



Hertig & Lador SA

## **Projet d'assainissement de la décharge industrielle de Bonfol**

### **Détermination des immissions maximales et de la déposition au sol en cas d'explosion**

**Dr J.-A. Hertig**

Saint Livres, le 28.04. 2011 /Hr,

Hertig & Lador SA  
Grand rue  
**1176 St Livres**  
Tel 021 312 70 77  
Fax 021 312 70 07

## Table des matières

1	Introduction	3
2	Démarche	3
3	Emissions	3
4	Champs de vent	5
5	Calcul des concentrations	5
5.1	Cas des concentrations extrêmes dues à une émission courte et très forte	6
5.2	Cas des émissions de plus longues durées liées à la persistance d'ouvertures	9
6	Conclusions	10
7	Références	11
A.1.	Description du modèle micro	12
A.1.1.	Introduction	12
A.1.2.	La turbulence et la dispersion	12
A.1.3.	Différents types d'émetteurs	13
A.1.4.	Émissions et immissions	15
A.1.5.	Exemples de calculs de panaches	16
A.2.	Champs de vent	18
A.3.	Cartes de concentrations	20

## 1 Introduction

Suite à l'explosion ayant eu lieu le 07.07.2010 durant l'assainissement en cours de la décharge industrielle de Bonfol, une des questions qui se pose pour le Canton du Jura avant d'autoriser le redémarrage de l'assainissement concerne la détermination des quantités émises et les immissions autour de la décharge en cas d'un nouvel événement, plus grave.

La question plus particulière qui est posée ici est de connaître d'une part les quantités de matière déposées sur le sol au voisinage de la DIB ainsi que les concentrations et la durée de l'exposition de la population au nuage traversant les zones habitées.

La présente étude est aussi un complément aux études réalisées par BMG (BMG 2011) à la demande de BCI suite à l'explosion du 07.07.2010

## 2 Démarche

Le présent rapport se base sur l'étude intitulée « Contrôle de la hauteur de cheminée pour la maîtrise des odeurs et des effluents atmosphériques » d'août 2006. Le modèle utilisé est le même ainsi que les champs de vent et les conditions météorologiques.

La différence réside dans la nature du calcul qui se concentre sur deux épisodes critiques, un en direction de Bonfol et l'autre de Pfetterhouse et non sur les moyennes annuelles et sur des quantités émises tirées du rapport de Dynamic Phenomena Sàrl du 10 mars 2011.

Il s'agit de 32 kg de particules solides émises par 110 m<sup>3</sup> d'air au travers de 20 m<sup>2</sup> d'évent. La durée de l'émission est de 5 secondes.

Pour les calculs des concentrations au sol et dans l'air, l'émission est constituée d'un nuage unique formé de paquets ayant une vitesse de déposition très différentes. On distingue les particules fines ayant une faible vitesse (0.03 m/s) de déposition des particules de grande taille ayant une vitesse de déposition jusqu'à 1 m/s.

L'émission est supposée horizontales (par les fenêtres) ce qui représente le cas le plus défavorable.

Il convient de relever que le projet d'assainissement consiste en la réalisation d'une grande halle couvrant toutes les surfaces ouvertes de la décharge. Cette halle est maintenue en dépression. De ce fait, il n'y a pas d'émission de gaz et d'odeur par l'enveloppe des bâtiments durant l'exploitation normale. Toutefois, en cas d'explosion des clapets permettent le rejet d'un volume d'air et de poussières afin de limiter la pression due à l'explosion. Sitôt après le relâchement de l'air les clapets se referment.

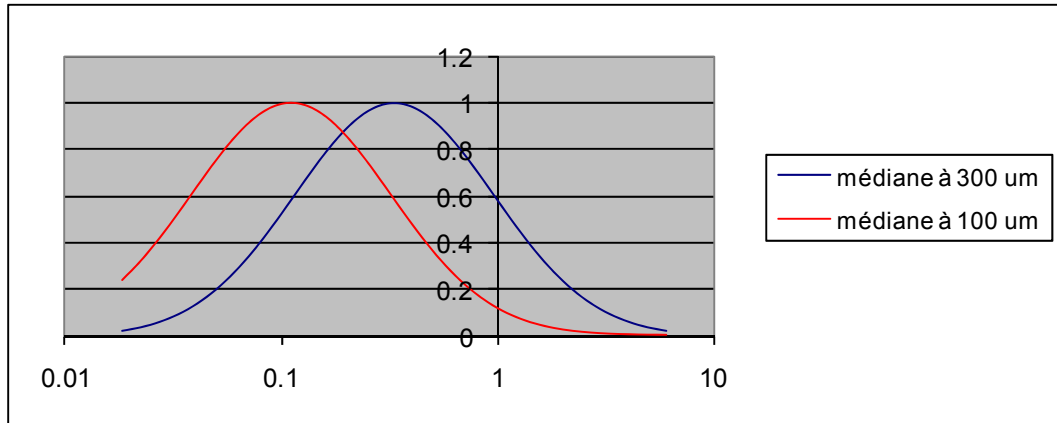
Le nuage ainsi émis reste une quantité limitée dans le temps. Il y a aussi le risque que des projections de cailloux puissent percer la toiture et des émissions pourraient se produire par des trous. La durée de ces émissions ne devrait pas dépasser une heure car des bâches ont été acquises et une préparation du personnel est faite en vue de boucher très rapidement ces ouvertures si une nouvelle explosion devait se produire.

## 3 Emissions

Comme mentionné ci-dessus l'émission considérée est de 32 kg. Il convient de relever que BMG a estimé cette émission à 26 kg sur la base d'une concentration moyenne de particules de 3.7 g/m<sup>3</sup> à l'émission, conformément aux mesures faites lors de l'accident de juillet 2010.

Les conditions d'émissions pour la présente étude ont été adaptées pour tenir compte d'une part du fait que ces 32 kg contiennent des particules de gros diamètres.

La répartition des particules en fonction de leur diamètre est donnée à la Figure 1.



**Figure 1 Répartition des diamètres des particules en fonction du diamètre**

Deux cas ont été considérés :

1. le cas avec une majoritairement des diamètres grossiers avec une médiane à 300 microns et
2. le cas avec majoritairement des diamètres fins avec une médiane à 100 microns.

Par simplification on décompose les particules en deux fractions ayant deux vitesses de dépositions. Les quantités correspondantes des émissions sont une fraction de 12 % de particules fines dans le cas No 1 et de 44% dans le cas No 2. Les quantités correspondantes aux deux cas et aux deux fractions sont données au Tableau 1

Quantité totale	32 kg	
	<b>Cas 1</b>	<b>Cas 2</b>
Médiane	300	100 microns
Petites	4.06	14.15 kg
Grosses	27.94	17.85 kg

**Tableau 1 Répartition des particules**

D'autre part la surface de l'émission et la durée de l'émission a été majorés en prenant en compte un premier scénario d'émission rapide juste après l'explosion. En effet, les clapets destinés à limiter la surpression ne fonctionnerons que durant un temps bref au moment de l'explosion, Dans ce cas on peut supposer les émissions seront intenses mais brèves et dans une surface réduite.

C'est un tel scénario qui a été calculé et qui est représenté sur les figures annexées.

Il convient de relever que ce scénario est assez irréaliste si l'on se réfère à ce qui s'est passé le 7 juillet 2010. La visualisation des enregistrements vidéo montre que l'explosion elle-même projette quelques pierres mais ne produit pas de nuage instantanément. C'est donc uniquement de l'air qui est émis par les clapets pour équilibrer la pression. Par conséquent, si les clapets se referment automatiquement il n'y aura pas d'émission de poussières et de particules solides. Par contre si les clapets ou au moins un clapet reste ouvert, alors l'émission de poussière sera possible. En supposant que la durée de cette émission est brève, il faut supposer que les 32 kg seront émis en 5 à 7 secondes par une ouverture de 5 m de côté soit de 25 m<sup>2</sup>.

Avec cette hypothèse les résultats des calculs effectués pour les concentrations dans l'air devront être divisés par 175, ce qui correspond à la réduction de l'émission spécifique.

## 4 Champs de vent

Dans l'ensemble des champs de vents calculés, nous avons retenus pour cette analyse complémentaire les 2 cas typiques ramenant les polluants en direction des habitations proches de Bonfol et de Pfetterhouse.

Il s'agit des situations du secteur 75° et 200° mentionnées au tableau de la Figure 2.

NOM du fichier	Vent au sol	Réduction de vitesse	Vent synoptique		Stratification	Flux	Pas de temps	Maillage
	Secteur		Secteur	Vitesse				
Bonfol200v3st3f50_200-10	170		200	3	3	-50	165	10
Bonfol200V3ST3TA	170	1	200	3	3	T273	80	25
Bonfol190V4st1	160	0.25	190	4	1	0	80	25
Bonfol140v3st1t0	110	0.33	140	3	1	0	80	25
Bonfol90v3st3f50_3600-10	60	0.33	90	3	3	-50	3000	10
Bonfol75v3st3f50_3600-10	45	0.33	75	3	3	-50	3000	10
Bonfol75V3st	45	1	75	3	1		80	25
Bonfol70v1s3T273	40	1	70	4	3	T273	80	25
Bonfol70v4st3f50_3600-10	40	0.25	70	4	3	-50	3000	10
Bonfol20v4st1t0	350	0.25	20	4	1	0	80	10
bonfol20v4st3t273	350	0.25	20	4	3	T273	80	10
Bonfol15v3st1t0	345	0.33	15	3	1	0	80	10

**Figure 2 Tableau des caractéristiques des champs de vent retenus précédemment pour le calcul des concentrations et des odeurs**

Ce tableau présente de manière synthétique les calculs de vent. La première colonne contient la dénomination de la situation, qui est aussi le nom résumé des fichiers. La deuxième colonne donne la direction au sol typique, il s'agit d'une direction théorique à Bonfol. La troisième colonne donne le coefficient de réduction (amplification) appliqué au champ de vent pour le rendre compatible avec la vitesse critique. Le modèle est initialisé par des vents en altitude (4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> colonne) par un secteur et une vitesse. Ces conditions sont appelées « vent synoptique ». L'influence de l'accélération de Coriolis et l'effet de la couche limite modifient, dans la simulation, la direction et la force des vents en approchant du sol. Il faut donc prendre comme base de comparaison les vents calculés au niveau 20 m sur sol.

Les champs de vent calculés et utilisés pour le calcul de la dispersion en cas d'explosion sont un vent du sud (Bonfol200v3st3f20) et un vent du Nord-Est (Bonfol75V3st)

La carte des vents au sol pour ces deux secteurs est présentée à l'appendice A2.

## 5 Calcul des concentrations

Le calcul des concentrations s'est fait avec la nouvelle version du code de dispersion lagrangienne (Appendice A1).

Ce calcul a été fait avec les émissions et les champs de vent décrits ci-dessus.

Les calculs sont faits pour des conditions d'émission correspondant à des gaz froid (même température que l'air ambiant) et avec des conditions de stratification plutôt stables, conformément au calcul des vents. Il s'agit de conditions extrêmes en ce sens que les épisodes ne concernent que la nuit et le matin. Les cas instables de jour et les vents forts ne sont pas pris en considération.

Les 12 cartes résultant des calculs sont présentées à l'appendice A3. Les deux types de particules sont calculés simultanément. Les trajectoires de plus lourdes descendent plus rapidement au sol et forment une déposition plus proche de la DIB. Les particules plus fines restent en suspension plus longtemps. Les cartes des concentrations moyennes montrent les maximums des concentrations proches de la source. Elles sont donc représentatives de la déposition.

### **5.1 Cas des concentrations extrêmes dues à une émission courte et très forte**

Les cartes des concentrations max, soit des extrêmes, montrent la propagation des particules fines à plus grande distance.

L'estimation des quantités déposées se fait par la formule :

Déposition = concentration \* vitesse \* durée

Dans le calcul initial la vitesse de déposition des grosses particules a été fixée à 1 m/s et la durée est de 1 seconde. Le chiffre de la concentration représente donc la déposition totale des grosses particules sur le sol en  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ .

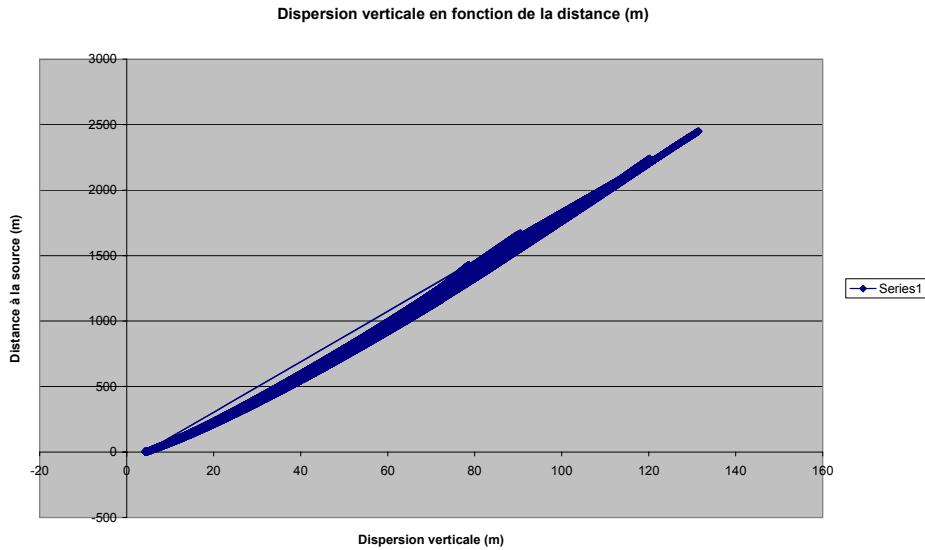
Il est intéressant de relever qu'une augmentation de la durée de l'émission ne change pas la déposition totale car cette augmentation doit être accompagnée d'une réduction de l'émission unitaire, donc de la concentration. Par contre l'augmentation de la durée compense exactement cet effet de réduction.

