

**CONFREGE****Toulouse****6 décembre 2010**A large, stylized image of a computer mouse. The mouse is white and grey, with a green light on its button. Instead of a cord, the mouse body is shaped like a globe of the Earth, showing continents and oceans. The background is a solid light green.

Expériences de recherche en éco-conception dans le domaine du Génie Electrique

**Bernard MULTON, Hamid BEN AHMED,
Vincent DEBUSSCHERE, Yaël THIAUX,
Judicaël AUBRY, Cédric JAOUEN, Franck BARRUEL***
SATIE - ENS de Cachan / * INES-CEA

Constatations dans le domaine du Génie Electrique

Le **taux de pénétration de l'électricité**,
comme forme finale d'énergie, croît rapidement

Au niveau mondial,

l'électricité est **responsable d'une grande part**

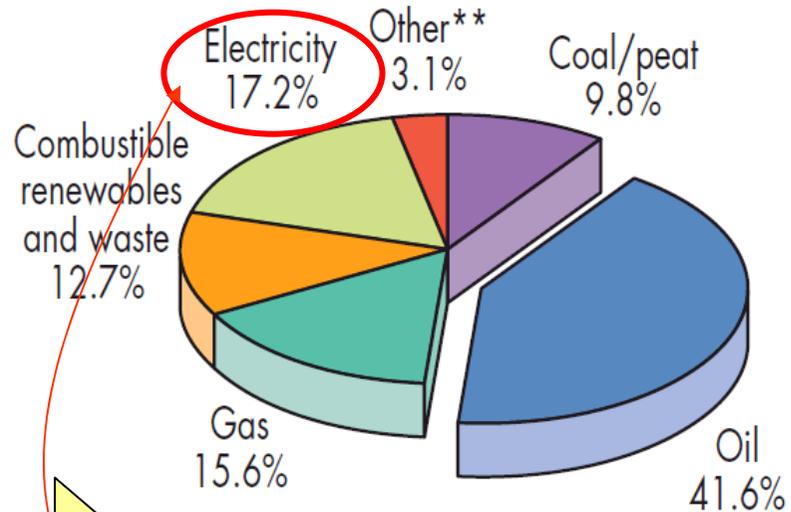
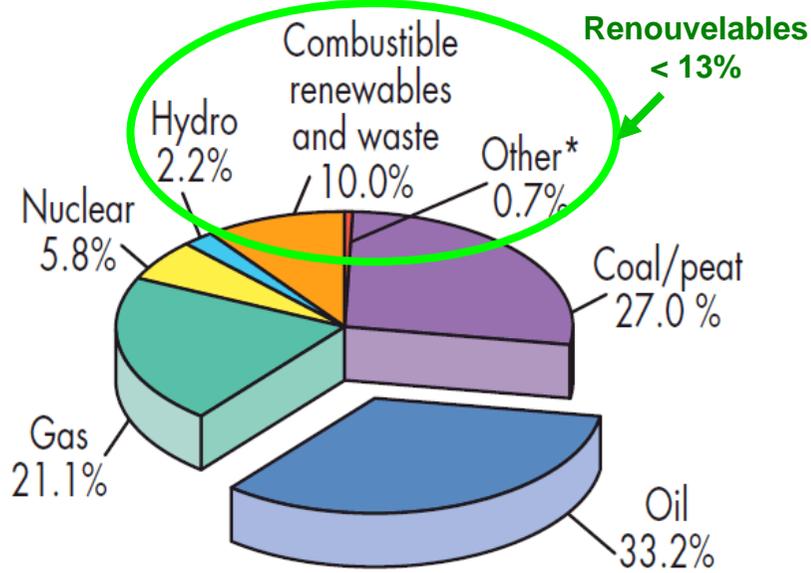
- de la **consommation d'énergie primaire** non renouvelable ,
- et des **rejets environnementaux** les plus impactants

Même si l'électricité peut être, à terme, intégralement produite
à partir de ressources renouvelables,
il subsistera des impacts environnementaux importants

De l'énergie «primaire» à l'énergie «finale», la place de l'électricité 2008

Primaire = ressources naturelles

Finale = formes distribuées



Total \cong 142 000 TWh

Rendement global \cong 69%

Total \cong 98 000 TWh

1 TWh = 1 milliards de kWh

production \rightarrow **électricité primaire**

20 200 TWh_e
produits à partir de
55 000 TWh primaires
(39% de l'énergie totale)

Rendement électrique \cong 30%

17% de pertes transport et autres...

