

Note audit paramètres modèle tertiaire

CGDD/SEEIDD/MA3

7 décembre 2016

```
FALSE [1] "AME prix MA3"
FALSE [1] "AME prix MA3 valeur verte"
FALSE [1] "AME maintenance 0"

##
Read 0.0% of 5405 rows
Read 5405 rows and 655 (of 655) columns from 0.011 GB file in 00:00:03
```

Objectifs :

- Etat des lieux des paramètres du modèle pour la période de référence
- Image précise du parc initial (surfaces, consommations, systèmes de chauffage)
- Données sur les coûts des gestes de rénovation, des systèmes de chauffage et des autres systèmes
- Calcul de la rentabilité des rénovations pour l'année initiale
- Mode d'emploi à alimenter pour la compréhension du fonctionnement du modèle

Contents

1) Parc existant	2
2) Besoins en énergie par usage et consommations finales	4
3) Consommations unitaires du parc existant et étiquette énergie	6
Consommations moyennes par usage pour l'ensemble du parc	6
Distributions des consommations moyennes par branche	7
Distributions des consommations moyennes par étiquette	10
Comparaison des consommations avec le résidentiel	12
4) Coûts et rendements des gestes de rénovation	15
Coûts et gains moyens des gestes	15
Comparaison avec les coûts des sauts de classe du modèle ResIRF	15
Comparaison avec les données BIIS/OPEN	16
Distribution des coûts et gains des gestes sur les différents segments du parc	17
5) Rentabilité des gestes de rénovation	23
6) Coûts des systèmes de chauffage	27
Coûts et gains moyens des systèmes de chauffage sur l'ensemble du parc	27
Comparaison des coûts des systèmes aux sauts de classes ResIRF	27
Comparaison avec les coûts des systèmes dans études CSTB et UFE	29
Distribution des coûts et des gains des systèmes de chauffage sur l'ensemble du parc	30
7) Rentabilité des changements de systèmes de chauffage	34
8) Coûts des systèmes de climatisation	39
CONCLUSION	42
Annexes	43

1) Parc existant

Pour l'année de référence du parc tertiaire (2009), le parc est réparti entre 8 branches, 35 sous-branches à nouveau subdivisés en 96 types de bâtiment (voir en annexes pour la répartition du parc entre type de bâtiment).

Table 1: Distribution du parc existant par branche

BRANCHE	Millions de m ²	Part du parc	Nombre de sous-branche	Nombre de type de bâtiment
Santé Action Sociale	104.00	0.12	4	6
Habitat Communautaire	58.79	0.07	5	5
Commerce	200.60	0.22	6	19
Sport Loisir Culture	69.43	0.08	4	13
Bureaux Administration	196.95	0.22	2	6
Café Hôtel Restaurant	61.16	0.07	4	30
Enseignement Recherche	179.32	0.20	3	17
Transport	25.07	0.03	7	1
Total	895.32	1.00	35	96

Pour chaque type de bâtiment, les surfaces sont également subdivisées par énergie de chauffage (5 types), système de production de chauffage (9 types de chauffage de base + 9 types de chauffages performants associés) et système de climatisation (climatisé ou non). Les données d'entrées sur le parc initial ("Parc_init.xls") sont constitués par les surfaces consacrées à chacun des segments de parc (6941 segments)

Table 2: Distribution du parc existant par energie de chauffage

ENERGIE	Millions de m ²	Part du parc
Autres	30.39	0.03
Electricité	215.11	0.24
Fioul	190.01	0.21
Gaz	406.47	0.45
Urbain	53.35	0.06

La majorité des systèmes de chauffage sont associés à une seule énergie à l'exception de la catégorie "autre système centralisé".

A DISCUTER : incohérence entre les parts climatisées dans le fichier d'entrée du modèle et les paramètres du modèle

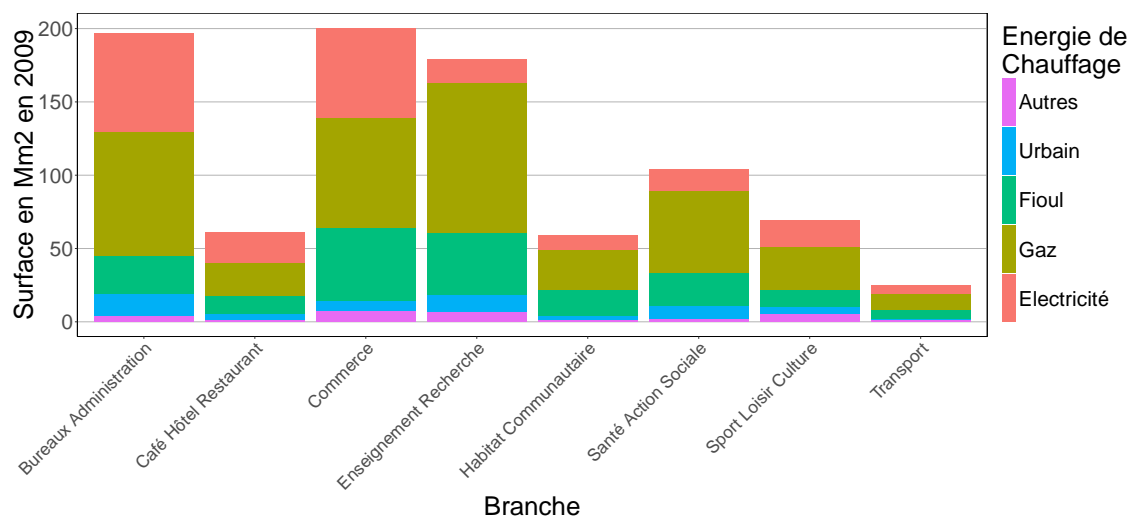


Figure 1: Distribution du parc tertiaire par énergie et branche de bâtiment

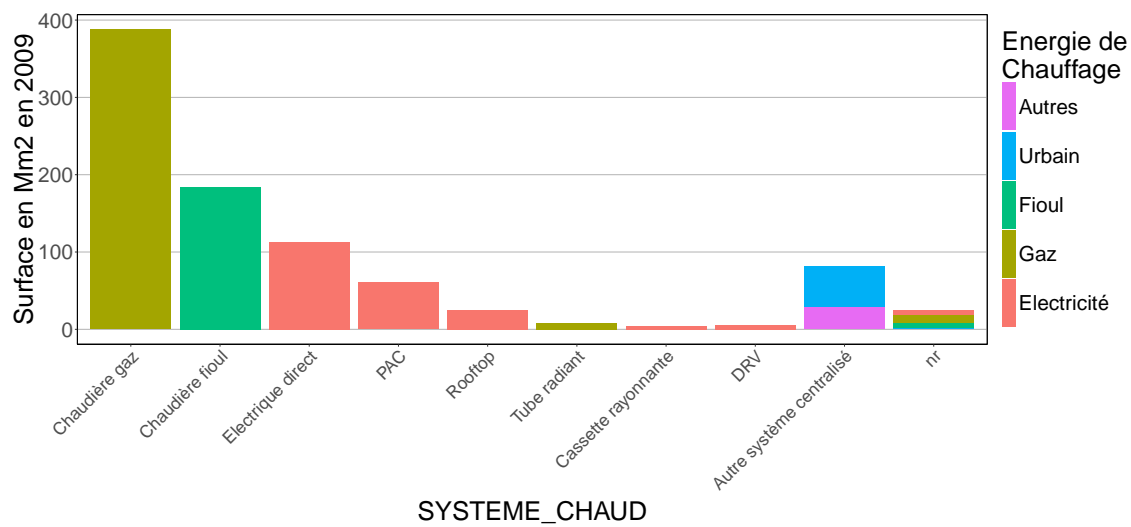


Figure 2: Distribution du parc tertiaire par système de chauffage

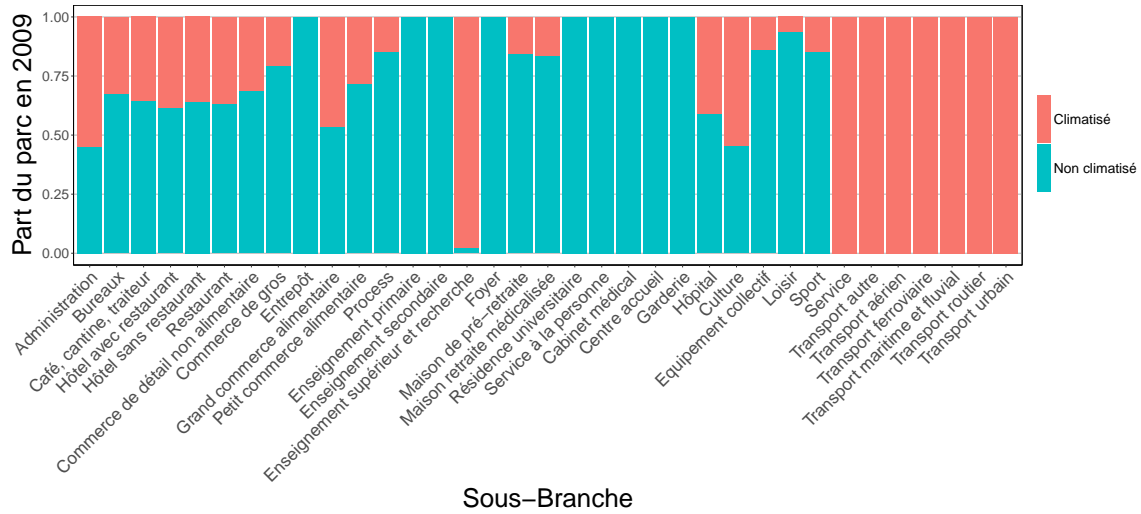


Figure 3: Part des surfaces climatisées dans le parc existant selon la sous-branche de bâtiment tertiaire

2) Besoins en énergie par usage et consommations finales

Le calcul des consommations par usage pour chaque segment du parc est nécessaire pour évaluer la rentabilité des gestes de rénovation ou des changements de système de chauffage car les coûts et les gains de consommations associés aux rénovations sont très variables selon le segment du parc considéré. Ces données ne sont pas fournies dans les données d’entrées du modèle, il faut les reconstituer à partir des besoins en énergie utile par usage pour chaque segment.

Les besoins en énergie utile par usage pour chacun des 6941 segments de parc constituent une grande partie des données d’entrée du modèle. Pour information, les besoins totaux (i.e. pas unitaire) pour chaque segment et par usage sont regroupés dans les fichiers “Usage.init.xls” (un fichier par usage).

Les besoins en énergie pour le chauffage, les auxiliaires et la ventilation de chaque segment de parc sont dépendants du type de bâtiment, du système de chauffage, de l’énergie de chauffage utilisée et du fait que le bâtiment soit climatisé ou non.

Les besoins en énergie pour la climatisation ne dépendent que du type de bâtiment (et du fait que le bâtiment est climatisé ou non).

Les besoins en énergie pour les autres usages ne dépendent que du type de bâtiment (à l’exception de l’ECS pour laquelle le rendement dépend de l’énergie de chauffage)

Pour reconstituer les consommations en énergie finale des usages chauffage, climatisation et ECS il faut associer à chaque système de chauffage, de climatisation et d’ECS son rendement (données des fichiers “Bibli_rdt_chauff.xls” pour le chauffage, “Bibli_rdt_clim.xls” pour la climatisation et onglet usage_ECS dans le fichier “paramètre_utilisateurs.xls” pour l’ECS). Les consommations en énergie finale sont alors calculées comme suit $CONSO = BESOIN / RDT$.

A DISCUTER : incohérence entre les identifiants et les types d’énergie/système de chauffage dans le fichier Bibli_rdt_chauff.xls

Pour les auxiliaires, le calcul des consommations à partir des besoins totaux en auxiliaires du bâtiment fait intervenir des coefficients qui dépendent du système de chauffage utilisé et du fait que le bâtiment soit climatisé ou non.

Pour les autres usages, les besoins renseignés dans les fichiers d'entrée correspondent aux consommations en énergie finale

A partir des besoins de chaque segment et des rendements de chaque système, on peut reconstituer les consommations en énergie par usage de l'ensemble du parc. Le tableau ci-dessous montre les résultats de cette reconstitution par branche et compare les consommations obtenues sur l'ensemble du parc avec celles des sorties du modèle.

BILAN : la somme des consommations sur chaque segment élémentaire donne bien les consommations fournies par le modèle, on peut donc utiliser les résultats de ce calcul pour l'analyse de la rentabilité des rénovations

Table 3: Besoins et consommations par branche et par usage pour l'année 2009 (en tWh EF)

Branche	Chauff	Aux	Ventil	Clim	ECS	Cui	Proc	Bur	Ecl	Froid	Elec spé	Autres
Bureaux Administration	28.8	1.0	0.8	2.4	1.5	0.8	0.1	7.3	4.1	0.1	13.4	4.9
Café Hôtel Restaurant	9.0	0.5	0.6	0.5	2.8	6.3	0.1	0.2	1.5	0.9	3.8	0.5
Commerce	21.1	1.4	0.6	0.8	2.9	1.1	1.6	0.6	9.9	4.9	19.0	5.1
Enseignement Recherche	18.2	0.8	0.2	0.1	2.5	1.8	0.2	0.5	2.1	0.2	4.1	0.8
Habitat Communautaire	6.9	0.3	0.4	0.1	2.4	1.4	0.4	0.1	1.0	0.2	2.3	0.6
Santé Action Sociale	13.7	0.6	3.1	0.4	4.1	1.3	0.4	0.1	2.1	0.8	7.2	1.7
Sport Loisir Culture	8.4	0.3	0.3	0.9	4.5	0.4	1.2	0.2	2.0	0.1	4.1	0.1
Transport	3.6	0.0	0.4	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	1.6	0.3	2.3	1.4
Total EF	109.6	4.9	6.4	5.3	21.3	13.3	4.0	9.0	24.2	7.7	56.2	15.0
Total modèle	109.6	4.9	6.4	5.3	21.3	13.3	4.0	9.0	24.2	7.7	56.2	15.0

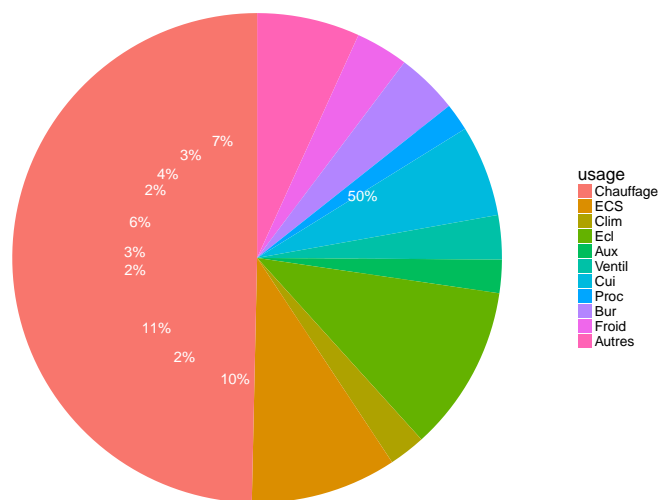


Figure 4: Répartition des consommations du parc tertiaire par usage

3) Consommations unitaires du parc existant et étiquette énergie

Consommations moyennes par usage pour l'ensemble du parc

En rapportant la somme des consommations par usage sur l'ensemble du parc à la surface du parc, on peut évaluer la consommation unitaire moyenne du parc par usage (convertie en énergie primaire, pour comparer aux valeurs du dpe). La catégorie électricité spécifique correspond à la somme des usages auxiliaires, ventilation, process, bureautique, éclairage et froid alimentaire. Le parc consomme en moyenne 416 kWh EP par m² par an (246 kWh EF par m² par an) .

Table 4: Consommations unitaires moyennes par usage pour l'année 2009 (kwh par m² par an)

Branche	Chauff	Aux	Ventil	Clim	ECS	Cui	Proc	Bur	Ecl	Froid	Elec spé	Autres
Total EP	151.4	14.0	18.6	15.4	34.2	26.2	11.6	25.8	69.8	22.1	162.0	27.2
Total EF	122.4	5.4	7.2	6.0	23.8	14.9	4.5	10.0	27.1	8.6	62.8	16.7

Distributions des consommations moyennes par branche

Le poste le plus important de consommation dans le tertiaire est le chauffage qui représente près de 50% des consommations en EF. Les consommations de chauffage varient sensiblement selon le type de bâtiment, les consommations moyennes par branche étant relativement proches de la moyenne sur l'ensemble du parc.

