

Recherche d'outils analytiques d'optimisation économique relatifs aux habitations conformes au prescrit légal, basses énergies et passives selon différentes typologies de construction, soit 1, 2, 3 ou 4 façades.

Ing. J. LOOTVOET
Ir A. MAHY
ECAM – Bruxelles

L'outil informatique présenté dans cet article nous apporte des solutions quant aux problèmes énergétiques en proposant des optima économique-énergétiques calculés à partir d'un encodage géométrique informatisé. Ce dernier nous permet de calculer un coût d'investissement ainsi qu'un coût d'exploitation d'une habitation. L'outil lie ce calcul économique à la performance énergétique du logement en fonction des matériaux afin de définir les choix stratégiques à adopter pour la construction d'une habitation.

Mots-clefs : Outil informatique, solutions aux problèmes énergétiques et économiques, encodage géométrique, performance énergétique.

The IT tool presented in this article bring us answers as for the energy problems by proposing economic-energy optima calculated from a computerized geometrical encoding. This last one allows us to calculate a capital cost as well as the cost of working expenses of a house. This tool connect this economic calculation to the energy performance of the accomodation according to the matetials to define the strategical choices to be adopted for the building of a house.

Keywords: IT tool, answers to the energy and economic problems, geometrical encoding, energy performance.

1. Introduction

L'énergie est sans nul doute le problème majeur actuel de notre société. À ce titre, n'est-il pas grand temps de réformer le secteur de la construction par le biais d'utilisation de nouveaux procédés tels que la ventilation, l'isolation thermique, l'étanchéité à l'air, etc. afin de minimiser le gaspillage énergétique ? Pour ce faire, il nous faut créer un principe basé sur le développement durable permettant de garantir un milieu de vie décent en conservant une qualité de vie, des facultés futures de développement, tout en respectant un réalisme économique, écologique et social.

Dès lors, la question soulevée est la suivante : « Quel optima économiques y a-t-il entre différents types et typologies d'habitations ? ».

La première partie de l'article vise à expliquer la création d'un outil d'analyse développé sous Excel faisant le lien entre les aspects économiques (Coût de construction et d'exploitation du bâtiment) et les performances thermiques globales d'une habitation (Le niveau d'isolation globale K [W/K] et le besoins net en énergie de chauffage Be [kW/m²an] rattaché ensuite au prix de l'énergie). L'outil développé doit être pertinent, convivial afin de promouvoir un gain de temps au niveau de l'utilisateur (bureau d'étude, architecte). D'une manière générale le programme permet de calculer le plus précisément possible, le coût et la performance énergétique d'une habitation neuve en fonction des données géométriques introduites par l'utilisateur.

La suite de l'article vise à comprendre l'intérêt du programme développé en étudiant différents cas pratiques d'habitations afin de mieux percevoir l'influence de tels ou tels critères (influence des superficies de baies et de leurs orientations, géométrie de l'habitation, coûts de l'énergie, etc.) par rapport à l'aspect économique et énergétique. In fine, tout ceci doit nous permettre, de comparer différents types et typologies de constructions. Tout ceci doit permettre d'établir un diagnostic liant le coût à la performance énergétique d'une habitation.

L'étude se termine par une conclusion générale reprenant l'intérêt du présent programme et indique les tendances générales observées en manipulant ce dernier. Un lexique reprenant les différentes abréviations est également joint.

2. Outil d'analyse

2.1 Structure du programme développé

La structure de cet outil prévoit l'utilisation des données géométriques d'un bâtiment encodées par l'utilisateur au stade de l'avant projet pour calculer automatiquement le coût de construction des différents cas d'habitations, soit en faisant varier le type et la typologie des différents bâtiments.

En parallèle au coût d'investissement, il nous faut encore calculer le coût correspondant à l'exploitation du bien. À ce titre, le programme analyse, toujours en fonction des mêmes paramètres géométriques, les différents niveaux d'isolation thermique globaux des enveloppes. Ce calcul du K global exprimé en W/K est suivi du calcul du Be ou besoin en énergie de chauffage, s'exprimant en kW/m²an. Le calcul du Be est intéressant, car il tient compte des apports internes, des gains solaires, des pertes par ventilation et par transmission de l'enveloppe. Il est plus précis que le calcul du K qui définit l'isolation thermique globale du bâtiment et ne tient compte que de la géométrie de l'habitation. Ce dernier nous permet ensuite de trouver la consommation réelle des différents bâtiments en considérant qu'un litre de mazout à un pouvoir calorifique de 10kWh. Il nous est donc possible de calculer le nombre de litres de mazout utile pour chauffer une habitation à partir du Be qui est lié, à une constante près, à la consommation en litre de mazout. Cette dernière s'exprime en litres de mazout ou en m³ de gaz naturel. L'ensemble de cette démarche nous mène vers l'optimum économique qui met en relation le coût d'investissement et le coût d'exploitation du bâtiment en fonction de sa durée de vie.

