



HAL
open science

Modélisation thermique du chauffage individuel : d'un logement unique à l'ensemble du parc

Benoit Allibe, Dominique Osso, Marie-Hélène Laurent

► To cite this version:

Benoit Allibe, Dominique Osso, Marie-Hélène Laurent. Modélisation thermique du chauffage individuel : d'un logement unique à l'ensemble du parc. International Building Performance Simulation Association, Nov 2010, Lyon, France. hal-02155350

HAL Id: hal-02155350

<https://edf.hal.science/hal-02155350>

Submitted on 13 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation thermique du chauffage individuel : d'un logement unique à l'ensemble du parc

Benoît Allibe, Dominique Osso, Marie-Hélène Laurent
EDF-R&D - ENERBAT, route des Renardières 77818 Moret sur Loing
marie-helene.laurent@edf.fr

RESUME : La modélisation thermique d'un logement est aujourd'hui usuelle avec un ensemble d'outils de complexité variable. En revanche l'utilisation de ces outils pour simuler les consommations de chauffage réelles d'un logement particulier et de ses habitants, en dehors d'un calcul normatif, reste difficile. Par ailleurs cette étude montre que même avec des outils très simplifiés, l'estimation de la consommation de chauffage d'un parc de logements (plusieurs dizaines de millions) est réalisable avec une erreur acceptable (moins 10%). Entre ces deux échelles (de 10 à quelques milliers de logements), il est beaucoup plus difficile, d'atteindre un résultat correct en l'absence de données détaillées.

Différents types de simulations simplifiées (modèle thermique, régression multilinéaire) ont été utilisés pour estimer la consommation de chauffage d'un ensemble de logements. Ce travail se base sur des données réelles notamment issues d'une enquête spécifique auprès des ménages. Les simulations sont réalisées à partir de données techniques, socio-économiques et comportementales. Les erreurs issues de la modélisation et leur évolution en fonction du nombre de logements simulés ont été étudiées.

L'analyse des résultats montre que l'ensemble des modèles est capable, sur la base d'un échantillon représentatif minimal (>250), d'estimer la consommation de chauffage d'un parc de logements à l'échelle nationale avec une erreur limitée (<10%). Cependant, certains modèles comme le DPE nécessitent un calibrage sur données réelles.

1. Introduction

L'estimation des consommations d'énergie, à l'échelle d'un parc de logements, peut reposer sur différents types de modèles allant des plus détaillés physiquement (thermiques ou statistiques) aux plus globaux (économétriques). Cependant, les modèles les plus précis ne peuvent être utilisés pour un nombre important de calculs unitaires par manque de données détaillées et une lourdeur de modélisation. A l'opposé les modèles simplifiés [1,2], utilisables pour un grand nombre de logements ne permettent pas d'estimer les consommations de manière satisfaisante avec un taux d'erreur minimal.

En France, les modèles de parc résidentiel, tels que Enerter [3] et celui de l'ANAH [4] utilisent des modèles thermiques simplifiés (généralement basés sur la RT88 [5] ou la méthode 3CL du Diagnostic de Performance Energétique [1]). D'autres, tels que celui du CIRED [6], reposent sur une modélisation encore plus synthétique.

Ces modèles prennent en compte la performance énergétique du bâtiment même si l'évaluation de celle-ci repose souvent sur des hypothèses normatives. Par exemple : le taux de ventilation en fonction du type de menuiserie et du système de ventilation, la performance des parois opaques en fonction de la période de construction et de la zone climatique ; qui sont directement inspirés des réglementations thermiques (en considérant que la RT est scrupuleusement respectée). Le comportement de chauffage des habitants est, la plupart du temps, conventionnel et déterminé par

une température homogène dans le logement, changeant éventuellement au cours de la journée.

Lorsqu'on compare les résultats de ces modèles aux consommations réelles (observées ou estimées), on note des écarts importants à l'échelle unitaire du logement. Ceci peut être du, en dehors de la méthode de calcul elle-même, à de nombreux facteurs :

- la mauvaise estimation de la performance (rendement des équipements, résistance thermique des parois...),
- l'environnement non pris en compte (effets de masque, îlot de chaleur, température extérieure réelle...),
- l'usage du bâtiment non renseigné (hétérogénéité spatio-temporelle de la température intérieure, ouverture des fenêtres...).