Une variation de la vitesse de déposition, soit normalement une réduction de la vitesse de déposition, réduirait la quantité maximale déposée en un endroit en augmentant la surface touchée. Le cas retenu représente donc un maximum.

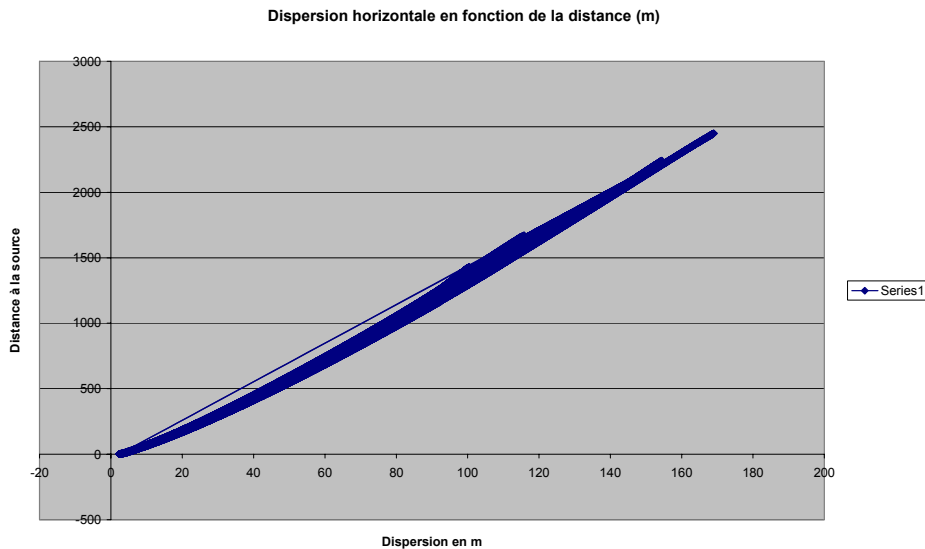
La tache représentative de la déposition montre une variation de la concentration moyenne au sol comprise entre 1.0 et  $6.0 \cdot 10^7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ceci signifie que la déposition varie entre 10 et 60  $\text{g}/\text{m}^2$ , selon nos hypothèses les plus défavorables.

D'autre part, la concentration dans l'air à Pfetterhouse est comprise entre 0.24 et 6  $\text{g}/\text{m}^3$ , alors qu'à Bonfol elle est inférieure à 1.9  $\text{g}/\text{m}^3$ , dans le cas le plus défavorable de 50 % de particules fines.

La durée de l'exposition peut être déduite de la dimension du nuage. La dispersion verticale du nuage, soit la distance à 1 écart type verticale, est donnée sur la Figure 3, alors que la dispersion horizontale est donnée sur la Figure 4.



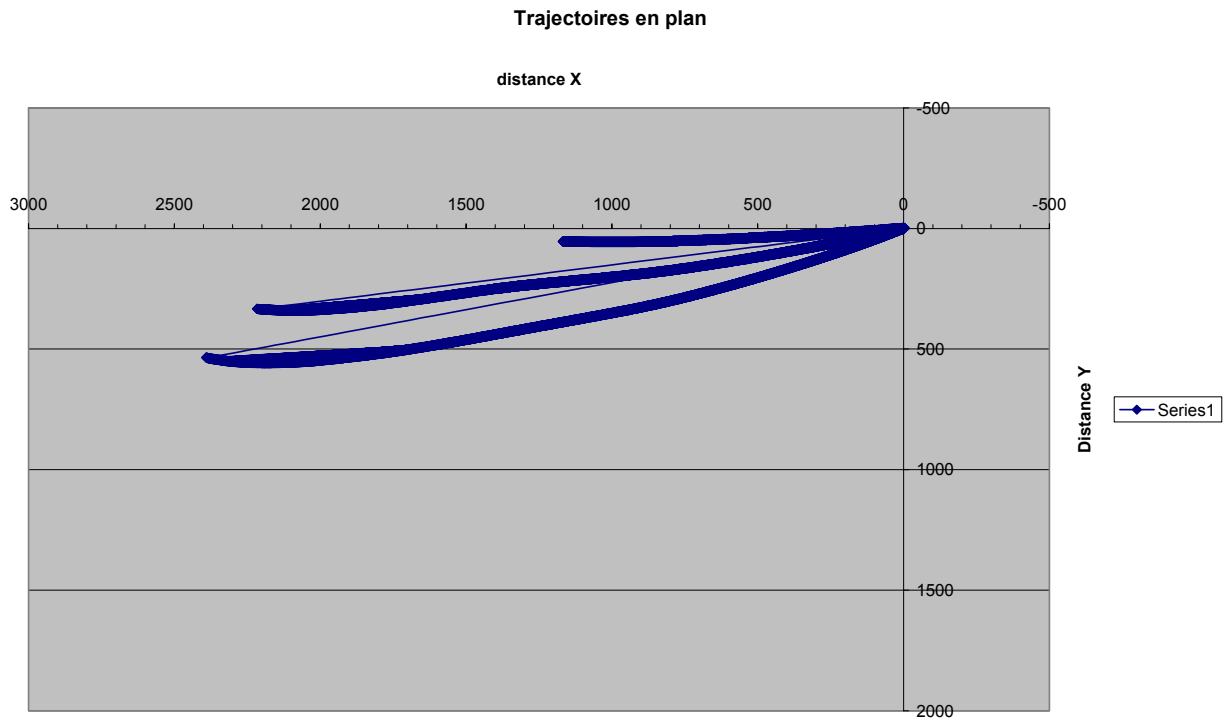
**Figure 3** Dispersion verticale du panache



**Figure 4** Dispersion horizontale du panache

On voit que la dimension du nuage aux endroits habités est de l'ordre de 150 m ce qui signifie que la durée de passage du nuage, donc l'exposition, sera comprise entre 50 et 150 secondes si la vitesse du vent varie entre 3 et 1 m/s. En cas de vent très faible l'exposition pourrait durer 10 minutes.

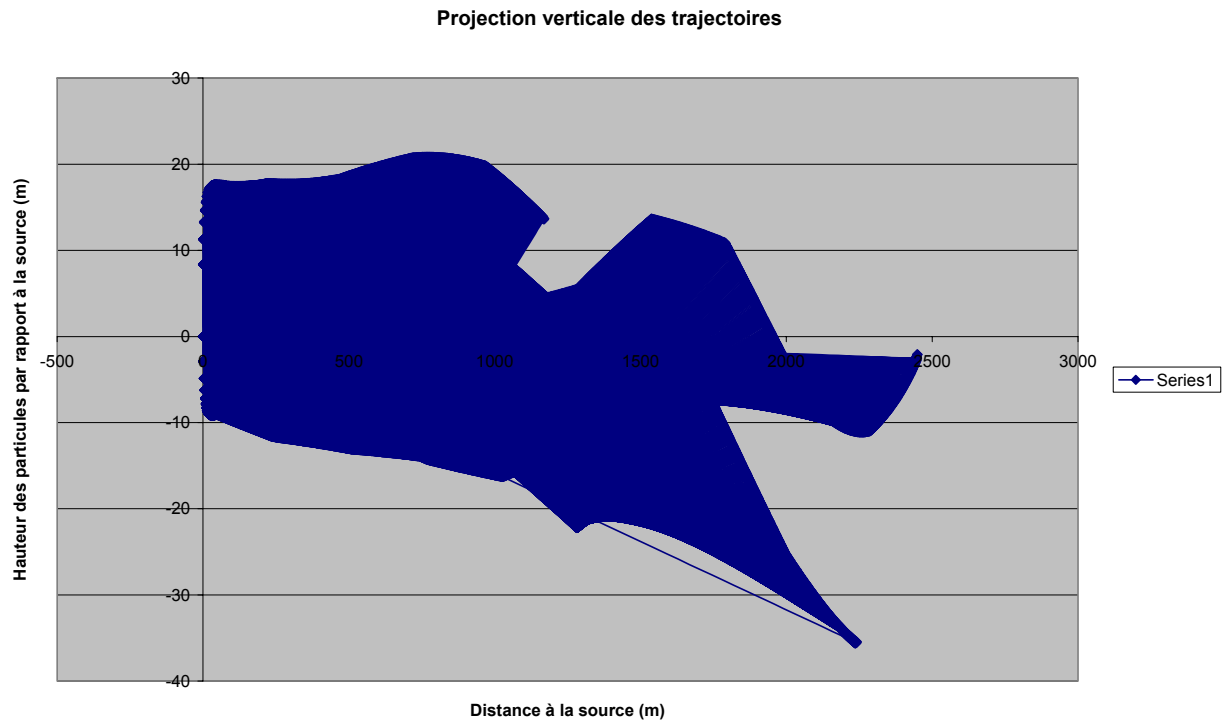
La Figure 5 montre la dispersion horizontale du panache schématisée par la trajectoire de trois paquets en plan. Il s'agit de celle du paquet au centre du panache et des deux trajectoires distantes de 1 écart type latéralement.



**Figure 5 Trajectoires en plan**

La Figure 6 montre une projection verticale des trajectoires. La forme particulière provient du fait de l'entrecroisement de trajectoires latérales (hautes) avec une forte vitesse de déposition et de trajectoires basses de poussières plus fines transportées sur une plus longue distance. Le tout sortant du plan de l'image comme le montre la Figure 5.





**Figure 6 Trajectoires verticales**

## **5.2 Cas des émissions de plus longues durées liées à la persistance d'ouvertures**

Il convient de relever que si la déposition au sol est correcte, les concentrations dans l'air sont plus fortes que celles mesurées suite à l'explosion du 7 juillet 2010 dans la halle qui était de seulement  $3.7 \text{ g/m}^3$ .

Comme mentionné dans la section 3 relative aux émissions, l'hypothèse d'une durée de 1 seconde dans  $2 \text{ m}^2$  est à l'origine de ce problème apparent. Ceci provient du concept même du modèle de dispersion basé sur des particules ou des paquets. Normalement, la relation entre l'émission et l'immission fait intervenir la quantité émise (en  $\text{kg/s}$ ) d'une part et la dispersion d'autre part (produit de la vitesse par la surface de dispersion). Dans le cas d'une source ponctuelle ou unique le problème relevé ci-dessus ne pose pas car la concentration à l'émission est toujours plus grande que la concentration à l'immission.

Par contre lorsqu'il s'agit d'émission en plusieurs points représentant par exemple de grandes surfaces, la dispersion de chaque point d'émission s'ajoute à celle des autres et un calcul de dispersion peut faire apparaître des immissions plus fortes que les émissions de chaque source élémentaire. Bien qu'apparemment faux ce résultat est possible si la surface est trop petite ou si la durée est trop faible comme c'est le cas de notre calcul.

Dans les calculs de BMG il est supposé que l'émission est de  $110 \text{ m}^3$  par plusieurs ouvertures de  $5 \text{ m}^2$  (Au total  $25 \text{ m}^2$ ) avec une concentration moyenne de  $3.7 \text{ g/m}^3$ .

L'ordre de grandeur des quantités libérées par l'explosion est par ailleurs confirmé par l'examen des puissances d'explosion faite par Dynamic Phenomena Sàrl.

Toutefois il a été recherché de s'éloigner de la notion de concentration moyenne pour traiter le cas d'une émission extrême localisée. C'est pourquoi nous avons supposé que la totalité des

émissions sortaient en plusieurs points pour former un nuage plus dense. La concentration extrême de ce nuage serait de plus d'un kg par m<sup>3</sup>. Ce qui est trop défavorable.

Pour améliorer cet aspect de la simulation nous avons examiné les films de l'explosion.

L'analyse des films de l'événement de juillet 2010 provenant des caméras de surveillance de la DIB montre que les hypothèses ci-dessus sont extrêmes mais encore possibles. Tout d'abord, au moment de l'explosion il n'y a pas eu de particules émises. La compensation de pression s'est faite instantanément par l'évacuation d'une masse d'air permettant de maintenir la pression en dessous de la valeur critique. A ce moment aucune particule n'est émise. Cette émission est précédée par une phase de formation d'un nuage dans la halle qui est en concentrations fortes. C'est ce nuage qui a été émis plus tard dans l'atmosphère en raison des trous restés ouverts en toitures et dans la paroi.

Si l'on suppose que la totale quantité émise reste celle calculée par BMG et ultérieurement par Dynamic Phenomena. Ce nuage peut être considéré soit comme homogène, c'est le cas de BMG, soit il peut être supposé comme très hétérogène avec une possibilité de trouver un nuage à très forte concentration passant par une seule fenêtre.

Dans ce dernier cas nous proposons d'étendre la durée de l'émission à 5 ou 7 secondes. Il s'agit d'un temps de l'ouverture des clapets qui ne devrait pas être dépassé. La surface des ouvertures qui joue aussi un rôle de réduction des immissions peut être étendue à 25 m<sup>2</sup>.

Dans ce cas une réduction d'un facteur 175 conduit à des immissions dans l'air à Pfetterhouse comprise entre 1.5 à 35 mg/m<sup>3</sup>, alors qu'à Bonfol elle est inférieure à 11 mg/m<sup>3</sup>, dans le cas le plus défavorable de 50 % de particules fines.

