

ATLAS ÉOLIEN DU BURKINA FASO

Mathieu Landry¹, Yacouba Ouedraogo², Yves Gagnon¹ et Abdoulaye Ouedraogo².

¹Chaire K.-C.-Irving en développement durable
Université de Moncton, Moncton (Nouveau-Brunswick), Canada

²Département de physique, UFR-SEA
Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Ce rapport présente le développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso. Ce projet a été accompli sous le cadre d'une collaboration internationale entre l'Université de Moncton, Canada et l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

L'Atlas éolien du Burkina Faso est composé de trois cartes de la ressource éolienne du Burkina Faso aux élévations de 30, 50 et 80 m au-dessus du sol, de même que les cartes de la topographie et de la rugosité du sol pour l'ensemble du territoire.

Les résultats du développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso ont démontré que la ressource éolienne à 80 m d'élévation au-dessus du sol est relativement bonne dans les régions du nord-est du pays, de même que dans des zones spécifiques dans les régions élevées du nord et de l'ouest du pays. L'intérêt de connaître la ressource éolienne à 80 m est dû au fait que les turbines éoliennes de grandes tailles ont leur nacelle à cette hauteur.

De façon générale, les profils de vent sont les mêmes à 30 m et 50 m au-dessus du sol. L'intérêt de connaître la ressource éolienne à ces élévations est pour l'implantation de turbines éoliennes de tailles moyennes et de petites éoliennes. Les cartes de la ressource éolienne à ces élévations permettront d'estimer la production d'énergie pour ces types de turbines éoliennes qui pourraient être installées sur le territoire du Burkina Faso.

L'Atlas éolien permettra au Burkina Faso de bien cadrer le développement de l'énergie éolienne sur son territoire, et permettra d'identifier les sites favorables à être développés pour ses bénéfices économiques et ses attributs environnementaux.

TABLE DES MATIERES

Sommaire exécutif.....	1
Liste des figures	3
Liste des tableaux.....	3
Contexte	4
Methodologie	6
Modèle atmosphérique	6
Données d'entrée.....	8
Cartes de la ressource éolienne	12
Résultats	12
Validation	12
Discussion générale des résultats	16
Remerciements	16
Références	17

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Situation géographique du Burkina Faso	5
Figure 2. Grilles méso-échelles (500 km par 500 km) utilisées lors des simulations	7
Figure 3. Topographie (en m) du Burkina Faso utilisée dans les simulations.....	9
Figure 4. Rugosité (en m) du territoire du Burkina Faso utilisée dans les simulations.....	11
Figure 5. Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso à 30 m d'élévation au-dessus du sol	13
Figure 6. Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso à 50 m d'élévation au-dessus du sol	14
Figure 7. Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso à 80 m d'élévation au-dessus du sol	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Index de classification de la couverture des sols du modèle Anémoscope et rugosité correspondante	10
--	----

CONTEXTE

Ce rapport présente le développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso. Ce projet a été accompli dans le cadre d'une collaboration internationale entre l'Université de Moncton, Canada et l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Les atlas éoliens sont développés afin de déterminer la ressource éolienne sur un territoire donné. En identifiant des sites ayant une bonne ressource éolienne, les atlas éoliens constituent habituellement la première étape du développement de l'énergie éolienne dans une juridiction (EWEA, 2009). De plus, lorsque les atlas éoliens sont disponibles dans le domaine public, ils servent à informer les populations et les communautés quant à la ressource éolienne dans leurs régions.

Globalement, plusieurs atlas éoliens spécifiques à des pays ont été développés, i.e. les États-Unis (U.S. Department of Energy, 2011), le Canada (Environnement Canada (2004), Mallet et al. (2007), Thibault et al. (2007)), l'Australie (Coppin et al., 2003), ainsi que pour la plupart des pays d'Europe (Risø National Laboratory, 1989), etc. Cependant, la ressource éolienne de la plupart des pays de l'Afrique n'a pas été cartographiée avec une résolution adéquate afin de servir comme outil pour promouvoir le développement de l'énergie éolienne et de faciliter le positionnement initial des projets éoliens.

L'objectif de ce projet est de développer un atlas éolien pour le Burkina Faso avec une résolution spatiale de 5 km. L'Atlas éolien du Burkina Faso est composé de trois cartes de la ressource éolienne du Burkina Faso aux élévations de 30, 50 et 80 m au-dessus du sol, de même que les cartes de la topographie et de la rugosité du sol pour l'ensemble du territoire.

Situé en Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso, dont la population est estimée à 14 017 262 habitants et sa superficie est de 274 200 km² (Institut national de la statistique et de la démographie du Burkina Faso, 2006), est entouré par six pays : le Mali au nord, le Niger à l'est, le Bénin au sud-est, le Togo et le Ghana au sud et la Côte d'Ivoire au sud-ouest (Figure 1).

Ce rapport présente la méthodologie, les données d'entrée, les résultats et l'analyse de ce projet.



Figure 1. Situation géographique du Burkina Faso. (Source: ESRI)

MÉTHODOLOGIE

Modèle atmosphérique

La méthodologie utilisée lors du développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso est basée sur le modèle Anémoscope. Anémoscope est un logiciel de modélisation de l'énergie éolienne développé par Environnement Canada et le Centre d'hydraulique canadien. Il s'agit du même modèle utilisée par la Chaire K.-C.-Irving en développement durable lors du développement des atlas éoliens pour les provinces du Nouveau-Brunswick (Mallet et al., 2007) et de la Nouvelle-Écosse (Thibault et al., 2007), Canada.