Cependant, on observe qu'en augmentant le nombre de logements simulés, les erreurs peuvent se compenser. Nous avons donc étudié dans quelle mesure ces erreurs se compensaient sur un échantillon d'environ 1000 logements ayant fait l'objet d'une enquête préalable. Ces ménages ont fourni des informations concernant diverses caractéristiques techniques de leur logement et de leurs équipements ainsi que leurs pratiques de chauffage au quotidien et certaines de leurs caractéristiques sociodémographiques (âge, nombre de personnes, revenu...).

Nous avons comparé différents modèles de calcul des consommations de chauffage (modèles thermiques ou statistiques) avec différents modes de calibrations (comportementale, part budgétaire

théorique) avec les résultats de l'enquête. Ces différents résultats ont été étudiés avec deux critères :

- L'erreur moyenne par segment de logements.
- L'écart-type.

2 Bases de données utilisées

2-1 L'enquête "2000 ménages"

Pour intégrer les aspects comportementaux dans la modélisation des consommations de chauffage, des données sur trois familles de variables (socio-économiques, pratiques

quotidiennes et pratiques en matière d'achat) sont nécessaires. Mais les pratiques énergétiques dans le cadre du logement sont quasi-absentes de la statistique publique. Il n'existe pas non plus en France d'enquête ou d'étude récente sur ces sujets. Contrairement à d'autres pays européens [7], il n'existe pas non plus de recherche publiée récemment sur ces thèmes. Il a donc été nécessaire de réaliser une enquête spécifique auprès de 2012 ménages en juin 2009 [8]. Les questions portaient sur les pratiques des ménages, mais également sur les caractéristiques techniques de leurs logements.

Tableau 1 : Répartition par thèmes des recueillies auprès de 2012 ménages français représentatifs (Juin 2009).

Thème abordé	Caractéristiques du logement	Système de chauffage	Environnement du logement	Données socio-économiques	Pratiques	Consommations d'énergie (factures)
Nombre de questions	39	9	4	16	12	5

Afin de pouvoir extrapoler les résultats à l'échelle nationale, un « poids national » a été attribué à chaque ménage enquêté en fonction du quintile auquel appartenait leur revenu, de la densité urbaine, de sa localisation, du type de famille, de l'âge du chef de famille, du statut d'occupation, du type de logement. Même si plusieurs énergies sont concernées, les données énergétiques fournies par les ménages constituent la facture énergétique totale du logement pour l'année 2008. Il a donc été nécessaire de la décomposer par usages :

- Pour le poste « électricité spécifique », qui concerne tous les usages ne pouvant pas être assurés par une autre énergie que l'électricité (froid électroménager, lavage, éclairage...) : nous avons utilisé une régression multi-linéaire ($R^2=0,53$) basée sur les consommations de 348 logements dont les occupants déclaraient n'utiliser de l'électricité que pour ce poste.
- Pour les postes cuisson et production d'eau chaude sanitaire, nous avons utilisé les régressions développées par le CEREN [9].
- Les consommations du chauffage individuel ont alors été obtenues par différence avec le total.

La taille de l'échantillon enquêté a ensuite été réduite à 923 logements par élimination des ménages n'ayant pas renseigné leurs factures énergétiques, des valeurs de consommation de chauffage aberrantes et des ménages équipés en chauffage collectif¹ (facture de chauffage incluse dans les charges). Cela inclut par exemple, les ménages pour lesquels la facture de chauffage et d'ECS est incluse dans les charges et qui n'ont donc pas de facture d'énergie dédiée pour ces

postes. Nous avons également éliminé les consommations de chauffage extrêmes : supérieures à $400 \text{ kWh}_{\text{ef}}/(\text{an.m}^2)$ ou inférieures à $20 \text{ kWh}_{\text{ef}}/(\text{an.m}^2)$. Ces dernières représentent une centaine de logements et correspondent manifestement à des erreurs de saisie ou à des valeurs aberrantes.

Les consommations nationales de chauffage alors obtenues, et ventilées par énergie de chauffage, ont été comparées avec celles annoncées par le CEREN pour les résidences principales, en climat réel et pour l'année 2008 [10]. A l'exception du bois, qui reste un poste difficile à estimer en raison de sa nature d'énergie "non commerciale" pour un grand nombre de foyers et de son mode de comptage approximatif (stères), les résultats sont satisfaisants. Nous concluons à la représentativité de notre plan de sondage pour l'usage « chauffage » [8].