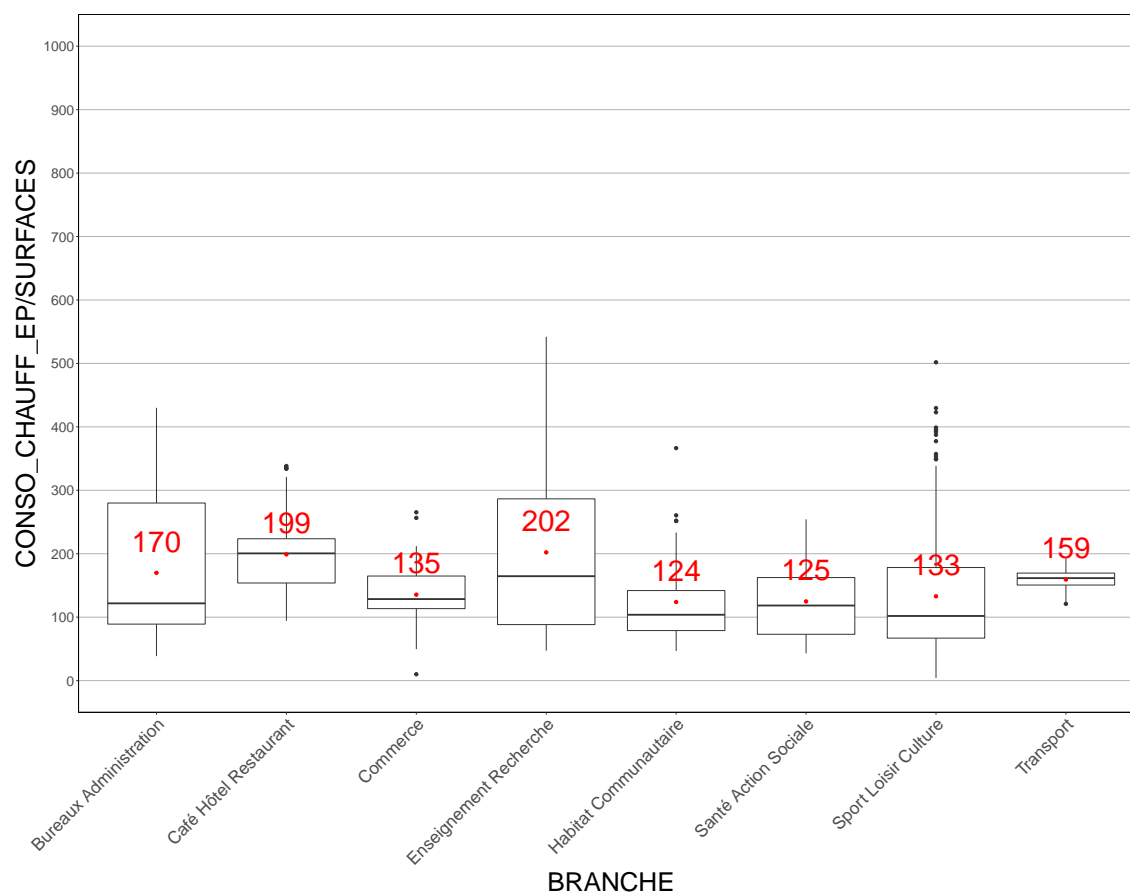


Figure 5: Consommations unitaires de chauffage (kwh EP par m² par an) du parc tertiaire

Les différences entre branches sont plus marquées sur les consommations pour l'ensemble des usages réglementés (chauffage, ECS, climatisation, Auxiliaires, ventilation et éclairage). Sur l'ensemble du parc, la consommation unitaire pour les usages RT est de 303 kWh EP par m² par an. En énergie primaire, le chauffage représente ainsi seulement 50 % des usages réglementés, l'éclairage un peu moins de 25%, l'ECS environ 10 % et la ventilation, les auxiliaires et la climatisation environ 5 % chacun.

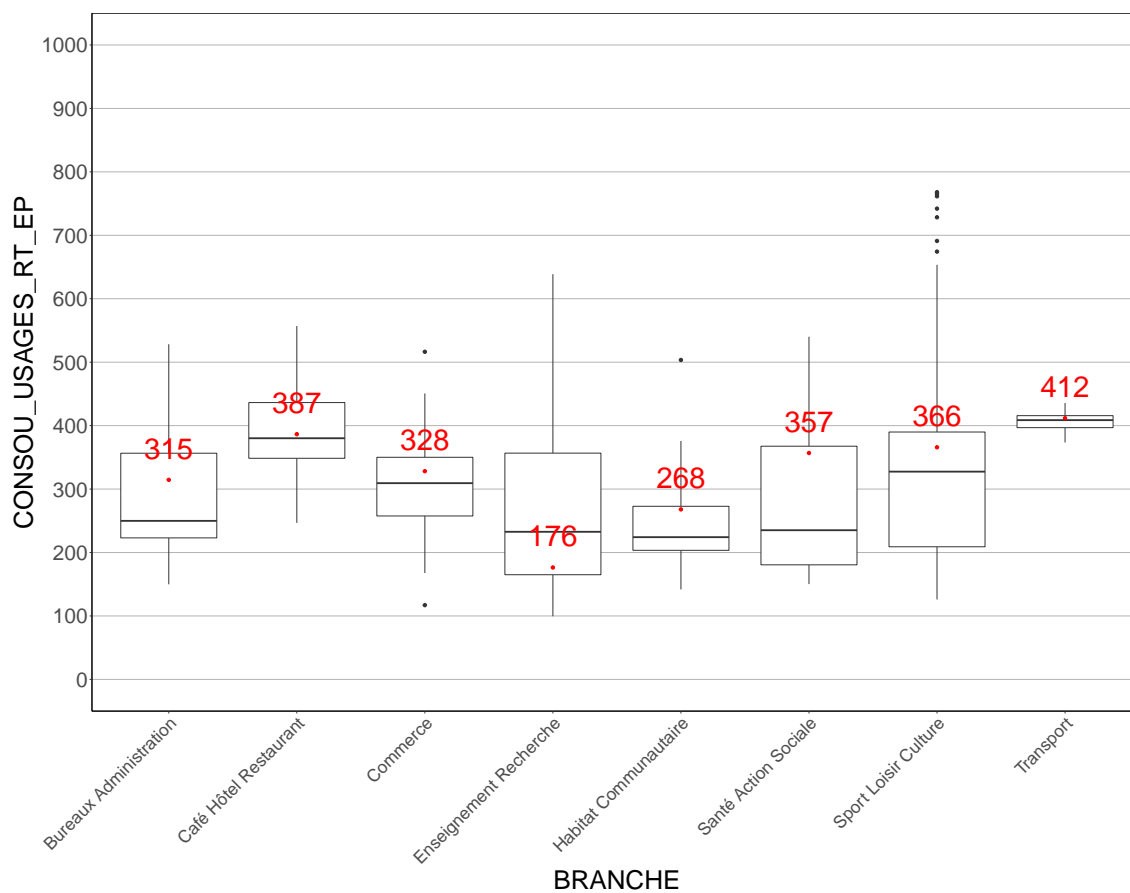


Figure 6: Consommations unitaires pour les usages RT (kwh EP par m² par an) du parc tertiaire

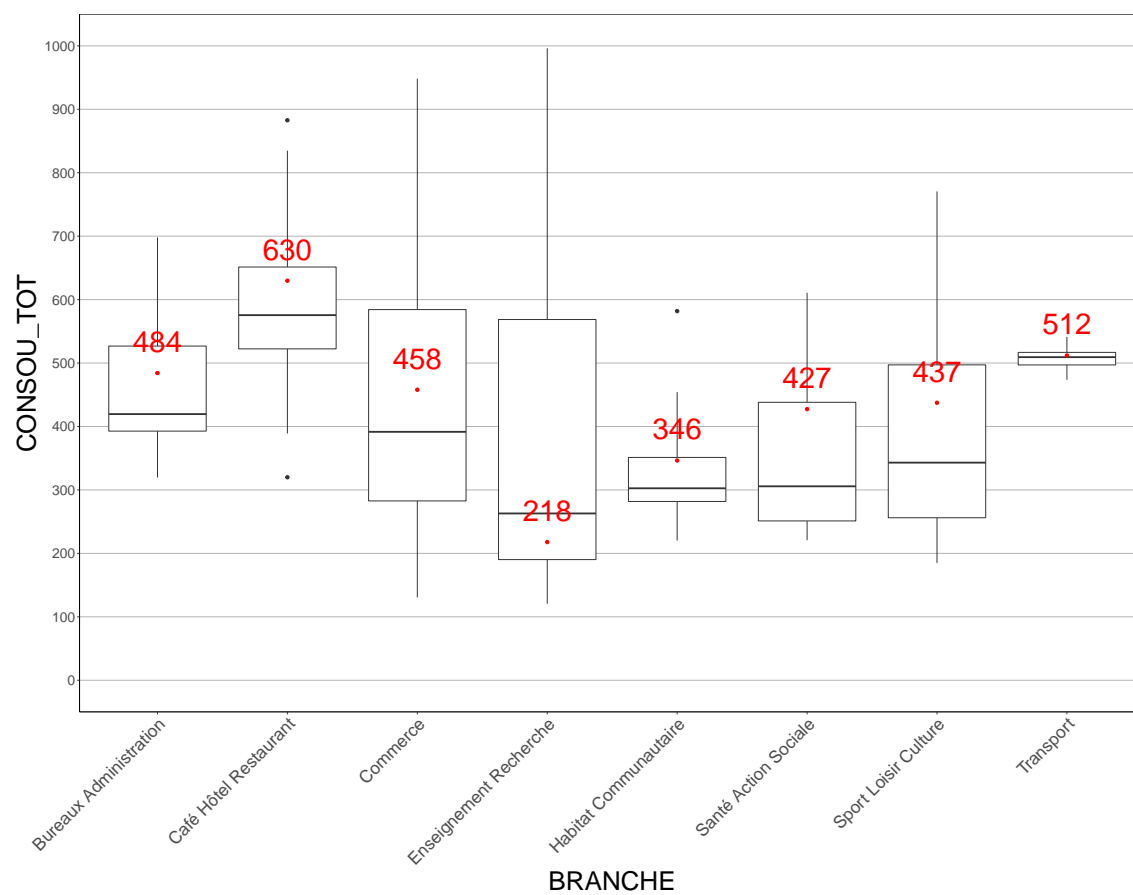


Figure 7: Consommations unitaires totales (kwh EP par m² par an) du parc tertiaire

Distributions des consommations moyennes par étiquette

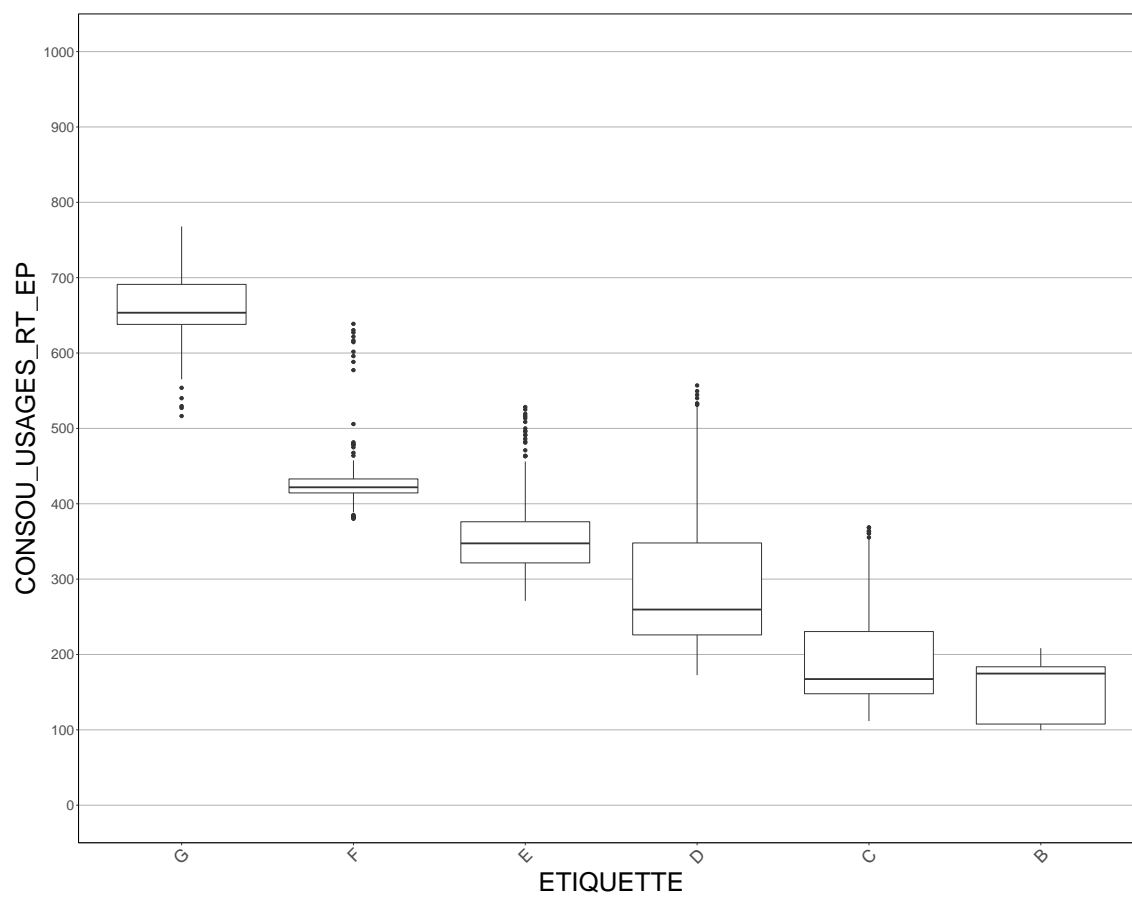


Figure 8: Consommations unitaires des usages réglementés (kwh EP par m² par an) du parc tertiaire par étiquette énergie

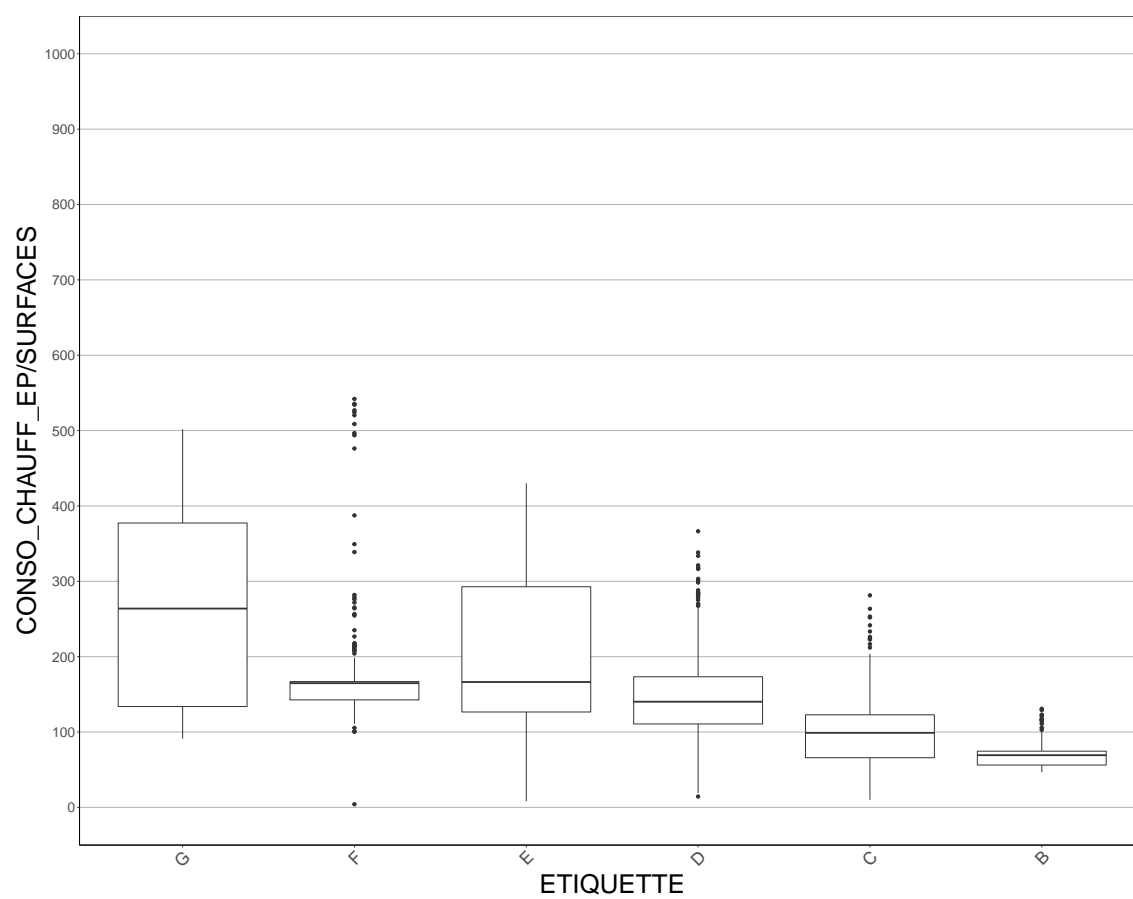


Figure 9: Consommations unitaires de chauffage (kwh EP par m² par an) du parc tertiaire par étiquette énergie

Comparaison des consommations avec le résidentiel

Dans cette partie, on compare les consommations du parc tertiaire avec les données Phébus :

- Consommations théoriques par usage (uniquement Chauffage, ECS et clim) du volet dpe
- Consommations réelles des ménages :
 - Consommations totales = tous les usages (Chauffage, ECS et clim + elec spé + cuisson)
 - Consommations de chauffage = consommations de l'énergie de chauffage définie comme principale.
 - Pour les logements avec un chauffage électrique, on retire 33 kWh EF par m² qui correspond à une estimation moyenne des consommations d'électricité spécifique sur les logements non chauffés à l'électricité.

