

SOMMAIRE

<u>I] Le sujet</u>	page 2
<u>I.1) Le thème</u>	
<u>I.2) Le cahier des charges</u>	
<u>I.3) Mon rôle dans le projet</u>	
 <u>II] Modélisation et calculs préliminaires</u>	 pages 3 à 5
<u>II.1) Modélisation</u>	p3-4
<u>II.2) Calculs préliminaires</u>	p5
 <u>III] Partie Énergétique</u>	 pages 6 à 15
<u>III.1) Évolution des modèles</u>	p 6 à 12
<u>III.2) Comparaisons entre les modèles</u>	p 12-13
<u>III.3) Réponse à la problématique énergétique</u>	p 13-15

I] Le sujet

I.1) Le thème

Thèmes abordés :

- DOMOTIQUE (Commande par Smartphone)
- ENERGETIQUE ET DEVELOPPEMENT DURABLE (Modélisation / Simulation)

Problématique : Comment gérer à distance (par SMARTPHONE) une maison?

Support : Maison intelligente

I.2) Le cahier des charges

I.2.A) Étude énergétique

- Calculs de la consommation totale de la maison (lumières, moteur de la porte de garage, consommation de la pompe à chaleur)
- Dimensionnement de la batterie permettant une autonomie minimale sans recharge
- Dimensionnement de la surface de panneaux photovoltaïques nécessaires

I.2.B) Modélisation et soutenabilité

- Modélisation de la maison à l'échelle avec porte de garage
- Proposition de solution pour la motorisation de la porte de garage
- Étude de l'impact environnemental de la porte de garage
- Création de la structure du prototype

I.2.C) Partie commande et information du prototype

- Réalisation de la partie assurant la commande sur kits SHIELDS ARDUINO
- Programmation avec ARDUINO
- Programmation avec MIT APP INVENTOR de la liaison entre le SMARTPHONE et la carte ARDUINO

I.3) Mon rôle dans le projet

J'ai réalisé l'étude énergétique complète, répondant aux problématiques du cahier des charges ainsi que la modélisation de la maison et l'animation de la voiture entrant dans le garage.