2-2 données techniques du DPE

Pour renseigner les modèles thermiques physiques nous avons utilisé la base de données associée à la méthode 3CL du DPE notamment pour les déperditions thermiques de différentes parois et le rendement des systèmes énergétiques de chauffage. On notera que pour les systèmes de chauffage au bois les rendements ont été modifiés à la hausse par rapport à ceux du DPE car considérés comme trop faibles.

¹ Soit 18,8% des résidences principales et 17% de la consommation de chauffage (source CEREN, en 2005).

² Surface habitable.

3 Modèles utilisés

3.3 Régression multilinéaire

Un modèle basé sur une régression multilinéaire (RML) simple a été construit à partir des données de l'enquête et de données publiques avec

le logiciel SAS [11]. Il comporte 17 variables jugées les plus significatives ((Pr>F)<0,2) Ce modèle permet d'expliquer 50% de la variance totale pour la consommation de chauffage des ménages français. Avec un rapport (Pr>F) inférieur à 10^{-4} , il se révèle fiable (Tableau 2).

Tableau 2 : Définition des variables utilisées dans la régression RML [8]

Définition	Degrés de liberté	Pr > F
Données techniques et météo		
Surface habitable	1	<0.0001
Année de construction	5	<0.0001
Type de logement (MI/LC) ⁽¹⁾	1	<0.0001
Nombre de pièces	1	<0.0001
Présence d'un thermostat d'ambiance	1	0.0087
Degrès-jours de chauffage ⁽²⁾	1	<0.0001
Surface déperditives (murs, planchers, plafonds, ouvrants) ⁽⁴⁾	1	0.0002
Rendement du système de chauffage ⁽⁵⁾	1	0.0070
Pratiques déclarées		
Température de la pièce principale	1	<0.0001
Température de consigne générale ⁽³⁾	1	0.0001
Durée d'aération manuelle hebdomadaire	1	0.1785
Proportion non chauffée du logement	1	0.1091
Jours d'absence du domicile ⁽⁶⁾	1	0.0344
Variables socio-démographiques		
Revenu direct du ménage	1	0.0195
Type de logement (MI/LC)	1	<0.0001
Age du chef de famille	3	0.1550
Taille du ménage	6	0.0602
Prix de l'énergie de chauffage (€/TTC/kWh) ⁽⁷⁾	1	<0.0001

(1) Le type de logement est une variable technique et socio-économique qui apparaît donc deux fois.

(2) Variable calculée à partir de la zone climatique et de la température déclarée par les ménages.

(3) Variable calculée à partir du type de logement.

(4) La température de consigne générale rend compte des réduits de confort programmés par les ménages pendant la nuit et leurs absences (demi-journées, fins de semaine et semaines).

(5) Variable calculée à partir des données DPE.

(6) Variable calculée à partir des temps de transport déclarés dans l'enquête.

(7) Variable calculée à partir des prix de la base PEGASE (SOeS).

3.1 Diagnostic de Performance Energétique

Le DPE reprend, pour le calcul des consommations de chauffage, l'approche développée pour la RT88 [1]. Même si le DPE est une méthode normative dont les résultats peuvent se trouver éloignés des consommations réelles, il est important car il sert de référence pour la politique publique en ce qui concerne la rénovation des logements français. Il donne aux différents acteurs une norme commune basée sur un étiquetage énergétique. Il convient néanmoins de garder à l'esprit que les consommations calculées sont normatives et ne doivent pas être assimilées aux consommations réelles des ménages.

3.1-a Modélisation standard

Pour le DPE dans sa version standard (appelé ici DPET), le comportement n'est pas directement pris en compte mais implicitement décrit sur la base d'un besoin de chaleur (énergie utile) corrélé à des degrés-heures (DH) qui dépendent uniquement de la localisation géographique. Ils font l'hypothèse d'un

comportement uniforme et normé pour l'ensemble des ménages. La température de consigne pour le chauffage est alors implicite dans les valeurs des DH.

3.1-b Comportement simplifié déclaré

Dans ce modèle (appelé ici DPET+c), les pratiques déclarées des ménages ont été introduites par la modification de deux variables :

- le nombre de degrés-heures est modifié à partir de la température intérieure déclarée par le ménage, ainsi que de sa gestion (baisse ou coupure du chauffage lors des absences ou pendant la nuit).
- un coefficient a été appliqué à la surface chauffée pour prendre en compte le fait que certains ménages déclarent des pièces moins chauffées. Ce coefficient est issu d'une équation multilinéaire résultante d'un plan d'expérience sur la base de simulations thermiques dynamiques avec le modèle thermique PAPTER [12] permettant une modélisation multizone à la différence de Simfast [13].

