

## IMPACT D'UN REMBLAI ROUTIER SUR LES ECOULEMENTS D'AIR FROID DANS LE VIGNOBLE DE CHÂTENOIS (ALSACE)

H. QUENOL<sup>1</sup>, G. BELTRANDO<sup>2\*</sup>, O. BEDEL<sup>3</sup>,  
S. BRIDIER<sup>4</sup> et E. BOCHER<sup>5</sup>

**ABSTRACT.** – In the Alsatian wine-producing valley of Châtenois, the diversion of National Road RN59 will disturb the natural air flow system. In fact cold air blankets stopped by the diversion embankment may increase frost risk in upstream vineyards. In response to wine growers worry, a climatic impact assessment has been led prior to the embankment building. This paper describes the GIS model used to evaluate the impact of the diversion on the spatial organisation of cold air flow. The model is based on a Triangle Irregular Network (TIN) structure which is used to compute a flow graph and to determine optimum positions for holes in the embankment.

**REZUMAT.** – **IMPACTUL UNUI RAMBLEU RUTIER ASUPRA SCURGERII AERULUI RECE IN REGIUNEA VITICOLA CHATENOIS (ALSACIA)** In valea viticola Chatenois din Alsacia, viitoarea deviatie a RN59 va perturba dinamica naturala a scurgerii aerului de suprafata. Panzele de aer rece blocate de viitorul rambleu de cale ferata vor accentua riscul la inghet pe parcelele viticole situate in amonte. Ca urmare a ingrijorarii cultivatorilor de vita de vie, Directia Departamentala a Rinului de Jos a comandat un studiu de impact climatic prealabil acestor lucrari. Acest articol prezinta modelarea organizarii spatiale a scurgerii aerului de suprafata tinand cont de viitorul rembleu. Aceasta modelare, ce se bazeaza pe o reprezentare a teritoriului prin metoda triangulatiei si pe calculul schemei scurgerii aerului, a permis determinarea pozitiei zonelor de acumulare din lungul trasului si a propus astfel crearea unor deschideri in rambleu ce au vizat restabilirea scurgerii naturale a aerului si limitarea riscului la inghet.

Dans le département du Bas-Rhin (Est de la France), la future déviation de la RN59 traversera le vignoble d'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) d'Alsace dans la vallée du Giessen en contrebas des coteaux du Hanenberg et du Sommerberg. Cette vallée, relativement étroite (moins de 1km de largeur) et peu pentue (dénivelé ouest-est d'environ 10m sur une distance total de 4km), aboutit au niveau de la commune de Châtenois, à la Grande Plaine d'Alsace. La nuit, en situation radiative (ciel clair ou peu nuageux, vents faibles ou nuls), dans le secteur en remblai, l'ouvrage routier constituera un obstacle à l'air froid qui actuellement s'écoule naturellement, suivant les lignes de pente, vers les parties les plus basses de la plaine avant d'être brassé par la brise d'échelle régionale établie le long de la Plaine d'Alsace (fig. 1). Au printemps, l'accumulation de l'air froid en amont du remblai pourra générer un risque supplémentaire de gel pour les vignes qui sont particulièrement vulnérables aux basses

---

<sup>1</sup> Laboratoire COSTEL, UMR 6554 du CNRS LETG, Université Rennes2, Place du Recteur Henri le Moal 35043 Rennes Cedex (FRANCE).

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

<sup>3</sup> IRISA, Université Rennes 1 (FRANCE)

<sup>4</sup> UMR 6012 du CNRS (ESPACE), Université de Provence, 29, Av. Robert Schuman, 13621 Aix en Provence