Le processus de simulation du modèle Anémoscope est basé selon une approche statistique-dynamique d'étude des phénomènes de sous-échelles (Frey-Buness et al., 1995). La méthode consiste à utiliser un modèle méso-échelle et de manipuler ses sorties afin d'obtenir une représentation de la couche limite atmosphérique à petite échelle en se servant de données atmosphériques à grande échelle et leurs propriétés statistiques. Cette méthode comprend les étapes suivantes : la classification du climat éolien, les simulations à méso-échelle et les manipulations statistiques des résultats de simulations méso.

La première étape du processus de simulation consiste à classifier le climat éolien afin de produire une base de données climatique du vent. La base de données NCAR/NCEP recouvrant l'ensemble du globe avec une résolution de 2,5 degrés est offerte avec le modèle Anémoscope. Pour chacune des grilles de la base de données, ou stations climatiques, plusieurs états climatiques sont définis et caractérisés par leur fréquence d'occurrence. Cette information est nécessaire afin d'initialiser le modèle méso-échelle.

La seconde étape consiste à produire des simulations avec le Modèle Compressible Communautaire (MC2) (Benoit et al., 1997). Le modèle MC2 est un modèle tridimensionnel, non hydrostatique, variable dans le temps et couramment utilisé par Environnement Canada, les universités canadiennes et de nombreux groupes de recherche dans le monde. Dans Anémoscope, le modèle MC2 est utilisé afin de combiner les données de terrain et les données climatiques venant de la base de données climatique du vent pour déterminer la ressource éolienne sur la région d'étude.

La prochaine étape du processus dans Anémoscope est d'utiliser le module statistique intitulé WEstats afin de combiner les résultats des simulations MC2 en considérant les fréquences d'occurrences. À partir du module WEstats, une carte méso-échelle de la ressource éolienne de la région d'étude est produite avec une résolution de 1 à 15 km. Cette même méthodologie a été utilisée par Environnement Canada afin de produire l'Atlas canadien d'énergie éolienne (Environnement Canada, 2004).

Lors du développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso, dix-neuf (19) grilles méso-échelles de 500 km par 500 km ayant une résolution de 5 km ont été utilisées (Figure 2). Enfin, les cartes méso-échelle ont été combinées dans le logiciel ArcGIS afin d'obtenir les cartes de la ressource éolienne pour une élévation spécifique couvrant l'ensemble du territoire du Burkina Faso.

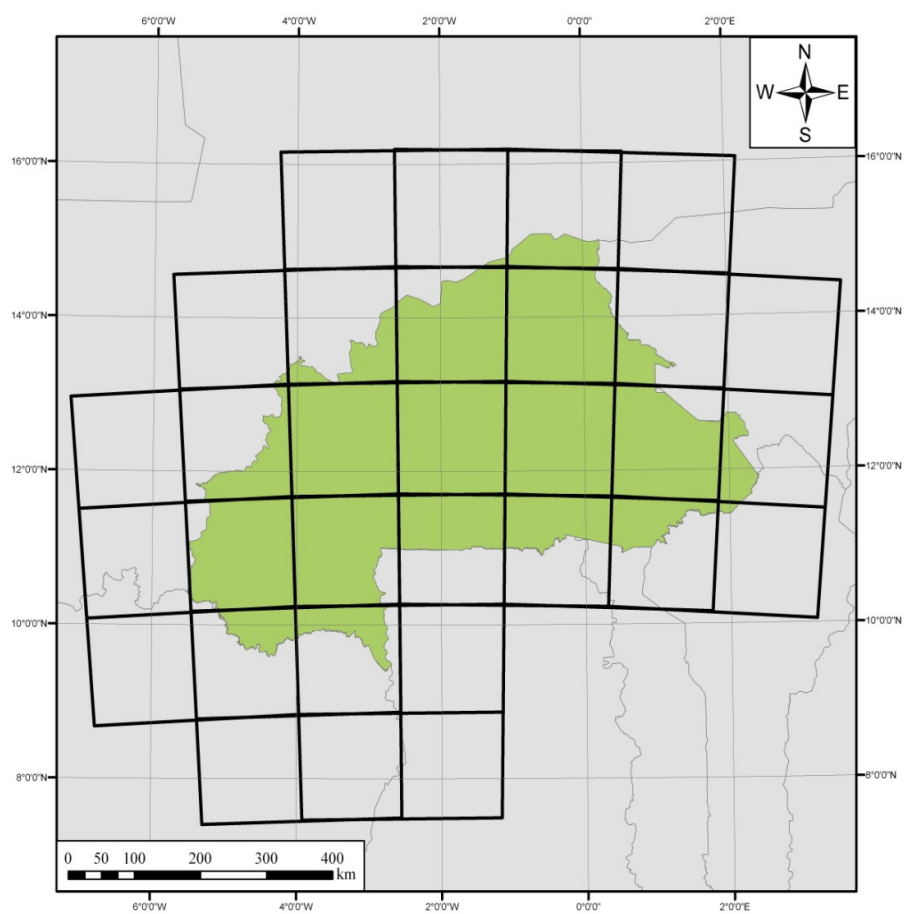


Figure 2. Grilles méso-échelles (500 km par 500 km) utilisées lors des simulations.

