Soutenance de thèse- 20 juin 2012

Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome

Ing. Dhaker ABBES

Directeur de thèse: Pr. Gérard CHAMPENOIS
LIAS/ Université de Poitiers

Codirecteur de thèse : Dr. André MARTINEZ
LERPA / EIGSI La Rochelle

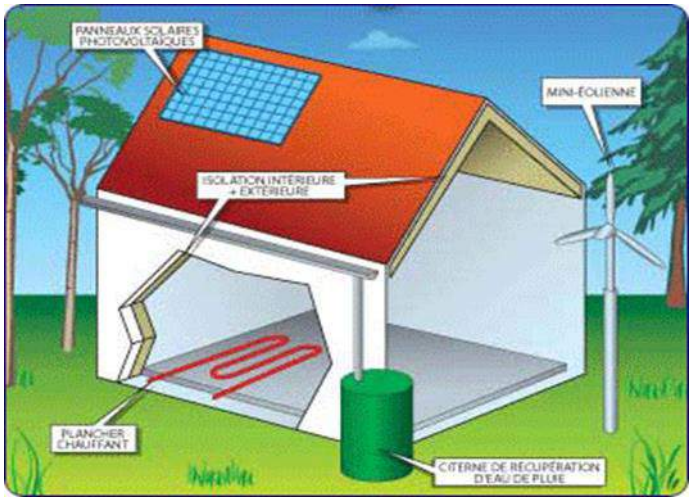
Plan

- Introduction
- Problématique
- Développement et Résultats
- Récapitulatif
- Conclusions
- Perspectives
- Publications

Contexte

- **Projet de la Région Poitou-Charente « GERENER » :**

Développer un système hybride éolien/photovoltaïque avec stockage d'énergie



- **Principaux axes de recherche abordés :**
  - **Modélisation & Simulation**
  - **Commande**
  - **Optimisation**
    - → **Gestion optimale de la production**
    - → **Minimisation du coût écologique et économique**

Motivation

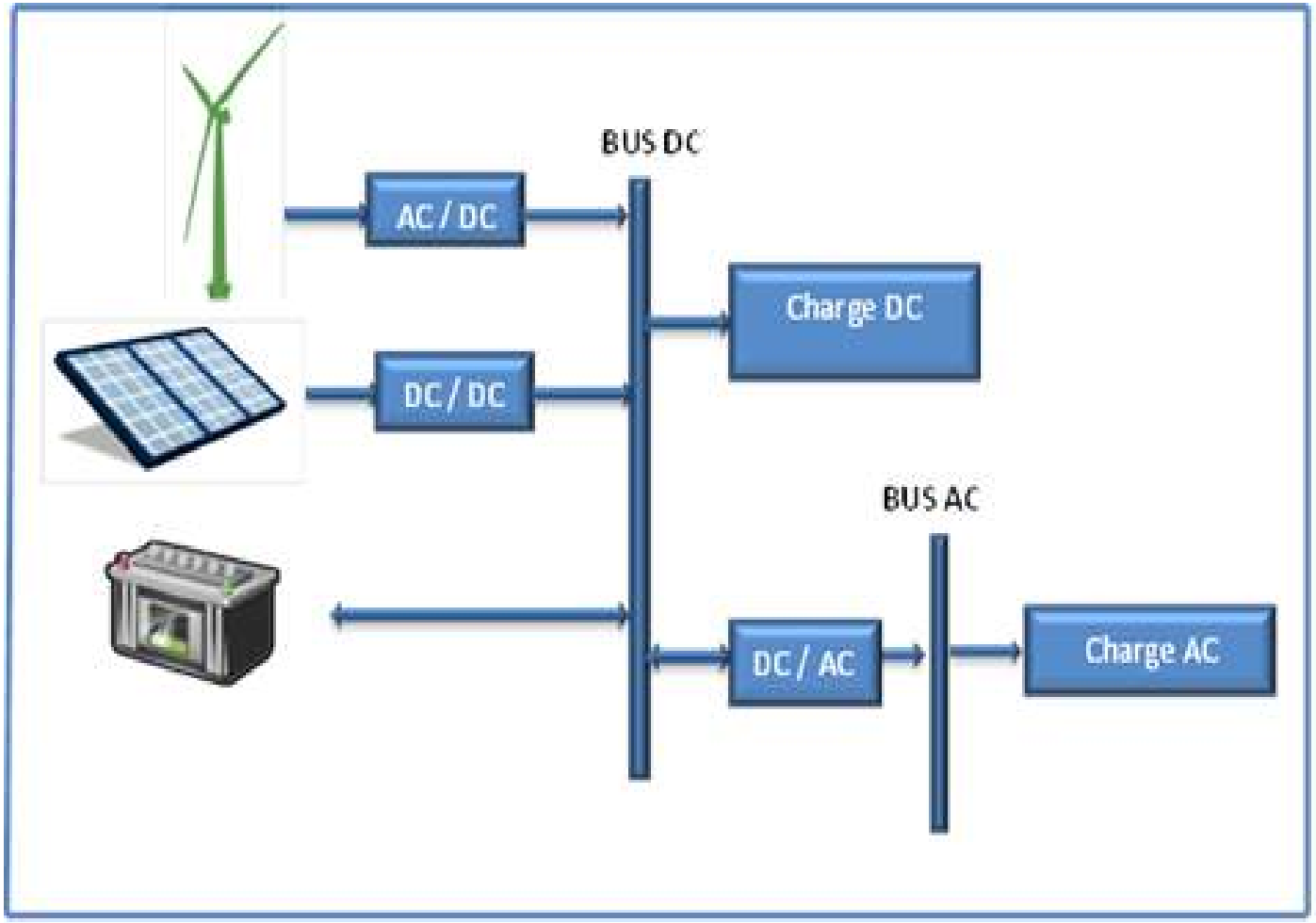
Vers des habitats résidentiels autonomes …

Plan

- Introduction
- Problématique
- Développement et Résultats
- Récapitulatif
- Conclusions
- Perspectives
- Publications

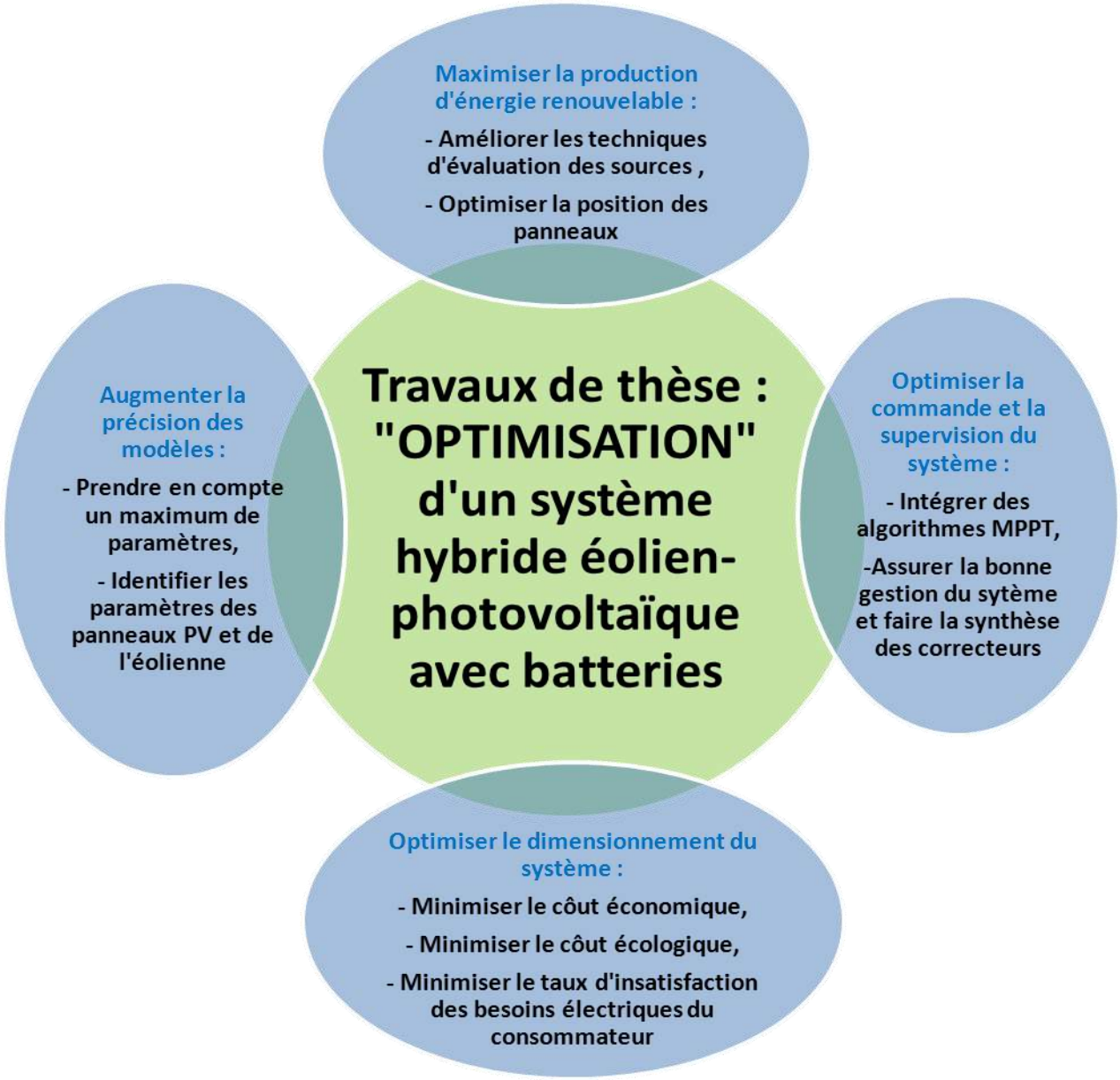
Objectif principal :

Concevoir un système hybride éolien –photovoltaïque avec batteries : modélisation, simulation et supervision en vue d'optimiser son dimensionnement



Configuration du système hybride utilisé pour les travaux de thèse

Objectifs intermédiaires



Plan

- Introduction
- Problématique
- **Développement et Résultats**
- Récapitulatif
- Conclusions
- Perspectives
- Publications

Développement et Résultats

- **Analyse bibliographique**
- **Simulation dynamique**
- **Recueil des données météorologiques**
- **Recueil des données de consommations**
- **Influence de la période d'acquisition des données**
- **Modélisation et simulation du système**
- **Optimisation du dimensionnement**

Analyse bibliographique

Des contributions sur le dimensionnement global du système :

- Les méthodes conventionnelles

Approche « Ampère heure »

Approche énergétique avec programmation linéaire

+ simples à mettre en œuvre , - lentes ,

- choix du nombre de jours d'autonomie.

- Les méthodes à base de simulations dynamiques

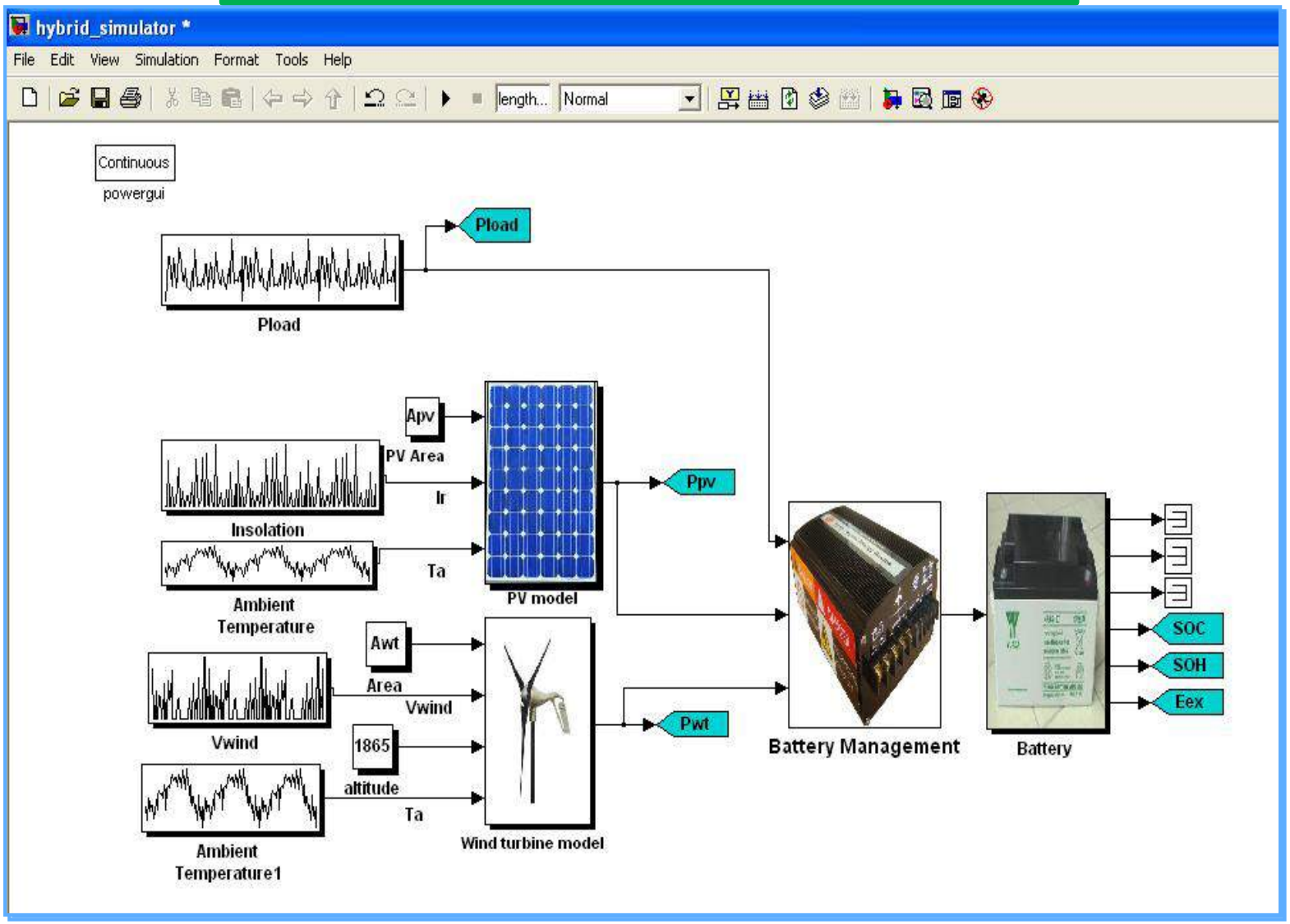
+ + prise en compte du profil temporel des sources et de la consommation,

- complexes.

Développement et Résultats

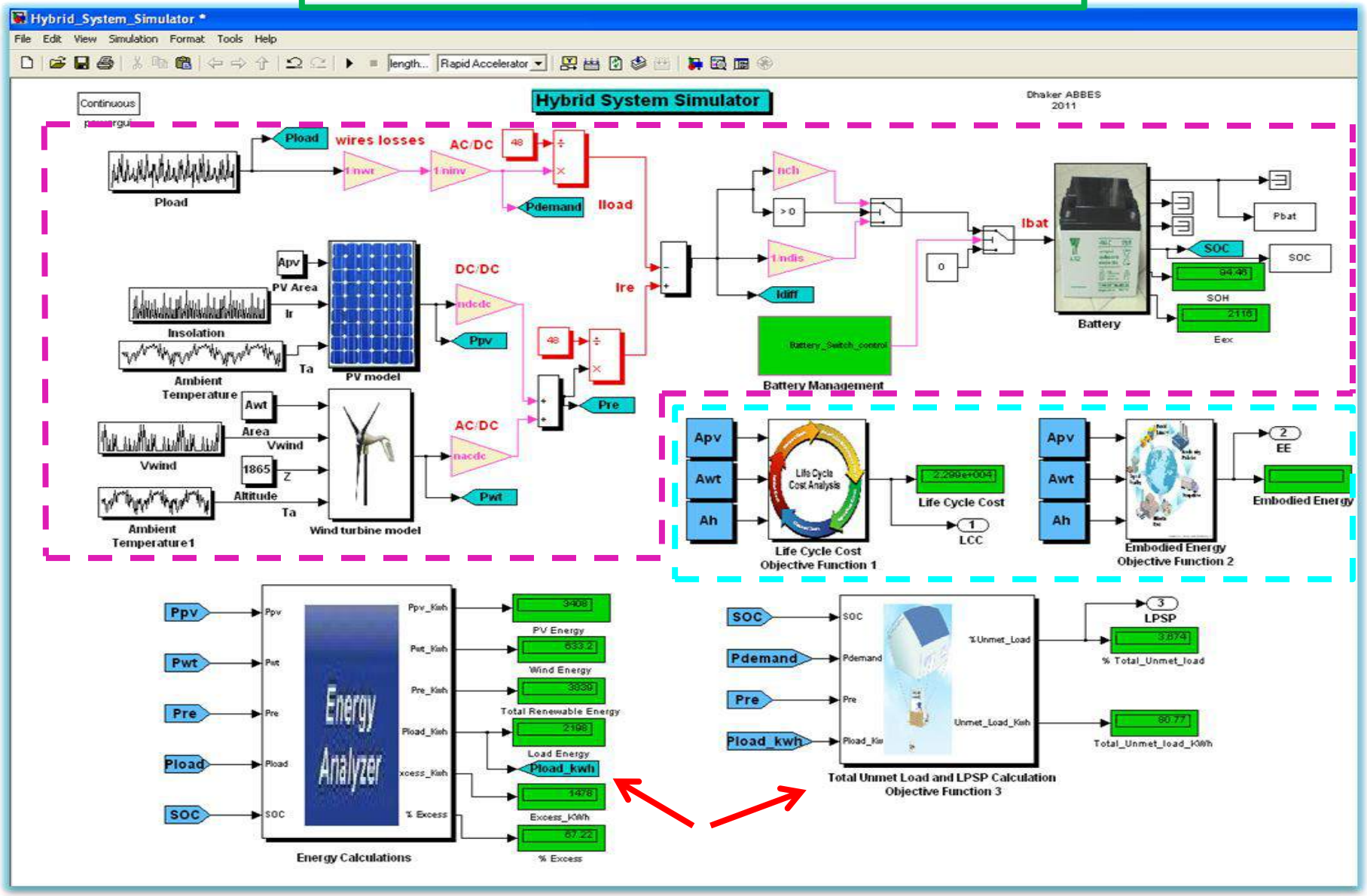
- Analyse bibliographique
- Simulation dynamique
- Recueil des données météorologiques
- Recueil des données de consommations
- Influence de la période d'acquisition des données
- Modélisation et simulation du système
- Optimisation du dimensionnement