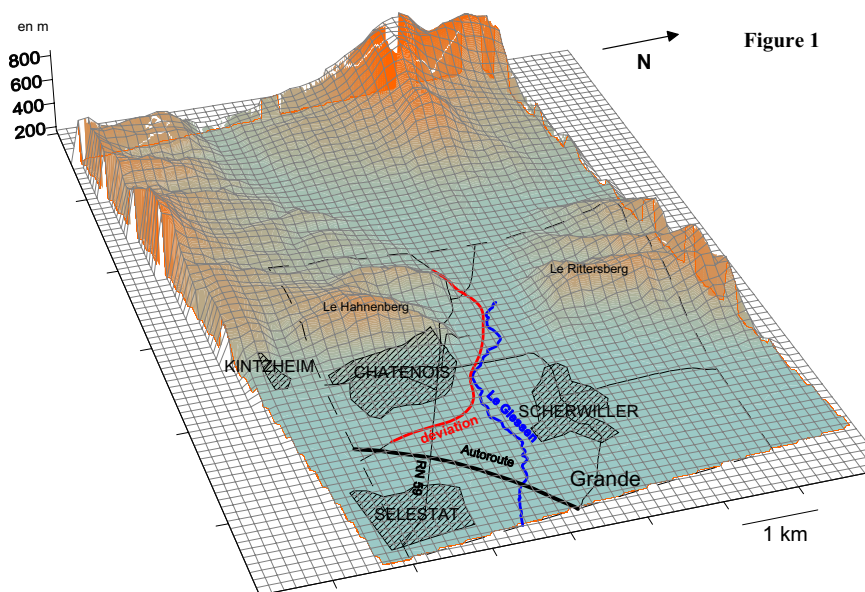
<sup>5</sup> Laboratoire RESO, UMR 6590 ESO, Université Rennes2, Place du Recteur Henri le Moal 35043 Rennes Cedex (FRANCE).

\* Contrat de recherche dirigé par Gérard Beltrando, Université Denis Diderot (Paris 7).

températures au moment du débourrement des bourgeons (Beltrando et al, 1995, 2001 et 2002) (fig. 2). A cette saison, lors de la reprise de l'activité végétative, la vigne devient très sensible au froid. Lorsque le bouton floral apparaît, des températures inférieures à  $-3^{\circ}\text{C}$  sont suffisantes pour abaisser la température de surface de la plante en dessous de son seuil de sensibilité ce qui provoque la destruction des bourgeons primaires. Ensuite la plante reste très fragile pendant plusieurs jours : au stade de pointe verte, lorsque la température est inférieure à  $-2^{\circ}\text{C}$  environ, le bourgeon est altéré (Leddet & Dereuddre, 1993).

Suite aux inquiétudes des vignerons de Châtenois, la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) du Bas-Rhin a demandé une étude climatique permettant d'estimer l'impact du futur remblai sur le risque gélif de manière à apporter, si nécessaire, des modifications au tracé (ouverture sous l'ouvrage) afin de limiter l'accentuation du risque gélif imputable à l'obstacle. Durant le printemps 2003, une campagne de mesures météorologiques et une simulation par Système d'Information Géographique (SIG) ont été effectuées sur le site. Cela a permis de déterminer les caractéristiques aérologiques et thermiques de l'espace d'étude puis d'affirmer que la présence d'un remblai modifierait l'aérologie nocturne locale en générant un blocage d'air froid supplémentaire. Ces premiers résultats ont donné lieu à une légère modification du tracé de la déviation et de la hauteur du remblai. Un nouveau tracé fait aujourd'hui l'objet d'une nouvelle étude d'impact de la déviation sur les écoulements d'air froid de surface. L'un des objectifs de cette étude est de préciser la position d'ouvertures à réaliser dans l'ouvrage pour limiter le blocage des écoulements d'air froid en amont du remblai. L'objet de cet article est de présenter la modélisation des écoulements d'air froid en fonction du nouveau tracé. Cette modélisation sous SIG exploite des primitives triangulaires adaptées à la représentation des concentrations d'écoulement le long d'obstacles bloquant ou déviant (Bocher *et al.*, 2005). Après avoir présenté le principe général de la modélisation des écoulements de surface par un maillage triangulaire, nous détaillerons la construction du modèle. Puis, nous présenterons les résultats notamment les adaptations proposées sur l'ouvrage pour favoriser l'écoulement de l'air froid (proposition d'ouvertures).

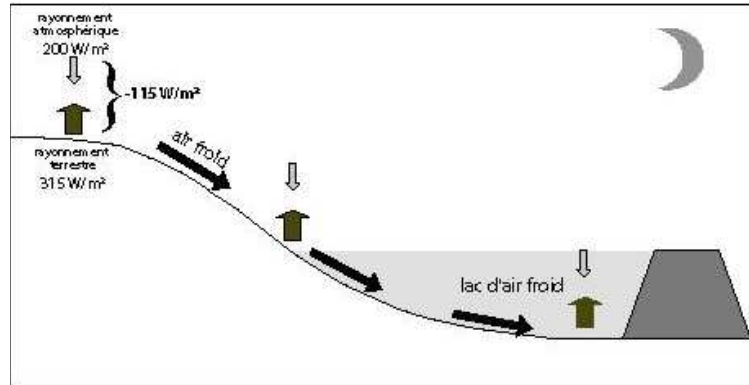
**Topographie du site expérimental de Châtenois**