Données d'entrée

À l'intérieur de la couche limite atmosphérique, le régime éolien est directement influencé par la topographie et la couverture du sol. À cette fin, afin d'assurer la continuité dans les données de la ressource éolienne, les données de topographie et d'utilisation des terres des juridictions suivantes ont été incorporées dans le modèle : les sections adjacentes du Mali, Niger, Benin, Togo, Ghana et de la Côte d'Ivoire.

Les données de topographie utilisées pour créer l'Atlas éolien du Burkina Faso proviennent de la base de données Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) du Consultative Group for International Agriculture Research Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) (CGIAR-CSI, 2004). Ces données de topographie consistent d'un modèle numérique de terrain (MNT) ayant une résolution de 3 arc-secondes dont les élévations sont enregistrées en mètres par rapport au niveau moyen de la mer basé sur le système géodésique mondial WGS 1984. Avant d'utiliser les données de topographie dans les simulations, un raster couvrant entièrement la région d'étude, d'une résolution de 90 m, est créé à partir des données de cette base de données qui correspond aux juridictions concernées.

La Figure 3 présente la topographie du Burkina Faso après le traitement des données et avant son utilisation lors des simulations. À partir de la Figure 3, on peut apercevoir que le Burkina Faso est divisé par un massif gréseux au sud-ouest du pays et que la grande partie du pays est couverte par une pénéplaine, soit un paysage relativement plat avec de petites collines. Le mont Ténakourou qui se retrouve au sud-ouest du Burkina Faso, avec son élévation de 749 m au dessus du niveau de la mer, est le point culminant du pays.

Pour sa part, les données d'utilisation des terres nécessaires à la création de l'Atlas éolien du Burkina Faso proviennent de deux sources différentes. En ce qui concerne les données d'utilisation des terres pour le territoire du Burkina Faso, les données proviennent de la Base des données d'occupation des terres (BDOT) de l'Institut géographique du Burkina Faso (Institut géographique du Burkina Faso, 2002), tandis que les données d'utilisation des terres pour les pays adjacents proviennent de la base de données du programme Global Environment Monitoring (GEM) de la Commission Européenne (Commission Européenne, 2000).

Les données d'utilisation des terres ont été reclassifiées avec l'index de classification de la couverture des sols du modèle Anémoscope à l'aide du logiciel ArcGIS; ces données sont ensuite converties dans des valeurs de rugosité lors des simulations. Avant d'utiliser ces données dans les simulations, un raster est créé couvrant entièrement la région d'étude à une résolution de 90 m. Le tableau 1 présente l'index de classification de la couverture des sols du modèle Anémoscope ainsi que la rugosité correspondante, tel qu'utilisé lors du développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso.

Pour sa part, la Figure 4 présente la rugosité du territoire du Burkina Faso telle qu'utilisée lors du développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso. À partir de la Figure 4, on peut y apercevoir que la rugosité dans le nord du pays est généralement entre 0,001 et 0,3; ce qui correspond à des zones de désert et de steppes. Pour sa part, la grande partie du centre du Burkina Faso est composée de savane avec une rugosité entre 0,1 et 0,3. De plus, les régions du sud-ouest du pays sont caractérisées par des forêts dont la rugosité est supérieure à 0,85.