Simulation dynamique du système



➡ **Simulation de l'état du système en fonction du temps avec prise en compte des limites des composants (SOC batteries)**

Simulation dynamique du système



Modélisation détaillée sous Matlab/Simulink du système hybride éolien-photovoltaïque avec batteries

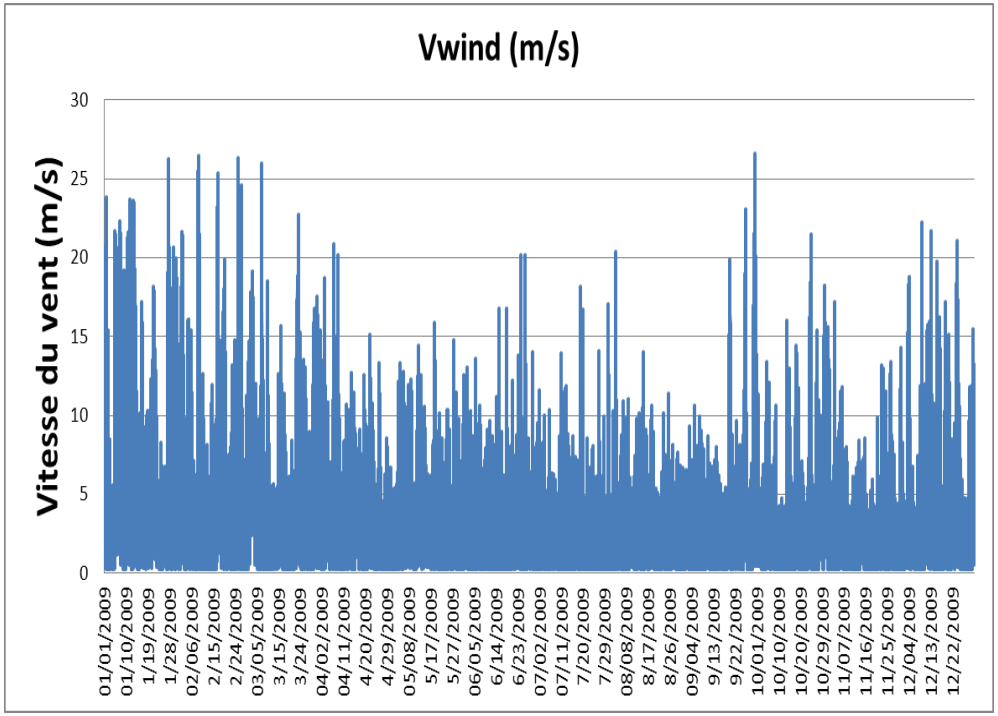
Développement et Résultats

- Analyse bibliographique
- Simulation dynamique
- Recueil des données météorologiques
- Recueil des données de consommations
- Influence de la période d'acquisition des données
- Modélisation et simulation du système
- Optimisation du dimensionnement

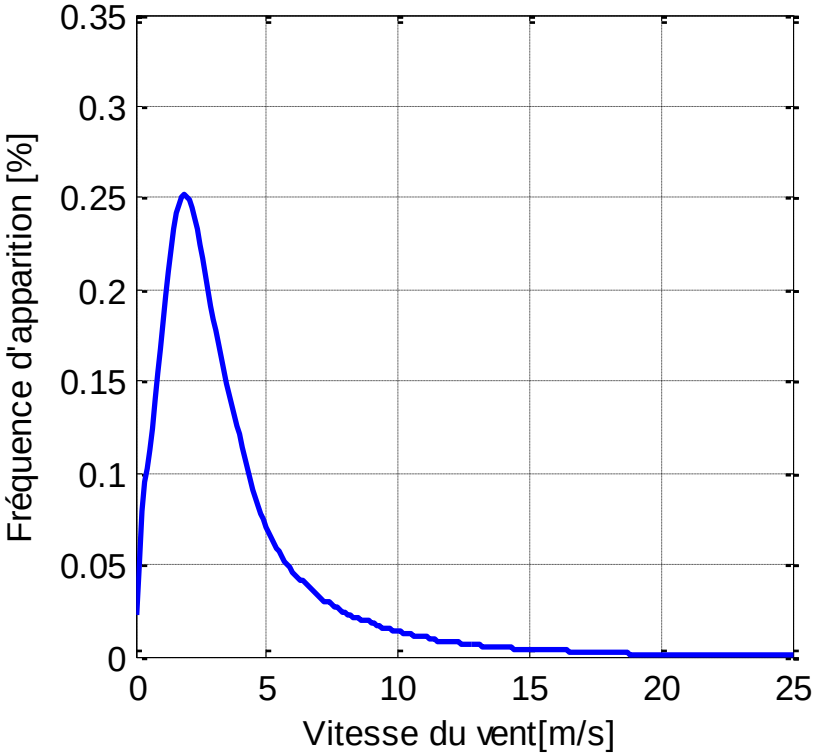
Recueil des données météorologiques

- **Données réelles du centre technologique éolien (National Wind Technology Center) du Colorado aux Etats Unis.**

Données du vent



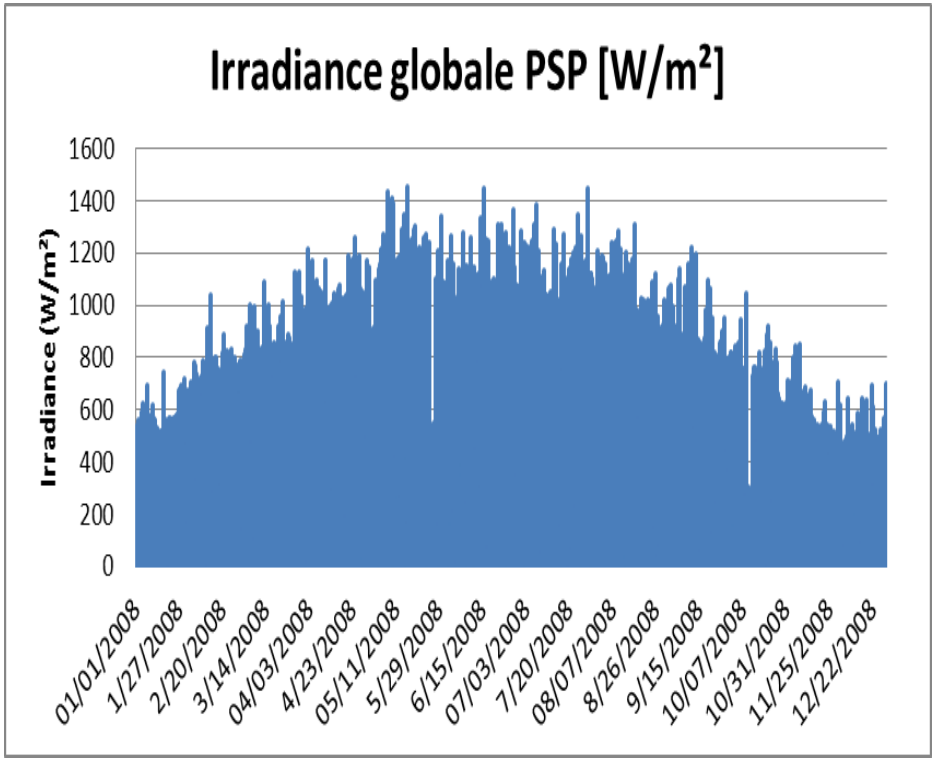
Vitesse du vent [m/s] enregistrée au cours de l'année 2009



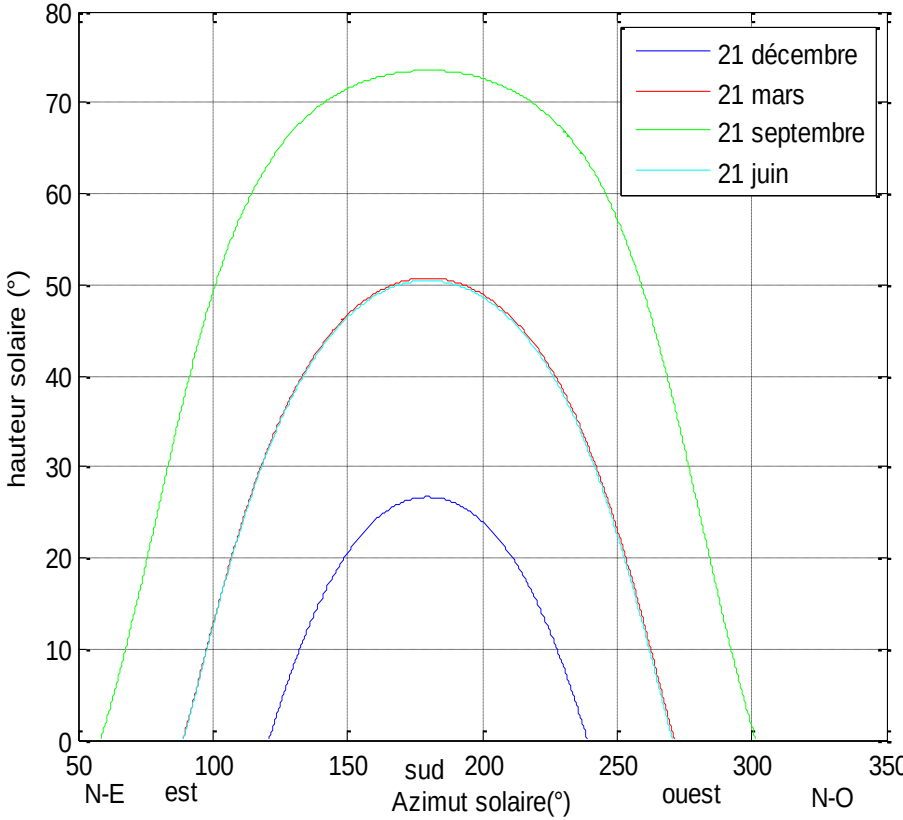
Distribution de la vitesse du vent pour l'année 2009

Recueil des données météorologiques

Donnés d'irradiance



Irradiance globale PSP [W/m²] enregistrée au cours de l'année 2008

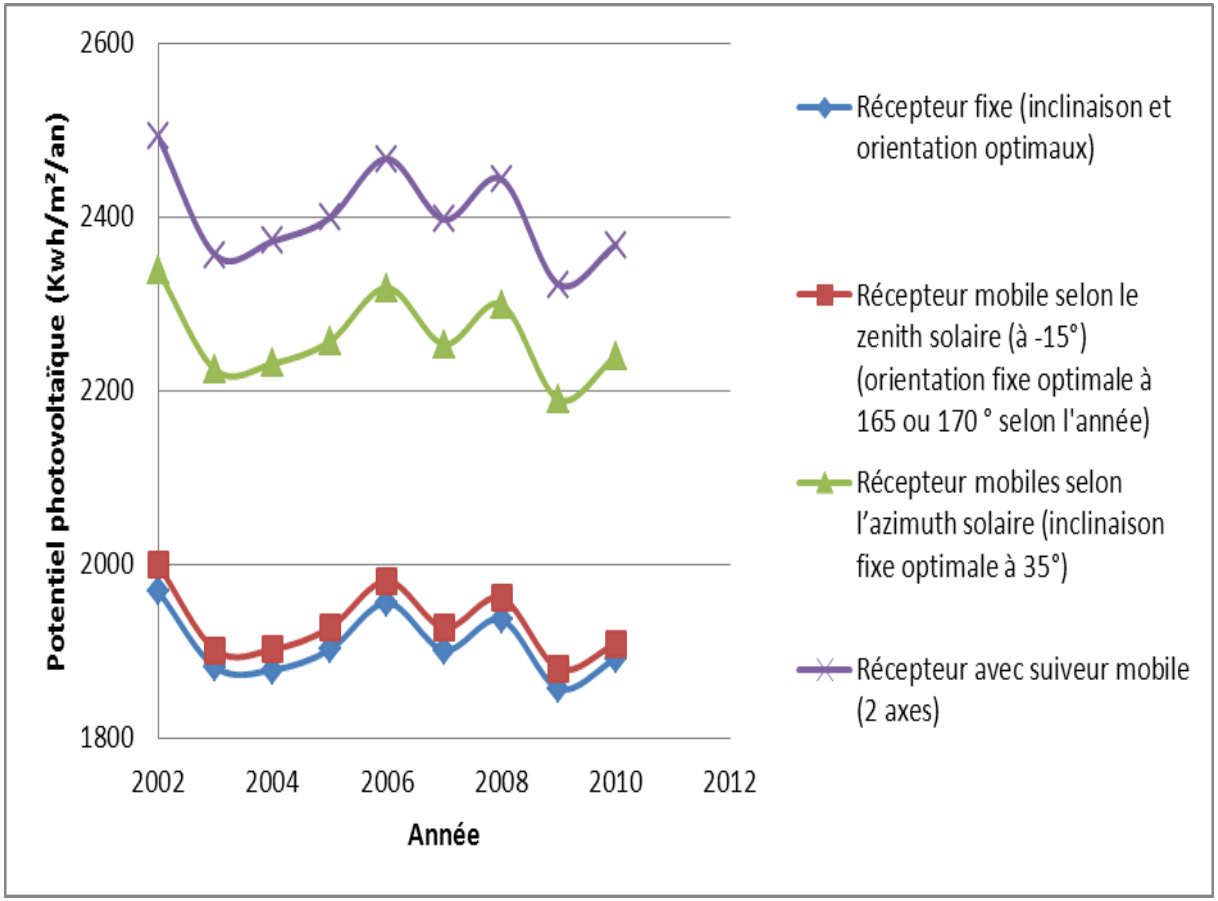


Hauteur du soleil en fonction de l'azimut solaire pour différents jours de l'année

Recueil des données météorologiques

Données d'irradiance

Estimation de la production photovoltaïque en fonction de l'orientation et de l'inclinaison



Evolution du potentiel photovoltaïque des années de 2002 à 2010

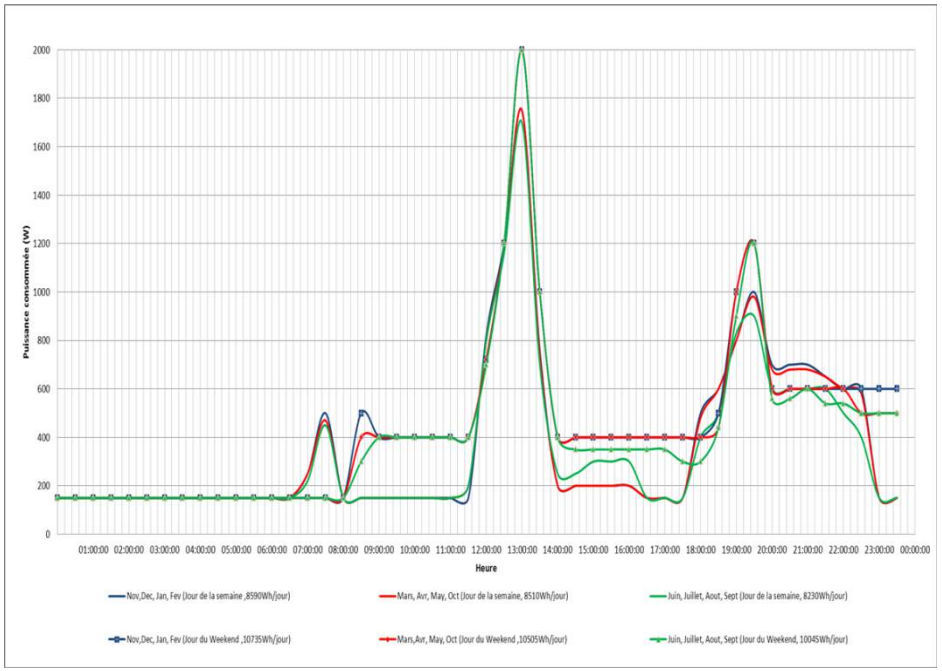
- **Plus rentable de faire un tracking selon l'azimut ou autour des deux axes.**