II] Modélisation et calculs préliminaires

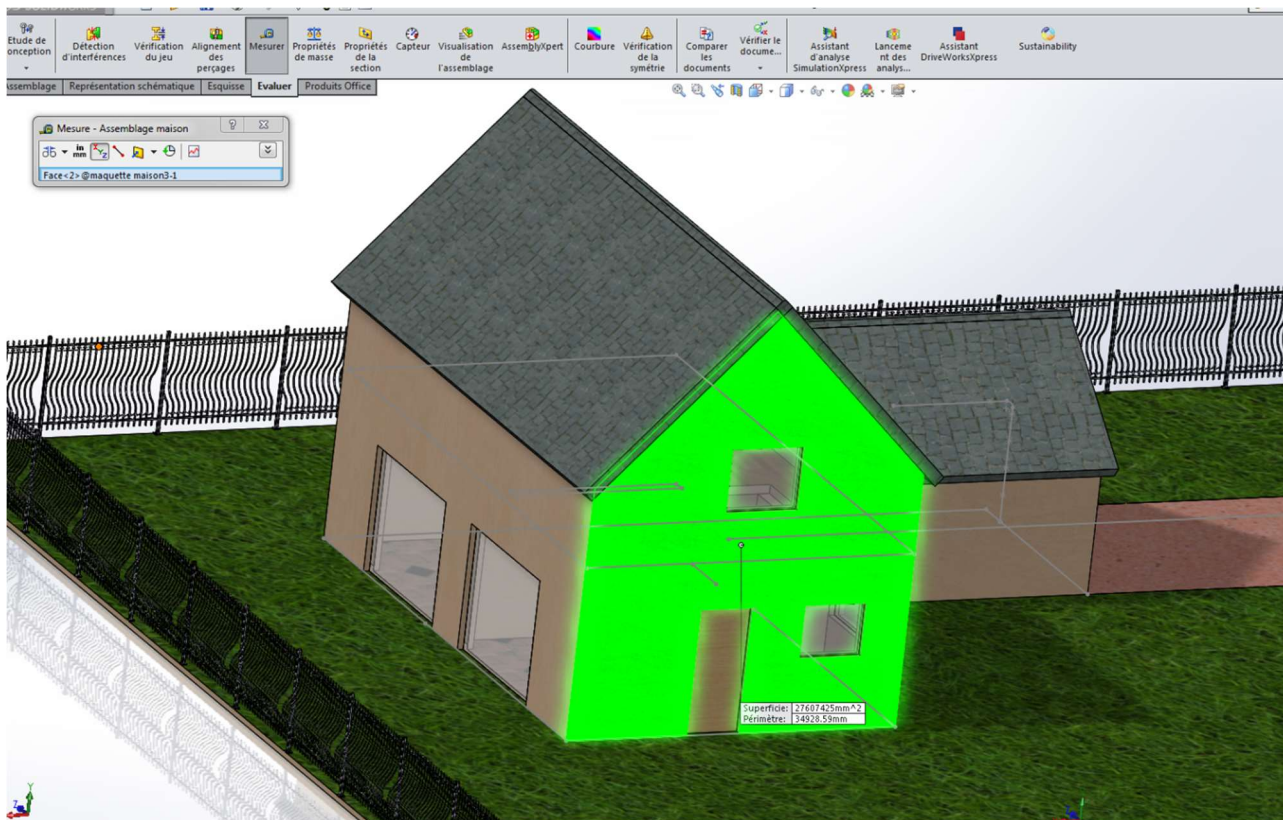
II.1) Modélisation



| vue des faces avant et gauche de la maison

J'ai choisi de modéliser la maison sur Solidworks (plutôt que sur SketchUp par exemple) pour deux raisons :

- Utiliser la fonction "Mesurer" de Solidworks pour connaître rapidement et précisément la surface des murs, des fenêtres et portes vitrées, du toit et du sol
- Utiliser SolidMotion pour réaliser une vidéo du fonctionnement de la porte de garage et de l'entrée d'une voiture. La maison a été modélisée à l'échelle 1, représentant la maquette qui nous a été donnée à l'échelle 1/20.



| utilisation de la fonction "Mesurer"



| vue de la face arrière de la maison

II.2) Calculs préliminaires

Avant de commencer l'étude énergétique et plus particulièrement des pertes thermiques, j'ai calculé les conductances thermiques (en W.K^{-1}) des différentes parties de la maison (vitres, murs, sol et toit). Il a été supposé que la maison est construite sur un vide sanitaire pour simplifier l'étude. Voici un exemple de l'utilisation de la formule de la conductance thermique pour le sol :

$$\text{Conductance} = \frac{1}{\frac{e1}{\lambda1} + \left(\frac{e2}{\lambda2} \right)}$$

Epaisseur en m \Rightarrow $\frac{e1}{\lambda1}$ \leftarrow Résistance thermique (en K/W)
 Conductivité thermique (en W/(m.K)) \Rightarrow $\frac{e2}{\lambda2}$

$$\text{Conductance} = \frac{1}{\frac{0.2}{1.6} + \frac{0.05}{0.023}} = 33.48 \text{ W.K}^{-1}$$

III] Partie Énergétique

J'ai réalisé l'étude énergétique sur le logiciel de calculs Matlab et plus particulièrement grâce à des modèles Simulink.