3-1.c Comportement différencié par facteur d'intensité

Les résultats du calcul avec le DPEt ont été corrigés d'un facteur d'intensité (I) de l'usage chauffage (appelé ici DPEs). Ce facteur d'intensité représente le ratio entre la consommation réelle et la consommation normative (telle que décrite dans le DPE). Ainsi, en multipliant le résultat du calcul DPEt par ce facteur, la consommation finale se rapproche de la consommation réelle. Des travaux précédents [14] ont montré que ce facteur dépendait de la part budgétaire du chauffage si le ménage se chauffait de manière normative. Nous avons choisi de le représenter sous la forme fonctionnelle d'une loi logistique (de forme sigmoïde) comprise entre une intensité minimale (min) et maximale (max) :

$$I = \min + \frac{(\max - \min)}{1 + a \exp(bx + c)}$$

x est la part budgétaire annuelle théorique de chauffage, soit le ratio entre la facture énergétique correspondant à la consommation théorique et le revenu du ménage.

Pour déterminer les paramètres de cet ajustement, la régression logistique a été réalisée sur les consommations des ménages de notre enquête.

3.2 Modélisation thermique dynamique

Le modèle thermique de simulation dynamique des consommations d'énergie, SimFast développé par EDF-R&D, est basé sur une modélisation par boîtes semblables à partir d'une réduction d'un modèle complexe [15]. Ce logiciel permet avec seulement 20 paramètres (type de logement, pertes thermiques (GV), surface habitable, surface de fenêtre, orientation...) d'évaluer les consommations énergétiques [16].

3.2-a Modélisation standard

Le comportement par défaut dans Simfast (SFt) est déterminé à partir de quatre températures de consigne : température de confort de jour (19°C), de réduit de jour (17°C) de réduit de nuit (17°C) et hors-gel (8°C). La période de sommeil est déterminée par défaut de 22h à 7h.

La période d'absence de jour est comprise entre 8h00 et 18h00 les jours ouvrés. Les périodes d'absence en saison de chauffe sont définies sur la base d'une semaine en février et une en avril.

3.2-b Comportement déclaré

Pour le calcul intégrant le comportement (SFt+c), la température intérieure déclarée par les ménages ainsi que leur gestion de la température pendant la nuit et les absences (journée, week-end) ont été renseignées dans le modèle SimFast.

4. Résultats et discussion

Nous avons calculé les consommations moyennes de chauffage avec les 6 modèles pour les 923 logements de l'enquête. Nous comparons ensuite ces consommations moyennes à celle d'un échantillon réduit dont les éléments sont tirés aléatoirement. Cette différence est évaluée en fonction de la taille de l'échantillon simulé.

Tableau 3 : description des différentes modèles et modes de calculs étudiés.

Code du calcul	Description de la modélisation
SFt	Simfast avec comportement par défaut
SFt+c	Simfast avec comportement renseigné par données de l'enquête
DPEt	DPE avec comportement par défaut
DPEt+c	DPE avec comportement renseigné par données de l'enquête
DPEs	DPE corrigé par un facteur d'intensité
RML	Régression multilinéaire estimée sur les données de l'enquête

Les résultats des différents modèles utilisés (Tableau 3) montrent globalement que seuls les modèles DPEt et DPEt+c ne permettent pas une estimation correcte pour un parc de logements (Figure 1). Même si les autres modèles présentent de fortes erreurs à l'échelle d'un logement, ils permettent néanmoins d'estimer très correctement (erreur <10%) la consommation de chauffage du parc (si supérieur à quelques centaines de logements).

4.1. Erreur moyenne

Estimation globale de l'échantillon

Pour l'ensemble des logements enquêtés, les simulations de la consommation moyenne de chauffage montrent que les modèles RML et DPEs donnent comme attendu les meilleurs résultats car construits à partir de cet échantillon.

Pour les modèles physiques, par nature non calibrés sur l'échantillon, nous observons de forts écarts entre Simfast (erreur <3%) et le DPE (erreur de 65%) malgré le fait qu'ils utilisent la même base de données de performances techniques. Avec la prise en compte des comportements déclarés des ménages, le DPEt+c est sensiblement amélioré mais présente toujours une erreur significative (30%).

