



HAL
open science

La dispersion du pollen : mécanismes, modélisation et questions actuelles de recherche

Yves Brunet

► **To cite this version:**

Yves Brunet. La dispersion du pollen : mécanismes, modélisation et questions actuelles de recherche. Journée ECCOREV : La modélisation, May 2008, Aix-en-Provence, France. 71 pl. hal-02824319

HAL Id: hal-02824319

<https://hal.inrae.fr/hal-02824319v1>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**La dispersion du pollen :
mécanismes, modélisation
et questions actuelles de recherche**

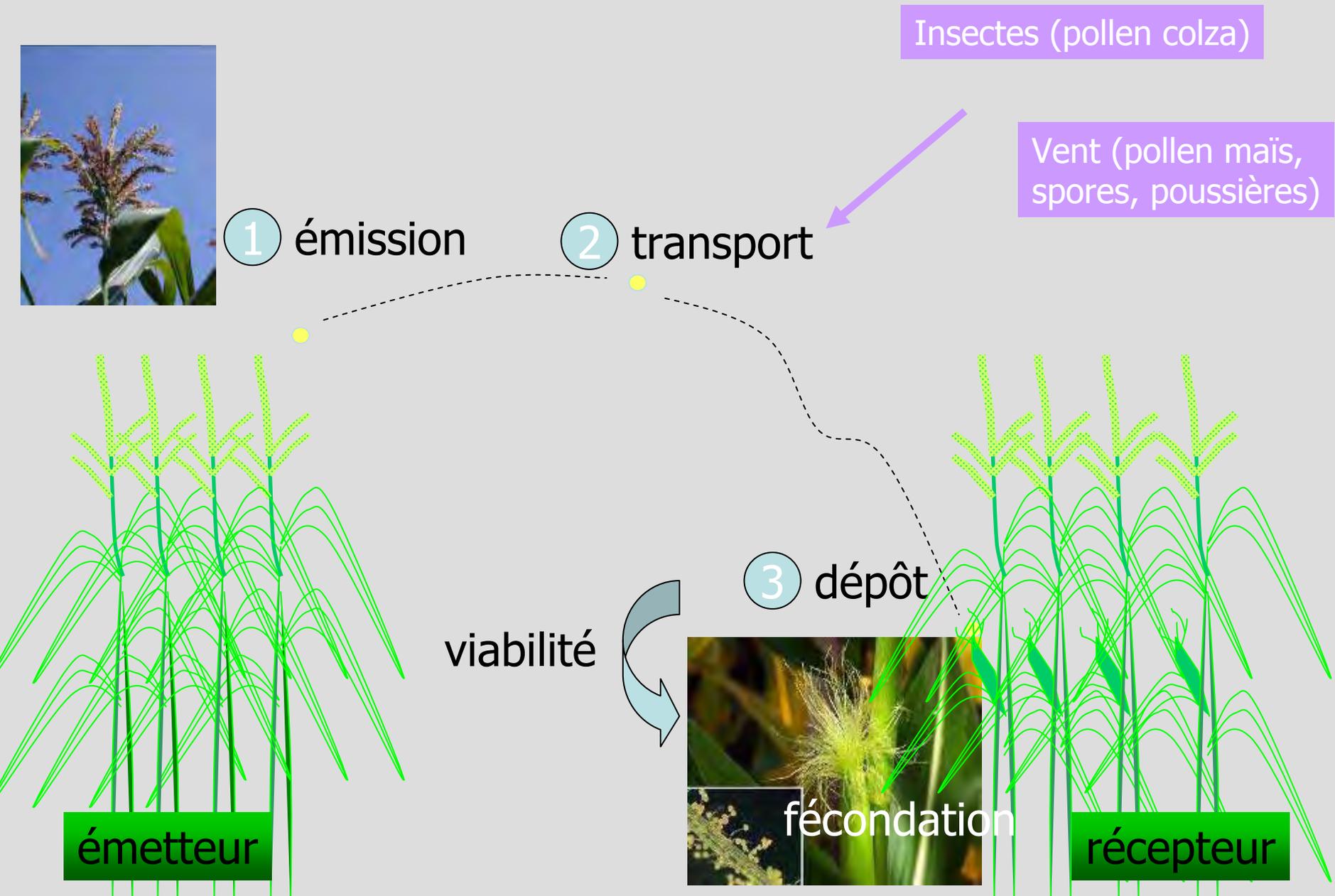
Yves Brunet

UR Ephyse, Inra, Bordeaux

Introduction



Introduction



Introduction

1. Agriculture

Croisement : une nécessité

Problèmes de pollinisation (ex. betterave)

2. Ecologie des communautés et populations

Colonisation par les espèces

Changements d'aires de répartition

3. Les pollens allergisants

Prédiction des pics et des zones affectées

Influence du changement climatique

4. La problématique OGM

Dissémination dans l'environnement

Règles de coexistence

Introduction

Maïs :

- pollinisation par le vent
- pas d'espèce sauvage apparentée
- semences ne survivent pas au champ

**Problèmes liés à la coexistence OGM – non OGM :
croisements par le biais du pollen**

**Importance de bien connaître les mécanismes de
dispersion**



(Aylor et al., 2003)

Introduction

Questions liées à la dispersion :

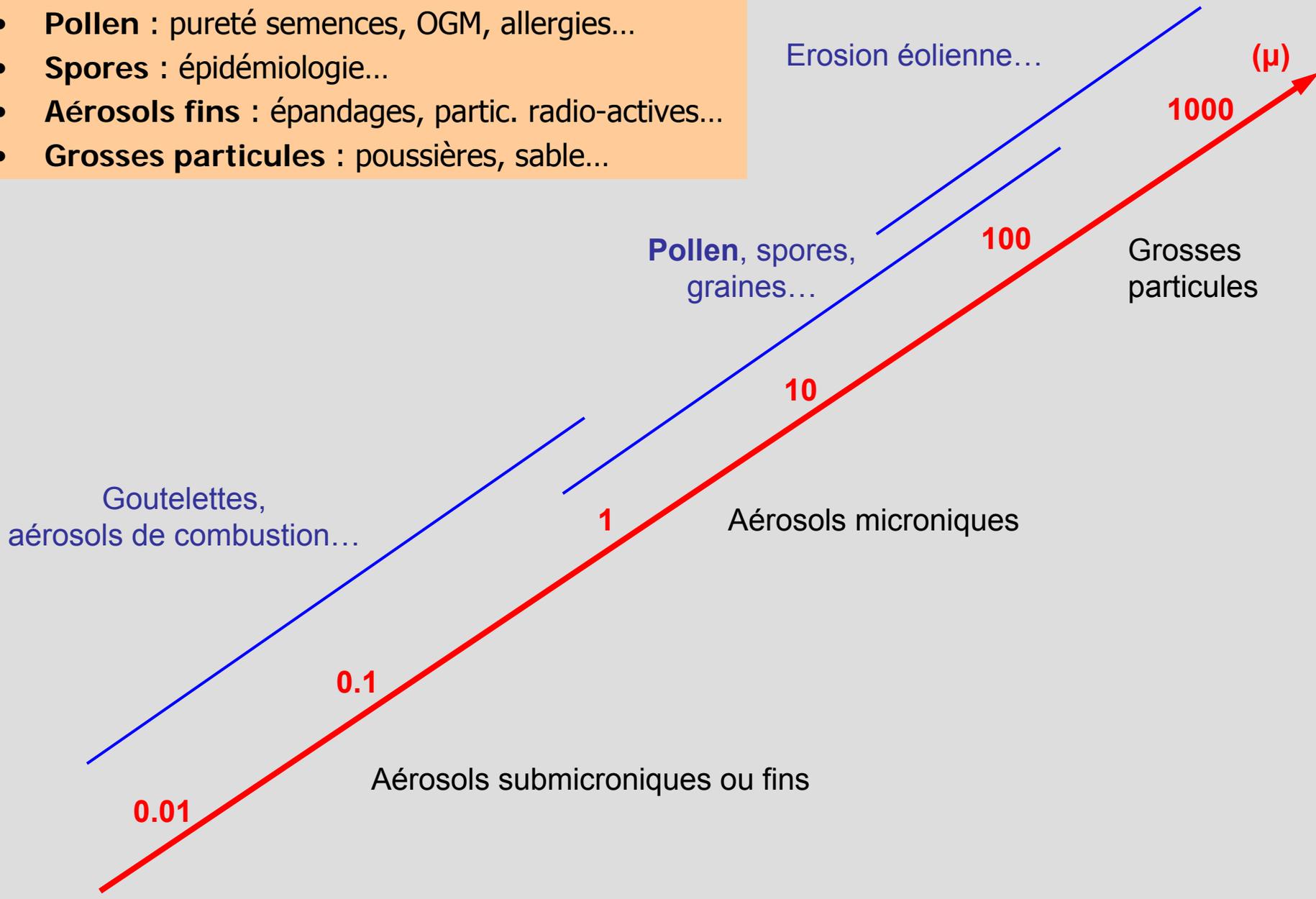
- jusqu'à quelle distance ?
- en quelle quantité ?
- rôle de l'agencement du paysage ?
- efficacité des distances d'isolement ?
- conditions de respect des taux seuils ?
- la coexistence est-elle possible ?



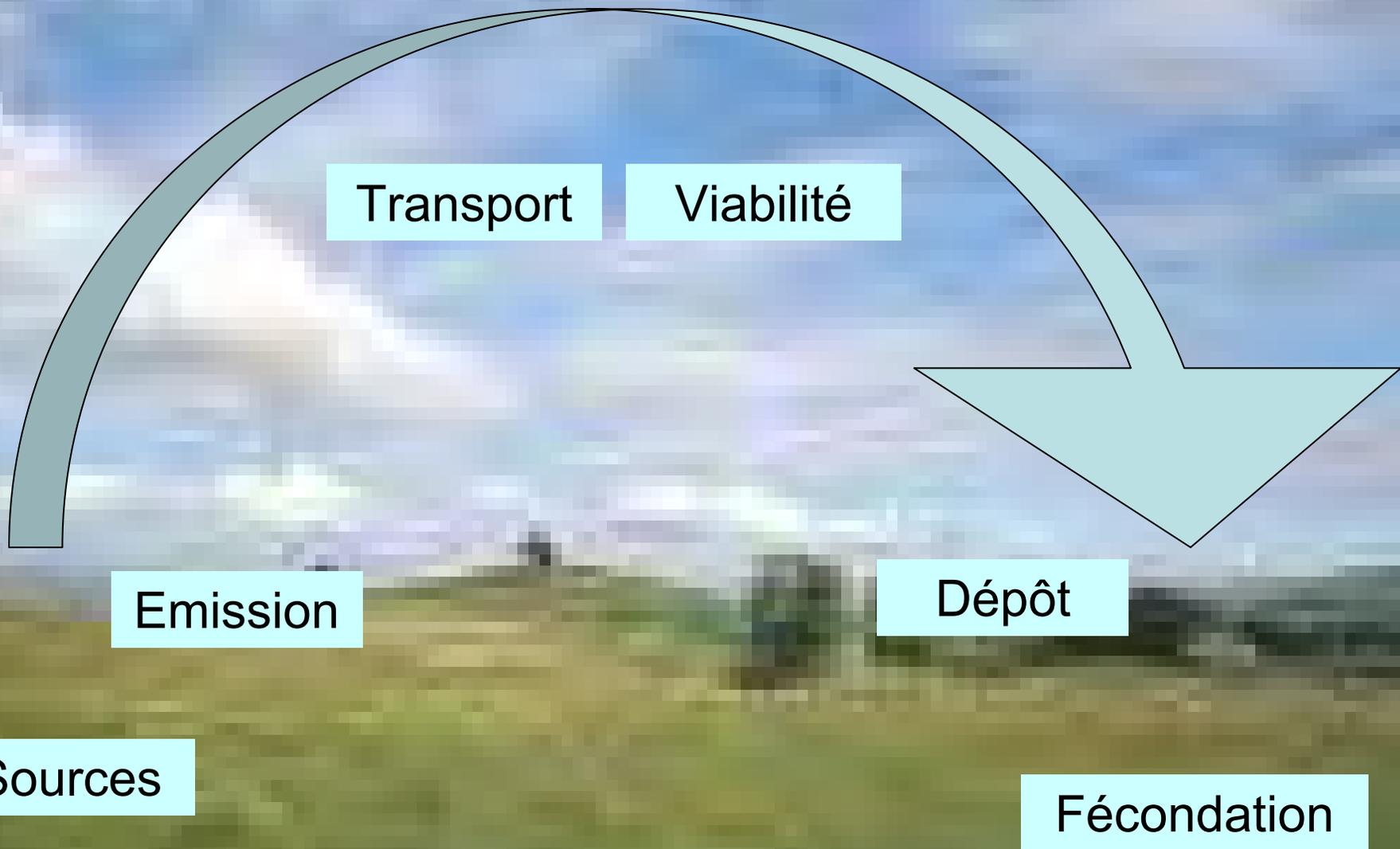
(Aylor et al., 2003)

Introduction

- **Pollen** : pureté semences, OGM, allergies...
- **Spores** : épidémiologie...
- **Aérosols fins** : épandages, partic. radio-actives...
- **Grosses particules** : poussières, sable...



Introduction

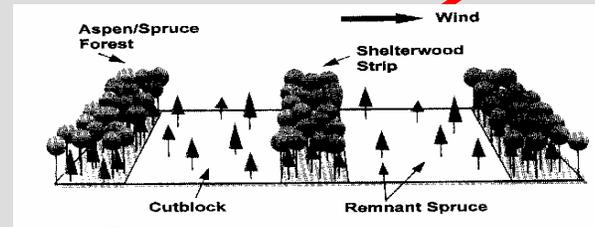


Introduction

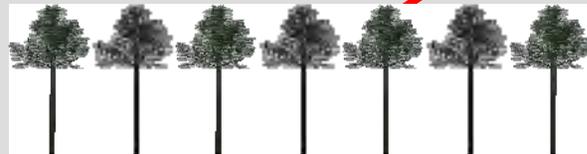
longue distance



courte distance



local



Introduction



1. Introduction

2. Emission, viabilité, sédimentation

3. Dispersion à courte distance

4. Dispersion à longue distance

5. Perspectives et conclusions

Emission, viabilité, sédimentation

concentration



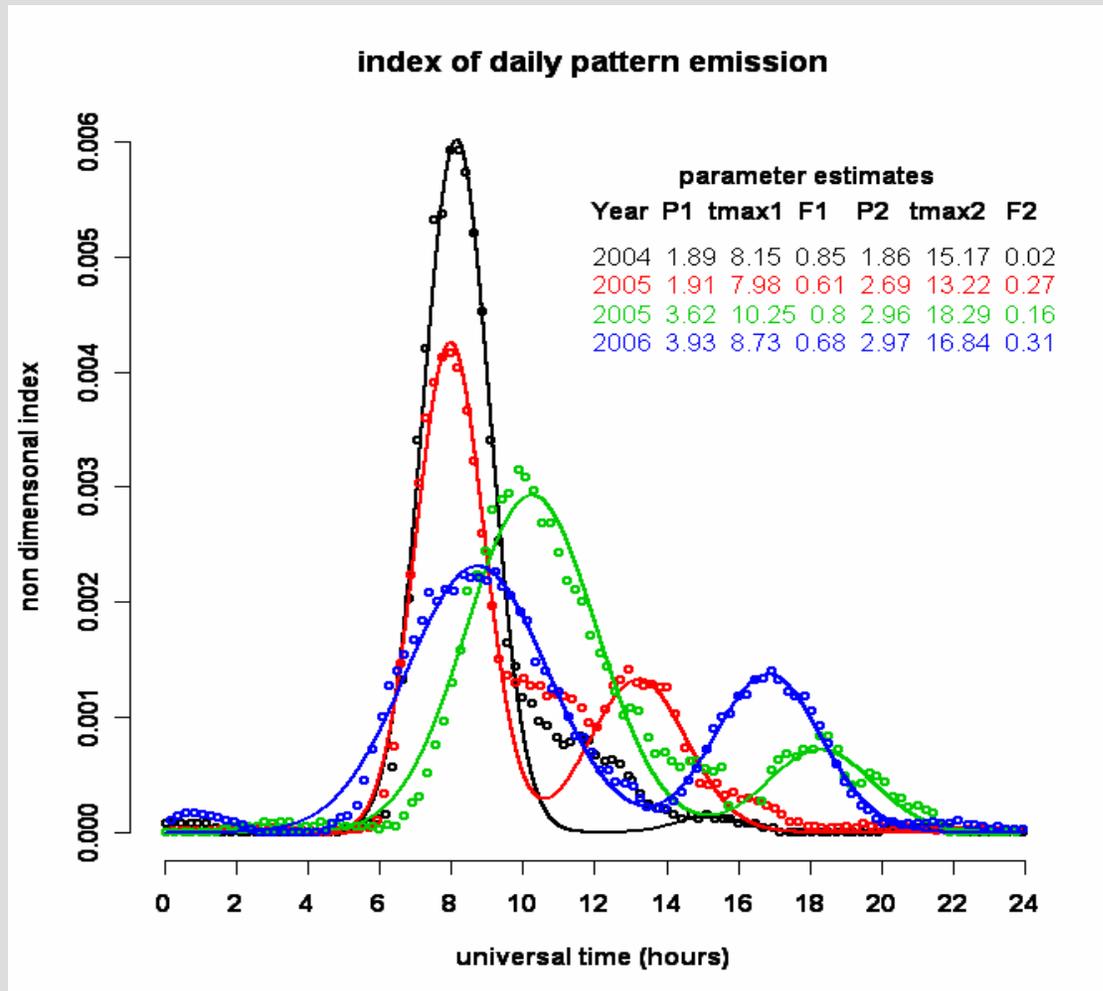
production



- Durée de pollinisation: 10 – 15 jours
- Production totale: $7 \cdot 10^6$ – $34 \cdot 10^6$ grains / panicule
- Concentration maximale: 200 – 400 grains m^{-3}

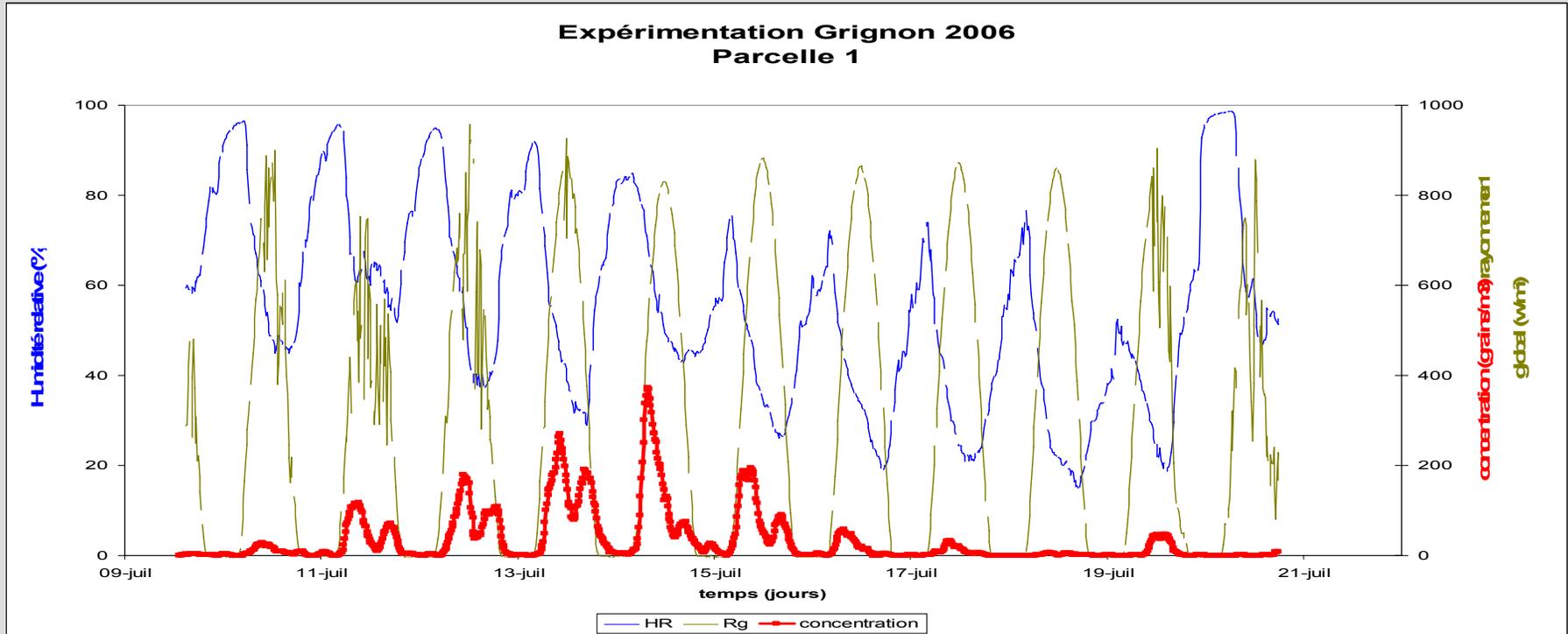
Emission, viabilité, sédimentation

(Marceau and Huber, 2007)



Emission, viabilité, sédimentation

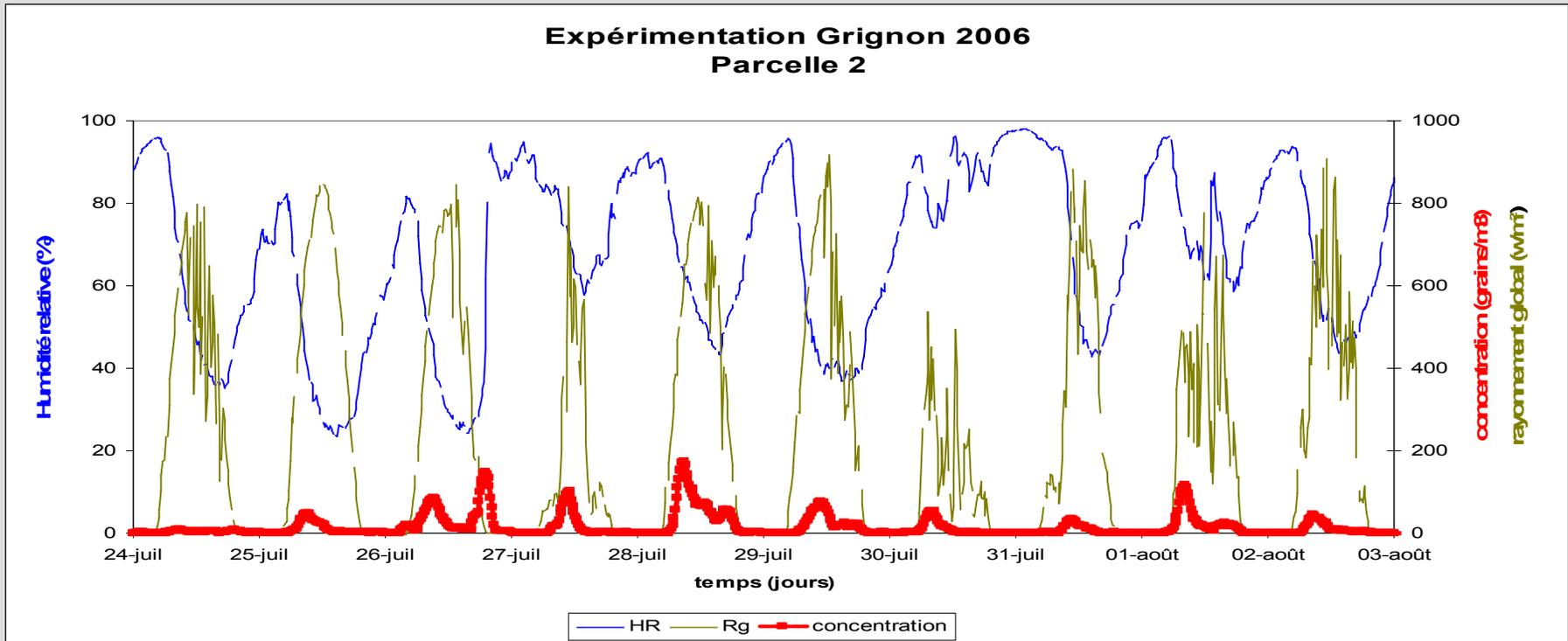
(Marceau and Huber, 2007)