Développement et Résultats

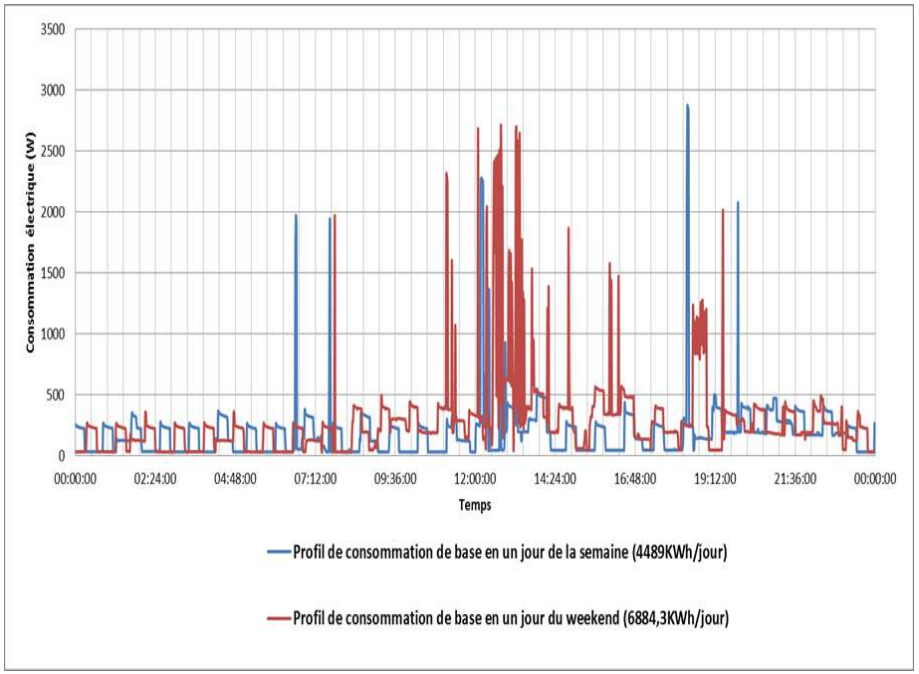
- Analyse bibliographique
- Simulation dynamique
- Recueil des données météorologiques
- Recueil des données de consommations
- Influence de la période d'acquisition des données
- Modélisation et simulation du système
- Optimisation du dimensionnement

Recueil des données de consommation

- **Deux profils de consommation pour un foyer type de 4 personnes : synthétisé et mesuré**



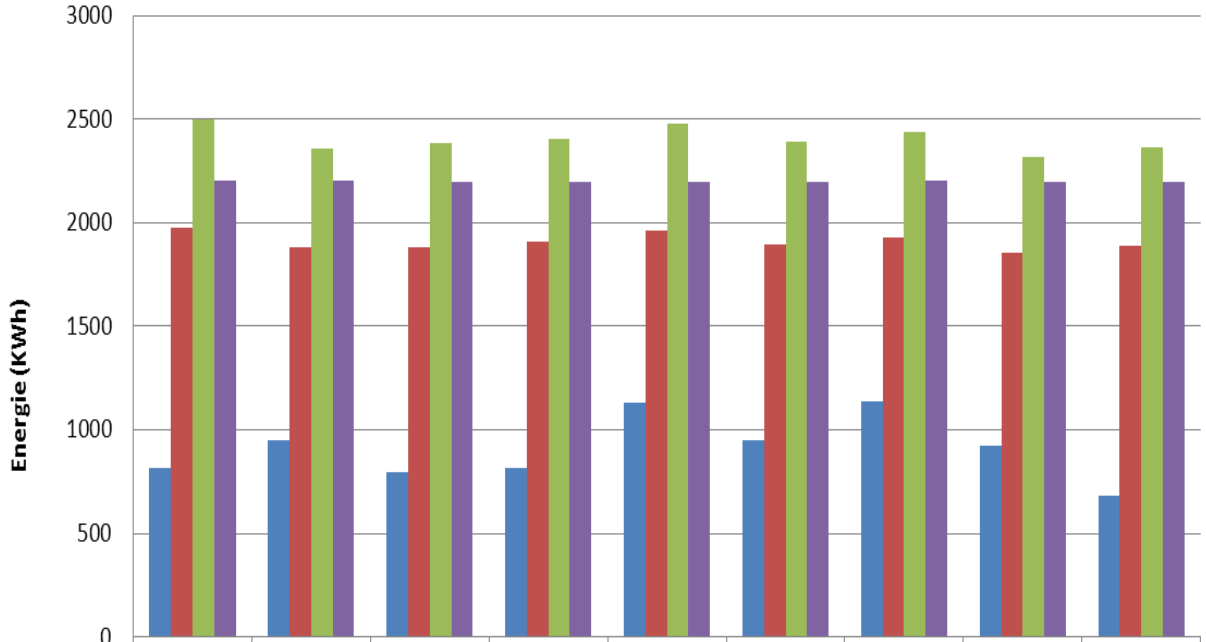
Modèles des profils de consommation journaliers établis pour l'habitat résidentiel considéré en fonction de l'heure, de la saison, jour de semaine ou weekend



Profils de consommations journalière de base enregistrés dans l'habit résidentiel en fonction du temps pour un jour de semaine et un jour de weekend

Receuil des données météorologiques et de consommation

Evaluation des différents potentiels énergétiques en fonction des années à partir de données mi-horaires



	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Potentiel éolien (Kwh/m²/an)	818,38	948,21	794,14	815,67	1130,9	949,27	1135,9	919,83	683,49
Potentiel photovoltaïque, panneaux fixes, inclinaison 35° et orientation 170° (KWh/m²/an)	1974,3	1881,23	1881,11	1906,85	1964,94	1893,24	1931,1	1852,4	1889,68
Potentiel photovoltaïque, panneaux mobiles (KWh/m²/an)	2499,87	2357,81	2380,97	2401,7	2480,61	2389,28	2437,95	2318,18	2364,33
Consommation électrique (KWh/an)	2202	2202	2199	2197	2198,5	2198,4	2205,3	2199	2193,9

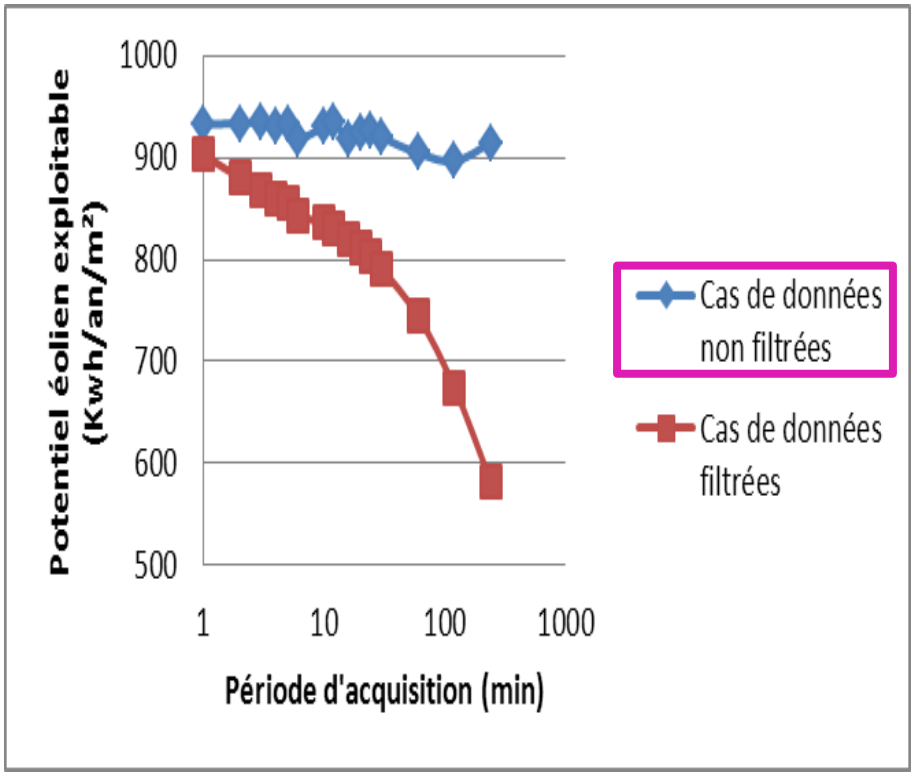
- **Potentiel photovoltaïque (kWh/m²/an) plus important que le potentiel éolien par m²/an sur le site considéré.**

Développement et Résultats

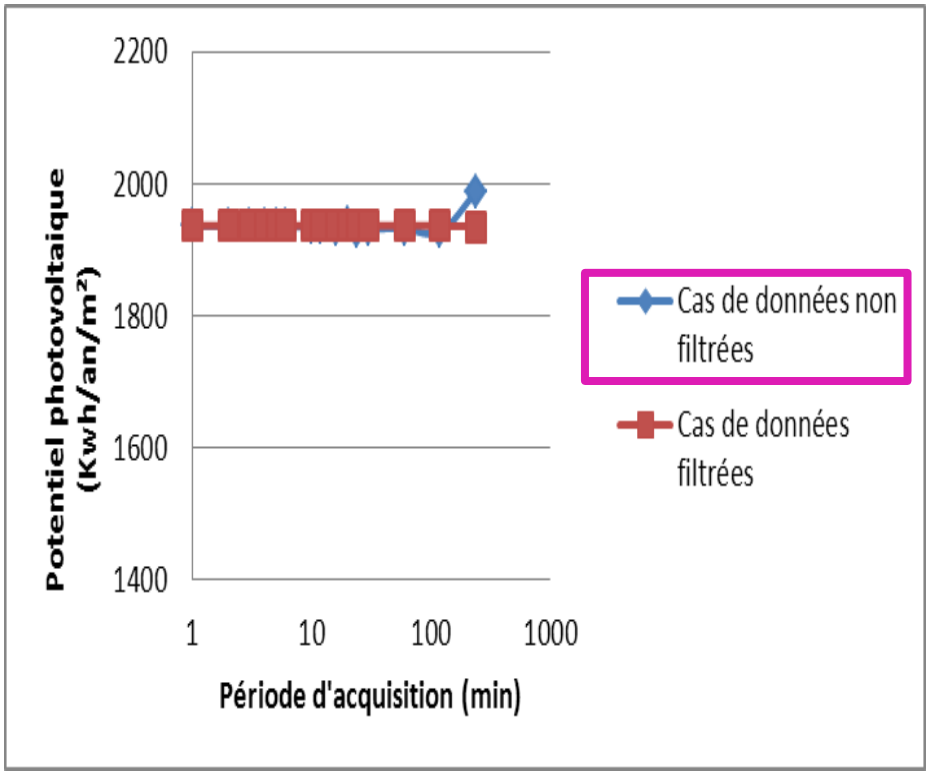
- Analyse bibliographique
- Simulation dynamique
- Recueil des données météorologiques
- Recueil des données de consommations
- Influence de la période d'acquisition des données
- Modélisation et simulation du système hybride
- Optimisation du dimensionnement

Influence de la période d'acquisition des données

Cas de la vitesse du vent et de l'irradiance solaire



Evolution de l'énergie du vent estimée en 2009 en fonction de la période d'acquisition

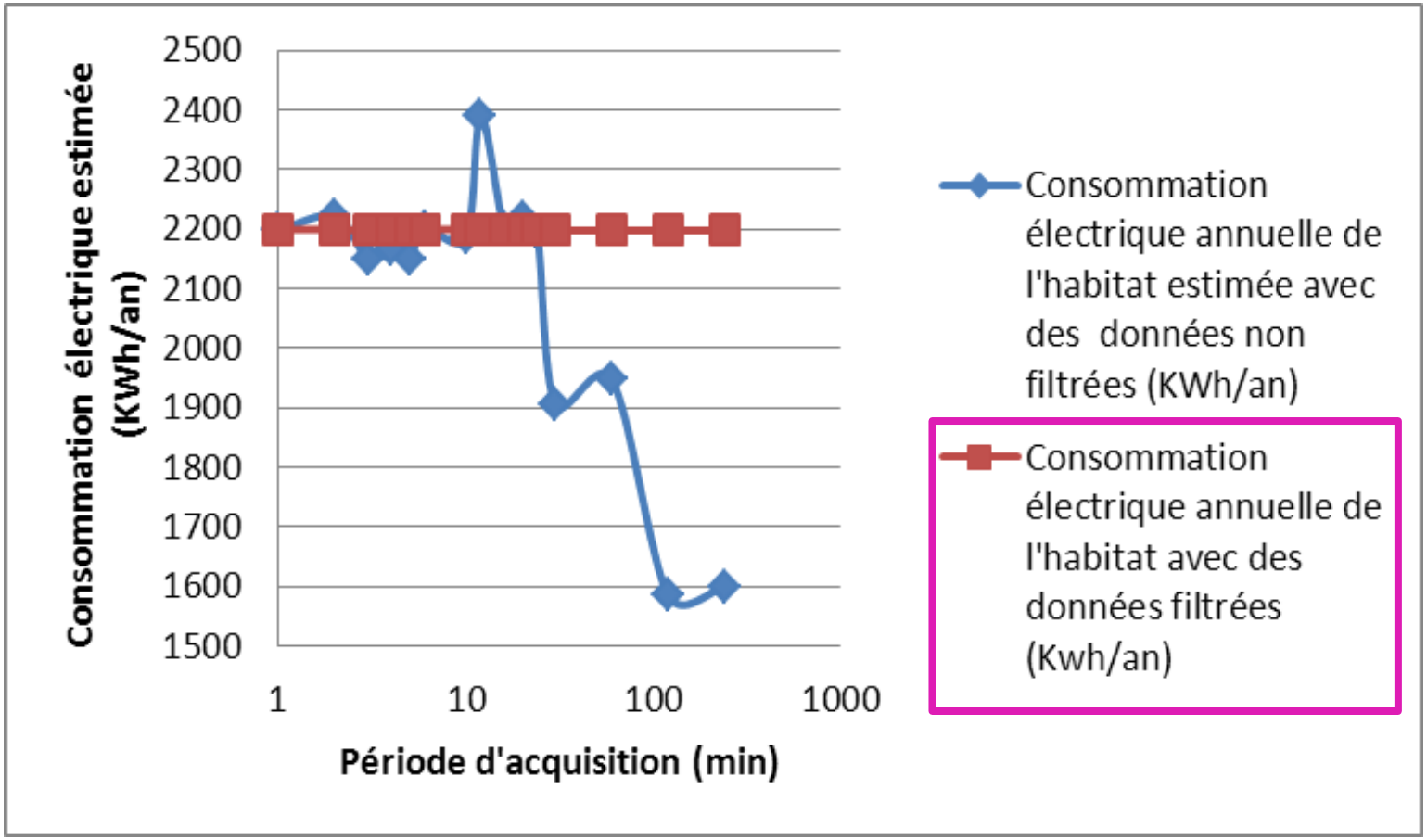


Evolution de l'irradiation solaire estimée en 2008 en fonction de la période d'acquisition de l'irradiance

- **Suffisance d'utiliser des données horaires ou mi- horaires du vent et de l'ensoleillement.**

Influence de la période d'acquisition des données

Cas de la consommation



Evolution de la consommation électrique de l'habitat durant l'année 2009 en fonction de la période d'acquisition de la charge.