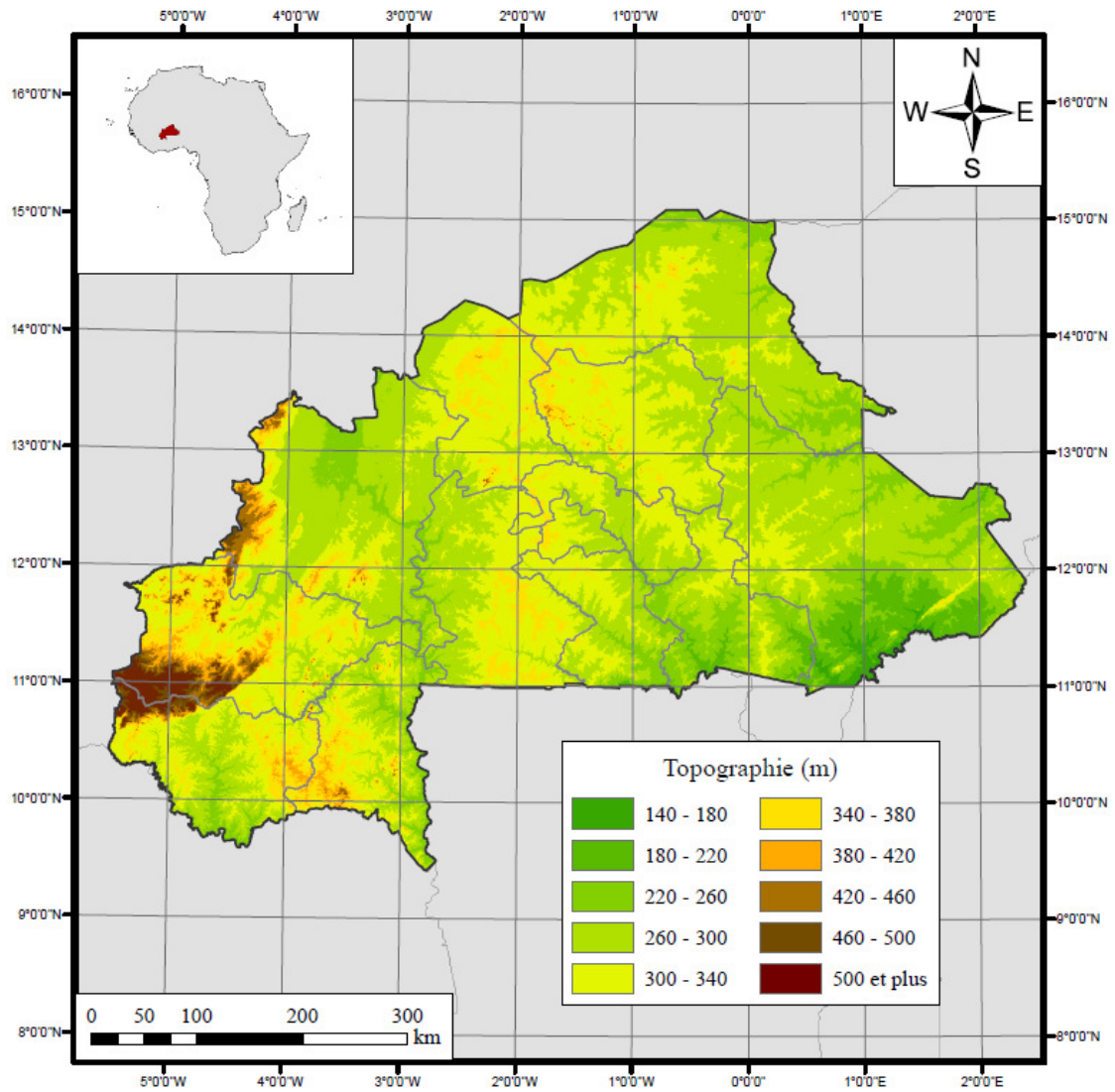


Figure 3. Topographie (en m) du Burkina Faso utilisée dans les simulations.

Index	Description	Rugosité (m)
1	Eau	0,001
2	Glace	0,001
3	Lac	0,001
4	Forêt de conifères	1,5
5	Forêt humide	3,5
6	Forêt de résineux	1,0
7	Forêt de feuillus	2,0
8	Forêt tropophile	3,0
9	Forêt de feuillus en zone de sécheresse	0,8
10	Arbustes à feuillage persistant	0,05
11	Arbustes feuillus	0,15
12	Arbustes résineux	0,15
13	Herbes et plantes herbacées	0,02
14	Grandes herbes	0,08
15	Terres arables	0,08
16	Riz	0,08
17	Canes de sucre	0,35
18	Mais	0,25
19	Cotton	0,1
20	Zones de récoltes	0,08
21	Région urbaine	1,35
22	Toundra	0,01
23	Marais	0,05
24	Sol	0,05
25	Forêt mixte	1,5
26	Forêt transitionnelle	0,05

Tableau 1. Index de classification de la couverture des sols du modèle Anémoscope et rugosité correspondante.