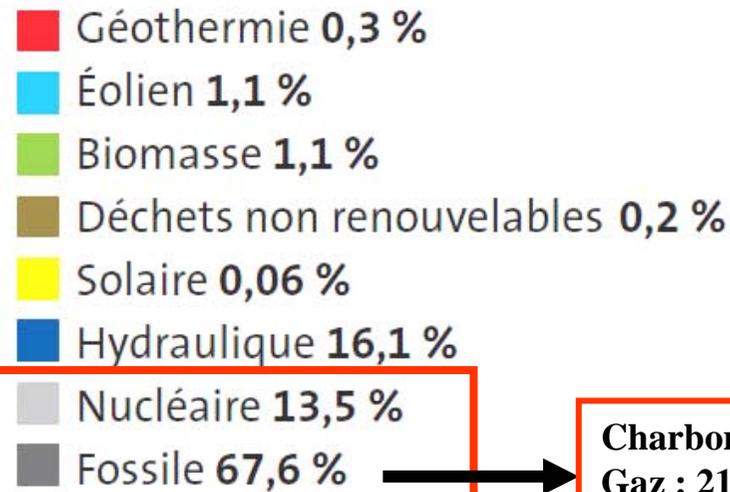
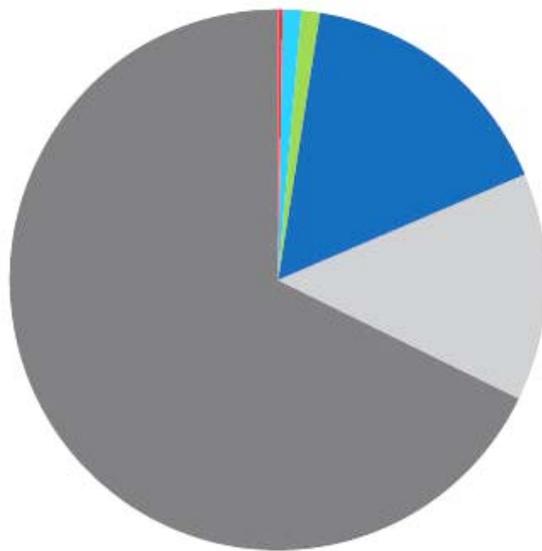
pour donner : **16 800 TWh** d'électricité finale

Source AIE (Key World Energy Stat. 2010)

Production mondiale d'énergie électrique par source (2008)

20 169 TWh

(+ 1,7% 2008 / 2007 et + 4,6% 2007/2006)



Charbon : 41%
Gaz : 21,2%
Pétrole : 5,4%

81 % de l'électricité mondiale est d'origine non renouvelable

Source :
La production d'électricité
d'origine renouvelable dans le monde
Observ'ER 2009

Et sa production :

- consomme près de 40% de l'énergie primaire mondiale
- est responsable près du quart des émissions de GES

Ressources et réserves en matières premières énergétiques ou non



Ressources > Réserves

(Consommation mondiale 2008 : 12 Gtep)

Matières premières énergétiques (ressources et réserves) :

Combustibles fossiles : entre 2000 et 5000 Gtep (400 à 600 pétrole – 250 gaz – 3500 charbons)
Réserves (prouvées) : 780 Gtep (160 pétrole, 160 gaz, 460 charbons) (R_v/P 40 à 160 ans)

Matière fissile : environ 150 Gtep (avec réacteurs actuels)
Réserves (prouvées et spéculatives) : 60 Gtep (R_v/P 80 ans)

Matières premières non énergétiques :

données USGS 2006 en tonnes

En tonnes	Ressources présumées	Réserves Base	Réserves	Production Mondiale 2006		Réserves/Product. primaire (ans)
				primaire	secondaire	
Acier	230 G	160 G	73 G	1,8 G		40
Alu	13 à 18 G	8 G	5,7 G	34 M	7,6 M (2004)	167
Cu	3 à 3,7 G	940 M	470 M	15 M		31
Pb	1,5 G	140 M	67 M	4 M	4 M	17
Co	15 M	13 M	7 M	57,5 k		122
Ni	130 M	140 M	64 M	1,4 M		46
Pt	76 k		33 k	211	50	156
Li (Metal)	14 M	11 M	4,1 M	18,8 k		218

Choix délibéré d'un nombre restreint de critères pour un premier « éco-dimensionnement » :

Energie primaire consommée sur l'ensemble du cycle de vie :

- Production des matières premières non énergétiques
(fer, cuivre, silicium, lithium...)
- Fabrication des objets étudiés
- Transports entre les lieux de production, d'usage...

Energie grise

Prise en compte éventuelle du vieillissement, des remplacements et réparations

- Consommation d'énergie primaire sur la durée d'usage
(incluant, dans le cas de l'électricité, les rendements de production
à l'échelle géographique considérée)

- Valorisation éventuelle (conso négative)

Masse de matières premières non énergétiques utilisées

- utile
- recyclée

Eco-dimensionnement versus éco-conception et ACV

ACV =

évaluation des différents critères environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie (logiciels et bases de données opérationnels)

Eco-conception =

une conception théoriquement optimisée, incluant toutes les étapes du processus et sur la base de critères environnementaux jugés prioritaires, accompagnée d'une ACV.

En réalité : un problème d'une très grande complexité qui consiste souvent en une « éco-amélioration » de l'existant sur la base d'ACV itératives