La deuxième durée à considérer est celle des ouvertures éventuelles en toitures. Il est admis par BCI que cette durée pourrait être d'une heure. Le calcul effectué ici ne serait représentatif d'une aussi longue durée que si la situation météorologique reste identiques et que l'émission est constante.

Pour cette durée, les quantités totales déposées restent les mêmes que celles calculées en 1 seconde, les concentrations dans l'air seraient 3600 fois plus faibles.

Dans le cas de cette émission continue durant une heure, on aurait une concentration moyenne exposant la population des zones habitées, inférieure à 2 mg/m<sup>3</sup>.

Les probabilités associées aux concentrations extrêmes calculées sont aussi un indicateur de la persistance de la concentration maximale.

## 6 Conclusions

L'examen des concentrations en cas d'incident dans la halle de nature semblable à celui du 7 juillet 2010 montre que la déposition sur le sol de la plus grosse fraction des particules se fera assez proche de la décharge. La contamination ne toucherait vraisemblablement qu'une petite surface. Ceci bien entendu à la condition que les ouvertures éventuelles, subséquentes à l'explosion, puissent être fermées rapidement.

L'estimation des concentrations dans l'air est plus délicate, car elles sont très sensibles aux conditions d'émissions. En cas d'un relâchement d'un nuage important dans un temps très court, les concentrations pourraient être très grandes mais leur persistance ne serait que de quelques minutes. Le panache est par ailleurs très visible et s'il se déplace lentement, il est possible de s'en éloigner à pied.

A l'opposé si l'émission est continue durant une heure les concentrations sont beaucoup plus faibles, mais elles seront plus persistantes.

Du point de vue de l'intervention au vu des concentrations mesurées de  $3.7 \text{ g/m}^3$  dans le nuage, il est indispensable que le personnel d'intervention soit équipé de combinaisons et de masques de protection. Il peut s'agir de combinaisons d'intervention légères, mais étanches.

La visualisation des films montre aussi que le personnel d'exploitation n'était pas informé du comportement à avoir en cas d'explosion. Il faut prévoir une formation et un équipement minimal à revêtir, avant de sortir des bureaux pour se rendre à une place de rassemblement. Il faudrait disposer d'au moins deux places définies en fonction des vents dominants.

## 7 Références

BMG ENGINEERING AG, 2011, Compte rendu, Décharge Industrielle de Bonfol (DIB): Impact (immissions) en cas d'incident dans la halle d'excavation.

Koch, André, François Ubertini, 2011 Volume éventé lors d'une explosion dans la halle de la DIB à Bonfol et masse de poussière rejetée. Dynamic Phenomena Sàrl, Chemin de Palud 2, CH- 1053 Cugy (VD)

Hertig J.-A., J.-M. Fallot, 2006 : Projet d'assainissement de la décharge industrielle de Bonfol. Contrôle de la hauteur de cheminée pour la maîtrise des odeurs et des effluents atmosphériques.

Fallot J.-M., Hertig, 1991 : Prévisions d'immissions atmosphériques pour les sections 1 à 3 (Queue-au-Loup à Porrentruy-Est) de la route nationale N16 (Transjurane). Rapport destiné au Service des Ponts et Chaussées du canton du Jura, Lausanne, 183 p.

Zace Services SA, 1991 : Etude d'impact sur l'environnement pour le projet général de la section 3 de l'A16. Rapport destiné au canton du Jura, Lausanne, août 1991, 320 p. + appendices.

CSD Ingénieurs Conseils SA Assainissement de la décharge industrielle de Bonfol, notice d'impact sur l'environnement, version provisoire du 28 juin 2006, avec annexes.

## Appendice A1

### A.1. Description du modèle micro

#### A.1.1. Introduction

Le modèle de calcul MICRO développé par le LASEN est un modèle lagrangien de calcul du transport et de la dispersion de la pollution atmosphérique. Ceci veut dire que ce modèle calcule le déplacement et la dispersion de paquets de polluants le long de trajectoires déterminées par le champ de vent et les conditions d'équilibre hydrostatique de ces paquets. Un tel modèle se distingue des modèles eulériens par la possibilité de suivre un paquet de polluant de petite dimension, indépendamment de la taille de la maille de calcul du champ de vent. Le fait de suivre la trajectoire de chaque paquet permet de tenir compte aussi des changements de direction et de la vitesse du vent qui agissent sélectivement sur chaque paquet et non uniquement sur le centre du panache.

Le concept de base de ce modèle consiste dans le calcul des concentrations liées à une masse de polluants en mouvement qui diffuse, de manière gaussienne, autour de son centre. Cette masse de polluants est distribuée dans l'espace et se déplace pas à pas, le long de trajectoires induites par la vitesse du vent ainsi que par les conditions de forces ascensionnelles dues à la température de cette masse de polluants. A chaque pas de temps, la taille du paquet est modifiée. Au fur et à mesure du mouvement du paquet, un réseau de récepteurs situés au niveau du sol enregistre les concentrations qui sont proportionnelles à la concentration du panache touchant le récepteur au moment du pas de temps. Lorsque la distance à la source augmente, le panache représenté par le diamètre du paquet s'élargit. Pour améliorer la définition des bords et pour tenir compte des variations de vitesses, le paquet est divisé en trois paquets lorsqu'il atteint un diamètre prédéfini. Les règles de division peuvent être modifiées à volonté.

Ce modèle requiert la définition de la source, de la topographie et une description des conditions atmosphériques des vitesses et des températures. Comme solution, ce modèle produit des cartes et des profils de concentrations à différents points du domaine spécifié préalablement.

#### A.1.2. La turbulence et la dispersion

La dispersion du nuage émis est le point essentiel du modèle MICRO. D'une manière générale, les conditions de vitesse et l'intensité de turbulence sont données par un modèle méso-météorologique qui calcule les champs de vent. Toutefois, le modèle méso-météorologique ne calcule pas les écoulements au-dessus du sol à une altitude inférieure à 100, voire même à 200 m. De ce fait, le modèle MICRO contient une formulation empirique qui calcule le profil de vitesse moyenne, l'intensité de turbulence, en fonction de la hauteur au-dessus du sol. Ces profils sont basés sur les équations de la couche limite turbulente, de la loi logarithmique, modifiées pour tenir compte des effets thermiques par la formulation bien connue de Monin Obukov. Cette formulation est basée sur des facteurs tels que l'épaisseur de la couche limite turbulente, la rugosité du terrain et la stabilité atmosphérique. Il permet de calculer la vitesse du vent, l'intensité de turbulence et le profil des températures au-dessus du sol dans la couche limite.

Il existe, dans le code MICRO, deux modèles de dispersion.

Le premier est basé sur la théorie de la dispersion. Il permet de calculer (pronostic) les paramètres de dispersion du nuage tant verticalement qu'horizontalement, à chaque pas de

temps, à partir de la valeur RMS (écart-type) de la vitesse. Cette valeur RMS est elle-même déduite du modèle de turbulence du modèle méso-météorologique. Dans ce cas, il est aussi possible de déterminer la dispersion des polluants en fonction de la taille du nuage.

Le deuxième modèle est plus classique, il est utilisé dans ce travail. Il est basé sur les formulations paramétriques, décrivant la taille de dispersion d'un panache gaussien en fonction de la distance sous le vent de la source. Ces formulations ont été largement utilisées et améliorées au cours des dernières années. Elles sont basées sur la définition de classes de dispersion. L'identification de ces classes de dispersion sont disponibles pour les différentes stations ANETZ du réseau météorologique de MétéoSuisse. Elles tiennent compte des conditions de vent et de la topographie locale. Outre les conditions de dispersion, ces paramétrisations permettent de tenir compte des conditions d'émissions et de leur influence sur la surélévation du panache. Ces formulations sont utilisées dans MICRO pour déterminer l'évolution de l'écart-type de dispersion en fonction de la distance à la source, la surélévation du panache en fonction de la turbulence atmosphérique, de la température et du débit d'air chaud de la source, ainsi que du diamètre de la source et de la vitesse initiale de sortie. Pour la présente étude nous utilisons les coefficients de dispersion définis par MétéoSuisse à Payerne, en fonction des classes de stabilité classique. Quatre classes de stabilité sont considérées ici :

Classe B, instable, hautement turbulente,

Classe D, neutre, modérément turbulente,

Classe E, stable, faiblement turbulente,

Classe F, très stable, très faiblement turbulente.

### ***A.1.3. Différents types d'émetteurs***

#### **Simulation des cheminées et des émissions de gaz lourd**

Le panache peut être légèrement froid, il peut avoir la même température que de l'air ambiant, ou être chaud, voire très chaud et créer ainsi une forte surélévation, fonction de cette température. Comme un panache froid aura tendance à descendre, il tendra à rejoindre le sol après un certain temps.

Le cas des panaches froids très denses n'est pas encore considéré. Il devra être introduit car il est très intéressant pour les accidents faisant intervenir des gaz lourds ou des fluides cryogéniques.

#### **Simulation du cas de l'incendie**

Le cas des gaz d'incendie formés d'une fumée refroidie à la température ambiante, est celui qui nous intéresse le plus ici. Si la fumée est suffisamment refroidie après sa sortie du bâtiment, sa trajectoire restera horizontale au même niveau que le sommet du toit du bâtiment et il n'y aura pas de mouvement vertical dû à la différence de température avec l'air ambiant. On comprend ici qu'un tel panache puisse entraîner des concentrations au sol très importantes, si la vitesse du vent et la dispersion sont faibles. Le cas d'un panache très chaud est quant à lui totalement différent. Un tel panache aura une vitesse d'élévation qui décroîtra au fur et à mesure que le panache grandira. La surélévation sera fonction de la distance du centre du panache à la source. La vitesse ascensionnelle est fonction de la différence de température entre le panache et l'air ambiant d'une part et de la vitesse initiale ainsi que du diamètre de l'émetteur d'autre part.

Dans le cas de l'incendie d'un bâtiment, on suppose que la vitesse initiale est nulle et que le diamètre du panache est donné par la dimension du bâtiment. Si le vent est faible, la surélévation du panache sera très importante et la concentration au sol nulle. Par contre, si la

vitesse du vent est très forte, la surélévation du panache sera plus faible et la concentration au sol pourra augmenter. Parallèlement, une augmentation de la vitesse du vent réduit la concentration dans le panache. Il existe donc une vitesse particulière qui entraîne une concentration plus forte au sol. Cette vitesse est appelée vitesse critique. Comme les paramètres décrivant la surélévation du panache ont été établis pour le cas des cheminées industrielles, les différents paramètres décrivant le cas de l'incendie doivent être adaptés. Cette adaptation se fait en variant les paramètres tels que le diamètre initial du nuage et sa turbulence initiale. On suppose que la vitesse initiale verticale du panache est nulle.

La détermination de la taille du nuage de fumée que l'incendie a initialement dispersé peut se faire en partant du fait que l'incendie se produit à l'intérieur d'un bâtiment, et que la fumée est éjectée par les fenêtres et l'air de combustion aspiré par les portes.

Ceci nous a conduit à modifier sensiblement la conception de la phase initiale de la propagation des fumées dans l'atmosphère.

Dans le cas d'une cheminée, le gaz chaud est émis avec une vitesse verticale à la sortie de la cheminée, sous la forme d'un paquet homogène. Dans le cas de l'incendie, les fumées et les polluants provenant de la combustion sont émis à relativement grande vitesse à travers les fenêtres. Cette vitesse est horizontale et entraîne de l'air le long de la paroi extérieure du bâtiment. Le mélange entre le jet d'air et de fumée chaude sortant du bâtiment avec de l'air plus froid de la rue va provoquer une séparation du panache en deux parties, l'une formée d'air refroidi et un noyau formé d'air plus chaud. Un tel phénomène est fréquemment observé dans les incendies réels et a des conséquences importantes sur les mécanismes de transport et de dispersion des polluants.

Dans notre cas, on considère le départ de la dispersion du nuage juste après le mélange avec l'air de la rue. On suppose qu'une partie du panache est refroidie à la température ambiante. Le diamètre du panache initial froid est déterminé par les dimensions de la rue et la hauteur de l'émission au-dessus du sol. Elle est comprise entre 7 et 20 m de diamètre.

Le diamètre du panache chaud est par contre fonction de la vitesse du vent. Comme décrit à la page 12, lorsque le vent souffle en direction du bâtiment, le panache chaud est emporté au-dessus des toits et sa dimension est fonction de la forme l'écoulement autour du bâtiment. La partie du panache provenant des fenêtres situées à l'amont est mélangée avec une partie des fumées chaudes provenant des fenêtres aval. Pour les présents calculs, le panache ainsi formé par l'interaction entre le vent et l'émission chaude est décrit par une gaussienne à trois dimensions dont les paramètres de dispersion initiaux sont différents entre la valeur transversale aux vents et la valeur verticale.

### **Cas de la simulation des odeurs**

Le modèle a été adapté pour permettre la simulation de la propagation des odeurs.

Cette adaptation repose sur les considérations suivantes :

La dispersion turbulente se fait par paquet. En effet, une cheminée (ou un émetteur en général) projette dans l'atmosphère des nuages successifs dont la concentration initiale est la concentration à l'émission.

Ces nuages sont tout d'abord formés de structures turbulentes internes uniformisant la concentration. Cette turbulence interagit avec la turbulence atmosphérique qui par contre découpe les nuages en plus petites structures mais mal mélangée à l'air ambiant. Chacun de ces petits paquets conserve sa concentration. Au sein de ces paquets la concentration ne diminue que lentement.