- **Obligation d'utiliser des données filtrées de manière à avoir une consommation annuelle égale à celle avec des acquisitions à la minute.**

Développement et Résultats

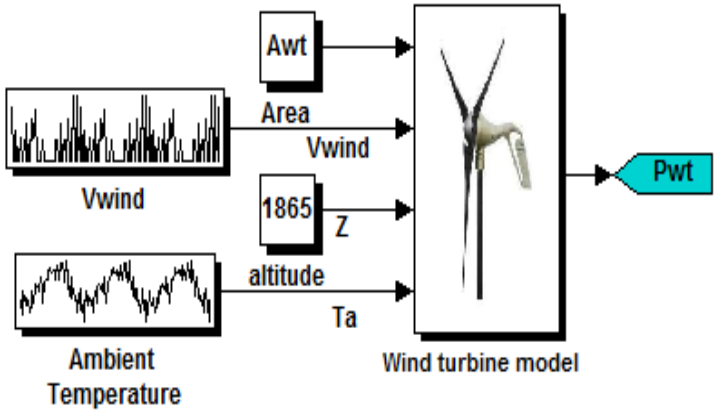
Modélisation et simulation du système hybride

- **Modélisation énergétique du système**
- **Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries**
- **Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai**
- **Modélisation économique et environnementale du système**
- **Simulation d'une configuration hybride**
- **Influence du profil de consommation**

Modélisation énergétique du système

Modèle de l'éolienne

$$Pwg = Cp \times \eta gb \times \eta g \times \frac{1}{2} \times \rho \times Awt \times V^3$$
$$= \eta t \times \frac{1}{2} \times \rho \times Awt \times V^3$$

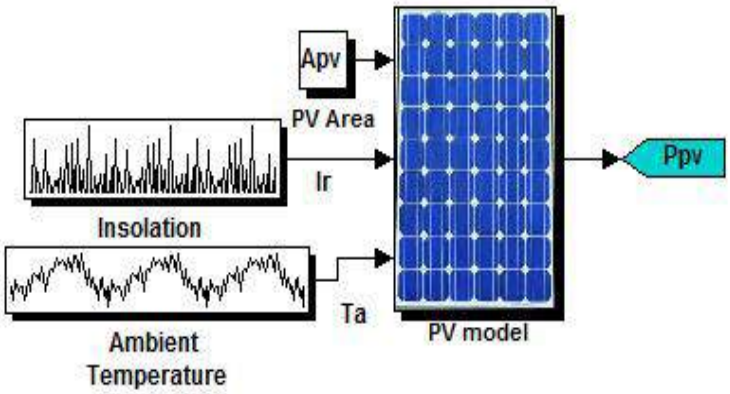


Modèle du générateur photovoltaïque

$$Ppv = \eta pv \times Apv \times Ir$$

ηpv: rendement global du module, il est donné par :

$$\eta pv = \eta r \times \eta pc \times [1 - \beta_t(Tc - TNOCT)]$$



Etages de conversion représentés par des gains

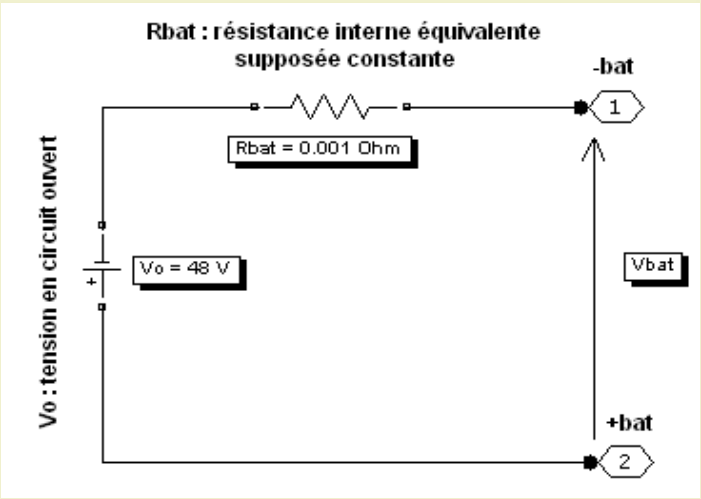
Possibilité d'expliciter leur dépendance par rapport à la puissance transitée :

$$\eta_{conv} = \frac{Pout}{Pin} = \frac{\alpha + \beta \times Pin + \gamma \times Pin^2}{Pin}$$

Modélisation énergétique du système

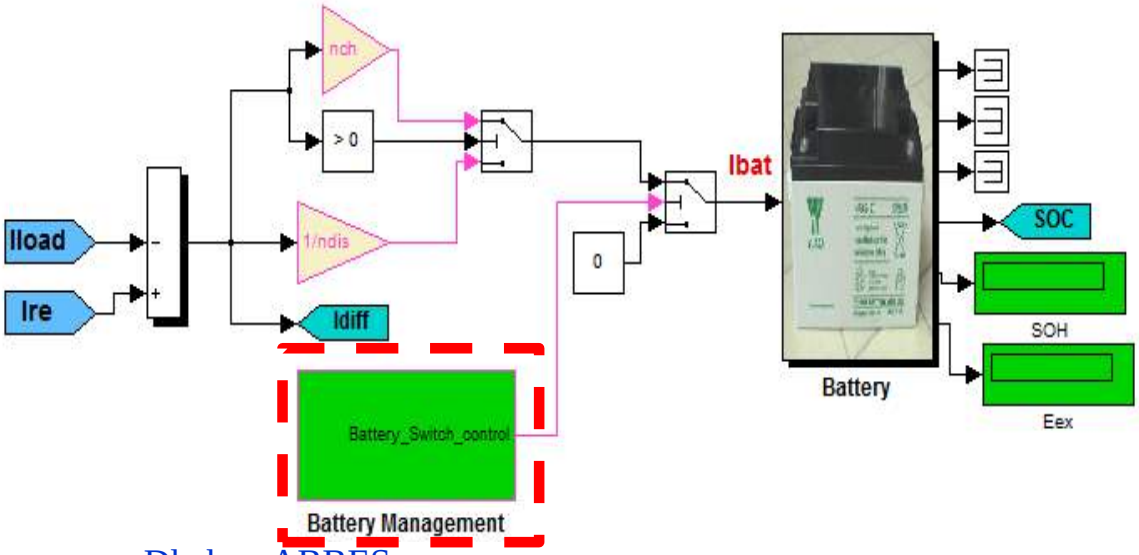
Modèle du banc de stockage (banc de batteries)

- **Modèle de tension**
- **Modèle de vieillissement, détermination du nombre de remplacements : SOH**
- **Modèle énergétique du banc de batteries, établissement de son état de charge :** $SOCmin \leq SOC(t) \leq SOCmax$



Modèle idéal d'une batterie Plomb-acide

Nécessité d'un système de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries.



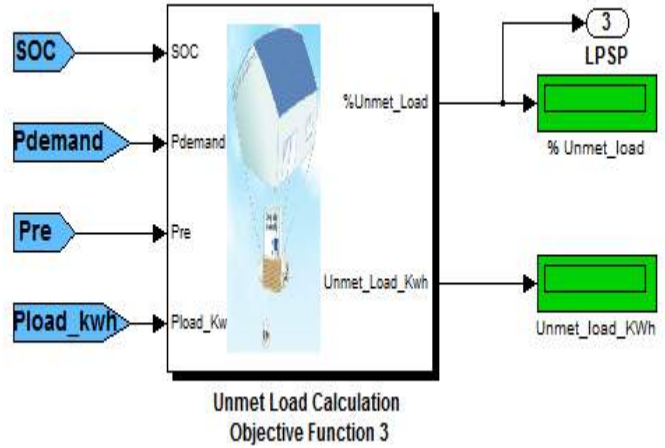
Modélisation énergétique du système

Probabilité d'insatisfaction de la demande (en anglais : « Loss of Power Supply Probability LPSP »

$$LPSP[\%] \ : \ Pr\{Pre \leq Pdemand \ et \ SOC(t) \leq SOCmin \ \}$$

$$LPSP(\%) = \frac{\sum_{\Delta t=1}^{T} DE(\Delta t, Apv, Awt, Cn) \times \Delta t}{\sum_{\Delta t=1}^{T} Pload(\Delta t) \times \Delta t}$$

$$DE(\Delta t, Apv, Awt, Cn) = |Pre(\Delta t, Apv, Awt, Cn) - Pdemand(\Delta t)|$$

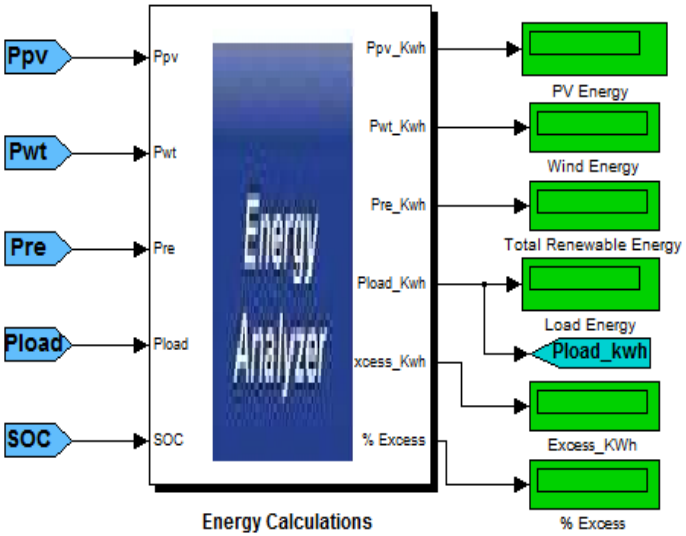


Probabilité d'excès de production

$$EP[\%] : \ Pr\{Pre \ \geq \ Pdemand \ et \ SOC(t) \geq SOCmax \}$$

$$\mathrm{E}P(\%) = \frac{\sum_{\Delta t=1}^{T} E(\Delta t, Apv, Awt, Cn) \times \Delta t}{\sum_{\Delta t=1}^{T} Pload(\Delta t) \times \Delta t}$$

$$E(\Delta t, Apv, Awt, Cn) = Pre(\Delta t, Apv, Awt, Cn) - Pdemand(\Delta t)$$

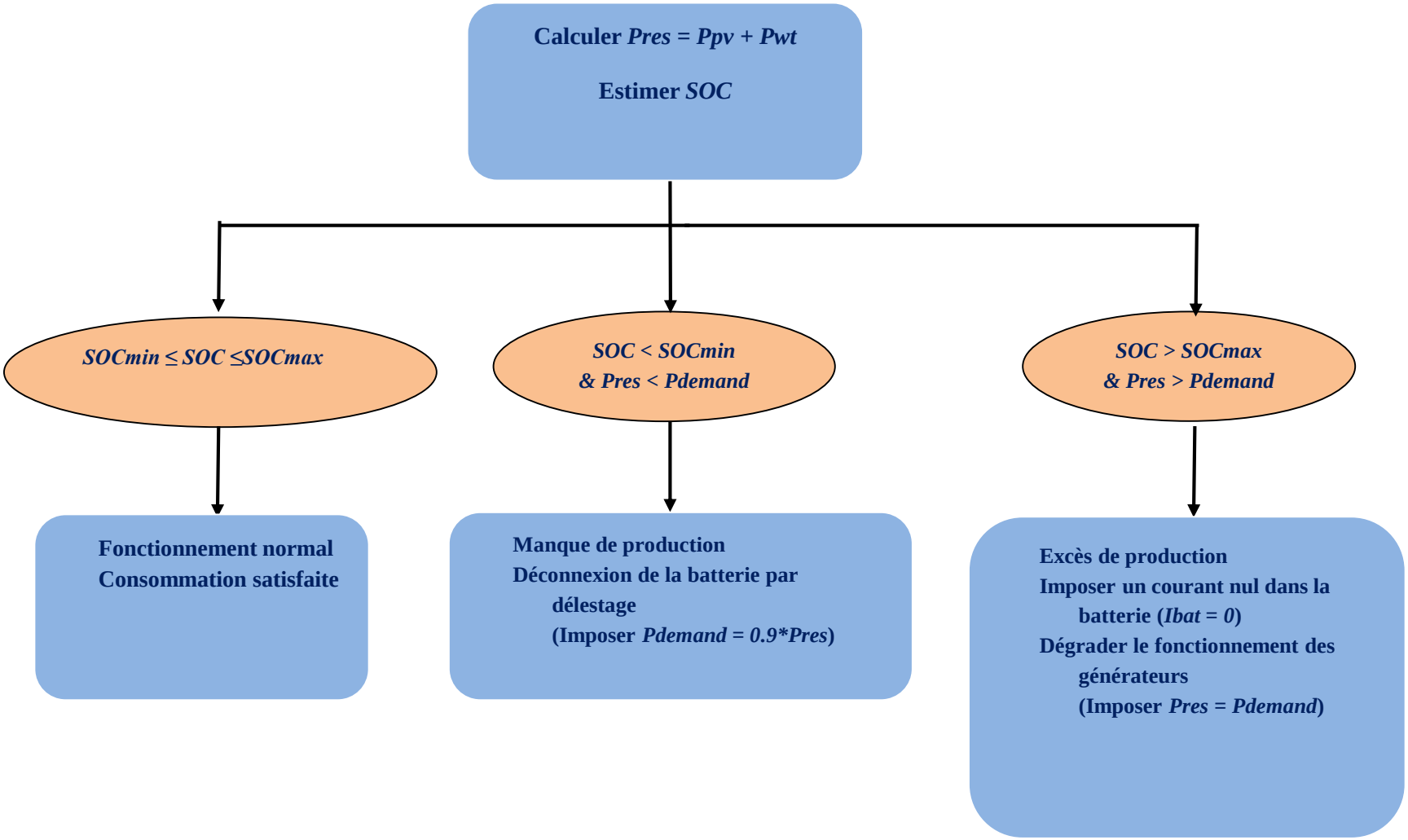


Développement et Résultats

Modélisation et simulation du système hybride

- Modélisation énergétique du système
- Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries
- Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai
- Modélisation économique et environnementale du système
- Simulation d'une configuration hybride
- Influence du profil de consommation

Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries



Organigramme de la méthode de supervision proposée

Développement et Résultats

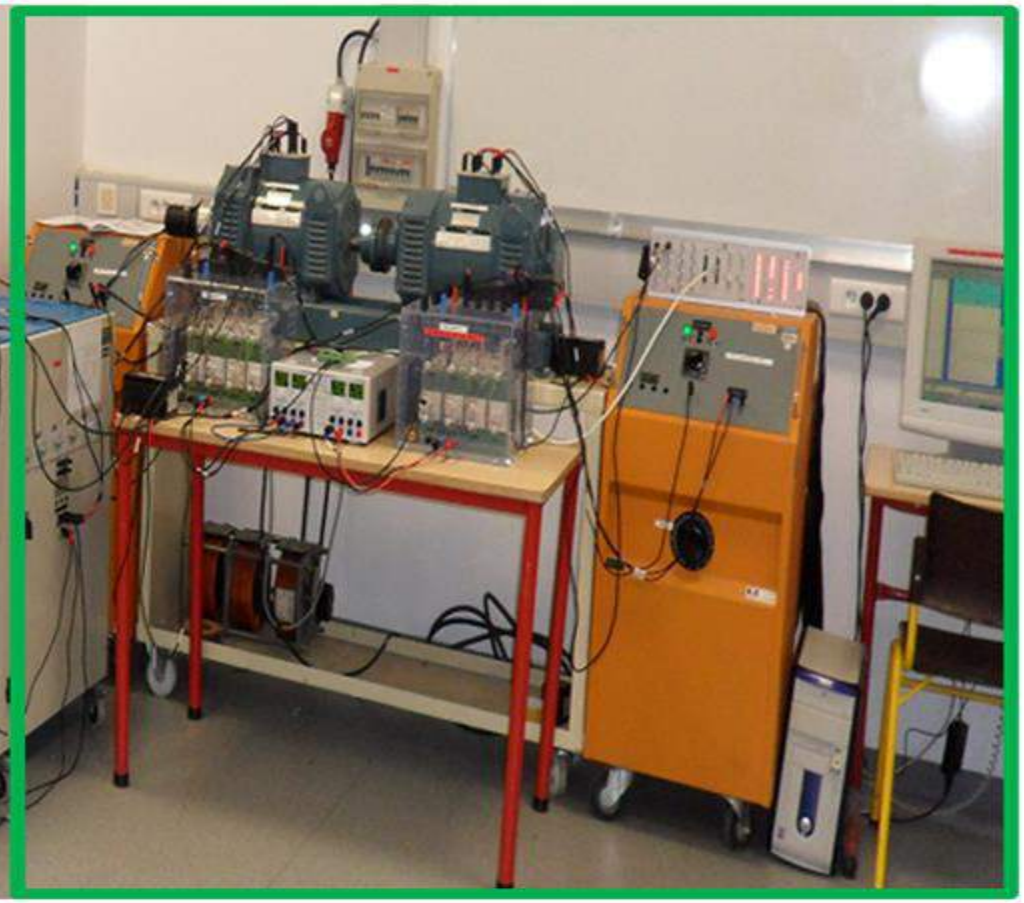
Modélisation et simulation du système hybride

- Modélisation énergétique du système
- Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries
- Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai
- Modélisation des paramètres de la balance énergétique
- Modélisation économique et environnementale du système
- Simulation d'une configuration hybride
- Influence du profil de consommation

Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries

Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai

Description du banc



Simulateur photovoltaïque

Simulateur éolien

Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries

Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai

Description du banc

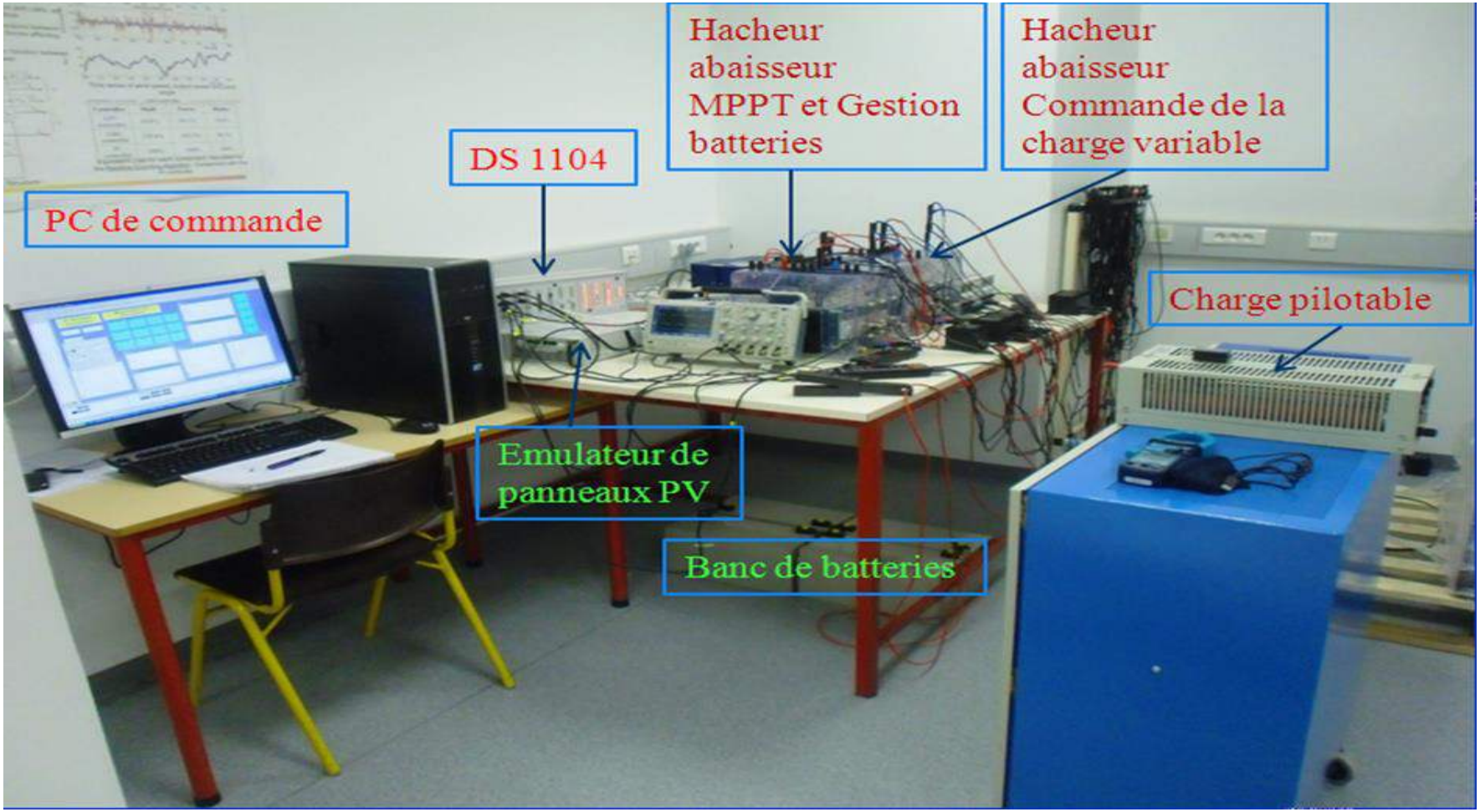


Photo du simulateur solaire photovoltaïque mis en place en laboratoire

Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries

Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai

Description du banc

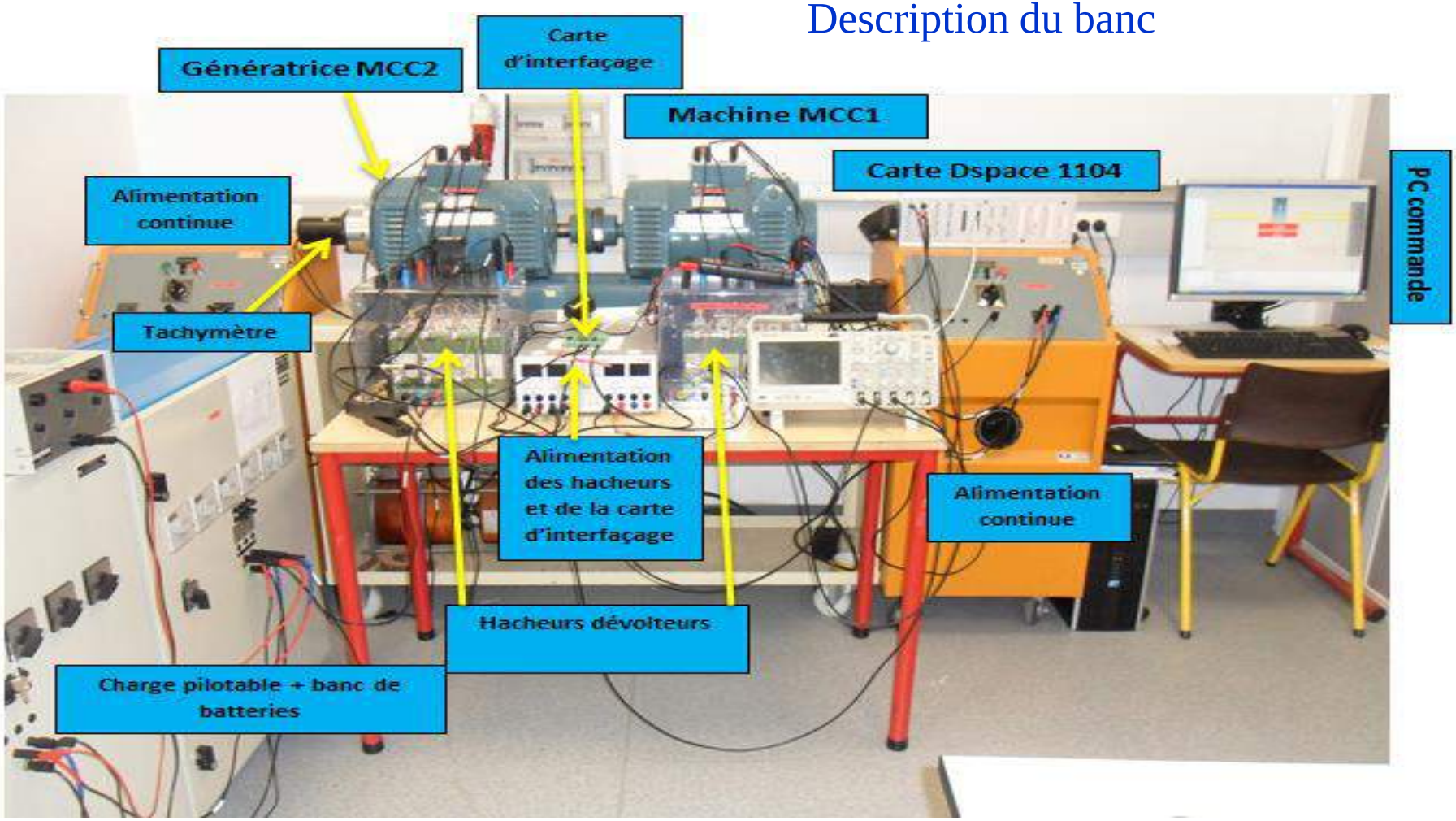


Photo du simulateur éolien mis en place en laboratoire

Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai

Apports du banc

- Emulation en laboratoire du comportement d'un système hybride éolien photovoltaïque avec batteries,

- Développement d'une nouvelle stratégie de supervision basée sur le contrôle des courants et l'estimation de l'état de charge des batteries,

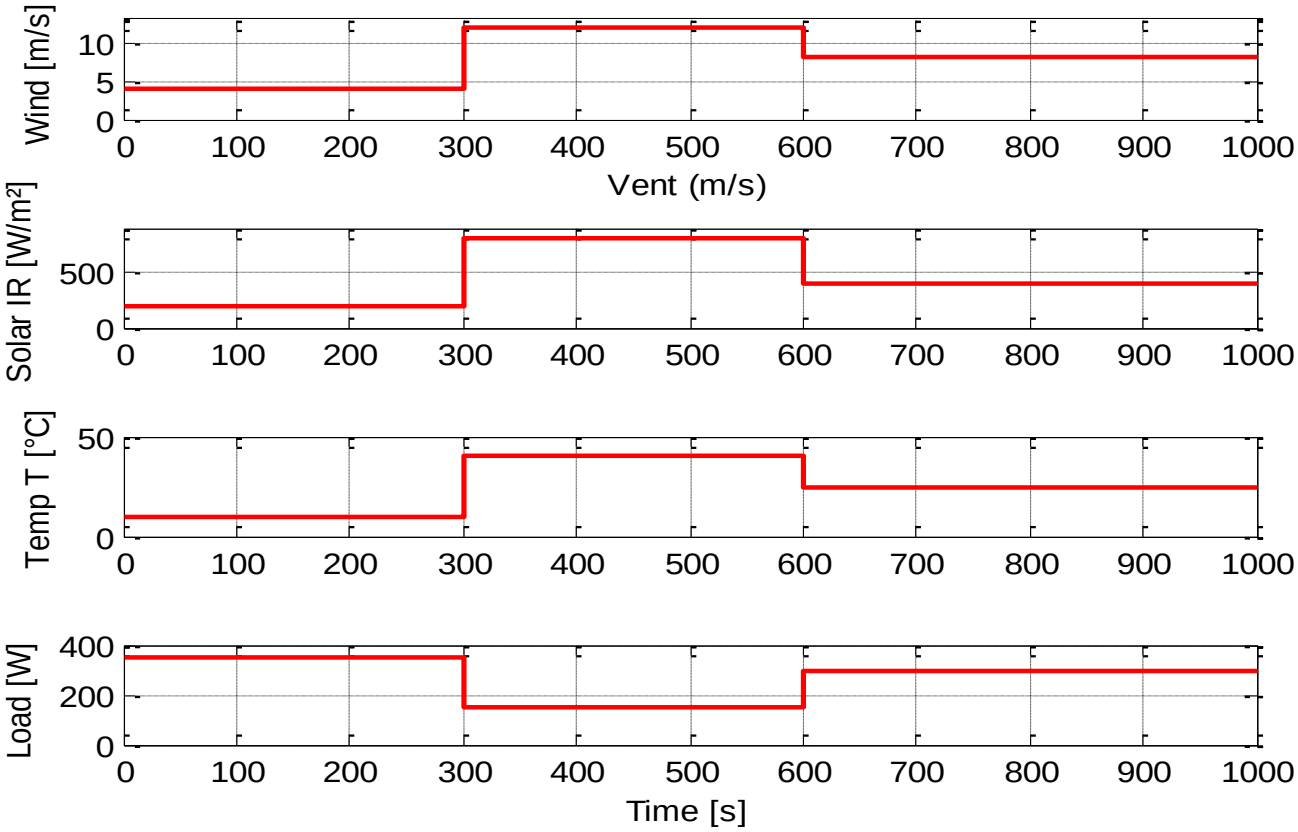
- Possibilité d'étudier l'influence de la charge variable, l'équilibre entre les puissances renouvelables et les limites de fonctionnement,

- Possibilité de tester différentes architectures.

Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries

Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai

Résultats

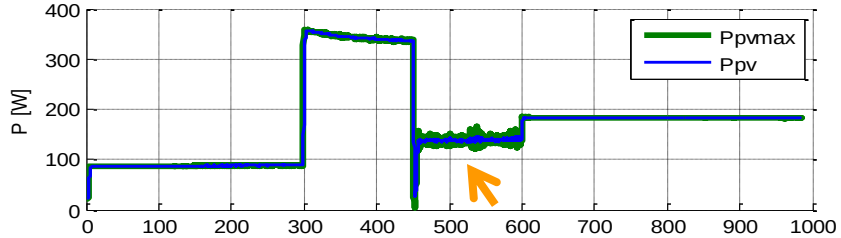


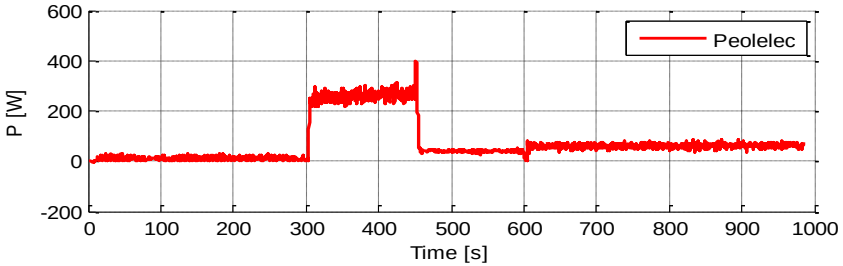
Evolution des données d'entrée (vent, température, irradiation et consommation) en fonction du temps pour la validation de la technique de supervision

Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries

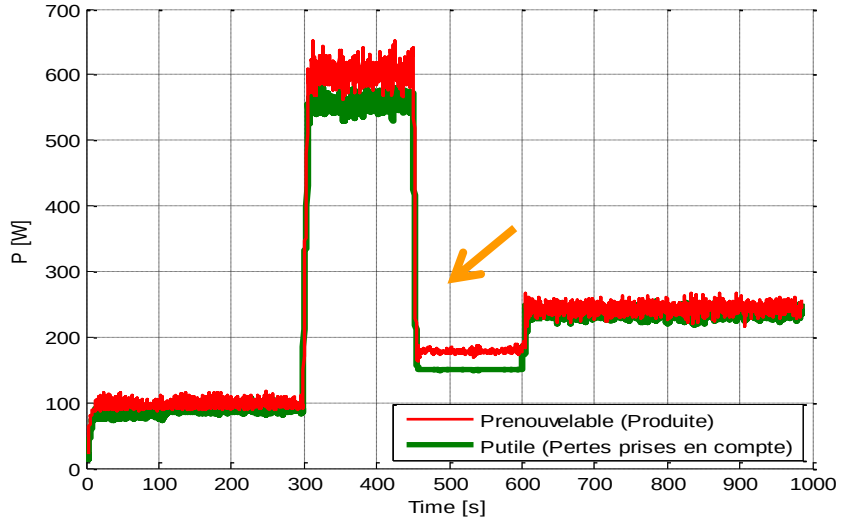
Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai

Résultats

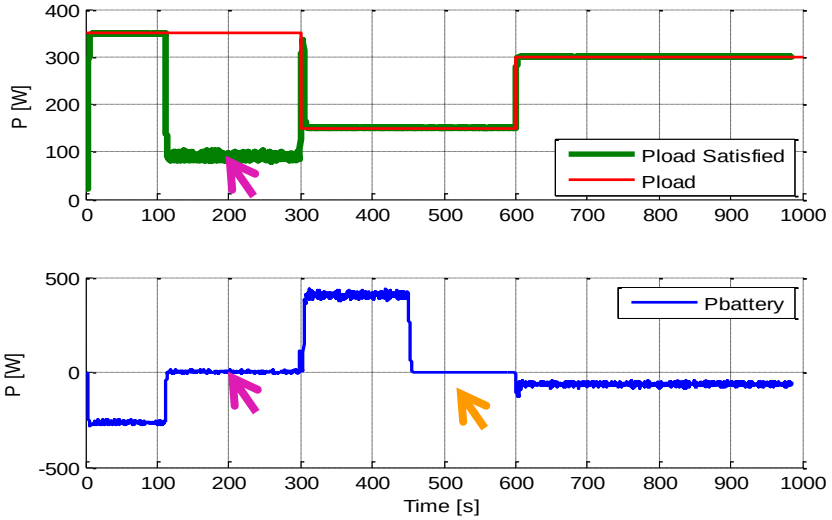




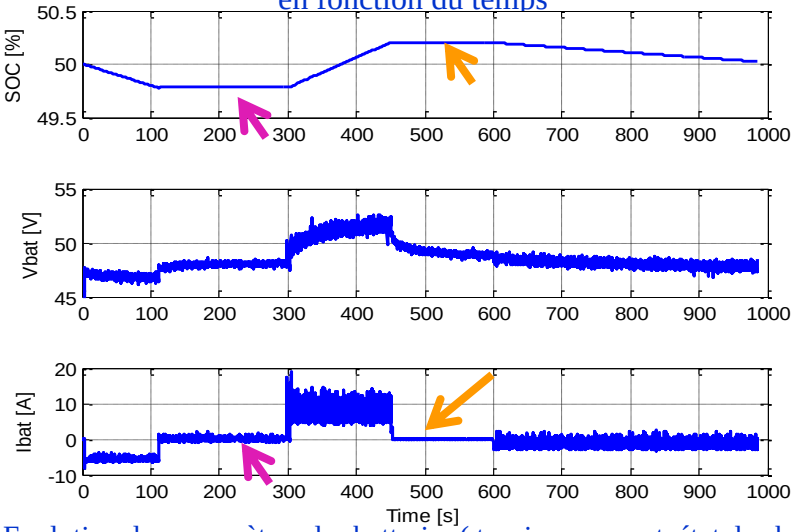
Puissances renouvelables produites en fonction du temps



Bilan des puissances en fonction du temps



Evolution de la puissance de la charge et des batteries en fonction du temps



Evolution des paramètres des batteries (tension, courant, état de charge) en fonction du temps

Développement et Résultats

Modélisation et simulation du système hybride

- Modélisation énergétique du système
- Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries
- Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai
- Modélisation économique et environnementale du système
- Simulation d'une configuration hybride
- Influence du profil de consommation

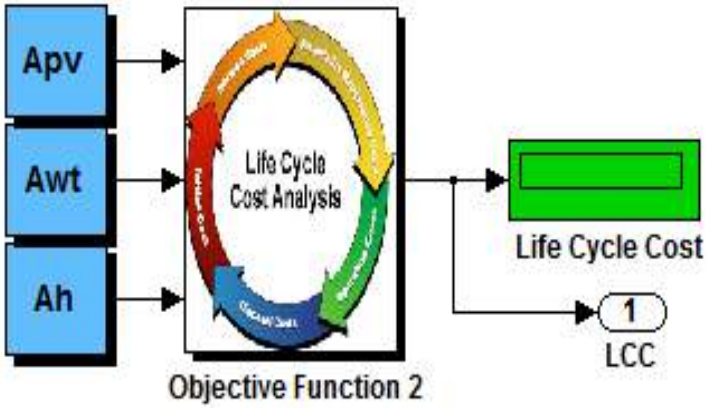
Modélisation économique et environnementale du système