Cet outil doit être fonctionnel et efficace afin d'obtenir une réponse précise face à la problématique posée initialement. Nous l'avons donc scindé en différentes feuilles sous Excel reprenant : le mode d'utilisation, le calcul du coût du bâtiment, l'encodage des baies, le calcul des différents K, le calcul des coûts, l'optimum d'investissement, le calcul du Be et l'optimum économique. L'ensemble de ces feuilles nous permettra au stade de l'avant projet d'obtenir un maximum d'informations à partir de paramètres géométriques simples à encoder. In fine, l'utilisateur doit simplement entrer les données globales de l'habitation et répondre à certains choix multiples quant à l'évolution des coûts futurs de l'énergie.

2.2 Méthodologie générale du programme

Nous utilisons pour le calcul des différents coûts, une méthode basée sur les postes surfaciques, linéiques et forfaitaires. Ceci nous permet de détailler les différents choix au niveau de l'isolation, des matériaux utilisés pour la stabilité de l'habitation, du type de systèmes techniques utilisés tels que la chaudière à condensation, les panneaux solaires, le système de ventilation, etc.

Tout ceci nous permettra de comparer le prix de construction, en fonction des différentes typologies et types d'habitations. Les « types d'enveloppe » sont désignés par les lettres « TE ». Un TE 5 est généralement suffisant pour répondre aux critères de la maison passive, les TE 4 à TE 2 expriment des habitations basses énergies et le TE 1 correspond au bâtiment conforme au prescrit légal ou K45. Il reste ensuite à intégrer l'évolution des prix de l'énergie. Ainsi, le prix des façades par exemple, se calcule en multipliant la surface des façades hors baies par le prix unitaire de chaque couche composant la paroi. Ce calcul est effectué deux fois distinctement afin de scinder les prix des différents types d'habitations, représentant la plus ou moins grande performance énergétique. La partie propre à l'isolation est séparée de la partie stabilité afin de permettre des comparaisons de prix de construction et d'exploitation. Nous pouvons ainsi comparer entre eux les prix propres à l'isolation de telle ou telle partie de la construction. Les différents prix unitaires des matériaux ainsi que les coefficients de transmission thermiques U [W/m^2K] des parois ; symbolisant la quantité de chaleur qui traverse $1m^2$ de cette paroi, par seconde et pour un écart de température de $1K$, sont repris dans une feuille « variables ». L'utilisateur peut ainsi actualiser régulièrement ses données. Toutes ces variables sont ensuite abondamment injectées dans l'ensemble du programme afin de permettre le calcul économique et énergétique.

L'outil d'analyse permet au final de calculer le prix total d'une construction neuve HTVA à partir des données géométriques introduites par l'utilisateur. Il intègre aussi le prix correspondant à l'apport calorifique nécessaire pour conserver une ambiance intérieure idéale. En effet, en calculant le besoin en énergie de chauffage, nous connaissons le nombre de kWh/m^2an nécessaire pour obtenir une ambiance intérieure de $19^{\circ}C$ dans toute l'habitation. Il est ensuite aisé de faire la conversion en litres de mazout pour y intégrer au moyen d'un choix multiple actionné par l'utilisateur, le prix de l'énergie.

3. Analyse des résultats

3.1 Dimension au sol de bâtiment

Nous allons étudier l'importance de la forme et des dimensions au sol d'une habitation pour ensuite intégrer la compacité du bâtiment. Pour cela, un cas concret d'habitation comportant 2 façades ayant un type d'enveloppe 5 (TE 5) à été encodé. La hauteur sous corniche à été figée à 15m afin de mieux visualiser l'évolution des coûts de construction et de la consommation énergétique. Nous considérons 5 situations, soit 100, 150, 200, 250, 300m², chacune comportant deux niveaux d'exploitation (rez-de-chaussée et 1^{er} étage) ayant une superficie de plancher égale à celle du sol. Pour chaque cas, nous faisons varier les dimensions au sol du bâtiment. Tout ceci est repris dans le tableau 1 et le graphe de la figure 1 ci-après :