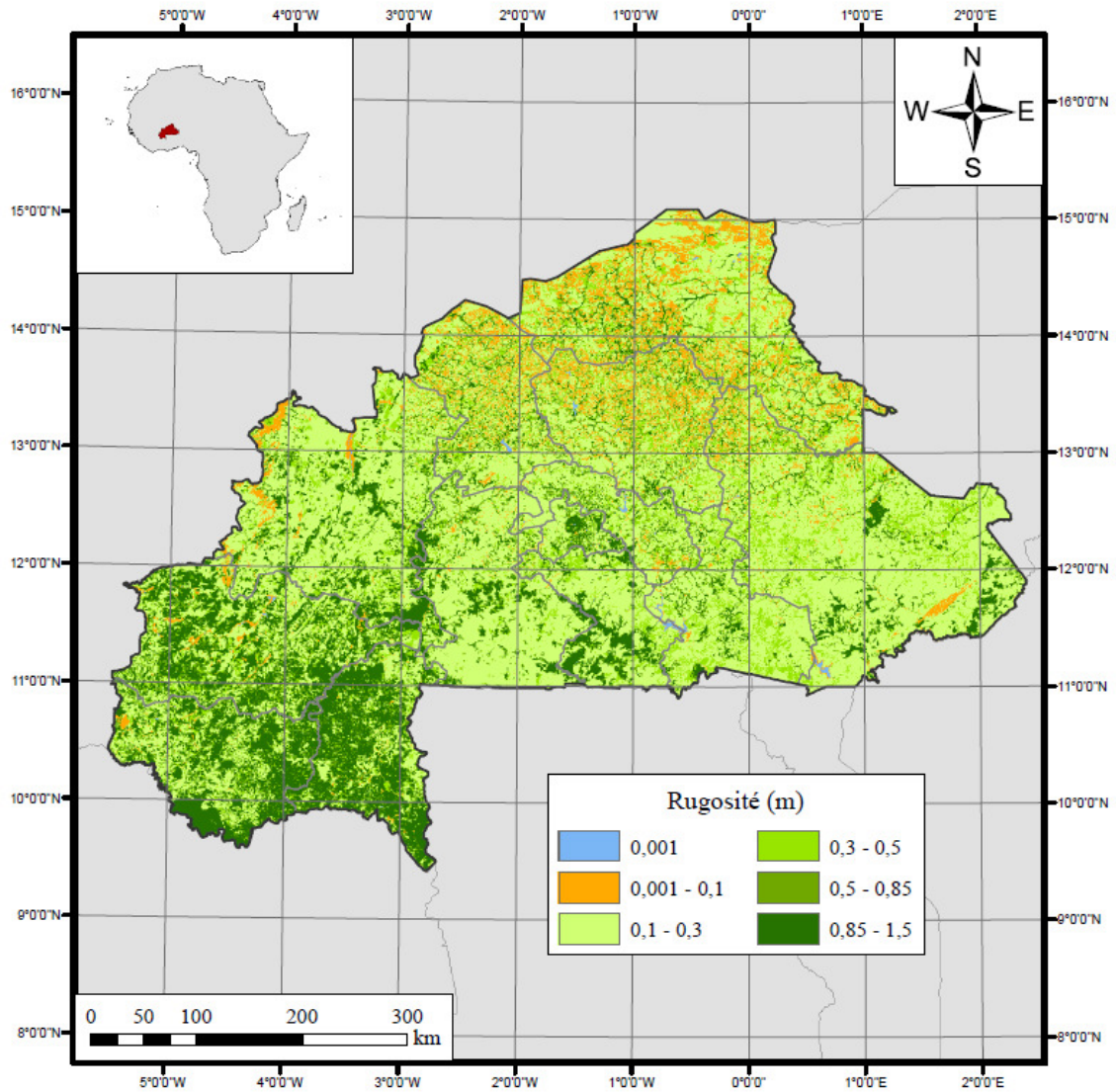


Figure 4. Rugosité (en m) du territoire du Burkina Faso utilisée dans les simulations.

CARTES DE LA RESSOURCE ÉOLIENNE

Résultats

Les figures suivantes présentent les cartes de la ressource éolienne du Burkina Faso à 30 m, 50 m et 80 m d'élévation au-dessus du sol, Figure 6, 7 et 8, respectivement.

Les résultats des cartes de la ressource éolienne du Burkina Faso démontrent que les vitesses moyennes des vents sont bien corrélées aux caractéristiques du territoire du Burkina Faso; généralement, les vitesses des vents sont plus élevées dans les régions où la topographie est élevée et elles sont plus faibles dans les régions de vallées, ce qui est visible en comparant les vitesses moyennes des Figures 5, 6 et 7 avec les caractéristiques de la topographie du territoire de la Figure 3. De plus, en comparant les vitesses moyennes des Figures 5, 6 et 7 avec les caractéristiques de la rugosité du territoire de la Figure 4, on peut apercevoir que les vitesses des vents augmentent dans les régions de faible rugosité, soit les régions du nord et de l'est du Burkina Faso.

De plus, la ressource éolienne à 80 m d'élévation au-dessus du sol est relativement bonne dans les régions nord-est du Burkina Faso, ce qui s'explique par le fait que ces régions sont constituées de régions de faible rugosité, soit des régions sableux, des steppes et des savanes herbeuses et arbustives. Aussi, les résultats des cartes de la ressource éolienne du Burkina Faso démontrent que la ressource éolienne à 80 m d'élévation au-dessus du sol est relativement bonne dans des zones spécifiques dans les régions élevées du nord et de l'ouest du pays.

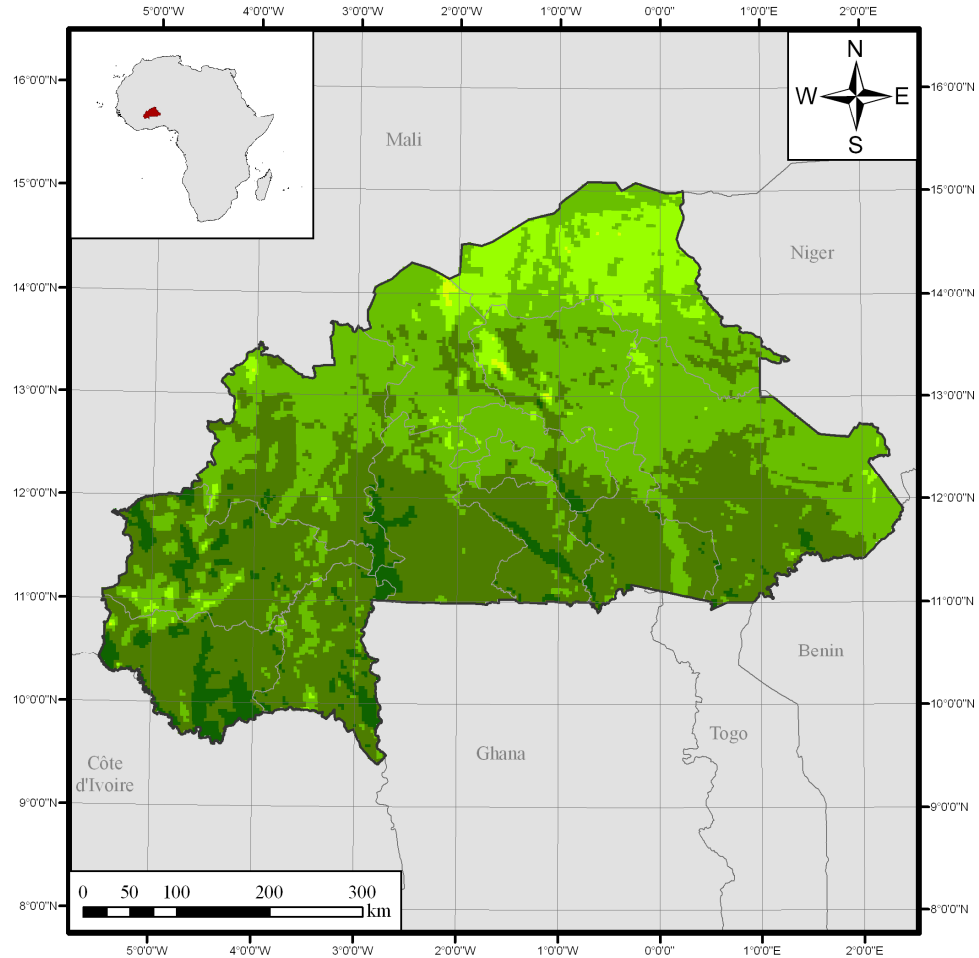
Enfin, la ressource éolienne à 80 m d'élévation au-dessus du sol est relativement faible dans les régions de l'ouest, au sud et au sud-est du Burkina Faso, ce qui s'explique par le fait que ces régions sont constituées de régions de forte rugosité, soit des forêts et des savanes arbustives, ainsi que par le fait que ces régions correspondent aux plus faibles élévations du pays.