Ainsi chaque point de l'espace touché par le panache est exposé aléatoirement à des concentrations très fortes, voisines de celles de l'émission.

La durée de cette exposition varie en fonction de la distance à la source, de la position latérale par rapport à l'axe du panache et des propriétés de la turbulence. La durée est plus faible au bord du panache et plus grande à l'axe. Par conséquent, les concentrations moyennes mesurées en un point sont le produit de la concentration dans un paquet par la durée d'exposition divisé par le temps de moyennage.

Ce rapport de durées peut être représenté par la probabilité de l'exposition à la concentration maximale. Cette probabilité est en faite prise directement en compte par les modèles de dispersion.

Ceci est montré dans le chapitre A.2.5.

Le concept associé à cette réflexion est ainsi le suivant :

Dans un modèle gaussien, ce n'est pas la concentration moyenne qui se répartit selon une distribution gaussienne mais la concentration est le produit d'une concentration forte par la probabilité d'occurrence ou de durée.

Comme le modèle Micro calcule les trajectoires de petits particule dont le diamètre et la masse sont connus, il est relativement facile de calculer l'évolution de la concentration en fonction du temps depuis l'émission. On admet ici une diminution exponentielle de la concentration en fonction du temps. Le coefficient d'atténuation est déduit des conditions de dispersion.

Ce modèle peut être contrôlé aux deux limites, à l'origine la concentration doit être égale à la concentration de l'émission et à la sortie (à l'infini) elle ne doit pas être inférieure à celle de la concentration moyenne calculée par le modèle.

Avec les deux données, soit la concentration du paquet, représentant l'odeur et la concentration moyenne calculée par le modèle de dispersion, il est facile de déduire la probabilité d'occurrence de la concentration forte, à savoir l'odeur.

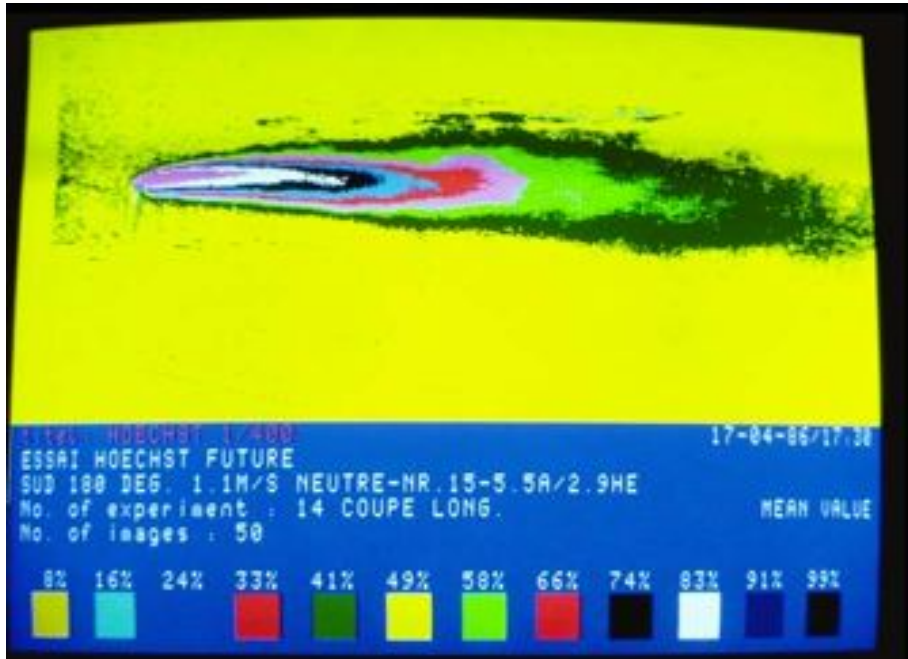
#### **A.1.4. Émissions et immissions**

Le modèle permet la simulation de configurations complexes comprenant de nombreux émetteurs. Le but de la première estimation des immissions, loin à l'aval de la source, est poursuivi ici. Dans le cas d'un bâtiment en feu, il est suffisant, pour le calcul de la dispersion à relativement longue distance, par exemple quelques kilomètres, de ne considérer qu'un seul émetteur dont les conditions de masse émise et de dispersion initiale sont définies en fonction de la taille du bâtiment et de l'intensité de l'incendie. Il est ainsi possible de simuler plusieurs cas dont les émissions ne sont pas identiques.

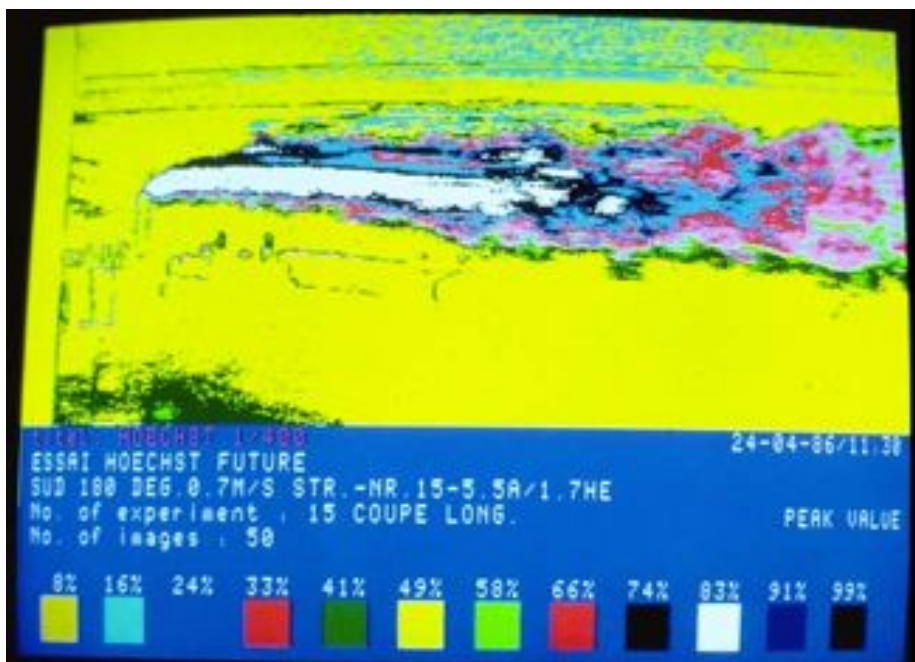
Si toutefois les quantités émises représentent la seule différence entre les cas, il n'est pas nécessaire de répéter les calculs ; une simple mise à l'échelle est suffisante. En effet, les émissions au sol pour un émetteur donné sont proportionnelles à la quantité émise. C'est pourquoi il est de pratique courante d'effectuer les calculs pour une quantité constante et de mettre les résultats à l'échelle, pour tenir compte des différentes quantités émises. En effet, les immissions des gaz sont calculées en masse par unité de volume et les émissions sont données en masse par unité de temps (seconde). Comme les immissions au sol sont très petites face aux émissions ; dans la pratique, pour simplifier les unités, on choisit en général une émission de  $10^9$  unités/sec. Comme le résultat sera des unités par mètre cube, on voit que ceci correspond à une émission de 1 kg/s et à des immissions ayant pour unité des microgrammes / mètre cube ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### A.1.5. Exemples de calculs de panaches

Exemple de coupes longitudinales d'un panache montrant la différence entre les concentrations extrêmes (Peak value) et les concentrations moyennes. Cet exemple démontre que les valeurs extrêmes peuvent se trouver partout dans la zone du panache.

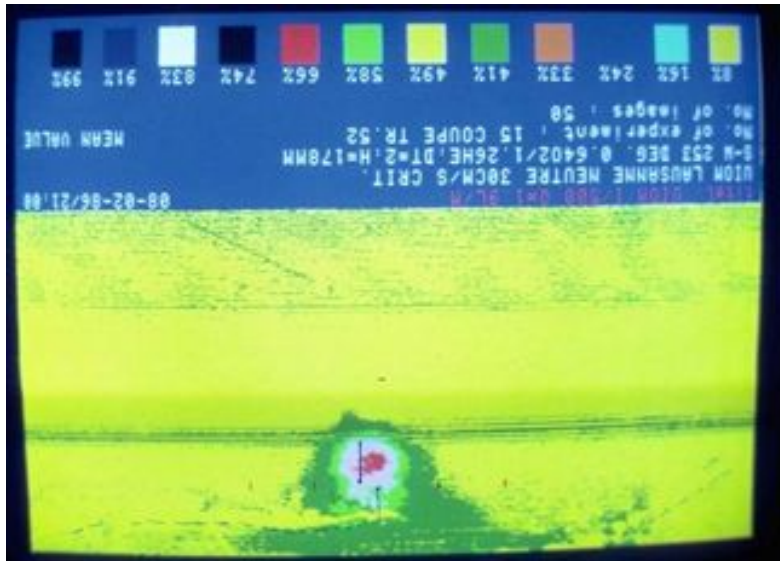


Coupe longitudinale d'un panache, valeurs moyennes des concentrations, répartition gaussienne.

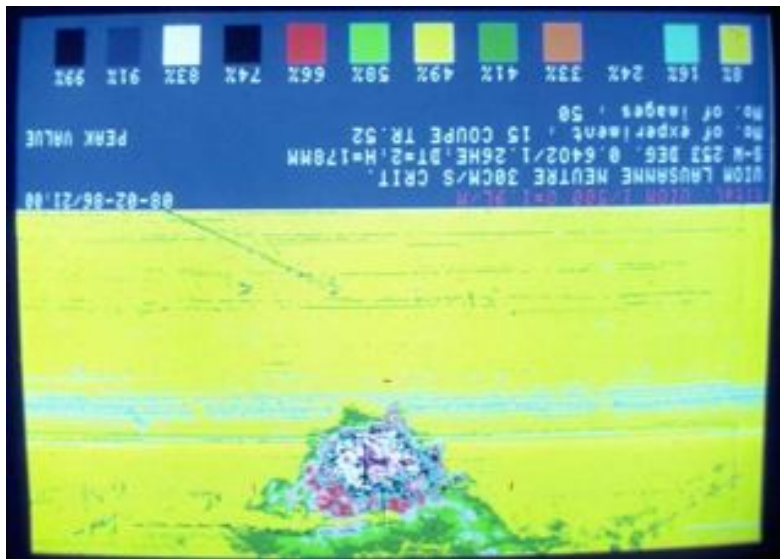


Coupe longitudinale d'un panache, valeurs extrêmes des concentrations, même palette de couleurs que pour l'image précédente. Les concentrations sont très fortes dans toute l'image.





Coupe transversale d'un panache, valeurs moyennes des concentrations, répartition gaussienne.

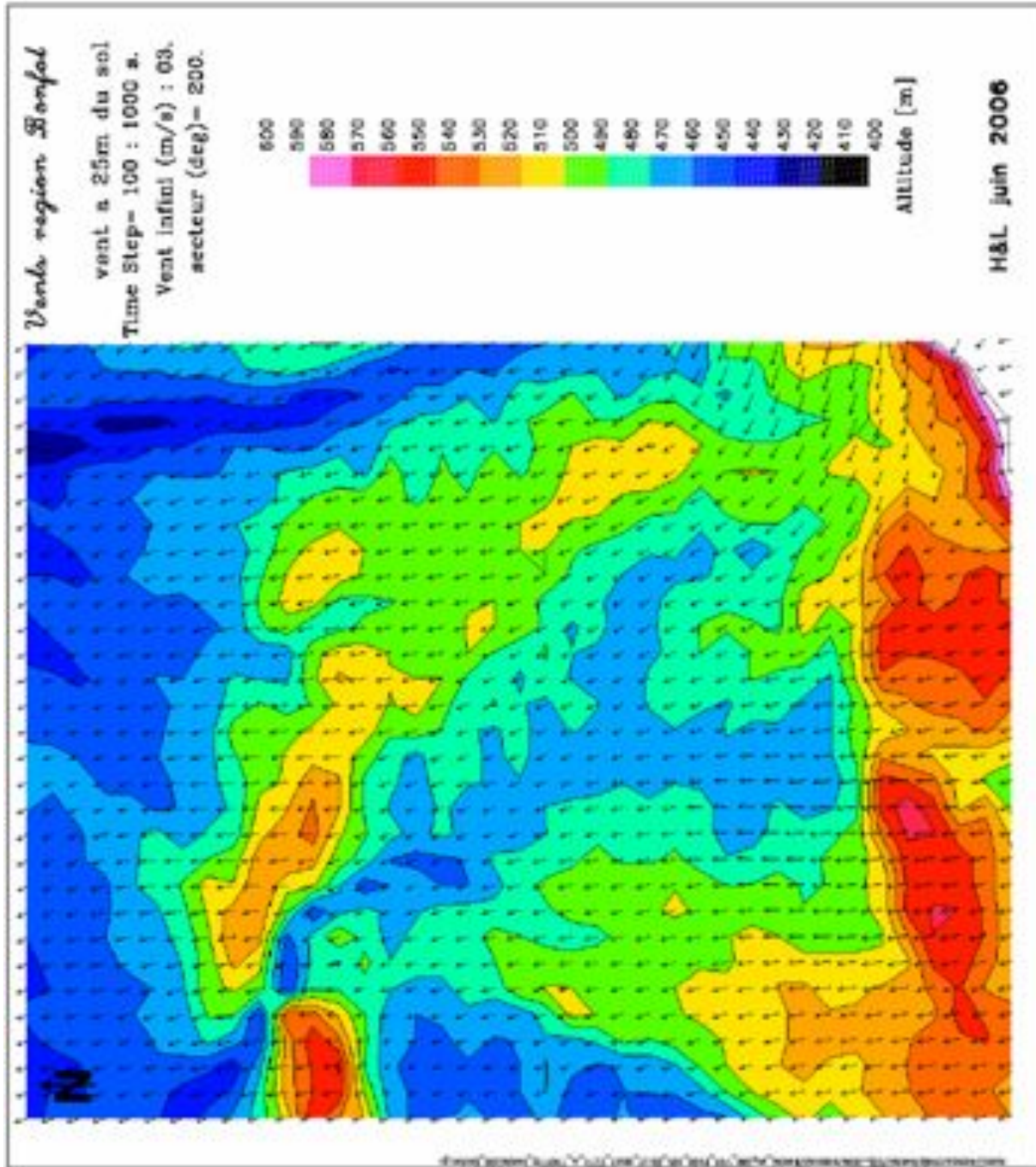


Coupe transversale d'un panache, valeurs extrêmes des concentrations, même palette de couleurs que pour l'image précédente. Les concentrations sont très fortes dans toute la zone de la coupe du panache.

