

SEMINAIRE INTERDISCIPLINAIRE

**METABOLISME DU MAZOUT DANS LE
SYSTEME MARTIGNY**

Direction : O. Joliet
Assistant : Y. Loerencik

Table des matières :

Préambule	2
Résumé	4
1 Objectifs.....	5
1.1 <i>But de l'étude</i>	5
1.2 <i>Définitions</i>	5
1.3 <i>Hypothèses</i>	5
2 Estimation du flux entrant de mazout	5
2.1 <i>Données statistiques suisses</i>	5
2.2 <i>Estimation sur la base des statistiques suisses (estimation 2.2)</i>	5
2.3 <i>Données du CREM, 1985 et 1987</i>	5
2.4 <i>Estimation pour 2001 sur les bases des données du CREM</i>	6
2.5 <i>Résultats condensés des estimations</i>	7
2.6 <i>Commentaires</i>	7
2.7 <i>Limites des estimations</i>	7
3 Estimation du flux sortant.....	7
4 Estimation des stocks	7
5 Estimation des émissions.....	8
6 Proposition de nouvelles méthodes d'évaluation.....	8
6.1 <i>Méthode d'estimation par connaissance des surfaces chauffées</i>	8
6.2 <i>Méthode d'estimation par la pose d'appareils de mesure</i>	10
6.3 <i>Méthode par concours des propriétaires</i>	11
6.4 <i>Méthode par concours des livreurs de mazout</i>	12
7 Flux sortants, stocks, émissions : estimations basées sur les nouvelles méthodes proposées	13
7.1 <i>Flux sortants</i>	13
7.2 <i>Stocks</i>	13
7.3 <i>Emissions</i>	13
8 Réduire le pas de temps	13
8.1 <i>Utilisation du degré-jour</i>	13
8.2 <i>Exemple</i>	14
9 Améliorer la représentation géographique	14
10 Comparaison des méthodes	15
10.1 <i>Avantages et désavantages : condensé</i>	15
10.2 <i>Critique générale des différentes méthode</i>	15
10.3 <i>Couplage des méthodes</i>	16
11 Choix d'une méthode et exemples d'application	16
11.1 <i>Méthode de base</i>	16
11.2 <i>Méthode améliorée</i>	17
12 Vers une grande base de données	17
13 Limites du métabolisme régional	18
Conclusion.....	19
Bibliographie	20
Glossaire.....	20

Préambule

Tout système géographique, qu'il s'agisse d'un quartier, d'une ville ou d'une région est le terrain d'activités fort diverses : dans une usine, les ingrédients d'une boisson gazeuse sont mélangés à de l'eau et mis en bouteille, dans une poubelle au coin d'une rue des microorganismes dégradent un reste de pomme, ailleurs, sur une terrasse, assis sur une chaise en plastique, une femme paye son repas en regardant des voitures traverser la ville. Quantité d'approches existent pour décrire ces activités. A l'échelle d'une ville, parce que l'administration est elle-même fortement sectorisée, les politiques ont tendance à approcher ces activités de façon désagrégée : d'un côté l'industrie, de l'autre les impôts, ailleurs le social, et ainsi de suite. Une telle catégorisation a ses limites ; il est évident que ces secteurs interagissent les uns avec les autres, et la commune ne peut se passer d'une communication entre ses différents services.

La prise en compte des incidences des activités humaines sur l'environnement, en même temps qu'elle a conduit à la création de services administratifs spécifiques à leur gestion, a aussi mis en avant la nécessité d'un renforcement des liaisons entre secteurs. L'environnement, dans son acception la plus large, peut en effet être considéré comme le système central, le point de rencontre, voire l'englobant de tous les autres domaines, et sa gestion ne peut se passer d'une approche systémique.

A l'extrême opposé de cette vision politique sectorisée des activités humaines, le métabolisme régional, méthode en plein développement, se propose justement d'aborder les activités survenant sur une portion du territoire de façon beaucoup plus globale. Le système régional n'est plus scindé en domaines. Il est le terrain de circulation et de transformation de *matière*, unité de référence du métabolisme régional. La matière est déplacée dans les limites du système, peut y entrer ou en sortir, subir des transformations chimiques, physiques ou biologiques, se trouver sous forme gazeuse, solide ou liquide. Qu'elle soit transformée ou assemblée par l'industrie, véhiculée sous la forme de produits de consommation, consommée par des être sociaux, rejetée sous forme de toxique, ou qu'elle fasse l'objet de taxes d'imposition, c'est la description de sa position et de sa circulation qui intéresse en premier chef le métabolisme régional.

L'apparement de la méthode du métabolisme régional à la méthode d'analyse de cycle de vie est évidente. La grande différence entre ces deux méthodes réside dans la définition des limites du système : elles sont géographiques pour la première, et fonctionnelles pour la seconde.

Les applications du métabolisme régional sont infinies. Pouvoir informer les entreprises de construction sur l'emplacement des stocks de gravier, c'est leur faciliter la tâche pour la préparation du béton et minimiser le transport de ce genre de matériaux. Renseigner une entreprise A sur les rejets de l'entreprise B voisine, c'est lui donner la possibilité d'utiliser ces déchets comme ressource pour son propre processus industriel. Connaître les rejets de SO₂ dans une ville, c'est mieux évaluer les impacts sur la santé. Identifier les sources de métaux lourds dans un cours d'eau, ce sont des perspectives qui s'ouvrent pour améliorer son état de santé. Savoir la composition des déchets, c'est mieux cibler leur traitement, etc.

Connaître les flux de matière et la transformation de la matière à l'intérieur de frontières géographiques : si l'objectif du métabolisme régional est simple, il est tout aussi difficile à atteindre. En effet, le concept, qui fonctionne selon un processus boîte noire, implique la maîtrise de deux aspects : d'un côté, connaissance de la nature et du volume des flux (inputs, stocks, outputs), de l'autre connaissance des processus de transformation. Dans la perspective où l'on s'intéresse à l'ensemble des flux circulant dans une région de grande importance, le premier aspect requiert la collecte d'une quantité d'information gigantesque,

tandis que le deuxième demande de vastes savoirs scientifiques au sujet des transformations chimiques, physiques et biologiques.

