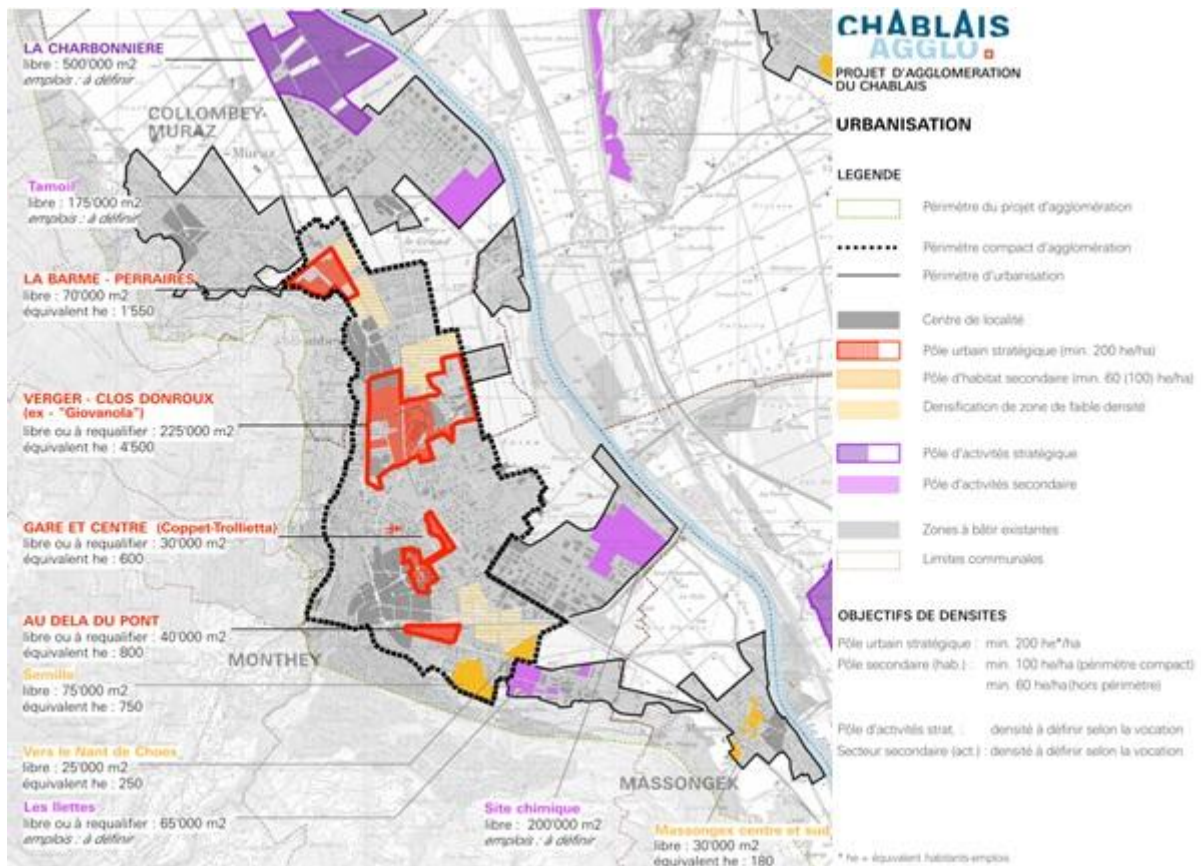


Figure 21 : Projet d'agglomération du Chablais

Dans ce cadre, il serait plus que pertinent d'étudier les possibilités d'utilisation des rejets des communes de Monthey et Collombey-Muraz en les intégrant au projet. En effet, les lignes directrices du développement territorial sont fixées et les densités d'habitation connues. Il suffirait de coordonner les informations relatives aux consommations avec les données des rejets thermiques afin de déterminer une stratégie claire en termes d'approvisionnement de chaleur.

4.2 Le potentiel de CAD dans la région sédunoise

L'UTO : un potentiel à valoriser impérativement

L'usine de traitement des ordures du Valais central (UTO) est située géographiquement à Uvrier, entre les villes de Sion et de Sierre. Comme à la SATOM, l'UTO produit de l'électricité au travers d'une turbine à vapeur sans récupération totale de chaleur, malgré les efforts déjà fournis pour optimiser les fours et le turbinage de vapeur.

Une étude préliminaire a montré un potentiel disponible d'environ 10 MWth pour alimenter un réseau de CAD. L'idée d'une valorisation n'est pas récente mais s'est heurtée à quelques difficultés de réalisation. Depuis cette première étude, une partie des rejets a été valorisée en fournissant de la chaleur à la société Valpellets SA pour le séchage et la production de pellets de bois.

Une étude complémentaire a récemment été initiée afin d'évaluer le potentiel et la faisabilité de création d'un chauffage à distance. Les consommateurs potentiellement disponibles, la densité d'éventuels raccordements, la localisation et la distance entre ceux-ci ont fait l'objet d'analyses.

Le projet indique qu'un potentiel d'environ 13MW de puissance est disponible pour un réseau CAD. Dimensionné afin de fournir de la chaleur à haute température à l'hôpital de Champsec, les niveaux de température pris en compte ne sont pas optimaux. Ce dimensionnement pourrait facilement être revu à la baisse de manière à favoriser un rendement bien supérieur.

A noter encore qu'en utilisant le potentiel des rejets de chaleur sur une période prolongée de l'année, il serait possible de disposer d'une quantité d'énergie de quelque 130 GWh.

4.3 Le potentiel encore présent dans la région de Viège

Le CAD existant de Viège et le potentiel encore présent

Il est important de mentionner que certaines industries n'ont pas attendu la réalisation du présent cadastre pour s'intéresser à la thématique des rejets thermiques. En effet, 14 industries ont répondu au formulaire en indiquant qu'elles envisageaient de mettre en œuvre des projets de valorisation pour des quantités d'énergie de l'ordre de 672 GWh/an (calcul de valorisation réalisé lorsque les données étaient disponibles).

L'exemple le plus concret est celui de Viège avec la KVA et Lonza. Cette dernière valorise en partie un de ses rejets pour alimenter le CAD de Viège.

Cependant, il existe d'une part encore un potentiel de 3.8 GWh/an à valoriser pour ce rejet et d'autre part, le potentiel le plus important de Lonza réside dans son rejet inexploité d'eau chaude. Pour une utilisation de type "réseau à basse température avec pompe à chaleur", cela correspondrait à un potentiel de 563 GWh/an.

4.4 L'évaluation d'un CAD dans la région sierroise

La zone industrielle de Sierre, une source pour un futur CAD ?

D'autres industries, grandes consommatrices d'énergie telles que Novelis, valorisent aussi en interne une partie de leurs rejets thermiques. Malgré cette démarche, une grande quantité de rejets sont rejetés actuellement vers l'atmosphère.

Un des projets de chauffage à distance envisagé pour la région de Sierre pourrait être alimenté entre autres par la récupération de la chaleur des eaux de coulée à 55°C de la Fonderie de Novelis. Un avant-projet de la Ville de Sierre en partenariat avec la Haute Ecole Valaisanne va être mis à l'étude.

Le schéma ci-dessous, montre qu'il existe des synergies importantes entre les grosses industries sierroises (Alcan, Novelis), l'île Falcon et les habitations à proximité. Malgré le faible nombre d'entreprises situées sur la zone industrielle de l'île Falcon ayant répondu au questionnaire (Vallait et la Blanchisserie centrale), un projet d'écologie industrielle devrait être réalisé.

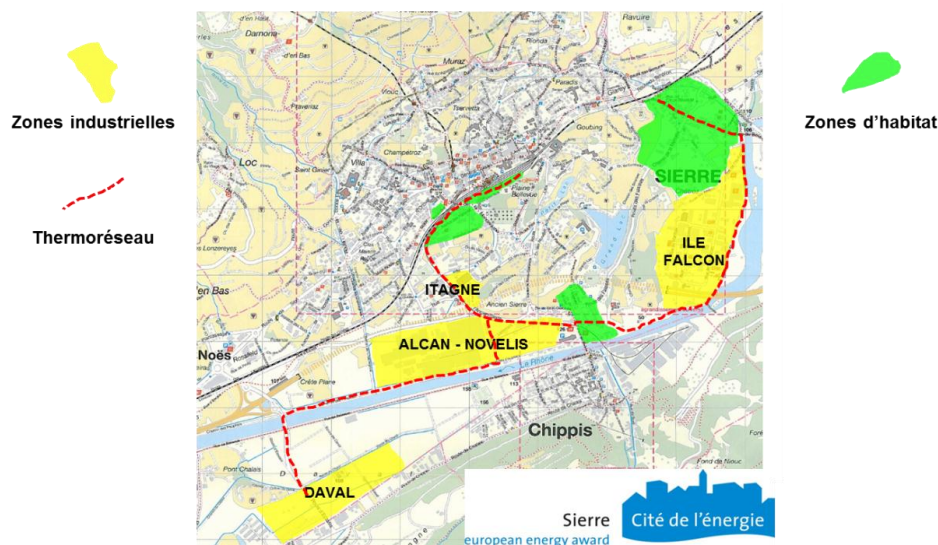


Figure 22 : Exemple d'utilisation des rejets des industries de Sierre pour alimenter un CAD

(Source : séminaire rejet thermique, Sierre, octobre 2010)

4.5 Les projets d'utilisation directe de la chaleur issue des rejets

Les projets pour une utilisation directe des rejets thermiques

L'utilisation directe de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire peut être envisagée sur quatre sites :

- Monthey, par l'intermédiaire des sociétés Djeva et CIMO pour une quantité égale à 3.7 GWh
- Granges, avec la plâtrière du groupe Rigibs pour une énergie de 0.6 GWh
- Martigny, avec Gascogne Laminates
- Viège, avec la Lonza et ses 3.9 GWh disponibles.

La quantité de rejets est dans ces cas suffisante et à bonne température pour une distribution directe à environ 65°C. Cette énergie pourrait suffire à alimenter plusieurs centaines d'habitations ou des industries environnantes.

4.6 Les projets de CAD à l'échelle de quartiers ou à basse température

Les projets de CAD à l'échelle de quartiers

Pour un autre type d'application, Gascogne Laminates possède un potentiel en recourant à la récupération de la chaleur de ses effluents gazeux. Si ces rejets ne sont pas valorisés en interne, il pourrait être imaginable de créer un réseau CAD pour le chauffage des bâtiments industriels situés à proximité. Ceci permettrait d'alimenter une petite zone et donc de limiter les investissements pour le déploiement d'un CAD de grande dimension.