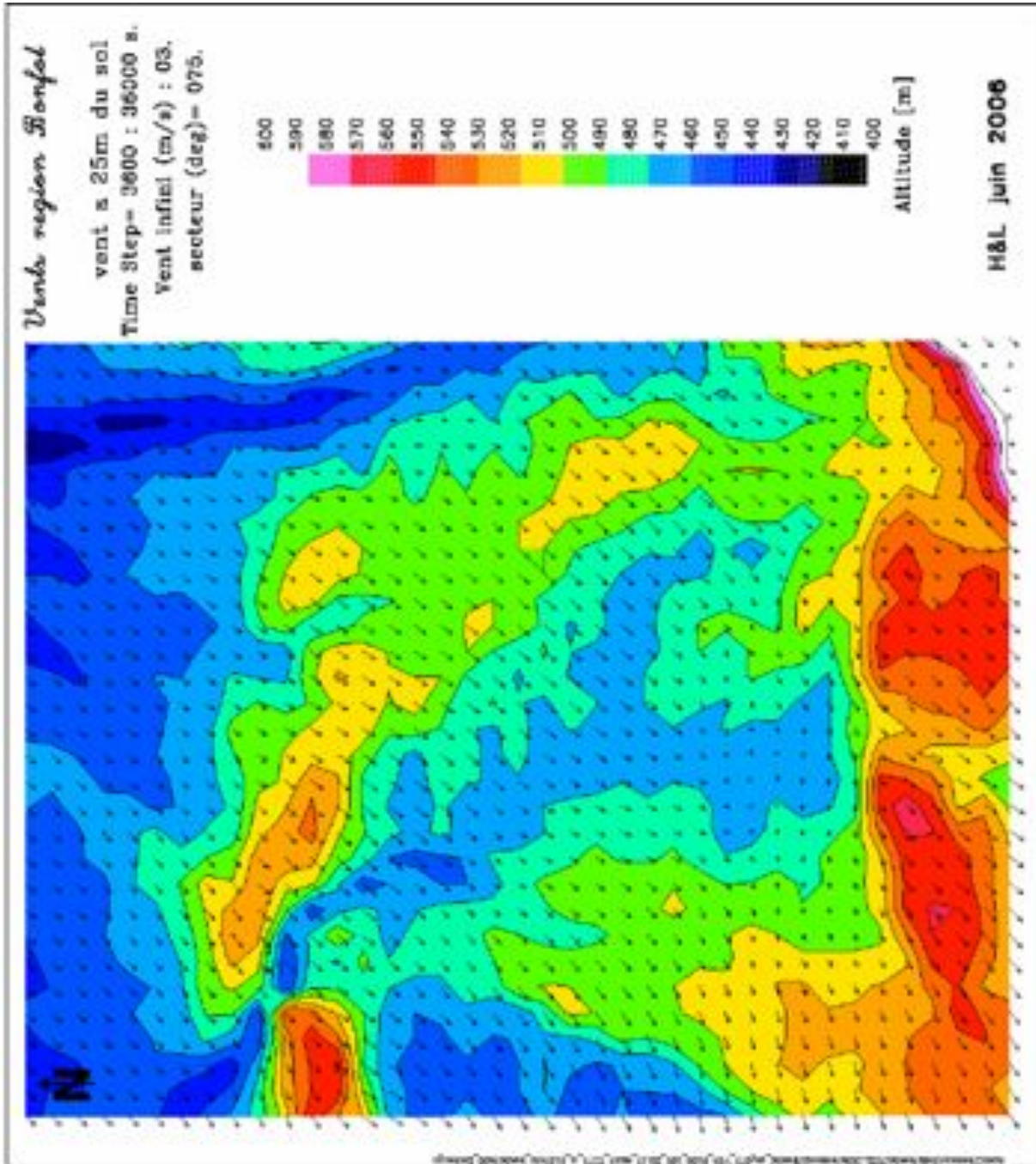
## Appendice A2

### A.2. Champs de vent

Vent du SUD, Bonfol200V3ST3TA\_100\_fleches.pdf



Vent du Nord-Ouest. Bonfol75V3st\_3600\_fleches.pdf



## Appendice A3

### A.3. Cartes de concentrations

#### Cas 1

Emission avec des diamètres grossiers soit une médiane à 300 microns

Vent du secteur 200° fichier : bonfol-explos-jour-2c.txt

Vent du secteur 75° fichier : bonfol-explos-jour-2c2.txt

#### Cas 2

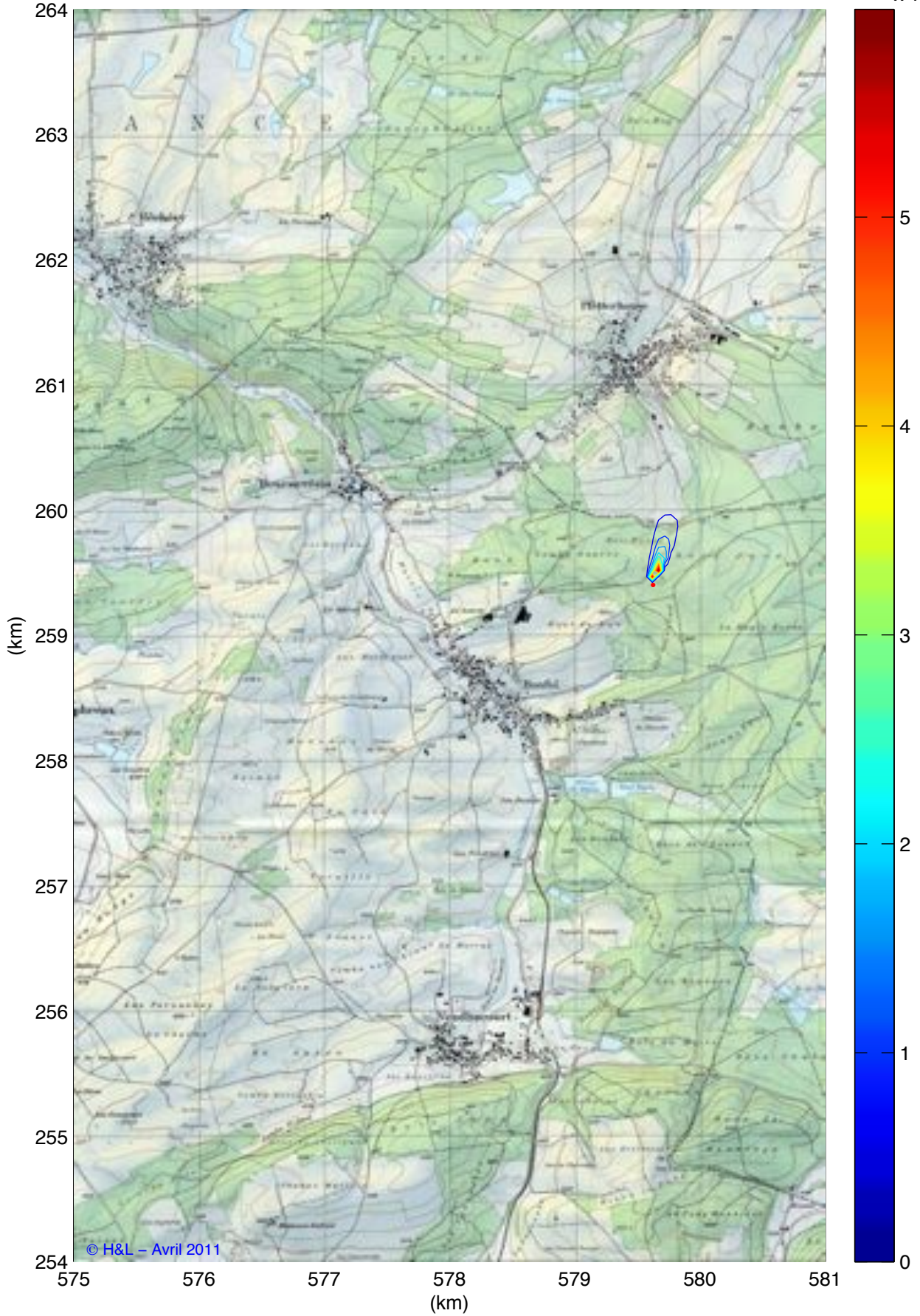
Emission avec des diamètres fins soit une médiane à 100 microns

Vent du secteur 200° fichier : bonfol-explos-jour-2d.txt

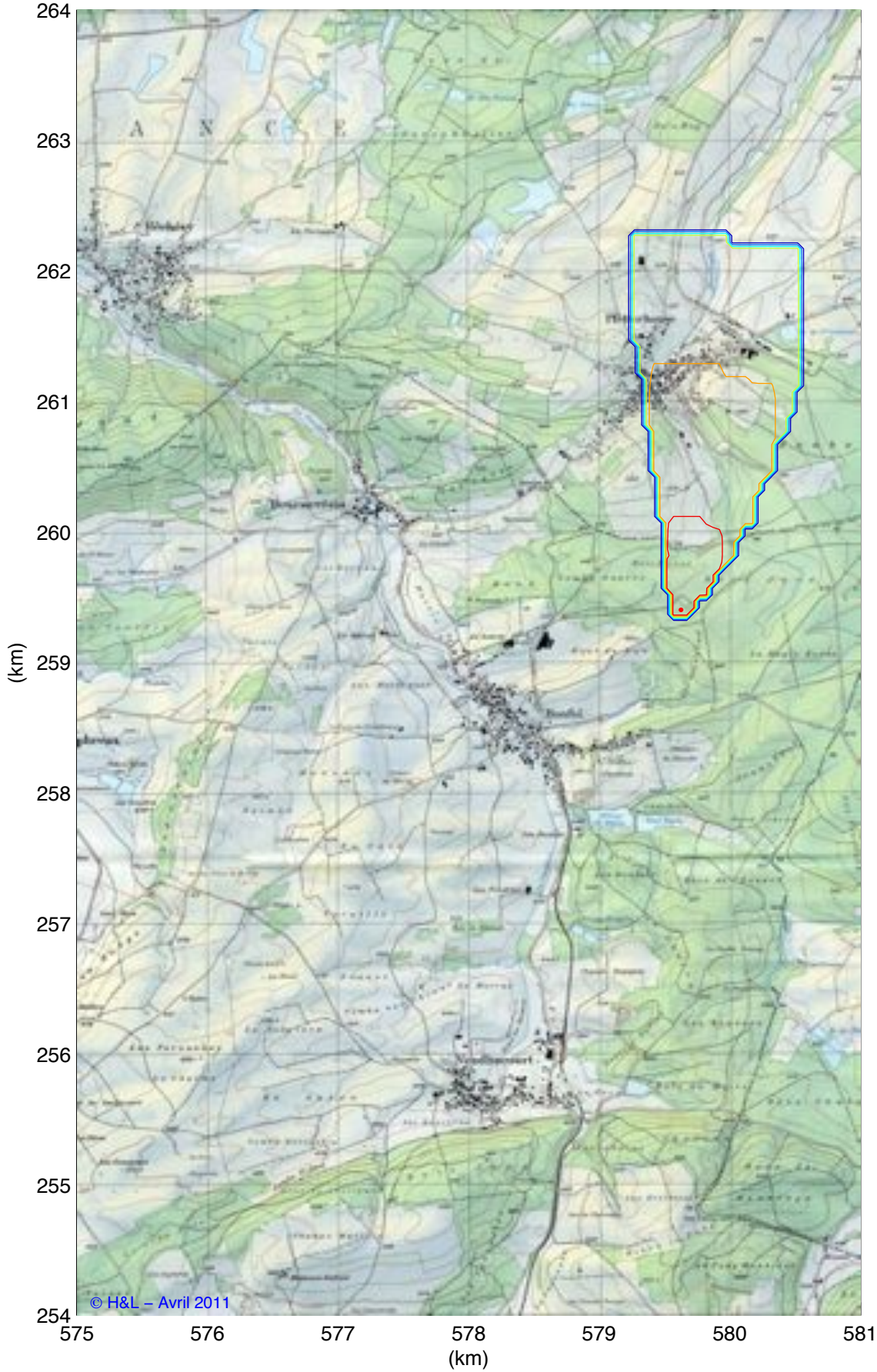
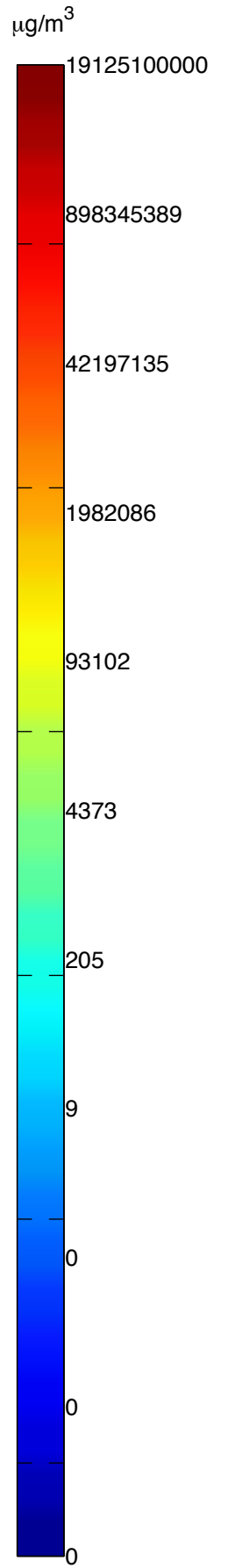
Vent du secteur 75° fichier : bonfol-explos-jour-2d2.txt