Ainsi, le développement du métabolisme régional passe par deux conditions essentielles :

- Développement de modèles de transformation. Ceci intéresse les domaines tels que la chimie de l'atmosphère ou des sols, ou, dans le cas des processus industriels par exemple, de l'analyse de cycle de vie.
- Développement d'un réseau d'information, dans le but de mesurer les volumes des flux de matière. En effet, pouvoir modéliser la manière dont la matière se comporte dans un processus, qu'il soit naturel ou industriel, ne suffit pas. Il s'agit de pouvoir mesurer la quantité de matière qui est introduite, stockée ou extraite des limites du système d'intérêt.

Résumé

La présente étude se propose de mesurer la faisabilité du développement de la discipline du métabolisme régional au travers d'un exemple : l'étude du métabolisme du mazout dans la ville suisse de Martigny. Dans un premier temps, le métabolisme du mazout est décrit et les flux quantifiés avec les moyens qui le permettent. Ensuite, des méthodes permettant d'améliorer les connaissances et les estimations sont proposées. L'accent est porté sur l'estimation du volume des flux. L'aspect transformation est laissé à d'autres études.

1 Objectifs

1.1 But de l'étude

Le but de l'étude consiste à proposer des méthodes visant à connaître le métabolisme du mazout dans le système Martigny.

1.2 Définitions

Par métabolisme du mazout, on entend : entrée, sortie, stockage, transformation. Par système Martigny, on entend : frontières administratives de Martigny (extension verticale : - 100 m à + 1'000 m par rapport à la topographie du terrain¹). Sauf précisions, on entend, par quantité, masse.

1.3 Hypothèses

On fait l'hypothèse que le mazout n'a d'autre usage en Suisse que le conditionnement des locaux et la production d'eau chaude sanitaire.

2 Estimation du flux entrant de mazout

L'estimation de la quantité de mazout entrant dans le système Martigny peut se faire sur la base de statistiques de consommation finale. On fera l'hypothèse que la quantité de flux entrant est égale à la quantité consommée. L'estimation se fait pour un pas de temps d'une année.

2.1 Données statistiques suisses

En 2001, la Suisse compte 7'259'000 habitants. La consommation nationale finale d'huiles extra légère, moyenne et lourde s'élève à un total de 5'238'000 t.

2.2 Estimation sur la base des statistiques suisses (estimation 2.2)²

En 2001, la population de Martigny se monte à 13'841 habitants. Dans l'hypothèse où la consommation de mazout par habitant est la même à Martigny qu'en Suisse, la consommation de mazout s'élève donc en 2001 à 9'987 t.

2.3 Données du CREM, 1985 et 1987

En 1985 et 1987, des études menées par les Services Industriels de Martigny et par le CREM³ ont permis d'estimer la consommation de mazout à Martigny.

La liste des bâtiments reliés au mazout, que ce soit pour le conditionnement des locaux (CL), pour la production d'eau chaude sanitaire (PECS) ou pour les deux à la fois, a dû être dressée. Cette liste n'est pas tenue à jour. Le nombre de personnes par bâtiment a été livré

¹ Toute autre délimitation de l'extension verticale est envisageable.

² Détail des calculs : voir annexe 1, tableaux 1 et 2.

³ Centre de Recherche et d'Enseignement en Energie et Techniques Municipales, Martigny.

par le Contrôle des habitants de Martigny. Le nombre d'emplois par immeuble a été obtenu au moyen d'un questionnaire envoyé à toutes les entreprises de la ville. Le nombre d'équivalents habitants (équ_hab) reliés au mazout pour le CL et la PECS a ainsi pu être estimé. Il a été défini la valeur de 666 W/équ_hab pour le CL et de 233 W/équ_hab pour la PECS⁴. Les résultats de ces études sont les suivants⁵ :

		équ_hab	consommation [kW]	consommation annuelle [t]
1985	CL	10855	7229	5352
	PECS	9704	2261	1674
	Total :			7026
1987	CL	8949	5960	4412
	PECS	8863	2065	1529
	Total :			5941

Tableau 2.1 : estimation des consommations de mazout à Martigny, 1985 et 1987

2.4 Estimation pour 2001 sur les bases des données du CREM

A partir des données du CREM de 1985 et 1987 et des dernières statistiques suisses de la consommation d'énergie, il est possible d'actualiser les valeurs par des estimations.

2.4.1 Application de la tendance nationale de consommation d'huiles à la ville de Martigny (estimation 2.4.1)⁶

Entre 1987 et 2001, la tendance de la consommation d'huiles est à la baisse en Suisse. Par habitant, cette baisse est de 26% (source [2]). L'application de cette tendance à la valeur estimée par le CREM en 1987 fournit une nouvelle estimation de la consommation de mazout à Martigny en 2001 : 4'540 t.

2.4.2 Application de la tendance nationale de consommation de produits pétroliers par la catégorie ménage à la ville de Martigny (estimation 2.4.2)⁷

De 1987 à 2001, la consommation finale annuelle de produits pétroliers⁸ par la catégorie ménage passe en Suisse de 147'084⁹ t à 127'730 t. Exprimée en consommation par

⁴ Source [1]

⁵ Les valeurs du pouvoir calorifique sont : 0.0426 TJ/t pour l'huile extra légère et 0.0412 [TJ/t] pour l'huile lourde (Source [2]). Les données disponibles ne permettent pas de savoir quel type de mazout est utilisé dans tel ou tel bâtiment. Toutefois, parce que l'huile extra légère est beaucoup plus couramment utilisée, on utilisera la valeur de 0.0426 TJ/t pour toutes les transformations dans cette étude. En 1985 et 1987, la proportion d'huile lourde par rapport à l'huile totale consommée en Suisse, est respectivement de 9 et 13% en masse seulement (Source [2]).

⁶ Détail des calculs : voir annexe 1, tableaux 1 et 3.

⁷ Détail des calculs : voir annexe 1, tableaux 1, 4 et 5.

⁸ Dans [2], les notions de produits pétroliers et d'huiles peuvent être assimilées. En effet, en 2001, la consommation finale de produits pétroliers, toute catégorie d'utilisateurs confondues, s'élève à 5'371'000 t, tandis que l'addition des valeurs de consommation finale d'huile extra légère et d'huiles moyenne et lourde se monte à 5'238'000 t la même année. La différence entre ces deux valeurs est inférieure à 3%.