Eco-dimensionnement =

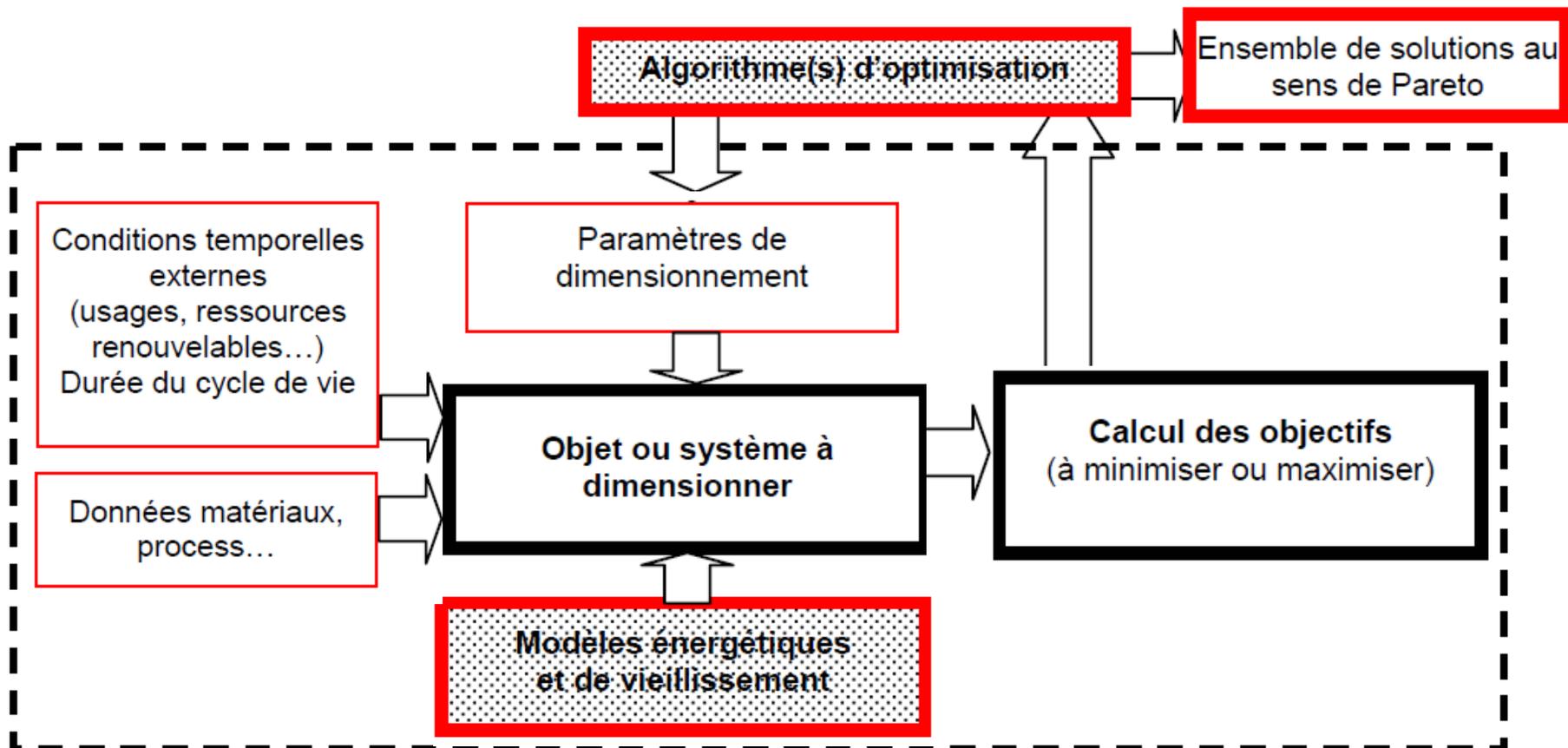
une éco-conception plus modeste qui peut faire partie d'une procédure globale d'éco-conception.

Optimisation des paramètres de dimensionnement d'une architecture donnée sur le cycle de vie et pour minimiser des fonctions de coûts environnementaux

Notre vision de l'éco-dimensionnement

Concerne :

- des objets consommateurs d'énergie (ex. moteur électrique)
- des systèmes de production d'énergie (ex. système photovoltaïque autonome)
- des systèmes de distribution d'électricité (ex. réseau DC bâtiments).



Les besoins pour traiter ce problème

- Le traitement de ce problème nécessite de porter les efforts sur :
- l'établissement de **modèles énergétiques** aptes au dimensionnement, sur des cycles temporels éventuellement longs et complexes, avec prise en compte des spécificités physiques pour le calcul des **consommations d'énergie** et des **contraintes de temps de calcul** ;
 - l'établissement et/ou l'exploitation de **modèles de durée de vie** permettant de bien optimiser le dispositif sur la durée totale de son cycle de vie ;
 - l'utilisation et/ou la mise au point **d'algorithmes d'optimisation** aptes à traiter de tels problèmes ;
 - l'obtention et/ou l'élaboration de **données environnementales** (ici l'énergie primaire requise pour la production des matériaux utilisés, pour les process de fabrication et de recyclage et, le cas échéant, pour les phases de transport).