Concentrations moyennes au sol  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =200°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =59942600

$\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $\times 10^7$



Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =200°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =19125100000



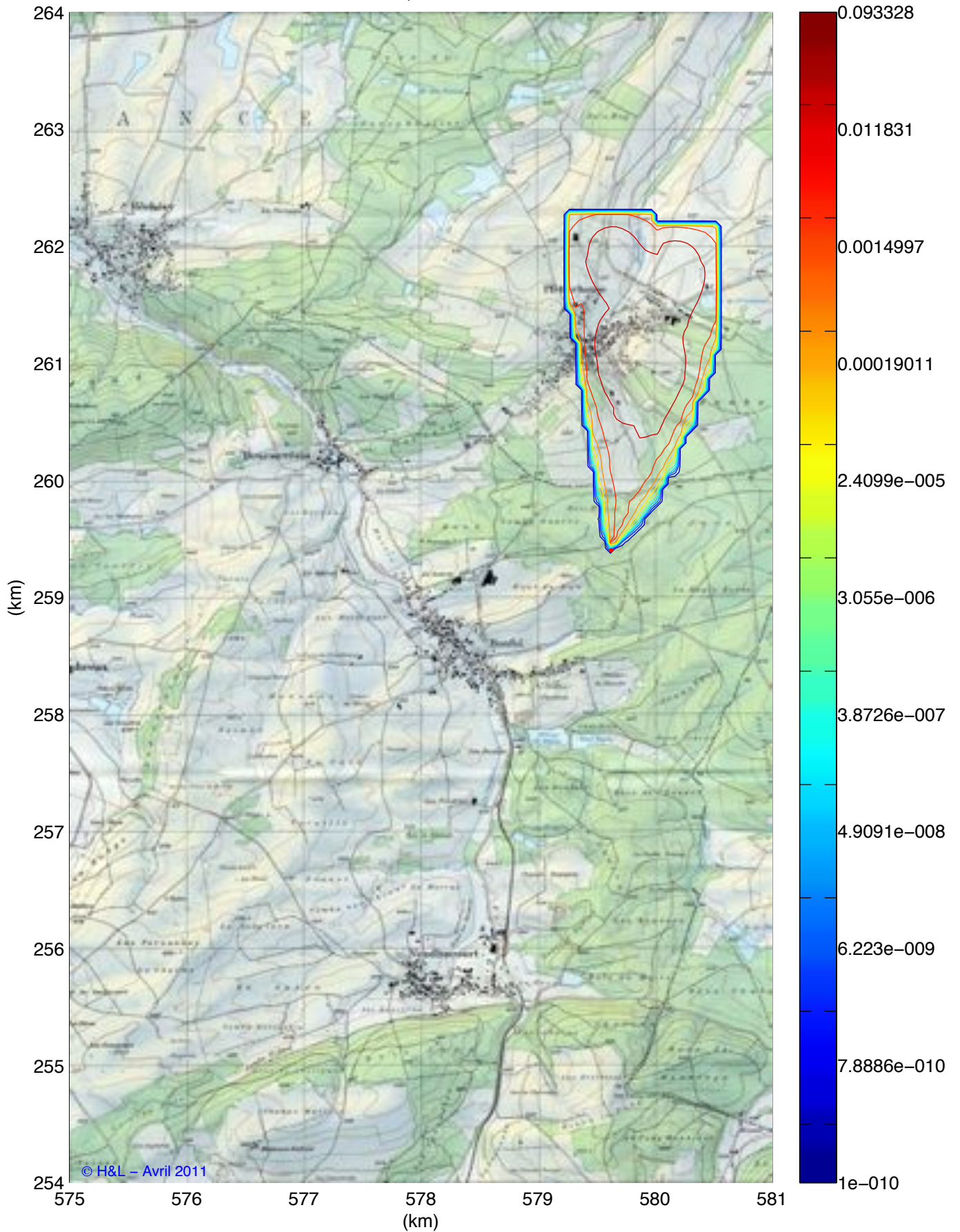
Probabilité d'occurrence des Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique

source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]

Vent : secteur =200°, vitesse =3m/s, stratification : type3

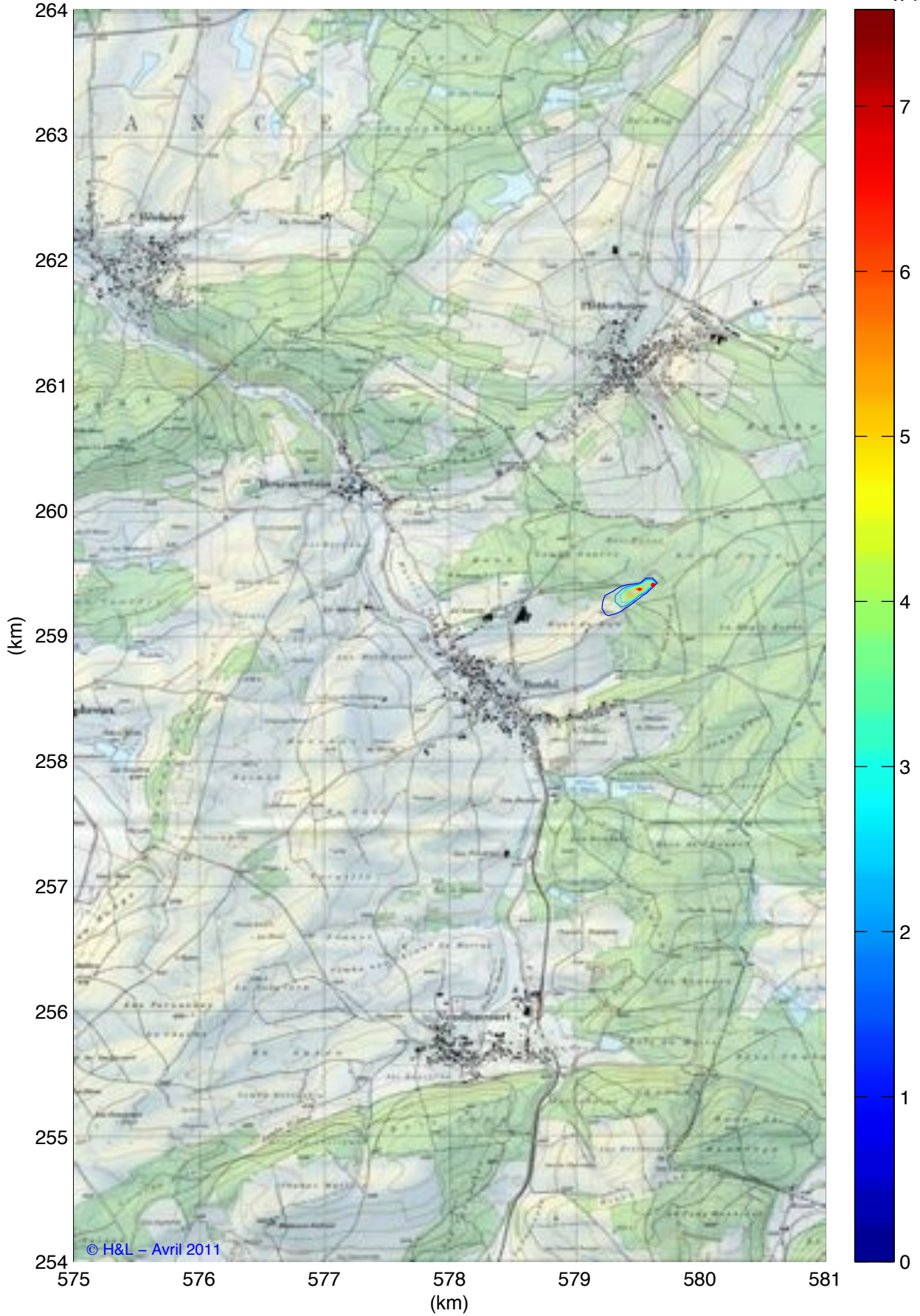
min =1e-010, max =0.093328

log(Prob)



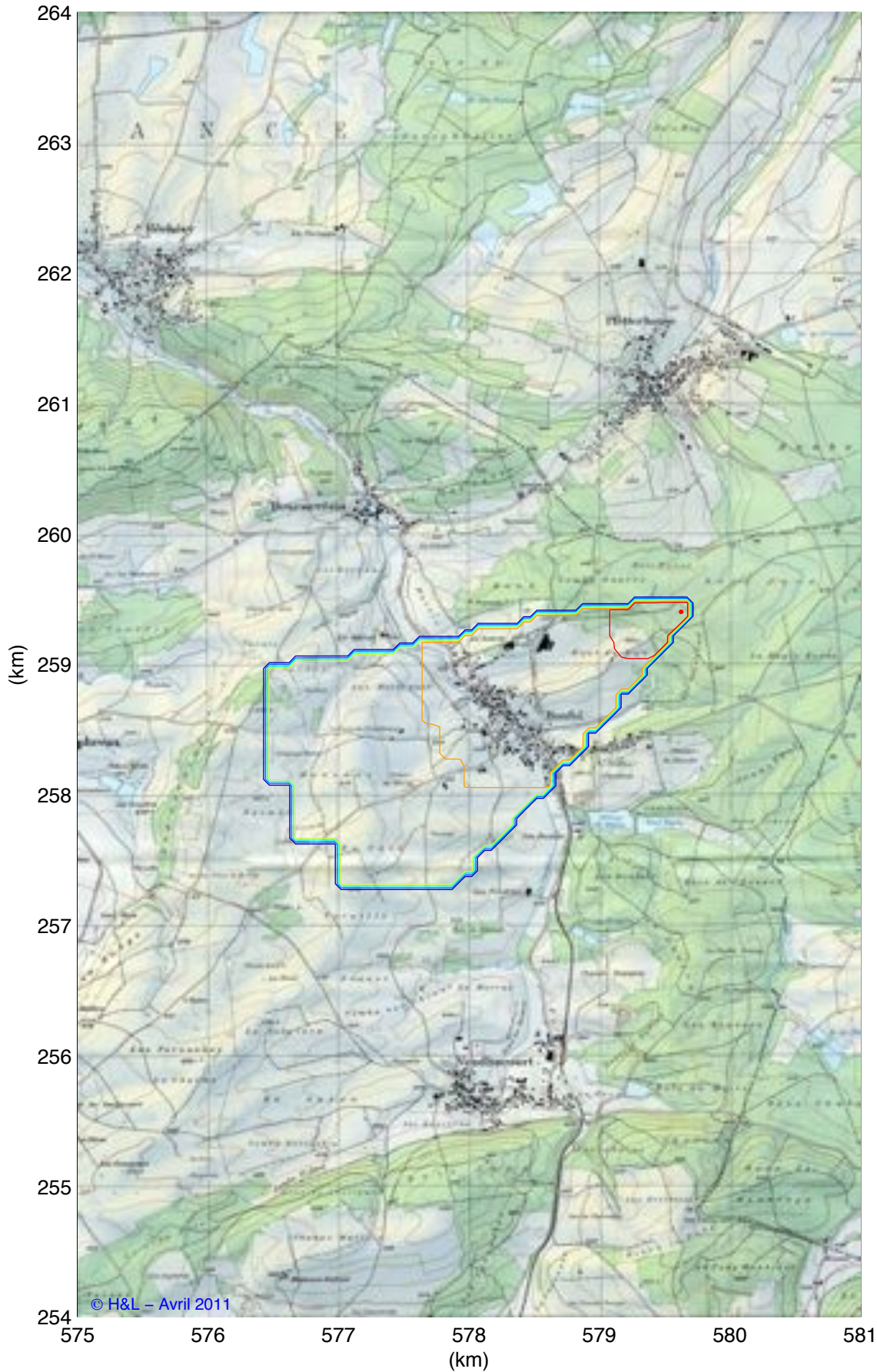
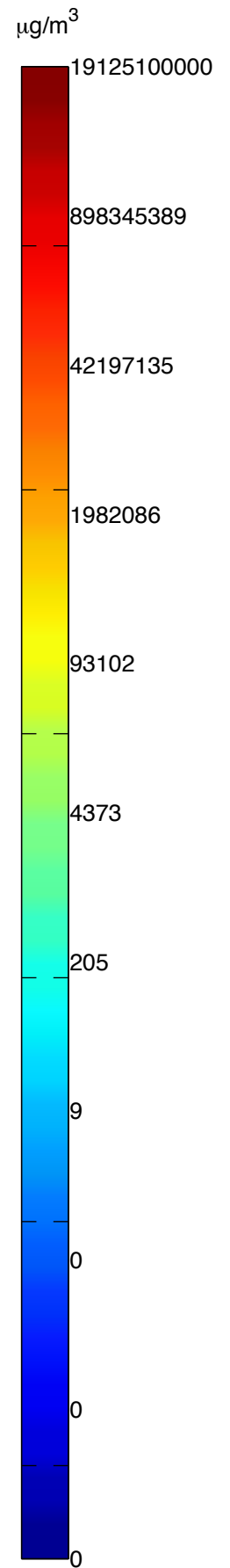
Concentrations moyennes au sol  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =75°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =75868800

