

## UTILISATION DES SIG POUR LA SPATIALISATION DU RISQUE GÉLIF ACCRU APRÈS L'IMPLANTATION D'UN REMBLAI FERROVIAIRE

G. BELTRANDO<sup>1</sup>, S. BRIDIER<sup>2</sup>, H. QUENOL<sup>3</sup>

**RESUME.** – Le blocage de l'air froid par les remblais de voie ferrée est à l'origine de la formation de lac d'air froid préjudiciable à la vigne lors de la reprise de l'activité végétale au printemps. Afin d'évaluer ce phénomène sur de nouvelles lignes ferroviaires, un SIG est utilisé pour mettre en relation d'une part, des données de température et d'écoulement de l'air au-dessus d'une surface agricole ; d'autre part, la topographie et les obstacles à l'écoulement de l'air de cette surface (remblai, haies brise vent...). Après un traitement des données d'altitude issues d'un Modèle Numérique de Terrain, permettant d'obtenir la pente, les informations sont intégrées dans un SIG (Mapinfo) dont l'objectif est d'aboutir à une cartographie des zones agricoles dans lesquelles un risque supplémentaire de gel peut apparaître. La méthode est appliquée à deux études permettant d'évaluer l'impact du remblai des nouvelles lignes ferroviaires (TGV) sur la modification des écoulements d'air froid superficiel en situation météorologique de type radiatif (ciel clair, vent faible ou nul).

**REZUMAT.** – **Utilizarea S.I.G. pentru spațializarea riscului crescut de îngheț după implementarea unui rambleu feroviar.** Blocarea aerului rece de către rambleele de cale ferată sta la originea formării unei depresiuni de aer rece ce poate aduce prejudicii vitei de vie la începerea activității vegetale, primăvara. Înainte de a evalua acest fenomen și pentru alte linii de cale ferată, un sistem informatic geografic este utilizat pentru a relaționa, pe de o parte, datele de temperatură și de circulație a aerului deasupra unei suprafețe agricole și, pe de alta parte, topografia și obstacolele din calea circulației aerului deasupra acesteia (ramblee, perdele forestiere...). După o analiză a datelor de altitudine pe baza unui Model Numeric de Teren și a obținerii pantei, informațiile sunt integrate într-un sistem informatic geografic (Mapinfo), obiectivul fiind obținerea unei cartografii a zonelor agricole în care poate apărea un risc suplimentar de îngheț. Metoda este aplicată pe două studii ce permit evaluarea impactului rambleelor noilor linii feroviare (TGV) asupra modificării circulației aerului rece superficial în condiții meteorologice de tip radiativ (cer senin, vânt slab sau calm).

Aux échelles fines, les phénomènes météorologiques sont fortement tributaires des conditions de surface (nature du substrat, milieu bioédaphique) qui influencent le bilan énergétique et donc la température de l'air sus jacente. Lorsque le vent est faible ou nul, cela engendre une forte variabilité spatiale des phénomènes météorologiques sur des espaces relativement restreints entraînant une forte variabilité spatiale du risque. Modéliser spatialement ce risque nécessite l'utilisation d'outils et de méthodologie adaptés aux échelles fines. La principale difficulté réside dans la sélection des paramètres locaux à prendre en compte (topographie, végétation, humidité des sols, ...). Les méthodes géostatistiques utilisées couramment pour l'interpolation des données météorologiques

---

\*Travaux réalisées dans le cadre de conventions de recherche entre l'Université Denis Diderot et Réseau Ferré de France

<sup>1</sup> UMR 8586 du CNRS (PRODIG), Université Denis Diderot (Paris VII), 2 Place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05 (FRANCE).

<sup>2</sup> UMR 6012 du CNRS (ESPACE), Université de Provence, Avenue Robert Schuman, 13621 Aix en Provence Cedex

<sup>3</sup> Laboratoire COSTEL, UMR 6554 du CNRS (LETG), Université Rennes 2, Place du Recteur Henri le Moal 35043 Rennes Cedex (FRANCE).

issues des réseaux climatologiques classiques sont bien sûr inadaptées à ce type de problématique. Il convient donc d'utiliser une méthode de cartographie permettant d'établir les relations entre les caractéristiques de surface (morphologie, occupation du sol) et les variables météorologiques mesurées sur des réseaux de stations adaptés aux échelles fines.