Le parc tertiaire consomme en moyenne 416 kWh EP par m² par an. A titre de comparaison, le parc résidentiel consomme en moyenne 276 kWh EP par m² par an selon l'enquête Phébus (consommations réelles totales des ménages). Selon le volet DPE de l'enquête, le même parc résidentiel consommerait 278 kWh EP par m² en moyenne uniquement pour les usages réglementés (Chauffage, ECS, climatisation) ce qui laisse à penser qu'il existe une forte surestimation des consommations par le DPE.

Le chauffage représente 80 % des usages réglementés dans le secteur résidentiel, selon le volet dpe, alors qu'il ne représente que 50 % des usages RT dans le tertiaire, 36 % des consommations totales.

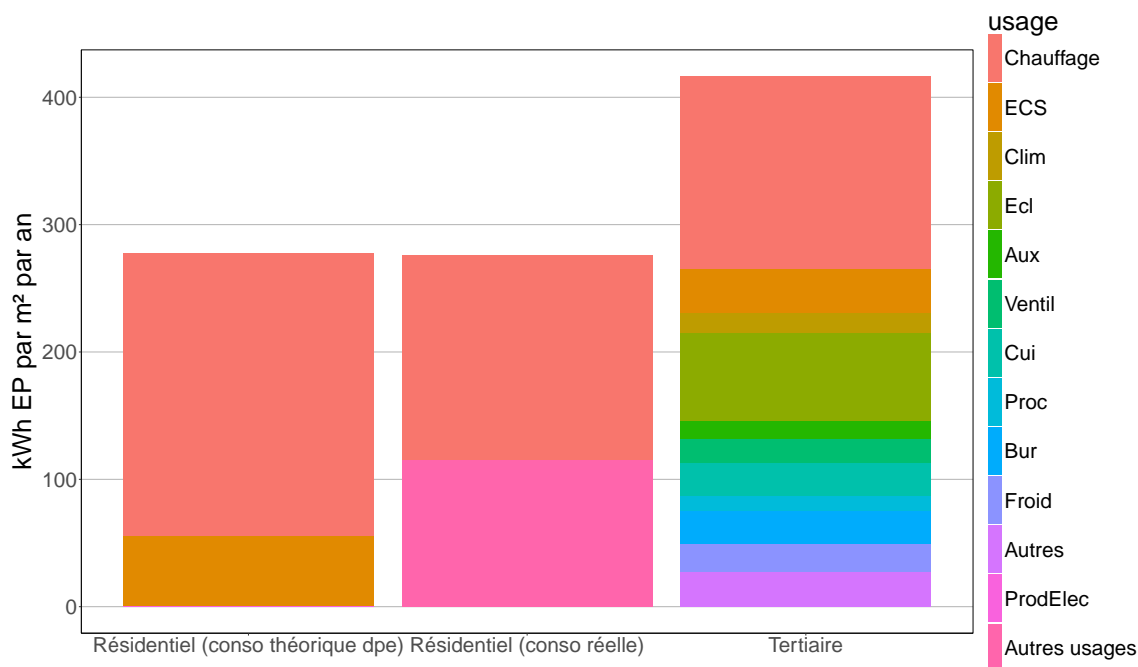


Figure 10: Consommations unitaires par usage des parcs tertiaire et résidentiel

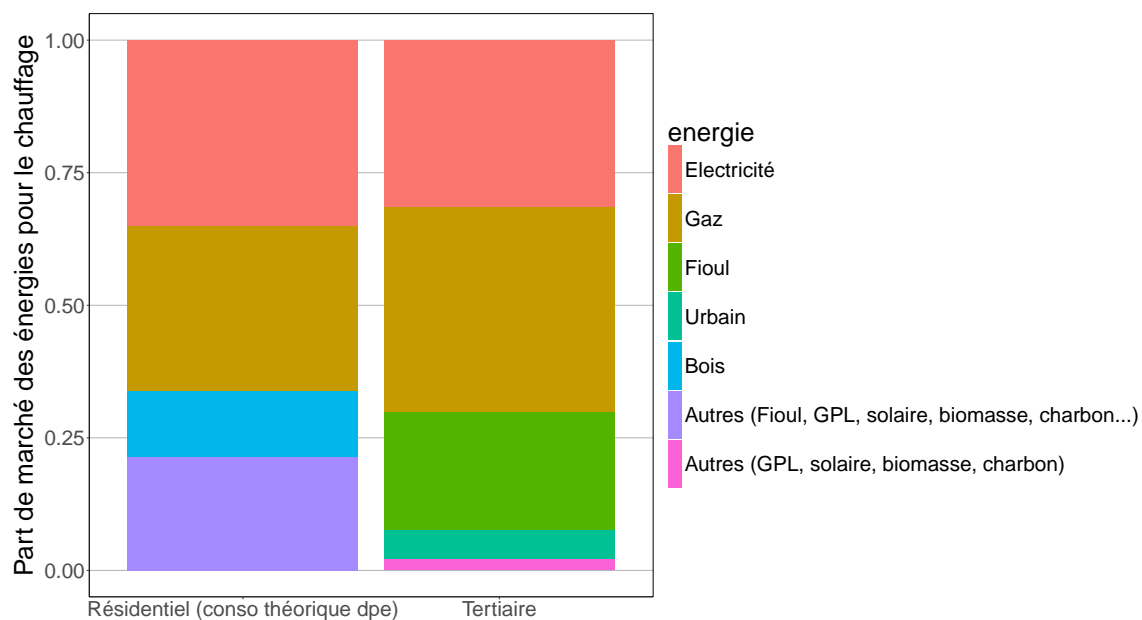


Figure 11: Part de marché des énergies dans les consommations de chauffage des parcs tertiaire et résidentiel

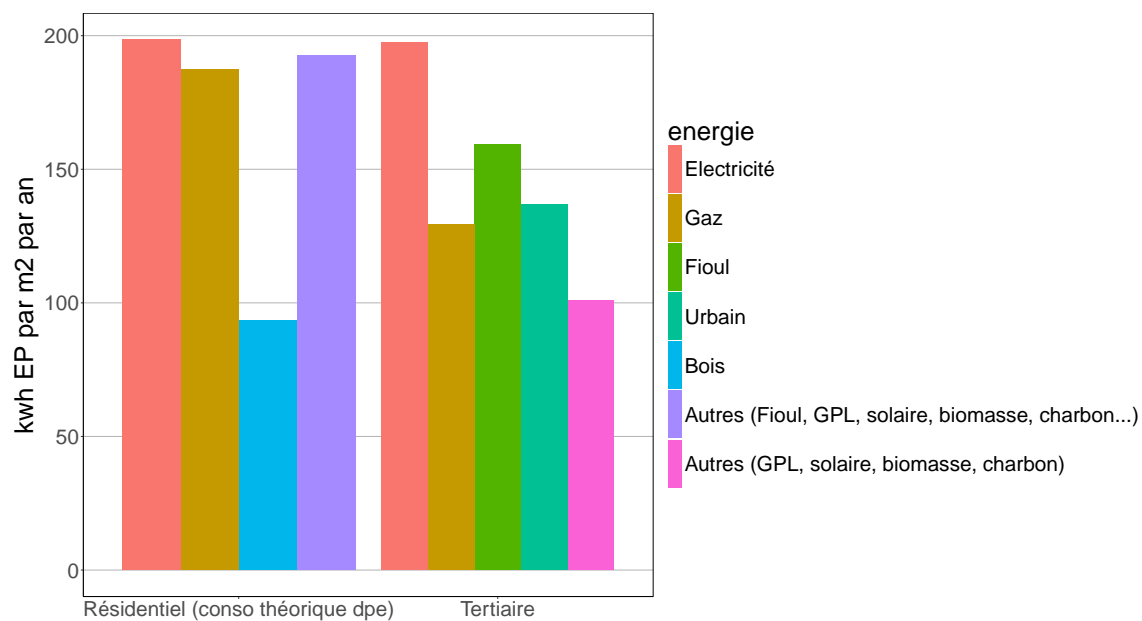


Figure 12: Consommations unitaires par énergie pour le chauffage, en énergie primaire

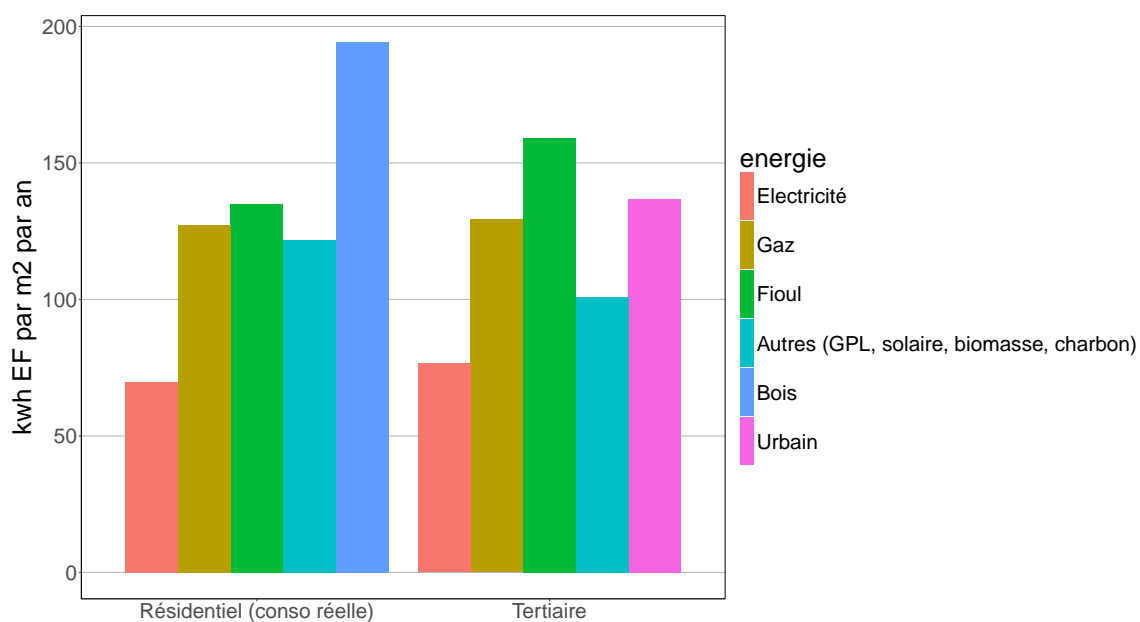


Figure 13: Consommations unitaires par énergie pour le chauffage, en énergie réelle finale

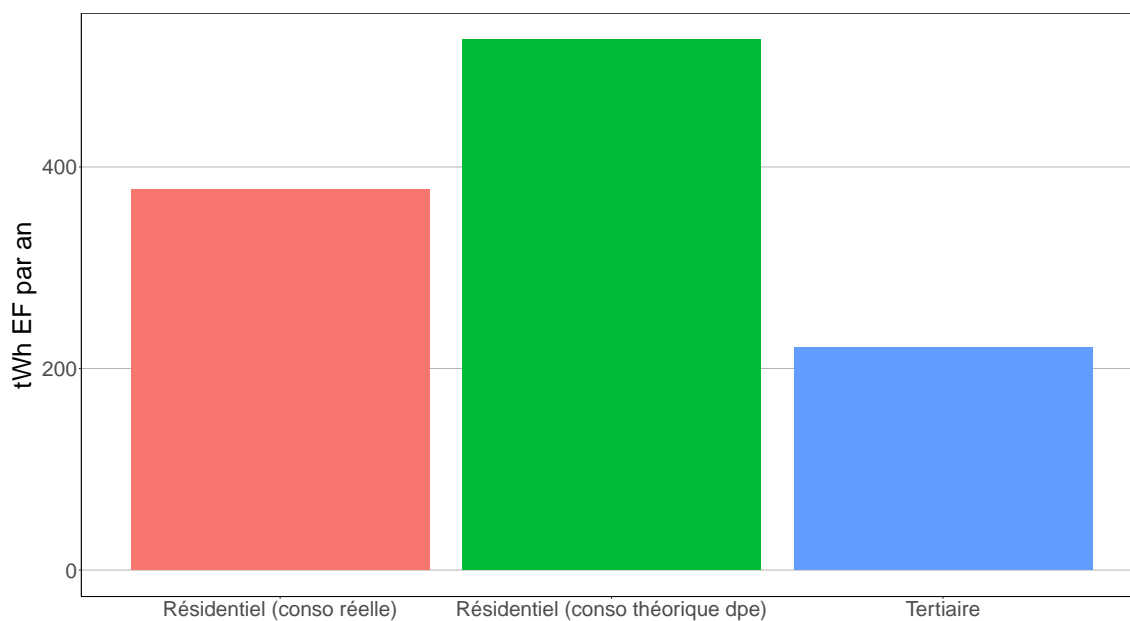


Figure 14: Consommations totales des parcs résidentiel et tertiaire

4) Coûts et rendements des gestes de rénovation

Coûts et gains moyens des gestes

A partir des coûts et des surfaces pour les différents segments de parc, on peut calculer un “coût moyen” par geste en pondérant les coûts par les surfaces de chaque segment.

Table 5: Coûts et gains moyens des gestes pondérés par la surface des segments du parc

geste	cout inv	gain (%)	gain kWhEF	cout du kWh EF	DV
GTB	20.00	0.15	21.39	0.93	10
FENMOD	53.23	0.06	10.41	5.11	20
FENBBC	80.70	0.15	21.94	3.68	20
FEN_MURMOD	67.31	0.13	21.32	3.16	20
FEN_MURBBC	112.98	0.25	35.70	3.17	20
ENSMOD	94.31	0.41	65.77	1.43	50
ENSBBC	226.03	0.75	107.73	2.10	50

Comparaison avec les coûts des sauts de classe du modèle ResIRF

On compare les gains et des coûts moyens des gestes de rénovation dans le tertiaire avec ceux des changements de classe énergétique du modèle ResIRF (points bleus et courbe). On observe que les gestes de rénovation dans le tertiaire sont en moyenne plus coûteux à l'exception de la GTB.

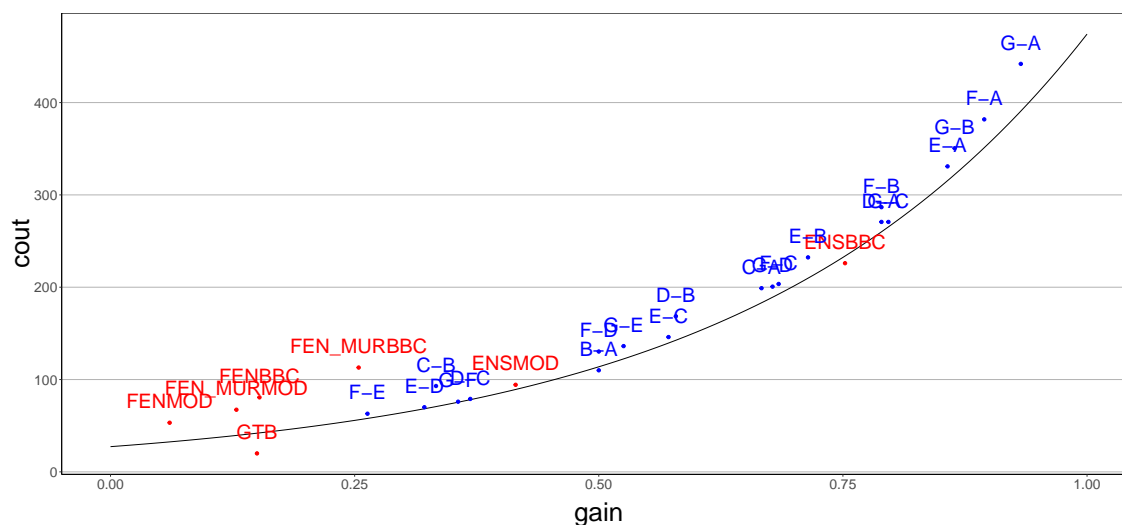


Figure 15: Comparaison des coûts et des gains dans le tertiaire avec la matrice de coût du modèle ResIRF

Comparaison avec les données BIIS/OPEN

Sur l'ensemble du parc, les coûts des gestes de rénovations sur les fenêtres sont en moyenne de 53 euros par m² (modéré) et 81 euros par m² (BBC). Les résultats de BIIS à partir de l'enquête OPEN indiquent des coûts de 14.4 à 73.2 euros au m² pour les rénovations des ouvertures (niveau minimum et optimum). Les gains sont en moyenne de 10 et 20 kWh par m² dans le modèle et autour de 5 ou 6 kWh par m² dans les résultats de BIIS. Cela donne un coût du kWh économisé de 5.5 et 4.05 respectivement ce qui est assez différent des résultats de BIIS où le coût croît avec la performance de la rénovation: 2.3 euros par kWh pour le niveau minimum, 4.6 pour le niveau medium et 12.4 pour le niveau optimum, 7.1 euros en moyenne sur l'ensemble des rénovations.