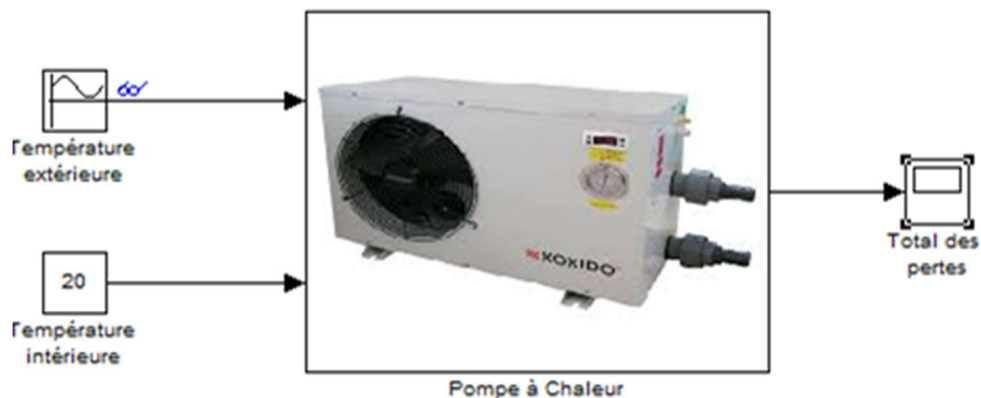
III.1) Évolution des modèles

A) Les puissances consommées

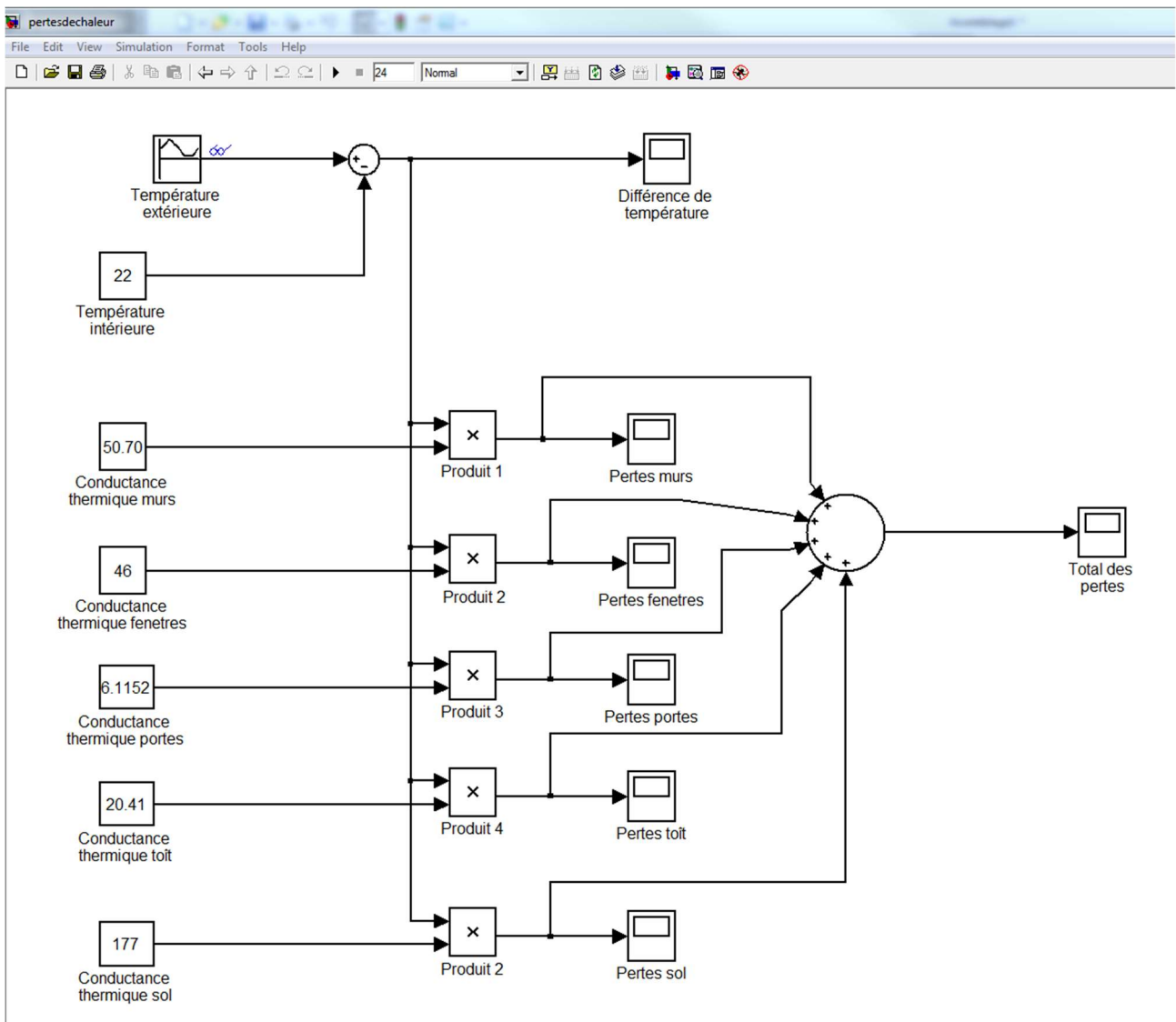
Mon premier modèle permet de calculer les pertes thermiques (en W) relatives à chaque partie de la maison en fonction :

- des températures extérieures (en °C) modélisées par une sinusoïde dont le minimum se situe vers 6 heures du matin (lorsque la température est la plus basse) et dont le maximum se situe vers midi (lorsque la température est la plus haute)
- de la constante de température intérieure choisie (dans cette étude elle est de 20°C)
- des conductances de chaque partie de la maison (en $W.K^{-1}$) calculées précédemment.

Toutes ces pertes sont ensuite ajoutées pour connaître les pertes globales de la maison. Le tout est regroupé dans un sous-système correspondant à la pompe à chaleur de la maison.