Quelques expériences de recherche

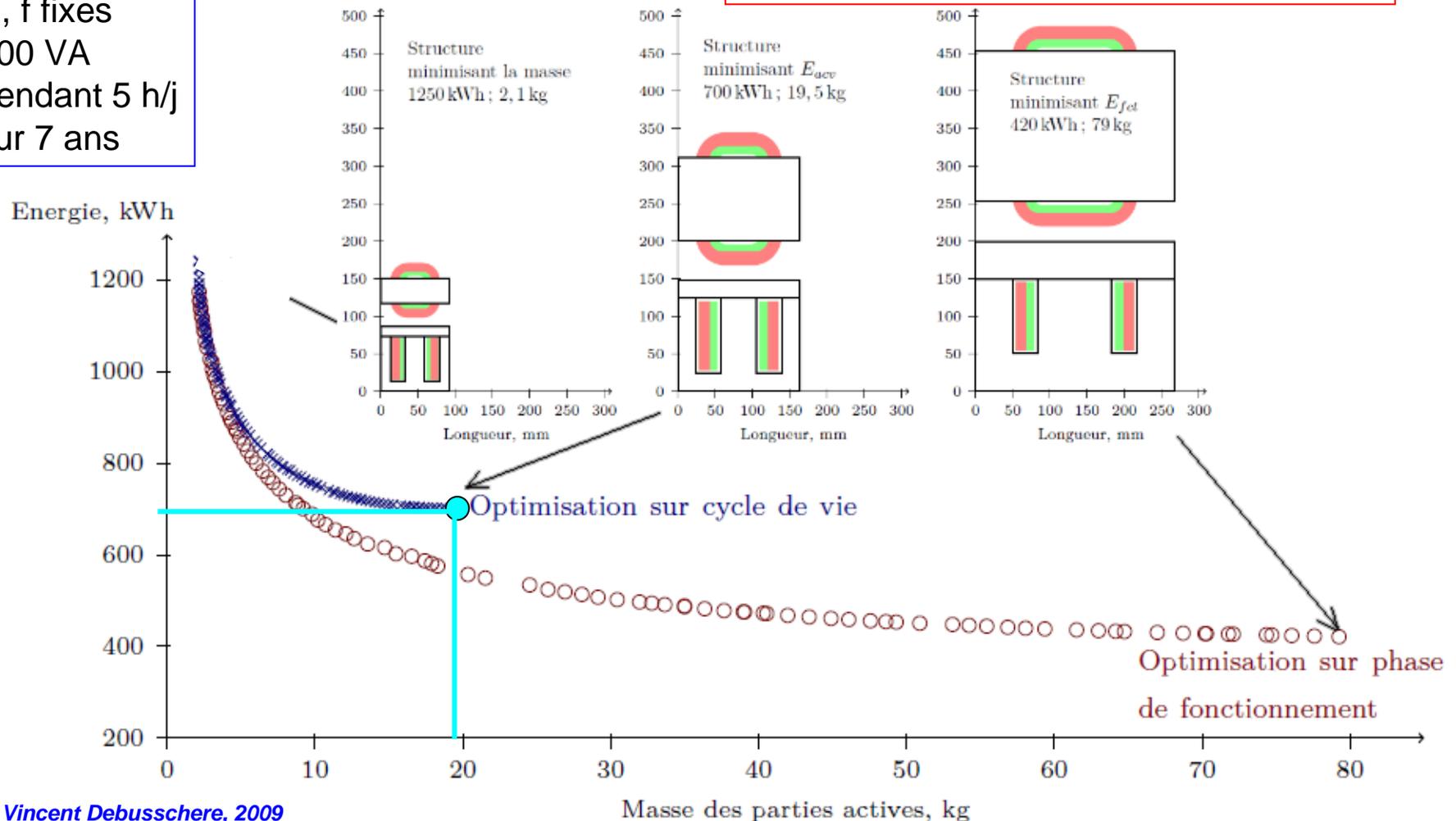
1- Transformateur monophasé :

un cas d'école pour considérer les aspects thermiques transitoires et le vieillissement

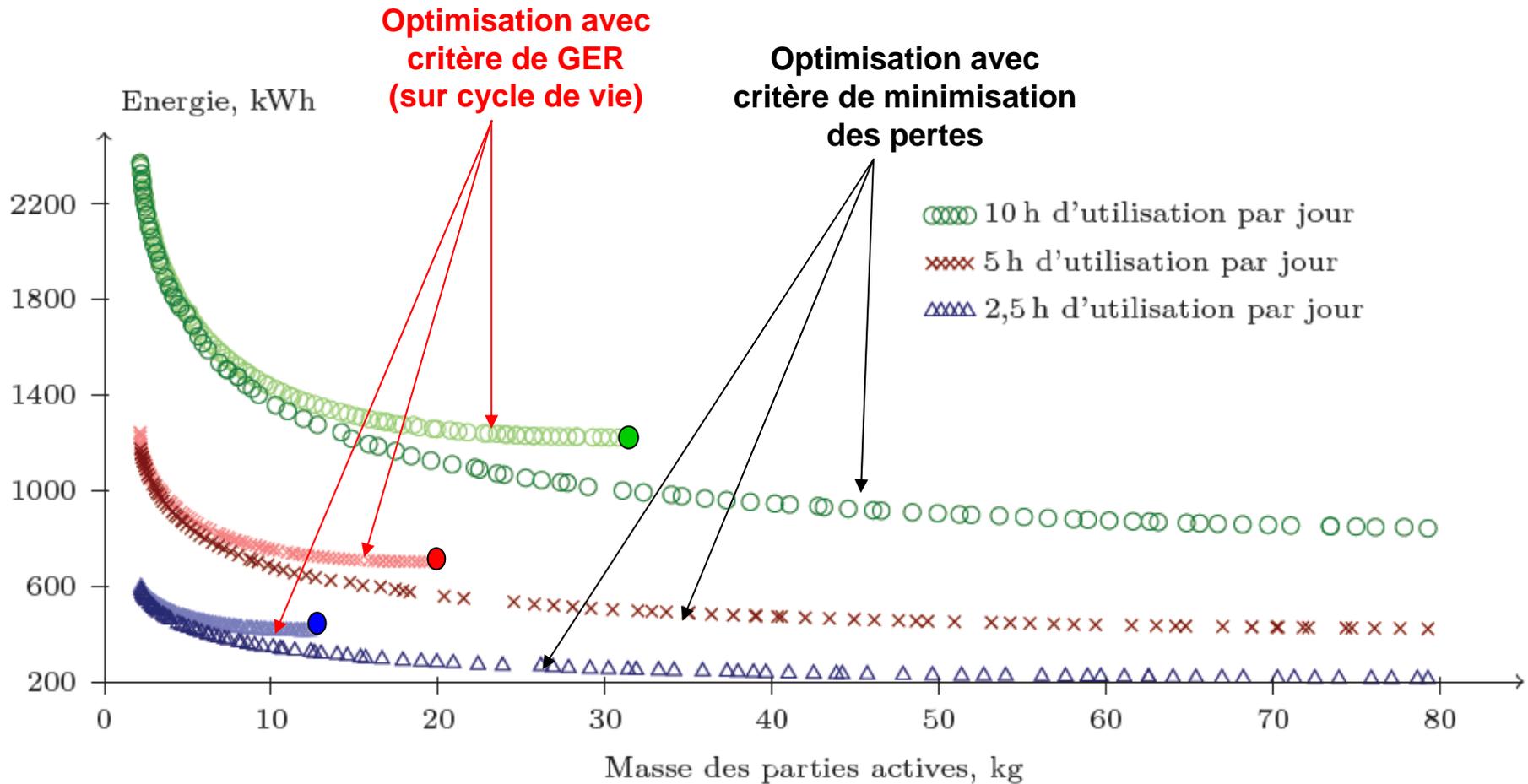
Critère : GER = Gross Energy Requirement