| | cas 1 | cas 2 | cas 3 | cas 4 | cas 5 | Surface sol [m] |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| largeur [m] | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 100 |
| Longueur [m] | 16,67 | 14,28 | 12,5 | 11,11 | 10 | 100 |
| Mazout d'exploitation [l/m ² an] | 21,1 | 20,1 | 19,6 | 19,3 | 19,2 | 100 |
| Coût construction [€/m ²] | 1651 | 1547 | 1471 | 1414 | 1369 | 100 |
| largeur [m] | 6 | 8 | 10 | 11,2 | 12,47 | 150 |
| Longueur [m] | 25 | 18,75 | 15 | 13,4 | 12,47 | 150 |
| Mazout d'exploitation [l/m ² an] | 19,3 | 17,3 | 16,5 | 16,3 | 16,3 | 150 |
| Coût construction [€/m ²] | 1517 | 1328 | 1218 | 1171 | 1139 | 150 |
| largeur [m] | 6 | 8 | 10 | 12 | 14,14 | 200 |
| Longueur [m] | 33,33 | 25 | 20 | 16,67 | 14,14 | 200 |
| Mazout d'exploitation [l/m ² an] | 18,4 | 16,2 | 15,2 | 14,7 | 14,6 | 200 |
| Coût construction [€/m ²] | 1451 | 1256 | 1142 | 1067 | 1010 | 200 |
| largeur [m] | 6 | 8 | 10 | 13 | 15,81 | 250 |
| Longueur [m] | 41,67 | 31,25 | 25 | 19,23 | 15,81 | 250 |
| Mazout d'exploitation [l/m ² an] | 17,9 | 15,5 | 14,3 | 13,6 | 13,4 | 250 |
| Coût construction [€/m ²] | 1410 | 1213 | 1096 | 990 | 926 | 250 |
| largeur [m] | 6 | 10 | 12 | 15 | 17,32 | 300 |
| Longueur [m] | 50 | 30 | 25 | 20 | 17,32 | 300 |
| Mazout d'exploitation [l/m ² an] | 17,6 | 13,8 | 13,1 | 12,7 | 12,6 | 300 |
| Coût construction [€/m ²] | 1384 | 1066 | 988 | 910 | 866 | 300 |

Tableau 1. Mazout d'exploitation et coût de construction pour 25 cas

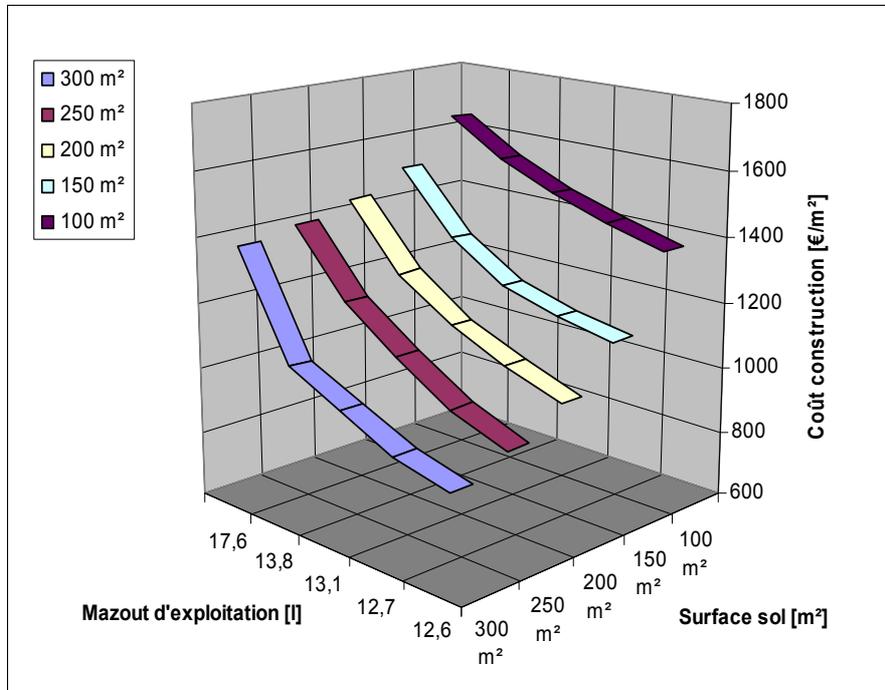


Figure 1. Évolution du coût de construction et de la consommation en mazout en fonction des dimensions au sol de l'habitation

Nous pouvons conclure que plus la forme au sol d'une habitation se rapproche du carré, plus le coût de construction ainsi que la consommation par m^2 et par an diminuent. Notons que nous retrouvons la symétrie dans le graphique en permutant longueur et largeur du bâtiment. Nous avons coupé le graphe à l'endroit de cette symétrie. Chaque minimum sur le graphe correspond au carré parfait au niveau de la superficie au sol de l'habitation.

Nous voyons également que le prix de construction chute au plus la surface d'exploitation augmente. Ceci est logique puisque le coût global de construction est divisé par la surface totale habitable correspondante aux rez-de-chaussée et au premier étage.

