

Analyse du « Dossier méthodologique relatif à l'élaboration d'une carte positive de référence traduisant le cadre actualisé, associée à un productible minimal par lot permettant de développer le grand éolien à concurrence d'un objectif de 3.800 GWh à l'horizon 2020 » réalisé par Ph. LEJEUNE, C. FELTZ & F. FOURNEAU, Faculté agronomique de Gembloux, 11 juillet 2013.

1. CONTEXTE

La Région Wallonne soumet à enquête publique une carte des zones favorables, censée traduire le nouveau cadre de référence éolien en Wallonie. Pour permettre au public de se faire une opinion, le SPW met à disposition sur son site (<http://spw.wallonie.be/dgo4/eolien/>) les documents suivants :

- Des courriers aux Conseils communaux ;
- La carte des lots croisée avec les zones favorables, pour l'ensemble de la Wallonie ;
- Le dossier méthodologique (DM);
- Le rapport sur les incidences environnementales (RIE), et son résumé technique ;
- Le cadre de référence (CR), accompagné d'un addendum ;
- Une cartographie par commune, avec fiches synoptiques ;
- Une cartographie par lot ;
- Une visualisation en ligne des zones favorables au productible éolien.

Bien que le cadre de référence suscite bon nombre de questions, notamment sur l'arbitraire présidant à la fixation de plusieurs valeurs-seuils, et ne réponde pas encore à toutes les interrogations du public, dans l'attente de la définition de normes sectorielles de bruit par exemple, seules la carte et sa méthodologie font l'objet de l'enquête publique. D'autre part, si la carte et sa méthodologie sont censées traduire le cadre de référence, rien n'est dit sur l'obligation de respecter, ou non, dans cette méthodologie, les recommandations du RIE faisant partie des « documents utiles » fournis par le SPW.

Lors de réunions d'information à destination du public et des membres des collèges communaux et CCATM, les représentants du facilitateur éolien, l'APERRE, et des Cabinets concernés ont insisté sur le caractère **indicatif** de la carte. Elle est censée traduire une situation de fait, à un moment déterminé, et elle peut/doit évoluer avec le temps. Le souhait du SPW semble bien d'identifier, au travers de l'enquête publique, les modifications que devrait subir la carte pour tenir compte, localement, de la réalité du terrain révélée par les remarques du public.

Au terme de la procédure d'enquête publique, la carte, éventuellement modifiée, accompagnera un décret éolien que le gouvernement wallon devra approuver. Cependant, la carte n'aura **pas de valeur réglementaire**. Il sera donc possible de déroger aux propositions de zones favorables reprises sur la carte, si un dossier introduit par un promoteur éolien est jugé acceptable par les autorités régionales. Dans ces conditions, l'utilité de la carte devient relative, de même sans doute que celle de l'enquête publique à laquelle elle est soumise.

Malgré son caractère indicatif et non réglementaire, la carte est qualifiée de « référence » et elle est présentée comme le résultat d'un travail scientifique réalisé par des professeurs d'université. Rien n'est dit cependant des conditions, délais et ressources, disponibles ou imposés pour la réalisation de cette étude.

2. AMBIGUÏTÉS DE L'APPROCHE SCIENTIFIQUE

L'objectif tel qu'énoncé dans le DM (§ 1.2, p. 1) prétend « *traduire cartographiquement les critères du cadre de référence pour estimer globalement le productible éolien potentiel sur l'ensemble de la Wallonie* ». L'étude est présentée comme si des critères précis étaient appliqués systématiquement sur des données exemptes de toute erreur, pour arriver à 3.800 GWh (3.803 pour être exact). Or, l'analyse du dossier démontre que des choix arbitraires ont été effectués, tant parmi les critères que les valeurs seuils, et qu'une grande liberté a été prise tant vis-à-vis des données que de la méthodologie, pour obtenir, au terme de l'étude, les 3.800 GWh souhaités.

D'autre part, la notion de « carte de référence » a dans ce contexte un double sens. Elle témoigne à la fois de la volonté de se servir de la carte comme une source « scientifique », cautionnant une politique controversée d'autre part, tout en renvoyant explicitement au CR (GOUVERNEMENT WALLON, 2013) que la carte est censée illustrer. Or, la carte est construite selon une démarche technique plutôt que scientifique (pas d'analyse critique des sources, aucune considération sur la quantification des erreurs, etc.), et elle s'écarte même sur au moins un point des prescriptions du CR. En outre plusieurs recommandations du RIE ne sont pas incluses dans la démarche du DM et ne sont donc pas traduites dans la carte finale.

Il faut donc nuancer les résultats du dossier méthodologique et, surtout, éviter un usage illégitime de la carte, en particulier une exploitation politique abusive de ce document qui consisterait à faire avaliser par les autorités communales et le public une délimitation des zones favorables à l'éolien sous prétexte que la carte est un document « de référence » résultant d'une analyse scientifique.

3. DES DONNÉES IMPRÉCISES, INAPPROPRIÉES ET INCOMPLÈTES

La délimitation des zones favorables à l'installation de parcs éoliens repose sur trois jeux de données : (1) celles déterminant des zones d'exclusion, (2) celles relatives aux champs éoliens existants, et enfin (3) les données climatiques permettant d'identifier les zones à potentiel de vent suffisant.

3.1. Données déterminant des zones d'exclusion

3.1.1. Des données imprécises

Les données déterminant des zones d'exclusion sont issues d'une vingtaine de sources différentes et indépendantes. Parmi celles-ci, la plus importante est sans doute le plan de secteur, source de nombreuses données distinctes alimentant le DM, dont les zones forestières et la zone d'habitat. L'usage du plan de secteur ne peut être évité, malgré sa précision planimétrique limitée. Les auteurs du DM étaient sans doute les mieux placés pour en juger puisqu'en 2006, ces mêmes auteurs écrivaient, déjà à destination du SPW, que la version numérique des plans de secteur « *ne peut toujours pas être considérée comme juridiquement valable et de qualité suffisante* » (FELTZ et al., 2006, p. 3). Les délimitations issues du plan de secteur auraient dû, pour le moins, être affectées d'un corridor d'incertitude d'un à deux décamètres au minimum (figure 1). Or, à aucun moment, les auteurs du DM n'ont considéré cette imprécision.

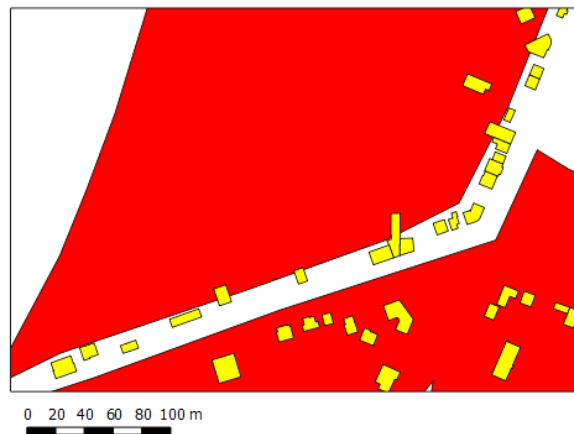


Figure 1. Extrait illustrant le décalage entre la zone d'habitat à caractère rural du plan de secteur (rouge) avec, en superposition, les bâtiments d'habitation du PICC (jaune) (sources SPW).

On relève d'autre part que la délimitation des « zones à risque », du « patrimoine naturel » et de la « biodiversité », utilisent des entités cartographiques abstraites, dont l'emprise au sol est approximative par définition (limites floues) et/ou non pérenne. Le fait de traduire ces données par un zonage binaire (présence / absence de la contrainte) constitue à la fois une simplification abusive et une erreur méthodologique. Plus encore que les données issues du plan de secteur, ces données abstraites sont entachées d'une incertitude spatiale qu'il faut appréhender par une approche probabiliste ou par une heuristique relevant de la logique floue (BONHAM-CARTER 1995 ; FIGUEIRA et al., 2005 ; TISKO & HAILE, 2011).

Parmi les autres données au sujet desquelles une estimation de l'erreur est indispensable, il faut aussi mentionner le modèle numérique de terrain et ses produits dérivés. Le modèle ERRUISSOL produit par le SPW est utilisé dans la version de juillet 2013 du DM, afin de sélectionner les zones de pentes inférieures à 7,5 %. ERRUISSOL est un modèle composite, dans la mesure où il intègre plusieurs sources de données (LIDAR, PICC, données altimétriques IGN) de qualité variable, dont la précision sur les hauteurs varie sensiblement sur l'espace. À l'erreur sur les hauteurs, s'ajoute une erreur sur le calcul des pentes, fonction de l'erreur précédente, mais variant selon la méthode d'extraction de pentes utilisée. Au total, l'erreur cumulée sur les pentes n'a pas été prise en considération, alors qu'elle s'avère, au moins localement, être du même ordre de grandeur que la valeur du seuillage choisi.