Concernant la rénovation des murs, l'enquête de BIIS évoque un coût de 45 à 64 à euros par m² pour des gains de 44 kwh par m2 en moyenne pour la rénovation des parois opaques. Les données du modèle sont difficiles à comparer car les geste FEN_MURBBC et FEN_MURMOD comprennent des rénovations sur les murs ET les fenêtres. Si on considère que les rénovations sur les fenêtres et les murs sont additives, on a un écart de 20 et 32 euros par m² entre les rénovations fenêtres et les rénovations fenêtres + murs ce qui correspondrait à une approximation du coût de rénovation des murs. L'écart de gains en consommation est en revanche assez faible entre 10 et 12 kWh par m². BIIS obtient un coût du kWh économisé de 1.17 euros par kWh pour la rénovation des parois. Dans le modèle tertiaire, le coût du kWh économisé pour les rénovations fenêtres + murs (3.4 euros par kWh en moyenne) est plus faible que celui des rénovations sur les fenêtres seules.

Enfin, BIIS reporte des coûts de 52 à 106 euros par m² pour la rénovation d'une toiture selon niveau d'exigence, 75 en moyenne pour des gains de 25 kWh par m² en moyenne. Dans le modèle les écarts entre des rénovations fenêtres + murs et des rénovations sur l'ensemble du bâtiment (fenêtre, murs, toiture, plancher) sont de 23 euros par m² pour les rénovations modérées et de 113 euros par m² pour les rénovations BBC. Ces rénovations apportent un gain additionnel de 31 et 66 kWh par m² en moyenne par rapport aux rénovations fenêtres + murs.

Pour les rénovations d'ensemble, le coût du kWh économisé est encore plus bas dans les données du modèle par rapport aux rénovations sur un ou deux éléments. Il est en moyenne plus pas pour les rénovations "ensemble modéré" que pour les rénovations "ensemble BBC". Les rénovations d'ensemble dans les données BIIS ont un coût du kWh économisé encore plus faible de 0.89 (rénovations "trois étoiles" :parois opaques + ouvertures + chauffage).

*** CONCLUSION : Les données "moyennes" sur les coûts des gestes de rénovation ne semblent pas aberrantes. Mais la distribution des coûts est très large***

Distribution des coûts et gains des gestes sur les différents segments du parc

Autour des valeurs moyennes étudiées ci-dessus, les coûts sont très variables d'un segment de parc à l'autre 3 dimensions influencent particulièrement les coûts de rénovation :

- 1- Le type de geste qui détermine le type d'élément rénové et le niveau d'exigence de la rénovation
- 2- Le type de bâtiment sur lequel porte la rénovation
- 3- Dans une moindre mesure, la période de construction du bâtiment

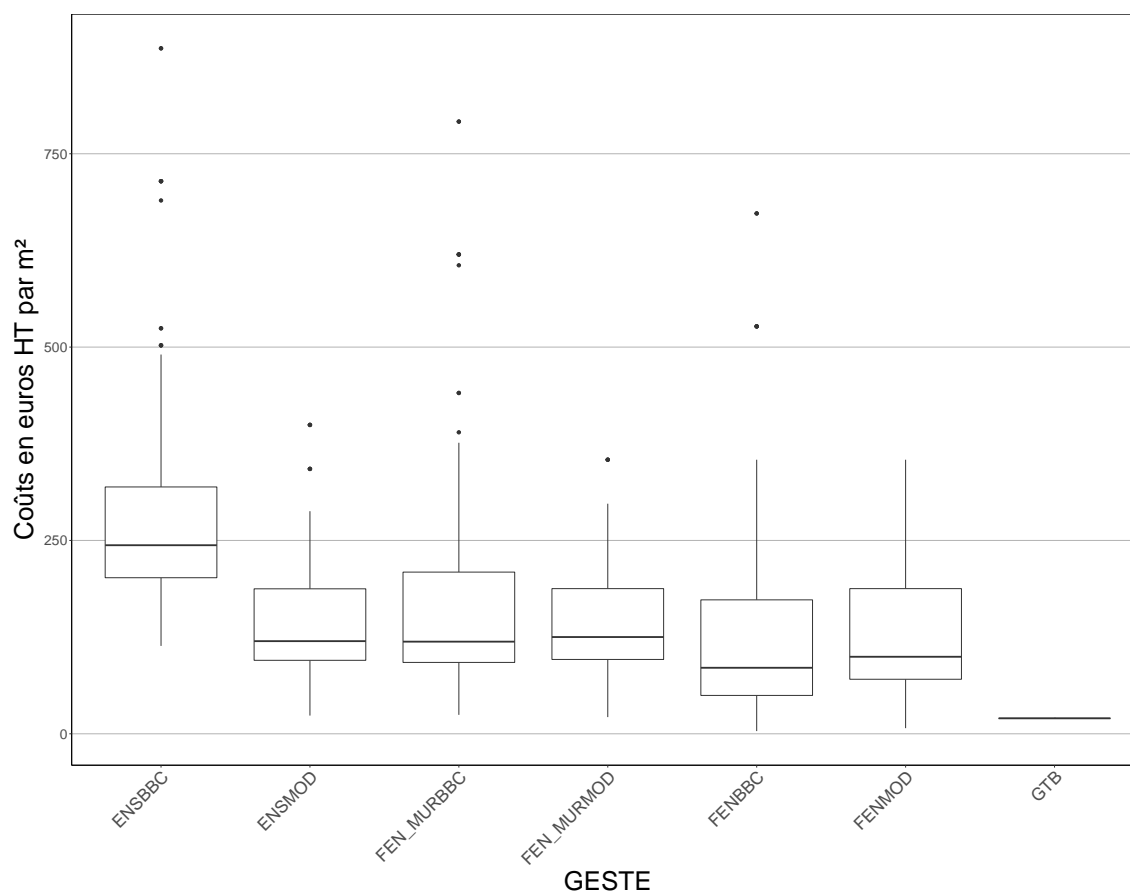


Figure 16: Variabilité des coûts de rénovation par geste

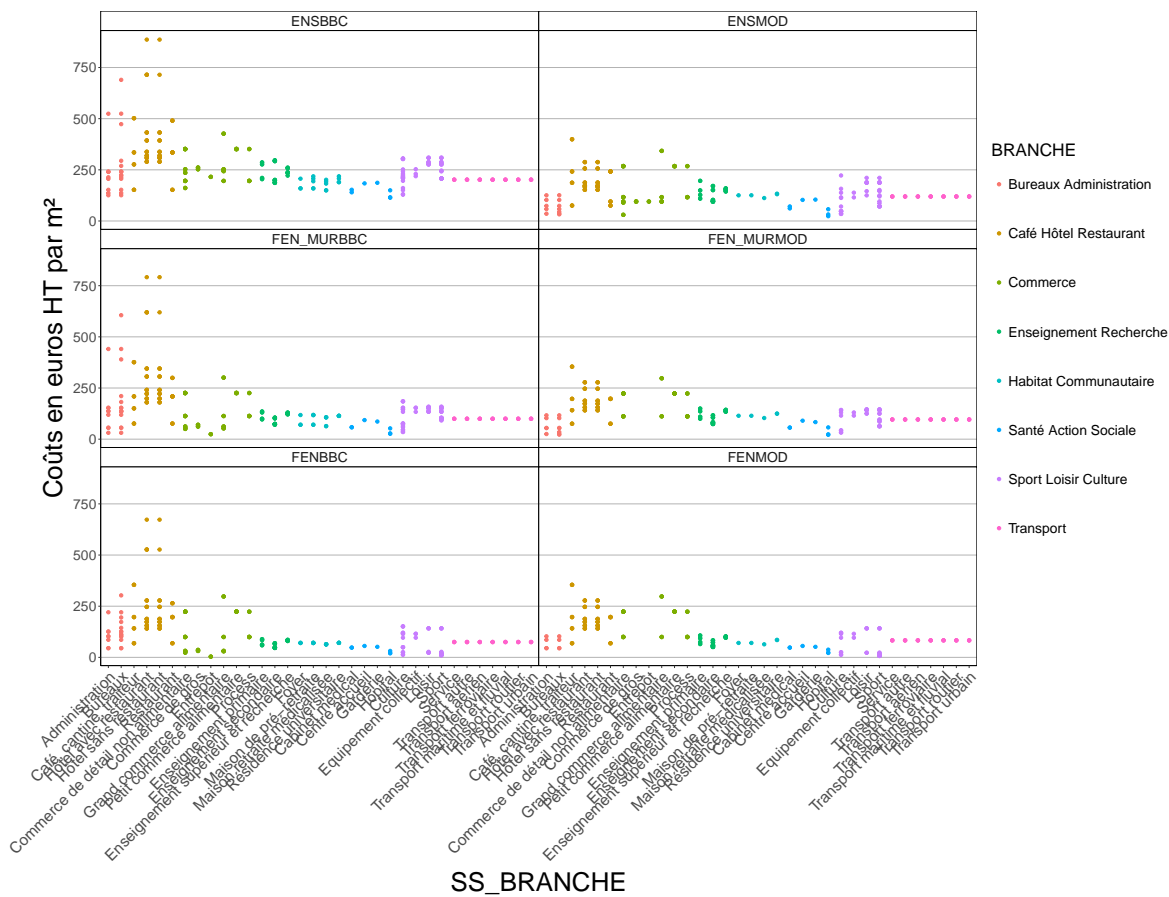


Figure 17: Variabilité des coûts de rénovation par geste et sous branche de parc tertiaire

Les gains associés aux gestes de rénovation dépendent principalement du type de geste mais il existe également une variabilité en fonction du type de bâtiment.

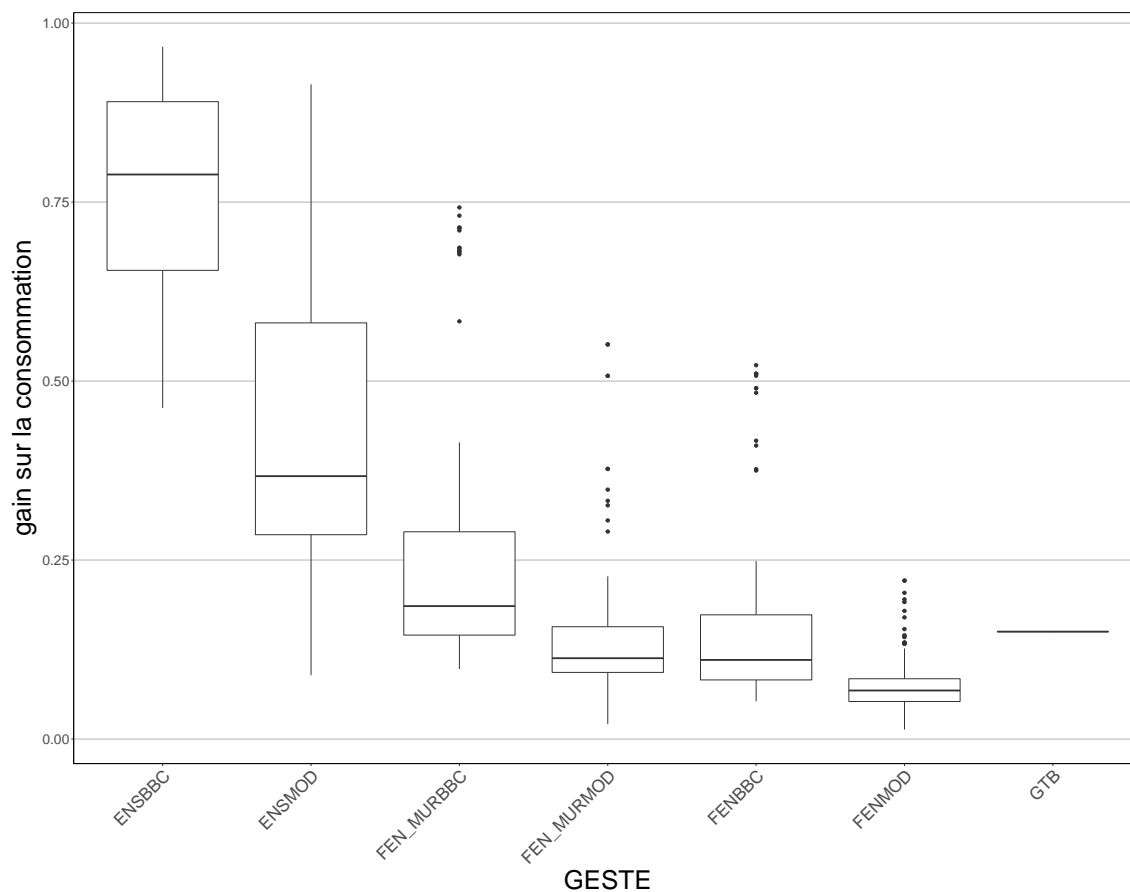


Figure 18: Variabilité des gains sur la consommation par geste

La période de construction du bâtiment a un impact plus significatif sur les gains que sur les coûts. Plus le bâtiment est ancien, plus les gains attendus sont importants.

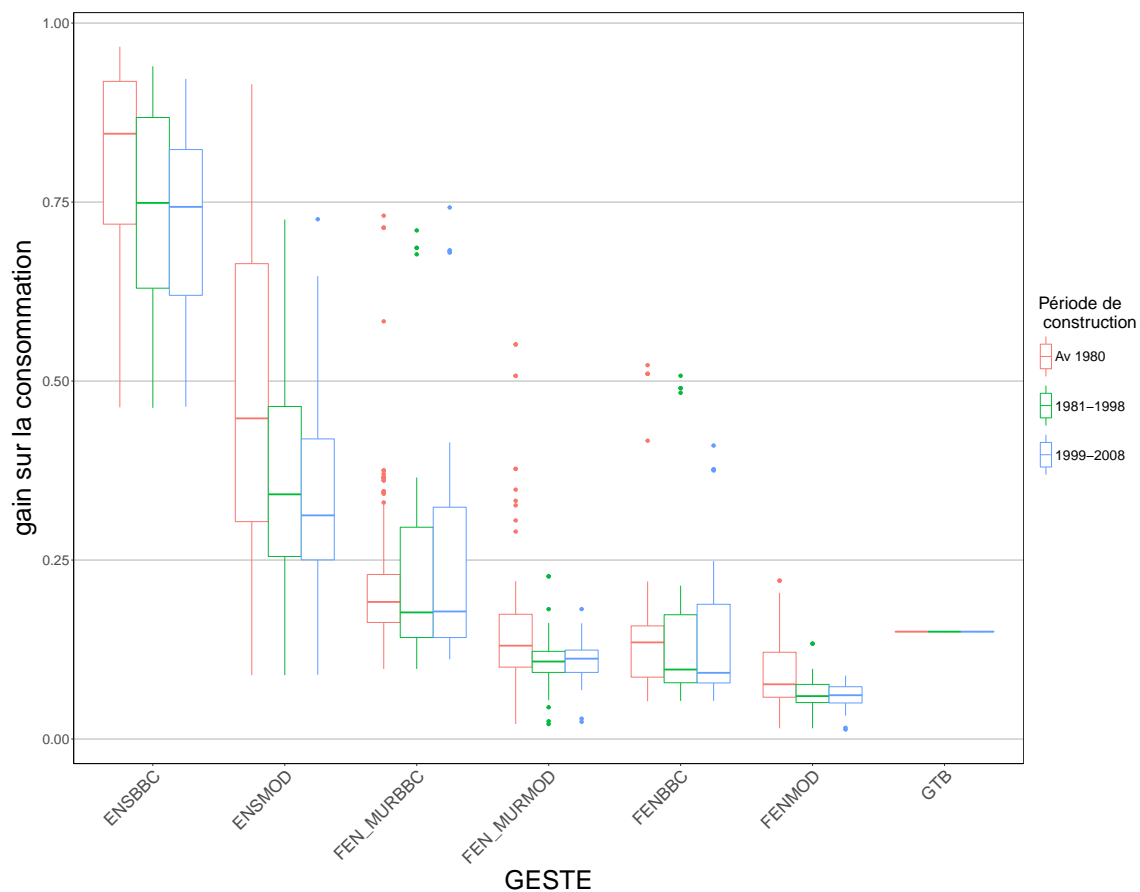


Figure 19: Variabilité des gains sur la consommation par geste et période de construction