3.2 Compacité du bâtiment lié à la surface d'exploitation d'une habitation

Nous pouvons constater deux tendances suite à la variation du paramètre « surface d'exploitation ». Pour illustrer ce point, nous prendrons une

habitation en ossature bois 3 façades ayant un type d'enveloppe « TE 3 », soit une habitation basse énergie. Notons que l'allure des courbes reste la même dans l'étude d'autres cas de bâtiments.

Influence sur les coûts de l'habitation

Lorsque nous fixons la hauteur d'une habitation, nous constatons une augmentation du prix global de construction lorsque, le nombre d'étages intérieurs augmente. Cette logique est la même pour toutes les typologies de bâtiments.

La figure 2 correspond à une habitation de 10m de longueur sur 8m de largeur. Chaque saut en ordonnée correspond à l'ajout d'un étage, soit à 7m, 11.5m et 14m. La surface du rez-de-chaussée étant de 80m², nous faisons à chaque fois varier la surface de plancher du dernier étage ajouté.

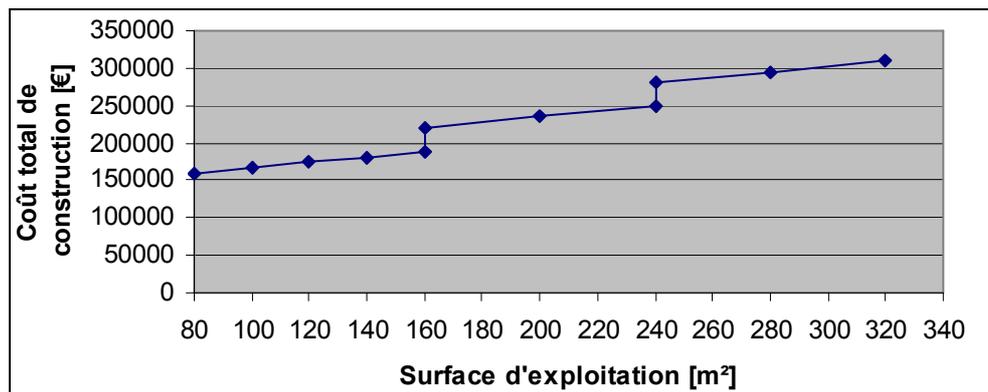


Figure 2. Prix global de construction en fonction de la surface de plancher

Au niveau du prix de construction au m², en ajoutant un étage tous les 3.5m et en augmentant progressivement la surface de plancher de l'étage ajouté, nous obtenons la figure 3. La surface au sol est identique au cas précédent.

Nous pouvons conclure que le coût global de la construction augmente, au plus la surface de plancher et la hauteur de façade sont élevées. À l'inverse, le prix au m² a tendance à diminuer plus nous retrouvons de surface habitable.

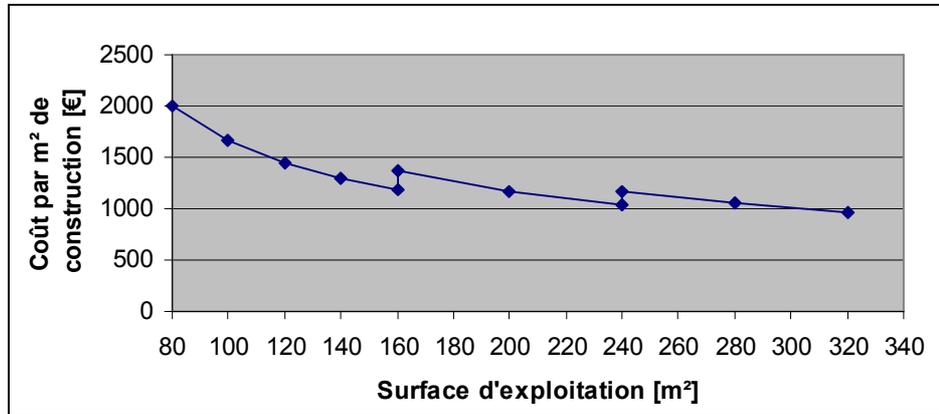


Figure 3. Evolution du coût de construction par m²

Influence énergétique

D'un point de vue énergétique, nous constatons que la surface d'exploitation influence le Be. En effet, le volume chauffé du Be est calculé à partir de la surface d'exploitation multipliée par une hauteur de 2.5m. Cette hypothèse revient à isoler le plafond du dernier étage.