Enfin, il faut ajouter que les sources des données utilisées sont cartographiques, et non géographiques (reportées sur cartes et non mesurées sur le terrain). Cela a pour conséquence qu'à l'imprécision propre de la délimitation des thèmes, s'ajoute une erreur systématique associée au fond de carte (TOBLER, 1988). En première analyse, elle peut être assimilée à l'erreur graphique, soit de 0,2 mm à 0,5 mm à l'échelle (CUENIN, 1972, p. 79 ; AFT, 2013).

3.1.2. Des données inappropriées

Le plan de localisation informatique (PLI) constitue, assez curieusement, une autre source importante du DM. Elle est utilisée pour délimiter la zone d'exclusion autour de l'habitat isolé (hors de la zone d'habitat du plan de secteur), tant en termes de contrainte d'exclusion intégrale que d'exclusion

partielle. Le recours au PLI pour identifier l'habitat isolé est très étonnant. Depuis la version 10 (mise à jour des mutations cadastrales 2009), la DGO4 ne diffuse d'ailleurs plus les données du PLI. Outre le fait qu'il ne s'agit pas d'une source authentique et qu'elle soit obsolète, il existe des sources beaucoup plus précises, élaborées tant par la Région wallonne, à savoir le Projet Informatique de Cartographie Continue (PICC – GÉOPORTAIL DE LA WALLONIE, 2013) pour les emprises des bâtiments (utilisé dans les figures 1 & 2), que par l'AGDP pour les limites cadastrales (CadMap réalisé, et CadGIS en développement : MERTENS, 2008 ; AGDP, 2013). Il est incompréhensible que ces sources n'aient pas été utilisées. Il s'ensuit une erreur de position très importante (plusieurs décamètres dans la majorité des cas) dans la délimitation des zones d'exclusion autour de l'habitat isolé (figure 2).



Figure 2. Comparaison de l'emprise de bâtiment d'habitat entre le PICC (jaune) et le PLI (violet) sur fond d'orthophoto (sources : SPW).

La délimitation des périmètres paysagers pose un problème particulier, dans la mesure où plusieurs découpages distincts coexistent, privilégiant telle ou telle caractéristique (botanique, historique, esthétique, etc.). À grande échelle, une révision des périmètres paysagers du plan de secteur est en cours (CPDT et al., 2006), tandis qu'au niveau national, la communauté scientifique a récemment consacré à cette thématique un volume de l'Atlas de Belgique (VAN HECKE et al., 2010). Les auteurs du DM n'ont pas tenu compte de ces travaux en retenant leur propre découpage, négligeant ainsi plusieurs composantes géographiques essentielles.

3.1.3. Des données incomplètes

La notion d'incomplétude renvoie, à la fois, au caractère obsolète d'un jeu de données, et aux erreurs d'omission et de confusion dans un jeu de données. Le même jeu de données peut être entaché des deux sources d'incomplétude.

Comme on l'a rappelé plus haut (§ 1), la carte est censée traduire une situation de fait, à un moment déterminé. Encore faut-il pour cela disposer de données synchrones ce qui, vu la multiplicité des données utilisées dans le DM, est pratiquement impossible. Les dates de levés et les périodicités des mises à jour éventuelles sont très variables, engendrant une incohérence temporelle dans le résultat croisant ces jeux de données. Il existe donc un risque manifeste que les zones désignées comme favorables soient invalidées par l'installation relativement récente d'une source d'exclusion. Ce risque peut être évalué, ou pour le moins documenté, par les techniques de traçage temporel

exploitant la généalogie des données interférant dans chaque résultat. Cette évaluation de la qualité temporelle n'a pas été suivie dans le DM.

D'autre part, plusieurs données utilisées dans le DM sont en cours de révision. C'est le cas en particulier de la carte géologique dont la nouvelle version modifie sensiblement la précédente. En aval, ce sont les données hydrogéologiques, celles relatives aux phénomènes karstiques ou aux glissements de terrain qui sont revues. Si tous les levés de terrain ne sont pas encore effectués, une bonne partie des données est déjà disponible et l'on s'étonne des lacunes considérables dont témoignent les cartes d'exclusion relatives à ces phénomènes (exemple en figure 3).

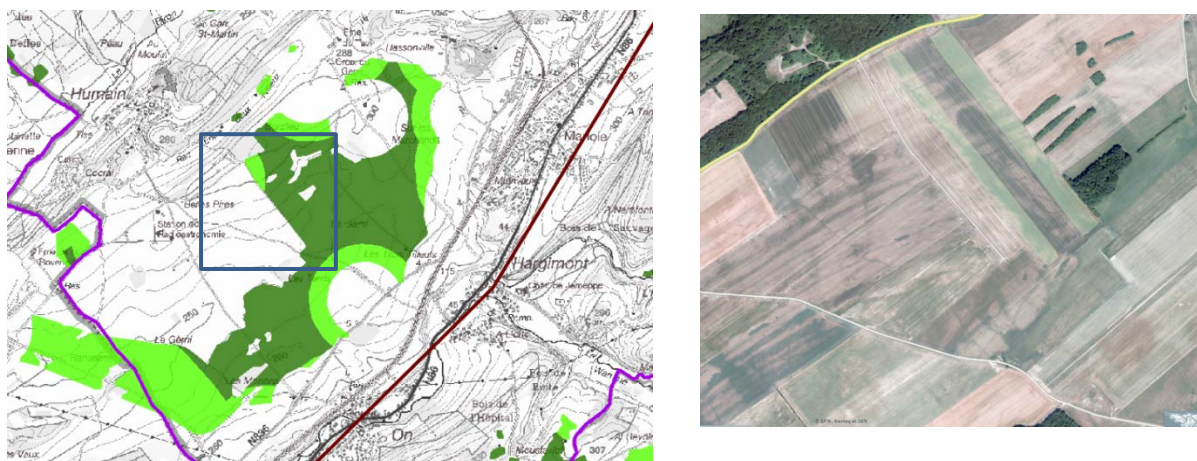


Figure 3. Extrait illustrant les omissions importantes en matière de zones karstiques.

Le plateau de Gerny « zone favorable sans contrainte d'exclusion » :
un des plus beaux exemples belges de lapiez couverts karstiques...
(les calcaires dévoniens couvrent presque la totalité du Gerny).

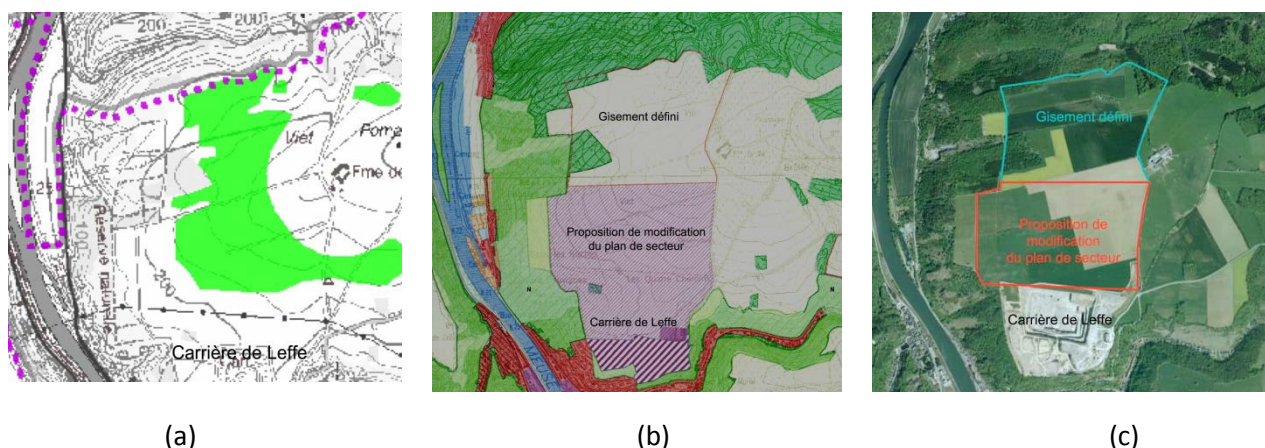


Figure 4. (a) Zone favorable à l'implantation d'éoliennes avec présence d'au moins une contrainte partielle au nord de la carrière de Leffe. (b) Proposition de modification du plan de secteur pour l'extension de la carrière de Leffe, portant sur l'inscription de 59,6 ha en zone d'extraction. Gisement de 85 ha défini au nord de la nouvelle zone d'extraction. (c) Proposition de modification du plan de secteur pour l'extension de la carrière de Leffe, portant sur l'inscription de 59,6 ha en zone d'extraction; en bleu: gisement de 85 ha défini au nord de la nouvelle zone d'extraction. (Poty & Bertola, 2010).