S'agissant des potentiels de réseaux de CAD à basse température, de nombreuses possibilités existent :

- La société Alcan à Sierre dispose d'un rejet de chaleur important pour la création d'un réseau basse température.
- Alcan dispose sur la commune de Chippis, d'une usine dont sont issus des rejets d'eau chaude. Etant donné que cette chaleur n'est disponible que lors des coulées, une pré-étude pour la création d'un réseau de chauffage à distance basse température sur cette commune pourrait être réalisée en intégrant un élément de stockage.
- De la même façon, une pré-étude pourrait être envisagée sur l'usine d'Alcan à Steg.
- L'industrie DSM Nutritional quant à elle projette de réaliser un chauffage à distance entre les communes de Viège, Lalden et Baltschieder. Elle envisage d'analyser les possibilités permettant de valoriser de l'eau chaude afin d'alimenter un réseau à basse température avec utilisation de pompes à chaleur.

Il semble tout à fait opportun d'entrer en contact rapidement avec les industries dont les projets sont identifiés afin d'évaluer les potentielles aides à la réalisation disponibles, que ce soit par des incitations (facilitation administrative) ou des participations financières.

Les projets en question permettront d'identifier des zones à haute densité de besoins de chaleur, mais aussi des nouvelles synergies intra-entreprises ou interentreprises.

4.7 Les projets de valorisation pour produire du froid ou de l'électricité

Les applications industrielles pour le froid ou l'électricité

Pour terminer, il existe trois cas où des applications industrielles sont possibles :

- Dans la zone de Monthey, CIMO pourrait valoriser ses rejets à haute température pour produire 1.4 GWh de froid industriel.
- Dans la même région, Tamoil pourrait valoriser ses rejets pour produire 16.5 GWh d'électricité.
- Gascogne Laminates pourrait valoriser ses rejets à haute température pour produire 2.4 GWh de froid.

Ces applications sont cependant non triviales et impliquent des études plus complètes pour évaluer leur faisabilité technique et économique. Vu les industries situées en proximité, il serait opportun de communiquer l'information afin d'identifier un possible échange ou une valorisation de tels rejets.

5. Perspectives

Vu la récente décision du conseil fédéral sur le nucléaire, l'approvisionnement énergétique devra faire face à de nombreux défis dans les années à venir. En plus de grandes centrales, il faudra compter sur le développement d'énergies renouvelables et sur la valorisation de rejets thermiques.

Ces derniers étaient encore peu connus du fait qu'il n'existait jusqu'à ce jour, aucun document permettant de recenser et quantifier les données territoriales.

La fiche de coordination G. 2/2 du plan directeur cantonal, concernant l'approvisionnement en énergie, stipule notamment que le Grand Conseil a demandé un recensement des rejets de chaleur industriels afin de trouver des synergies avec des consommateurs potentiels. Afin de répondre à cet objectif, la promotion des énergies renouvelables et indigènes ainsi que celle des rejets de chaleur, doivent être envisagées. Les principes mentionnés sur cette fiche, précisent également que le canton doit encourager la valorisation des rejets de chaleur à l'aide de programmes d'incitations.

Les communes, quant à elle, peuvent aussi prendre part à la réalisation de cet objectif et ont le pouvoir de prescrire aux propriétaires l'obligation de raccorder leurs bâtiments à un réseau ou une installation commune à plusieurs bâtiments lorsque l'énergie distribuée est produite principalement au moyen d'énergies renouvelables ou de rejets de chaleur. Elles ont ainsi le devoir d'évaluer la faisabilité des projets dont l'échelle locale permettrait de déployer par exemples des petits réseaux de CAD.

Récapitulation des résultats

Grâce à ce cadastre des rejets thermiques, le potentiel est maintenant identifié. Les potentiels de rejets thermiques sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Application	Région	Potentiel énergétique	Total
Electricité	Monthey	16.5 GWh	16.5 GWh
Froid	Monthey	1.4 GWh	3.8 GWh
	Martigny	2.4 GWh	
CAD	Monthey	463.5 GWh	604.3 GWh
	Martigny	2.8 GWh	
	Sion	138 GWh	
Chauffage et ECS	Monthey	3.7 GWh	16.3 GWh
	Martigny	8.1 GWh	
	Granges	0.6 GWh	
	Viège	3.9 GWh	
Réseau basse température/PAC	Monthey	106 GWh	940.3 GWh
	Sierre	126 GWh	
	Steg	28.6	
	Viège	679.7	
Total			1581.2 GWh

Ces valeurs doivent évidemment être mises en comparaison d'une part avec les consommations d'énergie actuelles du canton, qui s'élèvent à 11'600 GWh dont 8'200 GWh hors les grandes industries, et d'autre part avec le potentiel des énergies renouvelables :

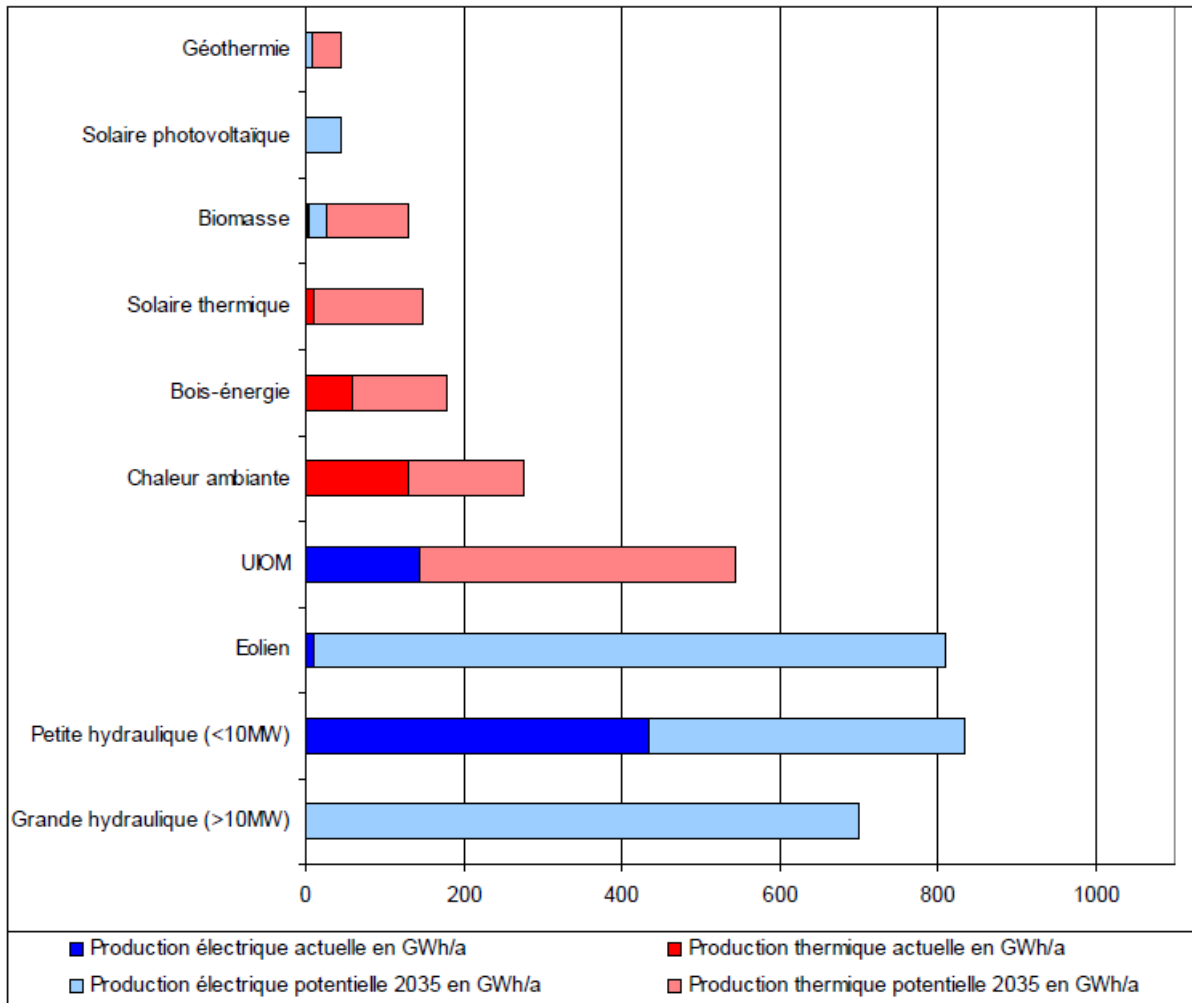
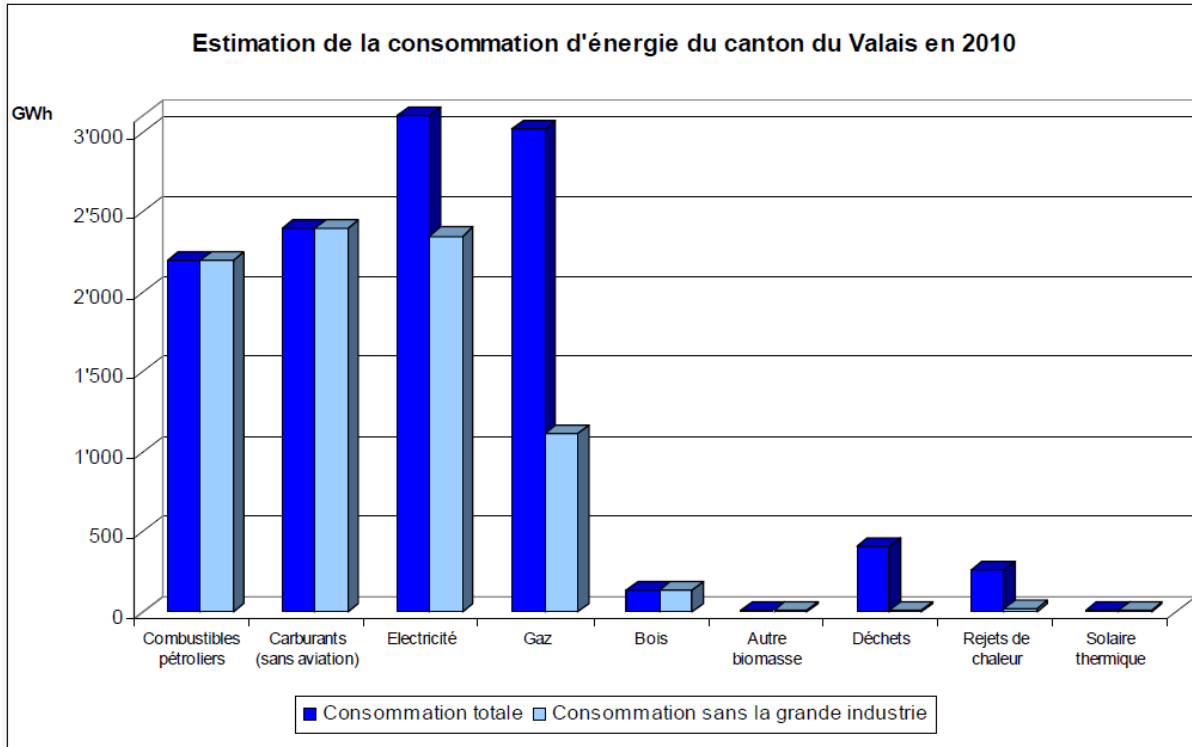


Figure 23 : consommation d'énergie du Valais et potentiel de production d'énergie renouvelable, état en 2008, SEFH, canton du Valais

Les schémas précédents sont uniquement à titre informatif et ne doivent pas être utilisés comme référence. En effet, les estimations pour le potentiel du solaire photovoltaïque ainsi que l'éolien ont fortement varié depuis la situation en 2008, notamment suite à diverses décisions politiques et programmes de subventionnement. Par conséquent, des nouvelles prévisions seront publiées prochainement mais font état d'un potentiel solaire beaucoup plus conséquent.