L'utilisation du SIG est un moyen approprié pour ce type de modélisation spatiale. Le SIG permet de mettre en relation différentes couches de données représentant les facteurs responsables de la forte variabilité spatiale du risque (données météorologiques, occupation du sol, topographie, ...) et de fournir un document cartographique nécessaire comme support d'aide à la gestion du risque. Dans le cadre de l'impact d'un remblai ferroviaire sur le gel printanier, le SIG est un outil adapté pour réaliser une cartographie des secteurs arboricoles ou viticoles où le risque gélif est accentué. En créant un obstacle à l'écoulement naturel de l'air froid superficiel, les remblais des ouvrages de transport provoquent la formation de lac d'air froid et au printemps ces obstacles, peuvent accroître le risque de gel dommageable pour les cultures qui sont vulnérables à cet aléa (vigne, arbres fruitiers). Les mesures météorologiques aux échelles fines, réalisées lors des nuits froides de type « radiatives » (vent faible et ciel clair) ainsi qu'une simulation informatique par SIG permettent d'évaluer l'impact de l'obstacle sur le gel printanier. Les exemples présentés ici proviennent d'études réalisées sur les remblais des lignes à grande vitesse du TGV Est européen (dans le vignoble de Champagne) et du TGV Méditerranée (dans les terroirs arboricoles de Basse Vallée de Durance).

## 1. METHODOLOGIE

L'utilisation d'un SIG permet de mettre en relation les données météorologiques mesurées ponctuellement sur le site d'étude avec les caractéristiques de surface (ici l'occupation du sol, et la topographie, ...) qui vont engendrer une variabilité spatiale des paramètres météorologiques. Dans le cadre des études d'impact sur le gel des remblais ferroviaires, les données ponctuelles concernent les variables météorologiques mesurées sur le terrain (températures, écoulements nocturnes) et les caractéristiques de surface sont principalement les secteurs arboricoles ou viticoles à risque gélif ainsi que les différents obstacles (remblai de voie ferrée, haies brise-vent, topographie). En effet, par temps radiatif nocturne, le bilan énergétique, au niveau des premiers mètres de la couche limite, est fortement négatif. La température de l'air au niveau du sol est basse et cet air, plus dense que l'air ambiant reste au niveau du sol et s'écoule suivant les lignes de pente (Geiger, 1966...). Lorsqu'un obstacle où un secteur topographique en cuvette, ou même subhorizontal, bloque cet air, cela engendre un refroidissement supplémentaire pouvant accentuer le risque gélif pour les cultures. En combinant dans un SIG, la topographie et les différents obstacles avec les cultures vulnérables, nous pouvons simuler les secteurs où l'air froid sera bloqué et où le risque gélif sera accru.

Pour ce type de modélisation spatiale, certaines données nécessitent des traitements préalables (ex : calcul de pentes, ...). Ainsi le SIG se compose de plusieurs modules (logiciels) qui ont des fonctions spécifiques (ex : interpolation de données, requêtes spatiales, ...) et une passerelle informatique assure une liaison entre ces logiciels. Il s'agit d'une grille composée de cellules vectorielles permettant de combiner des couches d'informations de formats différents (occupation du sol, pente, écoulements gravitaires théoriques) (Bridier *et al.*, 2004). Après divers traitements informatiques et statistiques, l'ensemble des informations est intégré dans un logiciel vectoriel (Mapinfo) sous la forme de couches qui, une fois superposées, permettent d'obtenir une représentation spatiale des phénomènes météorologiques étudiés et une cartographie exhaustive des secteurs où le risque gélif est accru par l'ouvrage ferroviaire. Les cartes finales sont en mode vectoriel afin d'obtenir la précision nécessaire à ce niveau d'échelle.

## 2. APPLICATIONS

2.1 *Impact de la Ligne à Grande Vitesse Est-Européenne dans le vignoble de Vrigny (Champagne)*. A Vrigny, la Ligne à Grande Vitesse (LGV) Est-Européenne traverse le vignoble AOC de Champagne, en contre-bas de la Montagne de Reims (100 km à l'Est de Paris). La LGV passe dans un secteur subhorizontal (altitude 100 m) en contrebas d'un coteau exposé nord-est (Montagne de Reims) où se situe le vignoble. Ce vignoble est situé entre 105 et 170 m d'altitude, sur une pente variant de 2 à 10 degrés. La présence du remblai ferroviaire surmonté de murs antibruit et du remblai permettant le passage de la RD 26 au dessus de la LGV, vont tout naturellement créer des barrages aux écoulements gravitaires et engendrer (ou accentuer) un lac d'air froid qui s'étendra en amont de l'ouvrage ferroviaire (fig. 1).