Dans le même ordre d'idées, le DM utilise le plan de secteur pour identifier les zones d'extraction (carte 1.2), alors que, dès 1995, la Direction générale de l'Aménagement du territoire, du logement

et du Patrimoine a décidé d'établir un inventaire des carrières en Région wallonne et d'évaluer les besoins à 30 ans de ce secteur en tenant compte des contraintes résultant d'un aménagement du territoire durable. De 1995 à 2001, le Département de géologie de l'Université de Liège a été chargé de réaliser cet inventaire des ressources du sous-sol et de définir de nouveaux gisements potentiels afin d'assurer la protection des ressources pour le futur (POTY et al., 2002 ; POTY & CHEVALIER, 2004). De 2008 à 2010, à la demande de la même Direction générale (DG opérationnelle Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine et Énergie du Service Public de Wallonie), le même service de l'Université de Liège a réalisé une actualisation des données relatives aux carrières en activité (POTY & BERTOLA, 2010). Les omissions du DM en cette matière (exemple en figure 4) relèvent donc de l'usage de données inappropriées (cf. 3.1.2).

3.2. Données relatives aux champs éoliens existants

La délimitation des champs éoliens existants utilise une source cartographique de la DGO4, où figurent les 414 mâts en fonctionnement, en construction ou dont le permis est accordé mais qui sont en recours auprès du Conseil d'État (situation au 15 janvier 2013).

La surface totale ainsi délimitée correspond à près de 17.000 ha (1 % du territoire), qui sont traités comme des contraintes d'exclusion intégrale. Selon les auteurs du DM, en effet, les zones favorables doivent être considérées comme « encore valorisables » et ne peuvent donc comporter de surfaces où sont présents les mâts existants. Ce choix masque une question importante qui est de savoir si les mâts « existants » sont bien implantés dans des zones considérées comme favorables au vu des contraintes d'exclusion et du potentiel de vent suffisant.

Si cette cooccurrence spatiale n'est pas démontrée, les mâts qui font l'objet d'un recours au Conseil d'État ne peuvent être comptabilisés dans « l'existant ». En effet, si le Conseil d'État interdit la réalisation d'un projet, et que le promoteur introduit un nouveau projet, celui-ci devra, on suppose, faire l'objet d'une nouvelle demande de permis et d'une nouvelle réunion d'information publique. Pour ces dernières, le nouveau cadre de référence sera applicable, en ce compris l'implantation au sein d'une zone désormais jugée favorable. Le fait de prendre en considération parmi « l'existant » des mâts dont le permis est accordé mais qui sont en recours auprès du Conseil d'État paraît donc inapproprié, tant du point de vue spatial, que du point de vue du calcul du prédictible éolien existant.

3.3. Données climatiques permettant d'identifier les zones à potentiel de vent suffisant

Il s'agit d'une donnée essentielle, à la fois parce que, selon la méthodologie des auteurs du DM, le seuillage du potentiel vent participe aux contraintes d'exclusion intégrale, mais aussi et surtout parce que la donnée est, parmi toutes celles utilisées, la plus imprécise, tant spatialement que quantitativement.

L'analyse repose sur une étude du gisement éolien et du potentiel de production en région wallonne, réalisée par la société ATM-PRO pour la DGO4. Le modèle MAESTROW de ATM-PRO (ATM-PRO, 2008 ; DEWILDE et al., 2006) a été reconnu comme éligible aux subventions d'études et mesures de vent par la Région wallonne, et il est largement utilisé par les producteurs éoliens. Il s'agit d'un modèle climatique régional, forcé par les vents observés à 10 m (réseau METAR) et utilisant les vents géostrophiques estimés pour engendrer par « downscaling » les vitesses de vents au sol (10 m) dans les régions sans observation. La résolution du maillage au sol est un critère fondamental qui n'est

qu'imparfaitement justifié au regard des données disponibles et de la littérature en la matière (par exemple, STEIN et al., 2001 ; HENGL, 2006). Le modèle permet une résolution variable, en utilisant plusieurs paramètres locaux notamment de rugosité, tels que l'orographie et l'occupation du sol. On note cependant que le modèle est moins fiable dans les zones où peu d'observations au sol sont présentes (en Ardenne par exemple) et que le vent à 10 m n'est pas celui qui fait tourner les éoliennes. Quoi qu'il en soit, à la résolution d'un kilomètre, la précision annoncée par les auteurs du modèle sur la production calculée serait comprise entre 15 et 20 % (ATM-PRO, 2008). Cette plage d'incertitude doit être considérée comme un minimum puisqu'elle correspond déjà à la variabilité du gisement éolien d'une saison à l'autre, et d'une année à l'autre.

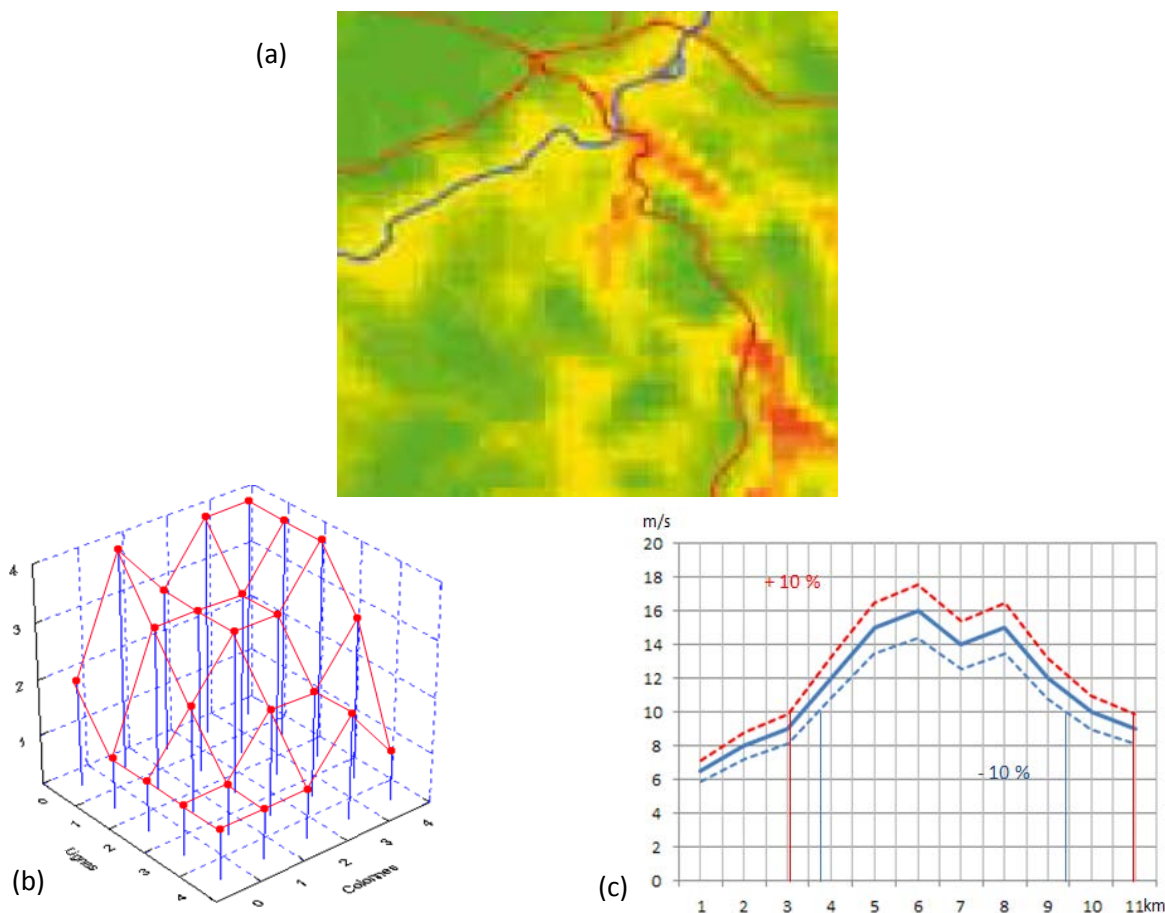


Figure 5. Types d'erreurs planimétriques associées à la modélisation du gisement éolien

- (a) discrétisation spatiale du potentiel vent selon un carroyage à mailles carrées ;
- (b) erreur planimétrique provoquée par la discrétisation spatiale d'un phénomène spatialement continu selon un carroyage à mailles carrées ;
- (c) transcription spatiale d'un intervalle de confiance pris, pour l'exemple à $\pm 10\%$ autour de la vitesse des vents (seuil à 10 m/s).