Validation

Afin de valider les cartes de la ressource éolienne du Burkina Faso, les résultats des simulations ont été comparés avec des données globales venant d'études à plus grandes échelles (Hélimax Énergie, 2004; Archer et Jacobson, 2005). Ces comparaisons ont démontrées que l'Atlas éolien du Burkina Faso représente bien la ressource éolienne pour l'ensemble du territoire du Burkina Faso.



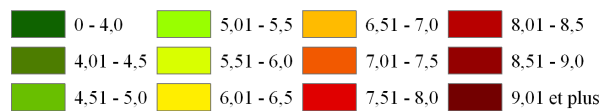
Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso (30 m)



Projection : Transverse Universelle de Mercator (UTM)
Datum : Adindan 1880

Mathieu Landry et Yves Gagnon
Chaire K.-C. Irving en développement durable
Université de Moncton
Canada

Vitesse moyenne (m/s) du vent à 30 m



Yacouba Ouedraogo et Abdoulaye Ouedraogo
Département de physique, UFR-SEA
Université de Ouagadougou
Burkina Faso

Novembre 2011

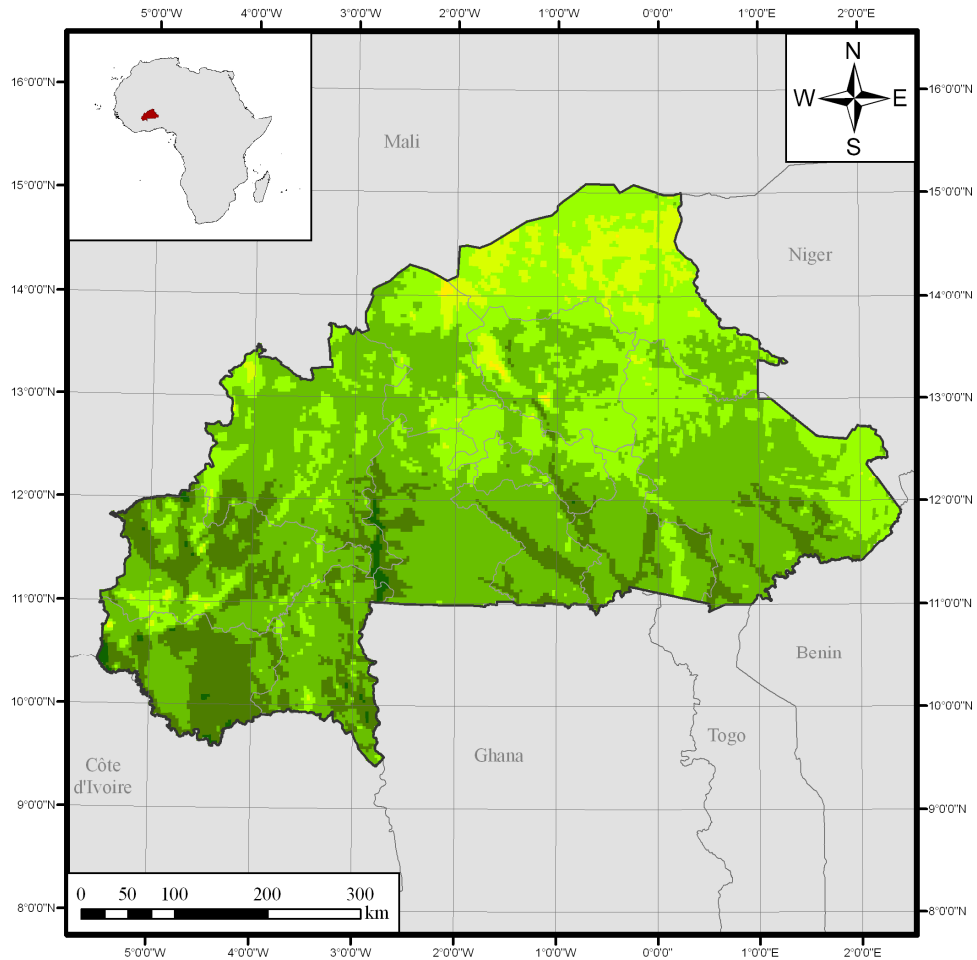
La présente carte décrit la ressource éolienne avec une résolution de 5 km à l'élévation indiquée au-dessus du sol. Créée par l'Université de Moncton (Canada) et l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso), cette carte est basée sur le modèle Anemoscope 1.3.1. Bien qu'elle donne une idée générale de la ressource éolienne et tente d'être la plus précise possible, l'estimation doit être confirmée par des mesures sur le terrain. Les auteurs se dégagent de toute responsabilité quant à l'utilisation de cette carte.