Cependant, force est de constater que les rejets thermiques identifiés représentent un potentiel plus que significatif en termes de disponibilité pour le canton du Valais (environ 15% !). Il est dès lors primordial de tenir compte de cette énergie rejetée inutilement dans l'environnement.

Pour ce faire, différentes dimensions de projets s'adressent à trois niveaux de décisions :

- Projets de CAD importants : dans ce cas de figure, le canton doit pouvoir soutenir et planifier le développement de ces projets, qui représentent un potentiel important pour des régions s'étendant sur plusieurs communes.
- Projets de CAD à l'échelle de quartiers ou à basse température avec utilisation de pompes à chaleur : dans ce cas de figure, en plus d'un soutien du canton, les collectivités doivent absolument prendre à leur charge ces projets en les intégrant dans leur planification énergétique territoriale. Ceci doit être fait en coordination avec les industries dont sont issus les rejets. Il est important de noter que le pouvoir des collectivités en termes de décisions liées au territoire est très important dans la mesure où celles-ci ont le devoir de planifier un développement territorial cohérent.
- Projets de petite dimension : dans ce cas, les collectivités doivent intervenir pour soutenir les industries désirant valoriser leurs rejets de façon appropriée. L'évaluation des possibilités visant à établir des nouveaux modèles de contrat pour la vente ou l'échange d'énergie avec les entités environnantes doit être envisagée. Le projet d'écologie industrielle du canton devrait pouvoir donner quelques lignes directrices et fournir un support aux industries intéressées via l'antenne de promotion économique du canton.
- Projets industriels : la mise à profit des rejets thermiques pour des applications industrielles (production de froid ou d'électricité) doit être portée par les industries en étroite collaboration avec le canton et les collectivités. De grandes quantités d'énergie sont en jeu et il est nécessaire de connaître le contexte local pour valoriser celles-ci à bon escient. La démarche devrait être initiée par le canton.

Remarques générales et suite à donner

Les rejets identifiés dans le présent rapport sont basés sur différentes hypothèses. Les valeurs énoncées ne sont pas utilisables telles quelles mais ont comme objectif de servir de bases à la mise en œuvre d'études plus complètes pour valider des projets concrets.

Les rejets thermiques présentés sont basés sur des données récoltées entre 2009 et 2011, les dernières données ayant été recensées durant l'été 2011.

Une mise à jour régulière de ces informations s'avère nécessaire afin de ne pas fausser des résultats ou afin d'éviter que des projets soient inutilement mis en œuvre.

Un effort considérable a été mené afin d'obtenir un maximum d'informations de la part des industries, mais une certaine quantité de données sont encore manquantes. Le canton devrait décider si l'un ou l'autre projet identifié dans le présent rapport doit être valorisé, ou si un effort supplémentaire doit être fourni pour compléter le cadastre.

BIBLIOGRAPHIE

CRETTENAND Narcisse, *Postulat du groupe GRL concernant le cadastre des rejets de chaleur importants* 2.058, 13.09.2006

Grand Conseil valaisan, *Réponse au postulat du 13 septembre 2006 du groupe GRL concernant le cadastre des rejets de chaleur importants*, 21 mars 2007

Conseil fédéral, *Fiche d'information : Perspectives énergétiques 2050*, 25.05.2011

Plan directeur cantonal – Fiche de coordination G.2/2, *Approvisionnement en énergie*, 04.11.2008

Electricité et chaleur, Données fondamentales, Ravel dans le domaine de la chaleur, cahier 1, 1995

GROUSET Didier, *Cours de combustion*, Mines d'Albi-Carmaux, 2010

ARLABOSSE Patricia, *Cours de thermodynamique*, Mines d'Albi-Carmaux, 2010

LECOMTE Didier, *Air humide*, Mines d'Albi-Carmaux, 2010

Séminaire « *Les rejets thermiques, des trésors dans nos communes.* », Documents de présentation, 29.10.2010

SATOM. (Page consultée le 10.11.2011). *Plan du réseau*, [En ligne]. Adresse URL : <http://www.satommoney.ch/Satom/index.php/plan-du-reseau>

CHABLAIS-AGGLO, *Urbanisation*, décembre 2011

Annexes

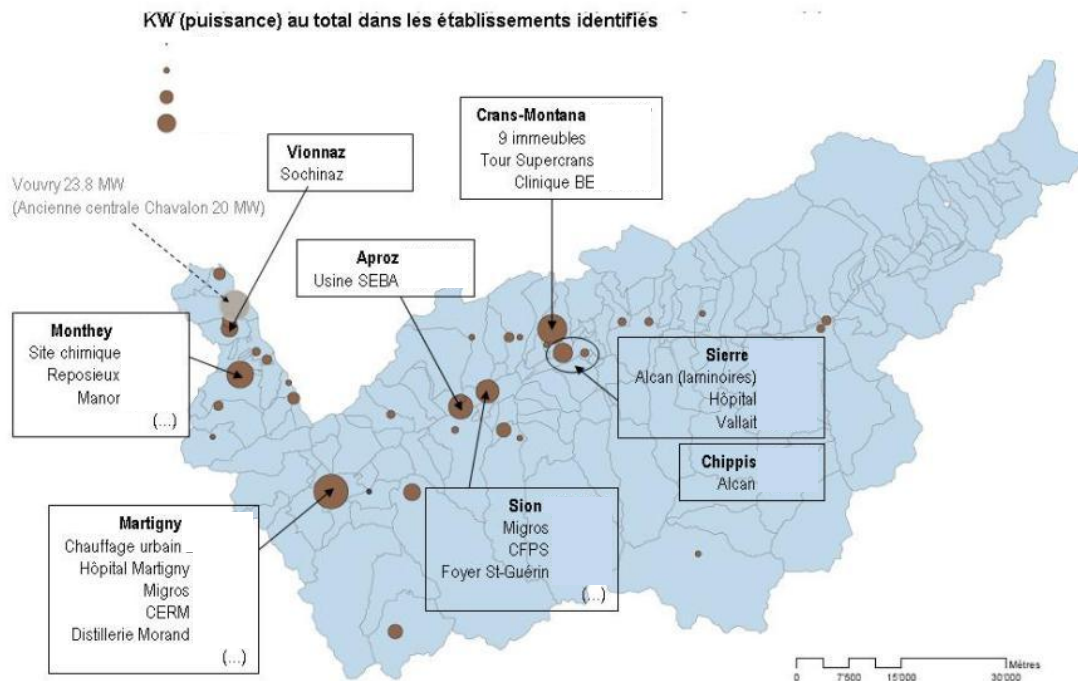
A. Données à disposition

L'étude a pu s'appuyer sur différentes données obtenues auprès du canton. Les services de l'énergie et des forces hydrauliques, et le service de l'environnement ont notamment passablement d'informations sur les puissances installées des grands consommateurs, des données liées aux chaudières et citernes à mazout et une partie de ces informations a pu être utilisée dans cette étude.

A1. Puissance thermique installée

Dans un premier temps, les industries contactées étaient celles qui étaient grandes consommatrices. En effet, il n'est pas rare que les grands consommateurs d'énergie rejettent une quantité très importante d'énergie sous différentes formes (eau de refroidissement, cheminée etc.) à l'environnement.

Puissance thermique installée identifiée > 1 MW



Ceci a permis de prendre les premiers contacts avec les industries et d'identifier les problèmes potentiels en termes de récolte et de validité des données transmises.

A2. Zones économiques du Valais

Dans un second temps, les connaissances du contexte économique valaisan ont permis d'établir les zones dans lesquelles il y avait potentiellement le plus de chances de retrouver des industries. L'antenne de promotion économique du Valais romand a déjà effectué différentes analyses dans ce contexte et ces informations ont pu être valorisées dans le présent projet.



B. Récolte de données

L'étude a été découpée en trois étapes successives, afin de faciliter la réalisation, le suivi et l'évaluation des travaux.

B1. Identification des producteurs potentiels de rejets thermiques

Cette première étape a pour objectif de repérer les principales entreprises industrielles potentiellement productrices de rejets thermiques (grands consommateurs d'énergie thermique, consommateurs ayant des procédés à fort potentiels de rejets, ...) et d'obtenir des informations quant à l'existence et l'importance de rejets thermiques valorisables. Cette étape est décomposée en 5 tâches principales :

Définition des données à collecter

Importation du fichier des gros consommateurs du Service de protection de l'environnement (SPE) du Canton du Valais (puissances thermiques installées supérieures à 1MW)

Identification d'autres sites industriels, grands consommateurs et potentiellement producteurs de rejets dans l'ensemble du Valais (entreprises chimiques, UIOM, entrepôts frigorifiques, patinoires, boulangeries industrielles, grandes caves, etc....)

Réalisation d'une enquête par courrier postal et électronique, ainsi que contacts directs auprès des représentants régionaux de l'économie et des industriels (env. 100 contacts)

Elaboration d'un listing d'entreprises industrielles avec estimation sommaire sur la qualité et la quantité des rejets thermiques.

B2. Caractérisation des rejets des producteurs identifiés

Cette deuxième étape a pour objectif de collecter les informations de détail permettant de caractériser les rejets auprès des émetteurs et d'intégrer ensuite l'ensemble des informations collectées dans un système d'informations géographique (SIG). Cette étape est décomposée en 9 tâches :

Identification des principaux sites industriels producteurs potentiels de rejets thermiques.

Visite des principaux producteurs de rejets identifiés (environ 30 visites).

Caractérisation des procédés producteurs de rejet thermique (agent énergétique, type de procédé, puissance, consommation, saisonnalité, pérennité estimée,...).