L'évolution du nombre de litres de mazout est liée, à une constante près, à la valeur du Be s'exprimant en [kWh/m²an]. En effet, nous pouvons considérer qu'un litre de mazout a un pouvoir calorifique de 10kWh. L'allure du graphe est donc fonction du calcul du Be s'exprimant comme ceci :

$$B_e = 0.0864 * \sum \text{deg } j * \frac{P_b}{A_{ch}} \text{ avec } \sum \text{deg } j \text{ correspond à la somme des}$$

degrés-jours équivalents qu'il faut introduire dans l'habitation afin de maintenir une ambiance interne de 19°C, A_{ch} représente la surface de plancher chauffé situé dans le volume protégé et P_b est un coefficient de déperdition thermique du bâtiment s'exprimant en [W/K]. Nous voyons ainsi que plus la surface chauffée augmente, plus le Be diminue. Le terme P_b et $\sum \text{deg } j$ ne varient que faiblement par rapport à A_{ch} . L'allure du graphe a été réalisée à partir des mêmes valeurs géométriques que précédemment. Nous constatons une diminution du nombre de litres de mazout lorsque la surface d'un étage augmente, à l'inverse la consommation en litres de mazout augmente lorsque nous ajoutons un étage.

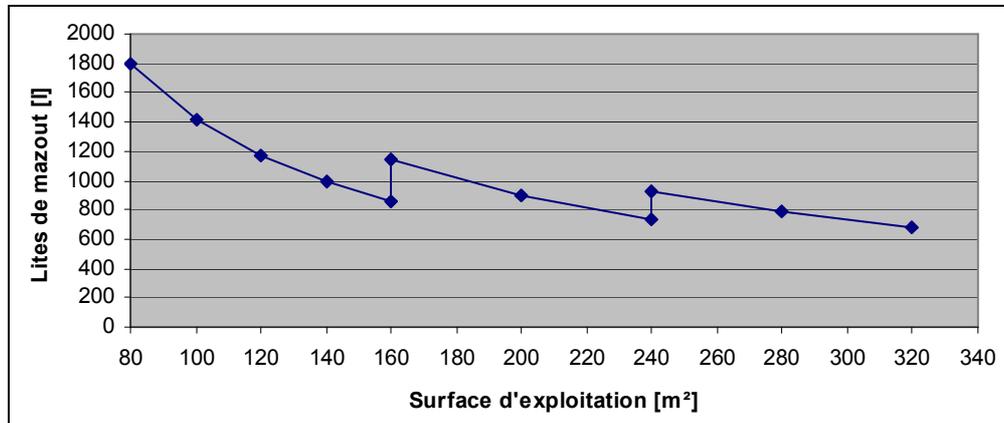


Figure 4. Litres mazout en fonction de la surface d'exploitation

Afin de rester le plus objectif possible, nous n'envisageons pas dans notre étude l'impact des éventuelles primes pouvant être octroyées aux différents types d'habitations. En effet, nous ne voulons pas fausser les chiffres obtenus en favorisant un type d'enveloppe par rapport à un autre. Nous voulons laisser la comparaison la plus réaliste possible et ne pas entrer dans une discussion purement économique.

3.3 Description des courbes « Optima économiques »

Le genre de graphique ci-dessous obtenu dans la feuille « optima économiques » du programme, exprime les optima économiques et énergétiques pour une typologie donnée.

Ce graphique reprend en abscisse le temps d'exploitation de l'habitation. En fonction des hypothèses faites au niveau du prix de l'énergie, nous considérons que l'an 0 représente l'année 2010. En ordonnée, nous avons au temps $t = 0$, le coût de construction de l'habitation calculé par la méthode des postes forfaitaires, linéiques et surfaciques. Le coût d'exploitation de l'habitation est ensuite ajouté au prix de construction initial dès la première année. En cumulant le prix de l'exploitation d'une habitation année après année en fonction du choix multiple fixant le prix de l'énergie, nous obtenons les courbes ci-dessous.

Nous pouvons constater qu'il existe plusieurs optima d'investissement correspondant chaque fois à une intersection. Nous avons intérêt à nous placer

sur la courbe enveloppe inférieure afin de minimiser les coûts d'exploitation et donc de minimiser la consommation énergétique du bâtiment.