Tableau 4 : consommation moyenne (μ) modélisée et écart-type (σ)(en MWh_{eff}/an.logement).

Modèle	SFt	SFt+c	DPEt	DPEt+c	DPEs	RML	échantillon
μ	13,5	13,3	21,6	17,0	13,4	13,1	13,1
σ	10,9	11,2	14,8	13,4	6,9	7,7	8,8

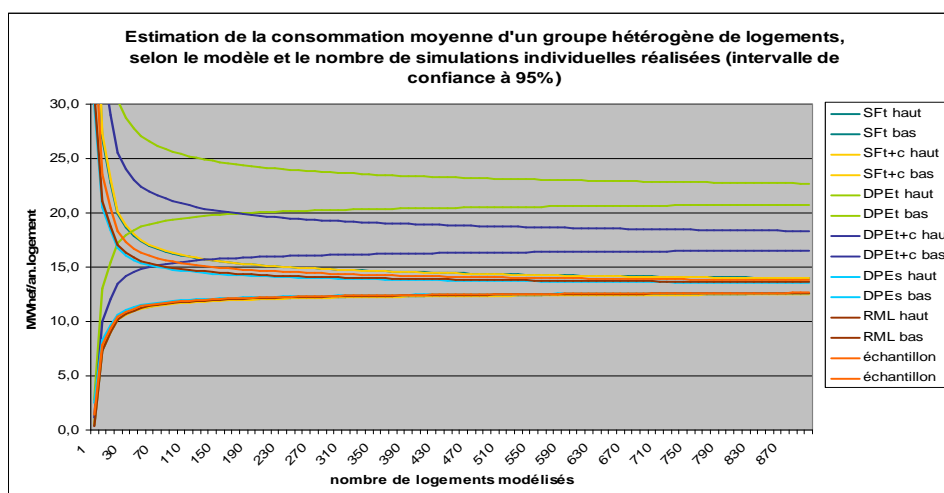


Figure 1 : consommation moyenne par logement calculés pour différents modèles et modes de calculs en fonction du nombre de logements simulés.

Estimation à partir d'une segmentation de l'échantillon

Même si certains modèles déterminent correctement les consommations de chauffage à l'échelle globale, cela n'implique pas qu'ils soient performants à l'échelle d'un segment car les erreurs peuvent se compenser. Nous avons modélisé les consommations de chauffage pour différents segments de l'échantillon : par énergie de chauffage (5 modes), par type de logement (maison, appartement), par âge du bâti (6 catégories).

Les résultats des 6 modèles ont été classés (du 1^{er} au 6^{ème}) pour chacun des 13 segments. Le rang global est calculé en pondérant les classements obtenus dans un segment par le poids en effectifs à l'échelle nationale du même segment. La comparaison s'effectue sur la consommation moyenne calculée de chaque segment avec la consommation réelle de l'échantillon. Ce classement rend compte de la hiérarchie des erreurs à l'échelle nationale du parc de résidences principales chauffées par un système individuel.

Tableau 5 : classement des modèles selon l'erreur commise sur l'estimation de la consommation moyenne des 13 segments (la note 1 correspond au meilleur modèle).

	SFt	SFt+c	DPEt	DPEt+c	DPEs	RML
modèles non calibrés	3,6	3,2	5,9	4,6	2,8	1,0
modèles calibrés sur consommation totale de l'échantillon	5,2	4,8	3,2	3,0	3,6	1,2

Les résultats montrent que, tout comme à l'échelle globale, les modèles calibrés sur l'échantillon sont les plus performants, suivis de SimFast. Pour le DPE, il apparaît que l'erreur à l'échelle globale se retrouve également au niveau désagrégé, sauf pour le segment particulier des logements construits entre 1982 et 1989. Cela pourrait s'expliquer par le fait que son cœur de calcul est similaire à celui de la réglementation thermique de 1988 [1].

Calibration et intégration des pratiques déclarées

Pour améliorer l'estimation de la consommation moyenne, nous avons modifié les modèles physiques (DPE et Simfast) :

- en intégrant les pratiques déclarées (SFt+c, DPEt+c).
- en calibrant le DPE (DPEs) avec un coefficient multiplicatif spécifique. Ce coefficient est calculé comme le ratio entre la consommation observée de l'échantillon et la consommation modélisée.