Caractérisation du rejet de chaleur (géolocalisation, type de rejet, niveau de température, quantité d'énergie, profil temporel du rejet, puissance disponible, pérennité estimée,...).

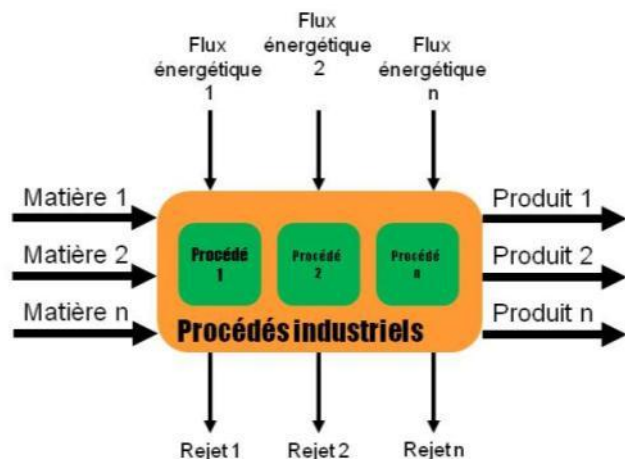
Schématisation des flux des procédés industriels avec indication des puissances et des niveaux de température.

Identification des opportunités internes de valorisation des rejets.

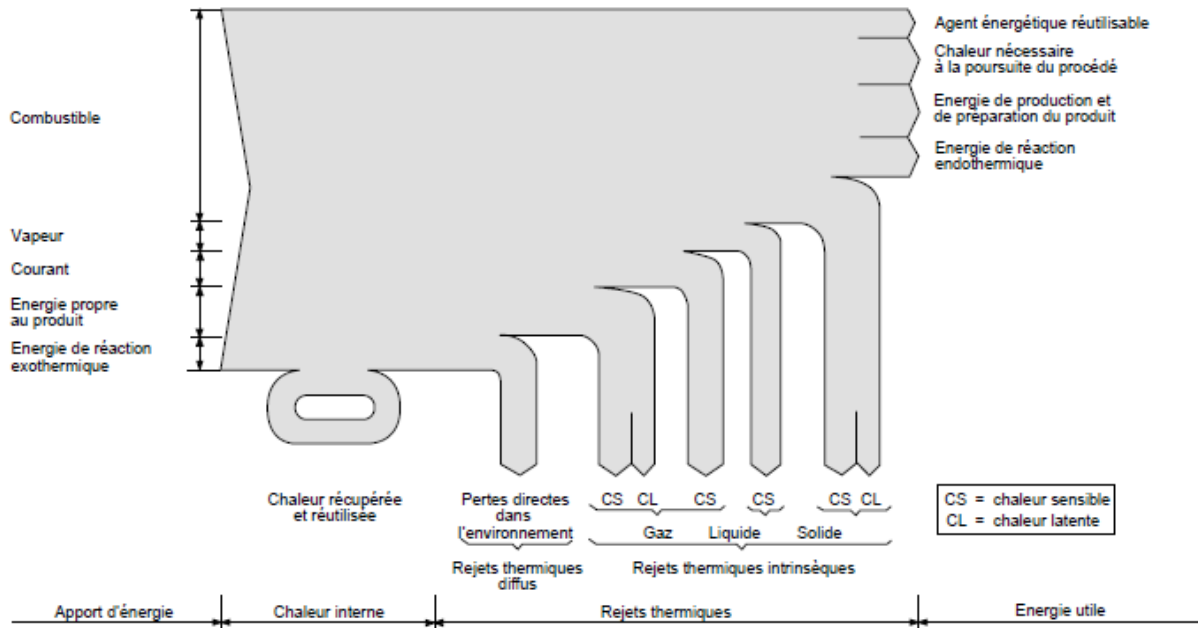
Consommateurs voisins potentiellement concernés.

Projets de valorisation des rejets déjà évoqués par le passé.

Constitution de la base de données SIG (cadastre des rejets).



Pour réaliser, il a fallu analyser le fonctionnement des processus. Cette démarche a été exécutée par les entreprises qui ont répondu au formulaire, étant donné que ce sont les personnes qui connaissent le mieux leurs entreprises et donc les différentes activités qui s'y déroulent.



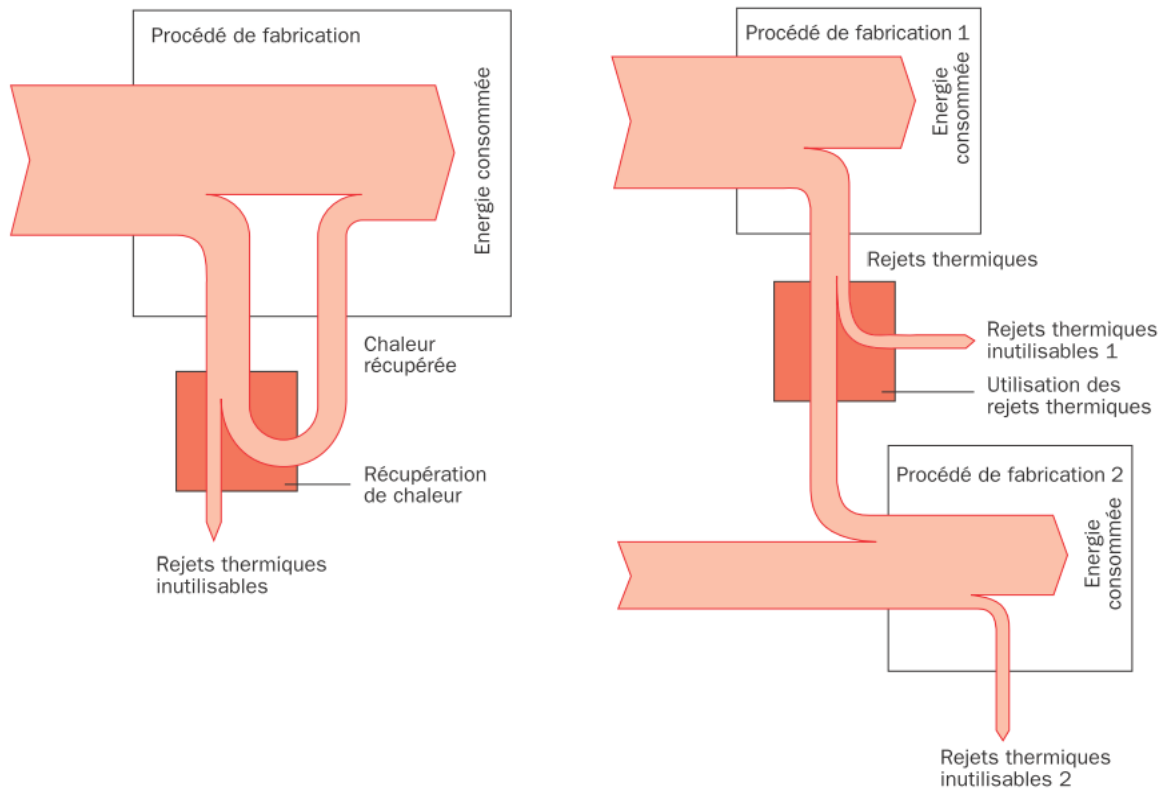
Une aide à la récolte des données a été réalisée afin de pouvoir donner les informations les plus pertinentes, le but étant de récupérer les données concernant les pertes ou rejets thermiques.

Une fois les données obtenues, différentes applications ont été déterminées pour valoriser les rejets de chaleur. On entend par là qu'en fonction des caractéristiques physiques et chimiques des rejets, il y aura différentes possibilités de valoriser l'énergie contenue dans les déchets énergétiques des entreprises à des fins domestiques ou industrielles.

Sources de chaleur	Plages de températures usuelles		Utilisateur de chaleur
Rejets industriels	+1000°C	+500°C	Procédés industriels
	+100°C	+250°C	
Rejets techniques	+200°C	+250°C	Séchage
	+50°C	+50°C	
Circuits de refroidissement	+80°C	+50°C	Préparation d'eau chaude
	+10°C	+40°C	
Air évacué des locaux	+25°C	+80°C	Installations de ventilation
	+5°C	+25°C	
Air neuf	+35°C	+25°C	Chauffage de locaux
Plan d'eau	-15°C	+5°C	
	+20°C	+25°C	
	±0°C	+5°C	
Nappe phréatique	+15°C	+25°C	
	+10°C	+5°C	

Branche	Niveau de température des rejets thermiques
Habitat (secteur confort)	en dessous de 50° C
Production d'énergie (usines électriques)	en dessous de 50° C
Metallurgie et industrie des machines	plus de 300° C
Production de matériel de construction	plus de 300° C
Industrie textile	50 à 300° C
Industrie du papier et du carton	50 à 300° C
Industrie chimique	de 50 à 300° C et plus
Industrie des denrées alimentaires	en dessous de 50° C 50 à 300° C

De plus, lorsque l'énergie contenue dans les rejets de chaleur est trop faible pour une utilisation externe, il est envisageable de la valoriser en interne de différentes façons (récupération de chaleur directe, utilisation de rejets thermiques) selon les principes décrits ci-dessous :



B3. Catalogue de projets (à définir au terme de la seconde étape)

Sur la base des résultats les plus prometteurs de la seconde étape, cette troisième étape a pour objectif d'identifier de premiers scénarios d'exploitation possible de rejets thermiques. Cette étape est décomposée en 7 tâches :

Identification formelle des opportunités de valorisation et des projets (en cours, prévus, échoués).

Représentation géographique de l'offre et de la demande thermique.

Définition de projets, élaboration de fiches de projets.

Propositions relatives à la récupération, au transport et à la consommation de chaleur.

Estimation des quantités d'énergie à économiser et des émissions de CO₂ ainsi supprimées.

Estimation des coûts de mise en œuvre et du temps de retour sur investissement.

Proposition d'une stratégie cantonale et d'un plan d'action.

Remarque : les phases de projet A1 et A2 ont été beaucoup plus laborieuses que prévu, notamment du fait du manque de répondant des partenaires sondés. En effet, malgré l'utilisation de différents interlocuteurs pour les collectes d'informations (distributeurs d'énergie, promotion économique, industriels, etc.), il est apparu que les rejets thermiques potentiellement exploitables sont généralement mal connus des émetteurs. Cet élément a conduit les mandataires à prendre un retard considérable dans le projet et à engager un travail important pour l'envoi de courriers de relances, les prises de contacts supplémentaires, etc. Malgré l'absence d'un nombre important d'informations, la nécessité de produire un cadastre des rejets thermiques dans des délais viable a conduit les mandataires à produire cette première version de ce cadastre, intégrant les données récoltées à ce jour. L'objectif de cette version initiale du cadastre est de disposer de premiers éléments permettant d'identifier des opportunités de projet et d'un système d'informations géographiques (SIG), qui devra être tenu à jour en fonction des nouvelles données collectées.