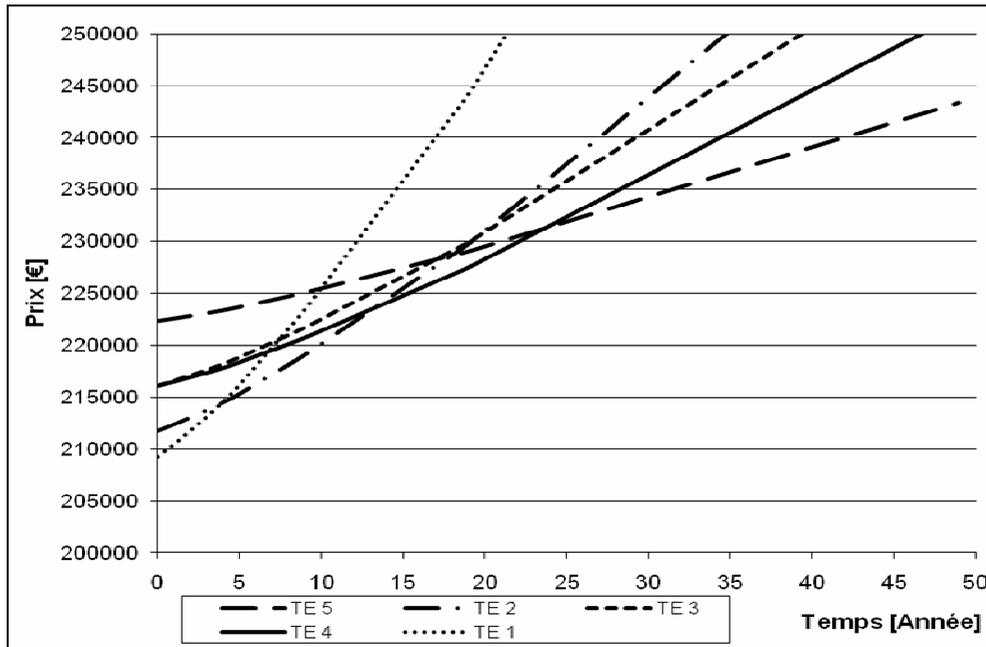


Figure 5. Optima économiques pour une habitation 4 façades

Analyse de l'intérêt à court, moyen et long termes du graphique

La courbe en traits pointillés symbolisant le TE 1 est la plus avantageuse en terme de coûts de construction puisqu'elle débute à une ordonnée plus faible au temps $t = 0$ que l'ensemble des autres courbes « TE ». En augmentant le prix de la construction de 2500 euros dans le présent exemple, nous obtenons la courbe TE 2 symbolisant une habitation basse énergie plus performante au niveau de l'isolation. Cette dernière devient plus rentable à moyen terme, soit de la 4^{ème} à la 13^{ème} année suivant la construction, étant donné que le coût d'exploitation de l'habitation TE 2 est moindre que celle de l'habitation ayant un TE 1. De la 13^{ème} à la 24^{ème} année, la courbe à traits discontinus symbolisant un TE 3 devient plus avantageuse en terme de consommation d'énergie et se voit donc devenir optimale économiquement grâce à son coût d'exploitation plus faible que les habitations ayant un TE 1 et TE 2. À long terme, la courbe symbolisant l'habitation TE 5, est plus performante. Ceci est logique puisqu'une maison passive ne nécessite qu'un

très faible apport énergétique. L'habitation TE 4 n'est jamais avantageuse dans le cas présent mais peut le devenir en fonction des dimensions géométriques encodées, de la typologie désirée, de l'orientation des baies, etc. du bâtiment.

D'une manière générale, nous voyons que la maison de type conforme au prescrit légal est moins intéressante par rapport à une maison basse énergie à faible isolation tant à l'investissement qu'à moyen terme. La maison type passive dans ce cas-ci devient optimale en terme de retour sur investissement dès la 24^{ème} année, soit à long terme.

3.4 Optima économiques confrontés aux différentes typologies

En plaçant l'ensemble des courbes sur un même graphique, il est possible de retrouver les différentes typologies d'habitations. En fixant un type de trait, traduisant un « TE », nous obtenons 4 lignes présentant la même allure.