| Sous-système de la pompe à chaleur



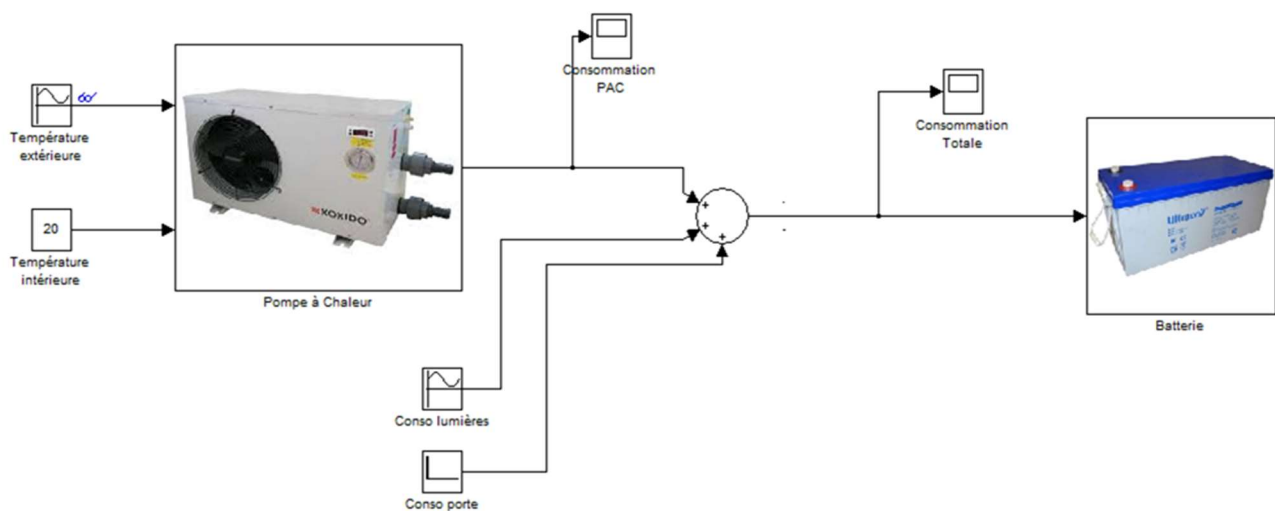
| vue de l'intérieur du sous-système de la pompe à chaleur

J'ai par la suite ajouté la consommation des lumières ainsi que celle du moteur de la porte de garage.

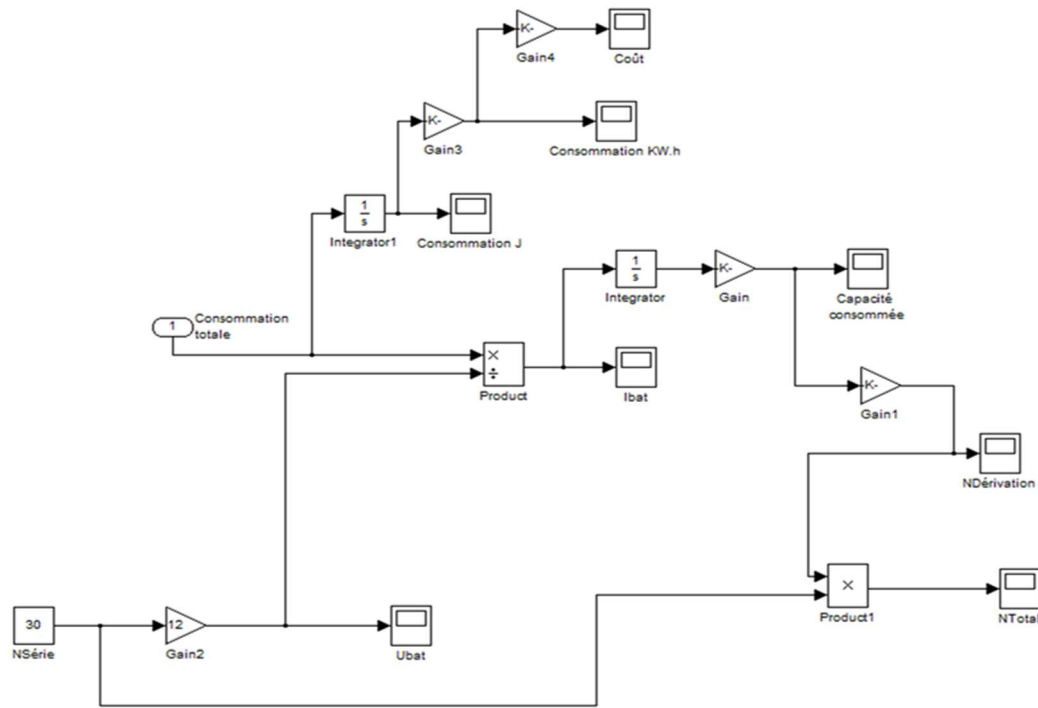
B) Les batteries

B.1) Batterie à tension constante

J'ai par la suite modélisé ma première batterie très simplifiée : elle a été considérée à tension constante sans résistance interne et sans décharge. Cette partie du modèle permet de calculer le courant instantané demandé à la batterie (en A) en divisant la puissance instantanée (en W) par la tension délivrée par la batterie (360V). La capacité consommée (en A.h) ainsi que l'autonomie de la batterie sans recharge (en s) sont aussi calculées en intégrant la tension calculée précédemment et en soustrayant la capacité consommée à la capacité de la batterie. Elle a une capacité de 1800 A.h et une tension supposée constante de 360 V.