Il est difficile d'établir une relation claire entre le gain sur la consommation et le coût de rénovation. Lorsqu'on représente graphiquement le nuage de points associé pour tous les types de bâtiments construits avant 1980 et tous les types de gestes, on observe néanmoins une tendance croissante du coût avec le gain sur la consommation.

```
## `geom_smooth()` using method = 'loess'
```

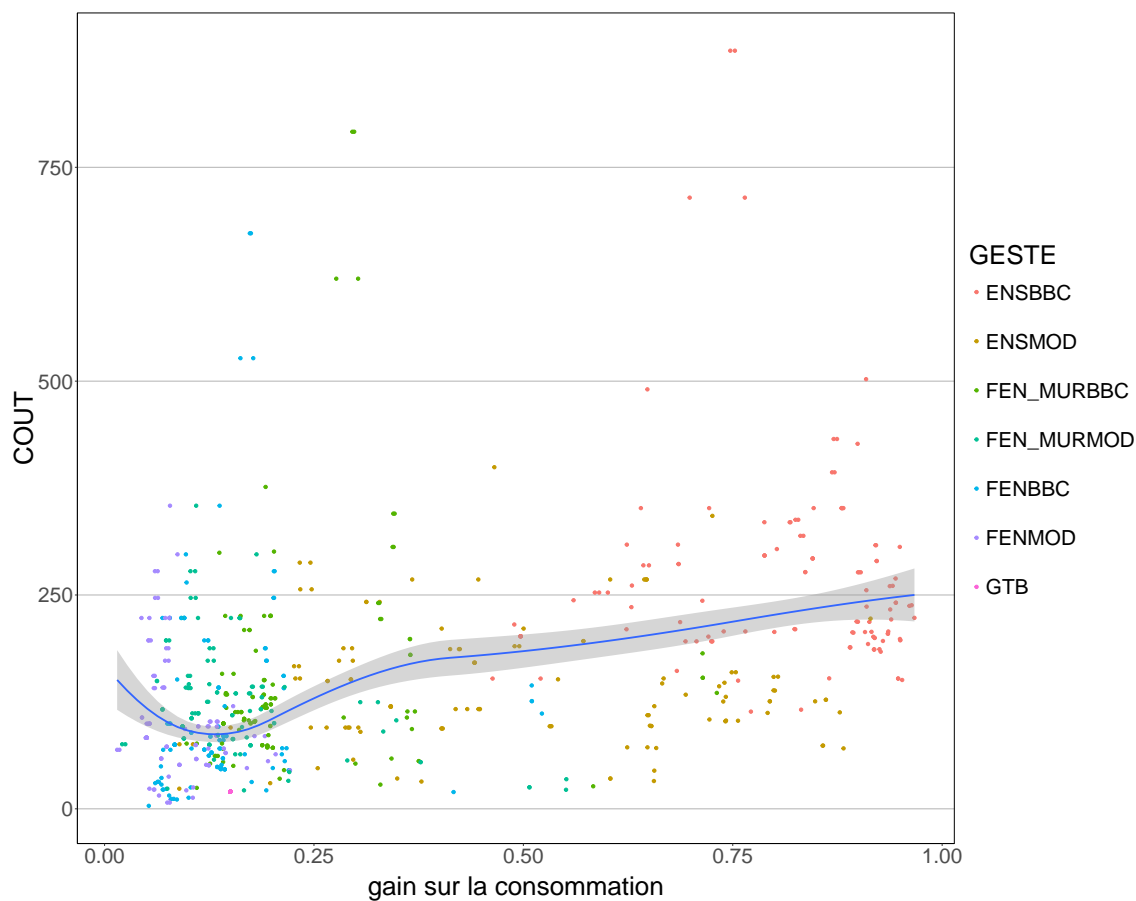


Figure 20: lien entre gain et coût de rénovation

```
## `geom_smooth()` using method = 'loess'
```

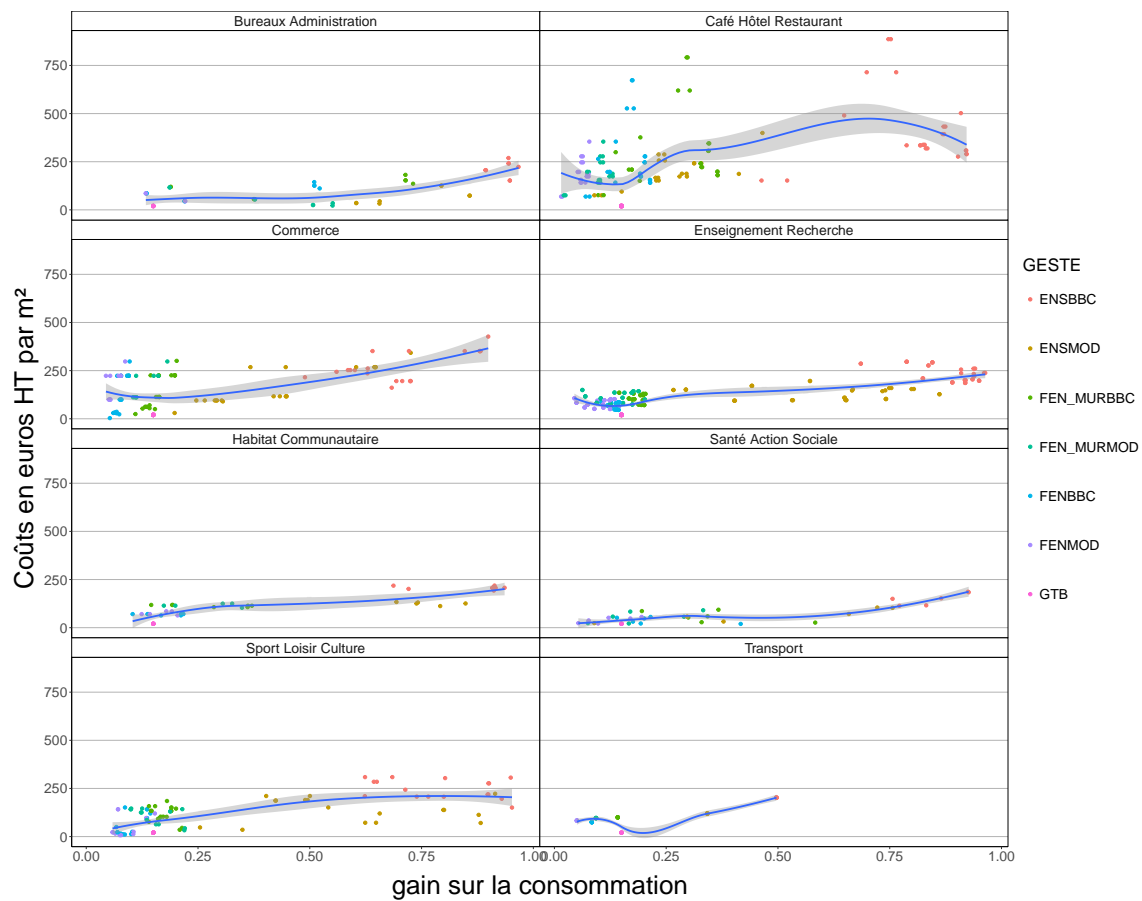


Figure 21: lien entre gain et coût de rénovation par branche du parc

5) Rentabilité des gestes de rénovation

Pour chaque segment du parc tertiaire, on peut également calculer la VAN de chacun des 7 gestes de rénovations du bâtiment à partir des consommations initiales en 2009.

$$VAN_{s,e,g} = -CINV_{s,e,g} * SURFACE_{s,e,g} + \sum_{i=1}^{i=DV_g} \frac{CONSO_{s,e} * GAINCONSO_g * PRIX_{e,2009+i-1}}{(1+r)^i}$$

avec

- s le segment de parc
- e le type d'énergie de chauffage
- $CINV_{s,e,g}$ le coût d'investissement au m² du geste g sur le segment
- $SURFACE_{s,e,g}$ la surface du segment en 2009
- DV_g la durée de vie du geste
- $CONSO_{s,e}$ la consommation de chauffage du segment en 2009
- $GAINCONSO_g$ le gain en consommation en % du geste
- $PRIX_{e,t}$ le prix de l'énergie e en t
- r le taux d'actualisation (0.04 pour un occupant public, 0.07 pour un occupant privé)

On ne considère ici que les gains de consommations de chauffage dans ce calcul (les consommations d'auxiliaires et de ventilation ne sont pas modifiées comme c'est le cas dans le modèle).

La distribution des VAN par euros investi (VAN/CINV) selon le type de geste, montre qu'un certain nombre de rénovations sont rentables pour certains segments du parc, notamment les rénovations modérées sur l'ensemble du bâtiment.

Les résultats sont similaires pour la majorité des branches. Des gestes rentables existent et les gestes d'ensemble ont des VAN par euro investi plus grandes.

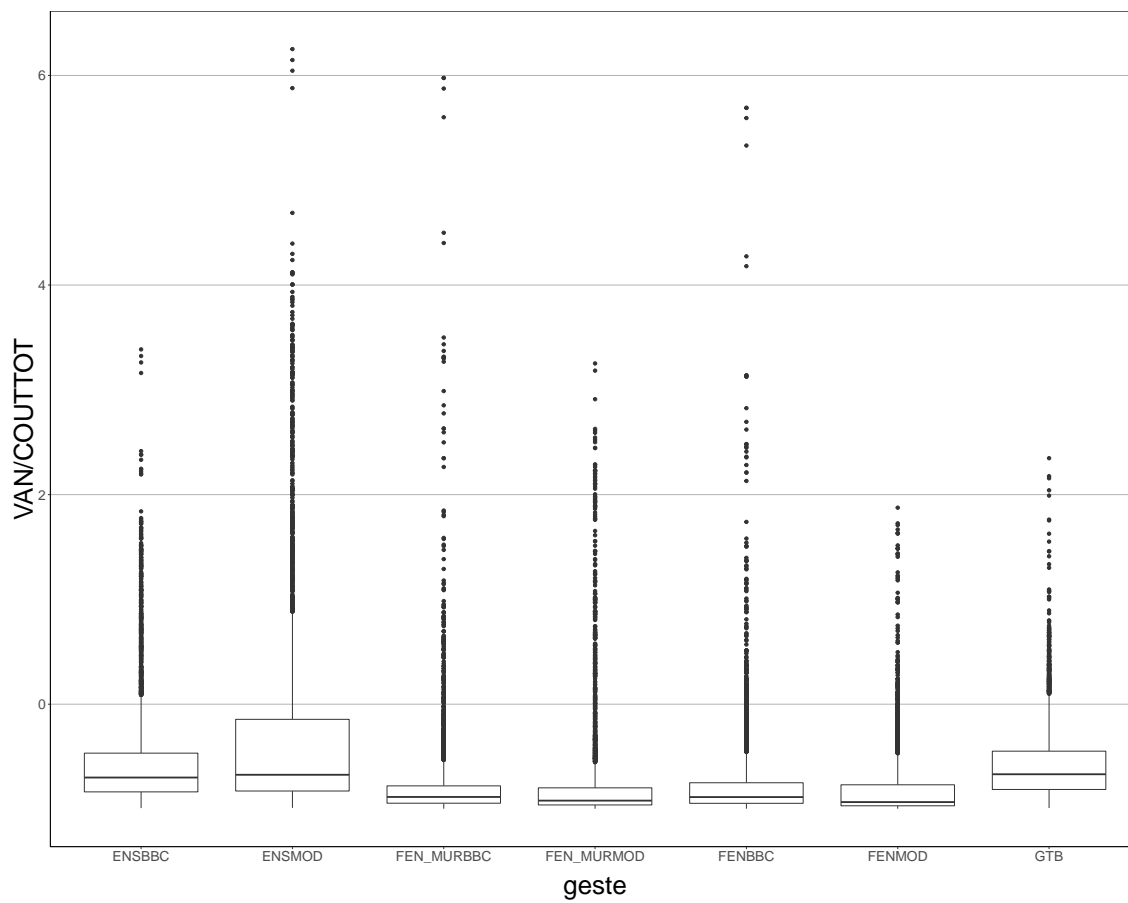


Figure 22: Distribution des VAN par euro investi pour les gestes de rénovation

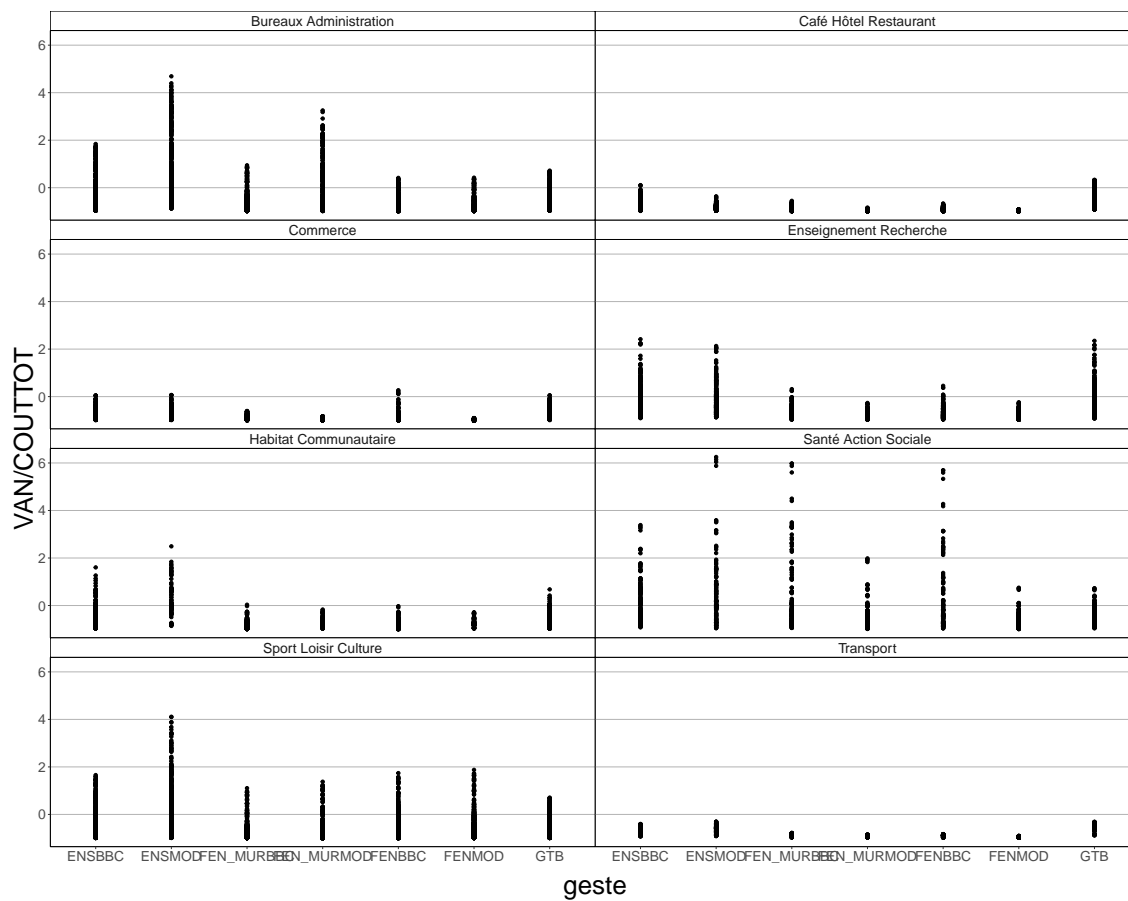


Figure 23: Distribution des VAN par euro investi pour les gestes de rénovation

Pour chaque segment du parc, on peut ensuite repérer la rénovation la plus rentable c'est à dire celle ayant avec la VAN/CINV positive la plus élevée. On calcule ensuite les surfaces qui devraient en théorie être rénovées ainsi que ce que représentent les investissements et les gains de consommations associés. On force en quelque sorte la réalisation des gestes les plus rentables sur chaque segment de parc.

Le tableau ci-dessous montre pour chacun des gestes les surfaces sur lesquelles ils sont les plus rentables et le coût d'investissement nécessaire pour rénover ces surfaces selon ce geste ainsi que le gain en tWh associé. Le "total rénovation" correspond à la somme sur tous les gestes. Le "total AME" correspond aux sorties du modèle tertiaire pour le scénario AME (issue de la publication MA3 en cours). Le "Total sans coûts intangibles" correspond aux sorties du modèle en retirant les coûts intangibles dans le calcul du coût global des rénovations.