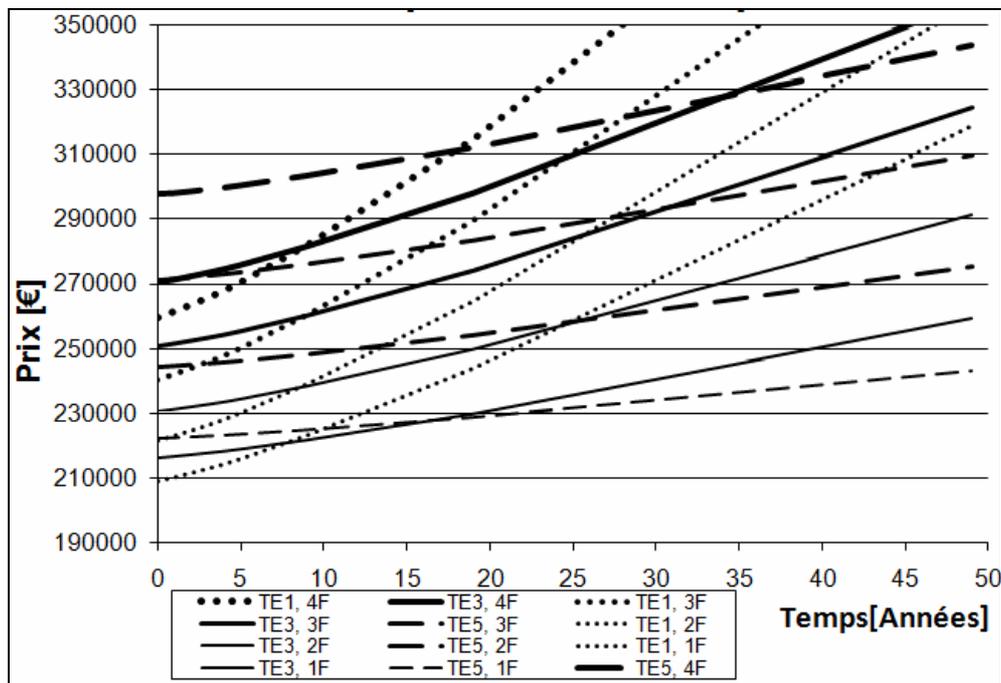


Figure 6. Optima économiques confrontés aux différentes topologies

Pour bien comprendre, nous avons extrait 3 TE différents. Le trait pointillé représente des habitations ayant un TE 1 correspondant à la maison K45, le trait continu symbolise des habitations basses énergies ayant un TE 3 et un trait discontinu pour les habitations passives ayant un TE 5. En parallèle, pour un même TE, plus la largeur du trait augmente, plus l'habitation tend vers une typologie 4 façades. Le trait le plus large symbolise des bâtiments 4 façades et inversement, plus il devient fin, plus nous tendons vers une habitation 1 façade. En partant du haut vers le bas, le trait discontinu le plus haut symbolise une habitation 4 façades, le trait suivant une maison 3 façades, ensuite une habitation 2 façades et tout en bas l'appartement.

Nous constatons que le prix de la construction au temps $t = 0$ augmente au plus nous nous rapprochons de l'habitation 4 façades. De plus, les courbes ont tendance à être plus pentues lorsque la surface de déperdition augmente. En effet, une habitation de typologie 4 façades consomme plus d'énergie étant donné sa plus grande surface de déperdition par rapport à une habitation 3 façades. Nous pouvons aussi constater que l'habitation ayant un TE 5 correspondant à une maison passive, a un retour sur investissement plus rapide lorsque l'on tend vers une typologie à 1 façade.

Ce graphe général est à exploité dans le cas où la personne désirant construire n'a pas encore de choix précis en terme de typologie d'habitation. Il peut faire ressortir certains optima forts intéressants en fonction de la typologie de l'habitation. Par exemple, dans le cas présent, il est préférable de construire une habitation ayant un TE 3 à 3 façades plutôt qu'une habitation ayant un TE 1 à 4 façades. À prix de construction équivalent, la première est nettement plus performante en terme de consommation énergétique et aura donc un coût d'exploitation moindre.

In fine, nous constatons l'intérêt immédiat du programme crée qui permet de suivre les coûts et les consommations énergétiques d'une habitation. Il est important de ne pas perdre de vue que l'utilisateur a la possibilité de changer l'ensemble des données géométriques selon ses convenances afin de favoriser l'aspect économique et/ou énergétique pour une habitation au stade de l'avant-projet. Le but final est de comparer les différents choix en faisant varier les caractéristiques de l'habitation afin de déterminer le meilleur retour sur investissement pour un projet donné.

4. Conclusion

L'outil d'analyse développé sous Excel nous apporte tout d'abord une réponse précise face aux enjeux économiques et énergétiques. La convivialité d'utilisation de l'outil favorise un gain de temps tout en communiquant des résultats aisément exploitables. L'outil réalisé permet donc de trouver en fonction des désirs de l'utilisateur, le meilleur retour sur investissement pour une habitation. Nous pouvons ainsi constater que la maison basse énergie est généralement la meilleure solution à court et moyen terme vu son faible surcoût initial de construction et sa demande énergétique raisonnable. La maison de type passive est optimale à long terme, de par sa très faible demande en énergie d'exploitation qui résorbe progressivement la différence de coût de construction initial. La maison de type conforme est uniquement rentable à très court terme, de par son faible coût de réalisation ; elle demeure néanmoins une aberration au niveau de l'investissement en plus d'être néfaste pour l'environnement au niveau des rejets.

En terme de chiffres, nous constatons en moyenne une différence de coûts de construction de l'ordre de 14% variant en fonction de la typologie entre une maison passive et conforme au prescrit légal. Cet écart est résorbé endéans les 20 premières années d'utilisation. Nous constatons également que le retour sur investissement est plus vite atteint pour un appartement que pour une maison 4 façades étant donné que les écarts au niveau des prix de construction initiaux sont moins importants. Les maisons de type basse énergie quant à elles, coûtent en moyenne 5% plus cher à l'investissement, mais cette différence est résorbée dans le courant des 10 premières années. Elles sont plus rentables en terme d'utilisation d'énergie à court, moyen, voir même à long terme.

