

SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**EQUILIBRAGE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE DANS LE RESEAU
ÉLECTRIQUE : UNE APPROCHE INTÉGRÉE, TECHNICO-
ÉCONOMIQUE ET COORDONNÉE**

"WINDBALANCE"

R. BELMANS, W. D'HAESELEER, G. PALMERS, J.-C. MAUN.



ENERGY

TRANSPORT AND MOBILITY

AGRO-FOOD

HEALTH AND ENVIRONMENT

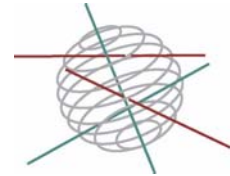
CLIMATE

BIODIVERSITY

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS

TRANSVERSAL ACTIONS

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT
(SSD)



Energie



RAPPORT FINAL PHASE 1
RESUME

EQUILIBRAGE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE DANS LE RESEAU
ÉLECTRIQUE : UNE APPROCHE INTÉGRÉE, TECHNICO-
ÉCONOMIQUE ET COORDONNÉE

"WINDBALANCE"

SD/EN/02A



Promoteurs

Ronnie Belmans

Katholieke Universiteit Leuven (K.U.Leuven)
(ESAT-ELECTA)



William D'haeseleer

Katholieke Universiteit Leuven (K.U.Leuven)
(TME)



Geert Palmers

3E



Jean-Claude Maun

Université Libre de Bruxelles (ULB)



Auteurs

R. BELMANS, W. D'HAESELEER, G. PALMERS, J.-C. MAUN.

Janvier 2009



BELGIAN SCIENCE POLICY



Rue de la Science 8
Wetenschapsstraat 8
B-1000 Brussels
Belgium
Tel: + 32 (0)2 238 34 11 – Fax: + 32 (0)2 230 59 12
<http://www.belspo.be>

Contact person: Igor Struyf
+ 32 (0)2 238 35 07

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference:

R. Belmans, W. D'haeseleer, G. Palmers, J.-C. Maun. ***Equilibrage de l'énergie éolienne dans le réseau électrique : une approche intégrée, technico-économique et coordonnée "WINDBALANCE"***. Rapport final Phase 1 Résumé. Bruxelles: Politique scientifique fédérale 2009 – 5 p. (Programme de recherche « La science pour un Développement Durable »)

L'objectif général du Projet Windbalance est d'identifier les obstacles techniques et du marché qui limitent le potentiel éolien en Belgique. En analysant ces limites des solutions peuvent être proposées pour accroître la part des sources d'énergie renouvelables injectées dans le réseau électrique belge.

Dans la première phase du projet, un simulateur de marché a été développé pour une ferme éolienne unique (Tâche 4). Ce simulateur de marché peut servir d'outil pour déterminer les prix que l'énergie éolienne peut atteindre dans les différents marchés suivant des conditions de marché différentes et qui sont tributaires des capacités de prévision de la production d'énergie éolienne. L'outil de simulation a été développé comme suit :

- La conception des marchés et la régulation concernant la production d'électricité et des services systèmes en Belgique ont été inventoriés. Une attention spéciale a été portée à la régulation affectant la production éolienne. Ces règles forment un ensemble de conditions aux limites pour l'outil de simulation (Tâche 1)
- La capacité des opérateurs d'énergie éolienne à délivrer cette énergie aux conditions du marché a été décrite statistiquement. Les distributions stochastiques de production d'énergie éolienne et l'erreur des prévisions de production d'énergie éolienne sont les données pour l'outil de simulation (Tâche 2)
- De façon approximative, les prix des marchés de l'énergie ne sont pas affectés par la production éolienne. Les distributions stochastiques des prix des marchés servent de deuxième source de données pour l'outil de simulation (Tâche 3)

Le simulateur de marché est conçu pour calculer la valeur de l'énergie éolienne lorsqu'elle est traitée sur les marchés de l'électricité. Ceci est réalisé en combinant des séries temporelles de production de puissance éolienne et des prix de marché prenant en compte les déviations de production (déséquilibre) et les tarifs de déséquilibre. La valeur moyenne de la génération électrique éolienne peut être déterminée et est appelée le « Prix fixe Equivalent OTC » puisque cette valeur peut être comparée au prix fixe négocié dans les contrats OTC (Over The Counter). Ce simulateur est un support intéressant pour les deux parties dans les négociations de contrats OTC. De plus, cet outil fournit une base pour une analyse objective de la valeur réelle de marché de l'énergie éolienne dans différentes conditions de marché.