Table 6: Surfaces, investissements et gain de consommation pour les gestes les plus rentables

geste	Surfaces_renov_Mm2	CINV_Meuros	GAINCONSO_tWh
ENSMOD	181.60	13.89	25.86
GTB	6.92	0.14	0.25
ENSBBC	0.54	0.15	0.21
FENBBC	0.48	0.00	0.00
FEN_MURBBC	3.65	0.10	0.44
Total rénovation	193.19	14.28	26.76
Total rénovation AME	20.06	1.21	-0.29
Total sans coûts intangibles	394.22	83.67	50.39

BILAN :

- beaucoup de gestes rentables pour la première année de simulations, non réalisés du fait des coûts intangibles ajoutés pour reproduire les rénovations observées en réalité
- moins de rénovations avec le calcul de VAN simple par rapport aux simulations sans coûts intangibles : effets de la combinaison des rénovations avec un changement de système de chauffage? rénovations plus coûteuses dans les simulations du fait de la fonction de passage à l'acte (on ne fait pas seulement la rénovation la plus rentable, cf paramètre d'hétérogénéité nu)

6) Coûts des systèmes de chauffage

Coûts et gains moyens des systèmes de chauffage sur l'ensemble du parc

Le tableau ci-dessous montre les coûts et les gains associés à la rénovation du système de chauffage dans le parc existant en 2009. Pour chaque segment, on a calculé le coût et le gain associé au passage vers chacun des systèmes de chauffage. On ne conserve que ceux qui apporte un gain en consommation d'énergie par rapport au système déjà présent dans le segment de parc considéré.

- gain en consommation élevé
- coût du kWh économisé plus faible que pour les rénovations

Table 7: Coûts et gains moyens des gestes pondérés par la surface des segments du parc

energie finale	systeme	cout inv	rdt	gain (%)	gain kWhEF	cout du kWhEF	DV
Gaz	Chaudière gaz	10.29	0.81	0.18	29.08	0.35	20
Gaz	Chaudière condensation gaz	13.05	0.97	0.20	29.67	0.44	20
Fioul	Chaudière condensation fioul	20.13	0.75	0.12	21.09	0.95	20
Electricité	PAC	55.68	2.94	0.72	93.05	0.60	20
Electricité	PAC performant	66.40	3.31	0.69	88.58	0.75	20
Electricité	Rooftop	36.38	2.80	0.71	95.96	0.38	17
Electricité	Rooftop performant	43.68	3.32	0.67	88.27	0.49	17
Autres	Autre système centralisé	29.24	1.33	0.38	50.99	0.57	25
Urbain	Autre système centralisé	28.88	1.38	0.37	49.74	0.58	25
Autres	Autre système centralisé performant	31.33	1.34	0.32	42.89	0.73	25
Urbain	Autre système centralisé performant	31.38	1.40	0.34	45.43	0.69	25

Comparaison des coûts des systèmes aux sauts de classes ResIRF

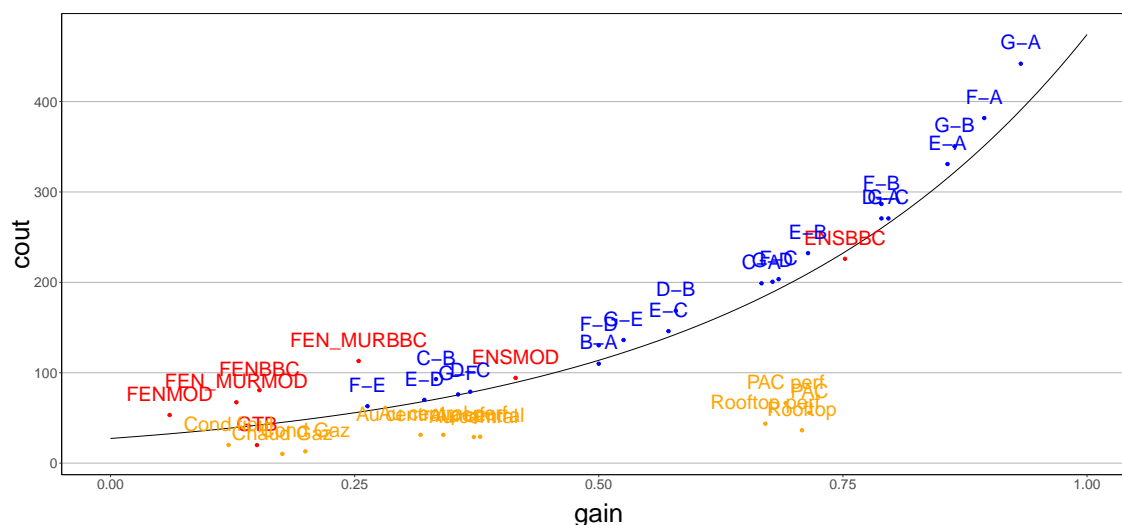


Figure 24: Variabilité des coûts des systèmes de chauffage

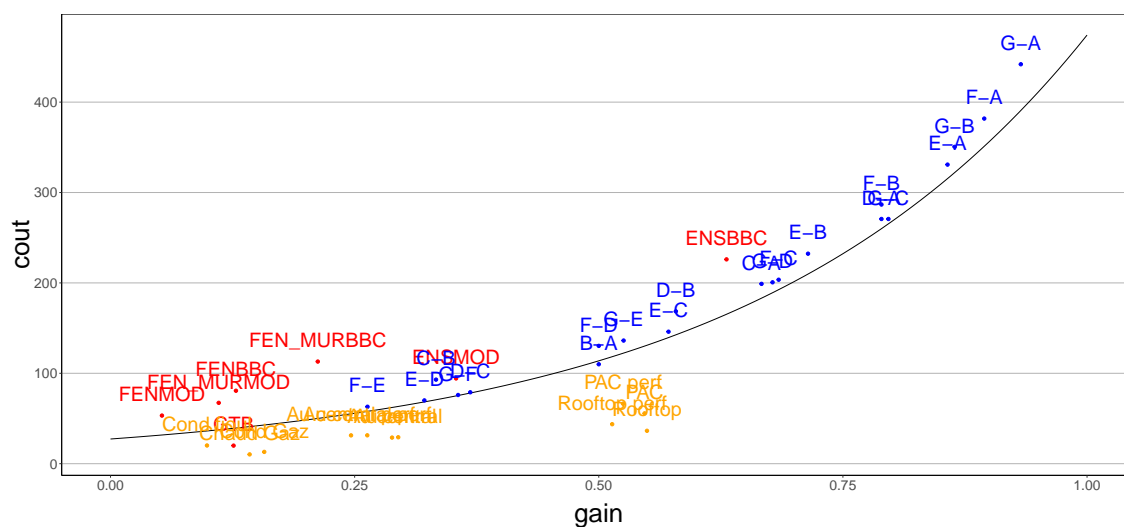


Figure 25: Variabilité des coûts des systèmes de chauffage, avec correction pour les autres usages

Quand on compare les coûts et les gains moyens des systèmes de chauffage avec les changements de classe du modèle ResIRF, on observe que la rénovation des systèmes dans le tertiaire paraît très peu coûteuse, notamment pour les PAC.

Comparaison avec les coûts des systèmes dans études CSTB et UFE

cf excel associé

- Les coûts des systèmes dans le modèle sont cohérents avec ceux du CSTB pour des bâtiments de 300 m², à l'exception des chauffages urbains (Autre système centralisé) qui sont plus faibles (30 euros par m² dans le modèle, 50 pour le CSTB)
- Ils sont plus élevés que ceux du CSTB pour des bâtiments de 500 m². Il semble qu'il existe de fortes économies d'échelle lorsque la surface des bâtiments augmentent.
- Les coûts de l'UFE sont encore plus bas.

Distribution des coûts et des gains des systèmes de chauffage sur l'ensemble du parc

Les coûts au m² des systèmes de chauffage varient assez fortement entre les systèmes. Pour un système donné, la technologie performante associée présente des coûts supérieurs en moyenne (chaudière fioul et chaudière condensation fioul). Pour un système donné, la variabilité dépend surtout du type de bâtiment. Cette variabilité est forte notamment les PAC et les Rooftop.

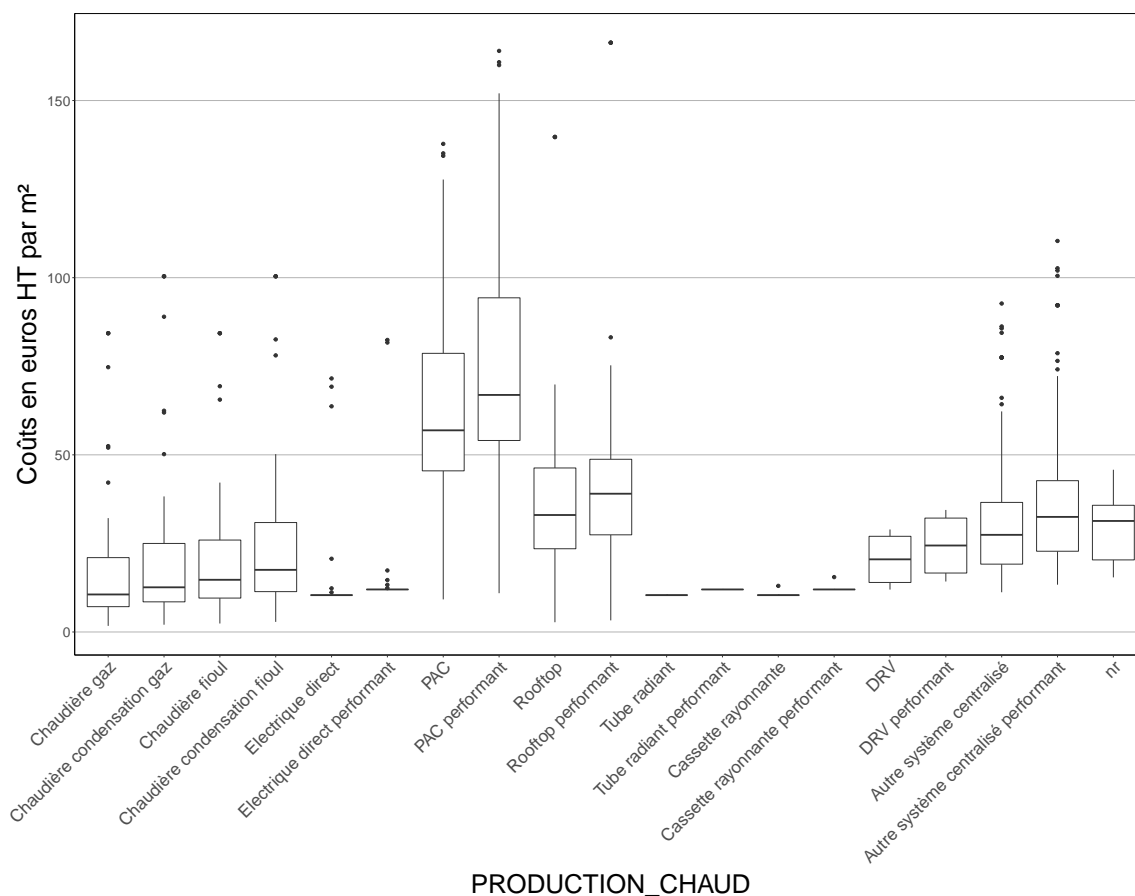


Figure 26: Variabilité des coûts des systèmes de chauffage

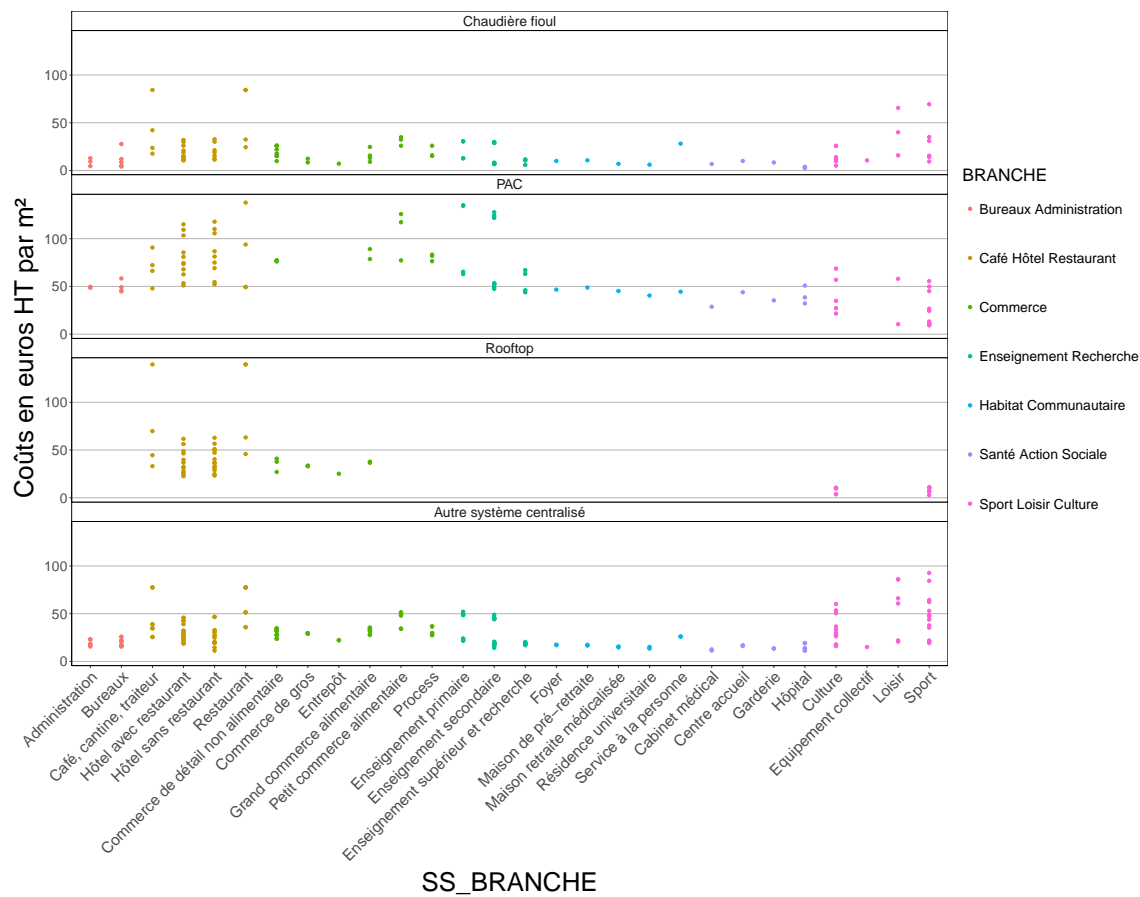


Figure 27: Variabilité des coûts des systèmes de chauffage par sous branche de parc tertiaire

La variabilité des rendements est bien moindre (ce qui est rassurant) à l'exception de la catégorie “autres système centralisé”. Les systèmes performants ont bien des rendements plus élevés par rapport à la technologie de référence. En revanche, certains systèmes ont des valeurs extrêmes très différentes de la majorité des bâtiments ce qui est étrange (Chaudière gaz et fioul, PAC, rooftop notamment). **A DISCUTER**