**Figure 1**

Formation du lac d'air froid en amont d'un remblai

Figure 2



## 2. DONNEES ET METHODE EXPERIMENTALE

Les données nécessaires pour la simulation des écoulements nocturnes de surfaces concernent la topographie (pente, zones de convergence ou de divergence de l'air) et l'occupation du sol (emplacement et caractéristiques du remblai, ...). La DDE du Bas Rhin nous a fourni les plans d'implantation de la déviation ainsi que deux fichiers de données altimétriques : un semis de points topométriques à proximité du tracé routier (semis irrégulier avec une précision verticale décimétrique) et la Bd Alti de l'IGN (grille au pas de 50m dont la précision verticale varie de 5m à 50m avec l'altitude) sur la commune de Châtenois.

La méthode de modélisation des écoulements d'air de surface s'inspire de travaux sur la modélisation des écoulements hydriques de surface dans un bassin versant agricole en milieu bocager (Bocher, 2005). Le modèle, intitulé *FlowTin*, exploite une structure triangulaire (Triangle Irregular Network ou TIN) contrainte par des données exogènes (courbes de niveau, talus, limites de parcelles) comme support de base à la modélisation. Cette structure permet de construire un graphe d'écoulement, traduction numérique des interactions entre la topographie et les obstacles (contraintes). Ce graphe, nommé graphe de bassins est exploité pour connaître les points de concentration des écoulements le long des obstacles et produire de nouveaux indicateurs tels que le bassin d'alimentation contraint.

Dans le cadre de l'étude d'impact climatique du remblai, le comportement des écoulements d'air est similaire au ruissellement : l'air s'écoule suivant les lignes de pente et se bloque dans les dépressions ou en amont d'obstacle. De même que le remblai routier par sa hauteur et son tracé longitudinal constitue un obstacle qui va perturber les écoulements hydrauliques et aériens. Par conséquent, l'utilisation du modèle *Flow Tin* est adapté à cette problématique de climatologie appliquée.

Deux étapes du processus de modélisation ont été réalisées avec le SIG OpenJump.

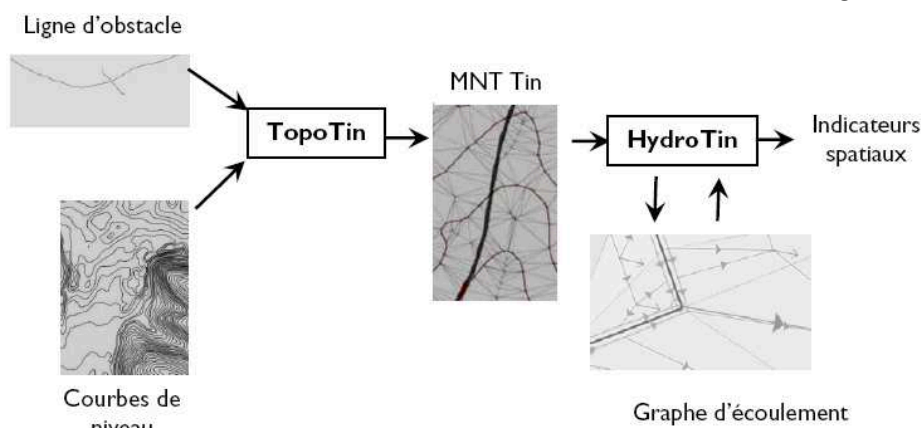
- D'une part, la création du maillage triangulaire à partir des courbes de niveaux et des lignes d'obstacles avec le module *TopoTin*. C'est au cours de cette phase qu'est créé le Modèle Numérique de Terrain ainsi que l'implantation (sous forme de relief) du remblai.

- D'autre part, le calcul du graphe d'écoulement et des indicateurs par le module *HydroTin*.

C'est la combinaison de ces deux modules qui a permis de simuler l'écoulement de surface en fonction de la topographie et l'obstacle routier et d'évaluer les meilleurs secteurs pour réaliser des ouvertures dans le remblai.