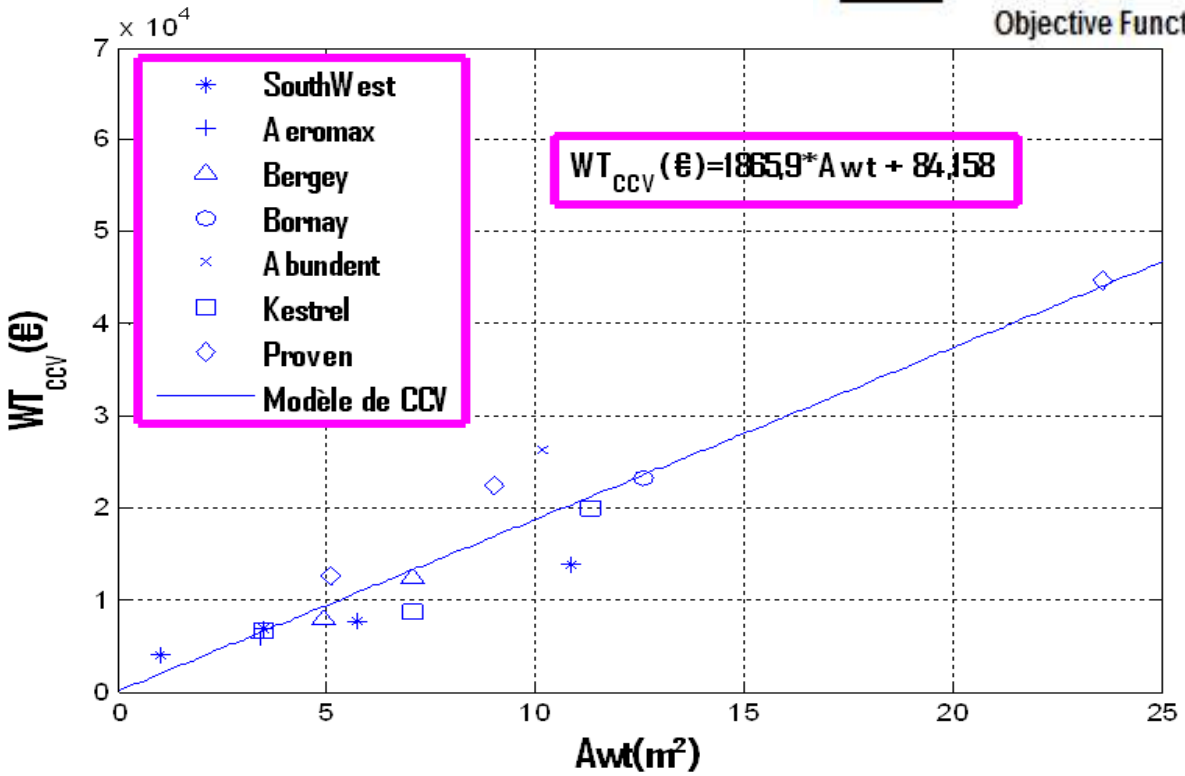
Evaluation économique

- **Concept du coût du cycle de vie (CCV)**

(en anglais : Life Cycle Cost ou LCC) [€]

$$CCV = Co + Cinst + CCmaint + CCreplace$$

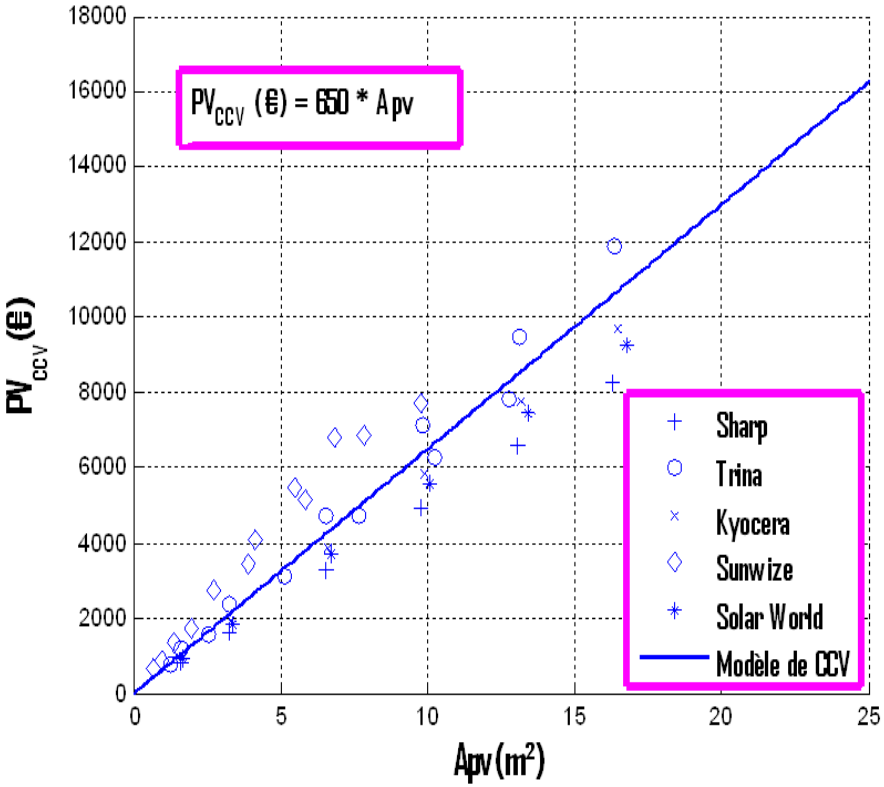




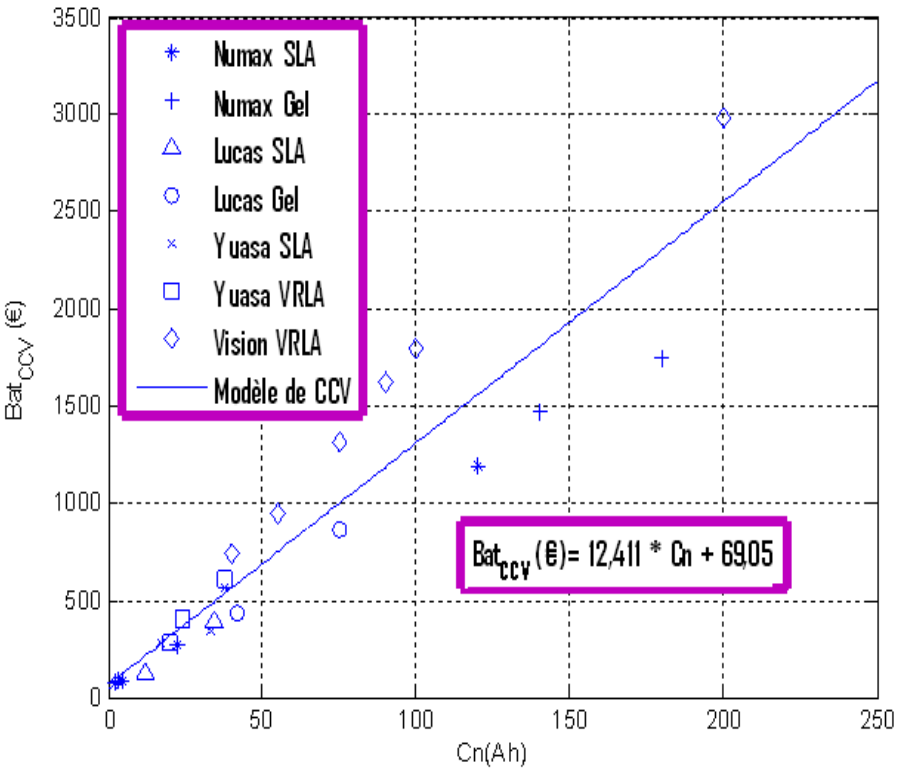
Evolution du coût du cycle de vie des éoliennes choisies (WT_{CCV}) en fonction de la surface balayée par leurs rotors (*Awt*)

Modélisation économique et environnementale du système

Evaluation économique



Evolution du coût du cycle de vie de différentes installations photovoltaïques en fonction de la surface des panneaux

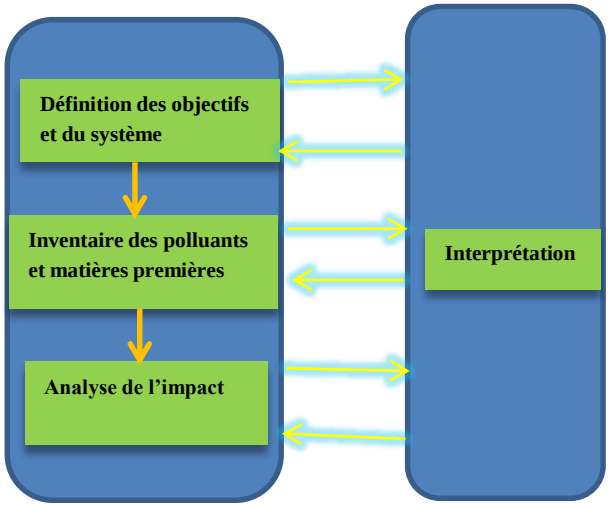


Evolution du coût du cycle de vie de différentes batteries en fonction de leur capacité nominale

Modélisation économique et environnementale du système

Evaluation environnementale

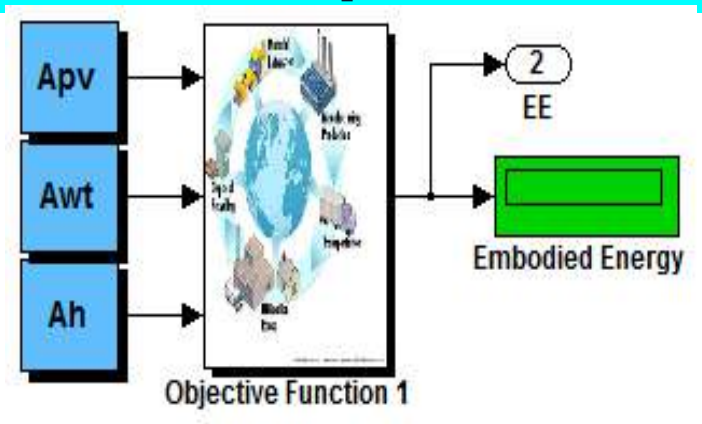
- **Concept de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) (en anglais : Life Cycle Analysis)**



Phases de l'analyse du cycle de vie

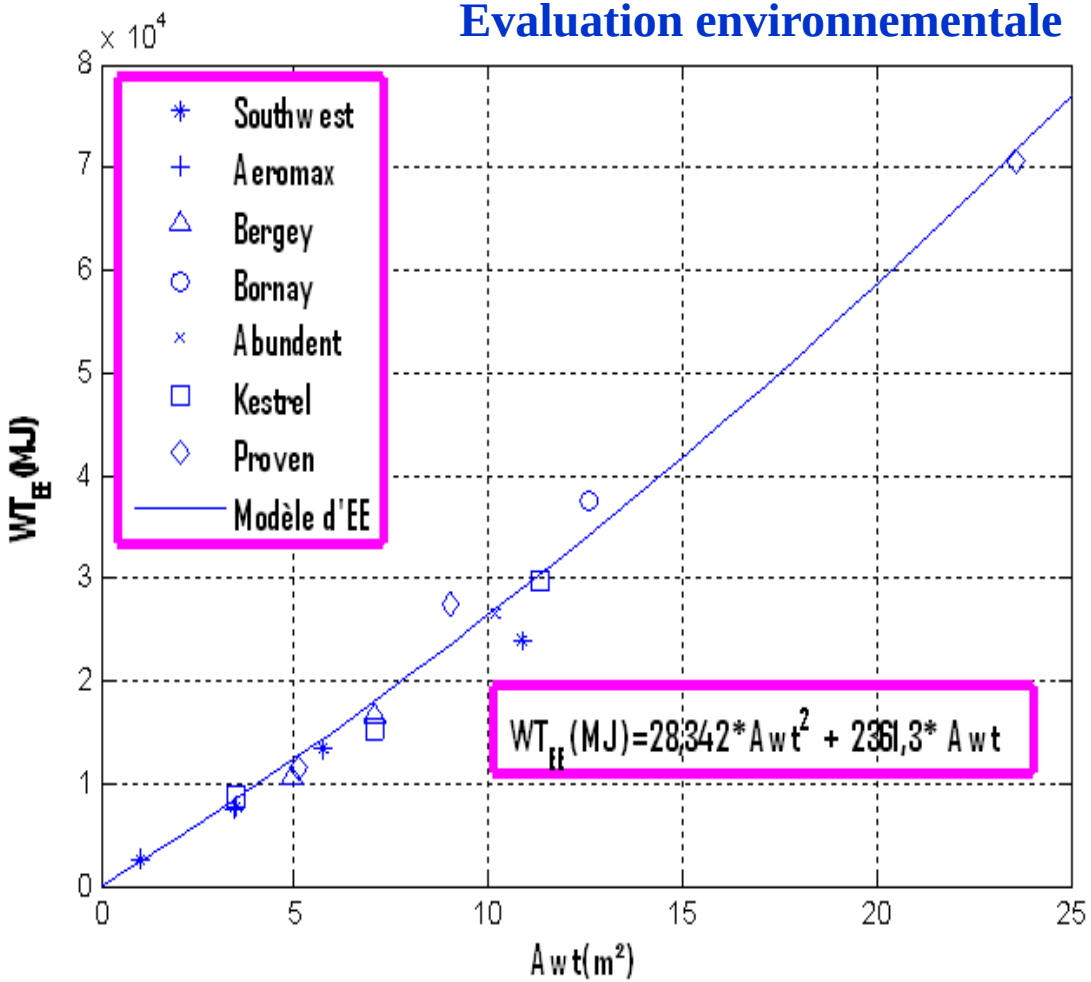
- **Paramètre environnemental utilisé dans le modèle :**

Energie primaire contenue ou intrinsèque «Embodied Energy : EE» [MJ] ou [KWh]



Modélisation économique et environnementale du système

Evaluation environnementale



$$PV_{EE}(MJ) = 3379 \times Apv$$

Cas des panneaux photovoltaïques

$$Bat_{EE}(MJ) = 60 \times Cn$$

Cas des batteries

Evolution de l'énergie primaire incarnée par les éoliennes choisies (WT_{EE}) en fonction de la surface balayée par leurs rotors (*Awt*)

Développement et Résultats

Modélisation et simulation du système hybride

- Modélisation énergétique du système
- Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries
- Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai
- Modélisation économique et environnementale du système
- Simulation d'une configuration hybride
- Influence du profil de consommation

Simulation d'une configuration hybride

- 9 panneaux Sharp ND-240QCJ soit (9*1,63 = 14,67 m² de surface installée)
- 4 batteries Vision 6FM200D, 12 V 200 Ah.
- une éolienne Kestrel Wind 800 de surface balayée 3,46 m².