Deux types d'erreurs devraient être considérées : d'une part, l'erreur sur le gisement éolien (ou le productible qui en est dérivé) déterminé en un point quelconque du territoire et, d'autre part, l'erreur planimétrique engendrée par le carroyage kilométrique utilisé pour discrétiser spatialement le résultat (figure 5a & b). L'intervalle de confiance construit sur les valeurs du gisement éolien augmente encore l'incertitude spatiale (figure 5c), mais en l'absence d'information sur la précision atteinte par l'application du modèle MAESTROw sur le territoire wallon (selon les fonctionnaires du

SPW contactés, le ministre ne permet pas la consultation de l'étude tant que le dossier éolien « fait polémique », nous nous contenterons de discuter ici de l'impact de l'erreur planimétrique liée au maillage kilométrique. Dans le cas d'un phénomène géographique maillé, et en l'absence de tout autre biais, la précision planimétrique correspond à la moitié de la résolution de la grille (GOODCHILD & KEMP, 1990), soit ici 500 m. Une analyse spatiale d'aide à la décision bien menée aurait pris soin de traiter une variable aussi imprécise par une fonction (probabiliste par exemple), mais le DM se contente de considérer le potentiel théorique du vent comme une contrainte binaire, parmi les variables d'exclusion. Son erreur se combine dès lors avec celles des variables examinées au § 3.1.1.

Comparativement aux autres variables d'exclusion, le potentiel de vent joue, sans surprise, un rôle prédominant dans l'incertitude de la délimitation des zones dites favorables à l'installation de parcs éoliens. Les zones d'exclusion dont la délimitation fait intervenir le potentiel de vent présentent une incertitude de l'ordre de 500 m pour ce seul critère, sans même tenir compte de l'erreur de 15 à 20 % sur l'estimation du potentiel lui-même.

4. AMBIGUÏTÉS ET ERREURS MÉTHODOLOGIQUES

4.1. Non-respect du CR et du RIE

Le titre du DM indique explicitement que la carte doit traduire le CR actualisé. On peut donc s'attendre à ce que chaque critère d'exclusion fasse l'objet d'une carte spécifique et soit pris en compte dans le résultat final. La liste des critères d'exclusion, avec les valeurs seuils de distance à utiliser dans les différents cas de figure, apparaît dans le texte du CR (pp. 13-14).

Parmi les infrastructures, le CR mentionne en premier lieu (p. 13) les voiries. Pour les autoroutes et les routes régionales à 4 voies avec berme centrale, c'est le texte du CR lui-même qui est ambigu. Il décrit une « distance conditionnelle » comme une « zone tampon allant du bord de l'infrastructure à la hauteur de l'éolienne ». La hauteur de l'éolienne n'est pourtant pas reprise dans le tableau comme distance d'exclusion. La condition est que la distance s'applique pour autant que la sécurité des usagers soit garantie. Pour les routes à 2 voies, par contre, la distance d'exclusion est clairement indiquée à 1,5 fois la longueur des pales des éoliennes, mesurée par rapport au bord de la structure.

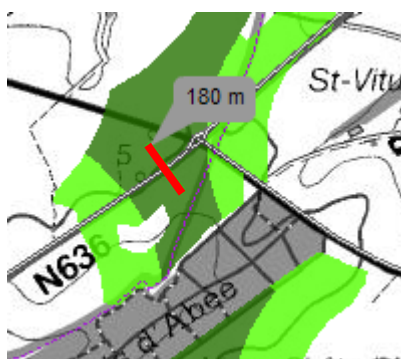


Figure 6. Absence d'un corridor-tampon autour de la voirie.

La largeur de 180 m (trait rouge, $\sim 2 \times 1,5$ la longueur des pales de l'éolienne) est reportée grâce à l'outil de calcul de distance offert par l'application de cartographie en ligne disponible sur le site du SPW (http://webgisdgo4.spw.wallonie.be/viewer_eole_2013/#theme=EOLE_2013).

Or, dans le DM, les infrastructures de voiries ne sont pas reprises (DM, tableau 2.1, pp. 3-4). Aucune zone tampon n'a été définie, ni autour des autoroutes, ni autour des routes régionales à 4 ou à 2 bandes (exemple en figure 6). Il faut pourtant souligner combien les voiries ont tendance à segmenter les vastes zones en morceaux de formes complexes et de superficies réduites, certainement moins efficaces pour l'installation et la rentabilisation d'éoliennes. C'est bien sûr le cas de toutes les infrastructures linéaires, mais la densité du réseau désigne les voiries comme principal élément perturbateur.

Bien que la coordination du RIE ait été confiée aux auteurs du DM, ces derniers se sont entourés de quelques personnes afin d'évaluer les incidences environnementales de la carte (dans sa version de février 2013). Plusieurs recommandations, portant notamment sur la création de nouvelles zones d'exclusion, n'ont pas été suivies dans les nouvelles versions du DM et de la carte (juillet 2013). C'est par exemple le cas de la création d'une nouvelle zone tampon de 500 m autour des cavités souterraines d'intérêt scientifique (RIE, p. 124).

4.2. Détermination des corridors d'exclusion de l'habitat isolé

Le CR (p. 6) stipule plusieurs catégories d'habitat parmi les territoires exclus : les zones d'habitat et d'habitat à caractère rural au plan de secteur, les périmètres de ZACC affectées à l'habitat, les zones de loisirs comportant de l'habitat, etc. La zone d'exclusion est calculée sur une distance à l'habitat s'élevant à minimum 4 fois la hauteur de l'éolienne, pour le « grand éolien », et à 400 m minimum pour le « moyen éolien » (p. 10). Le cadre de référence précise que ces distances s'appliquent également aux zones d'habitat non urbanisés. Bien que ces distances seuils ne soient pas justifiées par une étude scientifique (quelques éléments de justification apparaissent dans le RIE), elles constituent les modifications essentielles apportées à la version de juillet 2013 du CR.

Une option est en outre définie dans la version de juillet du CR, permettant de réduire la distance aux habitations hors zone d'habitat (qualifiées d'habitat isolé par la suite) à moins de 4 fois la hauteur de l'éolienne, sans jamais être inférieure à 400 m (p.10). Bien que cette option ne soit applicable que dans des conditions locales strictes, rien ne prédispose pourtant les habitations isolées à subir plus facilement les effets de la pollution sonore et visuelle. La version précédente du CR ne désignait pas spécifiquement les habitations hors zones d'habitat pour une telle option, et la réduction de distance n'était applicable que dans des conditions de bruit particulières (p. 10 du CR de février 2013). Cette nouvelle option paraît donc « corriger » une erreur de la version de la carte de février 2013, où une contrainte partielle avait été abusivement appliquée à l'habitat isolé. Cette disposition est donc maintenant corroborée par la nouvelle version du CR et l'habitat isolé reste traité de deux manières. D'une part, une zone tampon de 400 m lui est octroyée à titre de contrainte intégrale (tableau 2.1, p. 3). D'autre part, la zone distante entre 400 et 600 m autour de l'habitat isolé n'apparaît plus que comme contrainte partielle (tableau 2.2, p. 4).

L'application de ce critère de distance à l'habitat isolé pose cependant question. Le CR ne parle que de « distance à l'habitat », mais précise pour chaque territoire à exclure qu'il s'agit d'un « périmètre ». On est donc en droit de penser qu'en ce qui concerne l'habitat isolé, la distance tampon commence au bord de la parcelle bâtie, et non au pied du mur du bâtiment. Seul le chapitre 6.2.2.2 du RIE (*Données générales relatives au bruit des éoliennes*) évoque, dans une citation, le bruit mesuré « aux façades des habitations des riverains » (p. 77). C'est également dans cette section du RIE que l'on trouve une justification (indécente voire effrayante pour qui a connu les nuisances

sonores de l'aéroport de Bierset) de la distinction de régime vis-à-vis de l'habitat isolé « *pour les maisons situées en dehors de la zone d'habitat, la valeur de 45 dB de nuit pourrait être d'application moyennant la mise en place de mesures d'accompagnement proposant le renforcement de l'isolation acoustique de l'habitation* » (p. 79).



Figure 7. Comparaison d'une zone tampon de 400 m autour d'un bâtiment (trait vert continu) et autour de son centroïde (cercle rouge discontinu).

Quoi qu'il en soit, selon la carte accompagnant le DM – la très mauvaise qualité du document cartographique ne permet pas d'en être certain, mais c'est ce qui ressort de l'examen attentif de quelques cas facilement identifiables – il semble que la zone tampon autour de l'habitat isolé ait été calculée autour du point central de l'emprise de l'habitat. Si tel est bien le cas, c'est une manipulation erronée. Les bâtiments isolés (fermes, châteaux, villas, hôtels...) sont souvent des immeubles présentant une vaste emprise au sol, implantés sur des parcelles bâties plus vastes encore. Réduire ces surfaces à un point (sans dimension) conduit donc à deux erreurs : d'une part sur la forme de la zone d'exclusion qui ne doit pas être circulaire et, d'autre part, sur l'étendue de la zone d'exclusion, qui est réduite de plusieurs ares (de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres dans toutes les directions autour de l'habitat – figure 7).