C. Identification des producteurs potentiels de rejets thermiques

Ces travaux ont été réalisés en plusieurs étapes. En effet, il a fallu d'une part préparer un modèle de données permettant de caractériser les rejets thermiques et un questionnaire y associé permettant aux industries de remplir les données concernant les rejets thermiques, et d'autre part, établir un listing des industries concernées et les contacter pour obtenir les informations.

C1. Elaboration d'un questionnaire à destination des industries

Ce travail a été exécuté dans le cadre d'un groupe de travail faisant intervenir les collaborateurs du SEFH et des ingénieurs du CREM. L'élaboration d'un modèle de données est en effet un des éléments clés pour la réussite de cette étude, afin de s'assurer que toutes les informations nécessaires ont été collectées lors de la réalisation des enquêtes de terrain.

Le modèle de données et le questionnaire associé ont par la suite été testés dans un nombre restreint d'industries, afin de valider la possibilité d'obtention et la pertinence des champs à remplir. Les industries tests ont été choisies de façon à être représentatives de diverses branches économiques, comme des usines, STEP, artisanat, etc.

Les données demandées aux industries sont résumées dans le tableau ci-après **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**:

Généralités	Raison sociale	Localisation	Personne de contact	Téléphone	Email			
Procédé (flux entrant)	Nature	Puissance	Agent énergétique	Energie consommée	Continuité	Pérennité		
Rejet	Nature	Description	Production annuelle	Saisonnalité	Taux annuel	Production journalière	Niveau de température	Contenu énergétique
Sous-produit	Nature	Description	Contenu énergétique					
Valorisation	Actuelle	Envisagée						

La version complète de ce formulaire est présentée en annexe E.

C2. Listing des industries

Dans le but d'assurer l'identification d'un maximum d'entreprises potentiellement émettrices de rejets thermiques, différentes sources ont été utilisées pour la réalisation de la base de données des industries valaisannes :

- Liste des distributeurs d'électricité
- Registres du commerce
- Chambre de commerce et d'industries
- Union des industriels valaisans
- Canton du Valais
- Listing des STEP suisses

Il n'a pas été aisé d'obtenir des informations détaillées auprès des différentes sources citées plus haut. En effet, certains organes ne disposaient pas d'informations précises (coordonnées partielles des entreprises) et il est arrivé que des informations pertinentes n'aient pas été diffusées pour des raisons de confidentialité ou de rémunérations onéreuses.

Finalement, après agrégation des données, l'étude des rejets thermiques industriels valaisans s'est portée sur :

- 187 industries ou entités productrices de rejets thermiques
- 74 STEP
- 85 centrales hydroélectriques ont aussi été identifiées en vue d'éventuelles récupérations de chaleur des alternateurs par des technologies du type pompe à chaleur.

Les bases de données seront fournies ultérieurement, lorsque le système SIG sera mis en place au canton.

C3. Prise de contact avec les industries

Il s'agit de l'étape qui a causé le plus de problèmes. Les questionnaires ont été transmis par email à toutes les industries recensées dans les bases de données. Les envois ont été répétés à plusieurs reprises étant donné que le premier contact n'a pas eu le succès escompté. Les statistiques à ce sujet sont reprises dans le tableau suivant :

Date de l'envoi	Nombre d'entreprises contactées
18.09.2009	12 (pour obtenir des listings complets)
09.11.2009	+ de 200 (industries + communes)
2.02.2010	+ de 200
30.11.2011	+200 (relance officielle DEET)
1.08.2011	- (état des lieux)

A début 2010, sur un total de plus de 250 industries contactées, le nombre de réponses s'élève à environ 80, et 50% de ces réponses comportent des informations sur les processus et rejets. Après un tri qualitatif des informations, il ne reste malheureusement que peu d'informations pertinentes sur les rejets potentiellement utilisables.

Par conséquent, à fin 2010, il a été décidé de renouveler l'envoi aux industries via un courrier officiel signé par le Chef du Département de l'Economie, de l'Energie et du Territoire (DEET) du canton du Valais. Ce courrier était accompagné d'un document explicatif du projet ainsi qu'une aide à l'inventaire des données se trouvant en annexe.

Ceci a permis de compléter de manière significative la base de données des rejets thermiques malgré l'absence toujours de données de certaines grandes entreprises.

D'un commun accord, il a été décidé de rendre un rapport final avec les données du jour à août 2011. Les données manquantes devront encore alimenter la base de données et ce point devra être discuté de plus que la façon de maintenir le cadastre à jour techniquement.

D. Caractérisation des rejets des producteurs identifiés

Ce deuxième volet a été dédié à l'analyse et à la représentation cartographique des producteurs et de leurs rejets. Suite à une première analyse, il est apparu que la typologie des rejets thermique est quasi systématiquement spécifique au producteur de rejets. L'intégration et la représentation de toutes ces données hétérogènes se sont ainsi avérées complexes et un moyen de transmettre l'information de façon claire et concise, avec pour objectif de représenter un maximum d'information sur une vue globale, a été recherché. Toutefois, étant donné la complexité de lecture des cartes produites, il est important de rappeler que les données ont été structurées dans une géodatabase qui permet au mandataire de modifier aisément les représentations réalisées en fonction des volontés du mandant.

D1. Elaboration de la symbologie de l'outil SIG

Les données à afficher doivent être peu nombreuses, claires et suffisamment explicites pour renseigner au maximum l'utilisateur de l'outil. Les informations jugées indispensables sur l'interface sont les suivantes :

- Type de rejet (gazeux, liquide, solide)
- Saisonnalité (printemps, été, automne, hiver)
- Qualification du rejet * (niveau de température, plages à déterminer)
- Visualisation indépendante des STEP

* : la qualification des rejets est un des éléments problématiques. En effet, la nature différente des rejets provoque une qualification multiple des informations. Un gaz n'a pas le même contenu énergétique qu'un liquide ou solide, de plus les références de température ont une influence sur la valeur numérique en termes d'énergie. Ce point est traité dans le chapitre « Recommandations ».

La représentation proposée dans un premier temps est résumée sur les images suivantes :

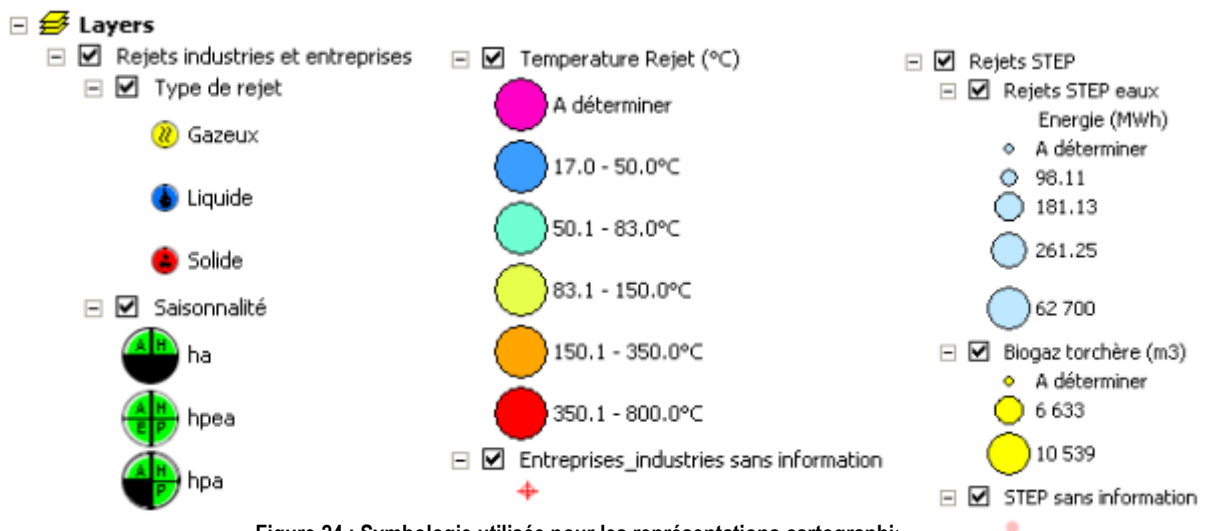


Figure 24 : Symbologie utilisée pour les représentations cartographiques

Tous les éléments importants peuvent ainsi être affichés sur l'interface principale de l'outil SIG. Une sélection d'un objet sur la carte permet ensuite d'afficher les attributs complets de l'entité productrice de rejets thermiques. Le problème principal de cette représentation réside dans le fait que le potentiel selon la nature du rejet n'est pas visible. Comme exemple, l'eau à 80° peut représenter un potentiel énergétique plus intéressant qu'un gaz à

120°. Il semble ainsi intéressant d'ajouter une dimension « surfacique » à la visualisation des niveaux de température, afin de représenter le potentiel énergétique du rejet valorisable.

Ce problème est repris dans le chapitre « Recommandations ».

Il s'agira, dans un deuxième temps, de définir avec le mandant quelles sont les cartes thématiques qui devront figurer dans le rapport final.

D2. Choix de l'outil SIG et développements

Une géodatabase standard a été créée, de manière à pouvoir accéder aux données au moyen de différents outils. Les attributs de cette base de données ont été remplis de façon à pouvoir créer des fichiers de différents types. Il sera nécessaire de déterminer comment et par qui le fichier SIG sera consulté. A ce jour, le fichier peut être visualisé :

- avec des fonctionnalités basiques de consultation (icônes sans attributs complémentaires) sur le logiciel Google Earth
- avec toutes les fonctionnalités sur le logiciel ArcInfo, distribué par ESRI Suisse, pour autant que la configuration soit compatible

Des formats compatibles avec d'autres logiciels sont en cours d'évaluation par les développeurs du CREM.