$$GER = P_{fct} + \sum_{\text{phases LCA}} \left\{ \sum_{\text{matériaux}} \{M_{m,p} * E_{m,p}\} \right\}$$

U, f fixes
200 VA
pendant 5 h/j
sur 7 ans



Transformateur (suite), effet de la durée d'utilisation

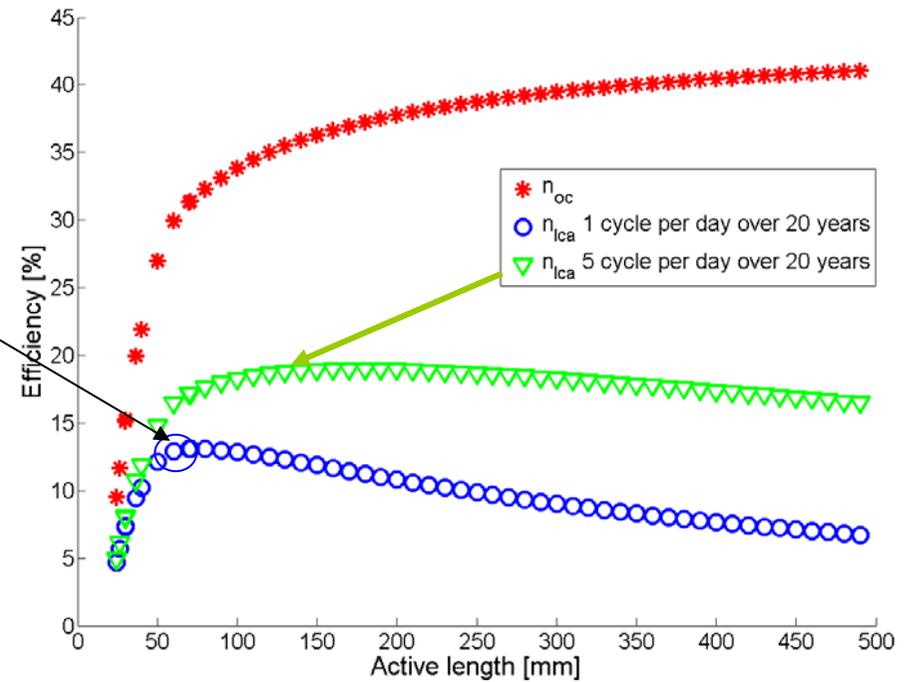
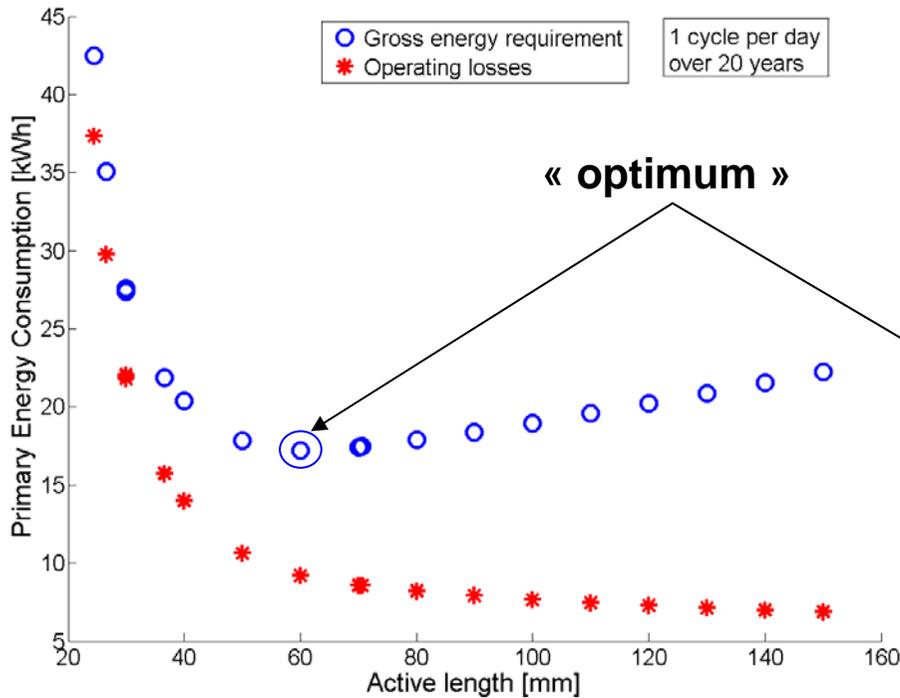


A la demande de l'entreprise contractante (SOMFY) :
étude sur critère d'émission de gaz à effet de serre
=> sensibilité à la zone géographique

2- Moteur asynchrone monophasé diphasé à condensateur : un cas concret industriel