Résultats de l'analyse économique et énergétique	
Coût estimé de cycle de vie (€)	26281
Quantité estimée d'énergie primaire incarnée dans le système (MJ)	106080

Résultats de fiabilité

Année	Production PV (kWh)	Production éolienne (KWh)	Consommation de l'habitat (KWh)	Charge totale non satisfaite (kWh)	Excès de production (KWh)	LPSP (%)	SOH des batteries après une année d'utilisation (%)
2002	3414	622,6	2201	62,15	1386	2,823	94,53
2003	3230	643,4	2201	90,92	1258	4,13	94,54
2004	3249	580,8	2198	80,82	1203	3,676	94,38
2005	3284	694,8	2196	83,64	1355	3,808	94,51
2006	3392	770,6	2198	51,99	1510	2,366	94,68
2007	3255	612,7	2198	66,2	1220	3,012	94,34
2008	3322	806,1	2205	61,99	1472	2,812	94,63
2009	3220	633,2	2198	96,66	1239	4,397	94,46
2010	3244	482,7	2193	94,89	1121	4,327	94,28

Résultats de simulation d'un système hybride éolien photovoltaïque avec batteries

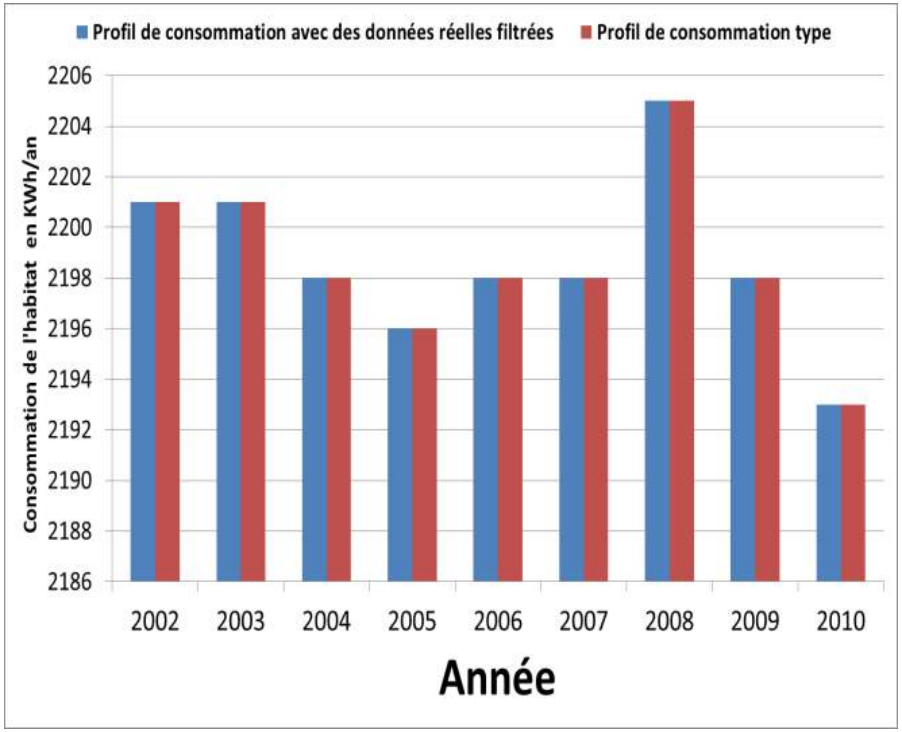
Développement et Résultats

Modélisation et simulation du système hybride

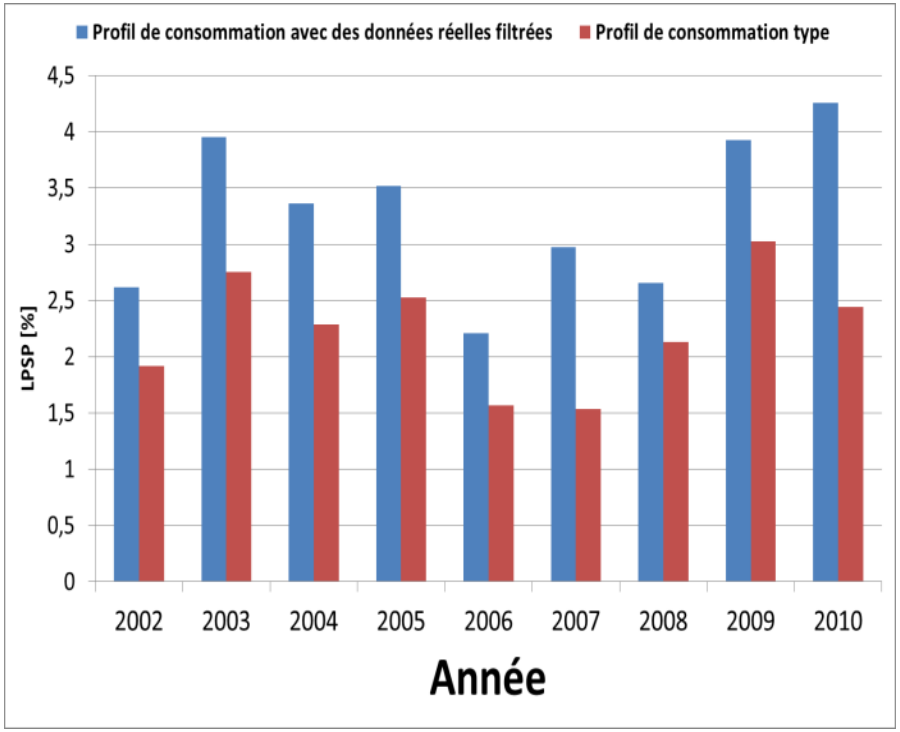
- **Modélisation énergétique du système**
- **Développement d'une stratégie de gestion de l'énergie et de contrôle de l'état de charge des batteries**
- **Validation de la méthode de supervision sur un banc d'essai**
- **Modélisation économique et environnementale du système**
- **Simulation d'une configuration hybride**
- **Influence du profil de consommation**

Influence du profil de consommation

Résultats de simulation d'un système hybride éolien photovoltaïque avec batteries pour différents profils de consommation



Consommation de l'habitat en KWh/an



LPSP [%]

- **La forme du profil de consommation influe sur le dimensionnement du système hybride.**
- **Avantage d'utiliser un simulateur dynamique dans l'étude des systèmes d'énergies renouvelables par rapport à d'autres travaux se basant sur des calculs d'énergies annuelles.**

Développement et Résultats

Optimisation du dimensionnement du système hybride

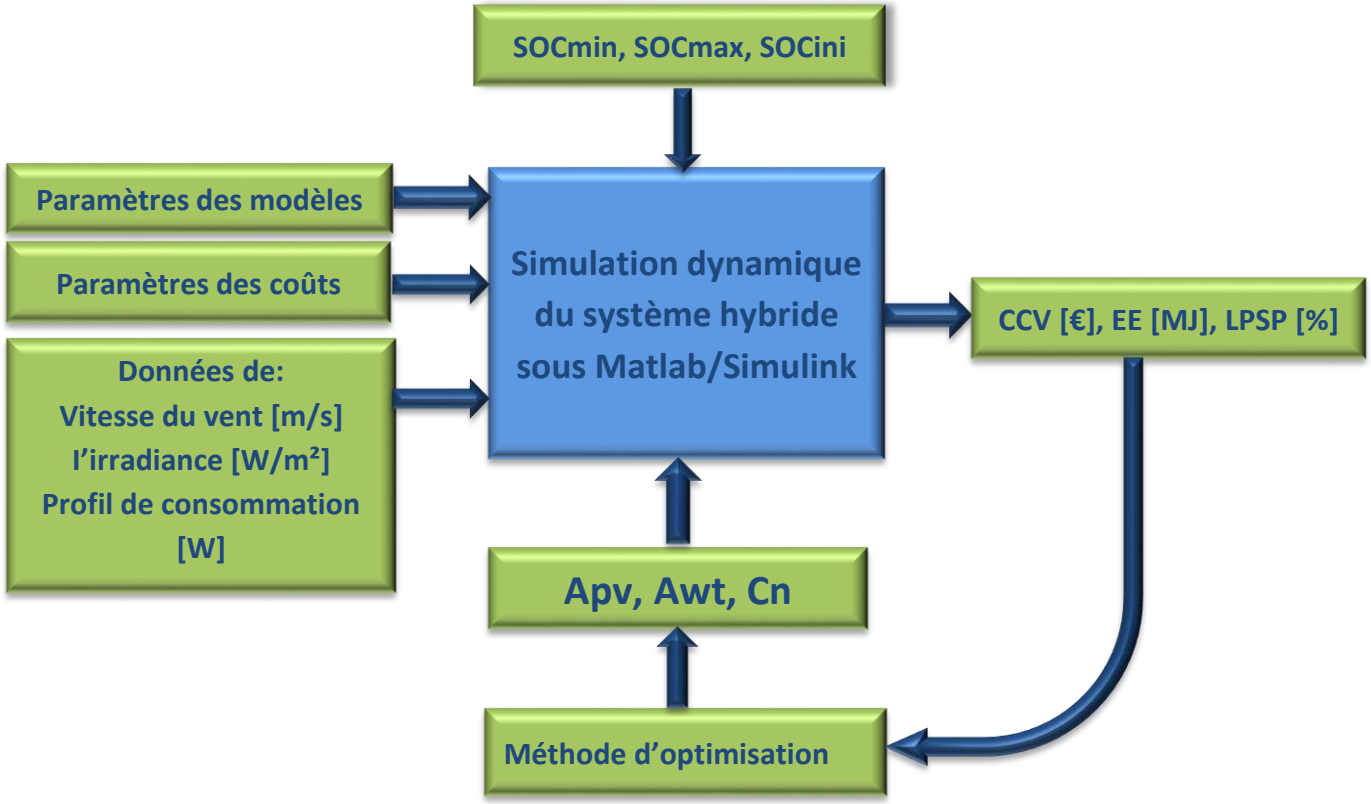
- **Principe**
- **Formulation du problème**
- **Résultats d'optimisation et interprétations**

Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Principe

- Optimisation du dimensionnement de la source hybride suivant trois critères : **le coût sur cycle de vie** **le coût en énergie primaire** **le taux d'insatisfaction de la demande en énergie (LPSP).**

- Méthode proposée basée sur une simulation dynamique du système associée un algorithme d'optimisation :



Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Formulation du problème

2 formulations sont proposées :

- une formulation mono-objective résolue avec l'algorithme SQP (Algorithme de Newton-Wilson)

- une formulation multi-objective résolue de deux manières :
  - par une méthode scalaire avec des coefficients de pondération unitaires : Aucune des fonctions « objectif » n'est favorisée.
  - par une approche Pareto (notion de dominance) avec la méthode N.S.G.A-II.

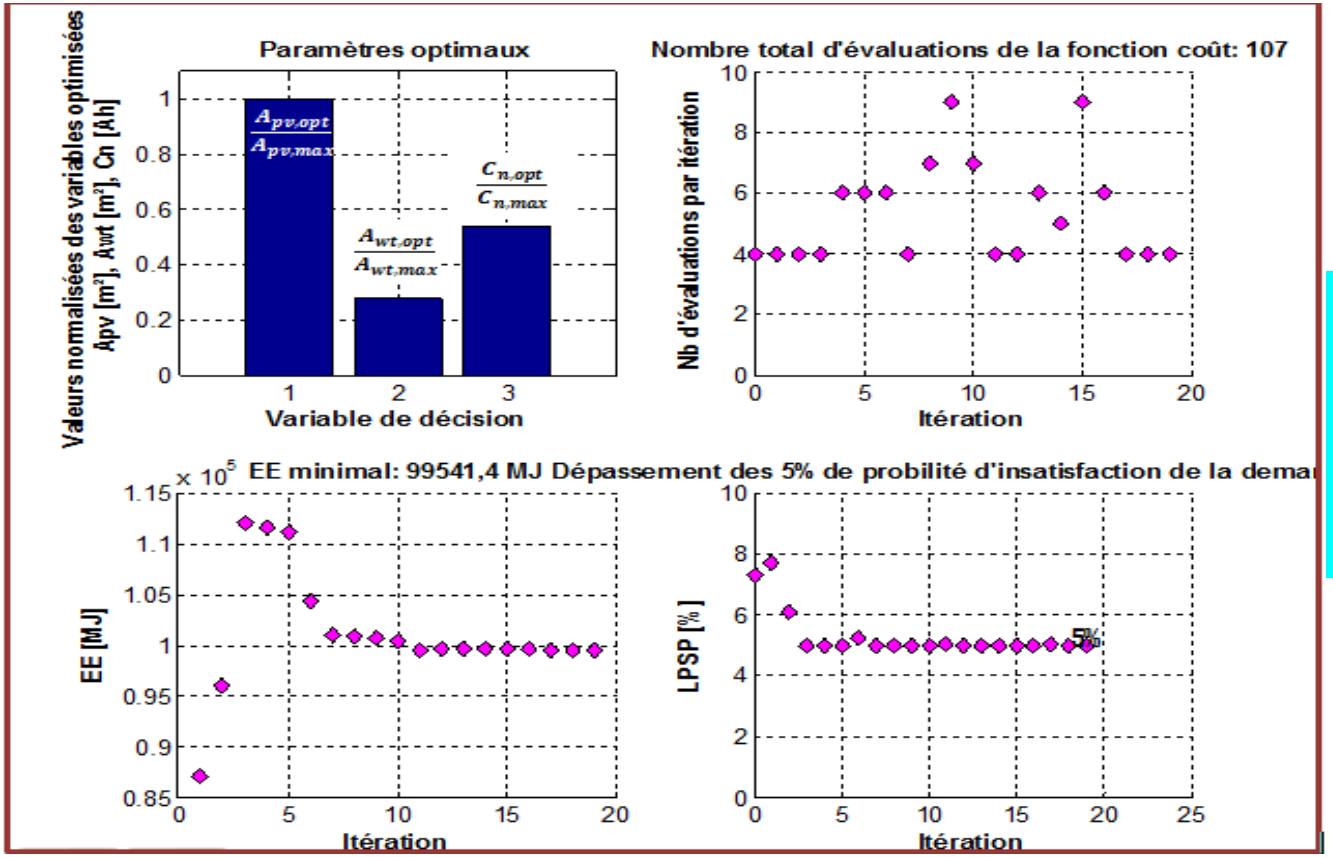
Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Résultats d'optimisation et interprétations

Cas d'une optimisation mono-objective selon l'approche écologique

$EE_{min}[MJ] = 99541,4MJ$

LPSPmax = 5%



Résultats d'optimisation dans le cas d'une optimisation mono-objective selon l'approche écologique

Le dimensionnement optimal du système est obtenu par :

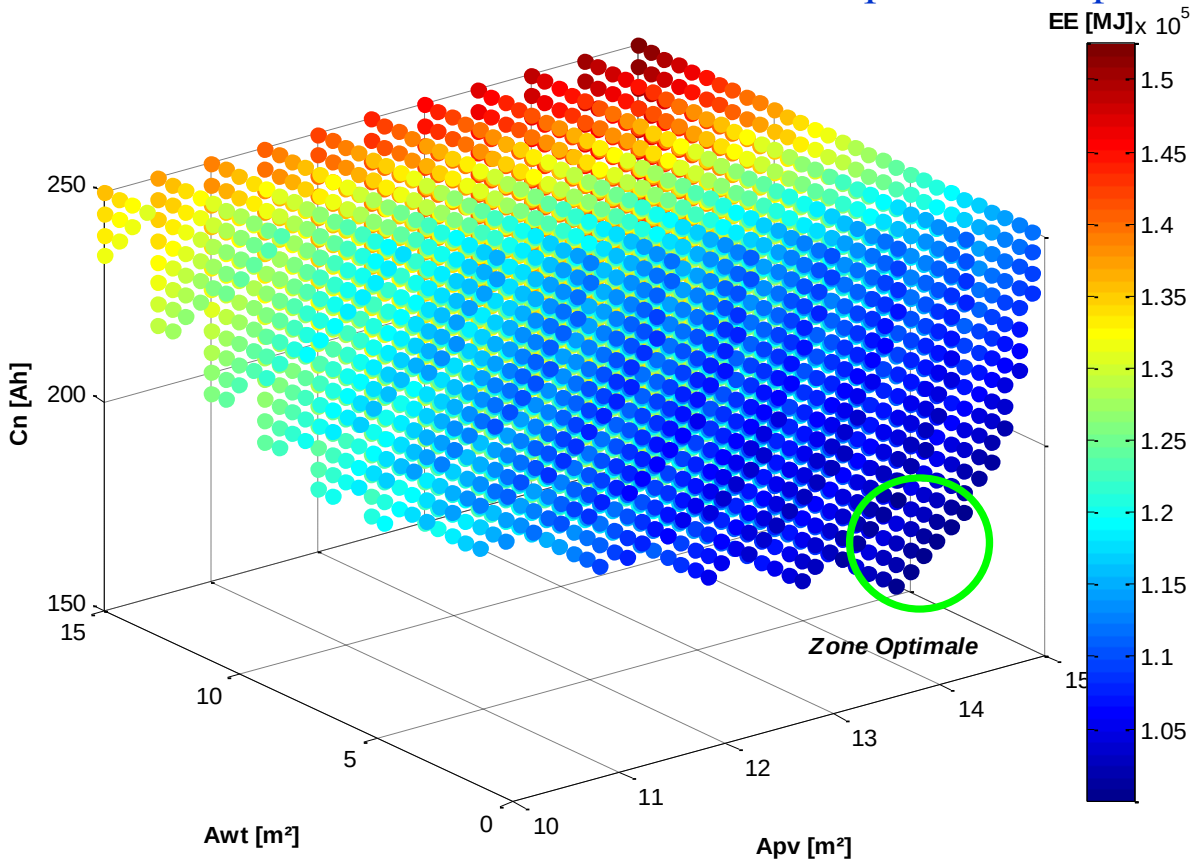
- $Apv_{opt}[m^2] = 15\ m^2$,
- $Awt_{opt}[m^2] = 4,115\ m^2$,
- $Cn_{opt}[Ah] = 161,081\ Ah$.

Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Résultats d'optimisation et interprétations

Cas d'une optimisation mono-objective selon l'approche écologique

Validation de la fiabilité des résultats d'optimisation par une approche systématique



$$EE_{min}[MJ] = 99541,4MJ$$

LPSPmax = 5%

Le dimensionnement optimal du système est obtenu par :

- $Apv_{opt}[m^2] = 15\ m^2$,
- $Awt_{opt}[m^2] = 4,115\ m^2$,
- $Cn_{opt}[Ah] = 161,081\ Ah$.