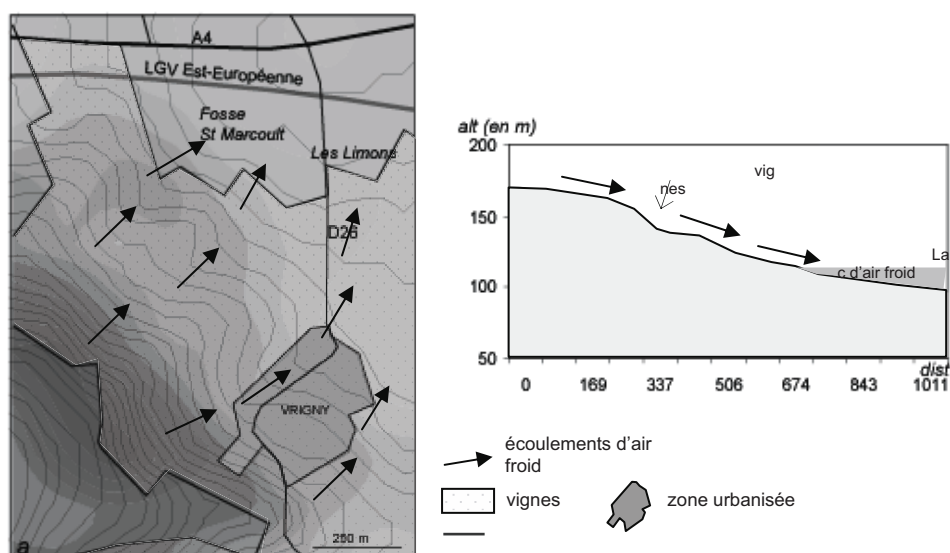


Fig. 1. Schématisation de l'aérogologie nocturne par temps radiatif avant l'implantation de la LGV Est-Européenne (Beltrando et al, 2005). Vue en plan (a) et en profil (b).

Des mesures météorologiques réalisées en 2002, avant la construction de l'obstacle, ont mis en évidence une amplitude thermique pouvant atteindre 4°C entre le secteur le plus haut où la pente est la plus intense et la partie basse où l'air froid stagne. Ces mesures ont montré que le lac d'air froid n'affectait pas le vignoble. Mais la présence des remblais ferroviaires vont naturellement accentuer l'effet de blocage et le volume de l'air froid qui s'étendra plus en amont vers le vignoble. Afin d'estimer le secteur viticole où le refroidissement nocturne sera accentué après l'implantation de la LGV, une modélisation spatiale du lac d'air froid a été réalisée à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). Après avoir intégré l'occupation du sol (vignoble, réseau routier, remblais, ...), les données liées à l'altimétrie (altitude, pente, direction théorique des écoulements gravitaires) ont été calculées avec le module spécifique à l'interpolation de données. Ces données topographiques ont ensuite été intégrées dans le module vectoriel (logiciel MapInfo) par l'intermédiaire de la passerelle informatique, c'est à dire une grille composée de cellules de 50m de côté. L'ensemble des informations – vignoble, pente, remblais – étant regroupé dans le même logiciel, le lac d'air froid peut être évalué en effectuant une requête

combinant ces différents facteurs. La hauteur maximale du remblai (6 m) a été combinée à l'altitude de la zone subhorizontale où sera implanté la LGV (100 m) de manière à faire une première estimation de la surface du lac d'air froid. Par conséquent, nous considérons que le lac d'air froid s'étend jusqu'à la courbe de niveau de 106 m. En observant, sur le Modèle Numérique de Terrain, la première approximation du lac d'air froid, on remarque que la masse d'air recouvre une partie du vignoble à l'est de la RD26 (Fig. 2), mais elle reste relativement éloignée du vignoble à l'ouest de cette route. Cependant, un second facteur peut provoquer une extension du lac d'air froid : après une nuit calme de type anticyclonique, un léger vent peut se former juste avant le lever du soleil. Ce vent, d'échelle régionale ou synoptique, n'est pas assez fort pour déstructurer la masse d'air froid, mais il est assez puissant pour déplacer le lac d'air froid (Beltrando *et al*, 2002). Au cours d'une précédente étude réalisée dans un vignoble voisin, nous avons observé qu'un vent faible pouvait maintenir la masse d'air froid le long de la pente lorsque celle-ci était inférieure à 3°. Nous avons donc intégré cette valeur empirique ainsi que la direction du vent dans le SIG en effectuant une requête pour chaque cellule de la grille combinant une pente inférieure à 3°, la présence du vignoble et la direction du vent. Ici, par vent de nord à est, l'air froid stocké par le barrage peut atteindre le vignoble de part et d'autre de la RD 26. D'après la simulation, un déplacement de l'air froid dans un cadran nord à est selon une pente inférieure à 3°, on peut estimer que le risque le plus important apparaît à l'est de la RD 26, tandis qu'il reste peu important à l'ouest de cette route parce que la pente est plus forte. Cette simulation permet d'estimer à 11 hectares, la surface de vignes où le risque gélif est accentué par l'implantation de la LGV (fig. 2).