⁹ Cette valeur est estimée. Dans [2], la valeur de la consommation des produits pétroliers par la catégorie ménage n'est pas disponible pour 1987. Cette valeur est en revanche de 152'300 t pour 1985 et de 139'170 t pour 1990. La valeur de 147'084 estimée ici pour 1987 est calculée en faisant l'hypothèse que la consommation décroît linéairement entre 1985 et 1990.

habitant, cette baisse correspond à – 21%. On peut appliquer cette tendance à l'ensemble des équ_hab de Martigny de la catégorie ménage. On obtient ainsi, pour 2001, 0.25 t/équ_hab pour les équ_hab de type ménage. On considère ensuite que le rapport équ_hab de type ménage sur le total d'équ_hab reste constant entre 1987 et 2001 (0.73). On obtient ainsi une consommation estimée à Martigny en 2001 de 4'781 t.

2.5 Résultats condensés des estimations

Les 3 méthodes d'estimation des flux annuels rentrant à Martigny conduisent aux estimations suivantes pour l'année 2001.

Méthode	Consommation [t]	Consommation [TJ]	Consommation par habitant [t/hab]	Consommation par habitant [TJ/hab]	Variation % 2.2
2.2	9'987	425	0.72	0.031	-
2.4.1	4'540	193	0.33	0.014	-55%
2.4.2	4'781	204	0.35	0.015	-52%

Tableau 2.2 : consommation de mazout à Martigny en 2001 estimée par 3 méthodes différentes

2.6 Commentaires

Les méthodes 2.4.1 et 2.4.2 sont fortement corrélées dans leur mode de calcul. Il n'est donc pas surprenant que les estimations auxquelles elles conduisent le soient aussi. La valeur estimée par la méthode 2.2 est plus de deux fois supérieure aux autres valeurs estimées. On ne dispose pas de moyens de connaître l'incertitude sur l'ensemble de ces valeurs. On peut toutefois faire l'hypothèse que les méthodes 2.4.1 et 2.4.2 sont plus fiables, dans le sens où elles sont le produit de deux études (1985 et 1987) tenant compte de facteurs régionaux. Ceci conduirait donc à penser que la consommation de mazout à Martigny est inférieure à la moyenne suisse. Toutefois, de grandes incertitudes demeurent concernant les estimations faites par le CREM de 666 W/équ_hab pour le CL et de 233 W/équ_hab pour la PECS.

2.7 Limites des estimations

Les estimations faites jusqu'ici présentent plusieurs défauts. Le premier est qu'aucune information sur l'incertitude n'est possible. Ensuite, ces consommations sont rattachées à des habitants, et non à des paramètres prenant en compte des singularités telles que la surface chauffée ou l'isolation des bâtiments. Enfin, le pas de temps pour la mesure du flux n'est que d'une année.

3 Estimation du flux sortant

On fait les hypothèses que la production de mazout est nulle à Martigny, que la totalité du flux entrant est transformé en sous-produits lors de la combustion, et donc que le flux de mazout sortant de Martigny est nul.

4 Estimation des stocks

On fait l'hypothèse qu'une réserve permettant d'assurer le CL et la PECS pendant une année est stockée dans le système Martigny. Ce stock peut ainsi être estimé comme équivalant au flux entrant. Les méthodes 2.4.1 et 2.4.2 ayant été jugées plus fiables que la méthode 2.1, on estime le stock à 4'500 t environ. Le Service de l'Environnement de l'Etat du

Valais (SEVS), chargé de la mise à jour du cadastre des citernes et du contrôle de leur révision, dispose des informations concernant le volume des citernes répertoriées à Martigny. Une deuxième manière d'estimer le stock consisterait donc à faire la somme des volumes de l'ensemble de ces citernes, puis de considérer par exemple qu'elles sont en moyenne à moitié pleines au cours d'une année. Toutefois l'information concernant ces volumes n'a pu être utilisée pour cette étude¹⁰.

5 Estimation des émissions

Les émissions de sous-produits peuvent être estimées selon un modèle décrivant les réactions physico-chimiques ayant lieu dans les brûleurs. Il ne s'agit pas ici de décrire ce modèle. A noter toutefois que le type d'huile utilisé, l'âge et la puissance du brûleur ont des influences sur le type de sous-produits émis. Etant donné que ces paramètres ne sont pas disponibles pour Martigny, il serait nécessaire, pour une première estimation, de considérer des conditions moyennes : huile la plus couramment utilisée¹¹, brûleur moyen fonctionnant à une puissance moyenne.

Les émissions peuvent en outre être localisées. Le SEVS dispose d'un SIG où les positions des citernes dont l'existence est connue par le Service sont indiquées¹². Leur positionnement est rattaché aux parcelles telles qu'elles sont définies par le registre foncier. On peut donc localiser précisément les émissions. Néanmoins, la puissance des brûleurs n'étant pas connue, on ne peut qu'estimer les émissions locales, en considérant par exemple que les émissions sont distribuées de manière égale entre les citernes.

6 Proposition de nouvelles méthodes d'évaluation

Même si aucun contrôle n'est possible sur la qualité des estimations, il a toutefois été relevé, à ce stade, que le métabolisme du mazout dans le système Martigny peut être approché. Il s'agit maintenant de proposer de nouvelles méthodes d'estimation. On cherche en particulier à se détourner d'estimations rattachées aux habitants ou équ_hab. Dans un premier temps, on ne s'intéresse qu'au flux entrant, qui est assimilé à la consommation.

6.1 Méthode d'estimation par connaissance des surfaces chauffées

On fait l'hypothèse que la consommation de mazout est une fonction de la surface chauffée et de la qualité de l'isolation du bâtiment.

6.1.1 Données nécessaires

Il faut connaître la surface des bâtiments chauffés au mazout. Eventuellement leur âge. Savoir si le bâtiment est occupé ou vacant. Disposer au moins d'une estimation des besoins énergétiques pour le chauffage, exprimée en kWh/m²an.

¹⁰ Le Service de l'Environnement était d'accord de fournir ces informations, mais seulement si un déplacement était effectué jusqu'à leurs bureaux, sis à Sion. Vu le faible apport que cette donnée aurait conféré à cette étude, il a été décidé d'éviter ce déplacement.

¹¹ Selon le SEVS, deux types de mazout seulement sont vendus en Valais : le mazout classique et le mazout « vert » qui est plus cher mais qui contient moins de soufre.

¹² Le SEVS estime à 30% le nombre de citernes non recensées par l'Etat. Par ailleurs, l'annonce de la pose d'une citerne dans une nouvelle construction est faite au moment de la demande d'autorisation de construire. Ainsi, si la demande de construire essuie un refus, certaines citernes sont recensées alors qu'en réalité elles ne sont pas installées.