In fine, la présente étude crée le lien entre la responsabilité des personnes face à leur impact environnemental en terme d'utilisation d'énergie et les enjeux économiques à la base de tout projet. Les différents optima économique-énergétiques mentionnent les choix judicieux à adopter. L'ensemble des résultats restent pragmatiques et économiquement utiles pour l'utilisateur. Notons qu'il reste la possibilité d'intégrer à cette étude le caractère écologique d'une habitation en proposant l'étude du bilan carbone tout en conservant la même logique d'encodage.

5. Lexique

1. **TE** = Type d'Enveloppe d'une habitation caractérisant la performance énergétique d'une habitation, soit la plus ou moins forte présence en isolation thermique. Nous avons considérés 5 TE, plus le chiffre correspondant est élevé, plus la performance énergétique de l'habitation est élevée.

2. **Typologie** = la typologie d'un bâtiment défini en quelque sorte sa compacité, soit le rapport entre le volume protégé thermiquement de l'ambiance extérieure de la maison et la surface totale de déperdition de cette dernière. Nous utiliserons dans les calculs énergétiques le rapport V/A_t qui correspond à la compacité du bâtiment, soit le volume de l'habitation divisé par la superficie de planchers chauffés.

3. **K** = Niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment s'exprimant en [W/K].

4. **Be** : Besoin en énergie nette de chauffage s'exprimant en [MJ/m²an] ou en [kW/m²an]. Il correspond à l'énergie à injecter dans l'habitation pour conserver une ambiance intérieure de confort de 19°C.

5. **MCPL** = Maison Conforme au Prescrit Légal correspondant à une habitation respectant la norme K45.

6. **MBE** = Maison Basse Énergie permet de minimiser les consommations énergétiques au sein de l'enveloppe en soignant les différents postes et principes suivants : l'isolation thermique, la ventilation de type mécanique, l'utilisation des apports internes et externes provenant respectivement de l'activité des occupants et du solaires. Dans le présent article, nous considérons que la maison basse énergie a un besoin en chauffage compris entre 16 et 35 kWh/m²an et que son K global est également compris entre 16 et 35 kWh/m²K.

7. **MP** = Maison Passive. Le terme « maison passive » désigne un concept de construction normalisé visant à réaliser des maisons à haut rendement énergétique permettant de diminuer les consommations énergétiques tout en assurant une ambiance de vie optimale pour l'ensemble des habitants. Ce type de construction ne nécessite plus l'utilisation d'un système de chauffage central. Les critères à respecter pour être certifié « passif » :

- La demande annuelle en chauffage et en refroidissement doit être inférieure à 15 KWh/m² et par an. Ce critère se calcule à l'aide du logiciel PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket).
- Le dépassement de la température limite de 25°C ne peut être supérieur à 5% du temps afin d'éviter tout inconfort pour les habitants.
- Le taux de renouvellement en air ou n50 doit être inférieur à 60% du volume total d'une pièce par heure

6. Sources

- [1] ADER (Association pour le développement d'énergies renouvelables). *L'énergie au futur*. Edition d'en bas, 1997.
- [2] ALEXANDRE, Jacques, *Guide des Energies renouvelables*, APERe (Association pour la promotion des énergies renouvelables), 1994.
- [3] CLOES E., *Habiter en 2050*, Je vais construire, Le vif, février 2010.
- [4] COLLARD B, NIHOUL A., DE HERDE A., LESENS N. *Guide d'aide à la rénovation bioclimatique*. Architecture et climat, 1996.
- [5] DEPRez Bernard, *Looking forward Etat de la question*, be-passive, N°01, Sep-Oct-Nov 2009.
- [6] DEVOLDER S., *Prix belge pour l'architecture & l'Energie 2009*, A+, N°220, Octobre-Novembre 2009.
- [7] KNAEPEN S., *Le passif au prix du clé-sur-porte*, Le mensuel belge de la construction. Tu bâtis, je rénove. N°253, Octobre 2009.
- [8] LIEBARD A., DE HERDE A. *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*. Obser'ER2005, Observatoire des énergies renouvelables, 1996-2004.
- [9] CSTC. *Développement d'un référentiel pour le « logement durable »*. http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=bbri&sub=rd&pag=projec ts&art=sustainable_housing&niv01=intro], Octobre 2009.
- [10] HQE, *Démarche HQE*. <http://www.fml-consulting.net/hqe/genese.html>], Octobre 2009.
LEED, Green Building Rating System. Système d'évaluation des bâtiments écologiques pour nouvelles construction.