Les deux étapes du modèle Flow Tin (cf. Bedel et al., 2006)

Figure 3



## 2. RESULTATS

La simulation des écoulements d'air sans prise en compte du remblai a permis d'évaluer la direction des écoulements uniquement guidés par la pente naturelle. En prenant en compte uniquement la topographie, une partie des écoulements gravitaires en provenance des coteaux du Châtenois prend une direction parallèle à celle du tracé du remblai. Cependant, une autre part des écoulements située juste en amont du remblai arrive de manière perpendiculaire vers celui-ci. Il apparaît évident que le futur remblai influera sur la progression naturelle de ces écoulements vers la plaine d'Alsace située en aval. Au mieux, ils seront réorientés, au pire, ils seront piégés en certains points du tracé. La figure 4a présente la surface qui sera drainée par chaque tronçon<sup>1</sup> du tracé en ne prenant en compte que la pente topographique, les apports liés aux redirections venant d'autres tronçons sont exclus. Si la plupart des surfaces drainées apparaissent sous la forme de "lanières", on peut cependant distinguer deux zones plus importantes. La première et la plus grande est localisée juste avant l'intersection du remblai avec la RN 59. La seconde de taille plus modeste est située plus en amont sur le tracé du remblai. Ces deux zones matérialisent des couloirs orientés dans une direction presque orthogonale avec celle du tracé, qui vont se traduire par une concentration des écoulements aux points de rencontre avec le remblai.

La modélisation intégrant le relief du remblai montre que le remblai modifie l'écoulement de l'air le long des tronçons ce qui accentuera l'accumulation d'air froid dans deux zones de concentration (fig. 4b). Dans ces deux zones de blocage, l'air superficiel stagnant va subir un refroidissement supplémentaire susceptible d'accentuer le risque gélif dans ces secteurs. Deux autres secteurs de blocage de l'air (notées C et D sur la figure 4b) apparaissent à la confluence entre l'actuelle RN59 et le futur tracé. Cependant la connexion

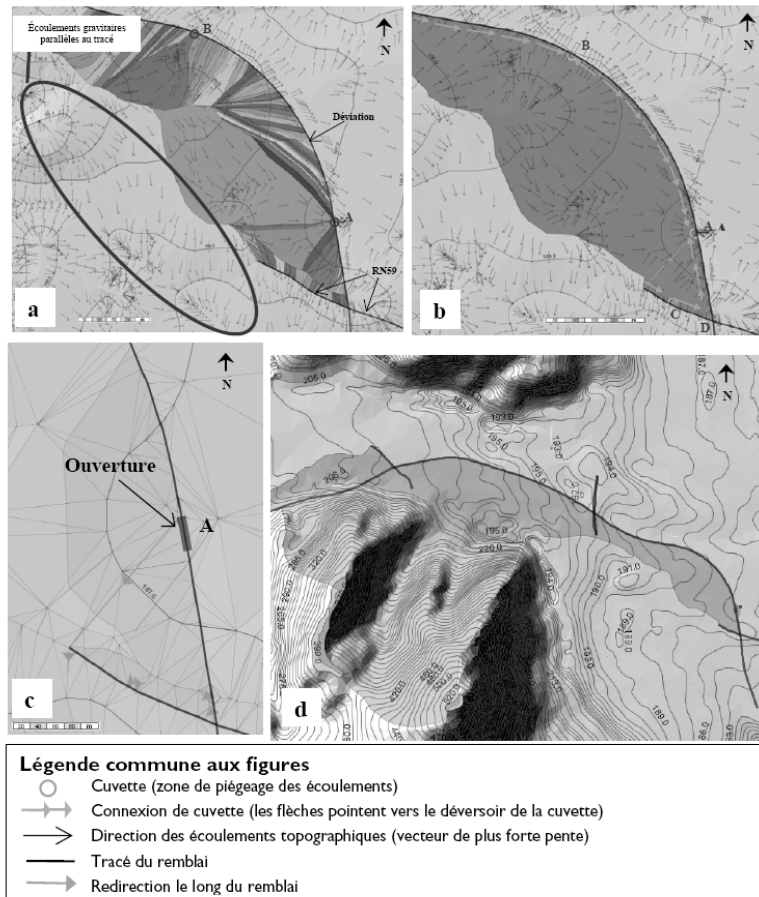
<sup>1</sup> L'axe du tracé qui mesure environ 6000m a été découpé en tronçon de 25m pour lesquels il a été possible d'évaluer le bassin d'accumulation.

des bassins par débordement indique que trois des zones de blocage se déversent dans la dernière (notée A), correspondant à la plus grande zone de concentration identifiée lors de la première modélisation. L'exutoire de cette zone d'accumulation principale est situé en amont du tracé, le long de la RN59 (fig. 4b). Cela signifie qu'une fois le lac d'air froid formé, les nouvelles nappes d'air arrivant sur le remblai rejoindront les écoulements gravitaires parallèles au tracé.