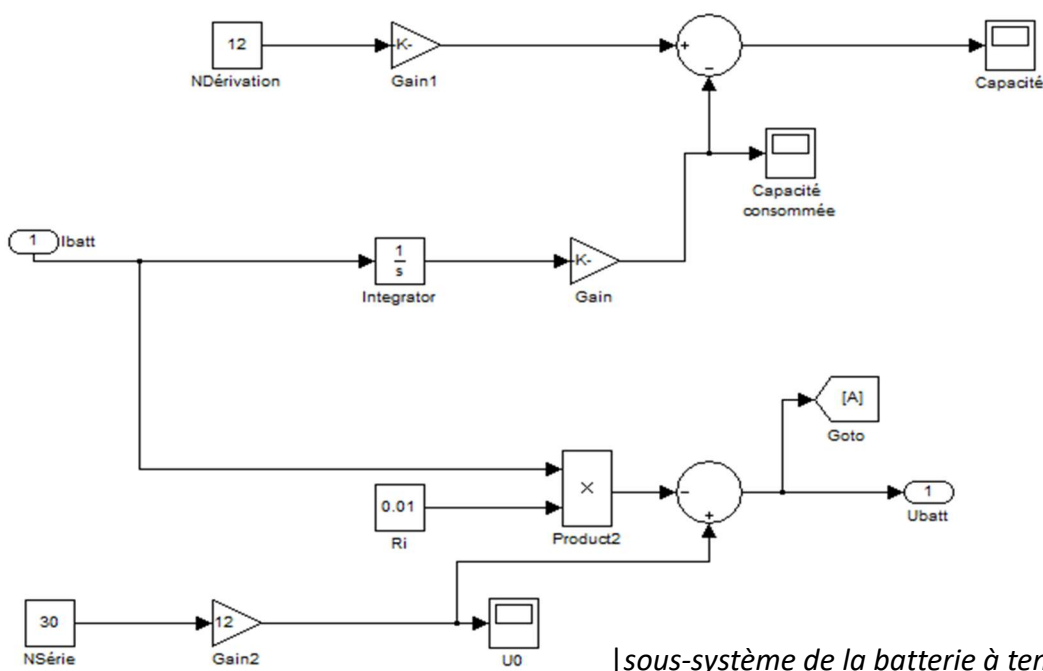
| Sous-systèmes de la pompe à chaleur et de la batterie



|vue de l'intérieur du sous-système de la batterie à tension constante

B.2) Batterie à tension variable

La seconde batterie prend en compte la résistance interne (en Ω) de la batterie mais ne prend toujours pas en compte son état de charge. La consommation d'énergie et l'autonomie sont calculées de la même manière que le modèle précédent. Sa tension nominale est de 360V et sa capacité est de 1800 A.h.

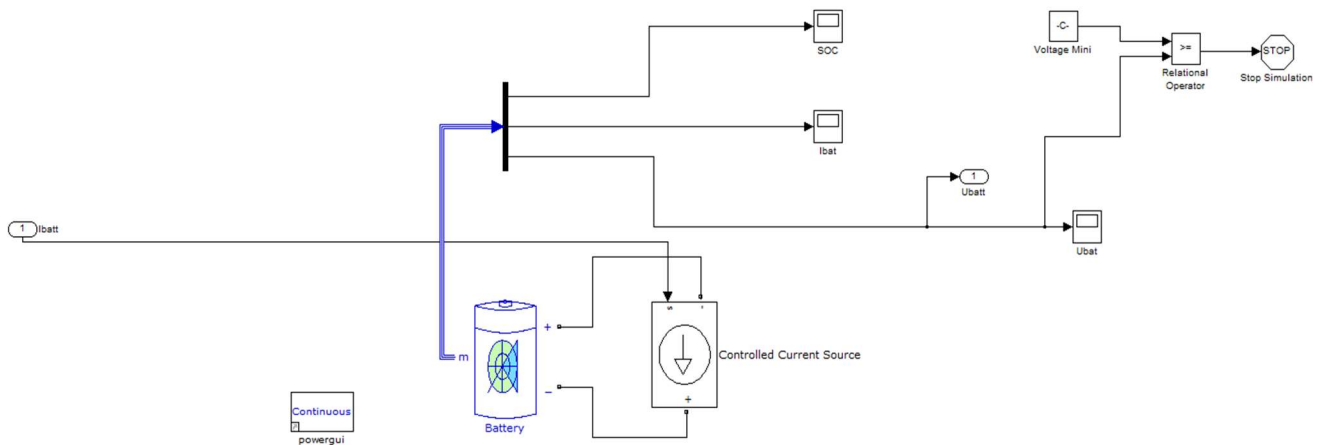


| sous-système de la batterie à tension variable

B.3) Modèles de batterie de Matlab

Les modèles de batterie suivants sont des modèles du logiciel qui prennent en compte la résistance équivalente ainsi que le SOC (de l'anglais State Of Charge, l'état de charge) de la batterie. Elles ont toujours une tension nominale de 360V et une capacité de 1800 A.h.