6.1.2 Données disponibles

La liste précise des bâtiments chauffés au mazout n'est pas disponible. Le bureau SYNERGY des Services industriels de Martigny détient sous forme informatique la liste de l'ensemble des bâtiments de Martigny et, parmi eux, de ceux qui sont chauffés au gaz ou au chauffage à distance (CAD). Par déduction, il est ainsi possible de connaître les bâtiments chauffés indistinctement au mazout et à l'électricité. Le SEVS disposant de la liste des citernes, on peut aussi imaginer utiliser ces informations.

La surface de plancher des bâtiments est inscrite dans le document enregistrant la demande d'autorisation de construire. A Martigny, ces données sont disponibles sur papier pour les bâtiments ayant fait l'objet d'une demande d'autorisation de construire après 1965 seulement. L'information concernant l'âge du bâtiment peut être obtenue par ce même biais.

L'occupation réelle des bâtiments peut être déduite des fichiers informatiques du contrôle des habitants. Cet organe dispose en effet, sous forme informatique (Oracle), des listes des bâtiments et des habitants de Martigny. L'extraction des bâtiments vacants est donc possible. Pour les besoins énergétiques de chauffage pour le CL, on peut utiliser la valeur de référence de 45 kWh/m² (source [3]).

6.1.3 Données à compléter

Il est nécessaire de répertorier les bâtiments chauffés au mazout. Depuis l'étude du CREM de 1989, aucune mise à jour n'a été effectuée. A partir des données de SYNERGY et par une campagne de recherche de données, il est possible de savoir quels bâtiments, parmi ceux qui ne sont pas chauffés au gaz ou au CAD, sont chauffés au mazout et non à l'électricité. Dans le cas où le choix se portait sur l'utilisation des données du SEVS, une campagne de recueil de données serait aussi nécessaire pour compléter les informations sur le parc de citernes de Martigny, puisque la liste des citernes n'est pas fiable (voir note de bas de page n°12). En outre, il faut, par une campagne de recherche de données, compléter les données sur les surfaces des bâtiments ayant fait l'objet d'une demande d'autorisation de construire avant 1965. Lors de la même campagne, il s'agirait de prendre note de l'âge des bâtiments.

6.1.4 Modèle

La consommation annuelle peut être exprimée ainsi :

$$c = \sum_{i=1}^n u \cdot S_i \cdot b \cdot f(a) \cdot N \cdot PC^{-1} \cdot \eta \cdot r$$

c [t/an]	consommation de mazout à Martigny
n	nombre total de bâtiments chauffés au mazout
u = 0 ou 1 [-]	0 si bâtiment vacant ; 1 si bâtiment occupé
S _i [m ²]	surface de plancher du bâtiment i chauffé au mazout
b = 1.2 [-]	facteur de transformation pour passer à la surface totale chauffée ¹³
a [an]	année de construction du bâtiment
f(a)	fonction tenant compte de l'année de construction du bâtiment ¹⁴
N = 45 [kWh/m ² an]	norme pour un bâtiment récent (source [3])
PC = 0.0426 [TJ/t]	pouvoir calorifique du mazout extra léger (source [2])
η = 0.75 [-]	rendement du brûleur ¹⁵
r = 3.6 10 ⁻⁶ [TJ/kWh]	facteur de conversion

¹³ On considère que les murs occupent 20% de la surface totale.

¹⁴ Par exemple : f(a)=2 pour a < 1960 ; f(a)=1 + (2000-a)/40 pour 1960 < a < 2000 ; f(a)=1 pour a > 2000.

¹⁵ Selon [4], les rendements actuels des chaudières sont estimés valoir entre 70 et 85%. Des rendements inférieurs sont considérés comme de très mauvais rendements.

6.1.5 Critique de la méthode

Cette méthode est coûteuse puisqu'elle demande des campagnes de récolte de données. Les incertitudes sont par ailleurs nombreuses. Elles portent sur les paramètres $f(a)$, N , et η essentiellement. Dans une moindre mesure, sur b et PC (voir note de bas de page n°5). De plus, le mazout consommé pour la PECS n'est pas pris en compte.

6.2 Méthode d'estimation par la pose d'appareils de mesure

Deux approches sont possibles. La première consiste en une approche exhaustive : équiper l'ensemble du parc de citernes à mazout d'appareils de mesure. La seconde procède par échantillonnage : seules quelques citernes sont équipées ; une estimation de la consommation totale est ensuite effectuée par extrapolation. On fait l'hypothèse que les appareils de mesure fonctionnent sur le principe suivant : mesure enregistrée à chaque heure du niveau de remplissage de la citerne.

6.2.1 Données nécessaires

L'approche exhaustive implique une connaissance précise du parc de chaudières à mazout. Pour l'approche par échantillonnage, la connaissance de l'emplacement de quelques chaudières suffit. En revanche, cette dernière approche nécessite des informations concernant les surfaces totales chauffées au mazout, pour l'étape d'extrapolation. Il faut en outre disposer d'appareils de mesure fiables.

6.2.2 Données disponibles

Pour l'approche exhaustive, il faut compléter les données existantes sur le parc de chaudières à Martigny (voir paragraphe 6.1.2). Pour l'approche par échantillonnage, on peut utiliser les données du SEVS, et choisir un échantillon de chaudières.

6.2.3 Données à compléter

La méthode exhaustive pose les mêmes problèmes que ceux mentionnés au paragraphe 6.1.3 : connaissance précise du parc de chaudières à mazout. La méthode par échantillonnage permet de s'éviter ce travail. En revanche, pour l'étape d'interpolation, les données concernant les surfaces totales chauffées au mazout doivent être acquises (voir le passage concernant les surfaces de bâtiment au paragraphe 6.1.3). En outre, il faut concevoir et acheter des appareils de mesure.

6.2.4 Modèle

Approche exhaustive :

La consommation volumique horaire peut être calculée comme suit :

$$v_t = \sum_{j=1}^m (V_{j,t+1} - V_{j,t})$$

v_t [m³]

volume de mazout consommé entre t et $t+1$

m

nombre total de citernes

$V_{j,t}, V_{j,t+1}$ [m³]

volume de mazout dans la citerne j aux temps t et $t+1$ ¹⁶

¹⁶ V est une fonction de la hauteur de mazout dans la citerne mesurée par la sonde. Cette fonction est rentrée dans le programme de l'appareil.