- **Conditions climatiques favorables :**
humidité faible, rayonnement élevé et fortes températures
- **Emission ~ optimale :**
 - cycle diurne bimodal
 - enveloppe gaussienne sur la période

Emission, viabilité, sédimentation

(Marceau and Huber, 2007)

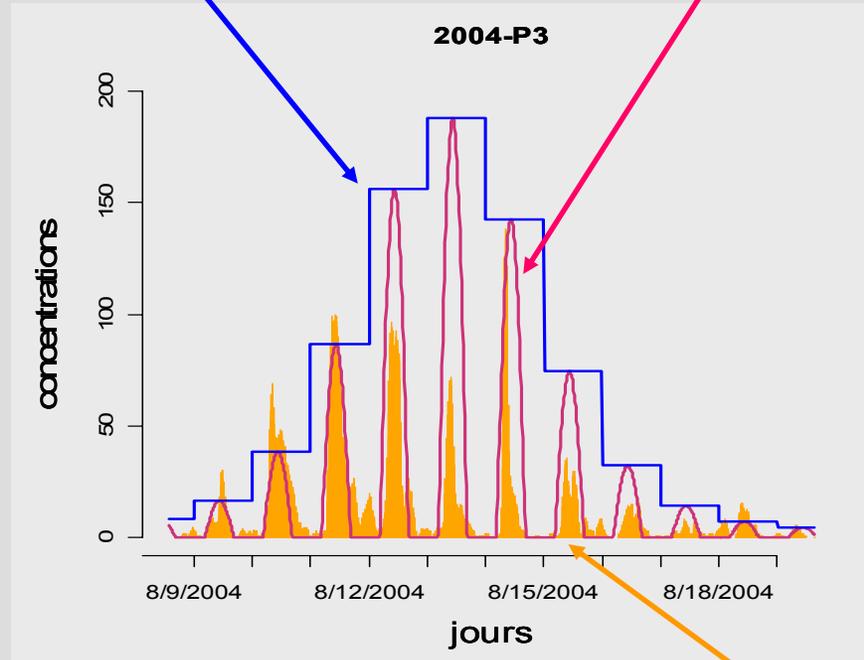


- **Conditions climatiques défavorables :**
pluie, humidité forte, nuages, basses températures
- **Emission à cycle diurne perturbé**

Emission, viabilité, sédimentation

Concentration journalière maximale observée $C_{\max} = f$ (dynamique de floraison)

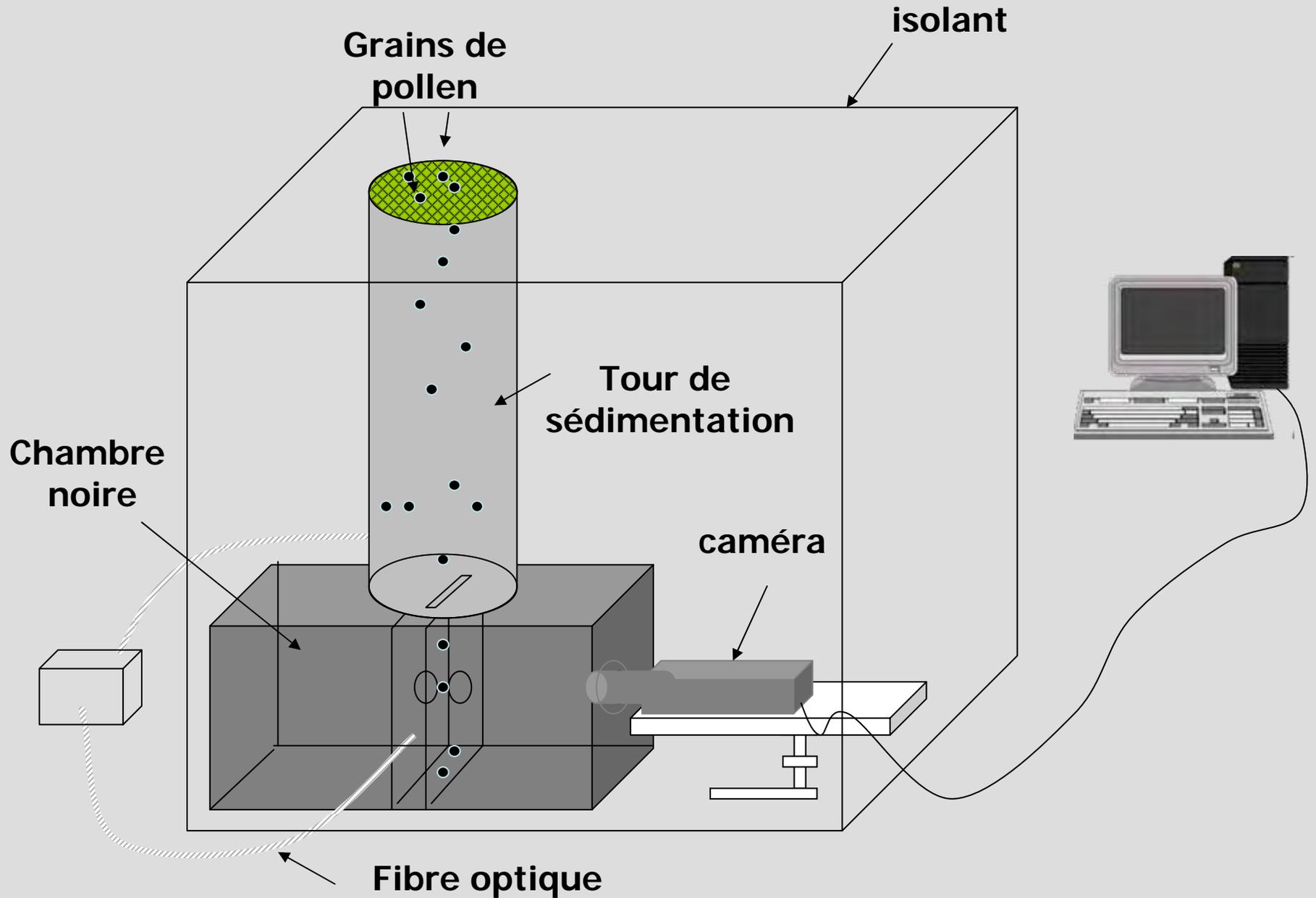
(Marceau and Huber, 2007)
Dynamique journalière :
fonction sinusoïdale
=> potentiel d'émission $P(t)$



Ecart entre potentiel d'émission et observations :
 f (variables climatiques)

$$C = C_{\max} \times P(t) \times f_{\text{pluie}} \times f_{\text{HR}} \times f_{\text{R}} \times f_{\text{T}}$$

Emission, viabilité, **sédimentation**



Emission, viabilité, **sédimentation**

(Loubet et al., 2007)

Photographie de grains
en chute libre (air calme)

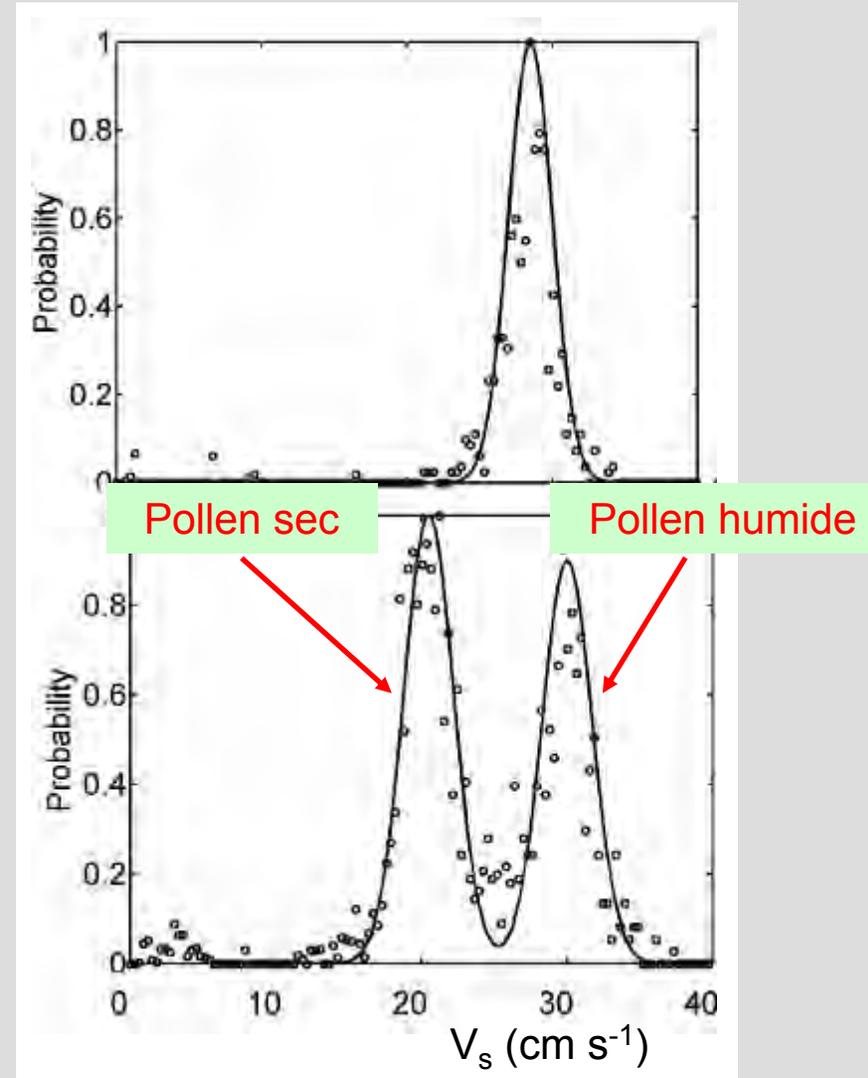


Calcul de la vitesse de chute (V_s) :

$$V_s = L / \tau \quad [\text{cm s}^{-1}]$$

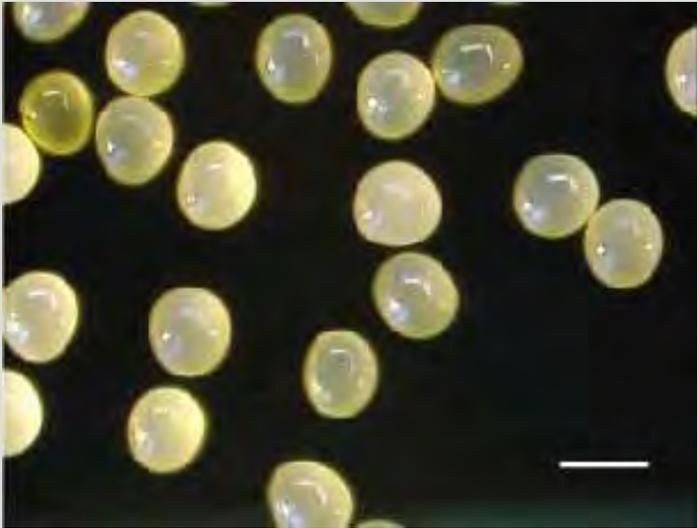
L = distance parcourue [cm]

τ = temps d'ouverture [s]

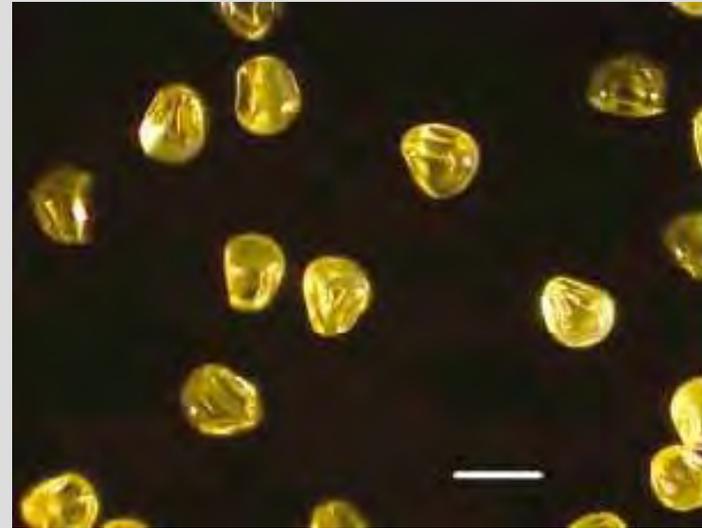


Emission, viabilité, **sédimentation**

Loi de Stokes $V_s \sim d_p^2 \rho_p$



Teneur en eau $\approx 60 \%$

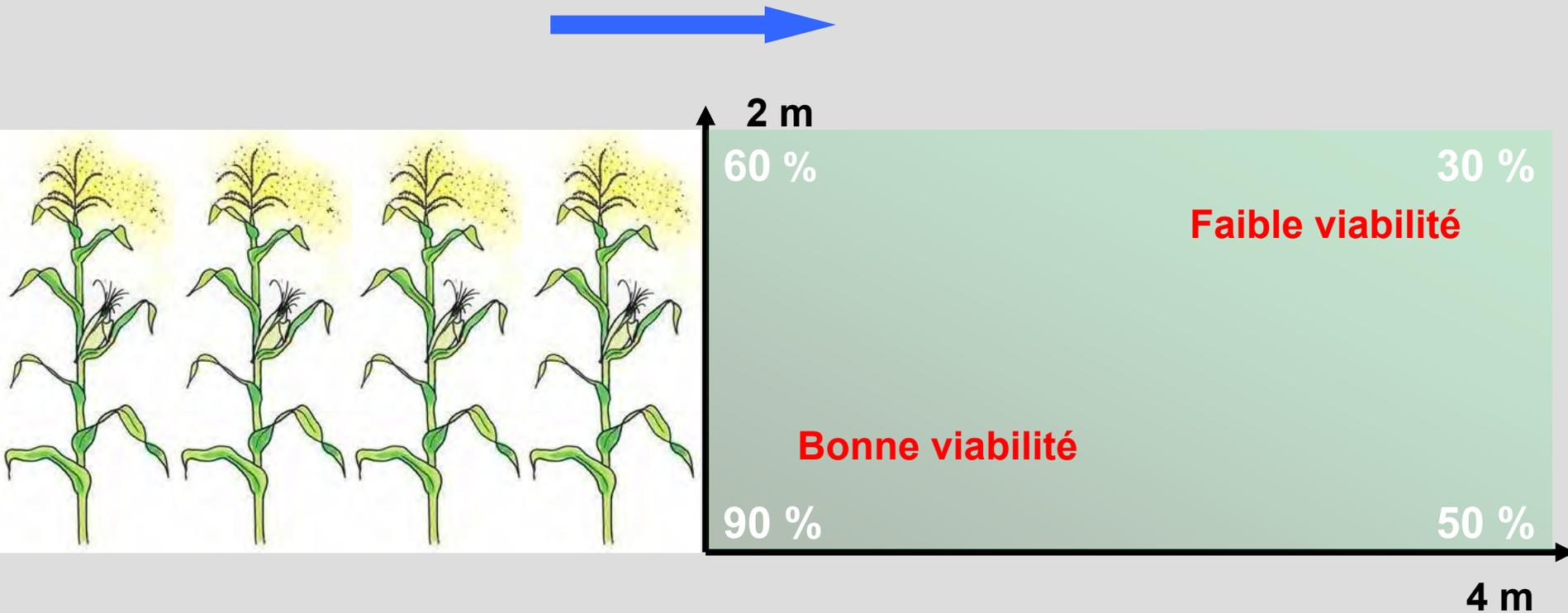


$\approx 10 \%$

Influence de

- la teneur en eau
- la variété

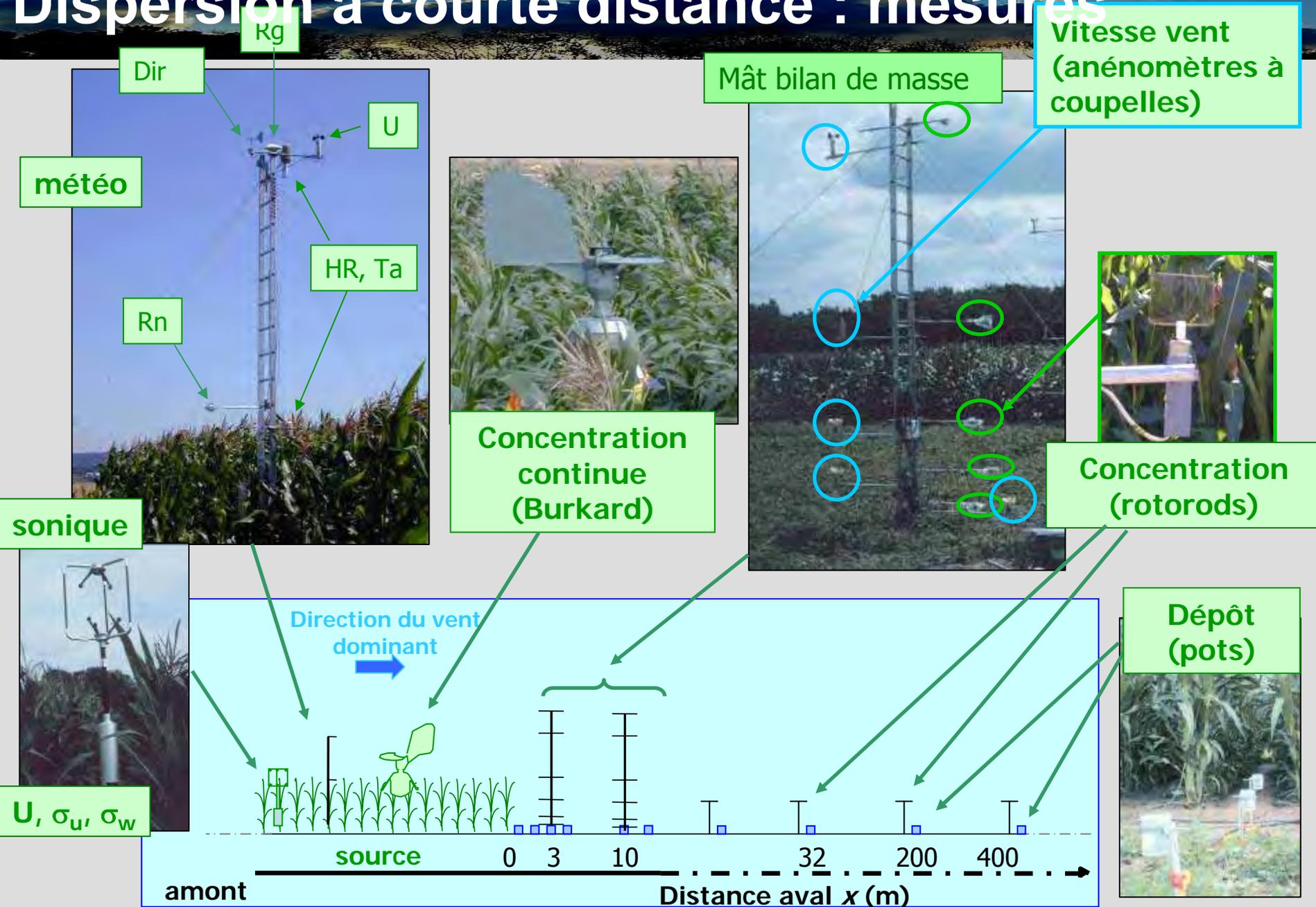
Emission, **viabilité**, sédimentation



Viabilité ↔ Teneur en eau ↔ Poids ↔ Vitesse de chute

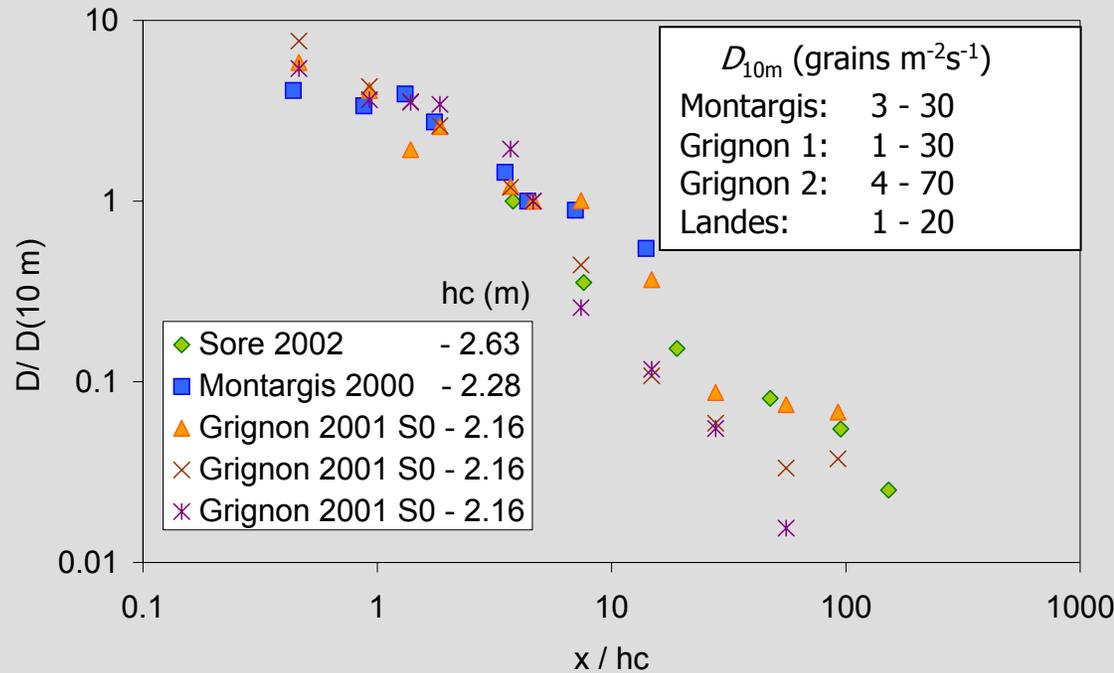
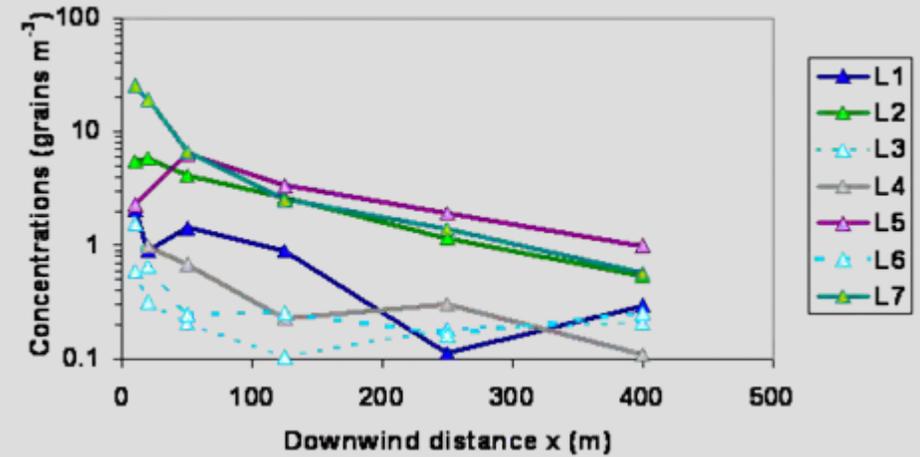
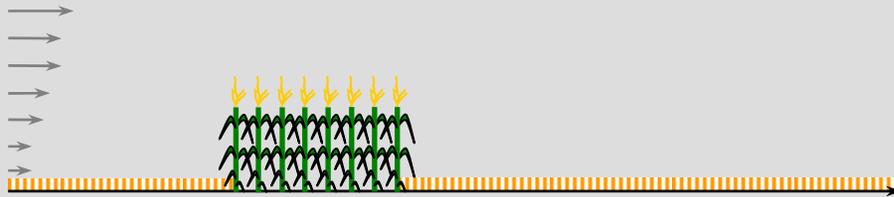
1. Introduction
2. Emission, viabilité, sédimentation
- 3. Dispersion à courte distance**
4. Dispersion à longue distance
5. Perspectives et conclusions

Dispersion à courte distance : mesures



Dispersion à courte distance : mesures

Jarosz et al., 2003



Dispersion à courte distance : modélisation

Equation de convection – diffusion

$$\frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial t} + \langle \bar{u}_j \rangle \frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial x_j} - v_s \frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial x_j} \delta_{j3} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{v_t}{\sigma_c} \frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial x_j} \right] + \langle \bar{S}_p \rangle$$

Variation temporelle de la concentration turbulente Transport par advection Sédimentation gravitationnelle Transport par diffusion turbulente Dépôt par sédimentation (a) et par impact (b)