4.3. Propagation des erreurs dans l'analyse multicritère

La méthodologie décrite dans le DM s'apparente aux méthodes d'analyse multicritère, dans leur forme la plus triviale : chaque critère est traduit en une contrainte binaire et le résultat multicritère est obtenu par la cooccurrence des modalités non nulles. En pratique, cela correspond à utiliser la fonction la plus élémentaire des logiciels d'analyse de données géographiques (« overlay » des logiciels « SIG »). La méthode n'est pas la plus indiquée lorsque, comme c'est le cas ici, les données sont issues de sources variées, présentant des qualités diverses en particulier du point de vue géométrique. Cela ne signifie cependant pas que la propagation des erreurs dans le processus d'intégration des données doit être ignorée.

Or, le DM n'en fait nulle mention et la méthode est utilisée comme si les données étaient exemptes de toute incertitude. À l'inverse, la démarche aurait dû suivre un protocole précis, d'une part en identifiant, sans redondances, et en évaluant les différents types d'erreurs entachant chacune des sources, et d'autre part en traduisant l'impact des différents types d'erreurs sur l'extension spatiale de chaque critère. La propagation des erreurs dans l'opération combinant les couches de données

pouvait alors être estimée pour qualifier la qualité du résultat final. La littérature scientifique en la matière est particulièrement riche puisque la démarche est censée s'appliquer lors de toute intégration sérieuse de données spatiales (LANTER & VEREGIN, 1992 ; FORIER & CANTERS, 1996 ; HEUVELINCK, 1998 ; GHILANI & WOLF, 2006 ; DEVILLERS et al., 2007 ; DELAFONTAINE et al., 2009 ; SHI, 2010 ; LEIBOVICI et al., 2011).

Mais comme on l'a laissé sous-entendre plus haut, c'est un autre type d'analyse multicritère qu'il aurait fallu choisir face à des données de qualité aussi hétérogène. L'incertitude de chaque jeu de données pouvait être appréhendée par des modèles de sensibilité, de crédibilité, de limites floues et/ou de morphométrie (selon les thèmes analysés), et ensuite être incorporée dans un modèle d'analyse multicritère spécifiquement dédié à ces approches. Ce sont ces modèles qui sont aujourd'hui utilisés dans la grande majorité des problèmes de prises de décision environnementale et, ici encore, la littérature scientifique est prolifique (MALCZEWSKI, 2006 ; 2011 ; LIGMANN-ZIELINSKA & JANCKOWSKI, 2008 ; CHEN et al., 2011 ; TSIKO & HAILE, 2011 ; DURBACH & STEWART, 2012 ; MOSADEGHI et al., 2013).

Si un modèle multicritère plus adapté ou pour le moins la prise en considération de la propagation des erreurs dans la procédure de superposition de couches telle que décrite dans le CM, étaient hautement souhaitables, il reste que ces améliorations méthodologiques ne pouvaient évidemment pas prendre en charge les erreurs d'omissions et les confusions de sources notées plus haut. Par contre, les conséquences des incertitudes de position sur la délimitation des zones d'exclusion auraient pu être mises en évidence.

Nous n'avons évidemment ni le mandat, ni les moyens financiers pour réaliser, à la place des auteurs, une telle analyse. Pour fixer les idées, on peut cependant tenter d'estimer une erreur moyenne globale. En toute première approximation, en imaginant une précision de position quelque peu réaliste pour chacune des couches de données (de quelques mètres à quelques centaines de mètres selon les couches), l'erreur quadratique moyenne totale (racine carrée de la moyenne des carrés des erreurs) serait de l'ordre d'une centaine de mètres, sans tenir compte des données climatiques. En effet, pour les délimitations de zones favorables coïncidant avec les limites spatiales du critère climatique, l'incertitude totale de position dépasse les 500 m.

4.4. Évaluation du productible

L'estimation du potentiel productible global est évidemment entachée d'une incertitude importante, issue de la propagation des erreurs propres aux données utilisées. Mais on constate que les traitements appliqués en aval des délimitations des différents critères, pénalisent encore plus l'estimation du potentiel productible global.

Afin d'éviter les effets de saturation visuelle, le CR prévoit le respect de critères limitant l'inter-visibilité entre parcs éoliens et l'encerclement par des parcs éoliens. Le CR prévoit de limiter ces études d'incidences dans une aire circulaire (p. 26), dont le rayon est déterminé par une relation totalement empirique issue du Cadre de référence de 2002.

4.4.1. Inter-distance entre mâts

Pour tenter d'apporter une solution au respect de ces critères, les auteurs du DM ont dû simuler la manière dont les zones jugées favorables seront couvertes par les mâts des éoliennes.

L'heuristique utilisée (DM, pp. 46 et suivantes) favorise une densité maximale de mâts. Ceci a pour effet de localiser un grand nombre d'entre eux en bordure immédiate des zones, soit dans les parties des zones favorables les moins fiables puisque les plus sujettes aux incertitudes des données de localisation. Il s'ensuit, plus que probablement, une surestimation du nombre de mâts qu'il sera possible d'implanter.

On notera que la validation du traitement (pp.46-48) ne solutionne rien puisque les limites des parcs éoliens existants ne sont pas sensibles aux incertitudes des données utilisées pour délimiter les futures zones favorables.

4.4.2. Critère de non-encerclement

D'autre part, le critère de non encerclement est très mal défini par le CR : « un azimuth (ou angle horizontal) minimal sans éoliennes doit être préservé pour chaque village : celui-ci sera d'au moins 130°, sur une distance de 4 km ; une analyse de l'encerclement des villages sera réalisée sur 9km » (p. 25 & p.39).

Passons sur la définition « originale » du terme d'azimut, et même sur l'incohérence de la distance d'analyse vis-à-vis de la formule empirique de l'aire circulaire d'une zone d'incidence (CR, p. 26), pour rappeler simplement qu'un village n'est pas un point au milieu d'une plaine aride et observé à haute altitude par un aviateur... La notion d'encerclement est perçue par les habitants et elle est fonction de la répartition des habitations, de la forme du village et des obstacles naturels et anthropiques à la visibilité dans l'environnement du village. On ne peut faire l'économie d'études combinant inter-visibilité et encerclement, et le principe de ne retenir qu'un angle de vue préservé d'éoliennes par village est un non-sens. L'heuristique retenue par les auteurs fournit un résultat s'efforçant de tenir compte de cette disposition boiteuse, mais il risque, dans chaque cas de figure, de ne correspondre aucunement à la réalité perçue. Les études au cas par cas qui, on peut l'espérer, seront mieux encadrées et utiliseront des éléments plus réalistes que les simulations proposées par le DM, risquent de modifier sensiblement la disposition des mâts et, par conséquent, le potentiel productible escompté.

Il est éclairant de noter que les conclusions du RIE sur ce point sont particulièrement « prudentes », en considérant les inter-distances entre mâts et les angles de visibilité sans éoliennes comme des minima, et en posant « *la question de savoir si la présence visuelle globale du nombre de champs programmés à l'horizon 2020 pour la Wallonie, ne va pas induire une saturation visuelle de l'ensemble des territoires paysagers non protégés ou non forestiers et libres de servitudes aériennes. En d'autres termes, [...] si l'objectif énergétique de 4500 GWh/an permet [...] de maintenir une diversité des paysages exempts d'éoliennes et d'éviter le sentiment d'envahissement dénoncés par certains.* » (RIE, p. 90).

4.4.3. Calcul du productible global

Le calcul du productible global prend en compte, à la fois le productible existant et le productible « supplémentaire » (DM, p. 57). Ce dernier correspond à la somme du productible réalisé par les éoliennes qui seraient situées en dehors de toute contrainte d'exclusion, et une « partie » du productible réalisé par les éoliennes concernées par une (ou plusieurs) contrainte(s) d'exclusion partielle. Cette « partie » est définie par un taux de réussite, totalement arbitraire, de 20 % ou 30 %

selon la modalité de la contrainte partielle considérée. Il faut rappeler que les contraintes partielles ne sont pas exclusives et qu'un même territoire peut être soumis simultanément à plusieurs contraintes partielles (DM, p. 4).