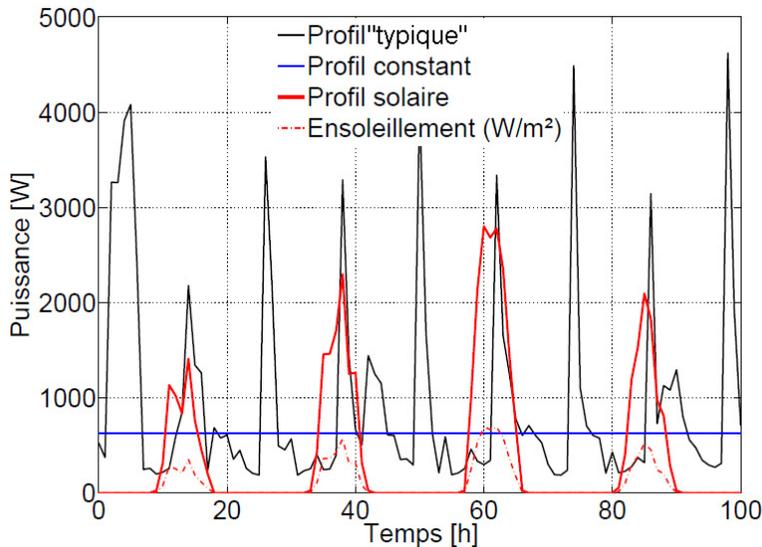
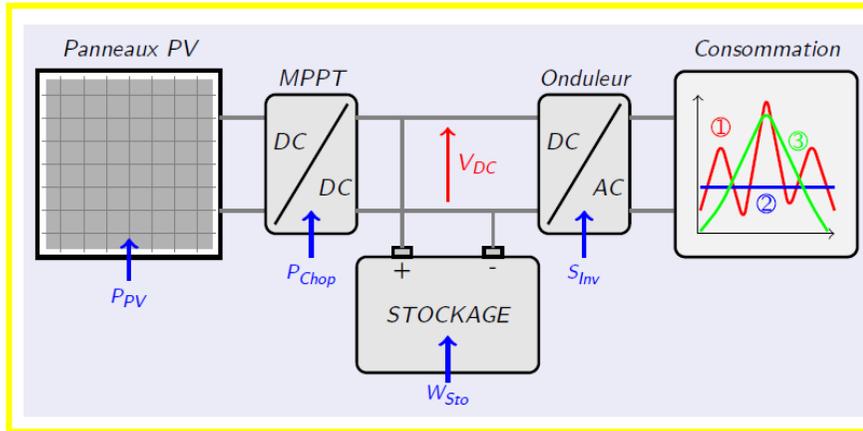
Etablissement de la notion de **rendement sur cycle de vie**
correspondant aux usages du dispositif :

$$\eta_{lca} = \frac{\int_{life} P_u(t) / \eta_e \cdot dt}{\int_{life} P_{cons}(t) / \eta_e \cdot dt + W_{fab+recycl_p}} = \frac{W_{u_p_life}}{W_{u_p_life} + [W_{losses_p_life} + W_{fab+recycl_p}]}$$



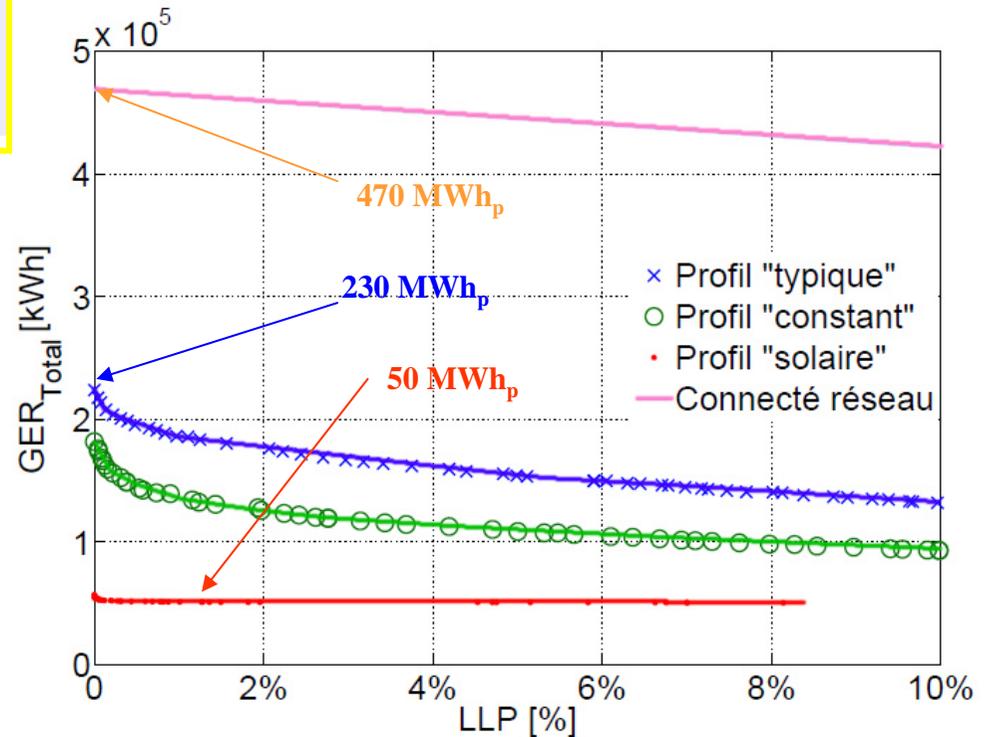
3- Système photovoltaïque autonome : un autre cas d'école pour étudier un système de production

Optimisation du dimensionnement pour minimiser le coût en énergie primaire sur cycle de vie avec possibilité de délestage.