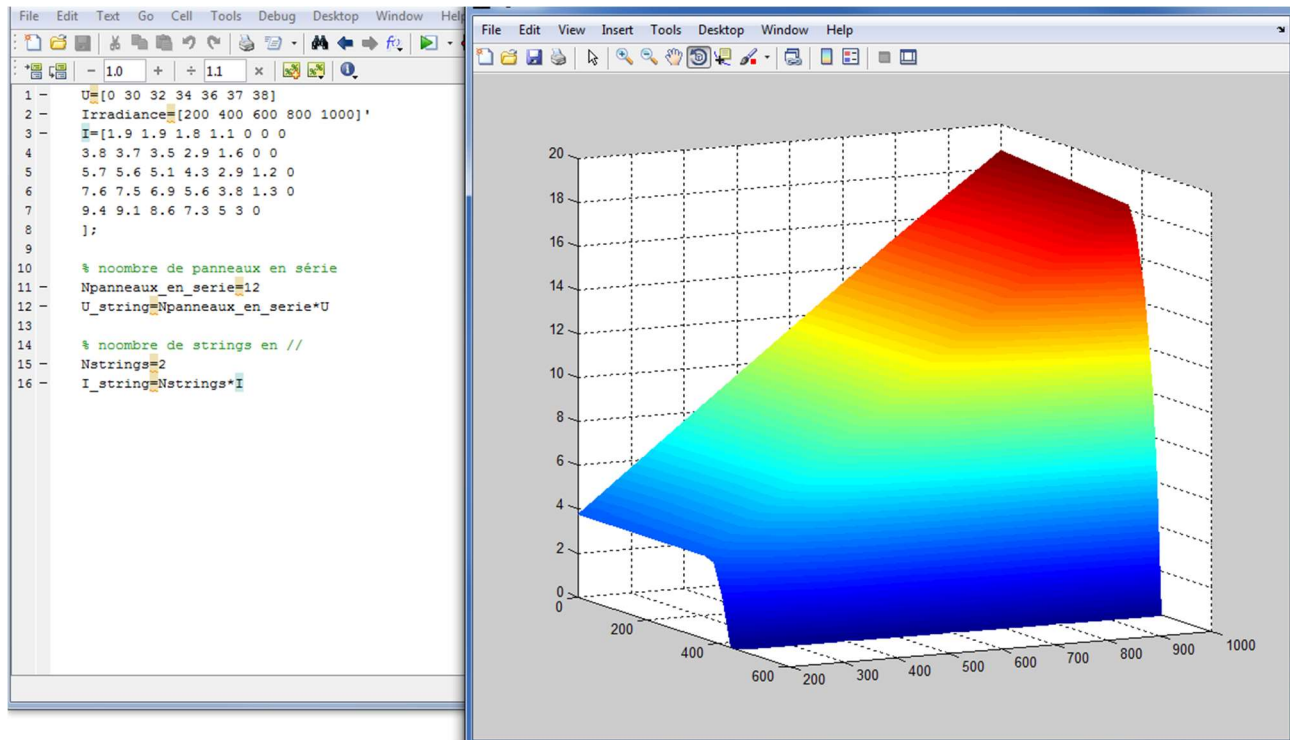
Ces modèles permettent de choisir entre les différentes technologies de batterie existantes (dans cette étude j'ai choisi de prendre la batterie Lithium-Ion et la Acide-Plomb, les plus répandues)