Avec :

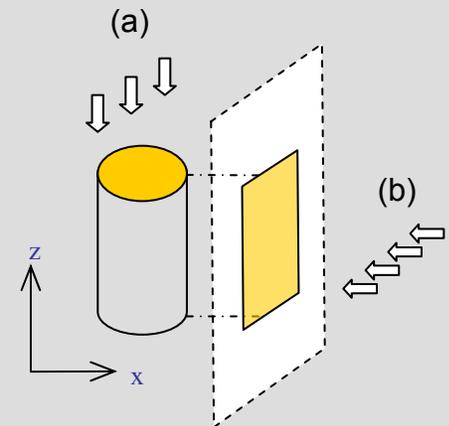
$$\langle \bar{S}_p \rangle = \langle \bar{S}_s \rangle + \langle \bar{S}_i \rangle = E_s a_h v_s \langle \bar{C} \rangle + E_i a_v \langle \bar{u} \rangle \langle \bar{C} \rangle$$

où $E_i = \frac{0.86}{1 + 0.442 St^{-1.967}}$ et $E_s = 1$

$\langle \bar{u} \rangle$ = vitesse moyenne de l'écoulement

$a_{h(v)}$ = densité de surface foliaire horizontale (verticale)

v_s = vitesse de sédimentation = vitesse limite de chute du grain de pollen en air calme



Dispersion à courte distance : modélisation

- Limite supérieure :

$$\left. \frac{v_t}{\sigma_c} \frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial z} + v_s \langle \bar{C} \rangle \right)_H = -v_f \langle \bar{C} \rangle$$

- Limite inférieure :

$$\left. \frac{v_t}{\sigma_c} \frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial z} + v_s \langle \bar{C} \rangle \right)_p = v_d \langle \bar{C} \rangle$$

– Dépôt au sol apparent

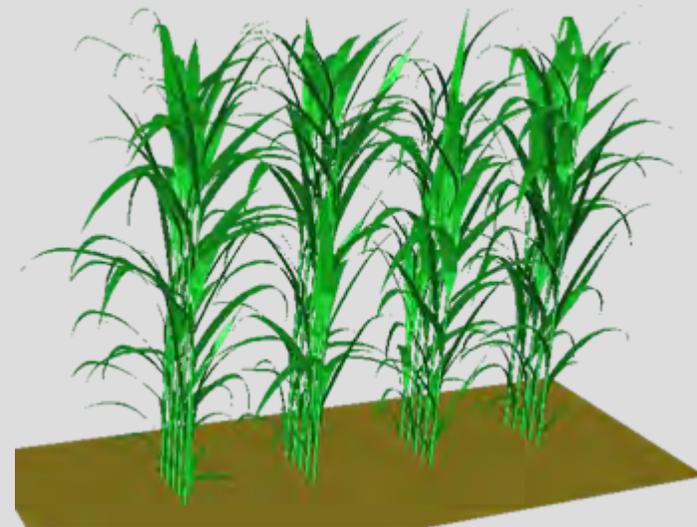
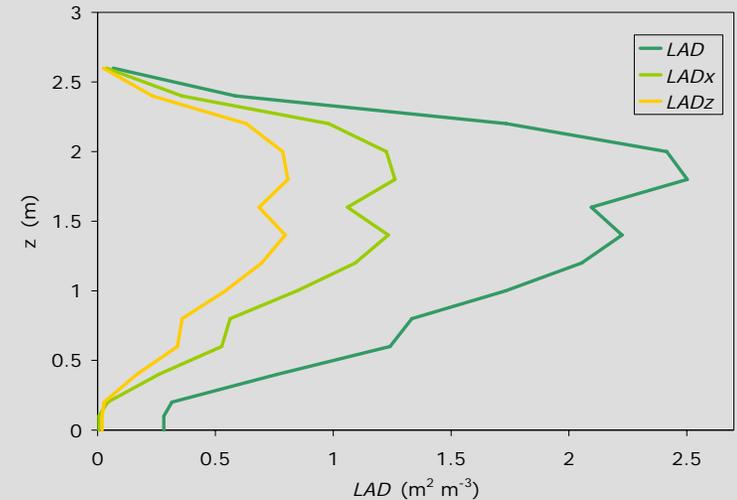
$v_d = v_s + v_t$	{	Structure du couvert	$v_d = v_s (1 + LAI)$	(Yao, 1997)
		Turbulence (influence l'impact)	$v_d = v_s + 0.1 u_*$	(Callender et al., 1983)
		Taille et forme de la particule	$v_d = 2 \times v_s$	(McCartney, 1991)

– Dépôt au sol physique

$$v_d = v_s$$

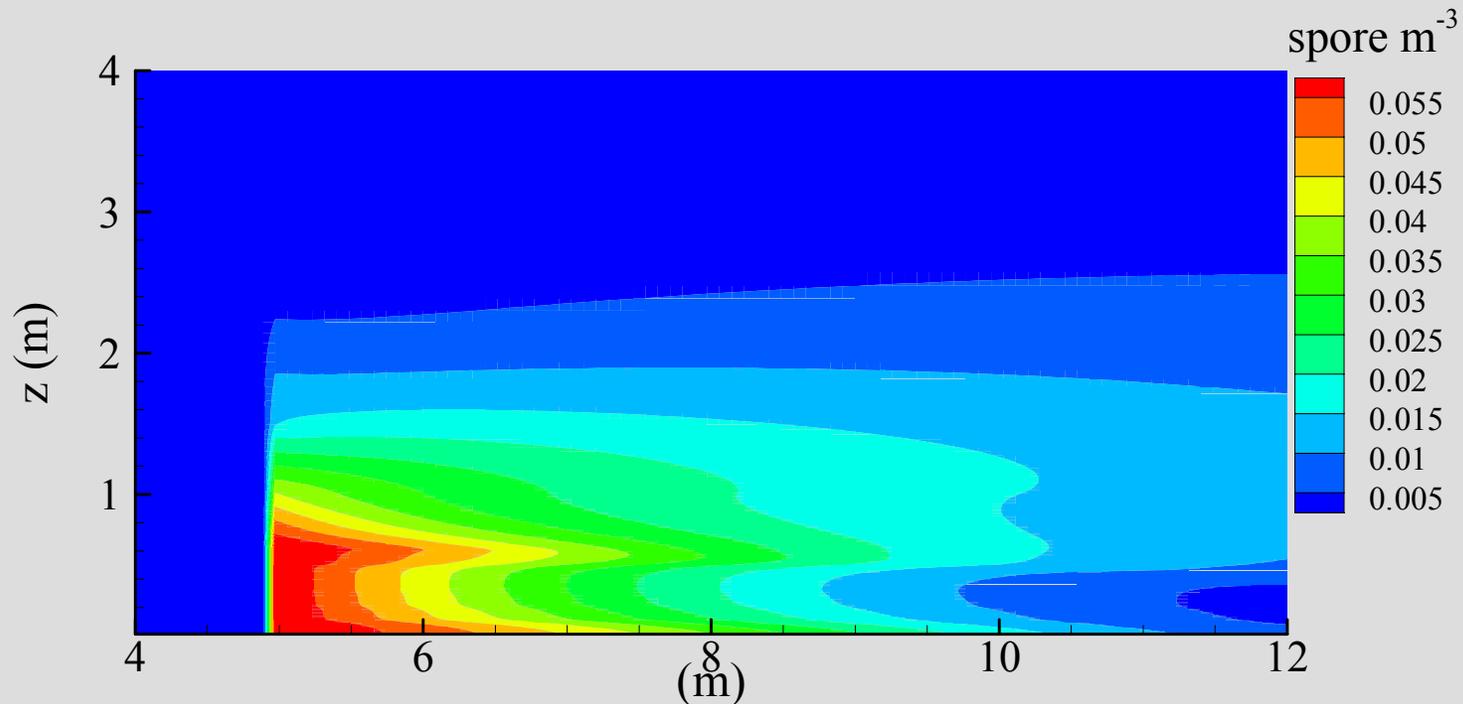
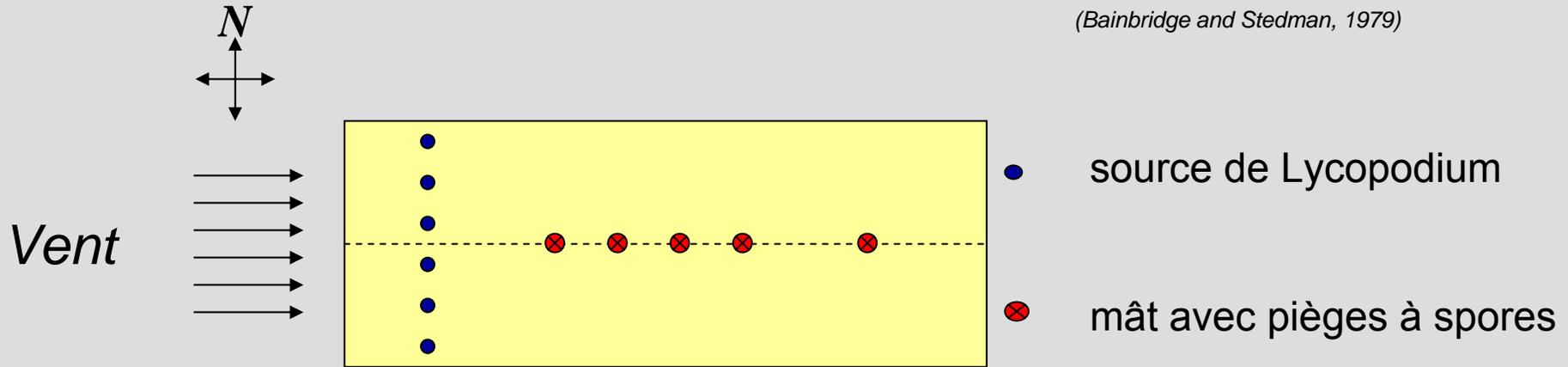
Dispersion à courte distance : modélisation

- Code de mécanique des fluides développé au laboratoire MASTER de l'Université de Bordeaux I.
- Prise en compte de la végétation par une approche porosité-traînée.
- La turbulence est modélisée de manière statistique avec un schéma de fermeture de type $k-\epsilon$.
- Validation dans de nombreux cas (Foudhil et al., 2005 ; Dupont et Brunet, 2008).

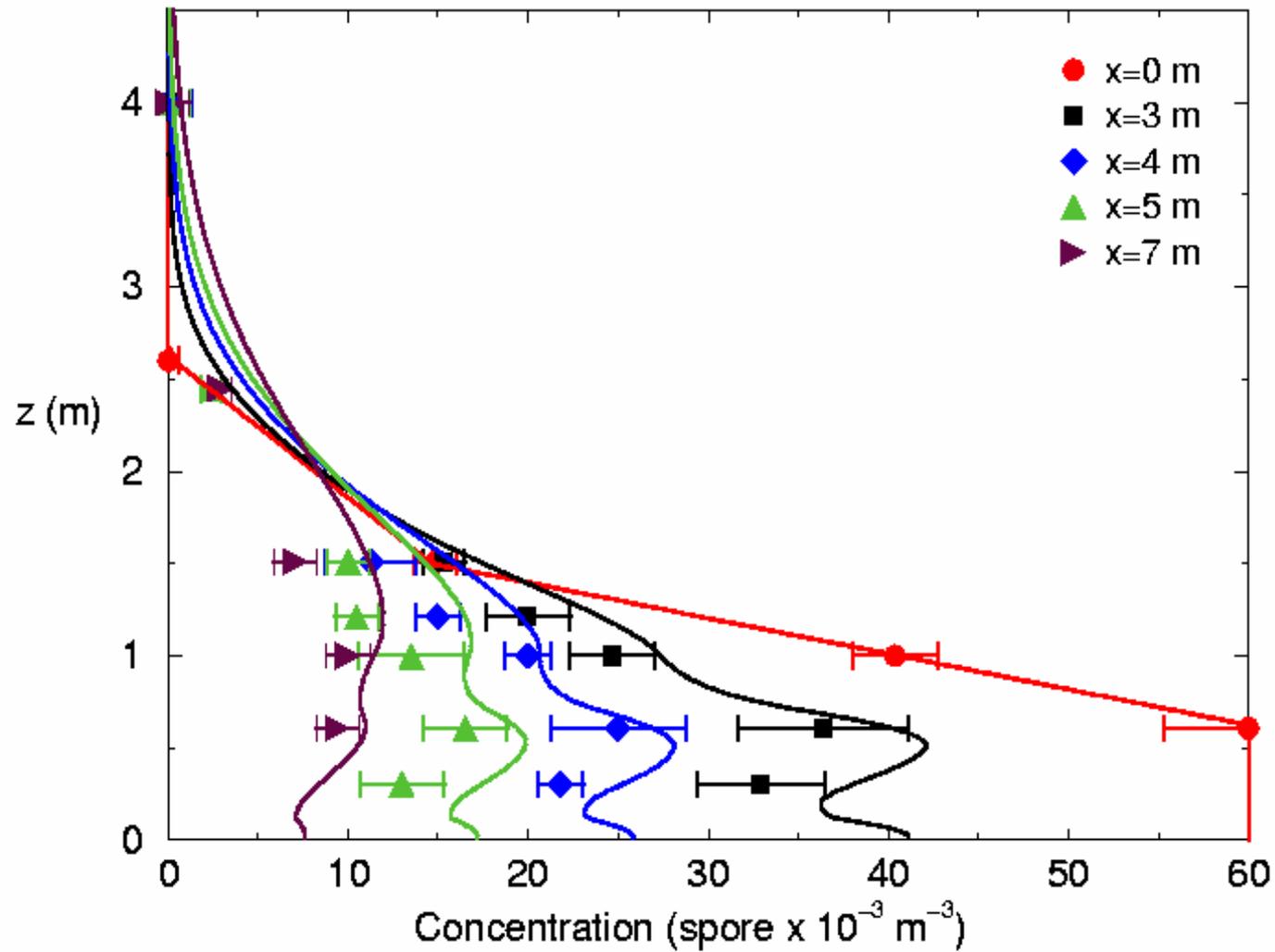


Dispersion à courte distance : modélisation

(Bainbridge and Stedman, 1979)

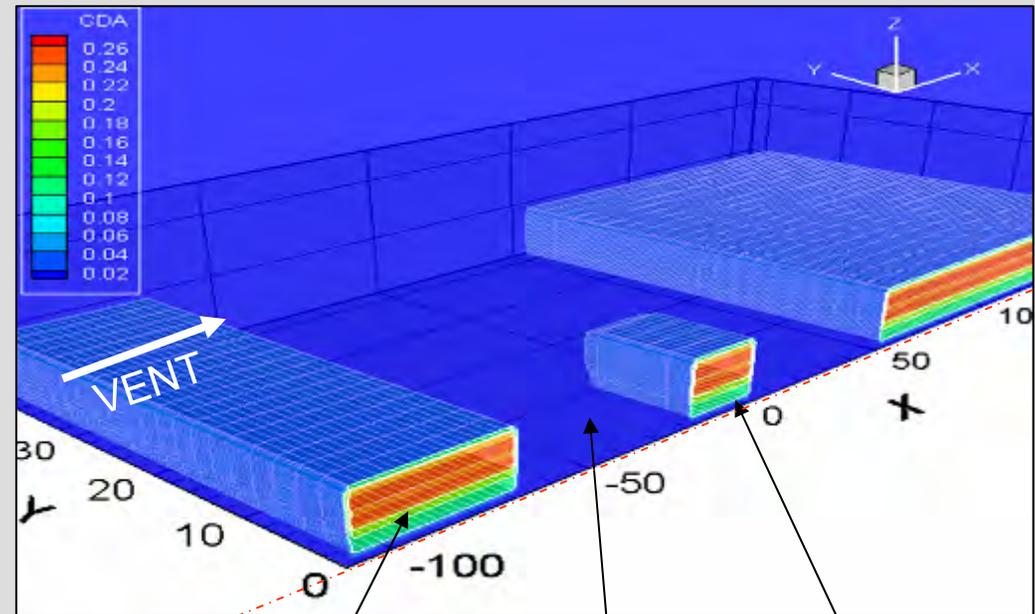
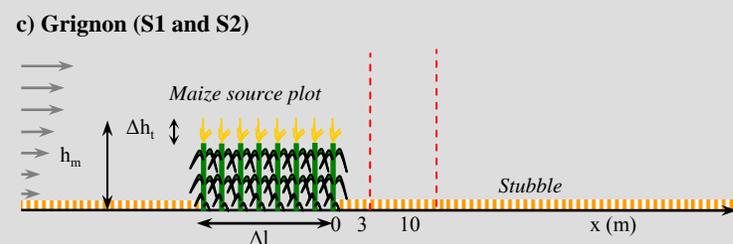
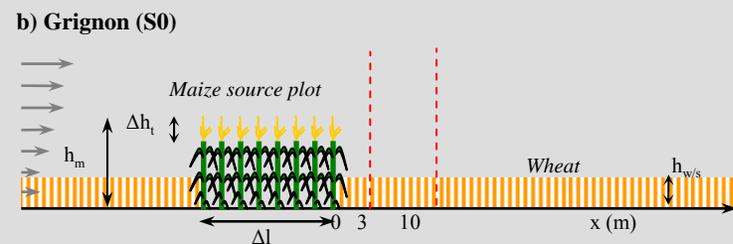
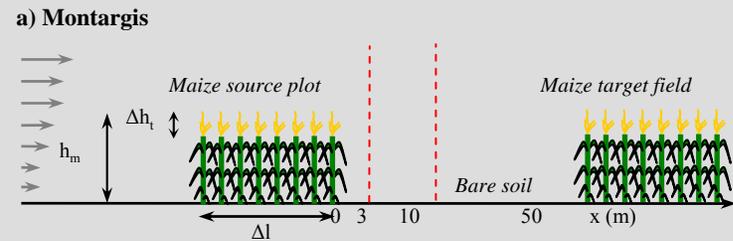


Dispersion à courte distance : modélisation



Dispersion à courte distance : modélisation

(Dupont, Brunet and Jarosz, 2006)



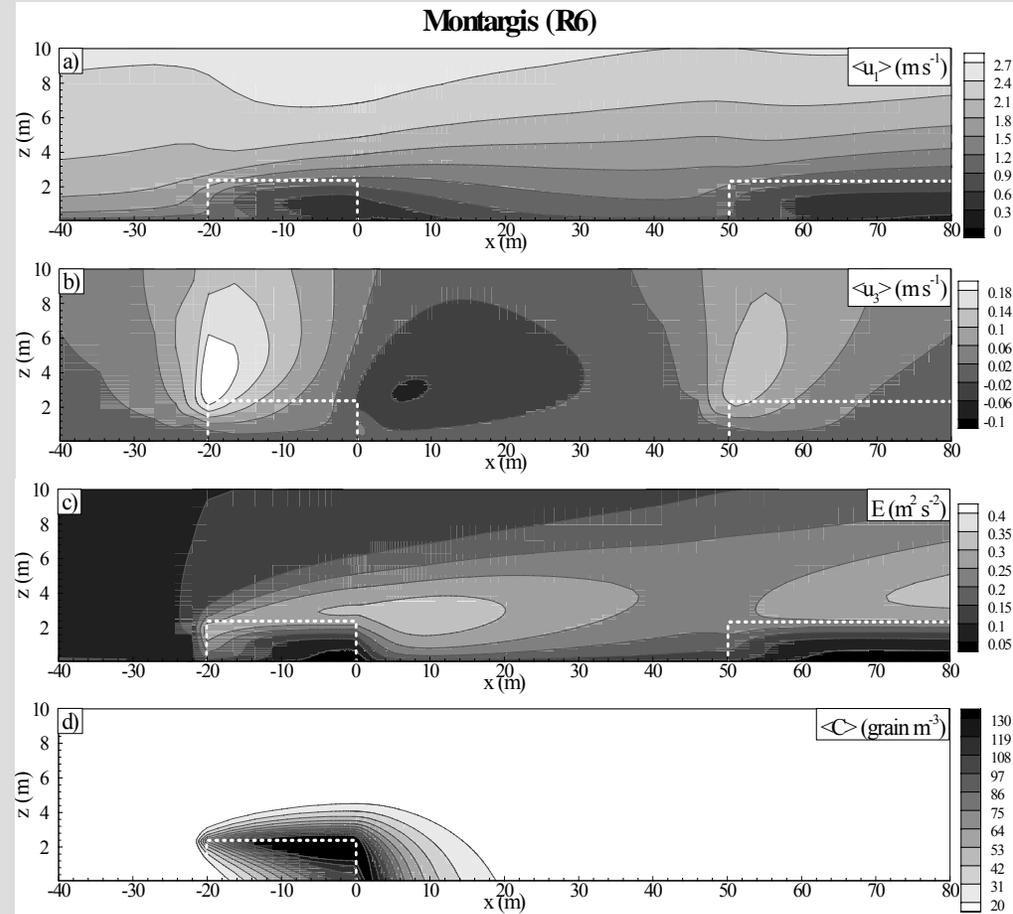
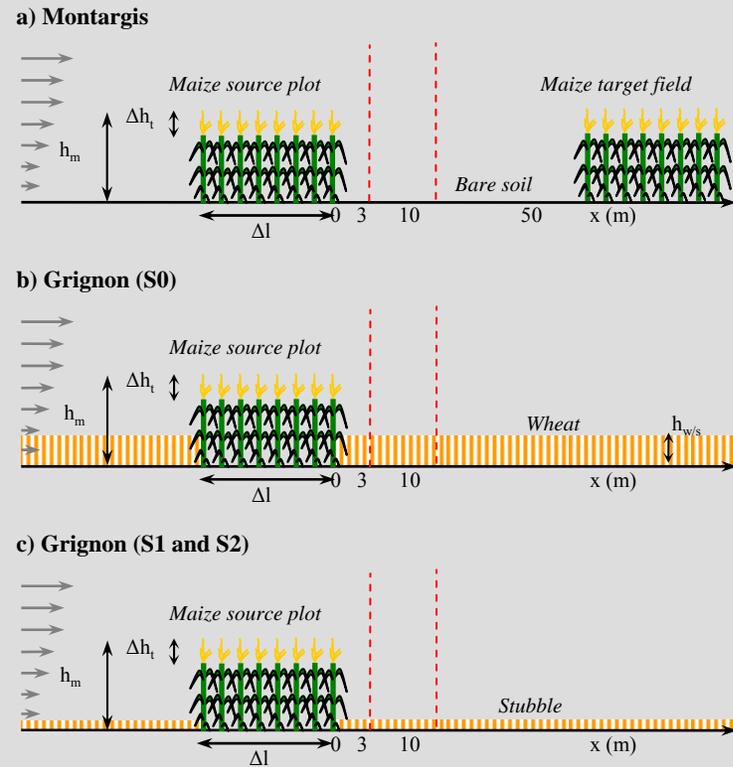
Paramètre de traînée (m^{-1})