**Résultats de la modélisation.** (cf. Bedel et al., 2006)

Bassin d'alimentation de chaque tronçon du remblai (a) ; bassin d'alimentation contraint de l'ensemble du remblai et points d'accumulation (b) ; lac d'air froid retenu au niveau de la première ouverture (c) ; étendue totale du bassin d'alimentation contraint au niveau de la première ouverture (d).

Figure 4



La création d'une ouverture au point de concentration principal (A) implique le rétablissement des écoulements vers la Plaine d'Alsace et une limitation du lac d'air froid dans ce secteur (fig. 4c). Toutefois, une seule ouverture et quelque soit sa largeur, ne permettra pas d'évacuer la totalité du volume d'air froid provenant jusque des côteaux du Hannenberg (fig. 4d). La réalisation d'une seconde ouverture au nord de la première permettrait de limiter (sans pour autant les évacuer totalement) les volumes d'air stagnant le long de l'ouvrage. Nous avons proposé comme site d'ouverture secondaire, le second point

de concentration naturelle des écoulements (B), identifié lors de la première modélisation (fig 4a). Ainsi, lorsque la capacité d'évacuation de cette seconde ouverture sera atteinte, la connexion des bassins devrait favoriser un délestage naturel vers la première ouverture.

### CONCLUSION

Dans cette étude, les mesures sur le terrain et la modélisation par SIG ont montré que la présence du futur remblai empêchera l'air superficiel de circuler hors du vignoble. Par conséquent, la température de la masse d'air bloquée en amont du remblai sera inévitablement plus froide qu'actuellement. Le lac d'air froid aura une surface de plusieurs dizaines d'hectares de vignes dont les bourgeons pourront geler plus facilement.

L'application du modèle *FlowTin* dans une problématique de climatologie appliquée a permis, à la fois d'estimer le risque gélif lié à la construction du remblai routier, mais aussi de déterminer la position optimale des ouvertures sous l'ouvrage visant à réduire au mieux ce risque. L'aménagement de deux ouvertures permettrait d'évacuer une partie de l'air froid bloqué par le remblai et de maintenir une circulation de l'air en surface.

Par cette application, ce modèle développé avec un SIG constitue un outil d'aide à la décision dans un contexte où les aménagements anthropiques ont un impact climatique direct. Cette étude fut également l'occasion d'une première transposition très probante du modèle *FlowTin*, initialement développé pour la modélisation du cheminement de surface.

### BIBLIOGRAPHIE

7. Bedel O., Bocher E., Beltrando G. et Quénot H., 2006 : Modélisation par maillage triangulaire adaptatif de l'impact d'un futur remblai sur la répartition des écoulements d'air froid dans le vignoble de Châtenois (Alsace). *XXI<sup>e</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*. Sept. 2006, Eprenay, 101-106.
8. Beltrando G., Bridier S. et Quénot H., 1995 : *Estimation des modifications thermiques générées par le remblai de la future ligne du TGV EST Européen dans le vignoble de Champagne*. Rapport d'étude pour le SGV, 56p.
9. Beltrando G., Bridier S., Madelin M. et Quénot H., 2001 : *Evaluation de l'impact du futur remblai de la Ligne à Grande Vitesse Est Européenne sur les gelées de printemps dans les Fonds de Sillery (vignoble de Champagne)*. Rapport d'étude pour le SGV, RFF et TDE-COB, 29p.
10. Beltrando G., Bridier S., Madelin M. et Quénot H., 2002 : Evaluation de l'impact d'un futur remblai de la ligne à Grande Vitesse est européenne sur le risque de gel dans le vignoble de Champagne. *Revue Hommes Terres du Nord*, **1**, 40-52.
11. Bocher E., 2005 : *Impact des activités sur le cheminement des écoulements de surface dans un bassin agricole : essai de modélisation. Application au bassin versant du Jaudy-Guindy-Bizien*. Thèse de doctorat, Univ. Rennes2, 420p.
12. George P.L., Borouchaki H., 1997 : *Triangulation de Delaunay et maillage : applications aux éléments finis*, Hermès, 432p.
13. Langlois P., Delahaye D., 2002 : RuiCells, automate cellulaire pour la modélisation des écoulements de surface. *Revue Internationale de Géomatique*, **12**, n°4, 461-497.
14. Leddet C. & Dereuddre J., 1993 : La résistance au gel des bourgeons. Actes de séminaire de la Commission d'agrométo. *De l'INRA 'Le gel en agriculture'*, 113-128.