Le simulateur peut fournir des prévisions à long terme de la valeur des marchés de la production éolienne, et peut aussi être utilisé pour évaluer les investissements. Depuis que l'outil de simulation autorise un ajustement facile des séries de données temporelles et des paramètres d'entrée, il peut aussi être utilisé pour estimer la valeur de la production éolienne sur les différents marchés. Dépendant des entrées d'information, différentes sortes d'estimations sont possibles par exemple l'estimation de la valeur à court terme des prévisions de production éolienne (1 jour à l'avance ou en cours de journée)

Différentes configurations pour la production éolienne sont envisagées (turbine, ferme, parc). Pour une turbine seule, la valeur OTC fixée pour 2009 a été établie à 66,3 Euros au MWh. La marge d'erreur (RMSE) est d'environ 16 % et elle conduit à une perte de revenu de 18 % due au déséquilibre

des tarifs. La valeur pourrait être améliorée de 20 % par l'agrégation de la production éolienne sur de grandes zones et la présentation de cette production en une nomination.

Différentes stratégies de nomination sont investiguées incluant la valeur de l'amélioration de la précision à propos des prévisions. Pour une ferme éolienne de 8 MW, la valeur OTC est établie à 68,5 Euros le MWh en utilisant les outils actuels de prédiction. Cette valeur atteint les 72,1 Euros par MWh quand on utilise le marché journalier pour adapter les nominations aux nouvelles prévisions. L'erreur de prédiction diminue de 15,5 % à 9,2 %.

Dans la deuxième phase du projet, on a étudié les contraintes de la capacité totale de puissance éolienne en Belgique. Point par point, un modèle a été mis en œuvre pour évaluer la limite du potentiel de puissance éolienne en Belgique. Dans un premier travail (Tâche 5.1), un modèle reprenant les trois hypothèses suivantes a été élaboré :

- Seule la zone contrôlée par le gestionnaire de réseaux Elia sera prise en compte, ce qui représente la Belgique et une partie du Grand Duché de Luxembourg
- Les contraintes et les congestions possibles sur le réseau ne sont pas prises en compte. Ceci est une hypothèse raisonnable lorsque l'on considère seulement la zone de réglage d'Elia et une quantité limitée d'énergie éolienne.
- Toutes les centrales de production en Belgique sont utilisées selon une logique de coût optimal pour la couverture de la demande dans la zone elle-même. En conséquence, au début, l'effet de la libéralisation du marché, avec plusieurs centrales de productions actives, n'a pas été pris en compte. Les unités de production ont été utilisées selon leurs coûts optimaux, comme si elles étaient exploitées par un seul opérateur.

Suivant ces hypothèses, la limite technique supérieure pour l'éolien est déterminée par la capacité des autres centrales de productions disponibles pour compenser les fluctuations de la production d'énergie éolienne. La surestimation de l'énergie éolienne nécessite d'être équilibrée par une production flexible. Une quantité de « réserve tournante » est nécessaire à tout instant, ce qui se traduit par une quantité minimale de capacité disponible pour chaque heure. Ces réserves peuvent être utilisées pour rencontrer les divergences entre la demande et l'offre. Des erreurs de prévision négatives ou des sous-estimations de la production d'énergie éolienne peuvent être résolues en diminuant la production des turbines éoliennes s'il est nécessaire de restaurer l'équilibre du système. Cette possibilité augmente la limite technique d'introduction de l'énergie éolienne.

Cependant, en Belgique, le potentiel des autres moyens de production pour suppléer à la production intermittente des fermes éoliennes est limité. Cette restriction peut être levée en considérant l'Europe dans son ensemble dans un deuxième temps (Task5.2), tout en faisant abstraction de possibles congestions sur le réseau. A ce stade, la Belgique n'est plus considérée comme une île et les interactions avec le reste de l'Europe sont discutées. Il faut donc conclure que l'agrégation de la production éolienne sur de grandes étendues augmente les effets du lissage des vitesses du vent non corrélées et les erreurs de prévisions.

L'affirmation qu'il n'y ait pas de congestions sur le réseau en Belgique et en Europe est clairement une énorme simplification de la réalité. Par conséquent, dans la tâche 6 (Task 6), cette hypothèse sera abandonnée et les contraintes du réseau seront prises en compte dans le modèle. Ceci conduira

à réduire le potentiel maximum de la capacité de production éolienne. La quantité maximale de production éolienne que nous pouvons injecter dans le réseau pourra être quantifiée en utilisant une technique d'analyse fiabiliste.