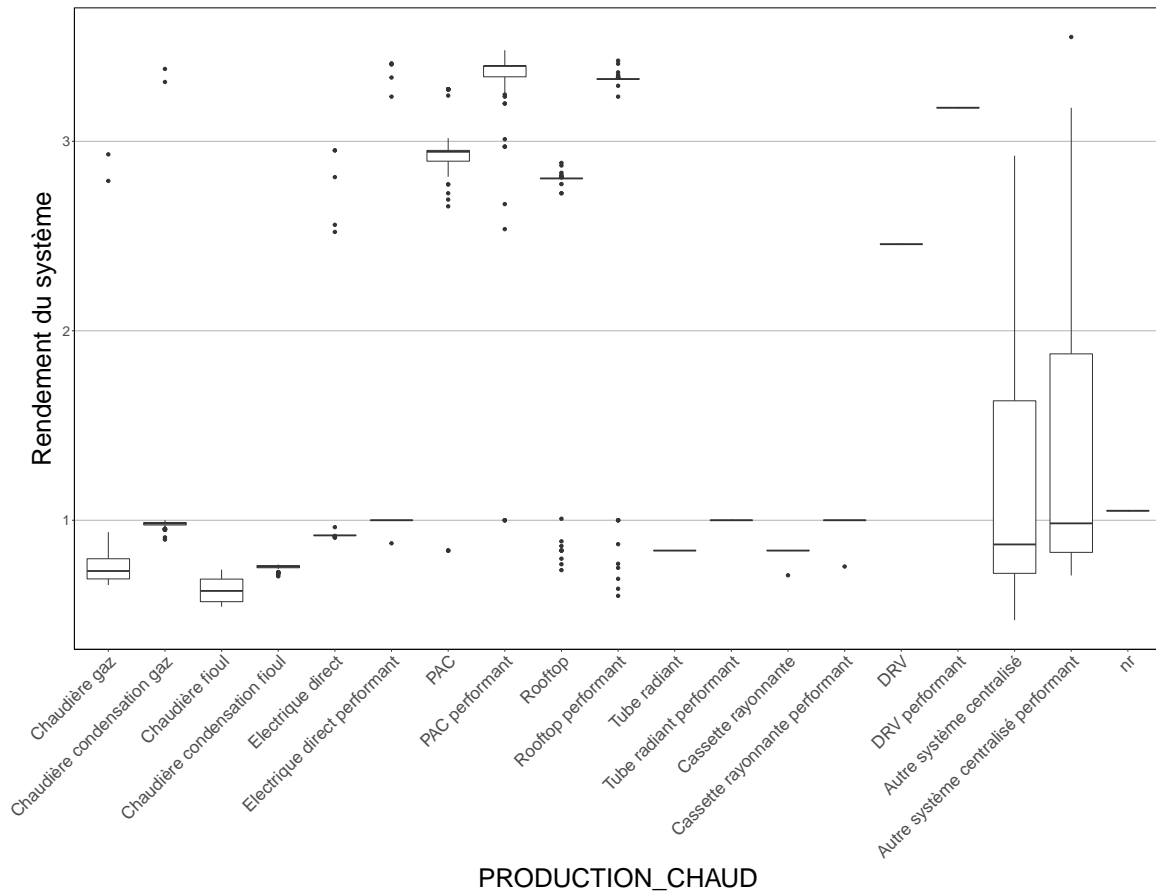
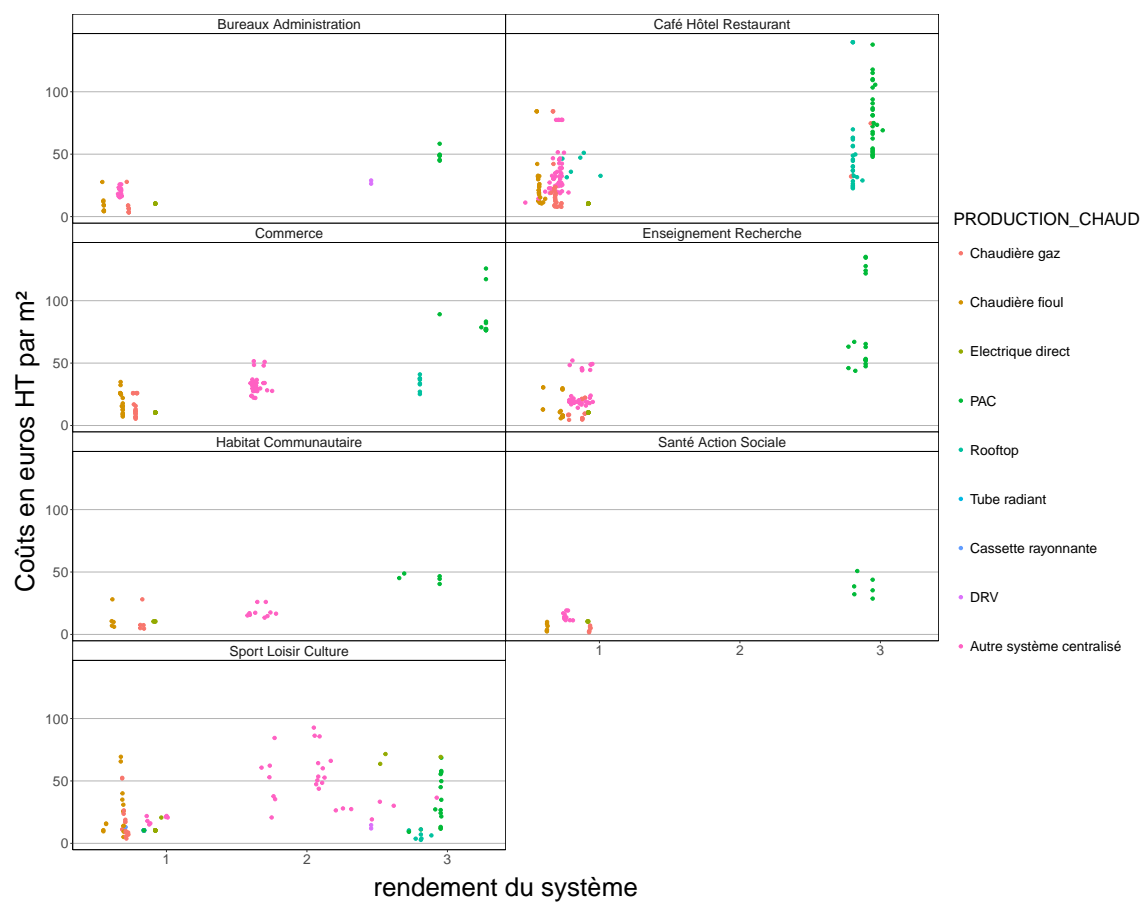


Figure 28: Variabilité des rendements des systèmes de chauffage

Les coûts semblent augmenter avec le rendement des systèmes mais la relation est peu claire.



7) Rentabilité des changements de systèmes de chauffage

Pour chaque segment du parc tertiaire, on peut calculer, selon une méthode similaire que pour les gestes de rénovations, la VAN de chacun des changements de système de chauffage (18 systèmes) à partir des consommations initiales en 2009. On suppose ici que le choix se fait entre remettre le système déjà existant sur un segment de parc ou passer vers un système plus performant.

$$VAN_{s,ei,ef,ci,cf} = (CINV_{s,ei,ci} - CINV_{s,ei,cf}) * SURFACE_{s,ei,ci} + \sum_{i=1}^{i=DV_{cf}} \left(\frac{CONSO_{s,ei,ci} * PRIX_{ei,2009+i-1} - CONSO_{s,ef,cf} * PRIX_{ef,t}}{(1+r)^i} \right)$$

avec

- s le segment de parc
- ei, ef le type d'énergie de chauffage initial et final
- $CINV_{s,ei,cf}$ le coût d'investissement au m² du système cf sur le segment
- $SURFACE_{s,ei,ci}$ la surface du segment en 2009
- DV_{cf} la durée de vie du système cf
- $CONSO_{s,ei,ci}$ la consommation de chauffage du segment en 2009 avec le système initial ci
- $CONSO_{s,ef,cf}$ la consommation de chauffage du segment en 2009 avec le système initial cf
- $PRIX_{ei,t}$ et $PRIX_{ef,t}$ les prix de l'énergie ei et ef en t
- r le taux d'actualisation (0.04 pour un occupant public, 0.07 pour un occupant privé)

La distribution des VAN selon le type de geste montre qu'un certain nombre de rénovations sont rentables pour certains segments du parc, notamment les rénovations sur l'ensemble du bâtiment. On ne considère ici que les gains

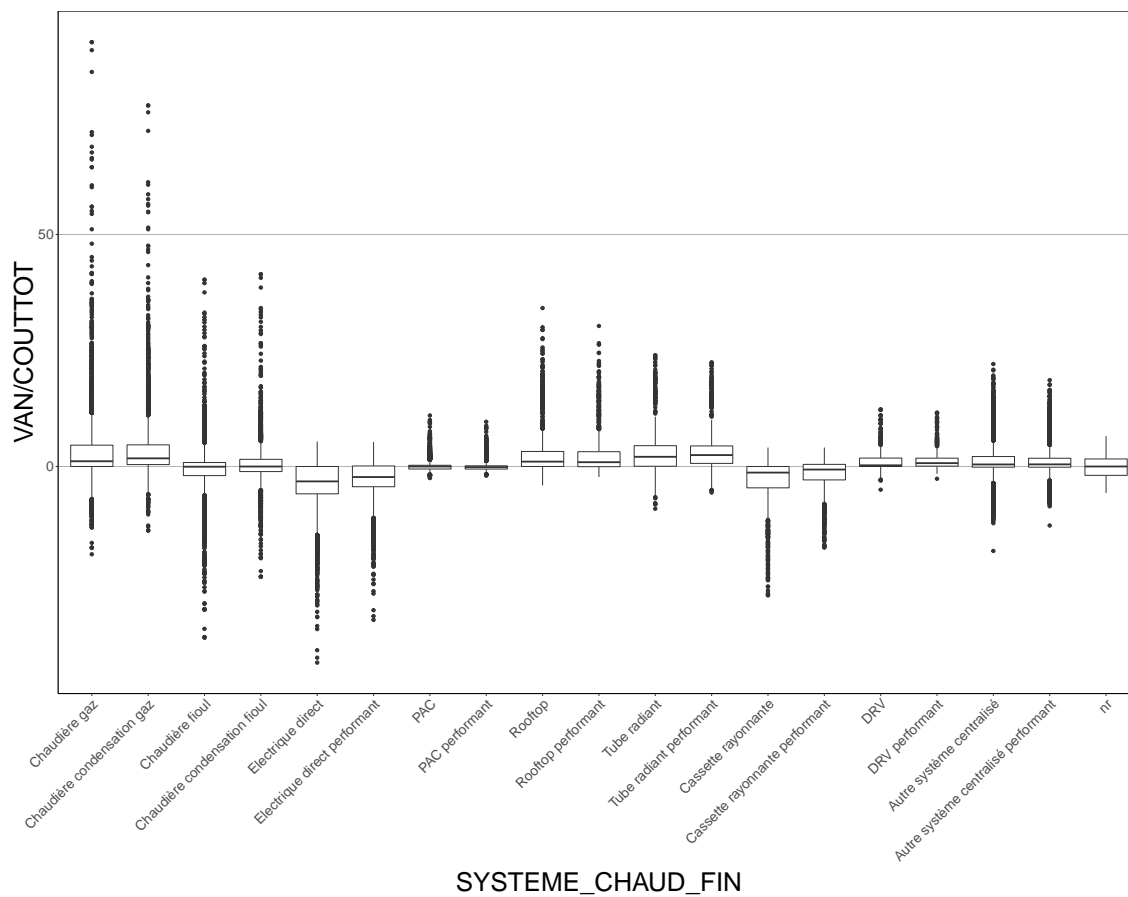


Figure 29: Distribution des VAN par euro investi pour les changements de système de chauffage

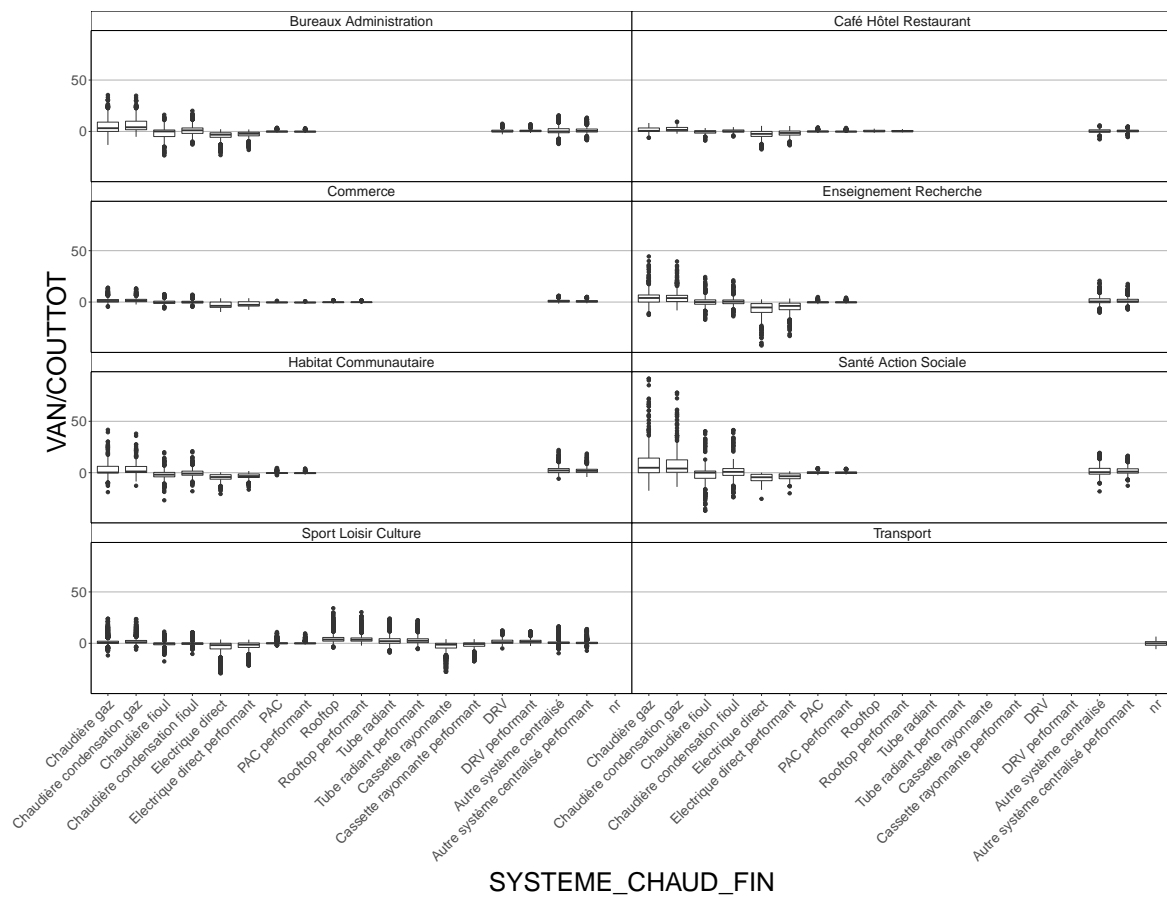


Figure 30: Distribution des VAN euro investi pour les changements de système de chauffage par branche

On récapitule ici comme pour les gestes de rénovations en forçant chaque segment du parc à passer au système le plus rentable entre 2009 et 2010. Le système le plus rentable pour un segment donné est défini comme celui ayant la VAN/CINV positive la plus élevée.

Table 8: Surfaces, investissements et gain de consommation pour les gestes les plus rentables

Ei	Ci	Ef	Cf	Srenov_Mm2	CINV_Mdeuros	GAINCONSO_twh
Urbain	Au central	Gaz	Cond Gaz	18.29	0.14	0.84
Fioul	Chaud fioul	Gaz	Cond Gaz	80.00	0.75	4.78
Gaz	Chaud Gaz	Gaz	Cond Gaz	137.10	1.13	3.32
Autres	Au central	Gaz	Cond Gaz	2.36	0.02	0.03
Urbain	Au central	Gaz	Chaud Gaz	14.88	0.08	0.26
Autres	Au central	Autres	Au central perf	6.45	0.15	0.17
Fioul	Chaud fioul	Gaz	Chaud Gaz	64.38	0.42	2.86
Fioul	Chaud fioul	Autres	Au central	27.65	0.90	2.48
Gaz	Chaud Gaz	Autres	Au central	77.48	2.08	4.47
Elec	Elec dir	Gaz	Cond Gaz	9.40	0.16	0.06
Urbain	Au central	Autres	Au central	1.05	0.04	0.00
Fioul	Chaud fioul	Elec	Elec dir perf	2.68	0.03	0.28
Gaz	Chaud Gaz	Elec	PAC	2.65	0.13	0.41
Elec	Elec dir	Elec	PAC	1.54	0.07	0.12
Urbain	Au central	Elec	PAC	0.03	0.00	0.01
Autres	Au central	Elec	PAC	0.26	0.01	0.04
Urbain	Au central	Elec	Elec dir perf	1.24	0.01	0.06
Gaz	Chaud Gaz	Elec	Elec dir perf	1.39	0.02	0.08
Elec	Elec dir	Autres	Au central	11.36	0.39	0.49
Autres	Au central	Gaz	Chaud Gaz	0.09	0.00	0.00
Elec	Elec dir	Gaz	Chaud Gaz	8.15	0.04	0.01
Autres	Au central	Elec	Tube perf	0.67	0.00	0.01
Elec	DRV	Elec	Tube	1.29	0.01	0.05
Fioul	Chaud fioul	Elec	Tube	5.27	0.03	0.41
Gaz	Chaud Gaz	Elec	Tube perf	9.98	0.08	1.62
Elec	Elec dir	Elec	Tube	1.74	0.01	0.07
Elec	PAC	Elec	Tube perf	0.80	0.01	0.00
Elec	Tube	Elec	Tube perf	0.29	0.00	0.00
Urbain	Au central	Elec	Tube perf	1.18	0.01	0.02
Gaz	Cass	Elec	Tube perf	3.21	0.03	0.56
Urbain	Au central	Elec	Tube	0.46	0.00	0.01
Autres	Au central	Elec	Tube	1.56	0.01	0.01
Gaz	Chaud Gaz	Elec	Tube	4.31	0.02	0.09
Fioul	Chaud fioul	Gaz	Cass perf	1.37	0.02	0.10
Gaz	Chaud Gaz	Gaz	Cass perf	4.40	0.05	0.25
Fioul	Chaud fioul	Gaz	Cass	2.31	0.02	0.05
Gaz	Cass	Gaz	Cass perf	4.20	0.05	0.11
Gaz	Chaud Gaz	Gaz	Cass	0.01	0.00	0.00
Fioul	Chaud fioul	Elec	PAC	0.04	0.00	0.01
Gaz	Cass	Elec	Tube	0.90	0.00	0.01
Total				512.42	6.94	24.15
AME				47.32	0.60	-0.29
Sans CINT				47.32	9.73	50.39

- Beaucoup plus de rénovations des systèmes avec ce calcul que dans les sorties du modèle sans coûts

intangibles (Surface rénovée très importante)

- Part très importante des rénovations vers le chauffage urbain pour un gain faible en énergie (coût sous-estimé?)
- Gains importants par les chaudières gaz et condensation gaz
- Rq : dans les sorties du modèle, les rénovations les plus importantes se font sur 1) les chaudières condensation gaz, 2) les chaudières gaz, 3) les autres systèmes centralisés ce qui est cohérent.