La représentation globale des données, crée avec le moteur de Google Earth, est la suivante :

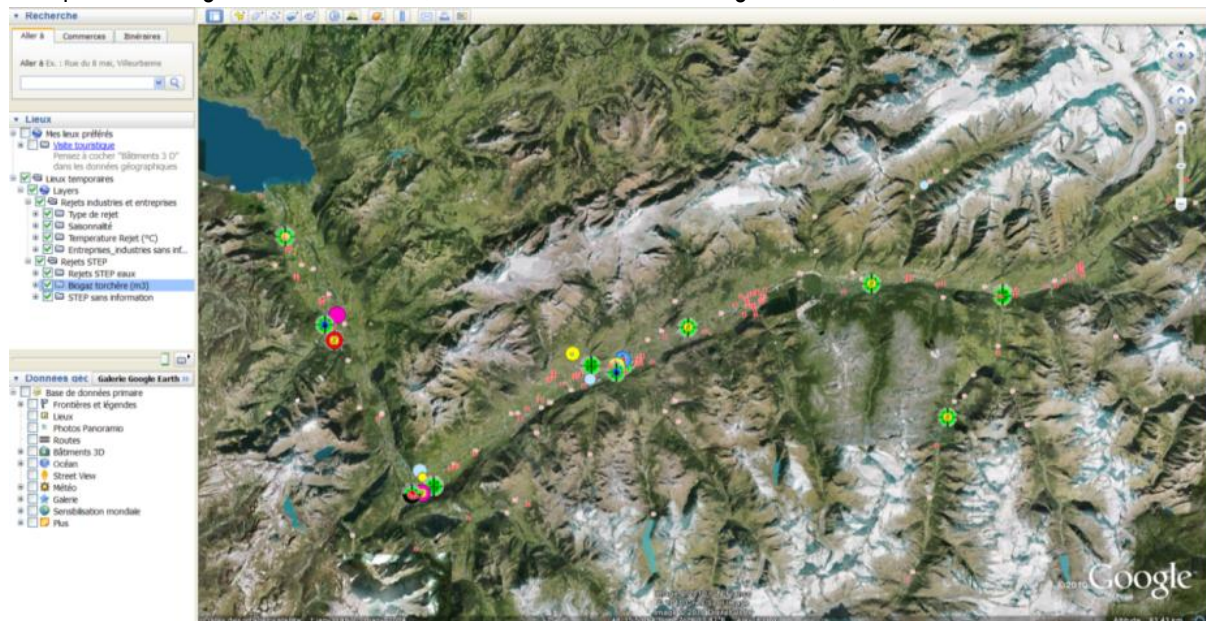


Figure 25 : Cartographie globale des rejets thermiques présents en Valais, état au 31 août 2010

Les fonctions de Google Earth sont conservées mais de nouvelles couches sélectionnables sont greffées sur la boîte de menu de l'interface.

La taille des icônes est automatiquement adaptée à l'échelle de visualisation de la cartographie.

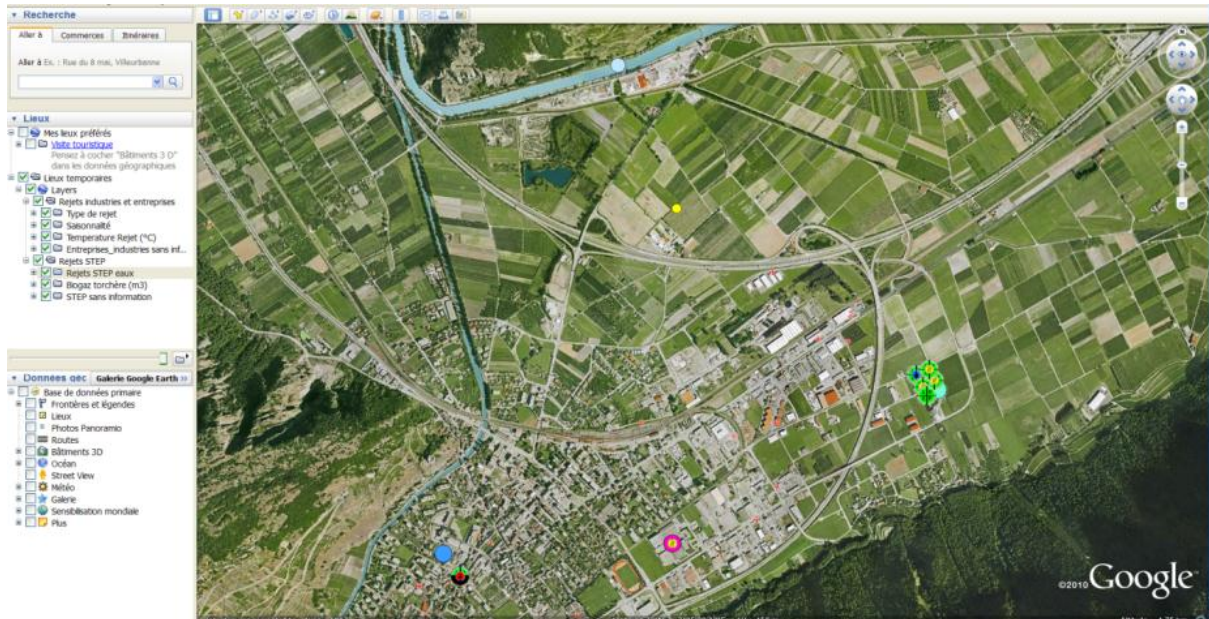


Figure 26 : Cartographie des rejets thermiques de la région de Martigny, état au 31 août 2010

Enfin, lorsqu'une industrie avait plusieurs rejets thermiques, l'affichage a dû être spécifié et programmé au cas par cas afin que les éléments visuels ne se chevauchent pas :

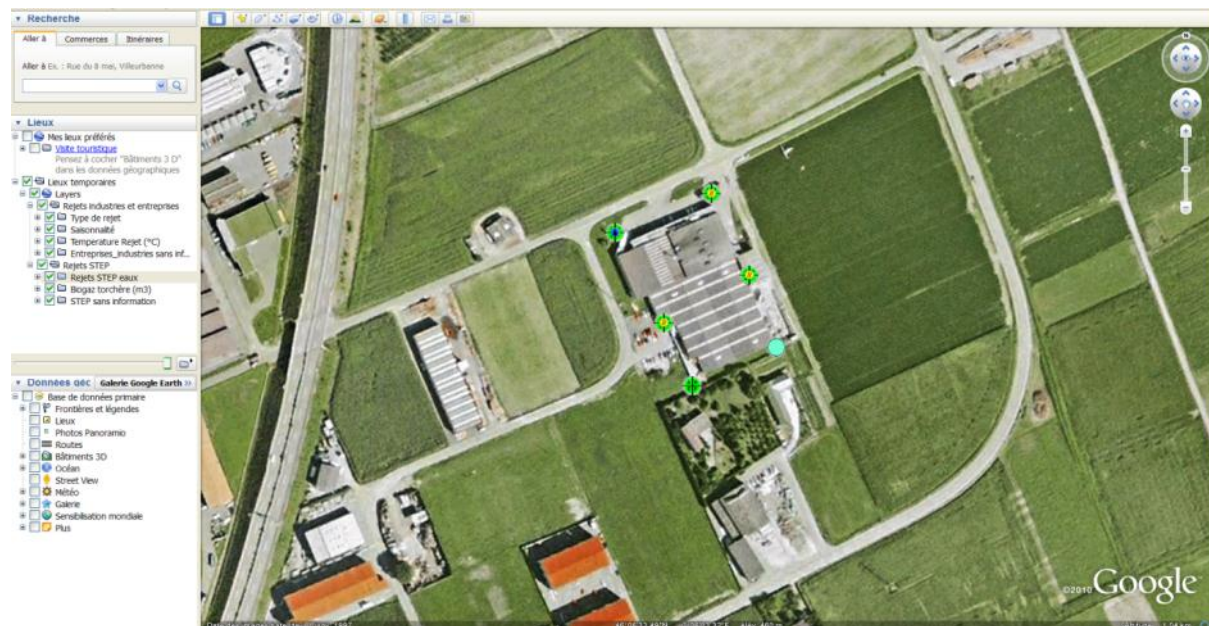


Figure 27 : Exemple d'affichage d'un industriel émettant plusieurs rejets thermiques de natures différentes

E. Courrier officiel du chef du Département (DEET) du canton du Valais



Département de l'économie, de l'énergie et du territoire

Departement für Volkswirtschaft, Energie und Raumentwicklung

Cadastre des rejets thermiques industriels en Valais

Madame la Directrice, Monsieur le Directeur,


Pour assurer son approvisionnement énergétique, notre canton a la chance de pouvoir disposer en plus de l'hydro-électricité, de différentes sources d'énergies renouvelables. Une ressource importante est cependant encore trop négligée : les rejets de chaleur, dont l'utilisation fait pourtant partie des objectifs des législations fédérale et cantonale sur l'énergie.

Un postulat ayant pour objet l'élaboration d'un cadastre des rejets thermiques industriels en Valais a été accepté par le Grand Conseil lors de sa session du printemps 2007. Un mandat a été attribué au CREM, Centre de Recherches Energétiques et Municipales de Martigny, afin de réaliser ce cadastre dont l'objectif est d'identifier et de caractériser les principaux rejets thermiques industriels en Valais. Dans un deuxième temps, il s'agira d'inciter les partenaires locaux à étudier l'opportunité d'une valorisation.

La valorisation des rejets thermiques ne représente pas uniquement un potentiel considérable en termes d'économie d'énergie et de diminution des émissions de gaz à effet de serre, mais elle peut également constituer un vecteur du développement économique valaisan. En effet, cette démarche s'intègre pleinement dans la mise en application d'une stratégie d'écologie industrielle portée par le canton et plusieurs régions en Valais (projet ECHO-Valais en cours, qui vise à valoriser et faciliter les synergies en termes de ressources).

Dans le cadre du mandat susmentionné, le CREM, en collaboration avec le service de l'énergie et des forces hydrauliques a élaboré, sur la base d'informations provenant de quelques entreprises, un outil de visualisation des caractéristiques des rejets de chaleur, (nature, quantités disponibles, niveaux de température, profil saisonnier, etc.). Afin de pouvoir réaliser un cadastre des rejets thermiques bien étayé et de pouvoir tirer bénéfice des résultats du projet, nous nous permettons de vous solliciter et vous remettons en annexe un formulaire ainsi qu'un document explicatif. Merci d'avoir l'amabilité de compléter ces documents et de les retourner au CREM dès que possible mais jusqu'au 3 mars 2011 au plus tard.

Je souhaite profiter du présent courrier pour vous rappeler qu'il existe un programme cantonal pour favoriser l'assainissement énergétique des processus industriels. Des crédits sans intérêts sont alloués pour des projets visant à l'amélioration de la performance énergétique des processus de production ou de transformation dans les entreprises, de manière à rendre plus concurrentielle la production. Le service de l'énergie et des forces hydrauliques se tient à votre disposition pour toute question à ce sujet.

 Palais du Gouvernement, 1951 Sion / Regierungsgebäude, 1951 Sitten
Tél./Tel. 027 606 23 00 • Télécopie/Fax 027 606 23 04

Je vous remercie pour l'attention que vous porterez à ce courrier et pour votre contribution à ce projet d'envergure, et vous prie de croire, Madame la Directrice, Monsieur le Directeur, à l'expression de ma parfaite considération.