Parcelle émettrice

Bande de sol nu

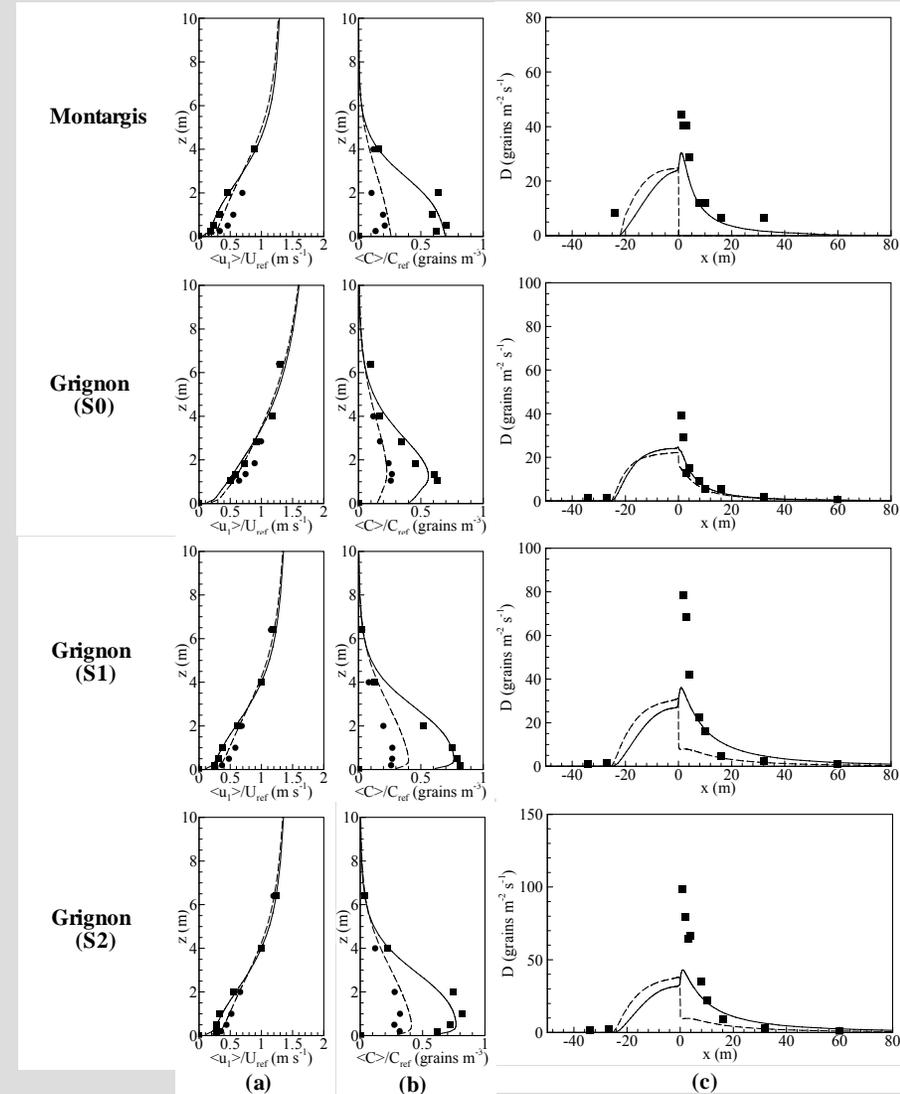
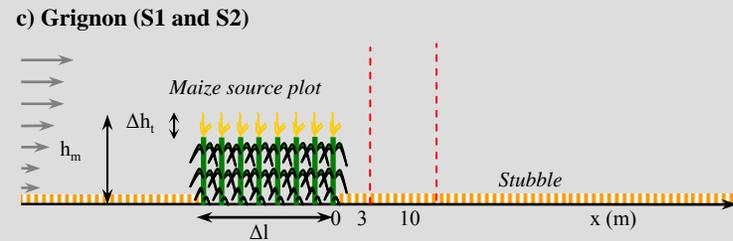
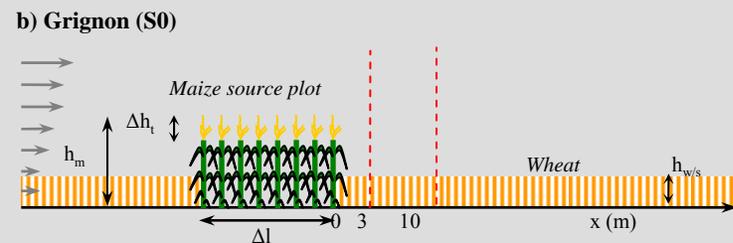
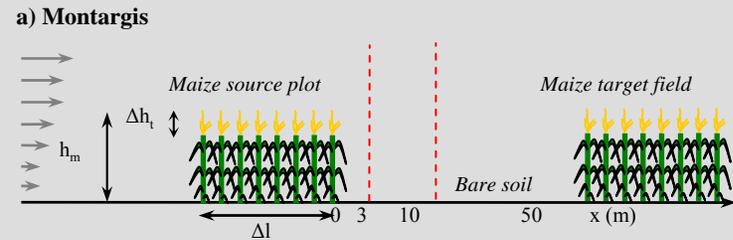
Dispersion à courte distance : modélisation

(Dupont, Brunet and Jarosz, 2006)



Dispersion à courte distance : modélisation

(Dupont, Brunet and Jarosz, 2006)



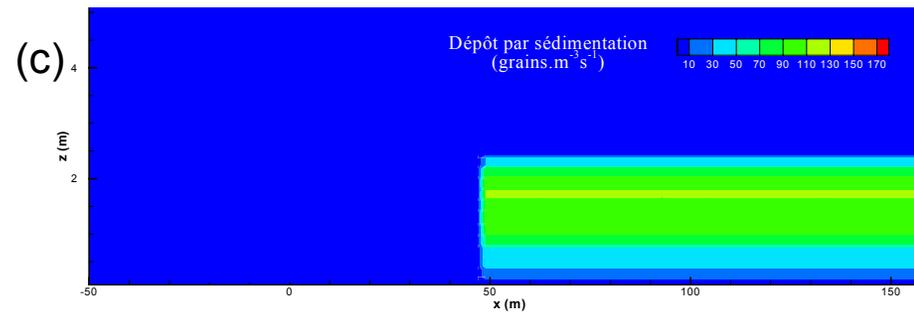
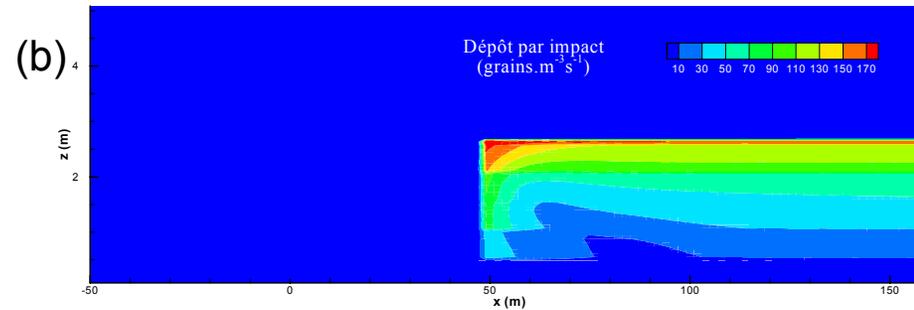
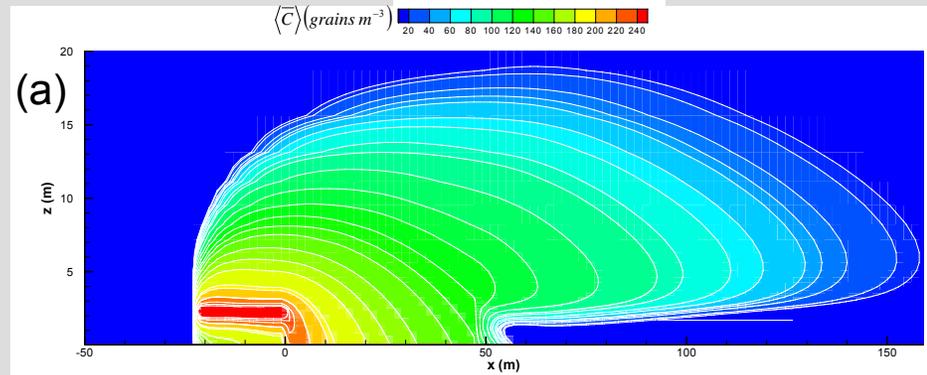
(a)

(b)

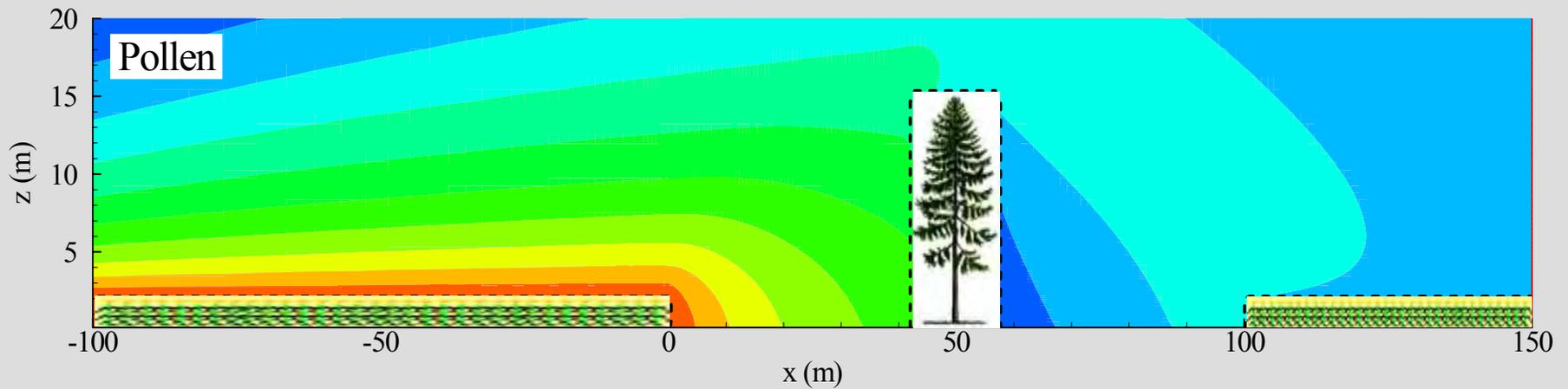
(c)

Dispersion à courte distance : modélisation

Champ de concentration (a), dépôt par impact (b) et dépôt par sédimentation (c)

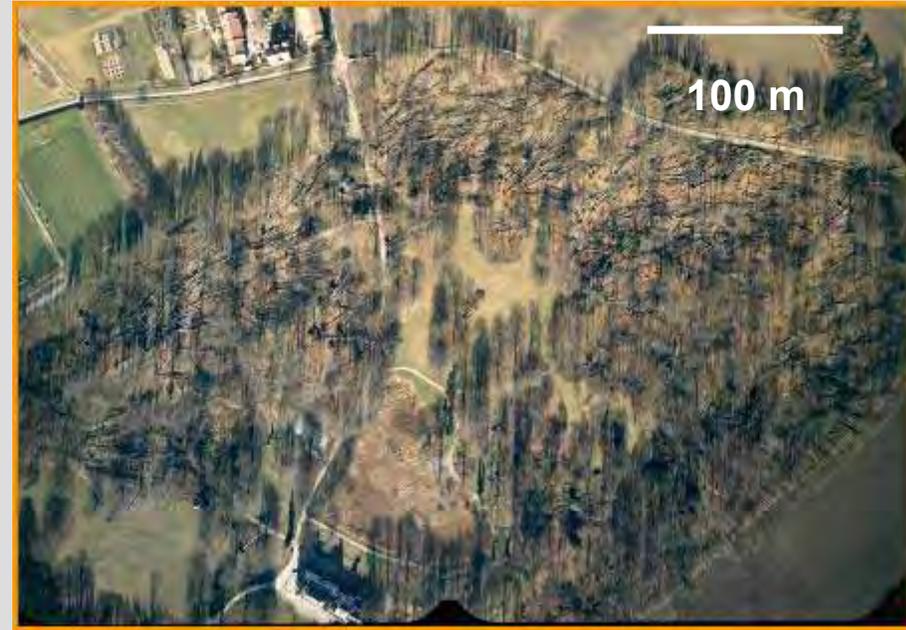


Dispersion à courte distance : modélisation



(calculs réalisés à Ephyse)

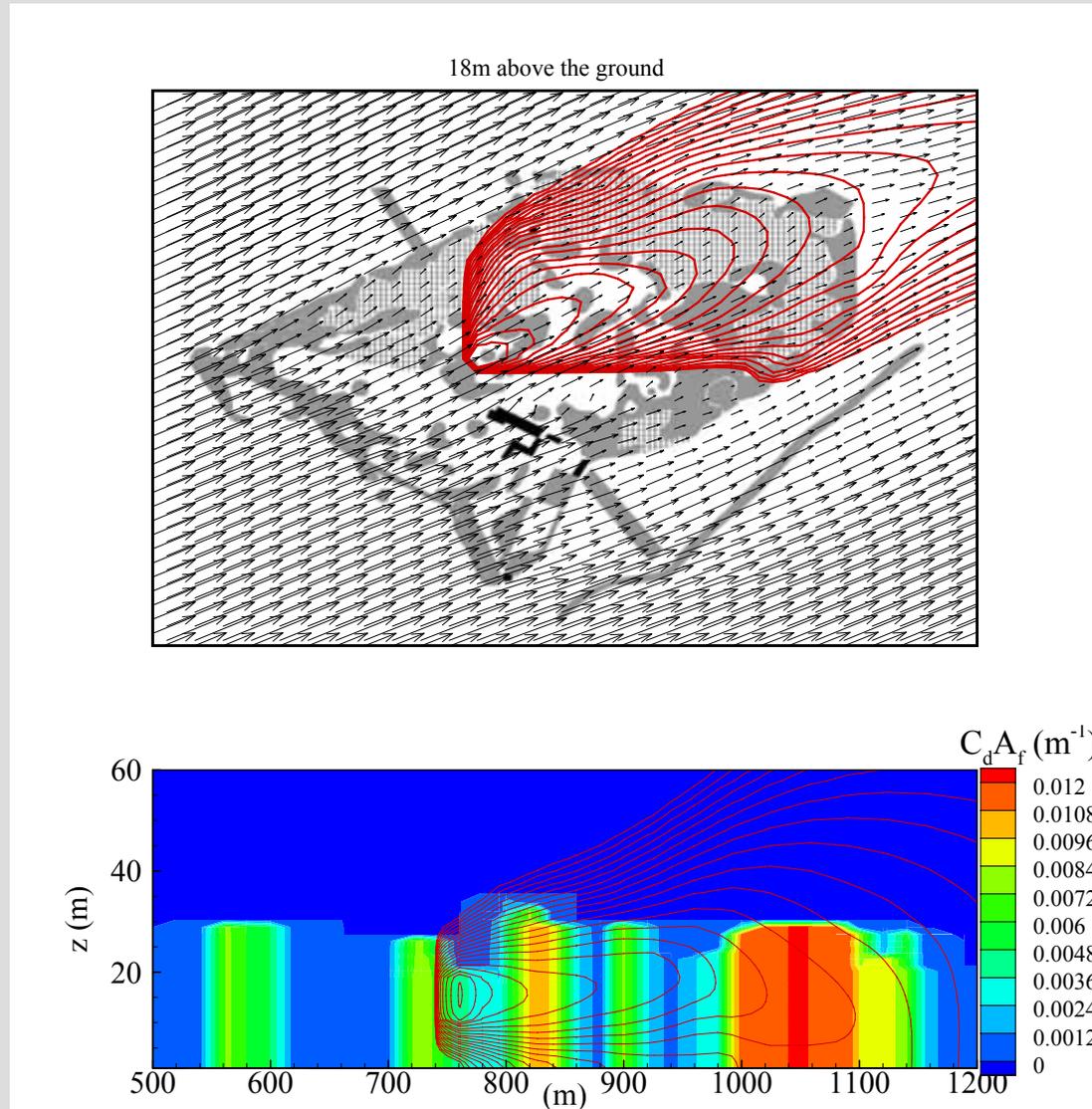
Dispersion à courte distance : modélisation



-  Forested areas
-  Outside forested areas
-  Forested areas destroyed in 99
-  Buildings

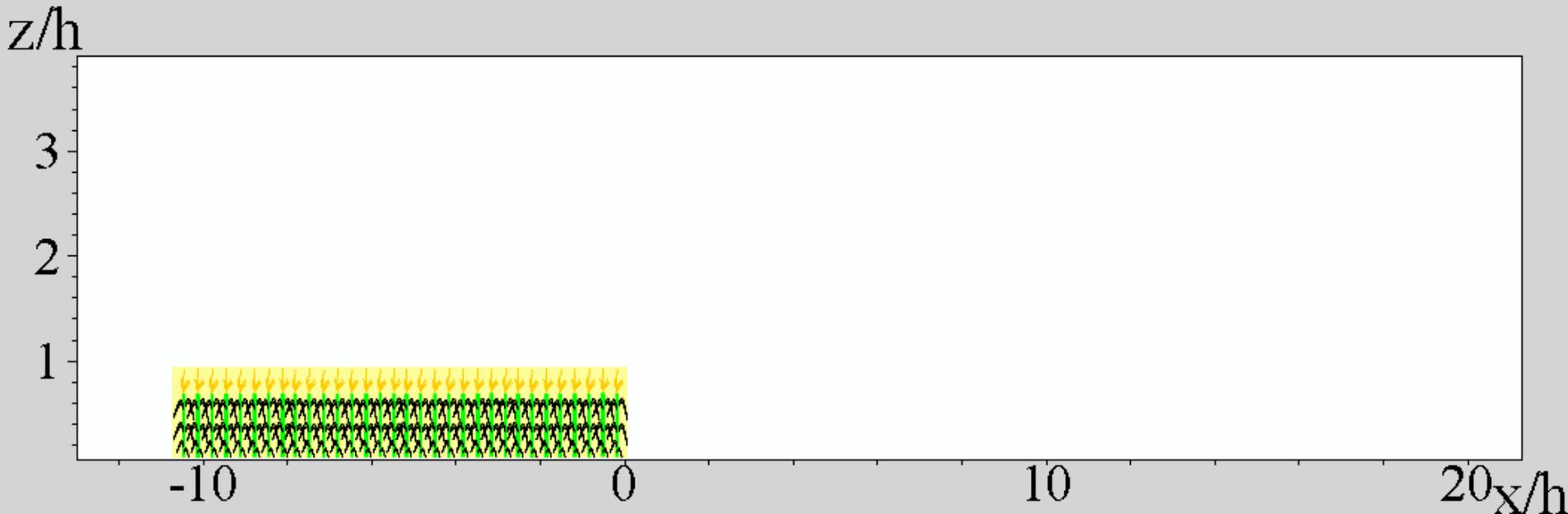
Dispersion à courte distance : modélisation

(Dupont and Brunet, 2006)



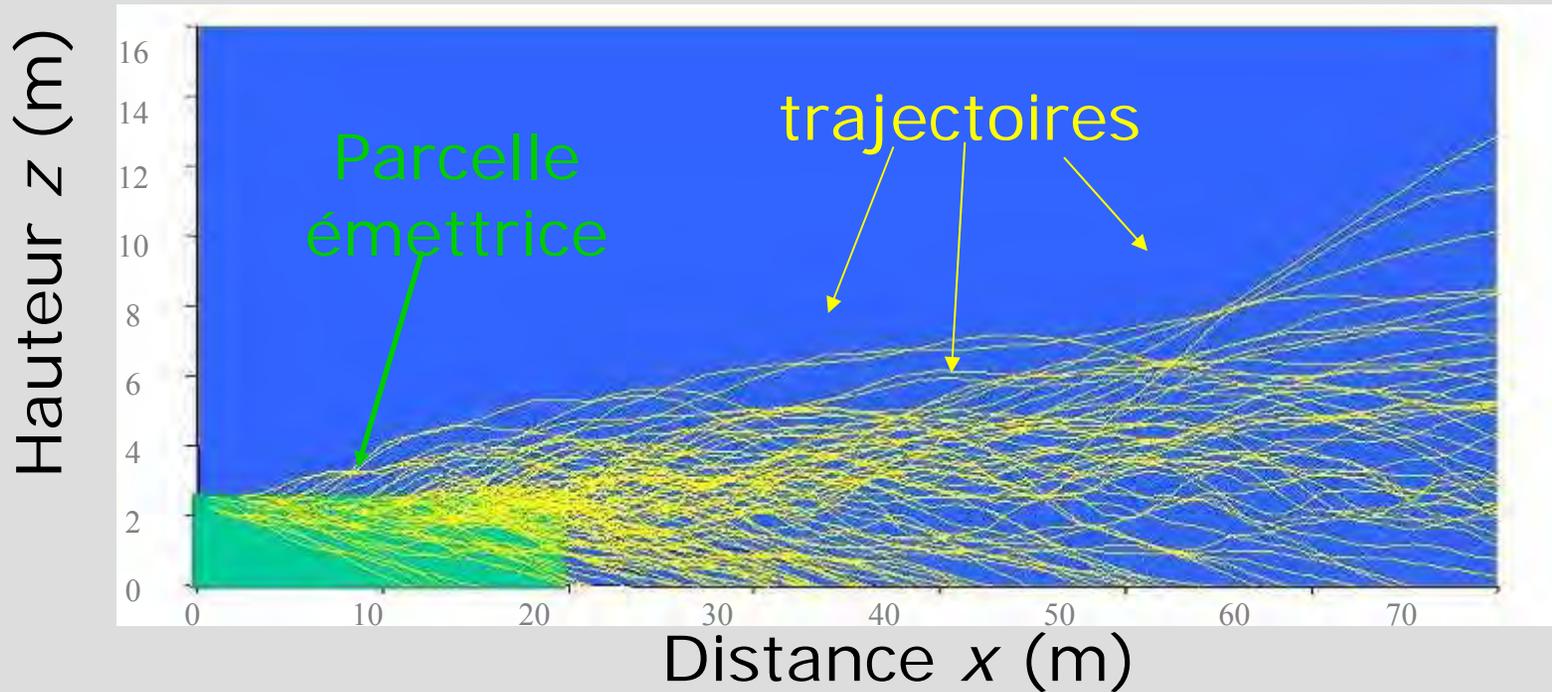
Dispersion à courte distance : modélisation

- Approche LES (Large-Eddy Simulation)
- Code ARPS



<http://www.savoirs.essonne.fr/dossiers/la-vie/biologie-genetique/article/type/0/intro/ogm-finalement-quels-risques/>

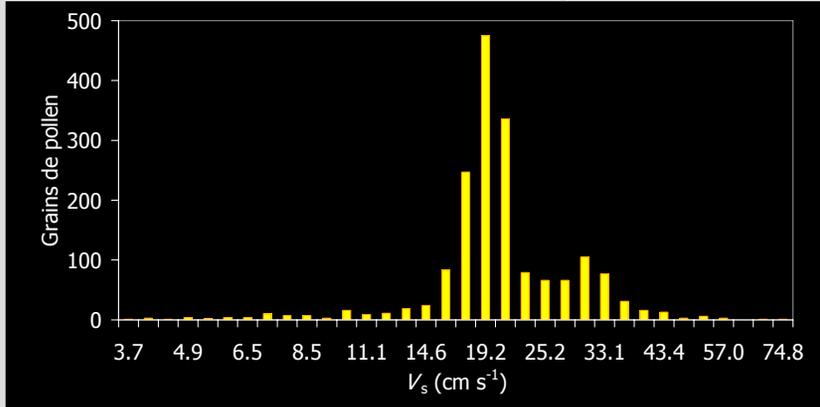
Dispersion à courte distance : modélisation



$$\begin{aligned} du &= a_u dt + b_u d\xi_u & dx &= u dt \\ dw &= a_w dt + b_w d\xi_w & dz &= (w - V_s) dt \\ a_u, b_u, a_w, b_w &= f(U, W, \sigma_u^2, \sigma_w^2, \overline{u'w'}, T_L') \end{aligned}$$

Dispersion à courte distance : modélisation

- Distributions de V_s



- Dépôt sur la végétation par sédimentation et impaction

$$D^v = f(V_s, LAD_x) + f(U, LAD_z, E)$$

sedimentation

impaction

Dispersion à courte distance : bilan

Nombreuses
expérimentations



Concentration en pollen

ou

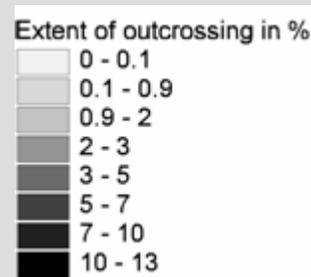
Niveaux de fécondation

1. Décroissance forte en aval de la source

- 95-99% du pollen se dépose dans les 50 premiers mètres
- résultats variables d'une expérience à l'autre



(Wilhelm et al., 2005)