8) Coûts des systèmes de climatisation

Les sorties du modèle montrent des investissements très importants dans la climatisation (2 milliards d'euros par an). On étudie ici rapidement les paramètres de coûts pour les systèmes de climatisation de manière à comprendre d'où viennent ces montants. Les coûts des systèmes varient uniquement selon le type de bâtiment. Ils sont moins variables que les coûts des systèmes de chauffages.

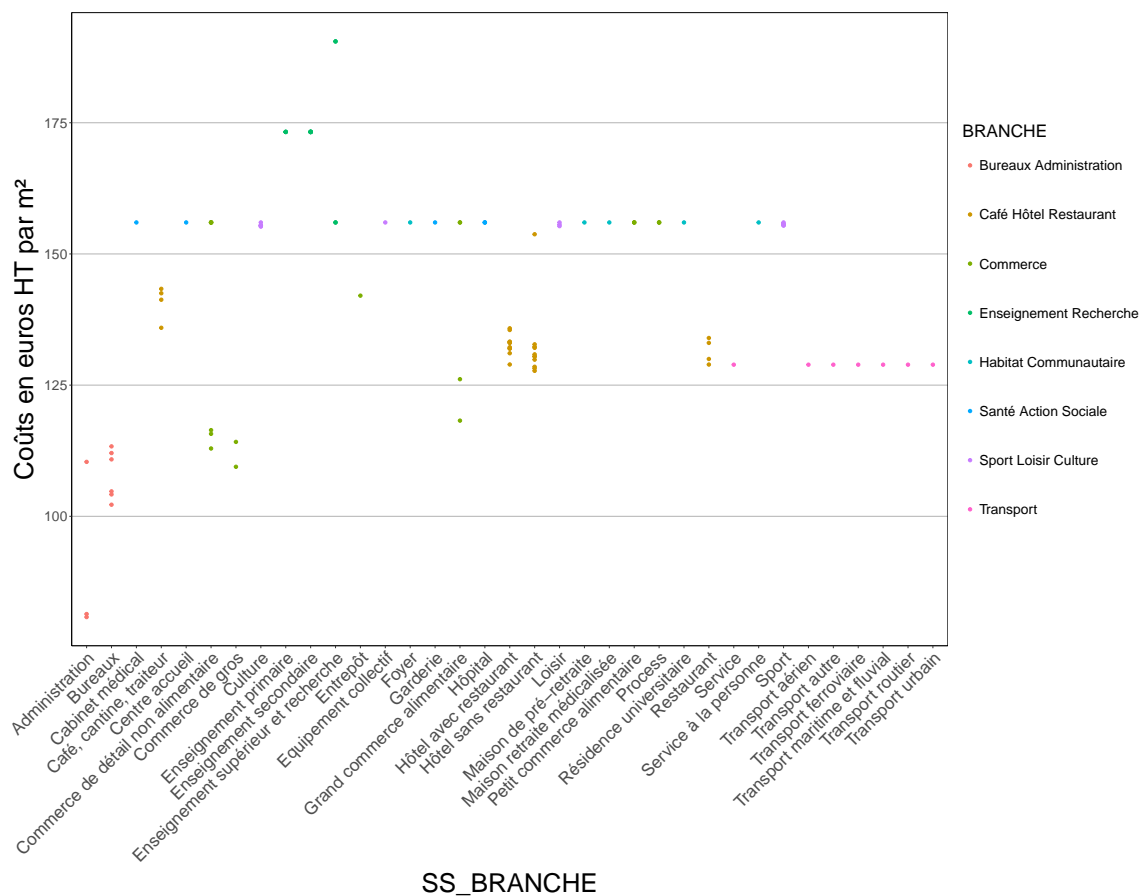


Figure 31: Variabilité des coûts des systèmes de climatisation selon la sous-branche de bâtiment tertiaire

Les coûts des systèmes de climatisation sont stables dans le temps. En revanche les rendements des systèmes augmentent de manière linéaire entre 2009 et 2050. Ces derniers sont également peu variables entre les branches du parc à l'exception des transports où les rendements sont faibles et des commerces où les rendements dépendent du type de commerce.

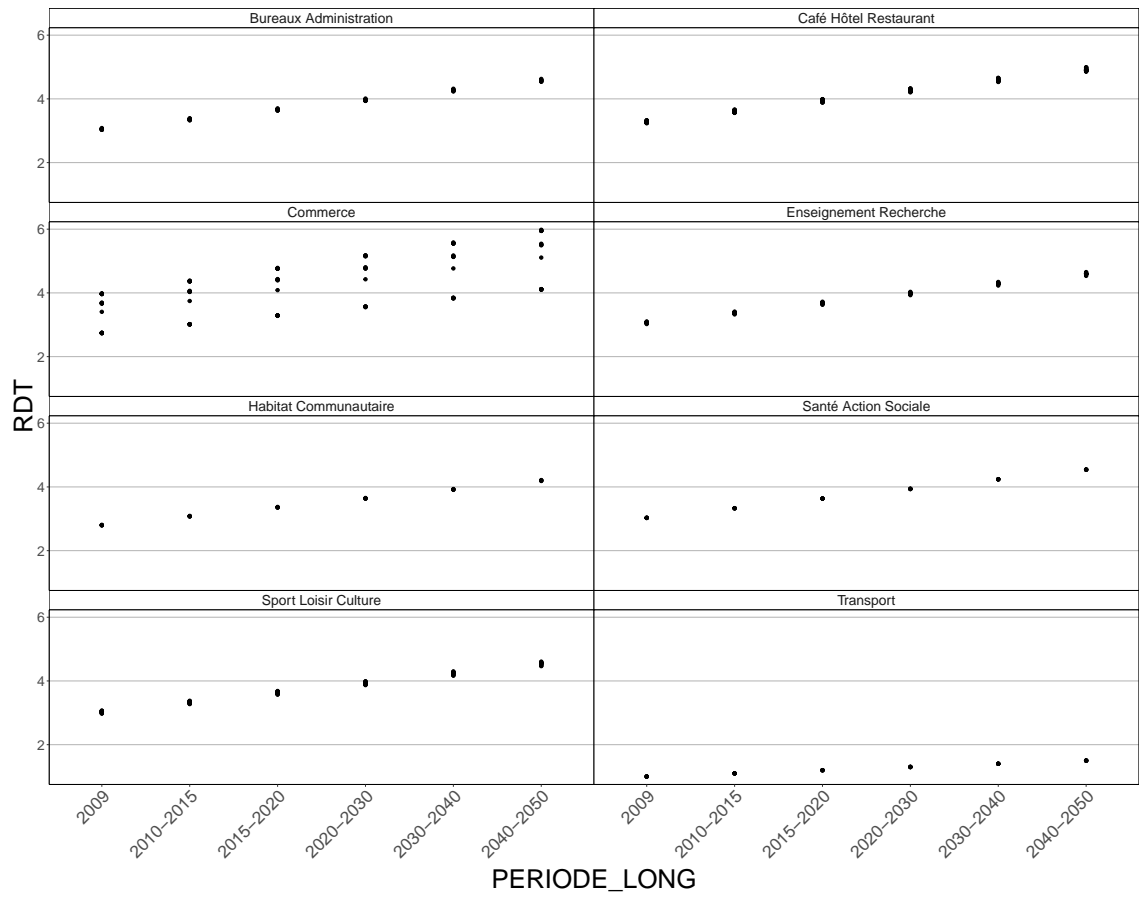


Figure 32: Variabilité des coûts des systèmes de climatisation selon la sous-branche de bâtiment tertiaire

Tentative pour calculer le coût des systèmes de climatisation en prenant 1% de la surface existante en 2009 climatisée en 2010 (hypothèse de base du modèle pour la période 2010-2015)

Table 9: Calcul des coûts d'investissement dans la climatisation (2010)

BRANCHE	Surface_tot	coutm2_moyen	surface_clim	cout_clim
Bureaux Administration	196.95	102.21	1.97	205.80
Café Hôtel Restaurant	61.16	133.54	0.61	81.95
Commerce	200.60	142.05	2.01	263.47
Enseignement Recherche	179.32	171.43	1.79	314.49
Habitat Communautaire	58.79	156.00	0.59	91.71
Santé Action Sociale	104.00	156.00	1.04	162.24
Sport Loisir Culture	69.43	155.59	0.69	108.00
Transport	25.07	128.90	0.25	32.31

On arrive à un total de 1.2 milliards d'euros par an pour l'ensemble du parc à comparer aux 2.2 milliards d'euros dans les simulations du modèle. C'est moins mais les sorties du modèle ne paraissent pas aberrantes.

A DISCUTER

CONCLUSION

- Les consommations unitaires de chauffage du tertiaire sont similaires au résidentiel (consommations réelles)
- Par rapport à la courbe coût = $f(\text{gain de conso})$ sous-jacente à la matrice de coûts du modèle ResIRF :
 - Coûts moyens de rénovation de l'enveloppe dans le tertiaire plutôt plus élevés (à part GTB)
 - Coûts moyens des systèmes plutôt moins élevés que la courbe mais la comparaison avec l'étude CSTB relativise ce constat, l'UFE utilise des coûts encore plus faibles.
- Il apparaît que c'est surtout la dispersion des coûts (et des consommations) qui explique que de nombreux gestes sont rentables. L'introduction de coûts intangibles dans le modèle explique le faible niveau des rénovations dans les sorties du modèle
- Propositions :
 - On ne modifie pas les paramètres de coûts du modèle et il faut soit assumer d'afficher des coûts de la tonne de CO2 évitée très bas, soit ne pas commenter cette partie
 - On modifie à la hausse le coût des PAC, des PAC performantes, des rooftop, des systèmes urbain, et à la baisse les gains du geste GTB
 - On peut parler de l'évolution des consommations de climatisation mais ne pas évoquer le niveau des investissements sur la climatisation qui est de toutes façons exogène.

Annexes

Table 10: Distribution du parc existant par type de bâtiment

SS_BRANCHE	BAT_TYPE	Part du parc
Administration	immeuble peri urbain	0.01
Administration	immeuble rénové	0.01
Administration	plateau large bureaux cloisonnés	0.05
Bureaux	immeuble peri urbain	0.03
Bureaux	immeuble rénové	0.05
Bureaux	immeuble résidentiel	0.02
Bureaux	plateau large bureaux cloisonnés	0.01
Bureaux	plateau large bureau paysagés	0.02
Bureaux	plateau mince	0.02
Cabinet médical	Cabinet médical	0.02
Café, cantine, traiteur	Petite cantine	0.01
Café, cantine, traiteur	Grand bar café tabac	0.00
Café, cantine, traiteur	Grande cantine	0.00
Café, cantine, traiteur	Petit bar café tabac	0.00
Centre accueil	Centre accueil	0.03
Commerce de détail non alimentaire	Complexe brico	0.00
Commerce de détail non alimentaire	Grand brico	0.03
Commerce de détail non alimentaire	Grand librairie	0.01
Commerce de détail non alimentaire	Grand Mode	0.00
Commerce de détail non alimentaire	Petit brico	0.02
Commerce de détail non alimentaire	Petit librairie	0.01
Commerce de détail non alimentaire	Petit mode	0.00
Commerce de détail non alimentaire	ZAC Mode	0.00
Commerce de gros	Grand commerce de gros	0.02
Commerce de gros	Petit commerce de gros	0.04
Culture	Grand cinéma	0.01
Culture	Grande salle de spectacle	0.00
Culture	Musée	0.01
Culture	Petite salle de spectacle	0.00
Culture	Petit cinéma	0.00
Culture	Immeuble péri urbain	0.00
Enseignement primaire	Cantine élémentaire	0.00
Enseignement primaire	Cantine préélémentaire	0.00
Enseignement primaire	Elémentaire	0.04
Enseignement primaire	Préélémentaire	0.02
Enseignement secondaire	Cantine collège	0.00
Enseignement secondaire	Collège	0.05
Enseignement secondaire	Internat college	0.00
Enseignement secondaire	Cantine LEGT	0.00
Enseignement secondaire	Cantine LP	0.00
Enseignement secondaire	Internat LEGT	0.00
Enseignement secondaire	Internat LP	0.00
Enseignement secondaire	Lycée d'enseignement général et technologique (LEGT)	0.03
Enseignement secondaire	Lycée professionnel (LP)	0.02
Enseignement supérieur et recherche	école	0.01
Enseignement supérieur et recherche	R&D en sciences humaines et sociales	0.00
Enseignement supérieur et recherche	R&D sciences physiques et naturelles	0.00
Enseignement supérieur et recherche	université	0.02

SS_BRANCHE	BAT_TYPE	Part du parc
Entrepôt	Entrepôt	0.01
Equipelement collectif	Immeuble péri urbain	0.00
Foyer	Foyers	0.02
Garderie	Garderie	0.01
Grand commerce alimentaire	Grand alimentaire	0.00
Grand commerce alimentaire	Hypermarché	0.01
Grand commerce alimentaire	Superette	0.00
Grand commerce alimentaire	Supermarché	0.02
Hôpital	Hopital maison	0.04
Hôpital	Hopital bloc	0.00
Hôpital	Hopital pavillonnaire	0.02
Hôtel avec restaurant	Grand Hotel avec restaurant Bas de gamme	0.00
Hôtel avec restaurant	Grand Hotel avec restaurant Haut de gamme	0.00
Hôtel avec restaurant	Grand Hotel avec restaurant Luxe	0.00
Hôtel avec restaurant	Hotel d'affaire avec restaurant Luxe	0.00
Hôtel avec restaurant	Moyen Hotel avec restaurant Bas de gamme	0.00
Hôtel avec restaurant	Moyen Hotel avec restaurant Haut de gamme	0.01
Hôtel avec restaurant	Moyen Hotel avec restaurant Luxe	0.00
Hôtel avec restaurant	Petit Hotel avec restaurant Bas de gamme	0.00
Hôtel avec restaurant	Petit Hotel avec restaurant Haut de gamme	0.00
Hôtel avec restaurant	Petit Hotel avec restaurant Luxe	0.00
Hôtel avec restaurant	Hotel d'affaire avec restaurant Haut de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Grand Hotel sans restaurant Bas de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Grand Hotel sans restaurant Haut de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Moyen Hotel sans restaurant Bas de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Moyen Hotel sans restaurant Haut de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Petit Hotel sans restaurant Bas de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Petit Hotel sans restaurant Haut de gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Moyen Hotel sans restaurant Luxe	0.00
Hôtel sans restaurant	Petit Hotel sans restaurant Luxe	0.00
Hôtel sans restaurant	Grand Hotel sans restaurant Luxe	0.00
Hôtel sans restaurant	Hotel d'affaire sans restaurant Haut de Gamme	0.00
Hôtel sans restaurant	Hotel d'affaire sans restaurant Luxe	0.00
Loisir	Salle non spécialisée	0.01
Loisir	Grand bar café tabac	0.00
Loisir	Vestiaire et rangement	0.00
Maison de pré-retraite	Maison de pré-retraite	0.01
Maison retraite médicalisée	Maison retraite médicalisée	0.02
Petit commerce alimentaire	Petit boulangerie	0.00
Petit commerce alimentaire	Petit librairie	0.00
Petit commerce alimentaire	Petit poissonnerie	0.00
Process	Petit process	0.02
Process	Grand librairie	0.00
Process	Grand process	0.01
Restaurant	Grand restaurant rapide	0.00
Restaurant	Grand restaurant traditionnel	0.02
Restaurant	Petit restaurant rapide	0.00
Restaurant	Petit restaurant traditionnel	0.00
Résidence universitaire	Résidence universitaire	0.00
Service	nr	0.00
Service à la personne	Résidentiel	0.01
Sport	Grand bar café tabac	0.00

SS_BRANCHE	BAT_TYPE	Part du parc
Sport	Grande salle multisport	0.01
Sport	Patinoire	0.00
Sport	Petite salle multisport	0.01
Sport	Piscine	0.00
Sport	Salle non spécialisée	0.01
Sport	Vestiaire et rangement	0.01
Transport autre	nr	0.00
Transport aérien	nr	0.00
Transport ferroviaire	nr	0.01
Transport maritime et fluvial	nr	0.00
Transport routier	nr	0.01
Transport urbain	nr	0.00