$\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $\times 10^7$





Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =75°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =19125100000



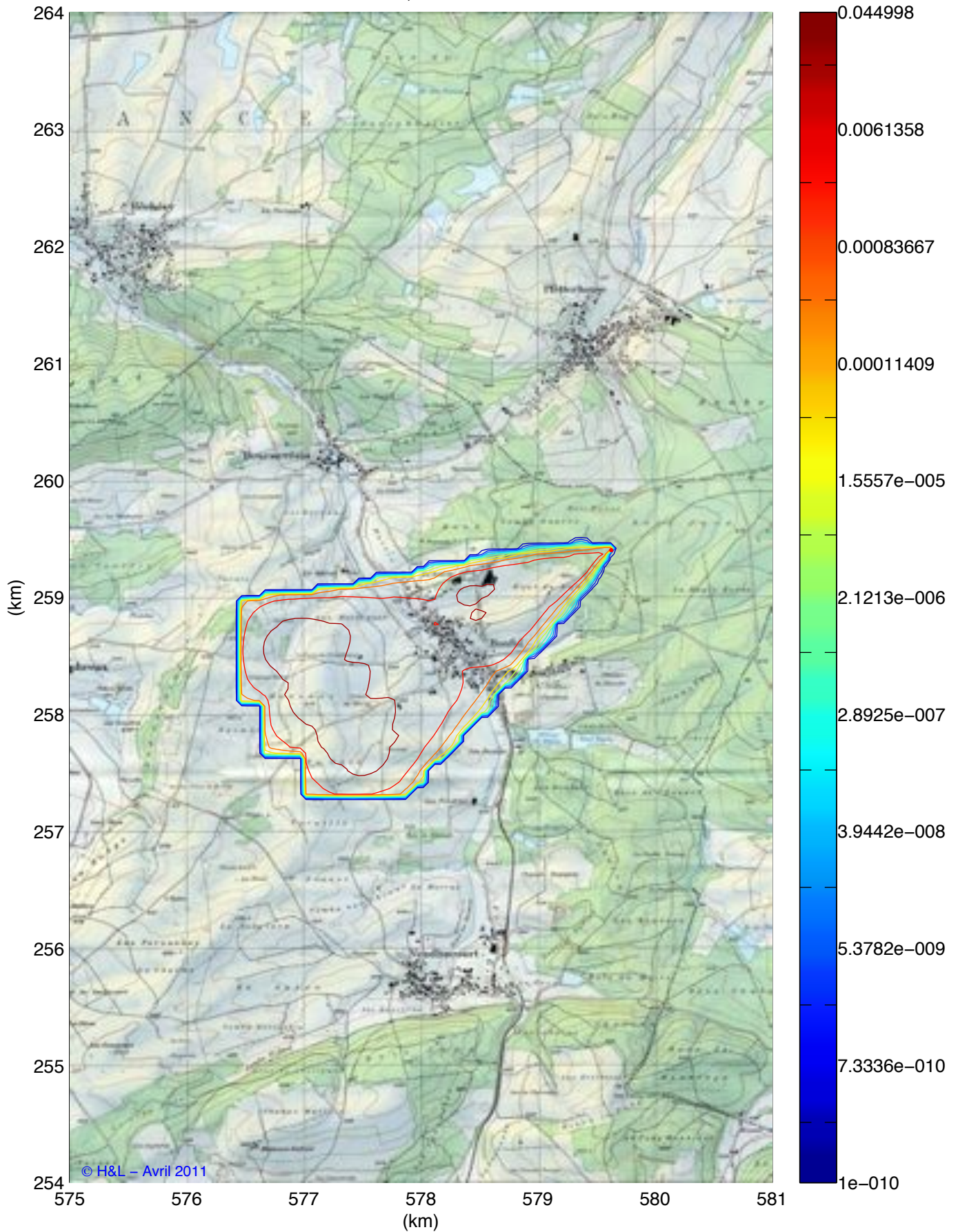
Probabilité d'occurrence des Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique

source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]

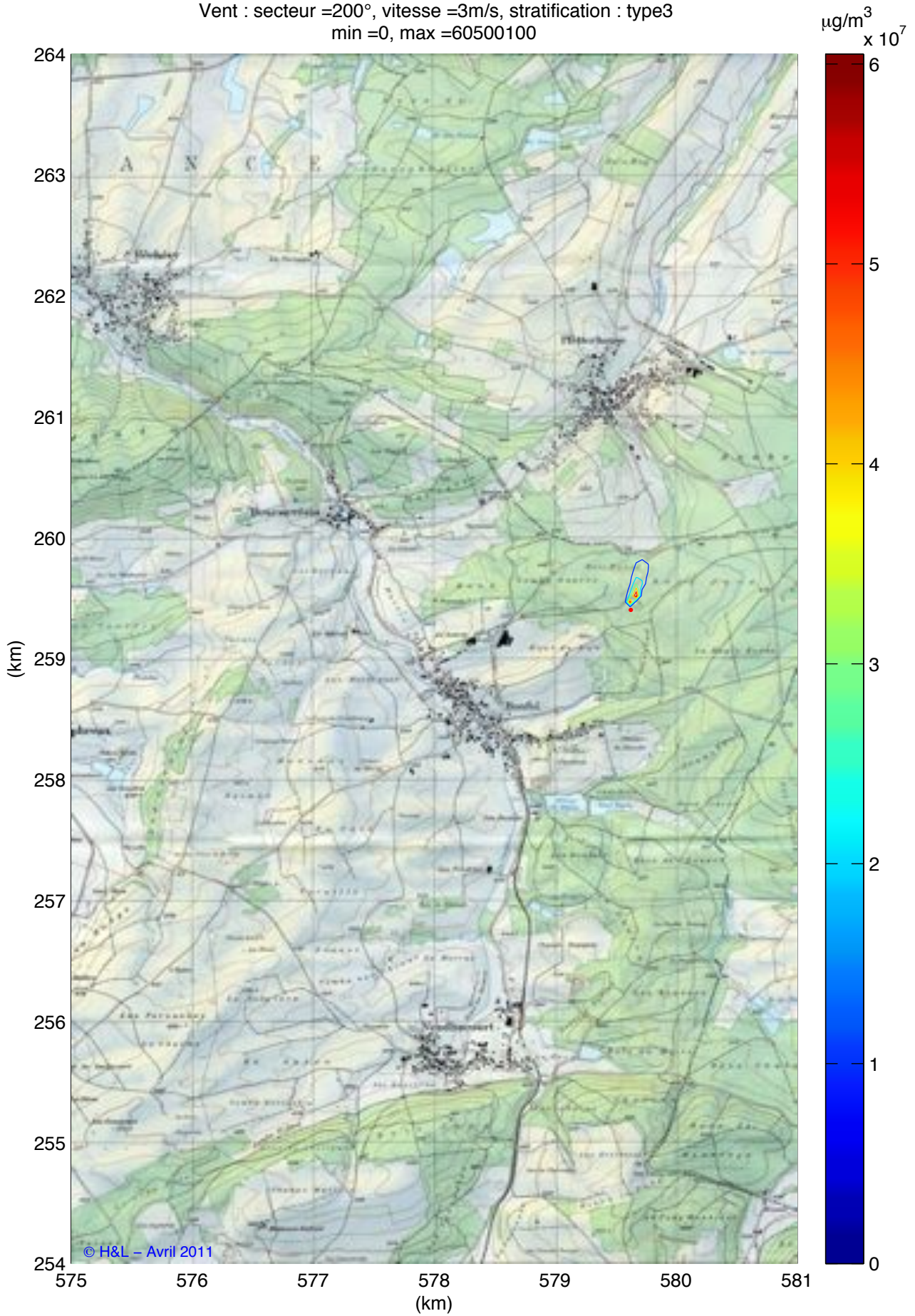
Vent : secteur =75°, vitesse =3m/s, stratification : type3

min =1e-010, max =0.044998

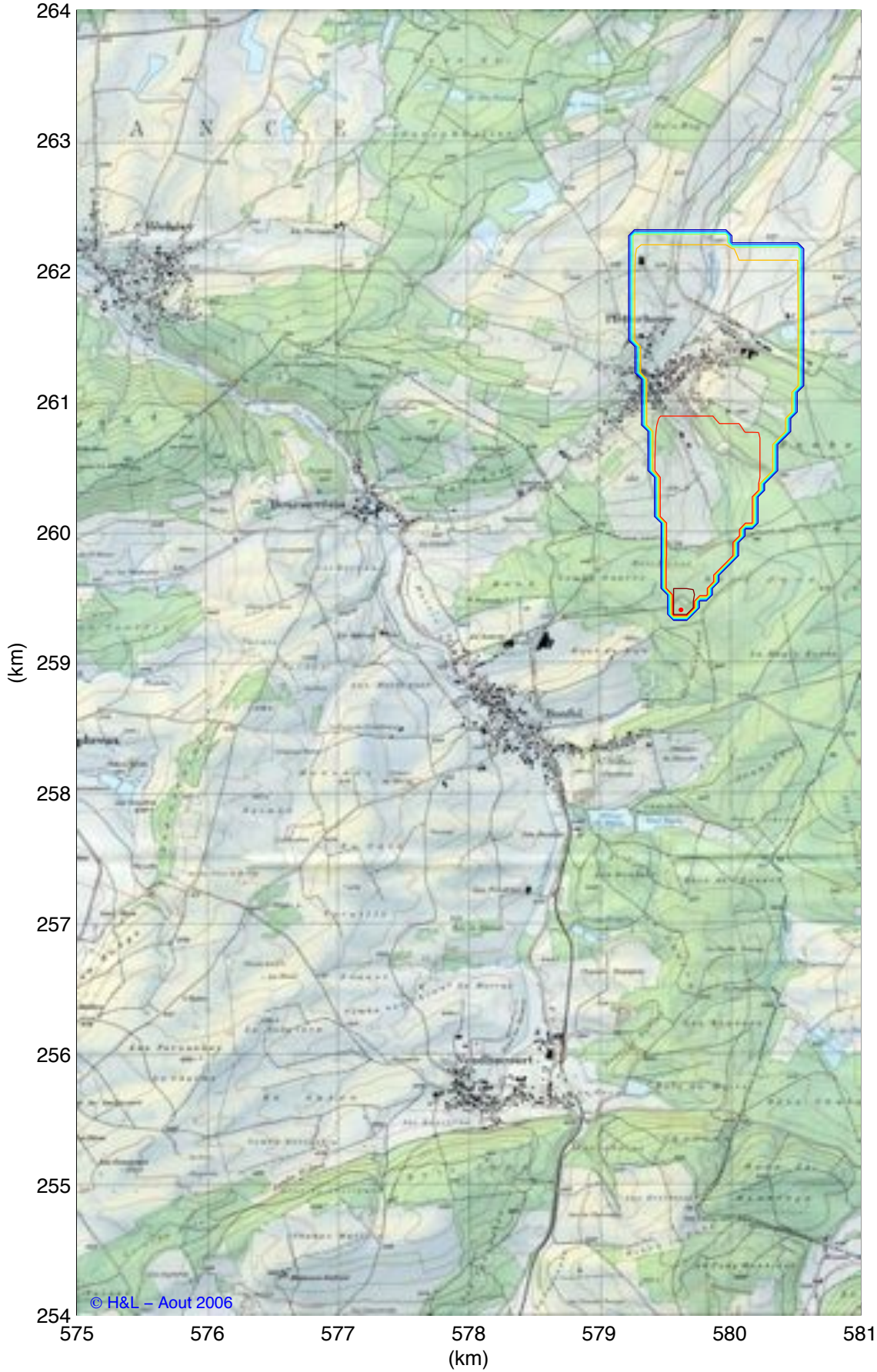
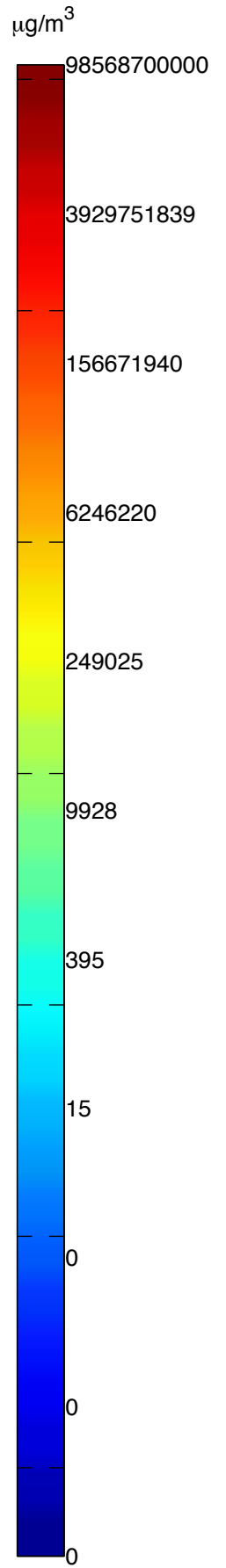
log(Prob)