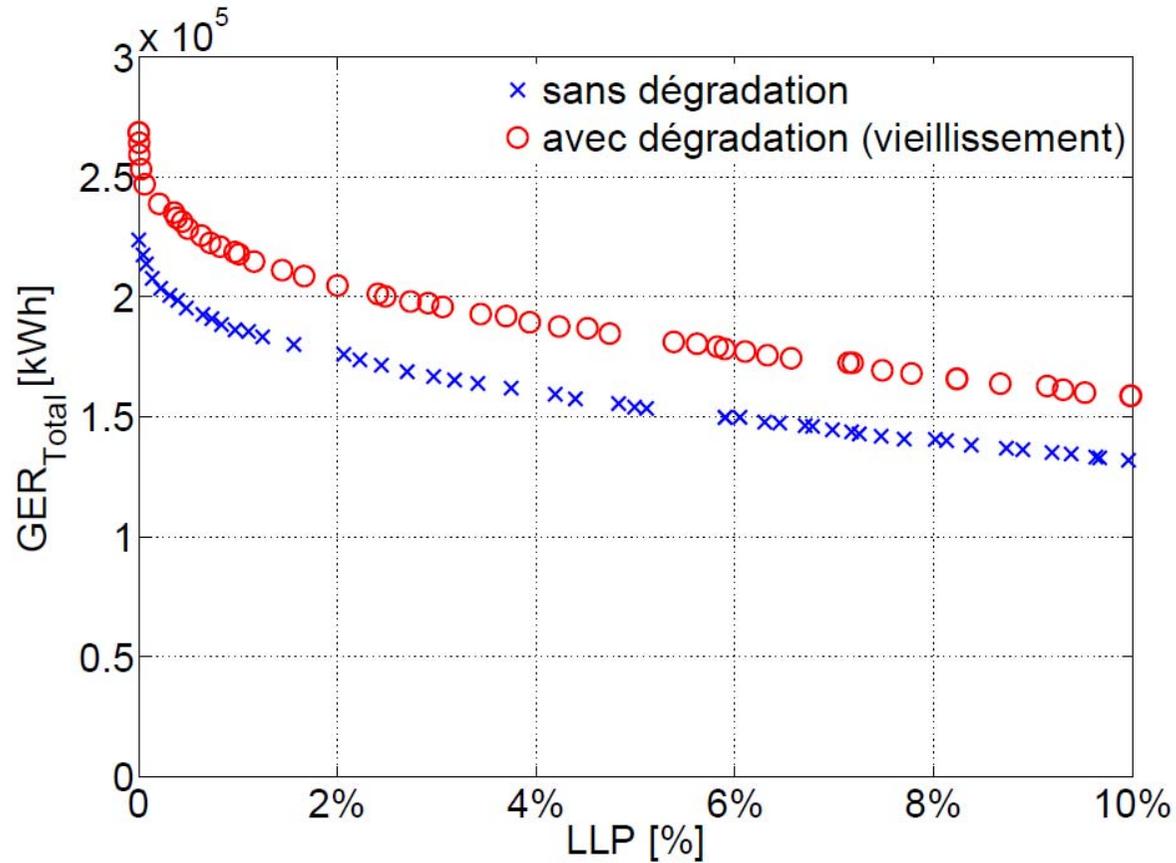


Thèse Yaël Thiaux, 2010

Etude de l'impact du profil temporel de consommation sur le coût énergétique global :
(pour 164 MWh_e sur 30 ans soit moyenne de 15 kWh/j)



Prise en compte de la dégradation des performances du générateur PV et du stockage