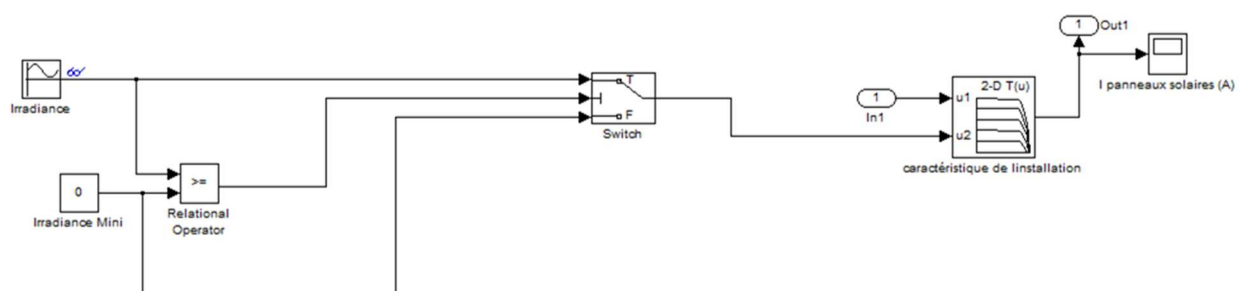
| sous-système de la batterie de Matlab

C) L'apport d'énergie

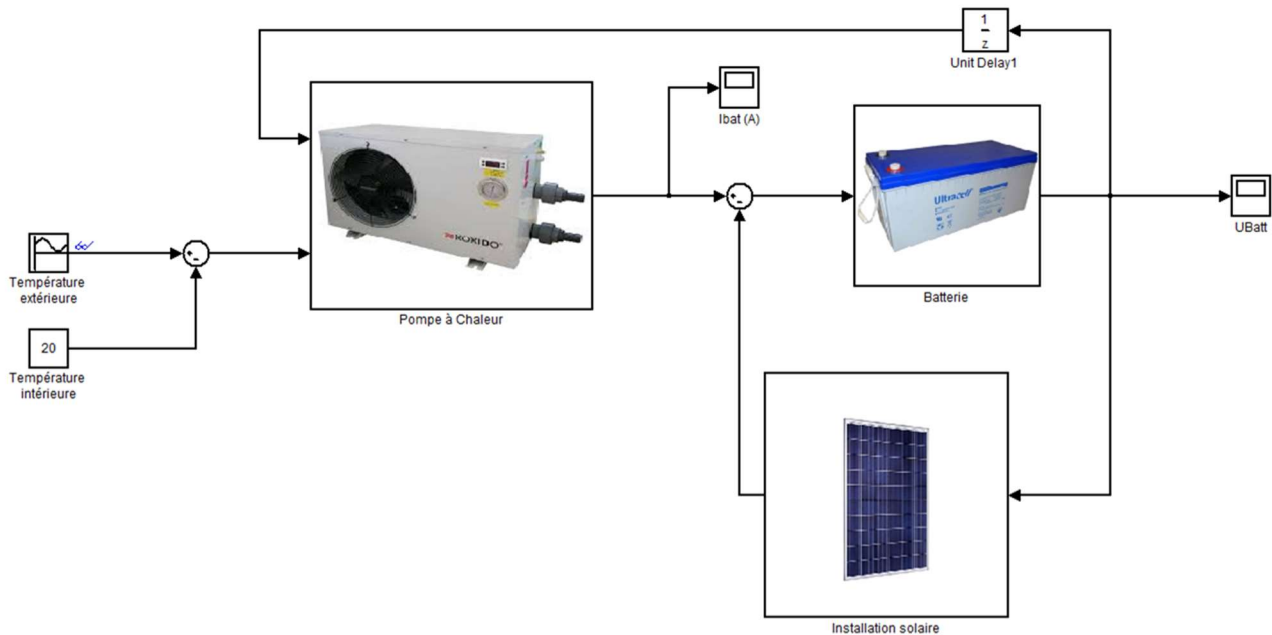
L'apport d'énergie étant assuré au moyen de panneaux photovoltaïques, il a fallu ensuite les modéliser également. Pour cela j'ai créé un script Matlab dans lequel j'ai entré les différentes valeurs de tension fournie par le panneau en fonction de la tension de la batterie (en V) et de l'irradiance (en W/m^2). On peut obtenir grâce à cela une courbe en 3 dimensions :



| script (à gauche) servant à construire la courbe 3D (à droite)



| sous-système du panneau photovoltaïque



| modèle final avec ses 3 sous-systèmes

III.2) Comparaisons entre les modèles

Les 4 modèles de batterie décrits précédemment nous permettent de comparer leur autonomie. Le modèle de pertes thermiques permet de comparer les pertes liées aux flux thermiques selon les températures extérieures ainsi que les pertes relatives à chaque partie de la maison. En ordonnant les résultats sur Excel, on obtient les tableaux suivants :

- Températures/Consommation de la pompe à chaleur/Consommation totale

Températures	Conso journalière PAC (Kw.h)	Conso journalière totale (Kw.h)	ecart relatif (%)
Extremes	63,93	65,58	2,5
Moyenes	33,84	35,49	4,6
ecart relatif (%)	47,1	45,9	

On remarque que la consommation est quasiment doublée lorsqu'on passe de températures printanières à des températures extrêmement froides et ce, lorsque l'on considère la pompe à chaleur seule ou la consommation totale (les deux ayant un écart relatif très faible)

Conclusion : Pour réduire la consommation d'énergie, il faut réduire celle de la pompe à chaleur

- Comparaison des conductances et des pertes relatives à chaque partie de la maison

Partie étudiée	Conductance (W/K)	Pertes thermiques (Kw.h)	Pertes relatives (%)
Murs	50,7	20,68	32,4
Fenêtres	46	18,76	29,4
Portes	6,12	2,49	3,9
Toit	20,4	8,33	13,0
Sol	33,48	13,65	21,4
		Pertes totales : 63,91 Kw.h	