Figure 5. Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso à 30 m d'élévation au-dessus du sol



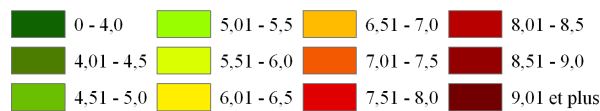
Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso (50 m)



Projection : Transverse Universelle de Mercator (UTM)
Datum : Adindan 1880

Mathieu Landry et Yves Gagnon
Chaire K.-C. Irving en développement durable
Université de Moncton
Canada

Vitesse moyenne (m/s) du vent à 50 m



Yacouba Ouedraogo et Abdoulaye Ouedraogo
Département de physique, UFR-SEA
Université de Ouagadougou
Burkina Faso

Novembre 2011

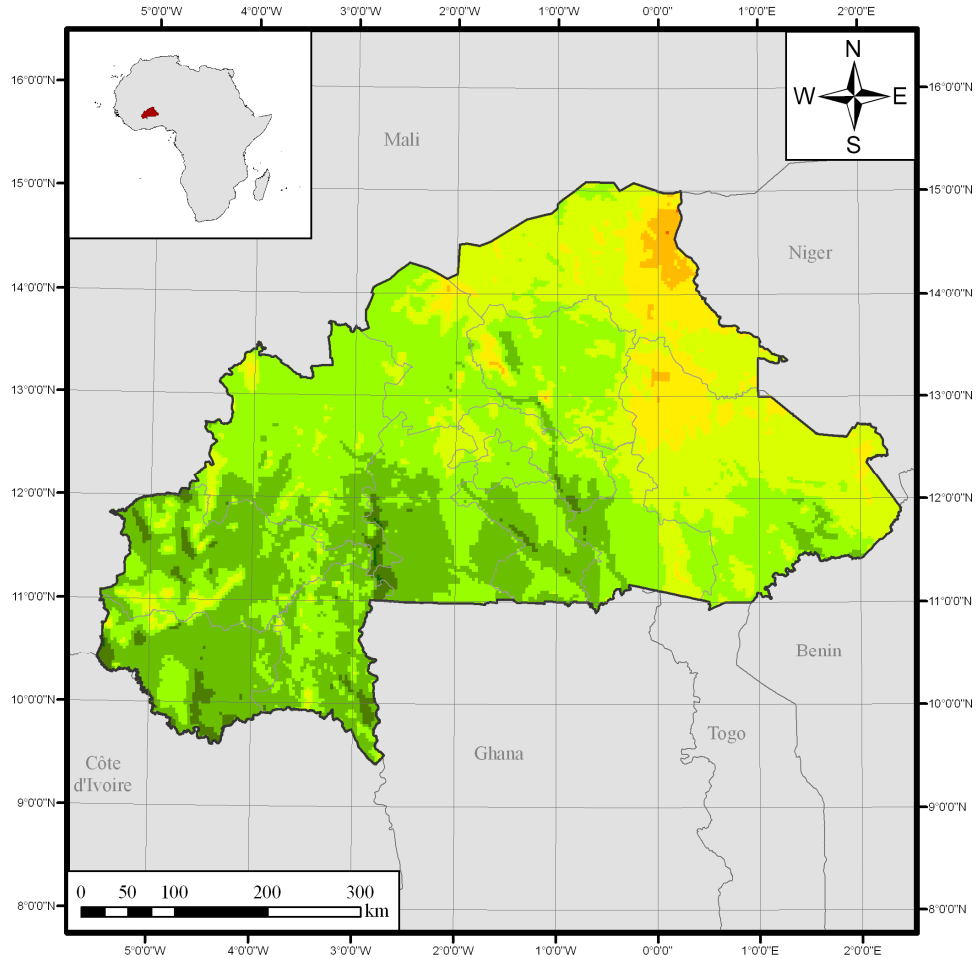
La présente carte décrit la ressource éolienne avec une résolution de 5 km à l'élévation indiquée au-dessus du sol. Créée par l'Université de Moncton (Canada) et l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso), cette carte est basée sur le modèle Anemoscope 1.3.1. Bien qu'elle donne une idée générale de la ressource éolienne et tente d'être la plus précise possible, l'estimation doit être confirmée par des mesures sur le terrain. Les auteurs se dégagent de toute responsabilité quant à l'utilisation de cette carte.