La simulation par SIG démontre que l'implantation du remblai ferroviaire (LGV) et routier (RD 26) accentuera inévitablement le blocage de l'air froid dans la Fosse St Marcoult et au niveau des Limons. Le Maître d'ouvrage, Réseau Ferré de France (RFF) a décidé de modifier le tracé : des ouvertures dans le remblai et dans les murs antibruit ont été réalisées afin de favoriser l'écoulement de l'air froid et de limiter son accumulation.

*2.2 Impact de la Ligne à Grande Vitesse Méditerranée dans les cultures arboricoles de la Basse Vallée de la Durance (Provence).* La LGV Méditerranée traverse les terrains arboricoles des communes de Mallemort et de Senas dans la Basse Vallée de la Durance (Provence). En modifiant les caractéristiques de surface (rugosité, nature), le remblai et les murs antibruit de la LGV-Méditerranée influent également sur le climat local en modifiant la circulation de l'air et en créant un "lac d'air froid" qui peut être à l'origine de dégâts supplémentaires pour les cultures fruitières. Une campagne de mesures météorologiques et agronomiques a montré qu'en situation radiative, l'obstacle ferroviaire modifiait l'aérodynamisme nocturne en bloquant les écoulements gravitaires provenant des collines situées au sud-ouest de la ligne ferroviaire et accentuait le risque gélif (refroidissement plus intense) sur les parcelles fruitières situées dans ce secteur (Quénol, 2002). A une échelle encore plus fine (microclimat), le refroidissement nocturne est accentué sur les parcelles protégées par une haie brise-vent imperméable faisant barrage aux écoulements gravitaires. Une modélisation spatiale par SIG (suivant les principes de la méthode développée précédemment) a été réalisée afin d'estimer la surface parcellaire où le risque gélif est accru d'une part, par le remblai ferroviaire et d'autre part, par les haies brise-vent imperméables.

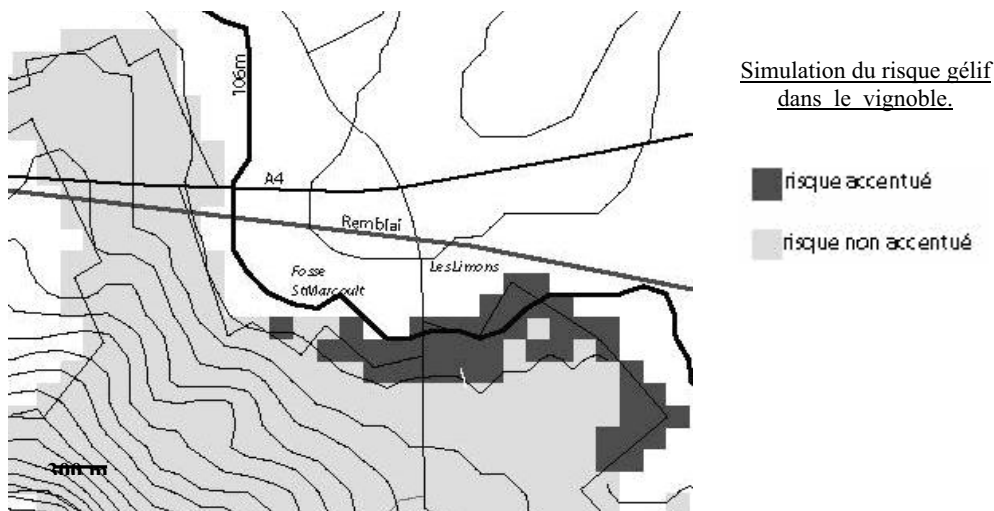


Fig. 2. Surface du vignoble où le risque gélif estimé est accentué par le remblai de la LGV avec un vent de nord à est. (pixel de 50 m de côté) (Beltrando & al., 2002).