LE CHEF DU DEPARTEMENT DE
L'ECONOMIE, DE L'ENERGIE ET DU
TERRITOIRE :

Jean-Michel Cina

Annexes :

- Document explicatif
- Formulaire

Copies :

- Service de l'énergie et des forces hydrauliques
- Antenne régionale du développement économique du Valais romand

F. Formulaire pour la base de données des rejets



Département de l'économie, de l'énergie et du territoire
Service de l'énergie et des forces hydrauliques
Departement für Volkswirtschaft, Energie und Raumentwicklung
Dienststelle für Energie und Wasserkraft

Base de données REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS en Valais

Un explicatif détaillé sur les données à remplir se trouve en annexe, pages 8, 9 et 10

Entreprise

1. Raison sociale :

Adresse complète :

Personne de contact

2. Nom, prénom :

Téléphone professionnel :

Adresse email :

Description du procédé dont sont issus les rejets

3. Description succincte :

4. Agent énergétique du processus : Mazout Gaz Electricité Autre :

5. Puissance installée :

6. Matière entrante (solide, liquide, gazeux) :

7. Energie consommée :

8. Continuité : annuelle : Jan Fév Mar Avr Mai Jun Jui Aou Sep Oct Nov Déc

hebdomadaire : Lu Ma Me Je Ve Sa Di

journalière : 0h----- 3h----- 6h----- 9h----- 12h----- 15h----- 18h----- 21h----- 0

autre (si variable) :

Rejet de chaleur à valoriser (1 document par rejet, merci)

9. Localisation du rejet :

10. Description du process :

11. Forme : Air Effluents gazeux Eau Autre :

12. Flux : Permanent Non-permanent Fréquence :

13. Quantité par unité de temps : Mesuré/Attesté Estimé

14. Continuité : annuelle : Jan Fév Mar Avr Mai Jun Jui Aou Sep Oct Nov Déc

hebdomadaire : Lu Ma Me Je Ve Sa Di

journalière : 0h----- 3h----- 6h----- 9h----- 12h----- 15h----- 18h----- 21h----- 0

autre (si variable) :



Centre de Recherches Energétiques et Municipales

15. Qualité du rejet :

Le rejet peut être exploité :

- Sans traitement
- Avec traitement :
 - physique :
 - chimique :
 - autre :

température du rejet :

autre(s) :

Valorisation

16. Valorisation interne

- Existe déjà Complète Partielle :[%]

Description :

Estimation des coûts :

- Est envisagée prochainement Complète Partielle :[%]

Description :

Estimation des coûts :

17. Valorisation externe

- Existe déjà Complète Partielle :[%]

Description :

Estimation des coûts :

- Est envisagée prochainement Complète Partielle :[%]

Description :

Estimation des coûts :

Publication

Les données transmises suivantes seront publiées :

- J'accepte la publication de toutes les données (localisation, quantité, type, température, saisonnalité du rejet, valorisation externe déjà réalisée)
- Je refuse la publication des données suivantes :
 - localisation température
 - quantité saisonnalité
 - type valorisation déjà réalisée

Remarques :

- nos processus ne rejettent pas de chaleur
- merci de prendre contact pour nous aider à remplir ce document

.....

.....

.....

G. Aide à la récolte des données

Entreprise	Explication	Exemple
1. Raison sociale	le nom de l'entreprise doit être renseigné	Alcan, Migros, Syngenta
Adresse complète	l'adresse complète de l'entreprise favorise une localisation géographique sur une carte afin d'identifier les zones de densité à potentiel. Dans le cas où l'entreprise aurait différents lieux géographiques, l'adresse indiquée sera celle où les rejets thermiques correspondants sont analysés	<ul style="list-style-type: none"> Alcan SA Steg, Alustrasse 49, 3940 Steg BASF Orgamol Pharma Solutions SA, Rte du Simplon 1, 1902 Evionnaz

Personne de contact	Explication	Exemple
2. Nom, prénom	Le nom, prénom, numéro de téléphone professionnel ainsi que l'adresse email de la personne de contact sont requis afin de pouvoir la contacter si des données sont incomplètes ou incohérentes	Kuchler Fabien
Téléphone professionnel		027 721 25 40
Adresse email		fabien.kuchler@crem.ch

Description du procédé dont sont issus les rejets	Explication	Exemple
3. Description succincte	Le procédé est ici renseigné pour favoriser la compréhension globale de son fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> Four de séchage pour papier Rejet d'eau thermale à l'égout Chaudière à gaz du CAD
4. Agent énergétique du processus	Description du type d'énergie utilisé pour faire fonctionner le processus	<ul style="list-style-type: none"> Mazout Electricité Gaz
5. Puissance installée	Puissance nominale de chaque procédé qui permet de déterminer quelques informations en cas de données manquantes	<ul style="list-style-type: none"> 100kW électrique 400kW thermique
6. Matière entrante	Solides, liquides ou gazeuses, certaines matières peuvent être des rejets provenant d'autres procédés aussi la connaissance des matières entrantes permet donc de cibler les opportunités de valorisation	<ul style="list-style-type: none"> Air ambiant Vapeur Métal Eaux usées
7. Energie consommée	Quantité d'énergie consommée sur une durée établie	<ul style="list-style-type: none"> 300'000kWh par année 250kWh par cycle de cuisson et 100 cycles de cuisson par mois 50'000kWh par mois
8. Continuité	La continuité comprend des informations qui décrivent l'utilisation des procédés afin de cibler les temps de fonctionnement précis	<ul style="list-style-type: none"> Du lundi au vendredi, de 6h à 9h et de 12h à 16h de janvier à juillet Tous les jours en juillet et août

Rejet de chaleur à valoriser	Explication	Exemple
9. Localisation du rejet	La localisation du rejet permet de cibler avec prévisions de quel bâtiment ou quelle halle et à quel niveau les flux sont issus lorsque les industries comportent plusieurs bâtiments ou halles	<ul style="list-style-type: none"> • Bâtiment 412, 3ème étage, salle 12 • Halle principale, quartier nord • 2ème étage, dépôt frigorifique sud
10. Description du process	Il s'agit ici de comprendre quel processus provoque des rejets thermiques	<ul style="list-style-type: none"> • Tuyau d'extraction d'air • Cheminée de sortie gaz chaudière • Tour de refroidissement de l'incinérateur • Circuit secondaire de refroidissement du moteur
11. Forme	Il s'agit de caractériser la nature du rejet thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Air • Effluents gazeux • Eau • Boues
12. Flux	Continu ou discontinu, cette information doit décrire si le rejet est stocké et vidé par cycles (comme une cuve qui serait vidée chaque jour) ou s'il est émis de façon continue	<ul style="list-style-type: none"> • Non-permanent, 1 cuve par jour • Non-permanent, 6 volumes par semaine • Permanent
13. Quantité par unité de temps	Les rejets sont quantifiés en termes de volumes ou masses par unité de temps et peuvent être mesurés si des capteurs sont installés sur les process ou peuvent simplement faire l'objet d'une évaluation par l'exploitant du procédé	<ul style="list-style-type: none"> • 1m³/heure • 12 litres/seconde • 20m³/jour • 1tonne/mois
14. Continuité	La continuité comprend des informations qui décrivent l'utilisation des procédés afin de cibler les temps de fonctionnement précis	<ul style="list-style-type: none"> • Du lundi au vendredi, de 6h à 9h et de 12h à 16h de janvier à juillet • Tous les jours pendant les mois de juillet et août
15. Qualité du rejet	La qualité du rejet sert à définir si celui-ci est exploitable de manière directe et renseigne sur un certain potentiel énergétique. En effet, il est essentiel de caractériser le rejet afin de savoir si un traitement doit être mis en œuvre que se soit sur les matériaux des installations (traitement de surface) ou sur le rejet lui-même (filtration,...), avant de pouvoir l'utiliser en fonction de sa température ou autre caractéristique.	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un filtrage des effluents gazeux à 70°C pour valorisation • Nécessite une déminéralisation de l'eau à 16° • Liquide de refroidissement à 34°C • Vapeur d'eau déminéralisée, 140°C • Nécessite un traitement de surface du métal, faible teneur de fer dans l'eau à 12°C

Valorisation	Explication	Exemple
16. Valorisation interne	La valorisation est identifiée afin de cibler si les rejets sont déjà exploités, partiellement ou complètement en interne dans l'entreprise, ou si des scénarios sont planifiés, ainsi que leurs coûts associés s'ils ont été évalués	<ul style="list-style-type: none"> • Valorisation complète des rejets de chaleur pour le chauffage des locaux administratifs, échangeur et main d'œuvre CHF 25'000.- • Valorisation partielle (50%) de l'eau pour l'ECS des bâtiments • Valorisation prévue (75%) sur l'air avec un échangeur de chaleur

<p>17. Valorisation externe</p>	<p>La valorisation est identifiée afin de cibler si les rejets sont déjà exploités, partiellement ou complètement en externe à l'entreprise, ou si des scénarios sont planifiés, ainsi que leurs coûts associés s'ils ont été évalués</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Valorisation complète de l'eau pour le CAD de la ville, infrastructures de réseaux et travaux CHF 120'000.- • Valorisation partielle (50%) de la vapeur, transfert de gaz vers un CCF d'une entreprise voisine
<p>Publication</p>	<p>Une plateforme publique (système d'information géographique) a été élaborée et référencera les données liées <u>aux rejets thermiques uniquement</u>, obtenues suite à ce sondage.</p> <p>Cependant, afin de garantir le secret d'entreprise, il est possible de restreindre la publication d'informations jugées confidentielles, <u>liées aux rejets thermiques</u>, à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la localisation • la température • la quantité • la saisonnalité • le type • la valorisation déjà réalisée <p>Il suffit pour cela de cocher les cases correspondantes</p>	
<p>Remarques</p>	<p>Toute éventuelle remarque peut être ici formulée par vos soins. Dans le cas où vos processus ne rejettent pas de chaleur ou dans le cas où vous avez besoin d'aide pour remplir le document, merci de cocher la case correspondante.</p>	

H. Méthodologie pour le calcul du potentiel

H1. Forme du rejet : effluents gazeux

Le volume des effluents gazeux est souvent donné en Normaux mètres cubes, il faut donc réaliser la conversion pour évaluer le potentiel énergétique de récupération de ces rejets.

H1.1. Conversion des Nm³ en m³

Si on prend l'hypothèse que les effluents gazeux sont des gaz parfaits alors on peut écrire :

$$PV = n RT$$

Les gaz étant compressibles, il est possible de transformer un volume d'une même quantité de gaz en le comprimant ou en changeant sa température.