Figure 6. Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso à 50 m d'élévation au-dessus du sol



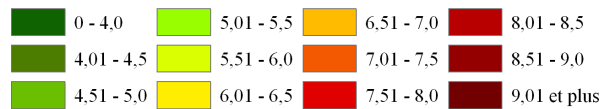
Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso (80 m)



Projection : Transverse Universelle de Mercator (UTM)
Datum : Adindan 1880

Mathieu Landry et Yves Gagnon
Chaire K.-C. Irving en développement durable
Université de Moncton
Canada

Vitesse moyenne (m/s) du vent à 80 m



Yacouba Ouedraogo et Abdoulaye Ouedraogo
Département de physique, UFR-SEA
Université de Ouagadougou
Burkina Faso

Novembre 2011

La présente carte décrit la ressource éolienne avec une résolution de 5 km à l'élévation indiquée au-dessus du sol. Créée par l'Université de Moncton (Canada) et l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso), cette carte est basée sur le modèle Anemoscope 1.3.1. Bien qu'elle donne une idée générale de la ressource éolienne et tente d'être la plus précise possible, l'estimation doit être confirmée par des mesures sur le terrain. Les auteurs se dégagent de toute responsabilité quant à l'utilisation de cette carte.



Figure 7. Carte de la ressource éolienne du Burkina Faso à 80 m d'élévation au-dessus du sol

DISCUSSION GÉNÉRALE DES RÉSULTATS

Les résultats du développement de l'Atlas éolien du Burkina Faso ont démontré que la ressource éolienne à 80 m d'élévation au-dessus du sol est relativement bonne dans les régions du nord-est du pays, de même que dans des zones spécifiques dans les régions élevées du nord et de l'ouest du pays. L'intérêt de connaître la ressource éolienne à 80 m est dû au fait que les turbines éoliennes de grandes tailles ont leur nacelle à cette hauteur.

De façon générale, les profils de vent sont les mêmes à 30 m et 50 m au-dessus du sol. L'intérêt de connaître la ressource éolienne à ces élévations est pour l'implantation de turbines éoliennes de tailles moyennes et de petites éoliennes. Les cartes de la ressource éolienne à ces élévations permettront d'estimer la production d'énergie pour ces types de turbines éoliennes qui pourraient être installées sur le territoire du Burkina Faso.

L'Atlas éolien permettra au Burkina Faso de bien cadrer le développement de l'énergie éolienne sur son territoire, et permettra d'identifier les sites favorables à être développés pour ses bénéfices économiques et ses attributs environnementaux.

REMERCIEMENTS

Ce projet fut accompli dans le cadre d'une collaboration internationale entre l'Université de Moncton, Canada et l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso. Les travaux de recherche de la Chaire K.-C.-Irving en développement durable sont notamment financés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) du Canada. Ce projet a aussi bénéficié du soutien de l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), un organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie.

RÉFÉRENCES

Archer C.L. et Jacobson M.Z., 2005. Evaluation of Global Wind Power, *Journal of Geophysical Research*, 110, 6, 20 pp.

Benoit R., Chartier Y., Desgagné M., Desjardins S., Pellerin P. et Pellerin S., 1997. The Canadian MC2: A Semi-Lagrangian, Semi-Implicit Wideband Atmospheric Model Suited for Finescale Process Studies and Simulation. *Monthly Weather Review*, 125, pp.2382-2415.

Commission Européenne, 2000. Global Environment Monitoring (GEM) Program, Global Land Cover. [Disponible] http://ec.europa.eu/index_en.htm.

Consultative Group for International Agriculture Research - Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), 2004. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Database. [Disponible] <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Coppin P.A., Ayotte K.A. et Steggel N., 2003. Wind Resource Assessment in Australia: A Planner's Guide, Wind Energy Research Unit, CSIRO Land and Water. 96 pp.

Environnement Canada, 2004. Atlas canadien d'énergie éolienne. [Disponible] www.windatlas.ca.

ESRI, ArcGIS database.

European Wind Energy Association (EWEA), 2009. Wind Energy – The Facts, Earthscan, London, United Kingdom.

Frey-Buness F., Heimann D. et Sausen R., 1995. A Statistical-Dynamical Downscaling Procedure for Global Climate Simulations. *Theoretical and Applied Climatology*, 50, pp.117-131.

Hélimax Énergie, 2004. Strategic Study of Wind Energy Deployment in Africa, Submitted to the African Development Bank, Côte d'Ivoire, 33 pp.

Institut géographique du Burkina Faso, 2002. Base des données d'occupation des terres. [Disponible] <http://www.igb.bf/>.

Institut national de la statistique et de la démographie du Burkina Faso, 2006. [Disponible] <http://www.insd.bf/fr/>

Mallet M., Gagnon Y., Poitras G. et Gasset N., 2007. Atlas éolien du Nouveau-Brunswick. Chaire K.-C.-Irving en développement durable, Université de Moncton, Canada. [Disponible] web.umoncton.ca/chaired/atlas_eoliens.html.

Risø National Laboratory, 1989. The European Wind Atlas. [Disponible] www.windatlas.dk/europe/index.htm.

Thibault R., Gagnon Y., Colville D. et Bird S., 2007. Wind Atlas of Nova Scotia. Chaire K.-C.-Irving en développement durable, Université de Moncton, Canada. [Disponible] www.nswindatlas.ca.

U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, 2011. Wind Powering America, 80-Meter Wind Maps and Wind Resource Potential. [Disponible] www.windpoweringamerica.gov/wind_maps.asp.