Sur une plus longue période, la quantité de mazout consommée vaut :

$$c = \rho \sum_{t=1}^T v_t$$

c [t]	consommation de mazout entre $t=1$ et $t=T$
v_t [m^3]	volume de mazout consommé entre t et $t+1$
T [h]	durée de la période considérée
$\rho = 1.19$ [t/m^3]	densité du mazout (source [4])

Approche par échantillonnage :

La consommation volumique horaire peut être calculée comme suit :

$$v'_t = \frac{S}{S_p} \sum_{j=1}^p (V_{j,t+1} - V_{j,t})$$

v'_t [m^3]	volume de mazout consommé entre t et $t+1$
S	surface de plancher totale de tous les bâtiments chauffés au mazout à Martigny
S_p	surface de plancher totale des p bâtiments échantillonnés
p	nombre de citernes sondées
$V_{j,t}, V_{j,t+1}$ [m^3]	volume de mazout dans la citerne j aux temps t et $t+1$

Sur une plus longue période, la quantité de mazout consommée vaut :

$$c' = \rho \sum_{t=1}^T v'_t$$

c' [t]	consommation de mazout entre $t=1$ et $t=T$
v'_t [m^3]	volume de mazout consommé entre t et $t+1$
T [h]	durée de la période considérée
$\rho = 1.19$ [t/m^3]	densité du mazout (source [4])

6.2.5 Critique de la méthode

La méthode exhaustive demande des investissements financiers très importants pour l'achat des appareils. La méthode par échantillonnage est envisageable, mais elle nécessite toutefois une campagne de recueil d'information pour la connaissance des paramètres S et S_p . L'incertitude sur les paramètres de la méthode exhaustive est très faible. La précision de la méthode par échantillonnage est quant à elle fortement dépendante des caractéristiques et de la taille de l'échantillon. En particulier, il est nécessaire que l'âge des bâtiments échantillonnés soit représentatif de l'âge moyen des bâtiments à l'échelle de Martigny.

6.3 Méthode par concours des propriétaires

Il s'agit ici d'utiliser les données de facturation des gérances et des propriétaires particuliers. Là aussi, on peut procéder par une approche exhaustive ou par échantillonnage. Si l'on procède par échantillonnage, on peut régler le problème de l'extrapolation de la même manière que pour la méthode 6.2 (appareils de mesure) : en connaissant les surfaces de bâtiments couvertes par l'échantillon et les surfaces totales des bâtiments chauffés au mazout. On fait l'hypothèse que les factures d'achat de mazout sur une année donnent une estimation de la consommation annuelle.

6.3.1 Données nécessaires

Chaque propriétaire de bâtiment(s) chauffé(s) au mazout fournit annuellement la quantité totale de mazout achetée au cours de l'an.

6.3.2 Données disponibles

Les services communaux n'ont pas accès à ces factures. Il n'est pas sûr que les propriétaires conservent leurs factures de mazout.

6.3.3 Données à compléter

Il faut prendre contact avec l'ensemble des gérances et des particuliers, ou avec une partie d'entre eux dans le cas d'une approche par échantillonnage. Cette dernière approche pose le problème de l'estimation des surfaces chauffées (voir 6.1.3)

6.3.4 Modèle

Approche exhaustive :

La consommation annuelle peut être estimée comme suit :

$$c = \sum_{k=1}^s m_k$$

c [t]	consommation de mazout à Martigny
s	nombre total de propriétaires et de gérances
m_k [t]	masse totale de mazout achetée par le propriétaire ou la gérance k

Approche par échantillonnage :

$$c = \frac{S}{S_q} \sum_{l=1}^q m_l$$

c [t]	consommation de mazout à Martigny
S	surface de plancher totale de tous les bâtiments chauffés au mazout à Martigny
S_q	surface de plancher totale des l bâtiments échantillonnés
q	nombre total de propriétaires et de gérances de l'échantillon
m_l [t]	masse totale de mazout achetée par le propriétaire ou la gérance l

6.3.5 Critique de la méthode

Cette méthode a l'avantage de mesurer avec précision les flux entrants. Toutefois, dans ce cas, le flux entrant n'est pas forcément représentatif de la quantité consommée. Ainsi, cette méthode n'est valable que dans l'hypothèse où la masse de mazout achetée au cours d'une année est représentative de la masse de mazout consommée pendant la même période. Cette hypothèse est assez réaliste dans le cas d'une approche exhaustive. Dans le cas d'une approche par échantillonnage, elle ne vaut que si la taille de l'échantillon est assez importante¹⁷.

6.4 Méthode par concours des livreurs de mazout

Cette méthode fonctionne de la même manière que la dernière proposée (6.3). On retrouve ainsi les mêmes défauts et avantages, que l'on procède de manière exhaustive ou par échantillonnage.

¹⁷ Il faut noter que le mazout est sujet à des variations de prix assez fortes, au même titre que les autres produits pétroliers. Il est ainsi possible que les gros propriétaires ou les gérances ciblent, dans la mesure du possible, l'achat de combustible aux périodes où le marché est le plus favorable, ce qui pourrait tendre à fausser les estimations. Afin de réduire cet effet, une moyenne des valeurs calculées au cours de plusieurs années est envisageable, quoique cela éloigne du but de l'étude qui est aussi de suivre les évolutions annuelles de façon précise.

7 Flux sortants, stocks, émissions : estimations basées sur les nouvelles méthodes proposées

7.1 Flux sortants

On fait l'hypothèse que les flux sortants sont nuls (voir paragraphe 3)

7.2 Stocks

A une exception près, les méthodes proposées ici ne permettent pas d'estimer avec précision les stocks de mazout. Pour les méthodes 6.1, 6.3 et 6.4, l'estimation des stocks se fait de la même manière qu'au paragraphe 4, c'est-à-dire en faisant l'hypothèse que la quantité stockée est grossièrement équivalente à la quantité consommée au cours d'une année. La méthode 6.2 (estimation par la pose d'appareils de mesure), permet en revanche l'estimation du stock d'une manière très précise. A l'échelle de la ville, il se calcule facilement à chaque heure :

$$S_t = \rho \sum_{j=1}^m V_{j,t}$$

S [t]	stock de mazout à Martigny au temps t
$\rho = 1.19$ [t/m ³]	densité du mazout (source [4])
m	nombre total de citernes
$V_{j,t}$ [m ³]	volume de mazout dans la citerne j aux temps t

7.3 Emissions

Les manières d'estimer les émissions ont été commentées au paragraphe 5. Pour les nouvelles méthodes proposées, il s'agit de procéder de la même manière. Dans le cas où le brûleur était connu (puissance, modèle), les méthodes 6.1 et 6.2 permettraient une estimation affinée des émissions¹⁸. La méthode 6.4 (concours des livreurs de mazout) peut quant à elle donner des informations sur le type de mazout utilisé, ce qui conduit également à une meilleure estimation des émissions.