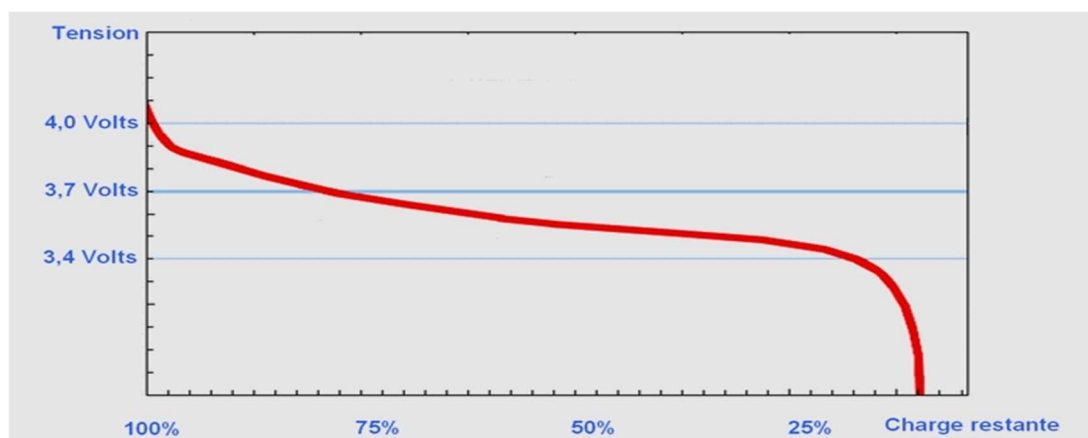
On remarque que plus de 61% des pertes proviennent des fenêtres et des murs qui ont tous les deux une conductance assez élevée. Les portes, le toit et le sol représentent moins de 39 % des pertes totales et ont une conductance assez faible.

Conclusion : Pour réaliser des économies, il faudra baisser la conductance des fenêtres et/ou des murs.

- Différents types de batteries

Type batterie	autonomie	% charge après 7 jours
Tension constante	8 jours 5,6 heures	76,9
Tension variable	8 jours 5,5 heures	76,8
Li-Ion	8 jours 22,7 heures	79
Ac-Plomb	8 jours 9,6 heures	76,8

On remarque que les batteries à tension constante, à tension variable et acide-plomb ont une autonomie et un taux de charge après 7 jours d'utilisation avec recharge quasiment identiques (bien que la batterie acide plomb soit légèrement meilleure). Cela peut sembler étrange puisque les batteries à tension constante et à tension variable ne prennent pas en compte l'état de charge de la batterie (et devraient donc présenter des caractéristiques bien supérieures à la batterie lithium-ion ou la acide-plomb). Cela s'explique si l'on regarde la courbe de décharge des modèles de batterie de Matlab : la tension nominale est de 360V mais la tension réelle est supérieure lorsque la batterie est chargée au maximum, ce qui explique les meilleures performances des modèles de Matlab.



| courbe de décharge typique d'une batterie lithium-ion
(ici nos 360V correspondent aux 3,4V de la courbe)

III.3) Réponse à la problématique énergétique

Au cours de l'étude énergétique, trois problématiques majeures ont été soulevées :

- Combien d'éléments nous faut-il dans la batterie ?
- Quelle est la surface de panneaux photovoltaïque nécessaire ?
- Comment gagner en autonomie ?

La batterie :

La source d'énergie de la maison doit permettre de récupérer une tension alternative efficace de 230V. La batterie fonctionnant sous courant continu, il faudra utiliser un alternateur pour passer à une tension alternative. De plus, la tension maximale devra être égale à $U_{\max} = \sqrt{2} * U_{\text{eff}}$

Ici, U_{\max} vaudra donc $\sqrt{2} * 230 = 360\text{V}$

Les éléments qui constituent la batterie ont les caractéristiques suivantes : 12V | 150A.H

Il faut donc 12 éléments par ligne pour atteindre les 360V.

Le cahier des charges impose une autonomie minimale de 5 jours. La capacité de la batterie a été fixée avant les calculs à 1800 A.h (elle s'est d'ailleurs montrée largement suffisante puisque dans le pire des cas l'autonomie était de 8 jours et 5,6 heures)

Le nombre de séries a donc été fixé à 12 ($=1800\text{A.h}/150\text{A.h}$)

Notre batterie comporte donc 144 éléments (12lignes*12séries)

Les panneaux photovoltaïques :

Le cahier des charges impose une recharge de la batterie déchargée à 84% en 8 heures. Il faut donc que les panneaux photovoltaïques soient capables d'apporter 1512A.h en 8 heures. Il a été considéré que l'irradiance moyenne est celle d'une région bien ensoleillée, sans intempérie (environ 800W/m²). On trouve une surface d'environ 85m² de panneaux photovoltaïques.

L'autonomie :

On a vu que pour gagner en autonomie il fallait réduire la conductance des murs ou des fenêtres. Sachant que les fenêtres ont un coefficient de transmission thermique de 3 (correspondant à un mauvais double vitrage), il peut sembler intéressant d'installer un triple vitrage (qui a un coefficient de transmission thermique de 0,7). Après d'autres simulations avec ce nouveau paramètre, le gain en autonomie a été approximé à 22% dans les conditions les plus défavorables.