Or, la formule de somme pondérée présentée dans le DM (p. 57) ne serait applicable que si une seule contrainte pouvait s'appliquer par zone, ce qui ne correspond pas aux hypothèses de travail. Selon cette formule, avec des taux de réussite de 20 %, une zone soumise à 6 contraintes partielles produirait 120 % d'une zone sans contrainte (toutes autres choses étant égales) ! Les taux de réussite doivent être considérés comme des proportions et leur effet est multiplicatif. En considérant que le taux de réussite est de 1,0 si la contrainte ne s'applique pas, la formule du productible supplémentaire, tous mâts confondus (*PROD*), pourrait s'écrire :

$$PROD = \sum_{j=1}^n prod_j \prod_{k=1}^{n_{cep}} tr_{k,j}$$

Où : $tr_{k,j} = \begin{cases} 0,2 \text{ ou } 0,3 & (\text{selon la modalité}) \text{ si la contrainte } k \text{ s'applique au mât } j \\ 1,0 & \text{ si la contrainte } k \text{ ne s'applique pas au mât } j \end{cases}$
 n = nombre de mâts
 n_{cep} = nombre de contraintes d'exclusion partielle
 $prod_j$ = productible du mât j

5. LIMITES DE LA CARTOGRAPHIE

Suite à ce qui a été dit précédemment, on comprendra que l'interprétation des documents cartographiques accompagnant le DM est très aléatoire. Les lacunes, les erreurs et les incertitudes combinées ne permettent plus de savoir où sont localisées les limites des zones favorables, ni même dans certains cas, si telle ou telle zone a encore des raisons d'être. Néanmoins, ces considérations seront momentanément écartées pour s'intéresser au seul processus de cartographie des résultats.

Le DM est largement illustré. Chaque critère d'exclusion, à l'exception des critères climatiques (la délimitation du champ des vents favorables n'apparaît pas) et de visibilité, est figuré par une carte. La très petite échelle ne permet cependant pas une perception visuelle correcte. En outre, à l'exception d'une sélection un peu curieuse du réseau hydrographique (Meuse, Sambre, Escaut et Dendre) et des frontières régionales, aucun élément de situation ne vient aider le lecteur (les limites communales apparaissent pourtant sur une carte).

Les zones favorables résultant des traitements évoqués dans le DM sont transcrites sur une carte de synthèse où sont également reportés plusieurs éléments de la planimétrie : limites des lots, délimitation des champs éoliens « existants », autoroutes, Meuse, Sambre, Escaut et Dendre, frontières communales et régionales. Les numéros de lots apparaissent également sur cette carte. C'est précisément ce document qui fait l'objet de l'enquête publique.

Il est évident que les cartes illustrant le DM, et la carte de synthèse en particulier, ne peuvent avoir pour objectif de constituer un cadre d'aide à la décision. Elles sont seulement là pour témoigner de l'existence (et indirectement des limitations...) des couches des données utilisées.

Afin d'aider le public à se faire une opinion, le SPW a reporté les limites des deux types de zones favorables sur des fonds de cartes IGN, consultables en ligne, soit au format PDF, soit au travers

d'une application de visualisation interactive qualifiée de « cartographie dynamique ». On notera accessoirement que l'accessibilité aux données PDF du serveur <http://docum1.wallonie.be> est impossible avec certaines versions récentes de navigateurs, tandis que le rendu des fichiers PDF diffère selon les plugins attachés aux versions des navigateurs (figure 8).

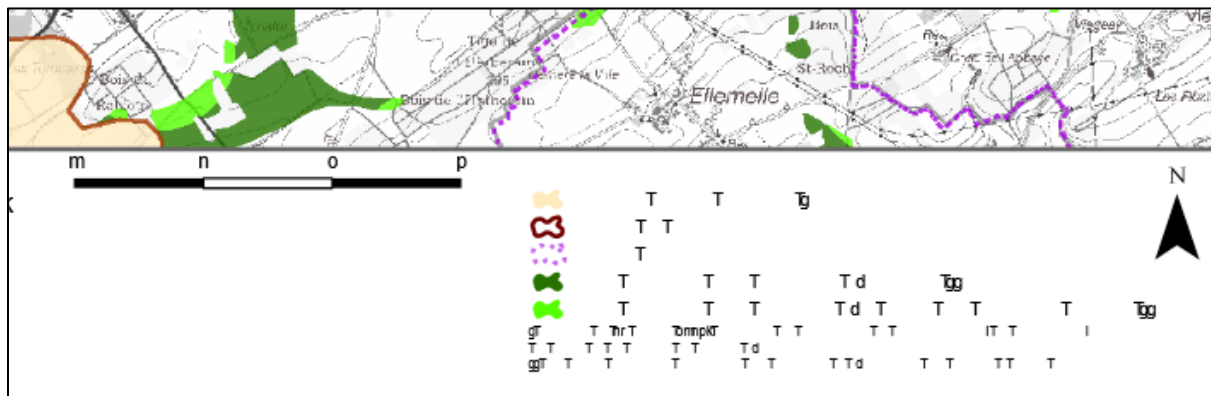


Figure 8. Visualisation de la légende d'une carte par commune avec le navigateur Firefox 24.0 (10/2013) et le plugin Adobe Acrobat 10.1.8.24 (3/10/2013).

Les images au format PDF sont disponibles par commune et par lot, et utilisent respectivement des fonds de cartes IGN aux échelles de 1 : 50.000 et 1 : 250.000. Les fonds sont traités en niveau de gris et sont numérisés selon une résolution grossière. Les écritures cartographiques en deviennent parfois illisibles et les zooms n'améliorent pas la visibilité du fond. Le fond utilisé pour la cartographie par lot est agrandi pour occuper, après découpage, la surface d'une feuille de format A3 (d'où la mention de l'échelle, après agrandissement, de 1 : 150.000 apparaissant au bas des images par lot). L'application en ligne utilise, quant à elle, un fond IGN à l'échelle de 1 : 25.000 de qualité sensiblement meilleure, même s'il reste traiter en niveaux de gris.

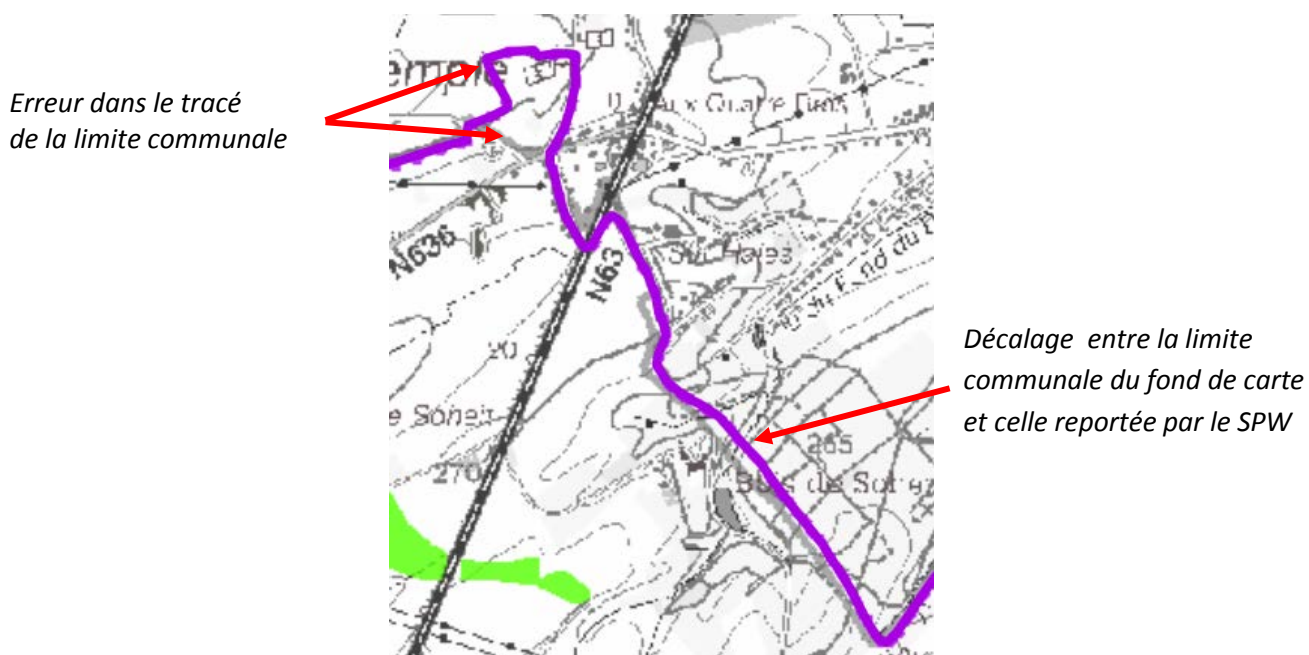


Figure 9. Report grossier des informations thématiques sur les fonds de cartes.

Les informations thématiques sont reportées en couleurs sur les différents fonds de carte (champs éoliens existants, zones favorables sans contrainte et avec au moins une contrainte d'exclusion partielle, limites de lots, limites communales, les deux dernières étant absentes de l'application en ligne). Cependant, le report a été effectué de façon très médiocre, engendrant des décalages de plusieurs millimètres (plusieurs décimètres sur le terrain, selon l'échelle) entre les limites reportées et les limites homologues du fond de carte (figure 9). On peut supposer qu'un décalage identique est subi par le report simultané des zones favorables.