8 Réduire le pas de temps

Il va de soi que la consommation de mazout est une fonction fortement non-linéaire à l'échelle d'une année. Or, à une exception près (méthode 6.2 : appareils de mesure), toutes les méthodes d'estimation proposées jusqu'ici ne fournissent qu'une estimation annuelle de la consommation. En utilisant les données de stations météorologiques de la région de Martigny, il est envisageable néanmoins de pouvoir réduire le pas de temps.

8.1 Utilisation du degré-jour

On peut utiliser les données de l'année i-1 concernant les degrés-jours¹⁹ et la consommation annuelle pour calculer la consommation journalière de mazout au cours de l'année i :

¹⁸ On voit là toute la complémentarité qui pourrait exister entre une approche analyse de cycle de vie (ACV) et une approche métabolisme régional. Les résultats d'une ACV portant sur un modèle de brûleur pourraient être repris pour évaluer les émissions qu'il dégage lors de la combustion du mazout.

¹⁹ En Suisse, les degrés-jours de chauffage s'obtiennent en faisant l'addition des écarts journaliers existant entre la température extérieure et la température intérieure (20 °C), et cela pour tous les jours où la température moyenne extérieure se situe à 12 °C ou en dessous; on admet en effet que, en règle générale, c'est à partir de cette limite de 12 °C qu'il est nécessaire de chauffer pour maintenir la température intérieure à 20 °C (source [2]).

$$c_j = \frac{c_{i-1}}{d_{i-1}} d_j$$

c_j [t]	consommation de mazout à Martigny le jour j de l'année i
c_{i-1} [t]	consommation annuelle de mazout à Martigny l'année $i-1$
d_{i-1} [° jours]	degrés-jours de chauffage mesurés au cours de l'année $i-1$ à Martigny
d_j [° jours]	degrés-jours de chauffage mesurés le jour j à Martigny

Pour l'estimation d'une consommation horaire, il suffit de diviser c_i par 24. On peut en effet considérer qu'au cours d'une journée la chaudière fonctionne en continu.

8.2 Exemple²⁰

En 2001, à l'échelle de la Suisse, on a mesuré en moyenne 3'256 degrés-jours pour une consommation de mazout de $5.24 \cdot 10^6$ t. Selon la méthode proposée, pour un jour de 2002 où la température moyenne extérieure journalière vaut 6 °C, on obtient la consommation journalière suivante :

$$c_i = \frac{5.26 \cdot 10^6}{3'256} (20 - 6) = 22'522 \cdot t$$

La consommation s'élève donc pour cet exemple à 938 t/h, contre une moyenne horaire annuelle de 598 t/h (= $5.24 \cdot 10^6 / 365 / 24$).

9 Améliorer la représentation géographique

Etant donné que les produits émis à la sortie des brûleurs subissent un brassage rapide dans l'air, connaître le positionnement exact des sources n'est pas primordial. A l'échelle d'une région comme Martigny, connaître les émissions globales de l'ensemble des brûleurs est amplement suffisant. Le positionnement des stocks, en revanche, peut présenter plus d'intérêt²¹. A cet effet, le registre des citernes tenu par le SEVS peut être utilisé. Il est à rappeler qu'il demande d'être complété, nombre de données étant lacunaires ou erronées. Des méthodes d'estimation basées sur le concours des propriétaires ou des livreurs seulement ne donnent aucune information géographique.

²⁰ Ne disposant pas des données concernant les degrés-jours à Martigny, il a été choisi d'utiliser le cas de la Suisse pour cet exemple.

²¹ Par exemple pour optimiser les livraisons. Les livreurs, connaissant l'état de remplissage des citernes, pourraient proposer à plusieurs propriétaires de citernes dont le niveau serait bas d'être livrés lors de la même tournée. D'autres exemples : demande urgente d'une grande quantité de mazout, rationnement de l'armée en cas de crise (!), etc.

10.1 Avantages et désavantages : condensé

Méthode	Données : besoins, état	Avantages	Désavantages
6.1 (surfaces chauffées)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Bâtiments chauffés au mazout</u> [source : i) déduction à partir des données de SYNERGY ii) données du SENVS (lacunaires, parfois erronées)] ▪ <u>Surface de plancher des bâtiments (éventuellement date de construction)</u>[source : demandes d'autorisation de construire (pas disponibles pour bâtiments antérieurs à 1965)] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Données à compléter mais faciles à acquérir par la commune 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Certaines données sur papier (demandes de construire) ▪ Le modèle comporte beaucoup d'inconnues (voir 6.1.4) ▪ Assez cher
6.2 (appareils de mesure) approche exhaustive	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Les appareils de mesure doivent être conçus</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellente précision du modèle ▪ Pas de temps court (1 h) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Très cher
6.2 (appareils de mesure) approche par échantillonnage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Les appareils de mesure doivent être conçus</u> ▪ <u>Bâtiments chauffés au mazout</u> [voir 6.1] ▪ <u>Surface de plancher des bâtiments</u> [voir 6.1] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Données à compléter mais faciles à acquérir par la commune 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cher ▪ Qualité du modèle = f(taille de l'échantillon)
6.3 (concours des propriétaires) approche exhaustive	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Factures de mazout</u> [source : auprès des propriétaires (il faut investiguer pour savoir s'ils tiennent à jour ce genre de données)] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Données difficiles à obtenir ▪ Peu cher 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesure du flux entrant et non de la quantité consommée
6.3 (concours des propriétaires) approche par échantillonnage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Factures de mazout</u> [source : voir ci-dessus] ▪ <u>Bâtiments chauffés au mazout</u> [voir 6.1] ▪ <u>Surface de plancher des bâtiments</u> [voir 6.1] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Données difficiles à obtenir ▪ Peu cher 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualité du modèle = f(taille de l'échantillon) ▪ Mesure du flux entrant et non de la quantité consommée
6.4 (concours des livreurs) approche exhaustive	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Comptabilité de livraison</u> [source : auprès des livreurs de mazout (il faut investiguer pour savoir s'ils conservent les informations et si les lieux de livraisons sont connus)] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Données très difficiles à obtenir ▪ Peu cher 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesure du flux entrant et non de la quantité consommée
6.4 (concours des livreurs) approche par échantillonnage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Comptabilité de livraison</u> [source : voir ci-dessus] ▪ <u>Bâtiments chauffés au mazout</u> [voir 6.1] ▪ <u>Surface de plancher des bâtiments</u> [voir 6.1] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Données très difficiles à obtenir ▪ Peu cher 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualité du modèle = f(taille de l'échantillon) ▪ Mesure du flux entrant et non de la quantité consommée