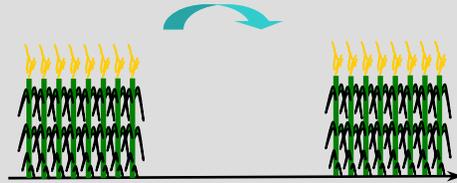


0 25 50 75 100 125 150 Meters



Dispersion à courte distance : bilan

Nombreuses
expérimentations

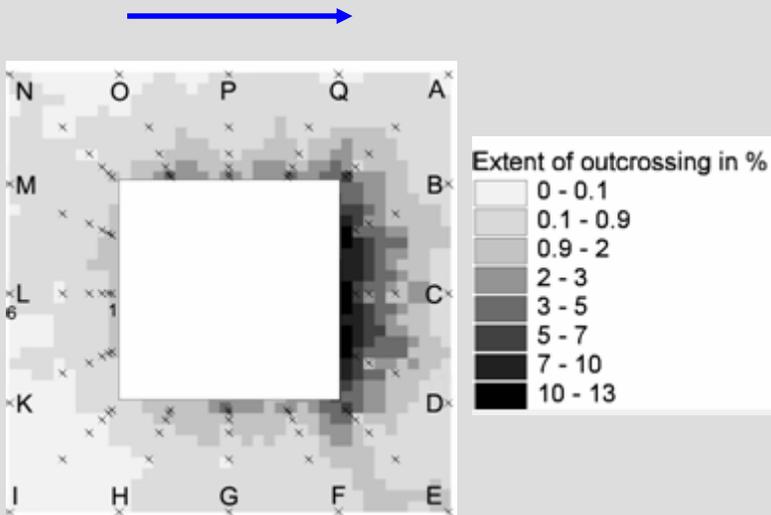


Concentration en pollen

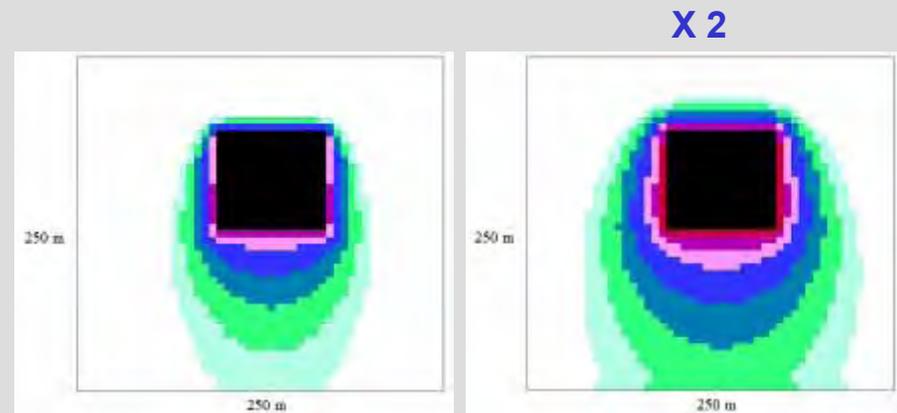
ou

Niveaux de fécondation

2. Influence de la direction et de la vitesse du vent



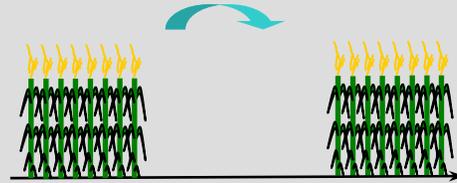
(Wilhelm et al., 2005)



(Messéan et al., 2007)

Dispersion à courte distance : bilan

Nombreuses
expérimentations

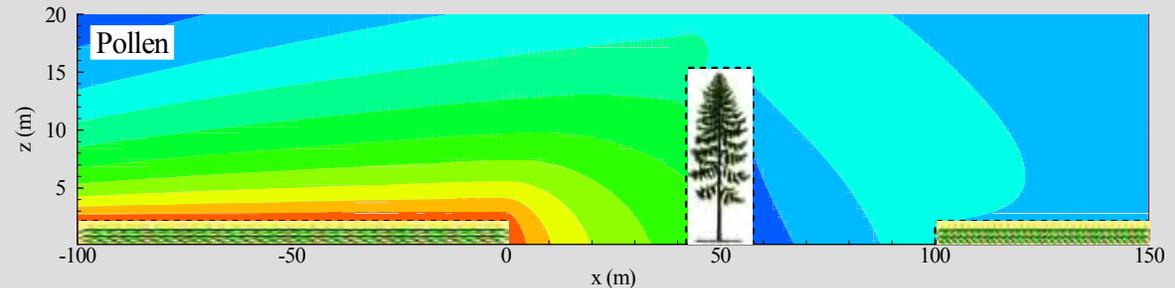
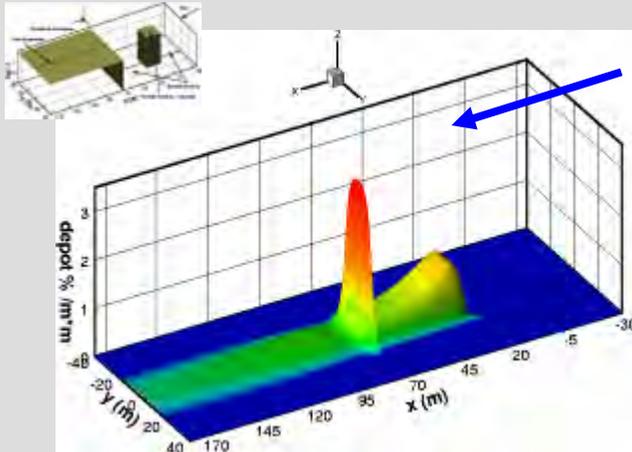


Concentration en pollen

ou

Niveaux de fécondation

3. Influence des « obstacles » (pièges à pollen)



(calculs réalisés à Ephyse)

Dispersion à courte distance : bilan

Nombreuses
expérimentations

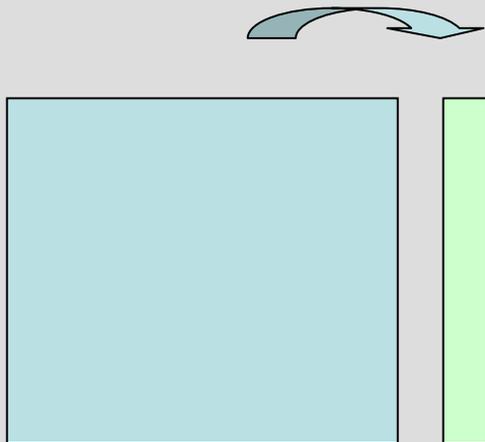


Concentration en pollen

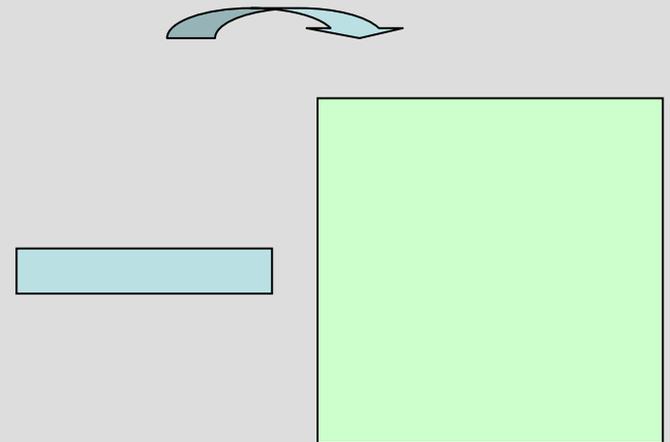
ou

Niveaux de fécondation

4. Influence de la taille et de l'orientation des parcelles



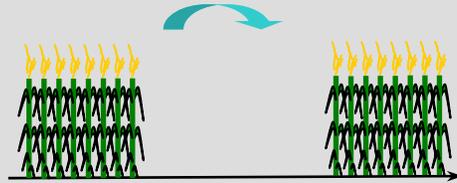
Forte contamination
potentielle



Faible contamination
potentielle

Dispersion à courte distance : bilan

Nombreuses
expérimentations

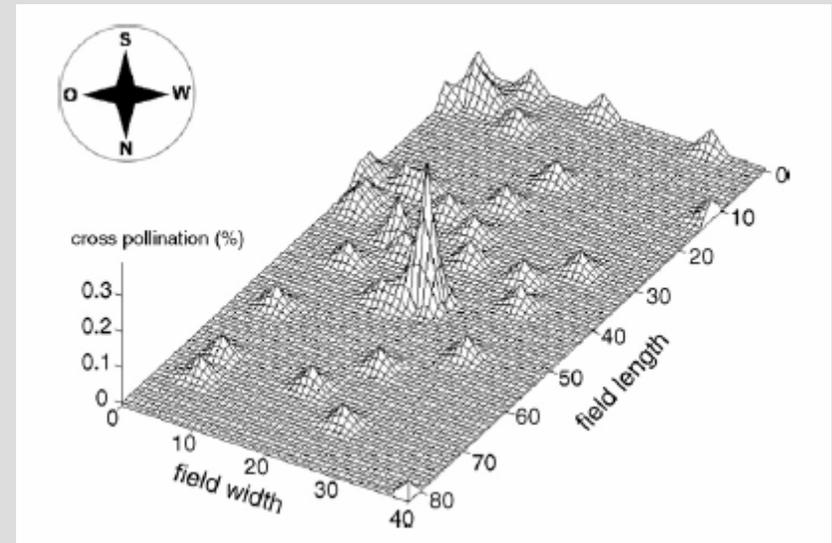
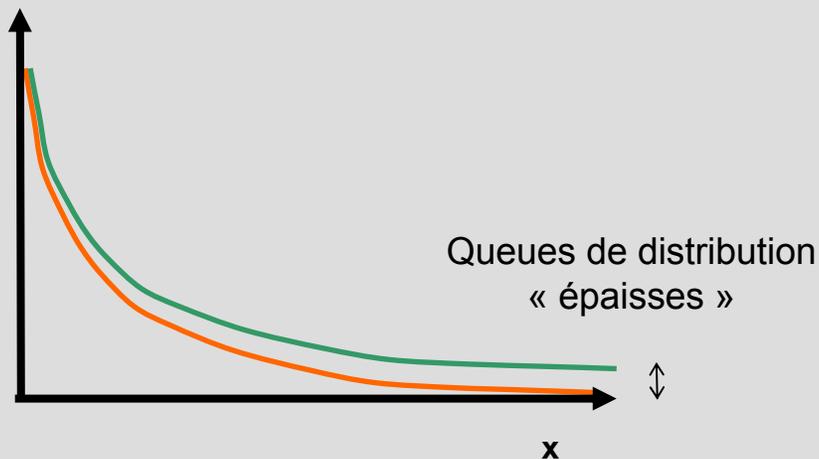


Concentration en pollen

ou

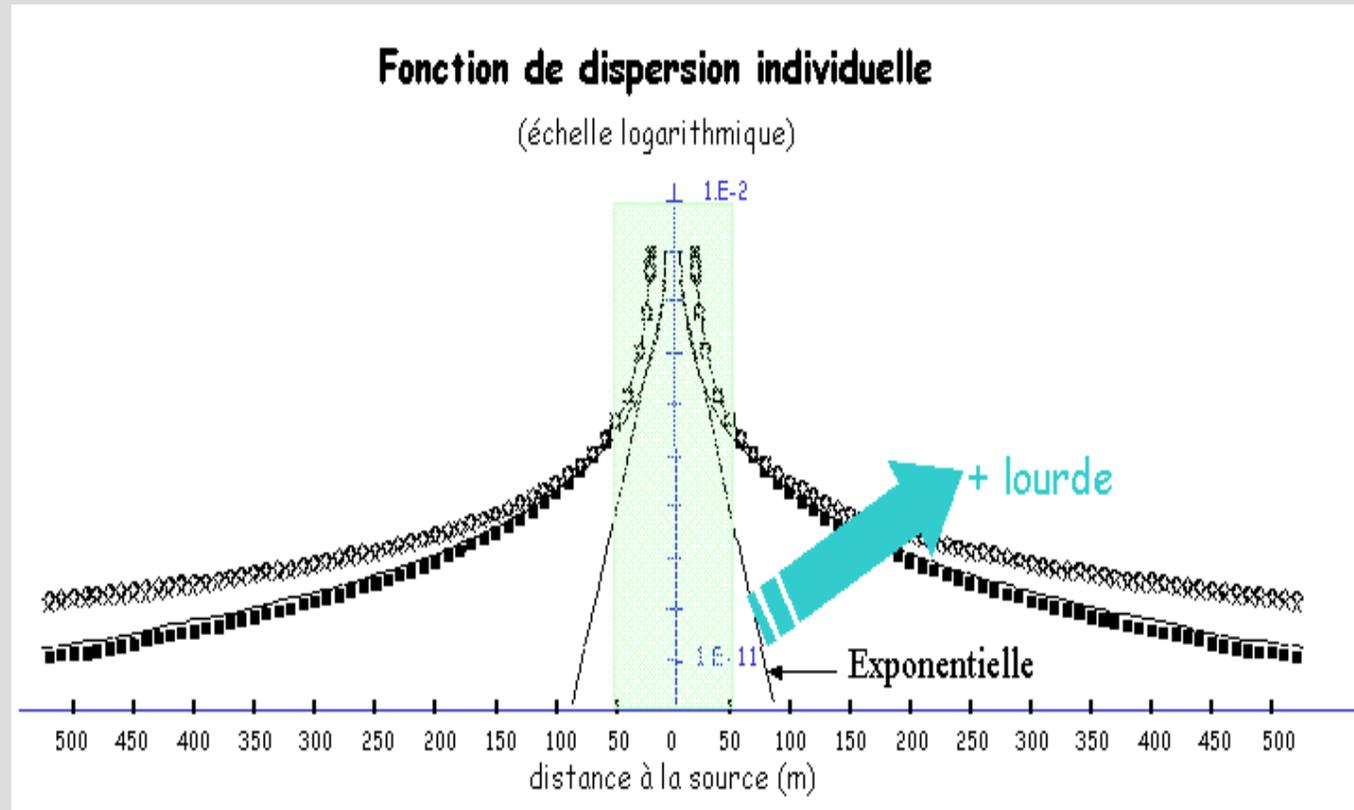
Niveaux de fécondation

5. La concentration et le dépôt de pollen ne tendent pas vers 0



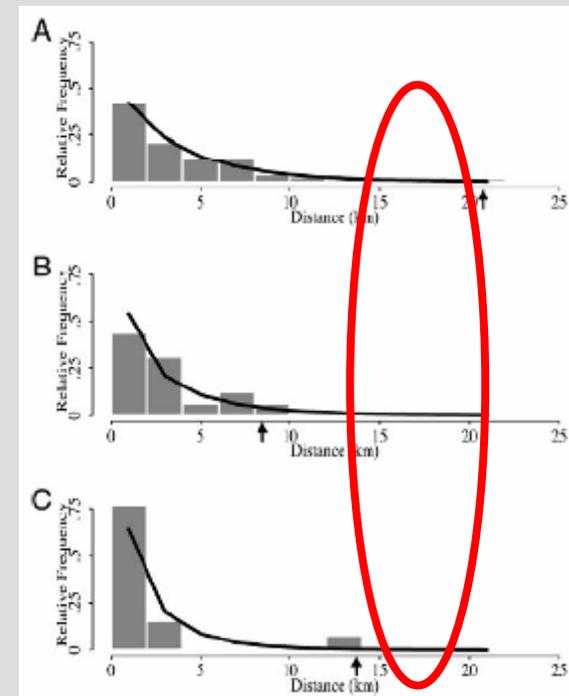
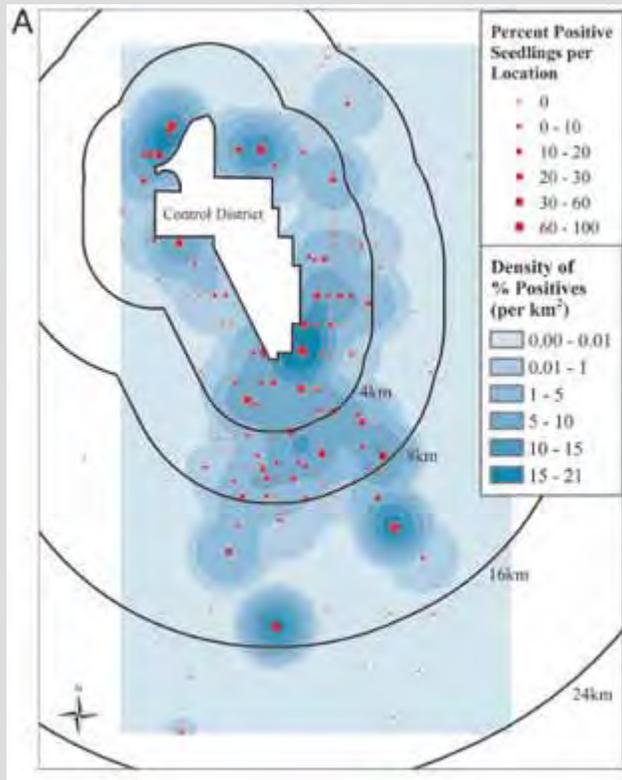
(Bannert and Stamp, 2007)

Dispersion à courte distance : bilan



Dispersion à courte distance : bilan

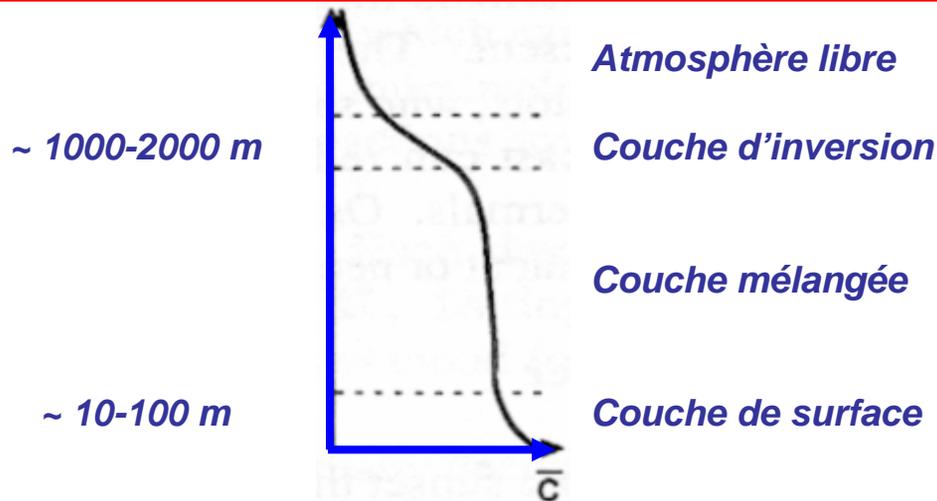
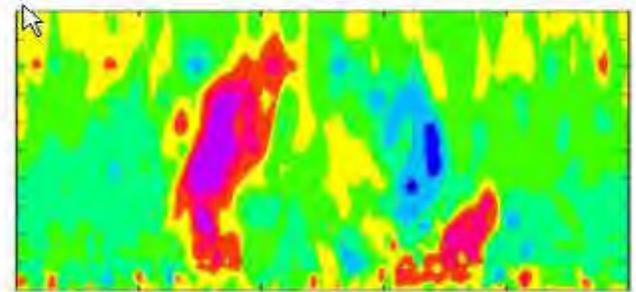
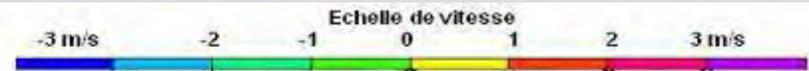
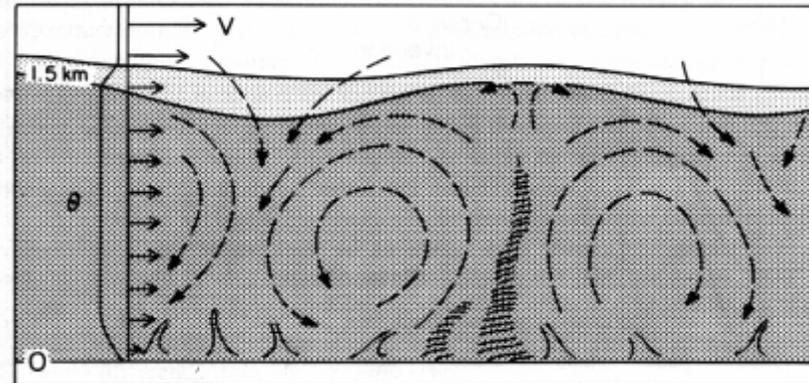
Mise en évidence de pollinisation à longue distance



A. stolonifera, a perennial grass
(Watrud et al., 2004, PNAS)

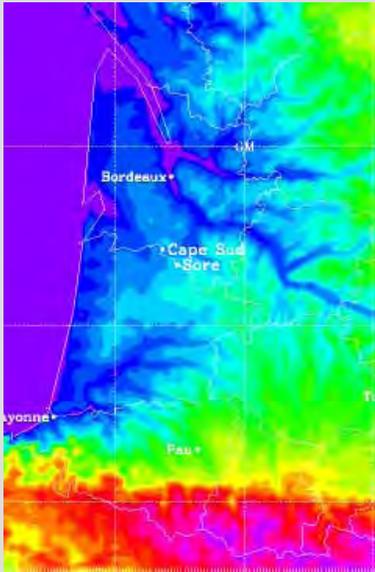
1. Introduction
2. Emission, viabilité, sédimentation
3. Dispersion à courte distance
- 4. Dispersion à longue distance**
5. Perspectives et conclusions

Dispersion à longue distance

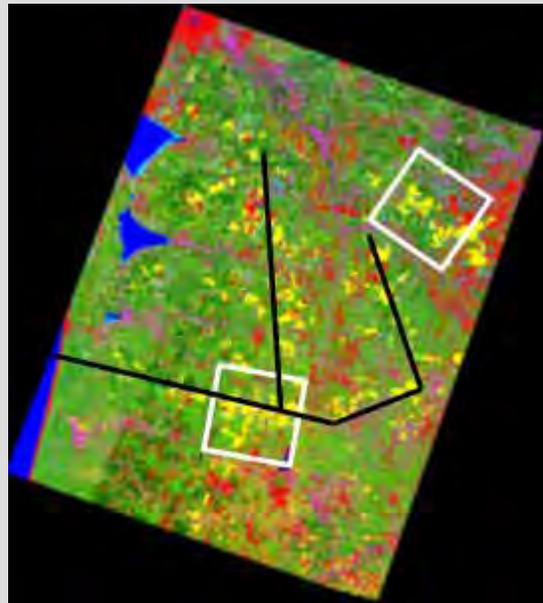


Dispersion à longue distance : caractérisation

région



Bilan
24 vols de 2002 à 2005



Prélèvement



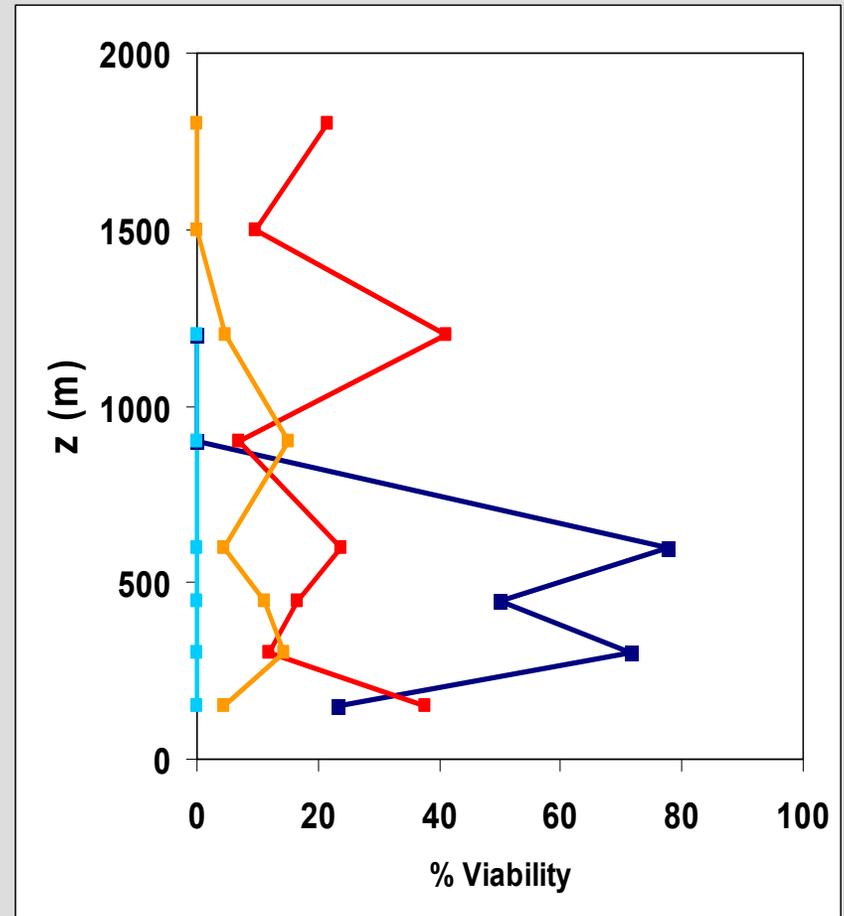
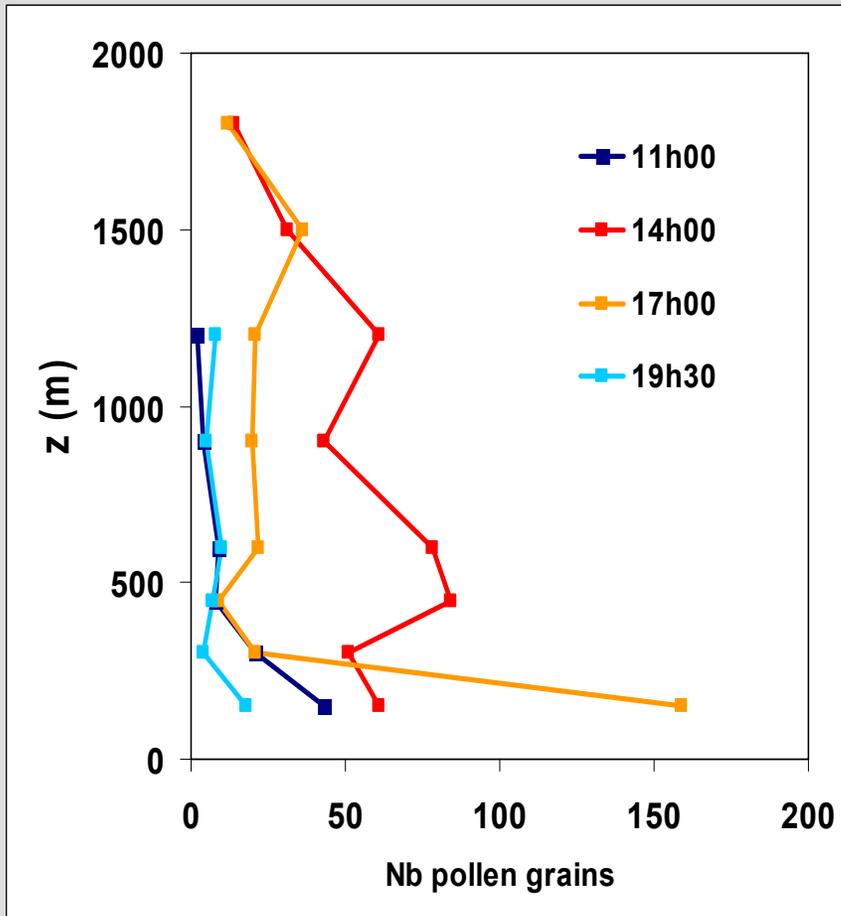
Concentration