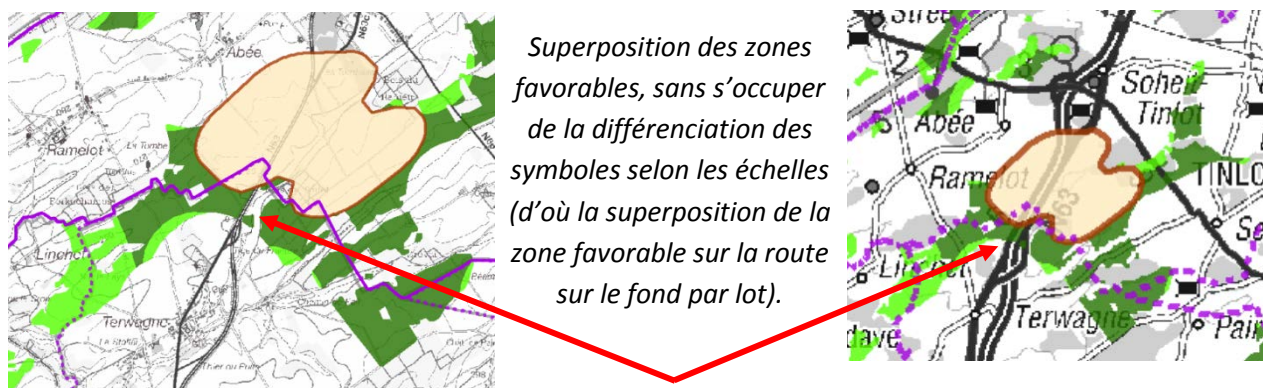


Figure 10. Superposition incorrecte due à la généralisation distincte du fond de carte selon l'échelle.

D'autre part, les zones favorables sont reportées sans tenir compte de la symbolisation et de la généralisation différenciées selon les échelles des fonds de cartes. Il s'ensuit des superpositions aberrantes de certaines zones favorables sur des éléments de la planimétrie censés être exclus des zones en question (forêts, routes, etc. Figure 10).

Ces erreurs de nature cartographique ne sont rien, comparées à celles affectant le processus de délimitation des zones favorables. Néanmoins, elles rendent d'autant plus difficile l'interprétation des cartes et témoignent d'un manque de professionnalisme dans l'analyse.

6. CONCLUSIONS

Toute considération mise à part sur l'intérêt économique et environnemental du développement de la filière éolienne en Wallonie, on ne peut que se réjouir de voir le Gouvernement wallon – s'il persiste dans ce projet – tenter de réduire la surface dédiée à ces immenses infrastructures, et la carte dont il est question ici est censée traduire cet objectif. Ces bonnes intentions restent pourtant subordonnées au fait du Prince, les autorités régionales pouvant à tout moment déroger à la cartographie qu'elles auront elles-mêmes mise en place.

Mais les autorités publiques commanditaires de cette étude cartographique ne semblent absolument pas conscientes des obstacles à une telle entreprise, nés tant de l'hétérogénéité et de la qualité éminemment variable des données géographiques nécessaires, que de la relative complexité des méthodes requises pour faire face à autant d'incertitudes. Les auteurs du DM et de la carte, scientifiques mais pas omniscients, en étaient-ils eux-mêmes conscients ? On pourrait en douter si on se limite à la lecture du DM, mais on perçoit bien dans le RIE leurs doutes et leur embarras. C'est en effet dans le RIE, et non le DM, qu'ils s'efforcent de justifier tel choix de données ou telle valeur-seuil apparemment arbitraire. C'est aussi dans le RIE qu'ils témoignent des difficultés rencontrées et qu'ils évoquent, sans les préciser, les conditions apparemment contraignantes de la mission (RIE, ch. 8, p.

127 et suivantes). On notera d'ailleurs que, d'une manière générale, les différents experts qui ont participé à la rédaction du RIE reconnaissent souvent le caractère lacunaire et/ou ambigu du DM, et se voient obliger de reporter les problèmes et les difficultés à de futures (?) études d'incidences environnementales locales.

Le DM étudié ici constitue sans doute une illustration des facilités techniques offertes aujourd'hui par les logiciels de type S.I.G. Il montre aussi la diversité, mais surtout l'hétérogénéité et les limitations des données disponibles auprès du SPW. Il a également le mérite de tenter de fournir une première indication sur un potentiel éolien disponible en Wallonie, même si cette estimation est entachée de plusieurs défauts. Est-ce à dire qu'il n'y avait pas moyen de faire mieux autrement ?

La méthodologie ignore totalement les notions de qualité des données, et la propagation des erreurs engendrée par tout processus d'agrégation de données spatiales d'origines multiples. Le modèle d'agrégation lui-même est mal choisi. La prise en considération de la qualité est pourtant une condition sine qua non pour qualifier une étude de « scientifique » dans un domaine comme celui-là (BROWN & HEUVELINCK, 2008). Il apparaît ainsi que l'ensemble des critères d'exclusion définis sur base des objets planimétriques concrets et abstraits engendre une erreur moyenne qui en première approximation peut être estimée à une centaine de mètres. D'autre part, la couche du potentiel vent présente, quant à elle, une précision de 500 m (sans tenir compte de l'erreur d'estimation du potentiel vent propre au modèle utilisé). L'incertitude totale sur la position rend non fiables tant la géométrie des zones favorables, que la production éolienne estimée.

Vis-à-vis du CR qu'il est censé accompagner, le DM s'écarte des prescriptions du cadre en ignorant les zones tampons autour de la voirie, et il semble d'autre part sous-estimer la distance d'exclusion autour de l'habitat isolé. Or, il s'agit de deux critères particulièrement importants puisqu'ils sont de nature à déstructurer sensiblement les zones favorables délimitées par l'étude.

L'estimation du productible éolien fait intervenir plusieurs contraintes spatiales supplémentaires, pour tenter de limiter les effets de saturation visuelle. Ces contraintes – mal définies dans le CR – sont appréhendées par simulations et de façon très approximative. L'estimation du productible éolien en est faussée d'autant. En outre, la superposition des contraintes partielles susceptibles d'affecter la production d'une éolienne échappe au calcul (formulation incorrecte), ce qui rend caduque l'estimation du productible éolien global.

Pour des raisons d'échelle et de sémiologie graphique, la carte de synthèse figurant dans le DM est inexploitable pour une quelconque prise de décision. Sa vocation première est strictement illustrative. Ceci étant dit, les cartes à plus grande échelle qui en sont dérivées et qui sont mises à disposition du public ne peuvent guère mieux l'éclairer, dans la mesure où l'incertitude de position est trop importante, où les critères du cadre de référence ne sont pas strictement respectés, et où la réalisation peu professionnelle de ces images cartographiques engendre de nouvelles ambiguïtés.

Comme l'ont souligné certains cosignataires de cette analyse lors d'un récent rapport sur le plan stratégique de la géomatique wallonne, la « démocratisation » ou « banalisation » de la géomatique (GPS, GoogleMaps et autres données en ligne, etc.) a fait apparaître de nouvelles applications bienvenues, mais aussi de nouveaux problèmes, tels que la mauvaise utilisation des données géographiques et l'impact – en termes de qualité – du traitement et de l'intégration de ces données. De telles pratiques peuvent avoir des conséquences désastreuses du point de vue social et

économique. Le problème est mondial et plusieurs initiatives tendent désormais à sensibiliser les acteurs et à apporter des solutions (BÉDART, 2012). En attendant, la construction de la « carte positive de référence » et surtout l'usage que l'on risque d'en faire au niveau politique, illustrent parfaitement cet écueil.

Cosignataires du présent rapport, par ordre alphabétique : F. CANTERS (VUB, Cartographie & SIG), Y. CORNET (ULg, Photogrammétrie & Télédétection), ML. DE KEERSMAECKER (UCL, Géographie), Ph. DE MAEYER (UG, Cartographie et SIG), JP. DONNAY (ULg, Cartographie & SIG), M. ERPICUM (ULg, Climatologie), X. FETTWEIS (ULg, Climatologie), G. HOUBRECHTS (ULg, Géomorphologie), JM. MARION (ULg, Géologie), E. POTY (ULg, Géologie), I. THOMAS (UCL, CORE & Géographie).