10.2 Critique générale des différentes méthode

La méthode 6.2 consistant à équiper les citernes d'appareils de mesure est la plus précise. Toutefois, cette méthode va à l'encontre de certains principes visés par le métabolisme régional ou l'écologie industrielle, dans le sens où un tel dispositif impliquerait : consommation d'énergie pour le fonctionnement des appareils, consommation d'énergie et de matière pour leur construction. L'acquisition d'information, au sens du métabolisme régional, doit conduire entre autres à une réduction de la consommation des ressources et d'énergie. Si l'acquisition d'information elle-même implique une consommation d'énergie et de ressources importante, voire même supérieure à l'économie que permettrait la connaissance de l'information, alors le bilan net de la méthode n'est pas satisfaisant. En respect à ces remarques, et parce qu'il a été montré que d'autres méthodes d'estimation moins coûteuses en ressources existent, on choisira donc d'écarter la méthode 6.2.

La méthode 6.1 (surfaces chauffées) implique quant à elle le recueil, l'assemblage et la mise à jour de nombreuses informations. Les informations déjà disponibles ont le désavantage d'être disparates et de ne pas fonctionner sous les mêmes environnements informatiques. Elles ont en revanche la qualité d'être du ressort d'instances communales ou cantonales.

L'accès à l'information est donc ouvert. Le désavantage de cette méthode est qu'elle utilise un modèle recourant à un grand nombre de paramètres, dont beaucoup sont sujets à une grande incertitude (voir 6.1.5). Il n'y a par ailleurs pas de moyen de contrôler la précision des estimations

Les méthodes 6.3 et 6.4 (propriétaires et livreurs) impliquent la complicité de privés. Au sens de la loi, ces privés ne sont pas tenus de livrer les informations dont ils pourraient disposer. Si le concours de certaines gérances est concevable²², et pourrait conduire à une estimation par échantillonnage, en revanche la participation de livreurs n'est guère envisageable²³. Le concours de livreurs conduirait à une estimation très précise des flux entrants.

10.3 Couplage des méthodes

La méthode 6.1 fournit des estimations entachées d'incertitudes importantes. On peut imaginer utiliser les informations données par les méthodes 6.3 et 6.4 pour effectuer un calage du modèle 6.1.

11 Choix d'une méthode et exemples d'application

La comparaison des méthodes ayant permis de mesurer les avantages et désavantages de chaque méthode, on est à même de choisir une méthode de préférence.

11.1 Méthode de base

On choisit de conserver la méthode 6.4 (concours des livreurs). On fait l'hypothèse que les livreurs sont à même de donner les informations suivantes : date de livraison, quantité de mazout livrée, type de mazout, n° de la citerne. Pour l'estimation de la consommation journalière, on a :

$$c_j = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{m_i}{d_i} d_j \quad (0)$$

c_j [t]	consommation de mazout à Martigny le jour j
n	nombre d'années considérées pour le calcul de la moyenne, par exemple les 3 années précédant celle pour laquelle la mesure journalière est effectuée
m_i [t]	masse de mazout livrée à Martigny l'année i
d_i [-]	degrés-jours de chauffage mesurés au cours de l'année i à Martigny
d_j [-]	degrés-jours de chauffage mesurés le jour j à Martigny

Pour calculer les émissions, il suffit de connaître un modèle moyen, considérant ce qui prévaut pour une chaudière moyenne et un type de mazout moyen. Pour le dégagement de CO₂, par exemple, on peut considérer que l'influence du type de brûleur est nulle, et celle du type de mazout négligeable. Dans ce cas, on pourrait calculer les émissions de CO₂ d'une manière très simple :

$$E_j = f \cdot c_j$$

E_j [t]	émission de CO ₂ due à la combustion du mazout, le jour j
c_j [t]	consommation de mazout à Martigny le jour j, calculée selon (0)
f [t_CO ₂ / t_mazout]	unité massique de CO ₂ émise par la combustion d'une unité massique de mazout

²² Les responsables du CREM ont cité le nom d'une gérance de Martigny qui a l'habitude de coopérer avec eux dans des opérations visant à réduire la consommation d'énergie dans la ville.

²³ Le SEVS et le CREM ont essayé par le passé de demander aux livreurs de mazout un certain nombre d'informations. Ils ont presque toujours essuyé des refus.

11.2 Méthode améliorée

La méthode de base permet une bonne estimation des flux entrants (consommation) et des émissions liées au métabolisme du mazout. Dans une optique centrée sur l'estimation des rejets de polluants, elle est donc très satisfaisante. Toutefois, on peut imaginer coupler cette méthode avec la méthode 6.1 pour trouver de nouvelles applications, par exemple pour la détection de problèmes de fonctionnement des installations de chauffage au mazout.

Grâce à la méthode 6.4, on peut imaginer connaître la consommation moyenne de chaque citerne, effets météorologiques enlevés :

$$c_i = \frac{m}{t} \frac{1}{d} D \quad (1)$$

c_i [t/an]	consommation de mazout de la citerne i par degré-jour
t [an]	temps écoulé entre la livraison ayant eu lieu à $t-1$ et celle ayant eu lieu à t
d [° jours]	degrés-jours mesurés entre $t-1$ et t
D	valeur moyenne des degrés-jours annuels dans la région de Martigny

La méthode 6.1 a quant à elle conduit au modèle suivant pour l'estimation de la consommation annuelle exprimée en t/an :

$$c = \sum_{i=1}^n u \cdot S_i \cdot b \cdot f(a) \cdot N \cdot PC^{-1} \cdot \eta \cdot r \quad (\text{voir 6.1.5})$$