Concentrations moyennes au sol  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =200°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =60500100



Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =200°, vitesse =1m/s, stratification : type3  
min =0, max =98568700000

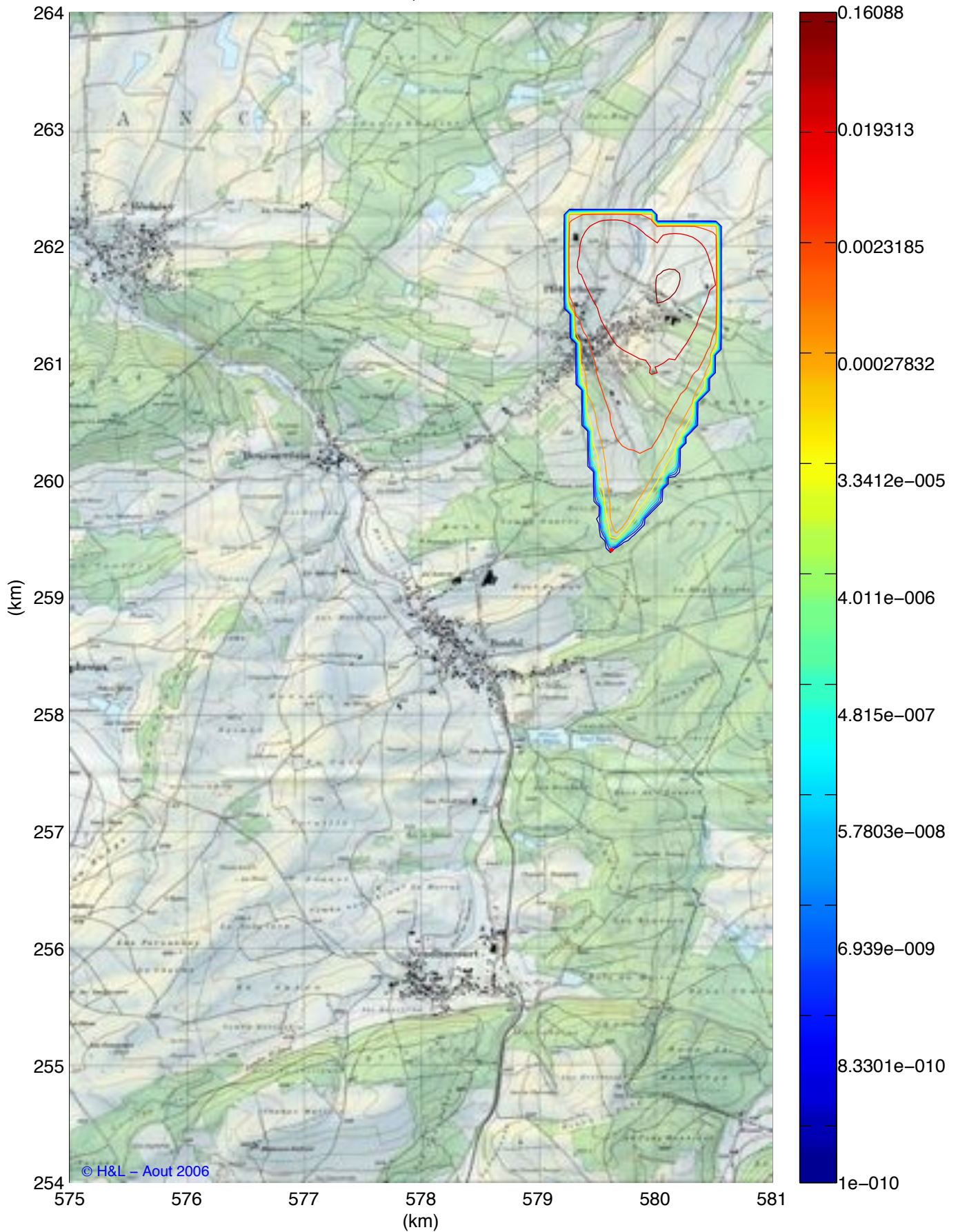


Probabilité d'occurrence des Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique

source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]

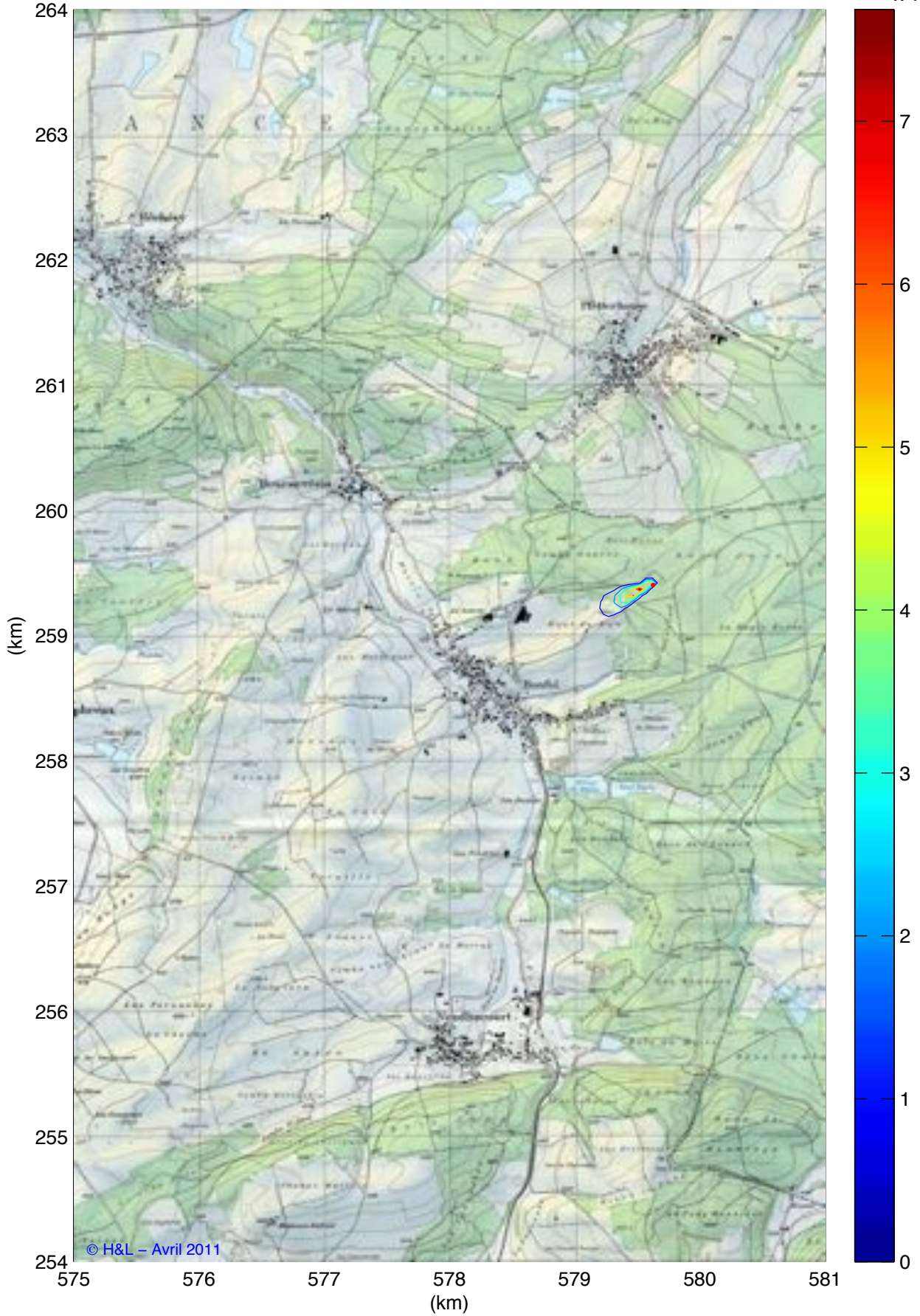
Vent : secteur =200°, vitesse =1m/s, stratification : type3  
min =1e-010, max =0.16088

log(Prob)

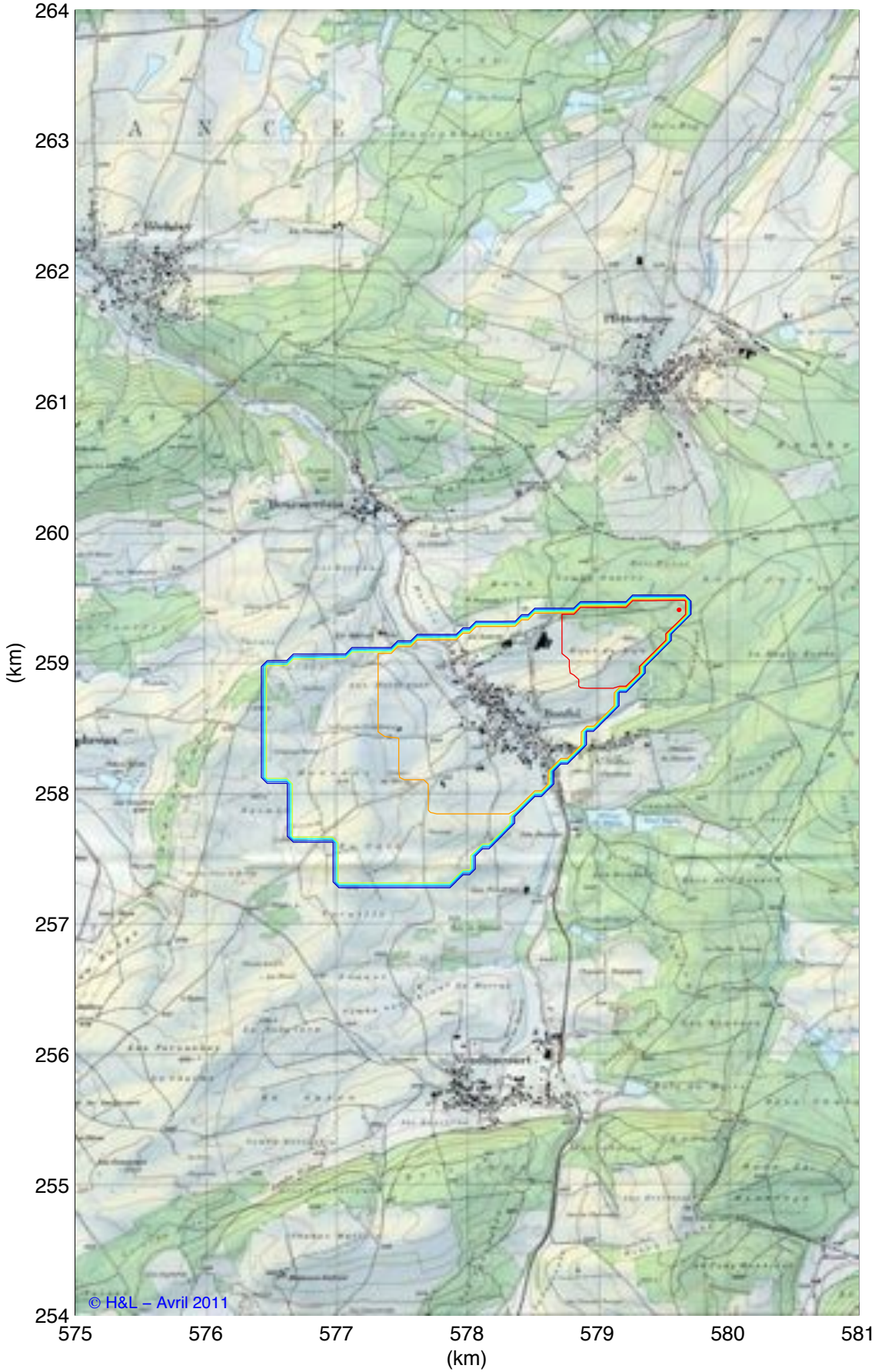
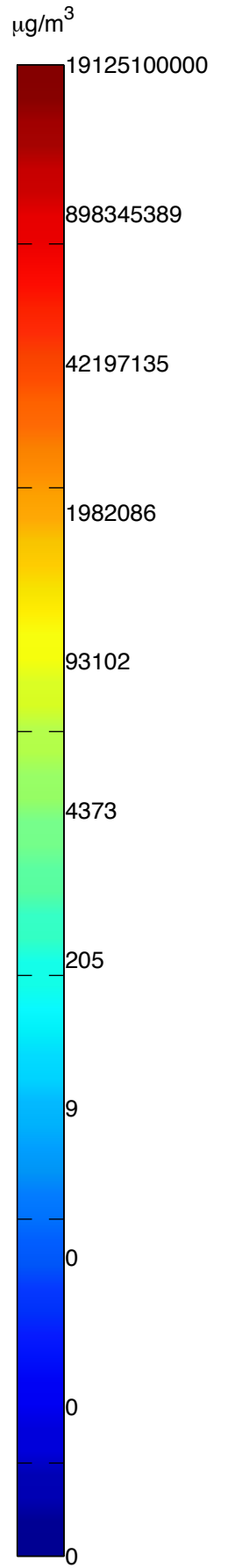


Concentrations moyennes au sol  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =75°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =76864400

$\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $\times 10^7$



Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique  
source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]  
Vent : secteur =75°, vitesse =3m/s, stratification : type3  
min =0, max =19125100000



Probabilité d'occurrence des Concentrations extrêmes au sol – échelle logarithmique

source : 32000 g/s – [579.600 / 259.400]

Vent : secteur =75°, vitesse =3m/s, stratification : type3

min =1e-010, max =0.044998

log(Prob)