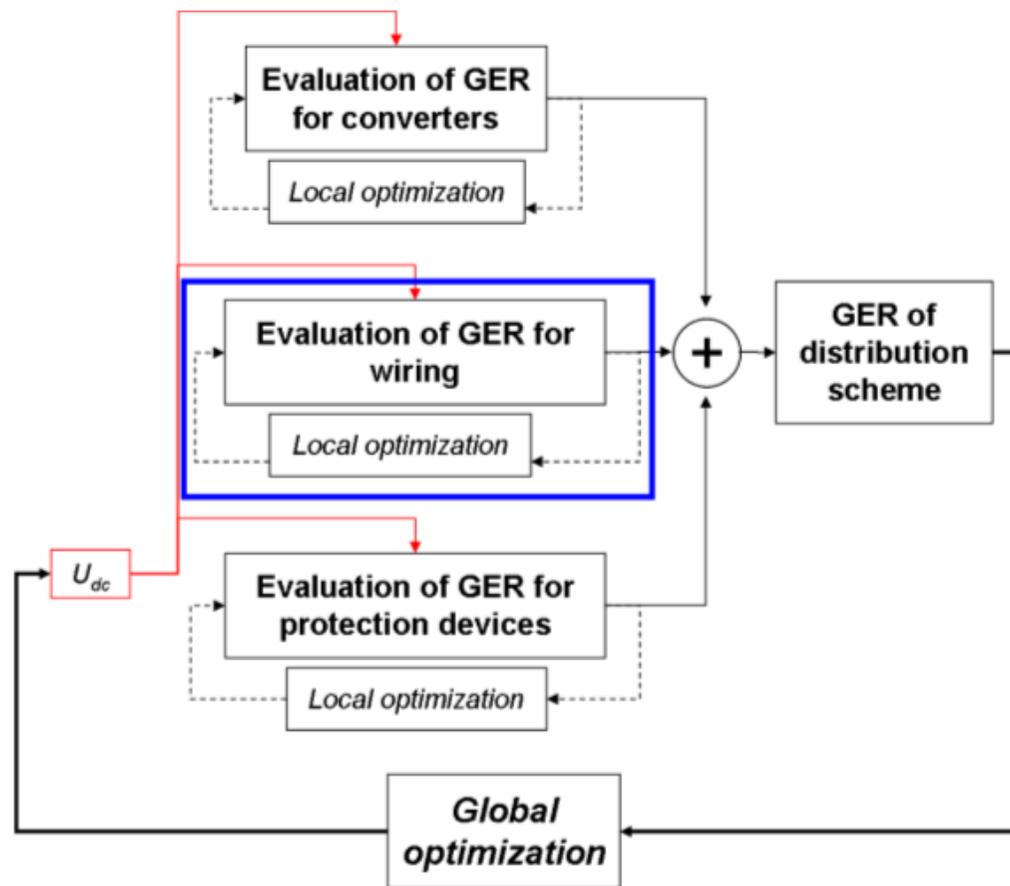


**Comparaison des technologies plomb-acide et lithium-ion NCA
(différences : investissement énergétique, vieillissement, pertes...)**

4- Réseau de distribution en courant continu dans un bâtiment

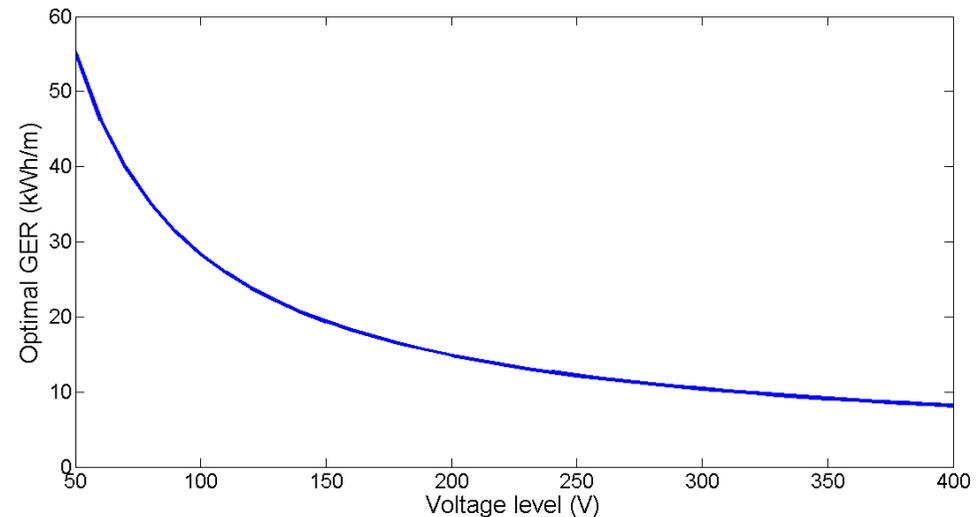
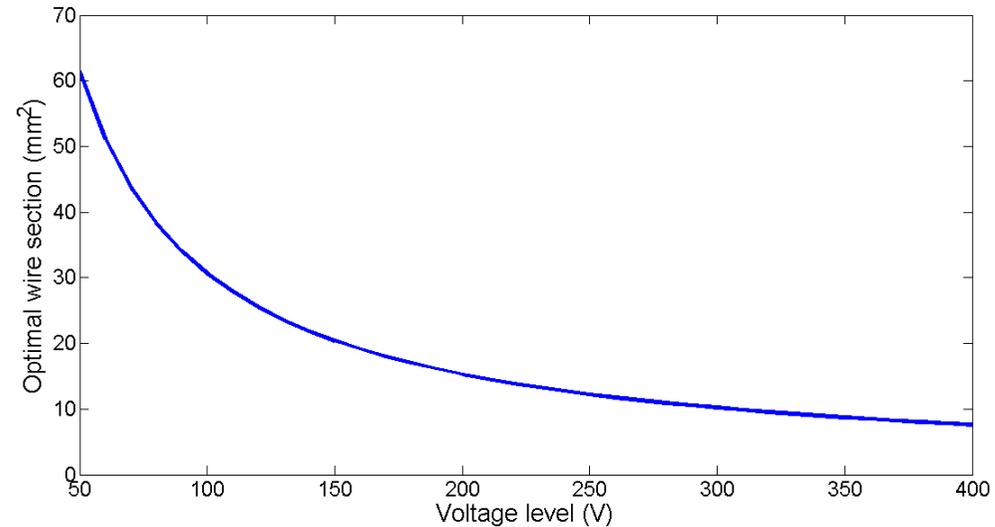
But de l'étude : trouver des critères « objectifs » pour

- comparer la distribution DC avec la distribution AC
- et rechercher l'influence du niveau de tension



Exemple de résultats sur un cas élémentaire,
contraintes d'échauffement, optimisation de la section
Influence de la tension de distribution :

Conditions :
Alimentation d'un chargeur
de Prius rechargeable
160 Wh/km
40 km/j – 20 ans
 T_{\max} isolants 70°C



Conclusion

Une modeste contribution à ce vaste champ de recherche qui s'ouvre.

L'éco-conception des systèmes électriques :
un problème qui reste à poser scientifiquement
et à décliner en sous-problèmes au-delà de
l'éco-dimensionnement sur peu de critères.

L'introduction de critères environnementaux dans la conception
des systèmes électrotechniques nous semble une nécessité,
surtout si l'on considère que l'électricité offre la capacité
d'être un vecteur essentiel du développement durable

Nécessité d'accélérer la pénétration
des modes de raisonnement sur cycle de vie
et de la compréhension des notions d'impacts environnementaux

=> **Introduction systématique dans les formations**