Si l'on s'intéresse à la consommation d'une seule chaudière, on obtient :

$$c'_i = S_i \cdot b \cdot f(a) \cdot N \cdot PC^{-1} \cdot \eta \cdot r \quad (2)$$

c'_i [t/an]	consommation de mazout de la chaudière i
S_i [m ²]	surface de plancher du bâtiment i chauffé au mazout
$b = 1.2$ [-]	facteur de transformation pour passer à la surface totale chauffée ²⁴
a [an]	année de construction du bâtiment
$f(a)$	fonction tenant compte de l'année de construction du bâtiment ²⁵
$N = 45$ [kWh/m ² an]	norme pour un bâtiment récent (source [3])
$PC = 0.0426$ [TJ/t]	pouvoir calorifique du mazout extra léger (source [2])
$\eta = 0.75$ [-]	rendement du brûleur ²⁶
$r = 3.6 \cdot 10^{-6}$ [TJ/kWh]	facteur de conversion

Une valeur c'_i obtenue par (2) beaucoup plus élevée que la valeur c_i obtenue par (1) peut indiquer un problème de fonctionnement de l'installation de chauffage. Le propriétaire pourrait être informé de la présence de l'anomalie, et résoudre le problème.

12 Vers une grande base de données

L'ensemble des informations recueillies pour la mise en place des différentes méthodes peuvent être mises en réseau. En effet, il a été montré que ces méthodes peuvent être complémentaires. Le dernier exemple (détection d'anomalies) en a fait la preuve. L'idéal est de concevoir une vaste base de données gérée par un responsable de l'administration de la région. Un squelette de base de données existe déjà au sein des instances communales et cantonales. On l'a vu, des données essentielles sont réparties entre les différents services. Il s'agirait de les réunir au sein d'un même environnement informatique et de les tenir à jour. La participation de particuliers (gérances, livreurs,...) permettrait de compléter cette base de données. Le transfert d'information se ferait facilement entre les parties intéressées via l'Internet. Par ailleurs, cette base de données pourrait être étendue à d'autres types de

²⁴ On considère que les murs occupent 20% de la surface totale.

²⁵ Par exemple : $f(a)=2$ pour $a < 1960$; $f(a)=1 + (2000-a)/40$ pour $1960 < a < 2000$; $f(a)=1$ pour $a > 2000$.

²⁶ Selon [4], les rendements actuels des chaudières sont estimés valoir entre 70 et 85%. Des rendements inférieurs sont considérés comme de très mauvais rendements.

matières que le mazout. Ce n'est pas le but de la présente étude que de proposer un modèle global de base de données²⁷.

13 Limites du métabolisme régional

L'étude a montré que le développement du métabolisme régional nécessite l'acquisition d'une grande quantité d'information. Les informations ont pour le moment le désavantage d'être cloisonnées, incomplètes et parfois erronées. Par ailleurs, leur acquisition n'est pas toujours garantie. Elle dépend du bien vouloir de privés, comme l'ont montré les méthodes engageant le concours de propriétaires ou de livreurs.

La difficulté du développement de la discipline du métabolisme régional est encore souligné si l'on pense que le cas considéré ici, à savoir le mazout, constitue une sorte de cas idéal. En effet, parce que le mazout fait l'objet d'une taxation fédérale qui permet la connaissance de sa consommation en Suisse, parce que le contrôle des citernes est imposé par la législation cantonale, et parce que le chauffage est un domaine qui est en partie du ressort du domaine communal, le métabolisme du mazout a la chance de pouvoir être relativement bien connu. Mais pour d'autres matières, comme les métaux lourds, l'évaluation du métabolisme est pressentie comme étant beaucoup plus ardue. Sans une connaissance précise des quantités de matières transitant dans des processus industriels et donc de la participation de privés pour livrer ce genre d'informations, le métabolisme régional risque de rester une discipline avortée²⁸.

²⁷ L'étude de D. RoCHAT est beaucoup plus complète à ce sujet (voir [5]).

²⁸ Il est difficilement imaginable de contraindre les privés (industriels, livreurs, commerçant,...) à transmettre des informations de ce type autrement que par des articles de loi. Dans la mesure où le développement du domaine de l'écologie industrielle et la qualité de l'environnement auraient tout à gagner d'une telle entreprise, pourquoi ne pas y songer ? Pour le moment, l'administration ne demande des comptes aux privés que pour des substances toxiques. Sachant que la plupart des substances constituent des polluants par accumulation et diffusion, ne serait-il pas raisonnable d'étendre ces exigences à l'ensemble des substances ?

Conclusion

L'évaluation du métabolisme du mazout est possible. Des méthodes permettant d'estimer les flux entrants, les stocks et les transformations du mazout dans un système régional comme Martigny existent déjà. Ces estimations sont grossières. Des méthodes nouvelles d'estimation ont été proposées. Elles sont techniquement réalisables. L'évaluation des émissions polluantes et la détection d'anomalies sont deux exemples d'application possibles. Infinité d'autres applications peuvent être imaginées : gestion communale du chauffage, optimisation des livraisons, etc. Il a été montré que le cas du mazout, bien qu'il constitue un cas idéal dans le sens où sa gestion est partiellement du ressort d'instances politiques, pose quand même un certain nombre de problèmes : acquisition des données difficiles, participation des privés peu probable, nécessité d'améliorer les modèles, etc. Enfin, une dernière question peut se poser : dans l'optique où le métabolisme régional venait à se développer et que le métabolisme d'un grand nombre de matières venait à être étudié, le flux gigantesque d'information engendré serait-il supporté par les mémoires des ordinateurs actuels ? C'est le champ ouvert à une nouvelle étude.

Bibliographie

- [1] CREM, *Dialogue énergétique, Rapport final phase I*. Martigny : CREM, 1989.
[2] OFEN, *Statistique globale suisse de l'énergie*. Bern : OFEN, 2002.
[3] FRAUENFELDER S., MEIER R., *Stratégie MINERGIE pour le canton du Valais, rapport final* : Bern : Beratender Ökonom Support - Energie und Umwelt, 1998.
[4] OFEN, *Dimensionnement des chaudières à mazout et à gaz*. Bern : OFEN, 2000.
[5] ROCHAT D., *Utilisation des technologies de l'information dans le cadre de l'écologie industrielle : application au canton de Genève*. Lausanne : EPFL, 2003.

Glossaire

ACV :	analyse de cycle de vie
CREM :	Centre de Recherche et d'Enseignement en Energie et Techniques Municipales
CL :	conditionnement des locaux
PECS :	production d'eau chaude sanitaire
SEVS :	Service de l'Environnement de l'Etat du Valais