On observe que ces ajustements à l'échelle de l'échantillon global ne garantissent pas forcément une meilleure pertinence au niveau de chaque segment. En effet, les écarts peuvent encore aller jusqu'à plus de 40% (en particulier les modèles physiques utilisés ne sont pas suffisamment précis pour la modélisation des logements collectifs et des logements les plus récents). A l'opposé, on observe que la modélisation des consommations segmentées par

énergie est relativement proche des observations, à l'exception des consommations de bois.

4.2. Analyse de l'écart-type

Dans le cadre d'une modélisation d'un parc de logements exhaustif (où chaque logement est décrit unitairement, comme par exemple dans le

recensement général de la population ou l'enquête logement de l'INSEE [17]), la consommation d'un segment quelconque est calculée par la somme des consommations unitaires des logements du segment. Or, si le nombre de logements représentés s'avère trop faible pour un segment particulier, l'estimation de la consommation sera obtenue avec une forte incertitude.

Tableau 6 : Consommation unitaire moyenne des différents segments de logements calculées à partir des modèles calibrés (MI : maison individuelle, LC : logement collectif).

Consommation unitaire moyenne calculée par les modèles calibrés sur l'échantillon (en MWh _{ef} /an.logement)	segment	SFt	SFt+c	DPEt	DPEt+c	DPEs	RML	échantillon
énergie	gaz	15,3	15,2	13,7	13,3	14,9	13,6	13,7
	fioul	19,1	19,3	18,3	20,3	16,5	19,8	19,8
	GPL	15,5	14,9	15,3	14,6	14,4	16,4	16,7
	bois	14,5	14,9	24,4	24,1	17,6	20,0	20,4
	électricité	14,0	14,1	14,6	15,0	13,8	15,1	15,1
type logement	MI	6,3	6,3	6,8	7,1	7,4	7,4	7,3
	LC	8,2	7,8	7,5	6,9	8,8	6,1	6,1
année de construction	<1918	19,1	19,0	19,0	19,7	16,4	18,4	18,4
	1919-1948	16,0	16,4	14,2	14,6	13,9	13,0	13,5
	1949-1974	18,1	17,8	16,6	16,3	15,3	14,4	14,5
	1975-1982	8,5	8,6	10,4	10,7	11,1	11,5	11,6
	1983-1989	5,6	5,8	7,5	7,4	9,3	10,0	9,9
	>1990	3,6	4,0	4,4	4,9	6,6	6,9	6,8