Il a été fait l'hypothèse que la norme en vigueur était la ISO 2533. Le volume aux conditions normales est calculé sur la base des conditions standards :

- pour une pression de 101.325 kPa
- ISO 2533 : une température de 288.15K (15°C)

D'où $P_1 \times V_1/T_1 = P_2 \times V_2/T_2$ avec :

- P1, T1, V1 correspondant aux conditions standards (ISO 2533)
- P2 étant prise égale à P1, c'est-à-dire la pression atmosphérique (sortie de cheminée)
- T2 correspondant à la température du rejet indiqué dans le questionnaire et V2 le volume en m³

Ce qui conduit à :

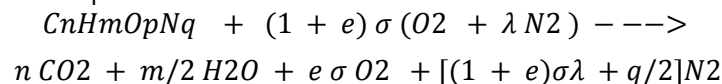
$$V_2 = V_1 \times T_2/288.15$$

H1.2. Combustion de gaz naturel

Hypothèses prises :

- gaz composé de 100% de méthane CH₄
- combustion complète avec 20% d'excès d'air. Habituellement, une bonne combustion se réalise en léger excès d'air (entre 5 et 20 %)

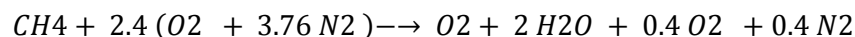
L'équation de combustion complète en excès d'air s'écrit de la manière suivante :



Avec :

- σ , le pouvoir comburivore volumique dans l'O₂ : 2
- λ , le nombre de moles de N₂ par mole O₂ : 3.762
- e, l'excès d'air

L'équation devient :



Pour pouvoir évaluer l'enthalpie de formation et celle sensible aux différentes températures du rejet (la température à laquelle il est rejeté et la température minimale d'utilisation), il faut calculer la composition molaire de chaque produit. Les produits correspondent aux fumées rejetées dans l'atmosphère.

H1.3. Composition molaire et massique des produits de la réaction

Voici les fractions molaires et massiques des produits pour l'équation de combustion établie :

X_{CO_2}	X_{H_2O}	X_{O_2}	X_{N_2}	Y_{CO_2}	Y_{H_2O}	Y_{O_2}	Y_{N_2}
Fractions molaires des produits				Fractions massiques des produits			
0,08	0,161	0,032	0,726	0,127	0,104	0,037	0,732

H1.4. Calcul de l'enthalpie de formation et sensible

L'enthalpie (formation + sensible) d'une espèce s'écrit :

$$H(T) = \int C_p(T) dT$$

D'après JANAF (Kee & al, 1994), il est possible de déterminer l'enthalpie molaire (formation + sensible) d'une espèce grâce à 2 polynômes de degré 4 : l'un à utiliser si $T > 1000K$ et l'autre pour $T < 1000K$, avec raccordement.

$$H(T)/R = a_6 + a_1T + a_2 T^2/2 + a_3 T^3/3 + a_4 T^4/4 + a_5 T^5/5$$

Etant donné qu'aucun rejet n'est supérieur à 1000K, la table utilisée pour les coefficients a_n est :

données thermodynamiques sous formes polynomiales d'après base JANAF (Kee & al, 1994)						
The Chemkin Thermodynamic Data Base R. J; Kee, F. M. Rupley, J. A. Miller						
T<1000	N2	O2	H2O	CO2	CO	H2
a1	3.299E+00	3.213E+00	3.387E+00	2.276E+00	3.262E+00	3.298E+00
a2	1.408E-03	1.127E-03	3.475E-03	9.922E-03	1.512E-03	8.249E-04
a3	-3.963E-06	-5.756E-07	-6.355E-06	-1.041E-05	-3.882E-06	-8.143E-07
a4	5.642E-09	1.314E-09	6.969E-09	6.867E-09	5.582E-09	-9.475E-11
a5	-2.445E-12	-8.769E-13	-2.507E-12	-2.117E-12	-2.475E-12	4.135E-13
a6	-1.021E+03	-1.005E+03	-3.021E+04	-4.837E+04	-1.431E+04	-1.013E+03
a7	3.950E+00	6.035E+00	2.590E+00	1.019E+01	4.849E+00	-3.294E+00

On détermine ensuite l'enthalpie molaire à la température T donnée par la formule suivante :

$$h(T) = \sum_{j=1}^N Y_j h_j(T) \text{ avec } j \text{ les produits de la réactions}$$

La différence d'enthalpie molaire entre la température du rejet et la température minimale (dépend de l'utilisation) permet de calculer le potentiel récupérable :

$$\Delta H \left(\frac{J}{mol} \right) = H(T_{rejet}) - H(T_{min utilisation})$$

Il reste à convertir la différence d'enthalpie molaire en enthalpie massique pour pouvoir calculer le potentiel de chaleur récupérable. Voici un exemple du calcul de l'enthalpie massique suivant différentes utilisations et température :

Température °C	Température °K	masse volumique (kg/m3)	delat H (J/mol) suivant utilisation					delat H (kJ/kg) suivant utilisation						
			Production elec	Froid	CAD	ECS	Chauffage bat	Production elec	Froid	CAD	ECS	Chauffage bat		
50	323.15	1.0487												
60	333.15	1.0172						459.58						16.53
65	338.15	1.0022					1223.42	613.12					44.00	22.05
75	348.15	0.9734					1531.01	920.72					55.06	33.11
83	356.15	0.9515					1777.58	1167.28					63.93	41.98
90	363.15	0.9332			1383.38		1993.68	1383.38			49.75		71.70	49.75
120	393.15	0.8620		1853.6	2313.22		2923.52	2313.22		66.66	83.19	105.14	83.19	
145	418.15	0.8105		2633.1	3092.64		3702.94	3092.64		94.69	111.22	133.17	111.22	
148	421.15	0.8047		2726.9	3186.45		3796.74	3186.45		98.06	114.59	136.54	114.59	
179	452.15	0.7495		3699.7	4159.26		4769.56	4159.26		133.05	149.58	171.52	149.58	
230	503.15	0.6735	4081.04	5314.1	5773.71		6384.00	5773.71	146.76	191.11	207.64	229.58	207.64	
350	623.15	0.5438	7952.82	9185.9	9645.48		10255.78	9645.48	286.00	330.35	346.87	368.82	346.87	

La masse volumique des fumées a été calculées à température du débit à cause de la conservation de la masse
 Pour finir le potentiel de chaleur récupérable des fumées s'écrit :

$$\dot{Q}(kJ) = \text{delta } H (kJ/kg) \times \rho_{\text{fumées}}(kg/m^3) \times V_{\text{fumées}} (m^3) \text{ avec } \rho \text{ la masse volumique des fumées}$$

H2. Forme du rejet : air

Hypothèses prises :

- dans une première approche, l'air est considéré sans humidité.
- $C_{p_{\text{air}}} = 1.005 \text{ kJ/kg.K}$

Il a été choisi de calculer la masse volumique de l'air sec avec l'équation suivante car certains rejets d'air sortent à très haute température (ex : four électrique)

$$\rho_{\text{air}} = 1.293 \times 273^3 / T_{\text{air}} \text{ avec } T \text{ en Kelvin}$$

Le potentiel de chaleur récupérable des rejets d'air s'écrit :

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \rho_{\text{air}} \times C_{p_{\text{air}}} \times (T_{\text{rejet}} - T_{\text{min utilisation}})$$

Une attention toute particulière devra être apportée dans une deuxième approche pour évaluer avec plus de précision le potentiel énergétique de l'air humide comme par exemple pour les rejets provenant de tour de refroidissement.

H3. Forme du rejet : eau

Hypothèse prises :

- Masse volumique de l'eau, $\rho_{\text{eau}} = 998 \text{ kg/m}^3$
- $C_{p_{\text{eau}}} = 4.18 \text{ kJ/kg.K}$

Le potentiel de chaleur récupérable des rejets d'eau s'écrit de la même façon que précédemment :

$$\dot{Q} = V_{\text{rejet eau}} \times \rho_{\text{eau}} \times C_{p_{\text{eau}}} \times (T_{\text{rejet}} - T_{\text{min utilisation}})$$

H4. Forme du rejet : vapeur d'eau

Le contenu énergétique de la vapeur d'eau est obtenu en calculant l'enthalpie de la vapeur d'eau en fonction de sa température en tenant compte de la chaleur latente de vaporisation ainsi que sous sa forme finale, l'enthalpie

de l'eau liquide à température de l'utilisation La différence calculée donne le contenu énergétique du rejet sous forme de vapeur d'eau.

Calcul de l'enthalpie de la vapeur d'eau :

$$\boxed{h_v^*(\theta) = L_v(0) + c_v\theta}, \text{ exprimée en : } kJ/kg \text{ eau}$$

avec $L_v(0) \approx 2500.8 \text{ kJ/kg}$ (chaleur latente de vaporisation de l'eau).

On vérifie bien qu'à 0°C , $h_v^*(0) - h_l^*(0) = L_v(0)$

$c_v = 1.8266$ pour $0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 50^\circ\text{C}$ (COSTIC)

ou bien $c_v = 1.8266 + 2.818 \cdot 10^{-4} \theta - 1.0862 \cdot 10^{-5} \theta^2$ pour $0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C}$ (COSTIC)

Calcul de l'enthalpie de l'eau liquide :

$$\boxed{h_l^*(\theta) = c_l\theta}, \text{ exprimée en : } kJ/kg \text{ eau}$$

avec $c_l = 4.194$ pour $0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 50^\circ\text{C}$ (COSTIC)

ou bien :

$$h_l^*(\theta) = \frac{\theta}{0.2374 + 4.01510 \cdot 10^{-5} \theta + 2.72110 \cdot 10^{-7} \theta^2}, \text{ pour } 0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C} \text{ (COSTIC)}$$

Le potentiel de chaleur récupérable des rejets d'air s'écrit :

$$\dot{Q} = m_{\text{vapeur eau}} \times (H_{\text{vapeur eau}} - H_{\text{eau liquide à } T \text{ utilisation}})$$

I. Tableau récapitulatif de température des rejets et de l'état de valorisation

Le tableau est fourni en version pdf.

J. Tableau récapitulatif des projets de valorisation des rejets

Le tableau est fourni en version pdf.

K. Cartes réalisées

Les cartes suivantes sont fournies en version pdf :

- Carte des rejets industriels avec leur niveau de température
- Rejets industriels valorisés en Valais
- Potentiel de valorisation des rejets pour des applications de type froid
- Potentiel de valorisation des rejets pour des applications de type CAD
- Potentiel de valorisation des rejets pour des applications de type chauffage ou eau chaude sanitaire
- Potentiel de valorisation des rejets pour des applications de type PAC
- Valorisation des rejets industriels envisagée/en projet