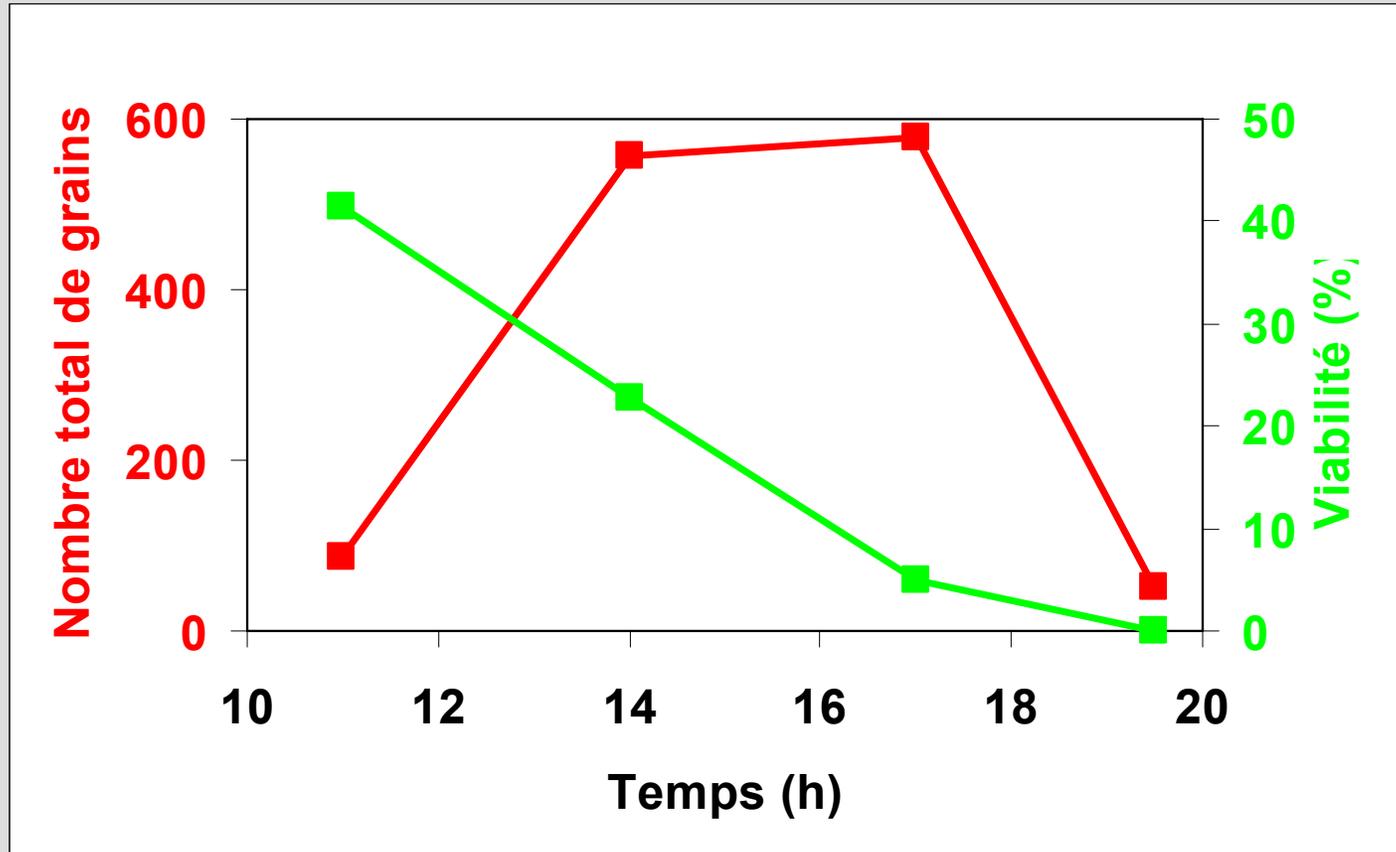
Viabilité



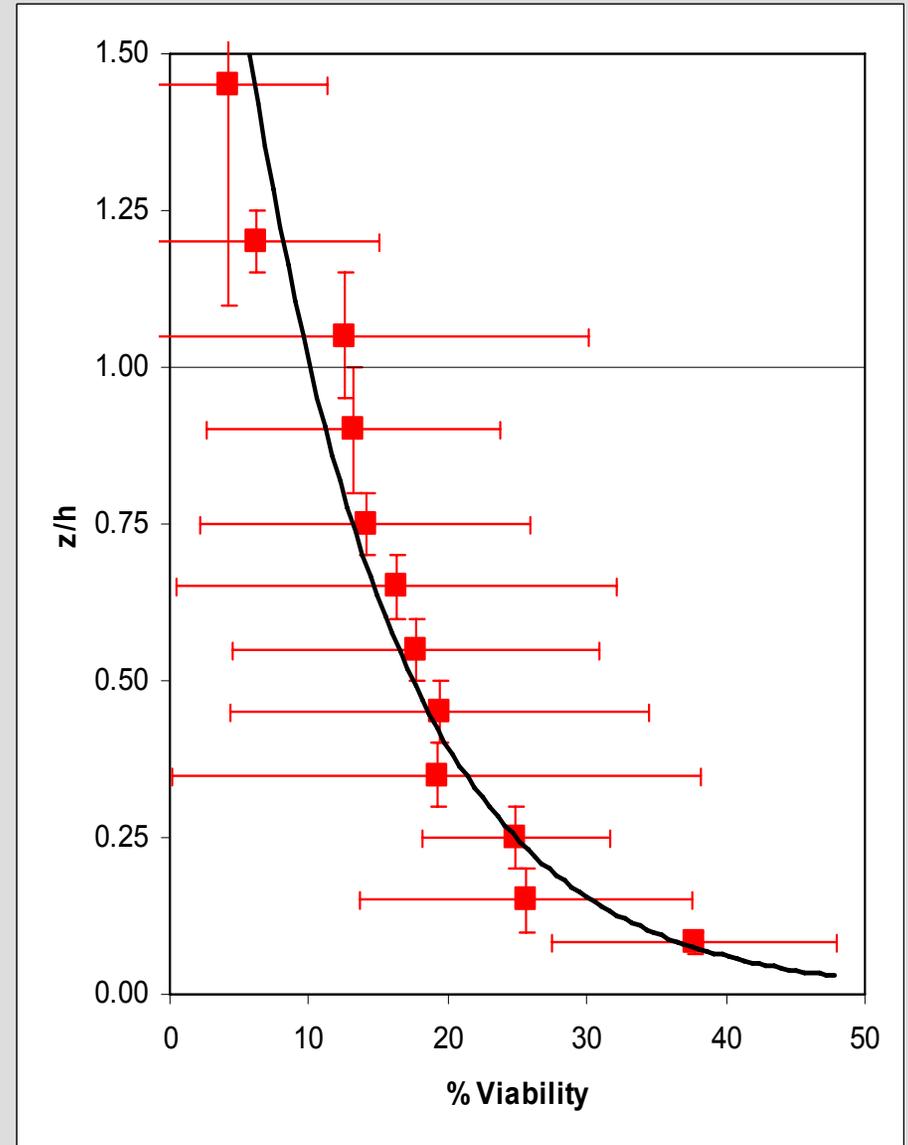
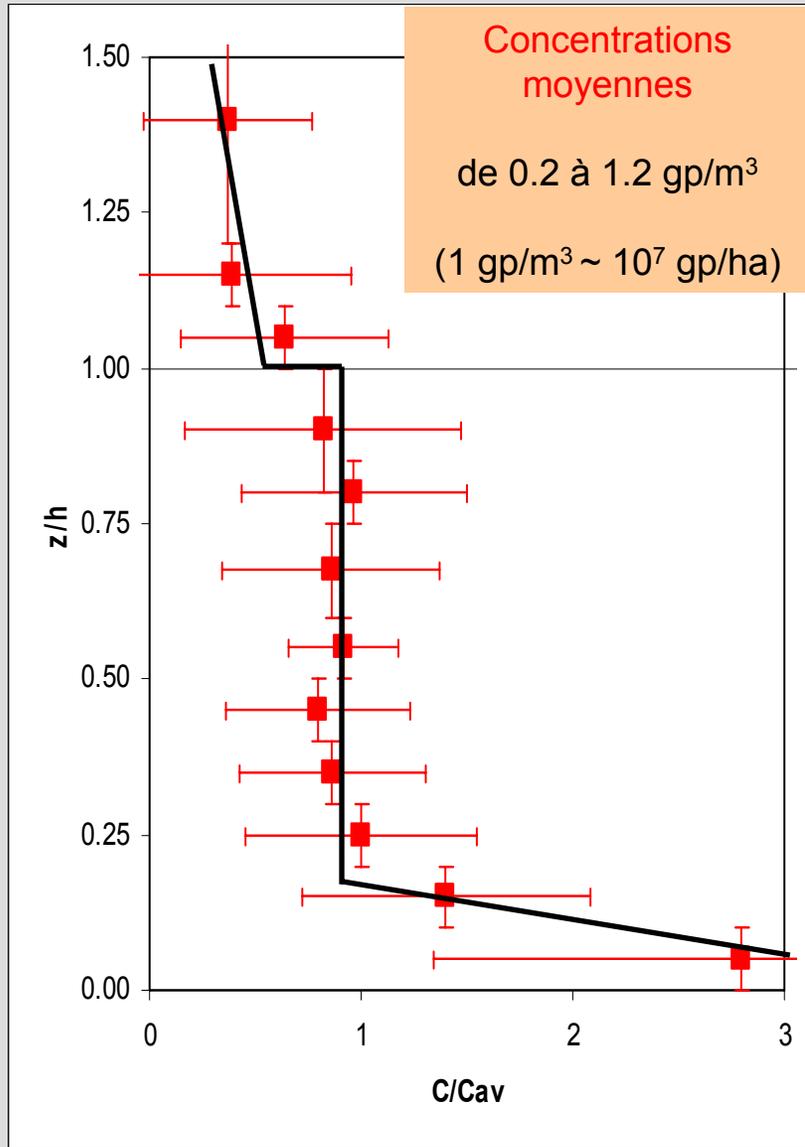
Dispersion à longue distance : caractérisation



Dispersion à longue distance : caractérisation



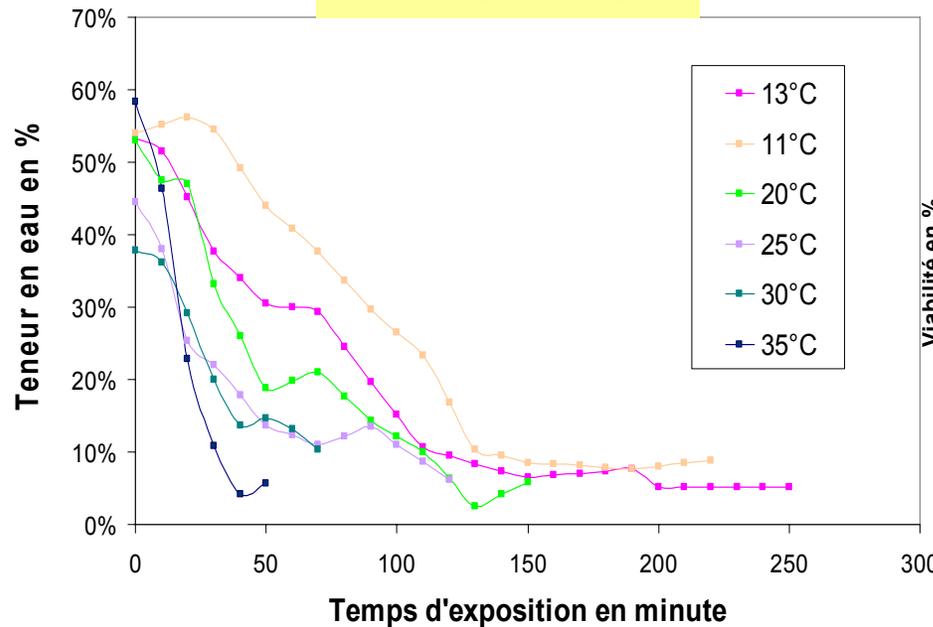
Dispersion à longue distance : caractérisation



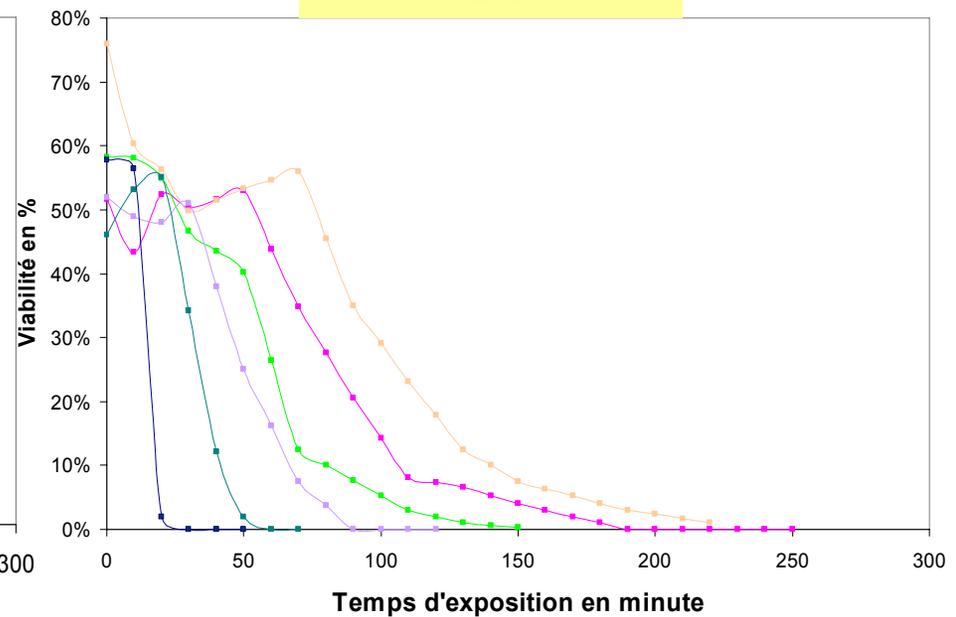
Dispersion à longue distance : viabilité

Grains de pollen de la variété NAUDI soumis à des flux d'air de 11°C, 13°C, 20°C, 25°C, 30°C et 35°C

Teneur en eau

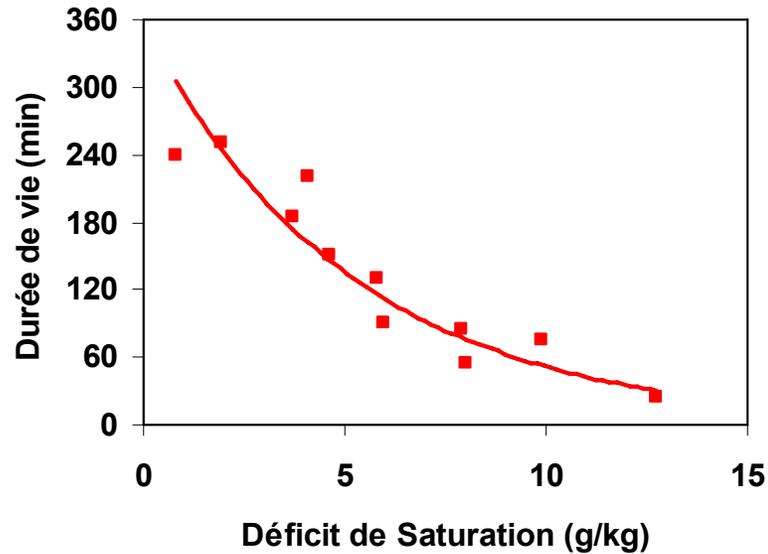


Viabilité

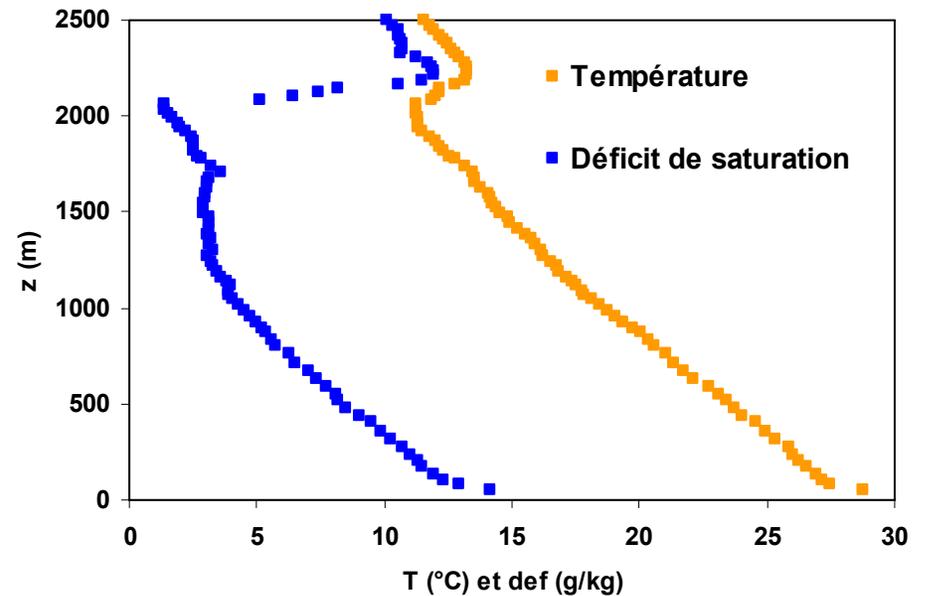


Dispersion à longue distance : viabilité

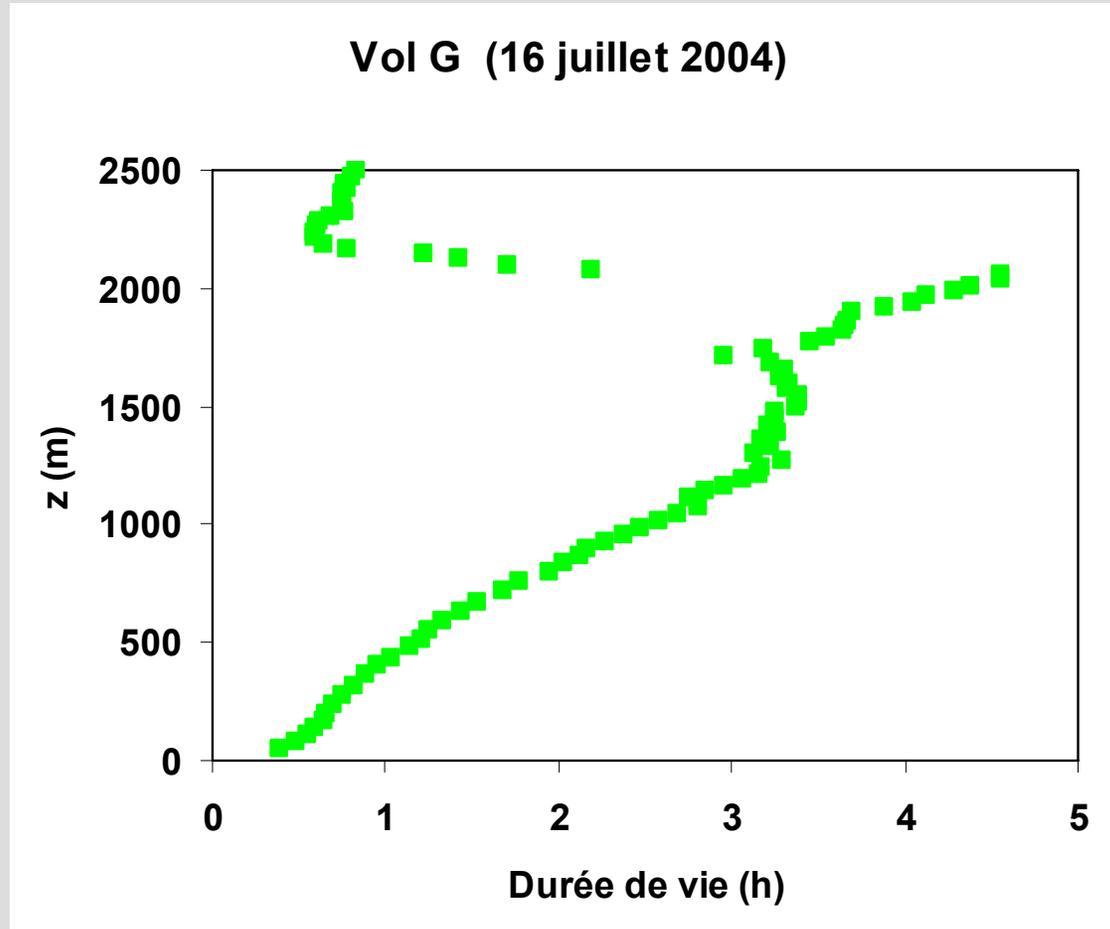
Mesures en chambre



Vol G (16 juillet 2004)

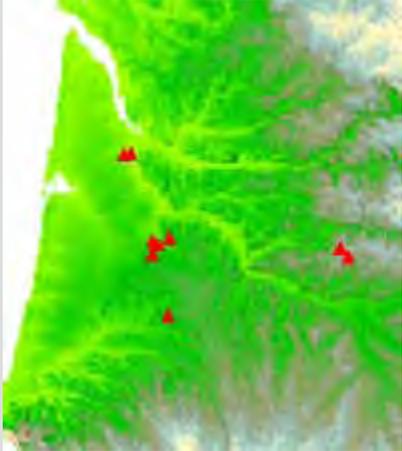


Dispersion à longue distance : viabilité



Dispersion à longue distance : fécondation

Observations sur des petites parcelles isolées de maïs à grains blancs



Castré: taux de croisement \approx 0.1%

Non castré: taux de croisement \approx 0.01- 0.04 %

Observations de fécondations à plusieurs km de distance des plus proches champs de maïs



Dispersion à longue distance : bilan

(Brunet et al., in prep.)