Le cœur de l'étude d'estimation du risque est une analyse de l'écoulement de charge qui établit tous les flux de puissance active et réactive dans les branches du réseau, pour un état donné de consommation et de production. Deux options ont été analysées pour réaliser l'étude :

1. Utilisation de MatPower, un ensemble de fonctions de Matlab spécialement destinées à simuler des écoulements de charges et un calcul optimal de ces écoulements.
2. Utilisation d'un autre logiciel qui fournit d'autres services comme la gestion marche/arrêt des unités de production, l'analyse de contingences, des simulations de Monte Carlo, etc

Le cœur de l'analyse d'appréciation du risque est la partie « Processing », effectuée pour la planification du fonctionnement des unités de production hydraulique et thermique comme pour le calcul de load flows. Cependant, pour pouvoir être effective, cette partie processing a besoin de manipuler un grand nombre de données qui sont préparées en amont dans la partie pre-processing. Finalement, les résultats sont traités dans la partie « post-processing » pour obtenir les réponses attendues. Chaque partie est constituée de plusieurs modules qui seront décrits en détail. La Figure 1 présente les différents modules.

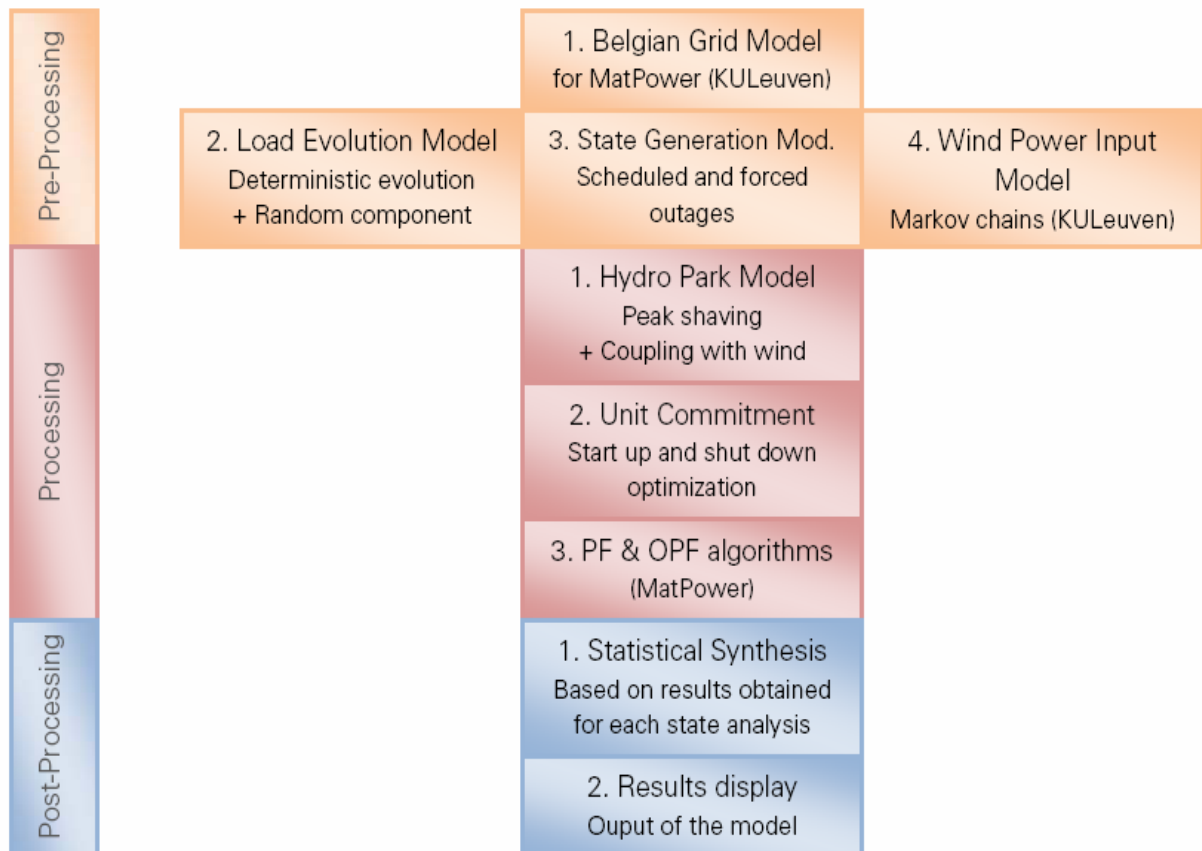


Figure 1: Schematic overview of model implementation