Après avoir intégré dans le SIG les caractéristiques du remblai (hauteur, largeur, présence d'ouvertures, ...) et des haies brise-vent (perméabilité), les données liées à la morphométrie (altitude, pente, direction théorique des écoulements gravitaires, ...) ont été calculées dans Mapinfo par l'intermédiaire de la grille (passerelle informatique) composée ici de cellules de 25m de côté. Connaissant la topographie de l'espace étudié ainsi que la hauteur de l'obstacle ferroviaire, la surface du "lac d'air froid" a pu être estimée. Une seconde requête a consisté à évaluer le blocage d'air froid supplémentaire généré par les haies imperméables en combinant la direction de la pente par rapport à la position de la haie (blocage de l'air si la haie est perpendiculaire aux écoulements) et la perméabilité de la haie. Ensuite, ces résultats ont été combinés avec les parcelles fruitières les plus sensibles au refroidissement nocturne printanier (vulnérabilité) afin d'obtenir une cartographie de la surface arboricole où le risque gélif est accentué par le remblai de la ligne ferroviaire. Sur une surface totale d'environ 120 ha où le refroidissement est accentué par cet ouvrage, environ 45 ha de parcelles fruitières sont soumis à un risque gélif printanier supplémentaire après la construction de la LGV-Méditerranée.

### CONCLUSION

Ces deux exemples montrent que le Système d'Information Géographique est un outil adapté pour des thématiques de climatologie appliquée aux échelles fines. L'utilisation du SIG permet de fournir aux professionnels arboricoles ou viticoles et au maître d'ouvrage, des cartes relativement précises des secteurs agricoles où des dommages pourraient être provoqués par l'implantation d'un ouvrage linéaire de transport en remblai.

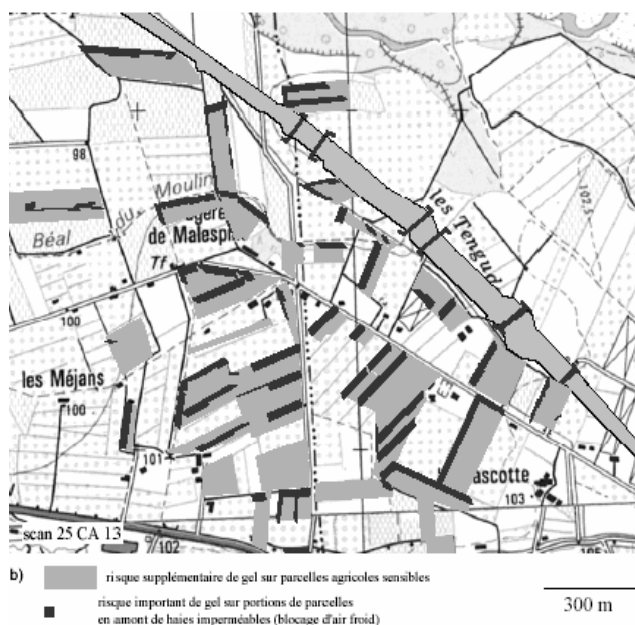


Fig. 3. Parcelles fruitières où le risque gélif est accentué par le remblai ferroviaire et les haies brise-vent (Quénol, 2002)

Ces cartes permettent aux professionnels agricoles de disposer d'un document afin d'appuyer d'éventuelles demandes d'aménagement ou d'indemnités compensatoires. Ils permettent également au maître d'ouvrage de proposer des aménagements à apporter à l'ouvrage nécessaires pour limiter le risque climatique.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Beltrando G., Quénol H., Bridier S., 2002 : *Evaluation de l'impact du futur remblai de la ligne à Grande Vitesse Est Européenne sur les gelées de printemps dans les vignobles de Vrigny et des Mesneux (Champagne)*. Rapport d'étude pour le Groupement ISL, Réseau Ferré de France (RFF) et le Syndicat Général des Vignerons de la Champagne, 24p.
2. Beltrando G., Quénol H., Bridier S. et Madelin M., 2005 : Evaluation avant construction de l'impact d'un ouvrage linéaire en remblai sur le risque de gel printanier. *Annales de l'AIC* (sous presse).
3. Bridier S., Quénol H., Beltrando G., 2004 : *Cartographie du potentiel de refroidissement en situation radiative*. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 14, n°1, p.119-132.
4. Fey G., Mailloux H., De Saintignon M.F., 1995 : *SIG et information climatique*. *Revue Internationale de Géomatique*, vol 5, n°3/4, 1995, p. 361-376.
5. Geiger R., 1966 : *The climate near the ground*. Harvard University Press. Cambridge, 611p
6. Quénol H., 2002 : *Climatologie appliquée aux échelles spatiales fines : influence des haies brise-vent et d'un remblai ferroviaire sur le gel printanier et l'écoulement du mistral*. Thèse de doctorat, Université de Lille 1, 2002.