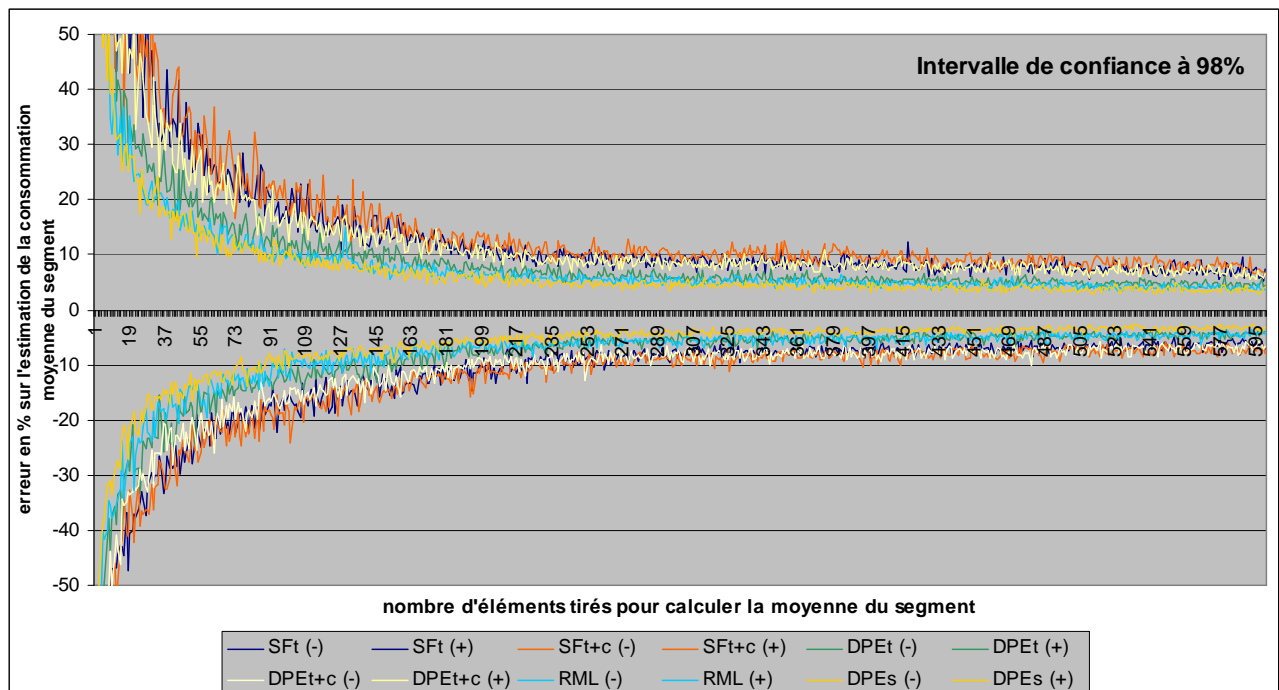


Figure 2 : Intervalle de confiance à 98% de l'estimation de la consommation moyenne d'un segment en fonction du nombre de simulations unitaires réalisées et du modèle calibré utilisé.

Il est donc nécessaire de déterminer le nombre minimum de logements à représenter pour un segment quelconque et un modèle particulier.

Cette erreur est déterminée par l'écart-type obtenu sur un ensemble de calculs unitaires. En effet, l'intervalle de confiance à 95% de la consommation

moyenne estimée à partir de n calculs unitaires, suit une décroissance dont la vitesse dépend de l'écart-type initial [18](Figure 2).

On observe que les modèles RML et DPEs permettent d'estimer correctement (erreur <10%) la consommation moyenne d'un segment avec un nombre de simulations de l'ordre d'une centaine de logements tandis que les modèles physiques calibrés nécessitent a minima la simulation de 250 logements. Il est intéressant de noter que les deux « meilleurs » modèles prennent en compte des informations sociodémographiques comme le revenu des ménages.

D'autre part, on observe qu'après calibration, le DPEs présente un écart-type inférieur à celui du DPEt+c intégrant le comportement qui introduit une variation supplémentaire. De plus, ces deux versions modifiées du DPE présentent un écart-type inférieur à celui de Simfast. Cela ouvre la possibilité d'une simulation simplifiée avec un nombre réduit de logements. De plus, le temps de calcul unitaire du DPE (modèle linéaire) est très inférieur à celui de Simfast (modèle dynamique).

5. Conclusion / Perspectives

L'analyse des résultats montre que l'ensemble des modèles est capable, sur la base d'un échantillon représentatif minimal (>250), d'estimer la consommation de chauffage d'un parc de logements à l'échelle nationale avec une erreur limitée (<10%). Cependant, certains modèles comme le DPE nécessitent un calibrage sur données réelles.

On soulignera que les modèles purement physiques (DPE, Simfast) nécessitent une information fine à la fois sur la performance technique (bâti, systèmes, climat) et l'usage (gestion spatio-temporelle de la température et de du renouvellement d'air). Or il est souvent difficile d'accéder à ces informations de manière précise. Dans ce cas, il apparaît que certaines variables sociodémographiques telles que le revenu ou le type de ménage (célibataire, présence d'enfants, âge...) sont plus facilement accessibles et sont corrélées aux variables physiques recherchées. Cela explique qu'un modèle linéaire tel que la RML permette d'estimer plus précisément les consommations qu'un modèle physique (linéaire ou dynamique). Cependant, une RML n'intègre pas les limites physiques et peut conduire dans certains cas à des consommations aberrantes (e.g. négatives).

Le DPE, qui sert de référence pour évaluer la performance énergétique des logements sous la forme d'une étiquette, conduit dans sa version standard, à une surestimation des consommations

de chauffage dans le cas des systèmes individuels. Il ne devrait donc pas être utilisé dans sa version non calibrée pour estimer les consommations réelles des ménages. En effet, la surestimation très importante des consommations de chauffage mène de facto à une surestimation des économies d'énergie potentielles et de la rentabilité économique des travaux de rénovation énergétique. La seule intégration des pratiques déclarées dans le DPE ne suffit pas pour améliorer significativement les résultats et une calibration est nécessaire.

Dans le cas où le DPE serait utilisé dans sa version calibrée (à l'échelle nationale où celle d'un segment particulier) il est nécessaire de vérifier que les coefficients de calibration sont constants dans le temps. En effet, les évolutions du parc de logements résidentiels sont particulièrement lentes ce qui nécessite des études à long terme pour simuler l'impact des politiques énergétiques, d'où l'importance de vérifier la stabilité des calibrations dans le temps.