Références

- AGDP (2013). *CadGIS WMS*. Site accédé le 29/04/2013.
http://ccff02.minfin.fgov.be/cadgisWMS/CP_CadastralParcels/MapServer/WMSServer?
- AFT (2013). *Lexique topographique. Section 8.1. Termes généraux*. Association française de Topographie. Site consulté le 2/05/2013. <http://www.aftopo.org/FR/LEXIQUE/Termes-generaux-7-57>.
- ATM-PRO (2008). *Local Wind Resources & Energy Potential Assessment. ATM-PRO Decision Maker Tools (MAESTRO Wind)*. Nivelles : ATM-PRO.
- BÉDART (2012). Geospatial Data Quality Awareness, The Next Challenge: Are We Ready ? *International workshop on Geospatial Data Quality. Legal, ethical and technical aspects*. Québec, 18 mai 2012. Site consulté le 10/06/2013.
http://dataquality.scg.ulaval.ca/?page_id=523
- BONHAM-CARTER G.F. (1995). *Geographic Information Systems for Geoscientists*. Computer Methods in Geosciences, Series, Vol. 13 : Modelling with GIS. Kidlington & New York : Pergamon - Elsevier Science Ltd.
- BROWN J.D. & HEUVELINCK G.B.M. (2008). *On the Identification of Uncertainties in Spatial Data and Their Quantification with Probability Distribution Functions*. In WILSON J.P. & FORTHERINGHAM A.S. (éds) : *The Handbook of Geographical Information Science*. Malden (MA) : Blackwell Publishing, pp. 94-108.
- CHEN H., WOOD D., LINSTEAD C. & MALTBY E. (2011). Uncertainty analysis in a GIS-based multi-criteria analysis for river catchment management. *Environmental Modelling and Software*, **26**, pp. 395-405.
- CPDT, OBSERVATOIRE DU DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL, LEPUR, FUSAGx & MRW/DGATLP/DAU/DAR (2006). *Fiche de présentation des périmètres d'intérêt paysager : Wallonie*. Rapport CPDT, Région Wallonne, septembre 2006, 13 p.
- CUENIN, R. (1972). *Cartographie générale*. Tome 1. Collection scientifique de l'Institut Géographique National. Paris : Eyrolles.
- DELAFontaine M., NOLF G., VAN DE WEGHE N. ANTROP M. & DE MAEYER P. (2009). Assessment of sliver polygons in geographical vector data. *International Journal of Geographical Information Science*, **23** (6), pp. 719-735.
- DEVILLERS R., BÉDART Y., JEANSOULIN R. & MOULIN B. (2007). Towards spatial data quality information analysis tools for experts assessing the fitness for use of spatial data. *International Journal of Geographical Information Sciences* **21**, 3, pp. 261-282.
- DEWILDE L., CABOOTER Y., MAIL P.A., HOEBEKE P., DE RIDDER K., VAN DE VEL K., MARBAIX P., VAN YPERSEELE J.P., SCHAYES G., TRICOT C., DELCLOO A. & DUTRIEUX A. (2006). *Improved prediction of wind power in Belgium*. Final report. Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy (SPSD II) – Part 1 : Sustainable production and consumption patterns. Bruxelles : Belgian Science Policy Office.
- DGO4 (2013). *PLI – Plan de Localisation Informatique V04*. Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, Logement, Patrimoine, énergie. Site consulté le 29/04/2013.
http://dgo4.spw.wallonie.be/dgatlp/dgatlp/Pages/Observatoire/Pages/DirOHG/Geomatique/Donnees/fiche_dataset_inter_net_dgatlp.asp?abreg_data=PLI_V04
- DURBACH I.N. & STEWART T.J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, **223**-1, pp. 1-14.
- FELTZ C., LEJEUNE P. & SCHAAR C. (2006). *Amélioration de la cartographie vectorielle du plan de secteur*. Rapport final de la convention financée par le Ministère du Logement, des Transports et du Développement territorial et supervisé par la DGATLP/DAU/DAR. Faculté universitaire des sciences agronomiques, Laboratoires d'Aménagement du Territoire et de Géomatique, mars 2006.

- FIGUEIRAJ., SALVATORE G. & EHRGOTT M. (ed.) (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Berlin – Heidelberg - New York: Springer.
- FORIER F. & CANTERS F. (1996). A user-friendly tool for error modelling and error propagation in a GIS environment. *Proceedings of the Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. May 21-23, Fort Collins, Colorado, pp. 225-234.
- GEOPORTAIL DE LA WALLONIE (2013). *Géocatalogue – Géodonnées : Projet Informatique de Cartographie Continue*. Site consulté le 29/04/2013. http://geoportail.wallonie.be/cms/home/geocatalogue.html?search-theme=theme_50
- GHILANI C.D. & WOLF P.R. & (2006). *Adjustment computations. Spatial Data Analysis*. 4^e éd. Hoboken (NJ) : J Wiley & Sons.
- GOODCHILD M.F. & KEMP K.K. (1990). *NCGIA Core Curriculum in GIS. Unit 21: The Raster/Vector Database Debate*. Santa Barbara (CA) : National Center for Geographic Information and Analysis, University of California Santa Barbard. Site consulté le 2/05/2013. <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u21.html#UNIT21>
- GOUVERNEMENT WALLON (2013). *Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en région wallonne. CDR éolien*. Approuvé par le gouvernement le 21 février 2013. Modifié par décision du gouvernement wallon le 11 juillet 2013.
- HENGL T. (2006). Finding the right pixel size. *Computer & Geosciences*, **32**, pp. 1283-1298.
- HEUVELINCK G.B.M. (1998). *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS*. Londres : Taylor & Francis.
- LANTER D.P. & VEREGIN H. (1992). A research paradigm for propagation error in layer-based GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **58**, pp. 825-833.
- LEIBOVICI D.G, POURABDOLLAH A. & JACKSON M.J. (2011). Meta-propagation of uncertainties for scientific workflow management in Interoperable spatial data infrastructures. *Proceedings of the European Geosciences Union, General Assembly*, Vienne.
- LEJEUNE P., FELTZ C. & FOURNEAU F. (2013). *Dossier méthodologique relatif à l'élaboration d'une carte positive de référence traduisant le cadre actualisé, associée à un productible minimal par lot permettant de développer le grand éolien à concurrence d'un objectif de 3.800 GWh à l'horizon 2020*. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Département Forêts, Nature et Paysage, Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, 11 juillet 2013.
- LIGMANN-ZIELINSKA A. & JANCKOWSKI P. (2008). A framework for sensitivity analysis in spatial multiple criteria evaluation. In COVA T.J., MILLER H.J., BEARD K., FRANK A.U. & GOODCHILD M.F. (eds) : *Geographic Information Science Proceedings 5th International Conference, GIScience 2008*. Berlin – Heidelberg : Springer, pp. 167-187.
- MALCZEWSKI J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis : A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, **20**, pp. 703-726.
- MALCZEWSKI (2011). Local weighed linear combination. *Transactions in GIS*, **15-4**, pp. 439-455.
- MERTENS M. (2008). *Analyse AS-IS. Projet Pré-étude CADGIS. SPF Finances*. Version 1.0. Dolmen Computer Applications, Huizingen & Service Public Fédéral Finances, Bruxelles.
- MOSADEGHI R., WARMKEN J. TOMLINSON R. & MIRFENDERSK H. (2013). Uncertainty analysis in the application of multi-criteria decision-making methods in Australian strategic environmental decisions. *Journal of Environmental Planning and Management*, **56-8**, pp. 1097-1124.
- POTY E. & BERTOLA C. (2010). *Mise à jour des données relatives à l'activité extractive en Wallonie*. Service de paléontologie animale et humaine de l'Université de Liège.
- POTY E., CHEVALIER E. & CAUDRON M. (2002). *Inventaire des ressources du sous-sol de la Région wallonne et des besoins à terme (1995-2001)*. Direction générale de l'Aménagement du Territoire. Namur : Ministère de la Région wallonne.
- POTY e. & CHEVALIER E. (2004). *L'activité extractive en Wallonie. Situation actuelle et perspectives*. Direction générale de l'Aménagement du Territoire. Namur : Ministère de la Région wallonne.
- (2013). *Rapport sur les incidences environnementales (RIE) de la carte positive de référence traduisant le cadre de référence actualisé relatif au grand éolien en région wallonne* (juin 2013). Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, Gembloux agro-bio-tec & ICEDD. Mission financée par le Service Public de Wallonie.
- SHI W. (2010). *Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analysis*. Boca Raton : CRC Press.
- STEIN A., RILEY J. & HALBERG N. (2001). Issues of scales for environmental indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **87(2)**, 215-232.
- TOBLER W. (1988). *Resolution, resampling and all that*. In MOUNSEY H. & TOMLINSON R. (éds) *Building Data Bases for Global Science*. Londres : Taylor & Francis, pp. 129-137.

TSIKO, R.G & HAILE T.S. (2011). Integrating Geographical Information Systems, Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process in Modelling Optimum Sites for Locating Water Reservoirs. A Case Study of the Debub District in Eritrea. *Water*, 2011-3, 254-290.

VAN HECKE E., ANTROP M. & SCHMITZ S. (2010). *Atlas de Belgique Tome 2 : paysages, monde rural et agriculture*. Commission de l'Atlas national. Gand : Academia Press.