1. Mesures aéroportées dans les 2000 premiers mètres

On trouve du pollen dans les 2000 premiers m, avec des évolutions marquées dans le temps et l'espace et qui montre une bonne viabilité.

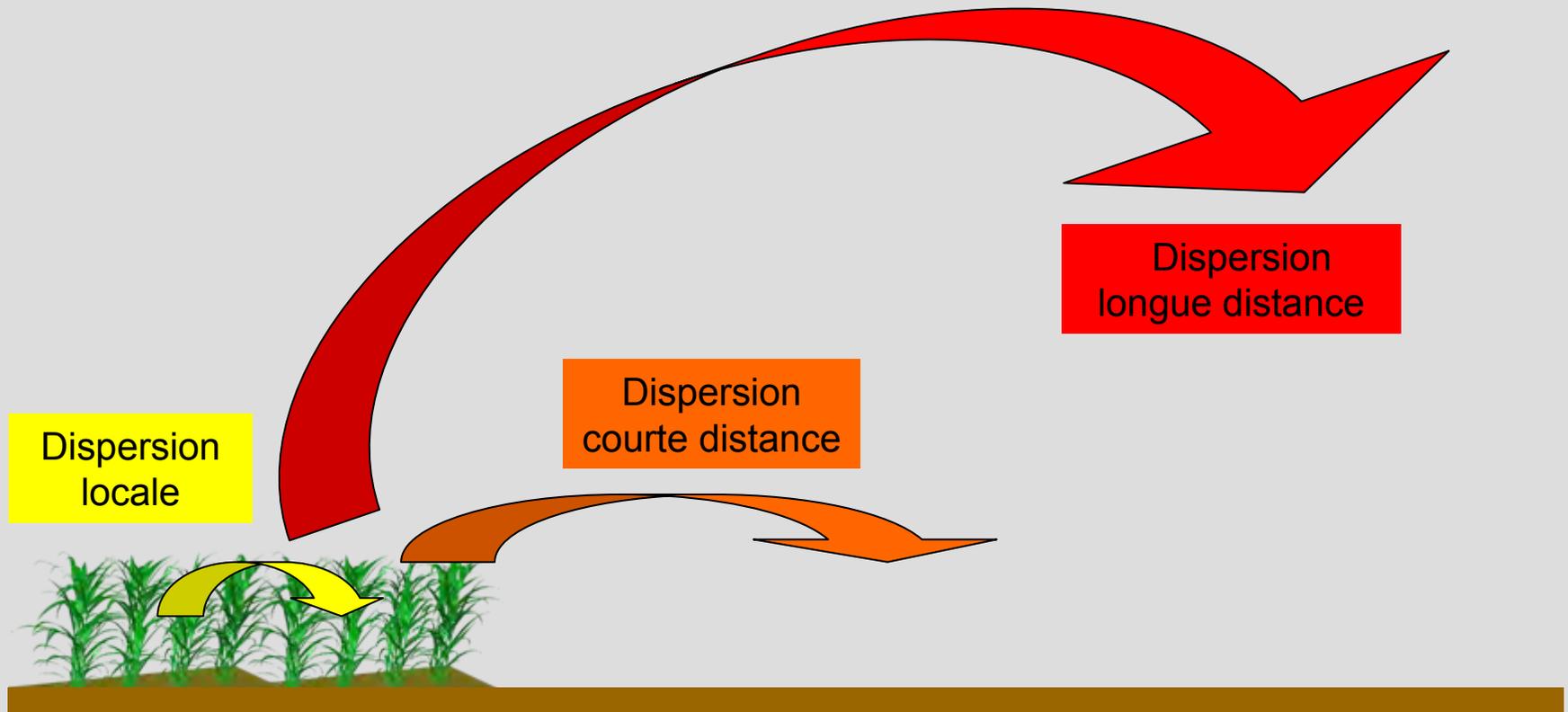
2. Mesures en chambre de la viabilité du pollen

La durée de vie dépend du déficit de saturation de l'air. Les conditions thermodynamiques dans la couche limite augmentent la durée de vie du pollen de plusieurs heures.

3. Observations en petites parcelles isolées de maïs blanc

Mise en évidence de fécondations à plusieurs km des plus proches champs de maïs (~ 0.1% pour du maïs castré, ~ 0.01-0.04% sinon).

Dispersion à longue distance : bilan

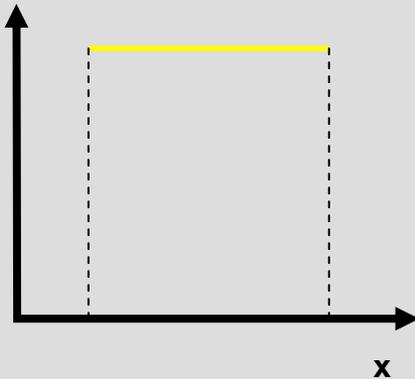


Dispersion locale

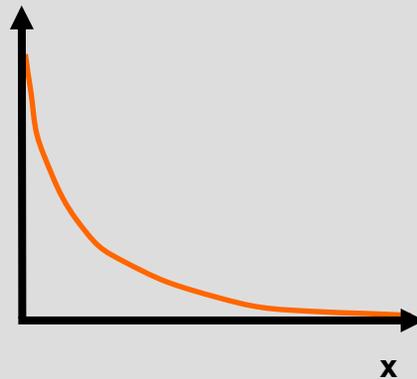
Dispersion courte distance

Dispersion longue distance

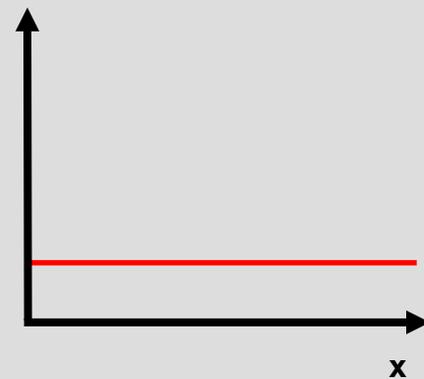
Couvert végétal



Couche limite de surface



Couche limite atmosph.



Dispersion à longue distance : bilan

NATURE | VOL 418 | 25 JULY 2002 | www.nature.com/nature

Mechanisms of long-distance dispersal of seeds by wind

Ran Nathan^{*}, Gabriel G. Katul[†], Henry S. Horn[‡], Suvi M. Thomas[‡],
Ram Oren[†], Roni Avissar[§], Stephen W. Pacala[‡] & Simon A. Levin[‡]

^{*} Department of Life Sciences, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva 84105, Israel

[†] Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Duke University, Durham, North Carolina 27708, USA

[‡] Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

[§] Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University, Durham, North Carolina 27708, USA

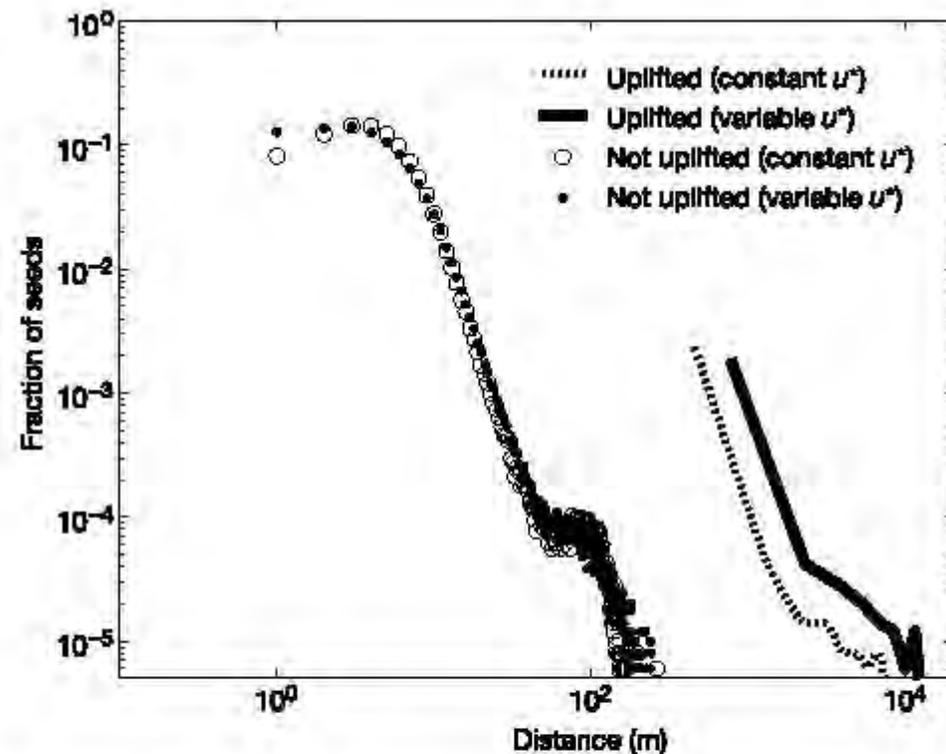


Figure 2 Bimodal dispersal kernel for yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) seeds released from 18 m in a 33-m-high forest, with a secondary peak at the tail generated exclusively by seed uplifting. The same pattern emerges assuming either constant or variable friction velocity (u^*), of 0.8 and $0.8 \pm 0.4 \text{ m s}^{-1}$, respectively. Each dispersal kernel is computed from simulations of 500,000 dispersal events.

Dispersion à longue distance : modélisation

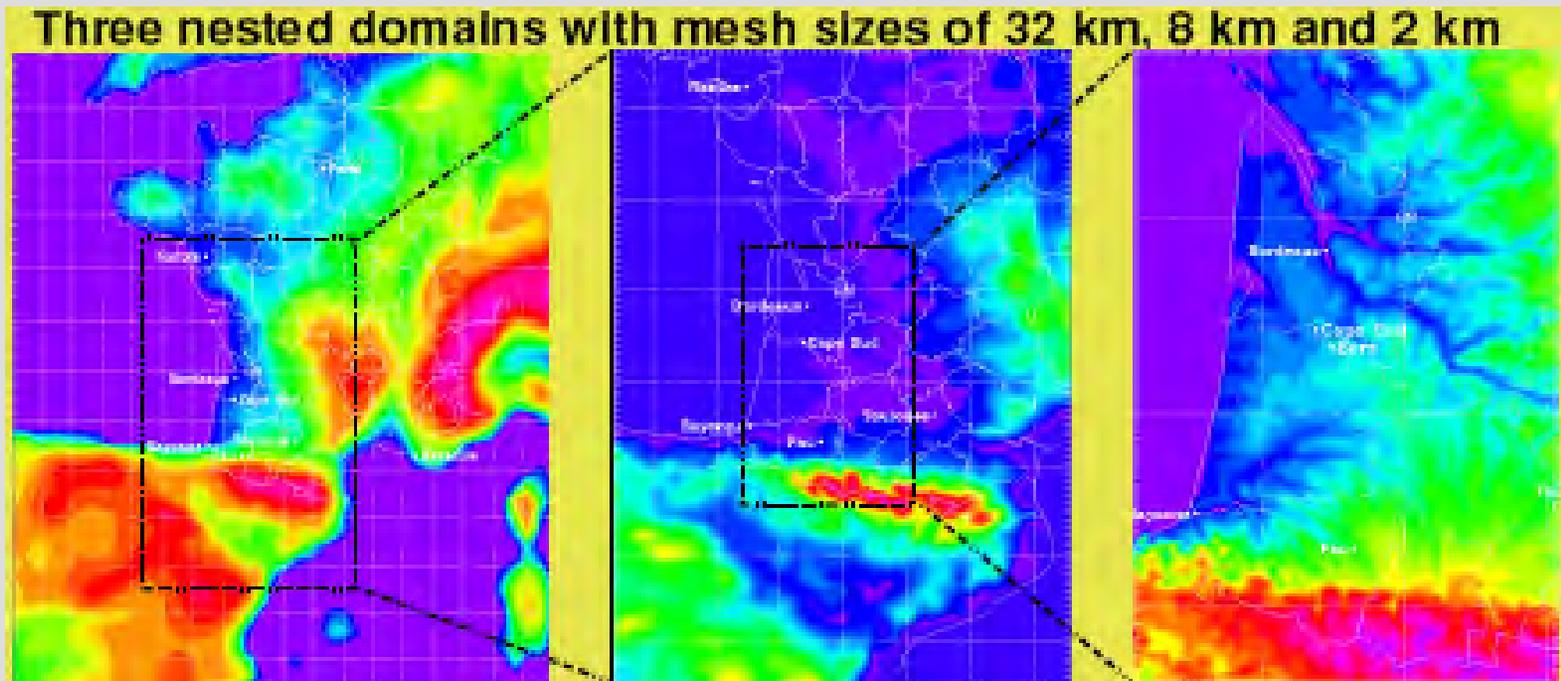
Besoin de modélisation à l'échelle régionale

- **Etudier la dispersion et le dépôt de pollen viable sur une gamme de conditions atmosphériques et de types d'occupation du sol (*résolution ~ 1 km, domaine ~ 300 km*)**
- **L'aménagement paysager peut-il permettre d'augmenter les possibilités de coexistence ?**

Dispersion à longue distance : modélisation

Simulation du transport régional avec Meso-NH

(un modèle méso-échelle 3D non-hydrostatique
développé par Météo-France et le Laboratoire d'Aérodynamique)



Dispersion à longue distance : modélisation

Equations de conservations pour le pollen vivant et mort

- *concentration en pollen*

$$\delta C_{al} / \delta t = \text{adv} + \text{turb} + \text{gravité} - T_{a \rightarrow d} \quad (N \text{ gr } m^{-3})$$

- *teneur en eau du pollen*

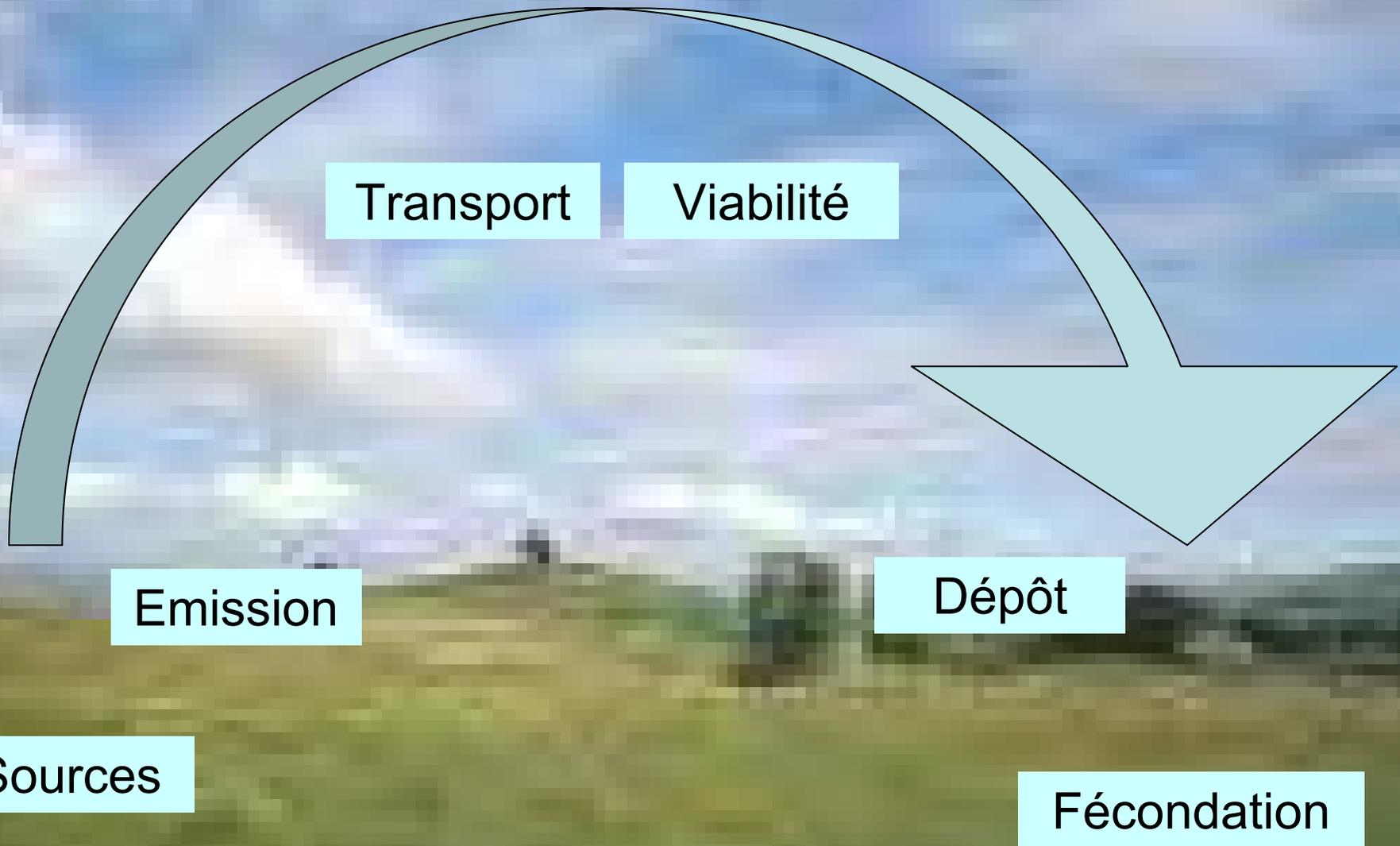
$$\delta W_{al} / \delta t = \text{adv} + \text{turb} + \text{gravité} - T_{a \rightarrow d} - \text{évap} \quad (kg \text{ } m^{-3})$$

$$\text{gravité} \quad \alpha \quad V_s(\theta) \quad (\text{Aylor, 2002})$$

$$T_{a \rightarrow d} \quad \alpha \quad dG(\theta) / dt \quad (\text{Aylor, 2003})$$

$$\text{évap} \quad \alpha \quad A(\theta) (h_p(\theta) - h_a) \quad (\text{Aylor, 2003})$$

Dispersion à longue distance : modélisation



Sources

Emission

Transport

Viabilité

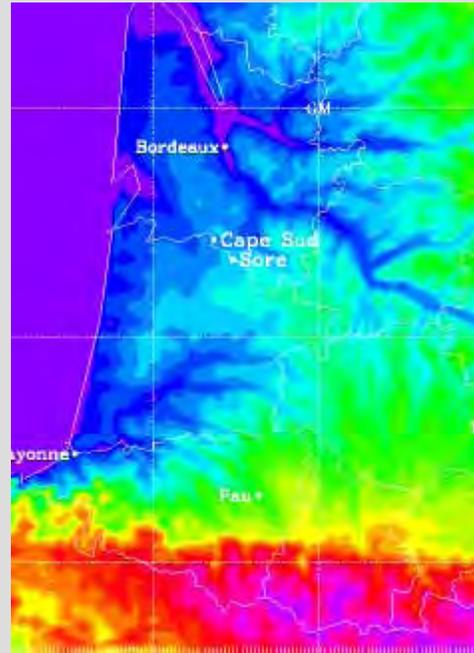
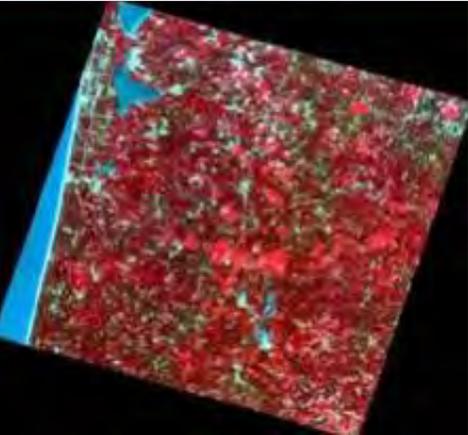
Dépôt

Fécondation

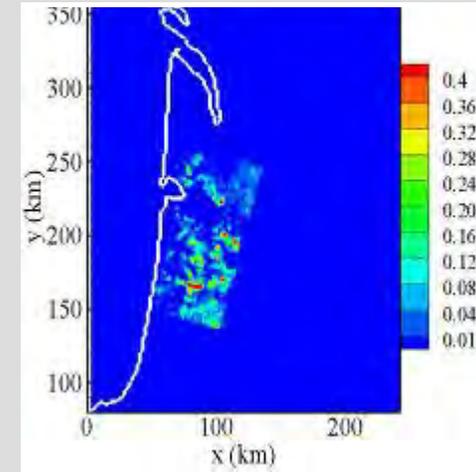
Dispersion à longue distance : modélisation

Sud-Ouest, France

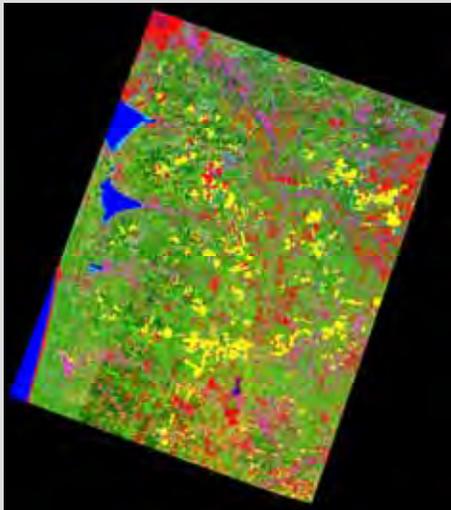
Images SPOT



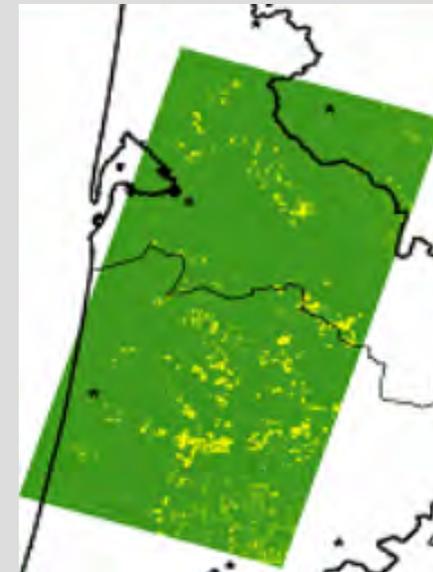
% surface maïs



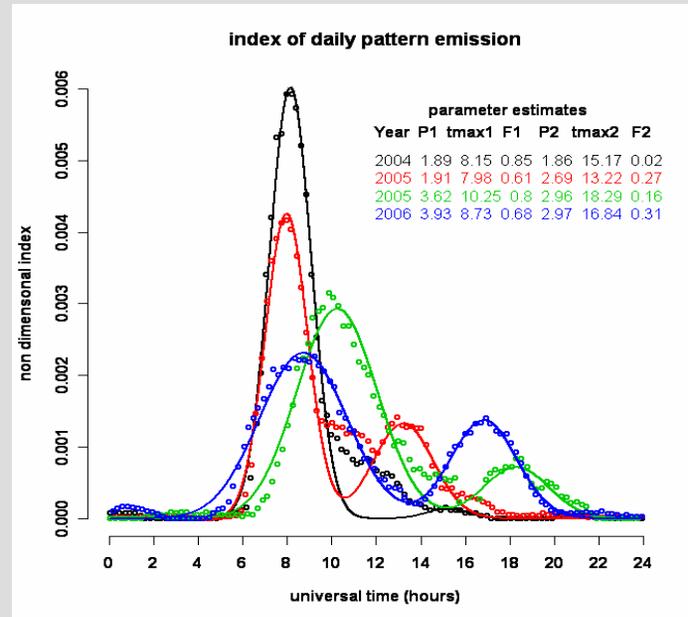
Occupation du sol



Champs de maïs



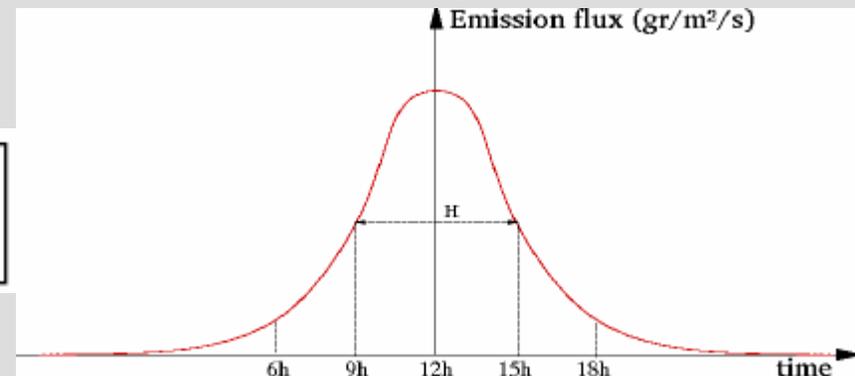
Dispersion à longue distance : modélisation