Estimation de l'énergie primaire incarnée dans le système hybride EE(MJ) en fonction de *Apv*[m²],*Awt*[m²], *Cn*[Ah]

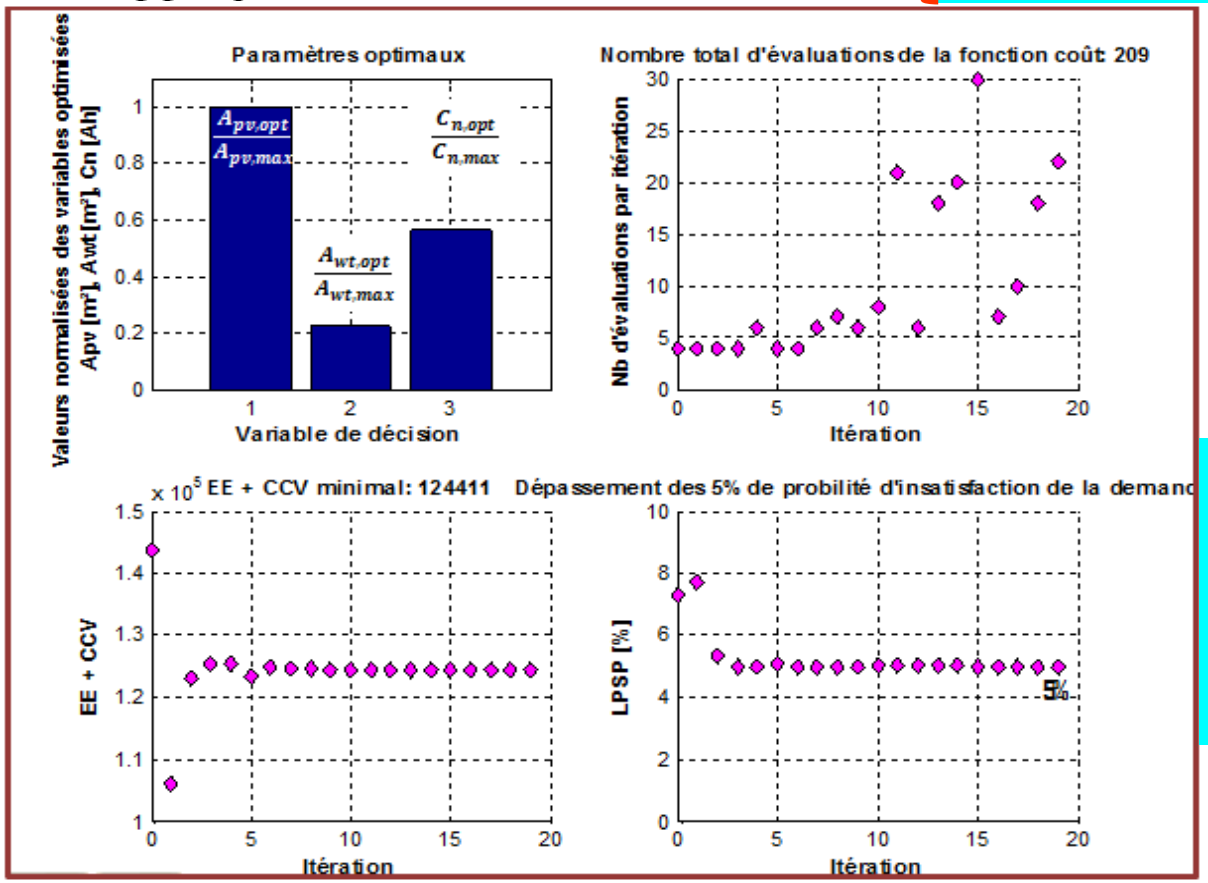
Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Résultats d'optimisation et interprétations

Cas d'une optimisation multi-objective

- En appliquant la méthode scalaire

$$CCV_{min}[€] = 24814€$$
$$EE_{min}[MJ] = 99597,4MJ$$



LPSPmax = 5%

Le dimensionnement optimal du système est obtenu par :

- $Apv_{opt}[m^2] = 15\ m^2$,
- $Awt_{opt}[m^2] = 3,378\ m^2$,
- $Cn_{opt}[Ah] = 169,217\ Ah$.

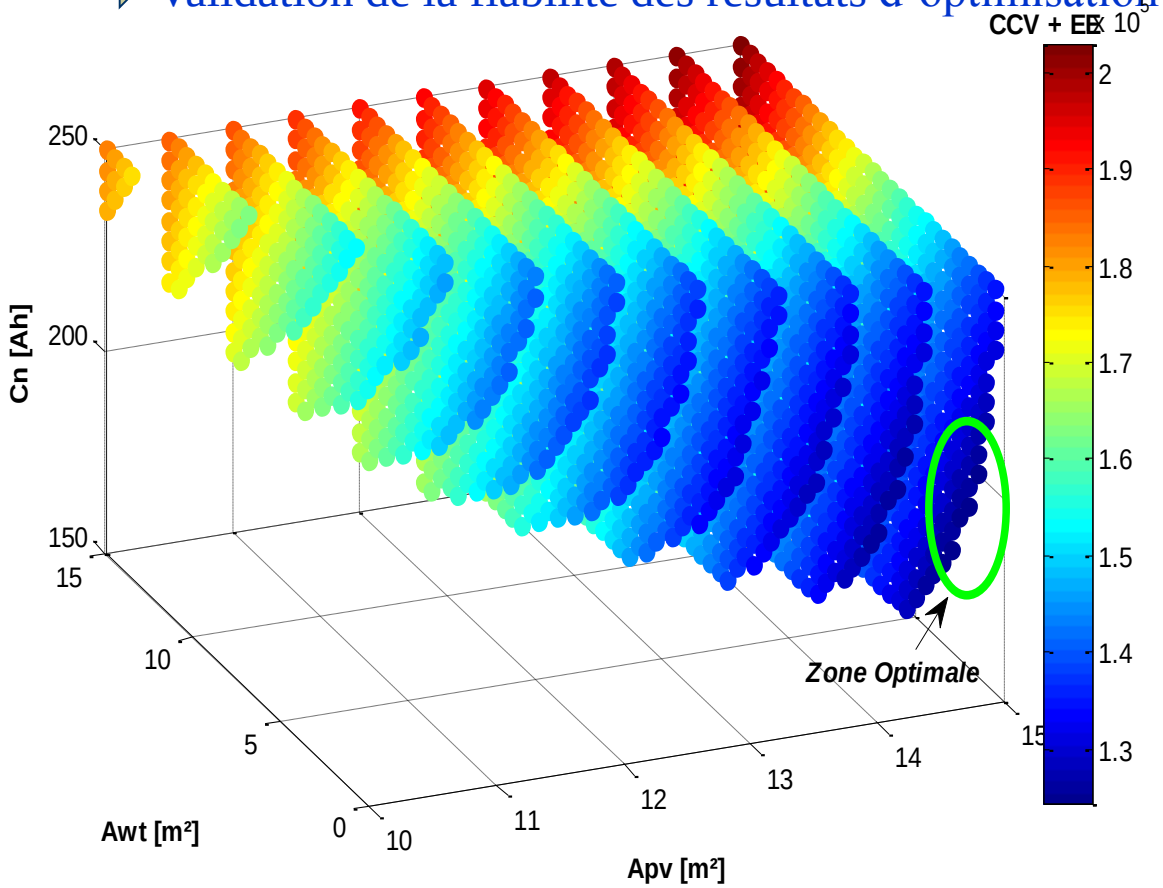
Résultats d'optimisation dans le cas d'une optimisation multi-objective obtenus par application de la méthode scalaire

Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Résultats d'optimisation et interprétations

Cas d'une optimisation multi-objective

Validation de la fiabilité des résultats d'optimisation par une approche systématique



Estimation de la somme (EE + CCV)
en fonction de *Apv* [m²], *Awt*[m²], *Cn*[Ah]

$$CCV_{min}[€] = 24814€$$

$$EE_{min}[MJ] = 99597,4MJ$$

LPSPmax = 5%

Le dimensionnement optimal du système est obtenu par :

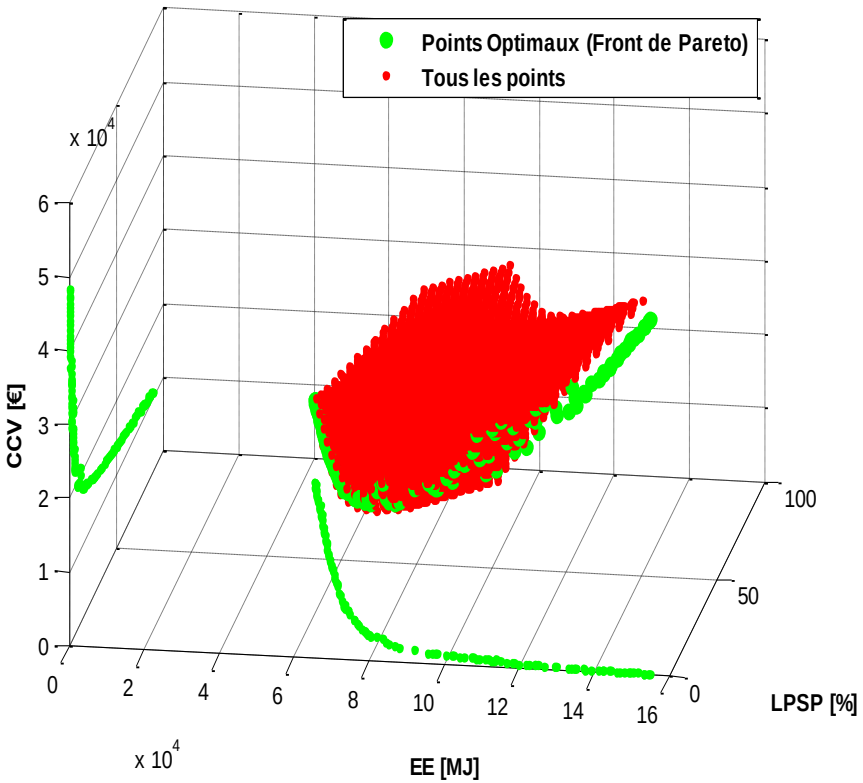
- $Apv_{opt}[m^2] = 15\ m^2$,
- $Awt_{opt}[m^2] = 3,378\ m^2$,
- $Cn_{opt}[Ah] = 169,217\ Ah$.

Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

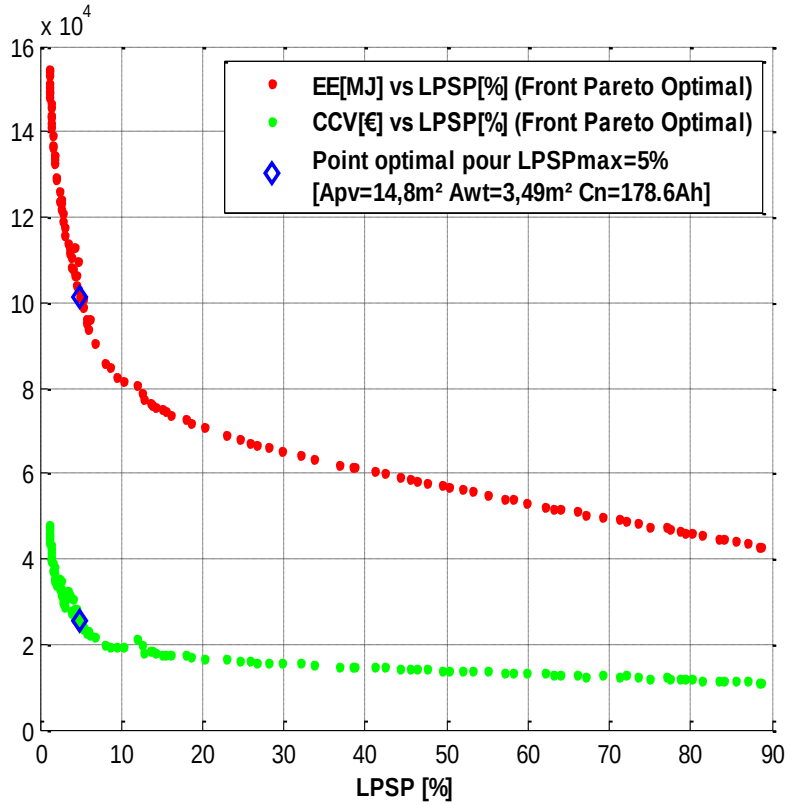
Résultats d'optimisation et interprétations

Cas d'une optimisation multi-objective

- En appliquant la méthode NSGA-II



a) Représentation 3D



b) Projection 2D

Représentation de la surface de compromis Fronts de Pareto dans le cas d'une optimisation tri-objective : CCV [€] vs EE [MJ] & LPSP [%]

Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Résultats d'optimisation et interprétations

Cas d'une optimisation multi-objective

- Comparatif

Méthode scalaire (SQP)	Méthode NSGA-II
+ Rapide	- Lente
- Une seule solution	+ Plusieurs solutions (Fronts de Pareto)
- Fixation d'un LPSPmax	+ Ne pas avoir besoin de fixer un LPSPmax

→ **Un bon outil d'aide à la décision, le concepteur décide quoi favoriser : le coût économique, le coût écologique ou la satisfaction de la charge ?**

Optimisation du dimensionnement d'un système hybride

Résultats d'optimisation et interprétation

Cas d'une optimisation multi-objective

Solution pratique retenue

- **<u>9 panneaux Sharp ND-240QCJ</u>**, soit une surface installée de 9*1,63 = 14,67 m²,

- **<u>une éolienne de type Aeromax Engineering</u>** (Lacota S, SC) (900 W à 13 m/s) de 3,43 m² de surface,

- **<u>4 batteries en série de type Numax Gel SLG180-12 ,12V/ 180Ah</u>** VRLA à cyclage profond

Plan

- Introduction
- Problématique
- Développement et Résultats
- **Récapitulatif**
- Conclusions
- Perspectives
- Publications

Récapitulatif de la méthode proposée

Récolte et analyse des données météorologiques du site et de la consommation électrique de l'habitat

↓

Modélisation et simulation du système hybride éolien-photovoltaïque avec stockage

↓

Optimisation du dimensionnement du systèmes hybride

↓

Mise en œuvre du système éolien-photovoltaïque avec batteries

Plan

- Introduction
- Problématique
- Développement et Résultats
- Récapitulatif
- Conclusions
- Perspectives
- Publications

Conclusions

- Une contribution significative à l'analyse des ressources en énergie renouvelable,
- Obtention de lois comportementales pour évaluer les coûts des systèmes éoliens et photovoltaïques de petite puissance,
- Une méthode originale pour la conception des systèmes hybrides,
- Une approche pertinente visant à optimiser simultanément les trois critères : le coût sur cycle de vie, la probabilité d'insatisfaction et l'énergie primaire,
- Un nombre de scénarios de simulation élevé validant la méthode d'optimisation proposée,
- Validation d'une stratégie de supervision différente sur un banc d'essai expérimental.

→ Une étude qui va de la phase de conception jusqu'à la mise en œuvre,

→ Un sujet susceptible de développements ultérieurs importants, dans une thématique de grande actualité.

Plan

- Introduction
- Problématique
- Développement et Résultats
- Récapitulatif
- Conclusions
- **Perspectives**
- Publications

Perspectives

- Possibilité de développer un outil automatisant la méthodologie proposée avec des interfaces conviviales pour l'utilisateur,
- Des commandes plus élaborée des convertisseurs,
- Test d'autres architectures,
- Ajout d'autres sources (Générateur diesel…),
- Ajout de supercapacités.

Plan

- Introduction
- Problématique
- Développement et Résultats
- Récapitulatif
- Conclusions
- Perspectives
- Publications

Publications

1 Revue acceptée :

- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Jean Paul Gaubert, Étude d'un système hybride éolien photovoltaïque avec stockage : Dimensionnement et analyse du cycle de vie, European Journal of Electrical Engineering (2012) en cours de publication (article de la conférence CONFREGE)

2 Revues en 2° relecture :

- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Eco-Design Optimization of an Autonomous Hybrid Wind-PV System with Battery Storage, Revue IET: Renewable Power Generation
- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Multi-Objective design optimization of a hybrid PV-wind-battery system, Soumis à la revue Elsevier: J. Math. Comput. Simulat (Matcom) (suite Electrimacs 2011)

3 congrès internationaux:

- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Jean-Paul Gaubert, Multi-objective design optimization of a hybrid PV-wind-Battery System, Electrimac's, Cergy Pontoise, France, 2011
- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Jean-Paul Gaubert, Riad Kadri, Estimation of Wind Turbine and Solar Photovoltaic Energy Using Variant Sampling Intervals, EPE-Power Electronics and Motion Control, Ohrid, republic of Macedonia, pp. T12_28-34, ID 151, September, 2010
- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Jean-Paul Gaubert, Statistical study of the influence of the data sampling interval on the estimation of wind turbine energy, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada, Spain, 2010

1 congrès national :

- Dhaker Abbes, André Martinez, Gérard Champenois, Jean-Paul Gaubert, Etude d'un système hybride éolien-photovoltaïque avec stockage : dimensionnement et analyse du cycle de vie, Conférence Francophone sur l'Eco-conception en Génie Electrique, Toulouse, France, 2010

Conférence invitée :

- Gérard CHAMPENOIS, Jean Paul GAUBERT, Riad KADRI, Dhaker ABBES, The needs of the automatic in energy seen by researchers in electrical engineering, 12th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control & computer engineering STA'2011, Sousse, Tunisia

Merci pour votre attention !