Dans le cas où une calibration n'est pas possible ou pas désirée alors le modèle Simfast standard semble être le plus pertinent car il permet une estimation des consommations correcte sans nécessiter de recalage.

Il faut noter que le modèle RML construit à partir des informations de l'enquête, même s'il propose une très bonne estimation des consommations, ne permet pas de simuler finement des politiques énergétiques de nature technologique. En effet, ce type de modèle nécessite une information observable et accessible pour en estimer l'effet, ce qui n'intègre pas par exemple la performance des parois opaques ou celles de systèmes énergétiques futurs. A l'opposé, ce type de modèle permet de prendre en compte aisément l'impact de variables sociodémographiques prépondérantes comme le revenu ou le type de ménage.

Il nous semble donc intéressant de développer un modèle hybride dans lequel un modèle thermique serait utilisé pour le calcul de la performance énergétique et un modèle statistique pour le calcul de l'intensité d'utilisation de l'infrastructure technique (bâti et systèmes de chauffage) permettant de prendre aussi en compte des variables sociodémographiques.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec le support d'ECLEER (European Centre and Laboratories for Energy Efficiency Research).

Bibliographie

1 Ministère de l'Emploi, de la Cohésion Sociale et du Logement, *Arrêté du 6 mai 2008 portant confirmation de l'approbation de diverses méthodes de calcul pour le diagnostic de performance énergétique en France métropolitaine*, NOR DEVU0810970A, JORF n°0114 du 17 mai 2008 page 8063, 96p

2 D.Bonneau, F-X.Rongère, D.Covalet, GB.Gautier, *CLIM 2000, Modular software for energy simulation in buildings*, IBPSA 3rd International Conference on Building Simulation, University of Adelaide Australia, Août 1993, 85-91

3 Energie Demain, <http://www.energies-demain.com/>

4 J.Marchal, *Modélisation des performances énergétique du parc existant*, ANAH, (2008) http://www.anah.fr/nos-publications/etudes/pdf/rapport_performances_energetiques.pdf

5 Promotelec (1995), *Locaux d'habitation, étude thermique et isolation*, 4^{ème} Edition (1995) 144p

6 L-G.Giraudet, C.Guivarch, P.Quirion, *A model of the french residential demand for heating energy to evaluate the prospective impact of policy instruments*, Austrian Association for Energy Economics (2009) 27p

7 A.Schuler, *Energy consumption for space heating of west german households empirical evidence, scenario projections and policy implications*, Energy Policy, 28 (2000) 877-894

8 J-M.Cayla, B.Allibe, M-H.Laurent *From practices to behaviors: Estimating the impact of household behavior on space heating energy consumption*, ACEEE 2010, 15-20 août 2010, Pacific Grove – Etats-Unis

9 Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie – CEREN, *Estimation des consommations de gaz à usage eau chaude sanitaire et cuisson*, étude 7107 (2007) 21p

10 Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie – CEREN, *suivi du parc et des consommations en 2008*, (2009) étude 9102

11 <http://www.sas.com/offices/europe/france/software/technologies/statistics.html>

12 H.Castet, C.Sivadier, *PAPTER v4.1 : programme d'aide à un projet tertiaire. Outil d'avant projet sommaire*, Etude PUCA Les systèmes énergétiques des bâtiments résidentiels de demain (2003) 19p

13 A.Estève, *Modélisation thermique du parc résidentiel français par la méthode des plans d'expérience*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (2009) 57p

14 B.Allibe, *Impact of comfort level on dwelling space heating energy demand: a retrospective and prospective study*, Behavior Energy and Climate Change Conference - BECC 2009 – Washington DC, November 2009

15 F. Déqué, F. Ollivier, A. Poblador, *Grey boxes used to represent buildings with a minimum number of geometric and thermal parameters*, Energy and Buildings 31 (2000) 29-35

16 F.Déqué, L.Catusse, S.Castanet, *Residential SIM-FAST: software for rapid technicals appraisals*, IBPSA 6th International Conference on Building Simulation, Kyoto, Japan September 13-15, 1999

17 INSEE, *Détail...Logements – France métropolitaine*, (2001) CD-ROM

18 D.N.Gujarati, *Econométrie*, 4^{ème} Edition De Boeck (2004) 1009p