(Marceau and Huber, 2007)

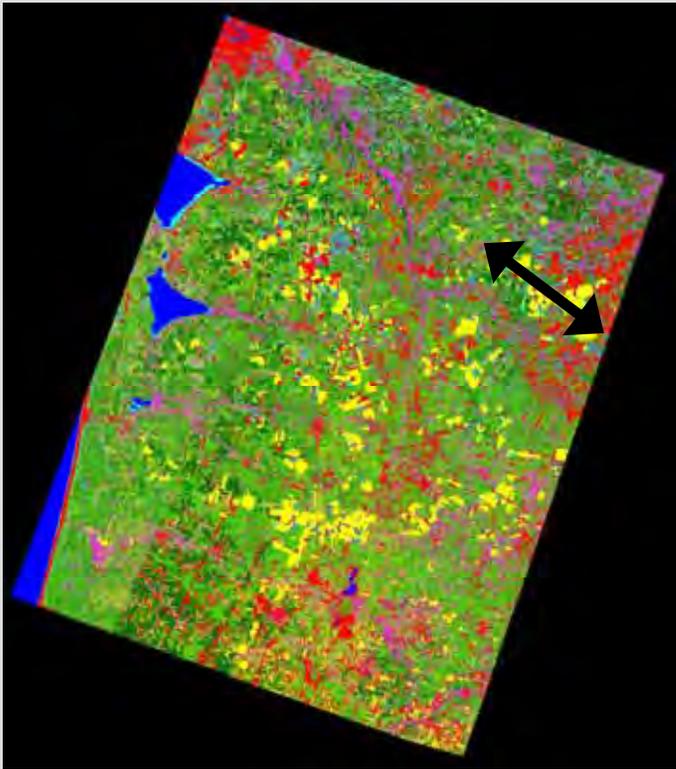
Modèle d'émission simple, unimodal

$$E^{alive} = r_m G(\theta_0^E) E_{max} \exp \left[-4 \log(2) \frac{(t - t_E)^2}{H_E^2} \right]$$

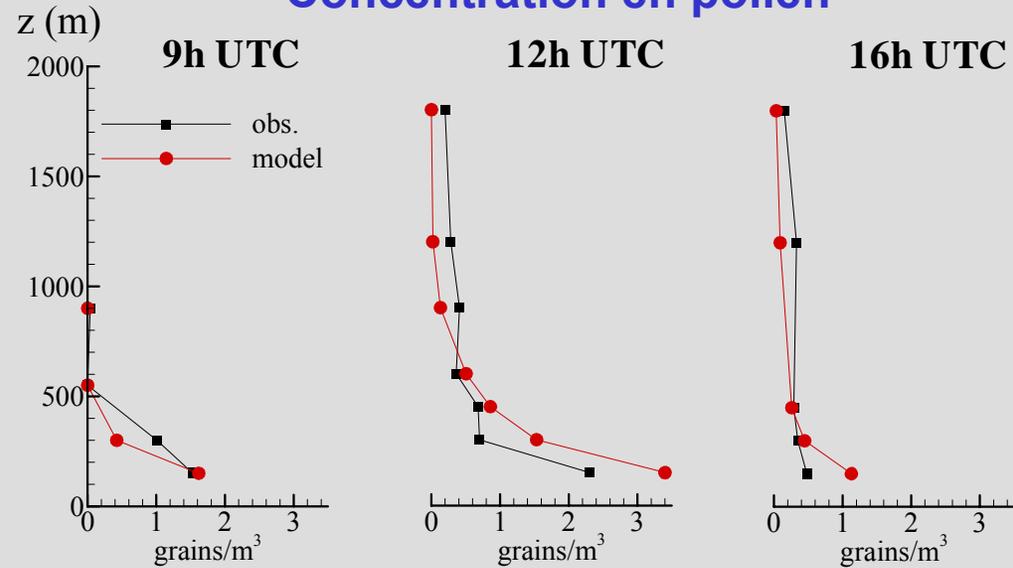


Dispersion à longue distance : modélisation

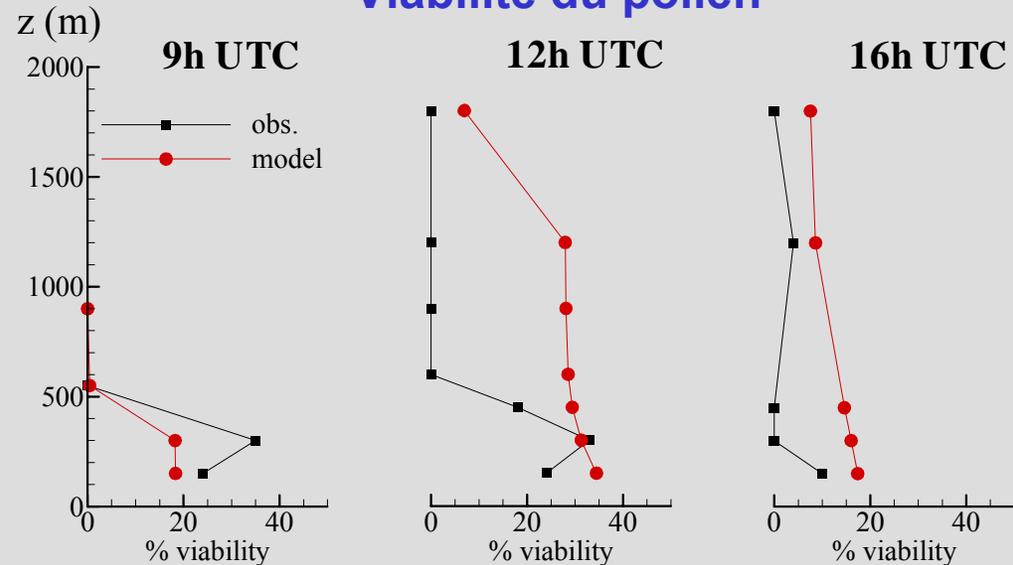
Transects sur ~ 12 km
à différentes altitudes
et différentes heures
de la journée
(12 juillet 2003)



Concentration en pollen



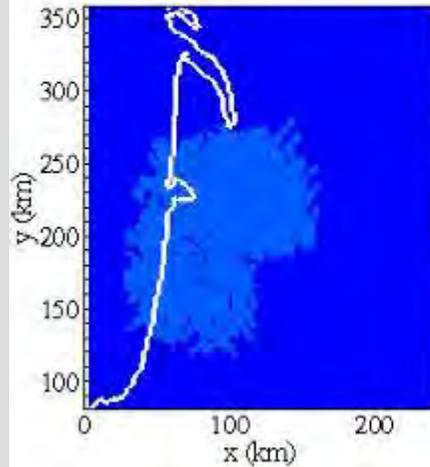
Viabilité du pollen



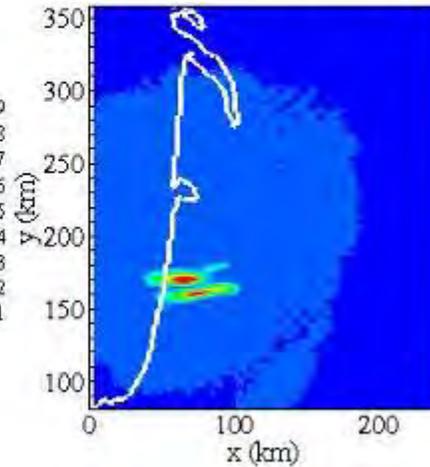
Dispersion à longue distance : modélisation

$z = 1200$ m

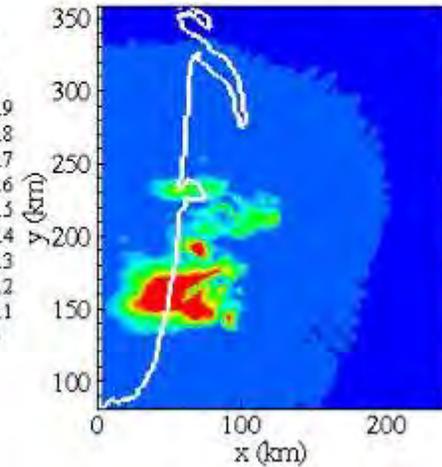
9h UTC



12h UTC

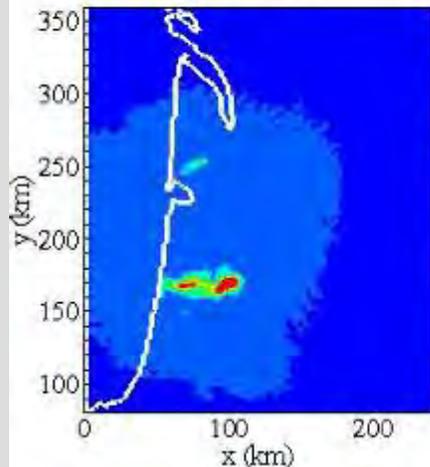


16h UTC

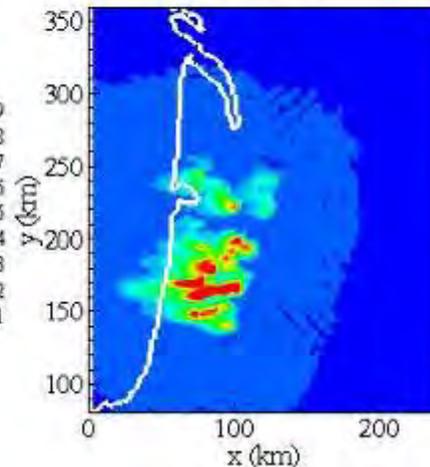


$z = 500$ m

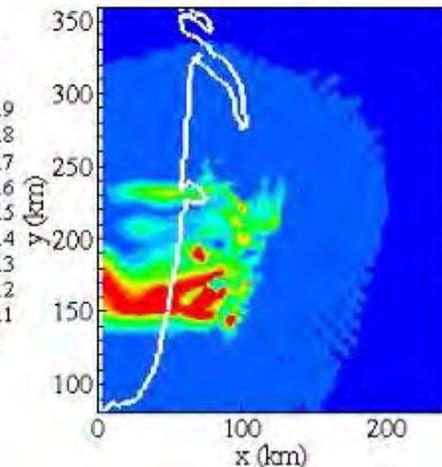
9h UTC



12h UTC



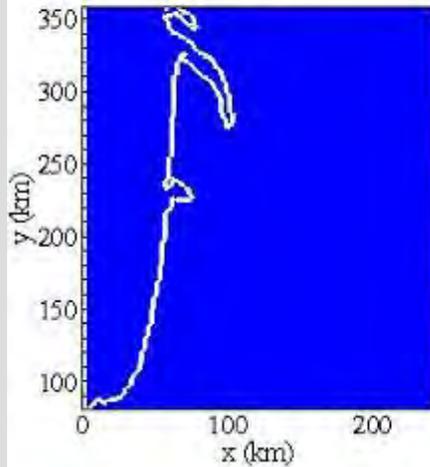
16h UTC



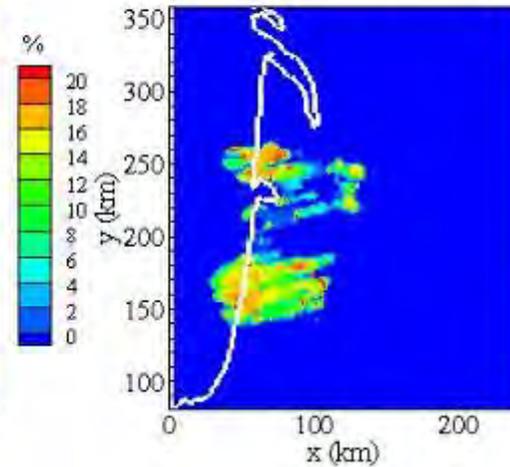
Dispersion à longue distance : modélisation

$z = 1200$ m

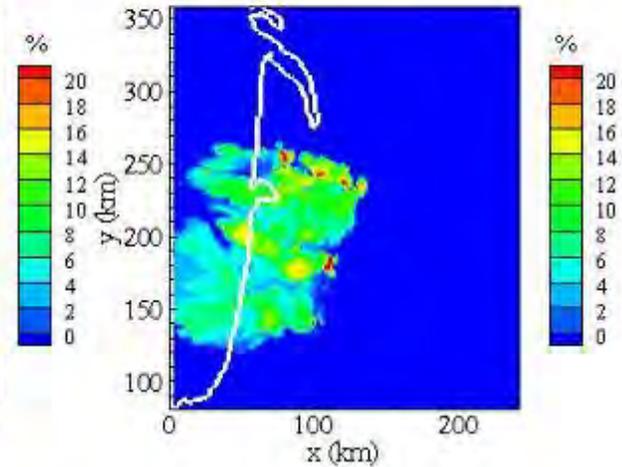
9h UTC



12h UTC

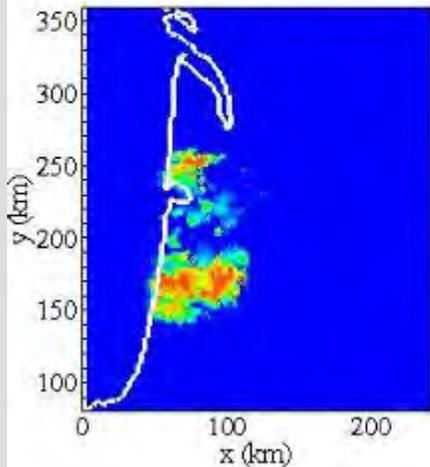


16h UTC

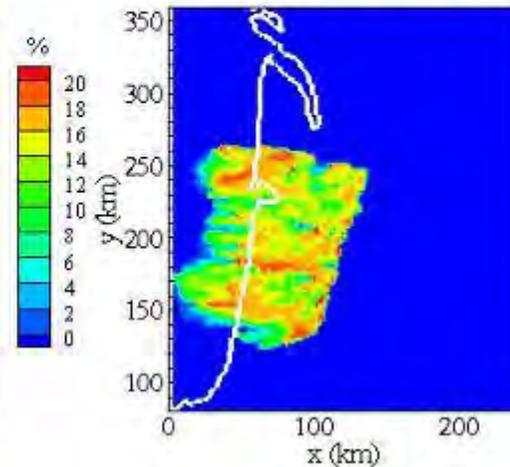


$z = 500$ m

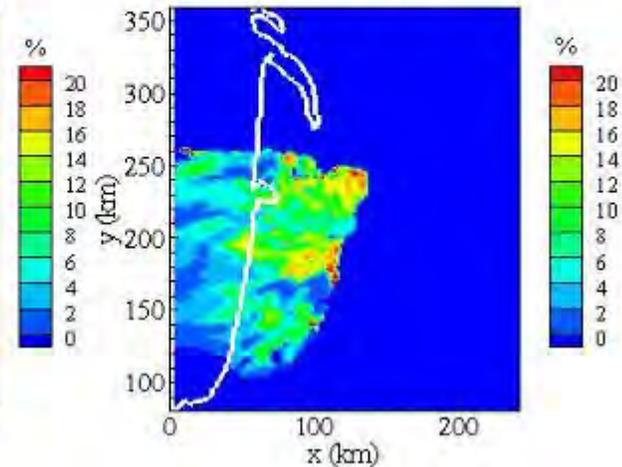
9h UTC



12h UTC

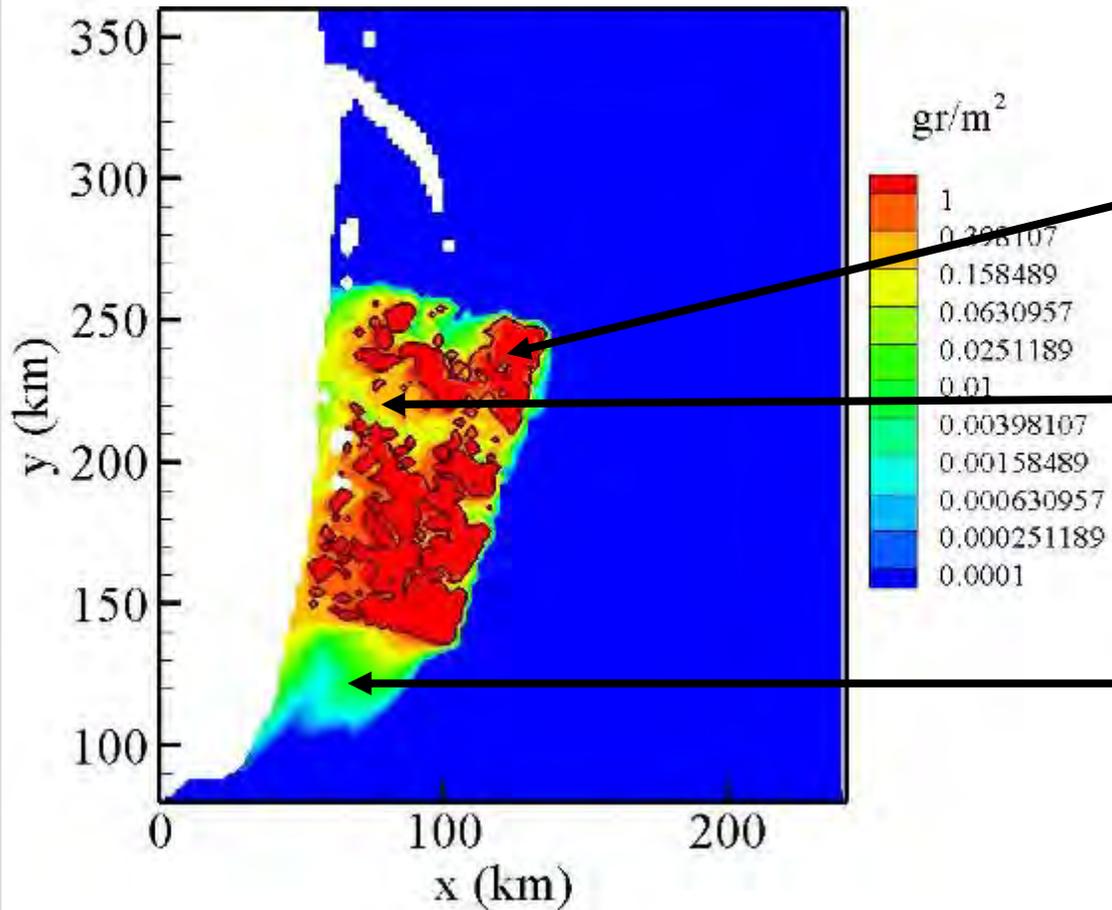


16h UTC



Dispersion à longue distance : modélisation

Dépôt de pollen viable
cumulé sur la journée



Dépôt important sur
les zones de maïs

"Bruit de fond"
entre les zones

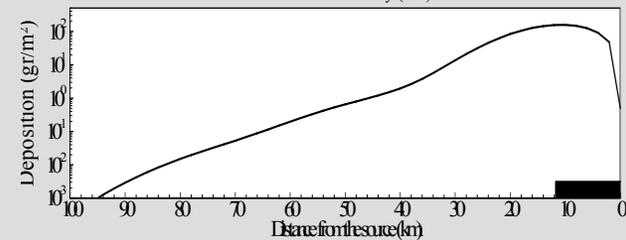
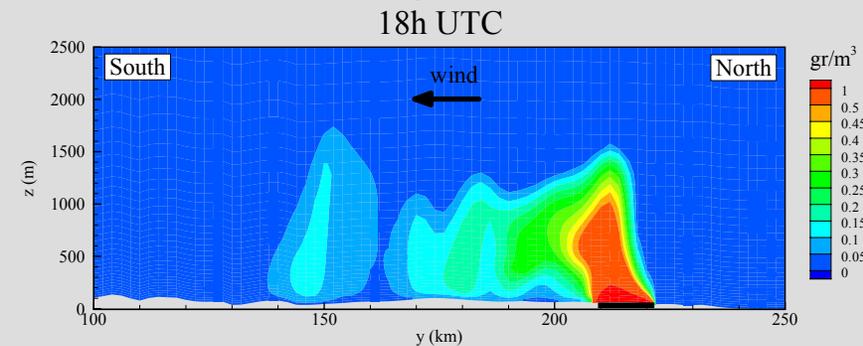
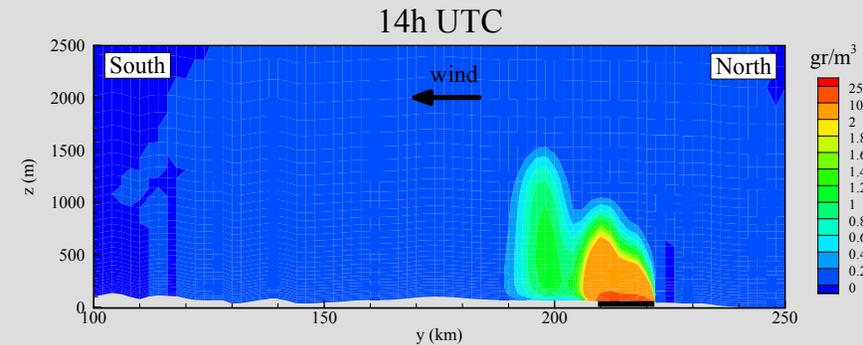
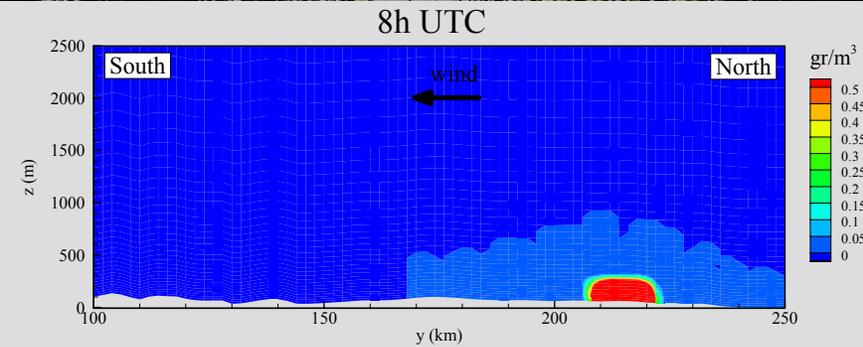
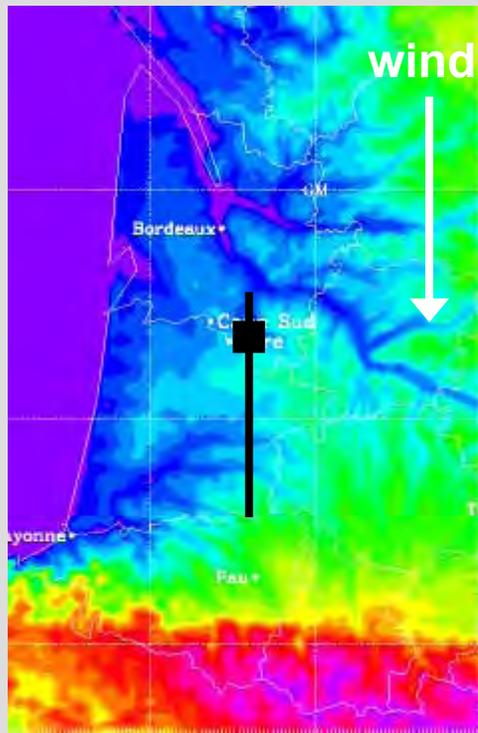
Décroissance
régulière en dehors
de la région

Dispersion à longue distance : modélisation

Un étude de cas :

simulation de la dispersion et du
dépôt en aval
d'un champ isolé
(10 juillet 2003)

champ fictif de 12 x 12 km



Perspectives et conclusion

- Un outil reposant sur la modélisation méso-échelle, la télédétection, les Systèmes d'Information Géographique
- Les résultats confirment les données expérimentales et prédisent les mêmes ordres de grandeur pour la dispersion à longue distance
- Suite de l'évaluation : traitement de toutes les journées avec mesures aéroportées
- Besoin d'introduire la pollinisation effective
- Le modèle peut être utilisé pour tester l'influence des conditions atmosphériques, les types d'occupation du sol, les pratiques d'aménagement du paysage.

Perspectives et conclusion

- Utilisation possible dans d'autres domaines :
 - transport de pollens responsables d'allergies
 - écologie, paléo
 - pathogènes (spores, champignons...)
 - microbiologie atmosphérique