

Aspects géométriques et dynamiques
de la couche limite en situation de
transition vers la convection profonde:

Vers une paramétrisation probabiliste
du déclenchement

Nicolas Rochetin
Jean-Yves Grandpeix
Fleur Couvreur
Catherine Rio

Les dernières améliorations du modèle LMDZ

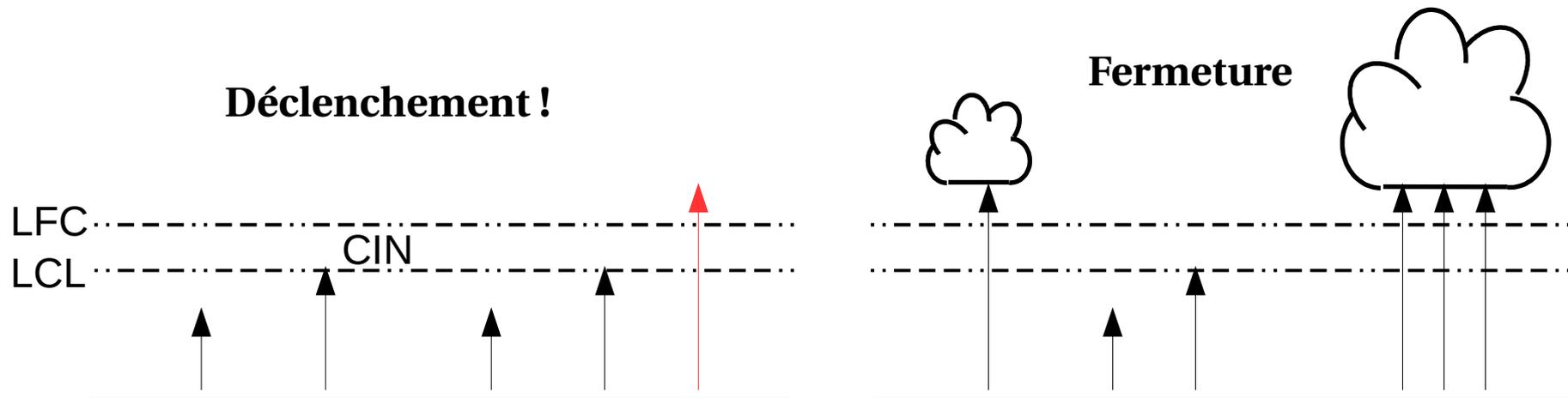
Le **cycle diurne des précipitations** constitue l'une des avancées récentes les plus significative de la “Nouvelle Physique”: le phasage et les cumuls de précipitations au sol sont plus en accord avec les observations.

Pourquoi ?

- Introduction d'un schéma de couche-limite organisée: **le modèle du thermique nuageux** (*Rio & Hourdin 2008*).
 - Meilleure mélange vertical dans les basses couches et humidification progressive de la basse troposphère libre
- Introduction d'un terme de “mémoire” pour la convection: **les courants de densité** (*Grandpeix, Lafore & Cheruy. 2010*)
 - Rétroaction positive entre les précipitations et la convection
- Redéfinition complète des notions de **déclenchement et de fermeture** (*Grandpeix, Lafore & Cheruy. 2010*)

Déclenchement et fermeture

- Une parcelle d'air chauffée en surface ne peut atteindre spontanément l'atmosphère libre.
 - Les processus sous-nuageux (entre autres ?) produisent un **travail mécanique** qui lui permettra d'accéder à son niveau de convection libre (LFC=Level of Free Convection)
 - De ce travail mécanique dépendra l'apparition de la convection profonde (**déclenchement**) et son intensité (**fermeture**).
- Critère de déclenchement: Si au moins un processus sous-nuageux produit une énergie cinétique de soulèvement (**ALE=Available Lifting Energy**) supérieure à l'inhibition (**CIN=Convective INhibition**), le déclenchement se produit :
$$ALE > |CIN| \quad \text{où} \quad ALE = \max(ALE_{bl}, ALE_{wk}, ALE_{oro} \dots ?)$$
- Fermeture: Le flux de masse à la base du nuage est fonction de la puissance de soulèvement (**ALP=Available Lifting Power**) résultante de tous les processus sous-nuageux:
$$Mb = f(ALP) \quad \text{où} \quad ALP = ALP_{bl} + Alp_{wk} + \dots ?$$



Le déclenchement est toujours un problème ...

- Malgré l'amélioration du cycle diurne des précipitations, **le modèle déclenche toujours trop souvent et trop tôt**; en fait dès l'apparition des premiers cumulus
- D'autre part, dans le 3D, **le déclenchement se produit dans toutes les mailles et tous les jours**

Alors comment expliquer que le cycle diurne des précipitations soit meilleur qu'avant ?

- D'**importantes innovation dans la fermeture** (Rio et al 2011, Special Issue) ont été réalisées au cours des derniers développements de la nouvelle physique qui tendent à “masquer” ce biais.

Alors pourquoi s'en préoccuper ?

- Tant que le déclenchement n'est pas cohérent, rien ne permet d'attester que la fermeture l'est aussi: **les 2 concepts sont intriqués.**
- Si l'on considère le déclenchement de la convection profonde comme une **discontinuité temporelle**, alors la question du déclenchement doit être élucidée.
- Les GCM sont toujours incapables de représenter cette phase intermédiaire précédant le déclenchement

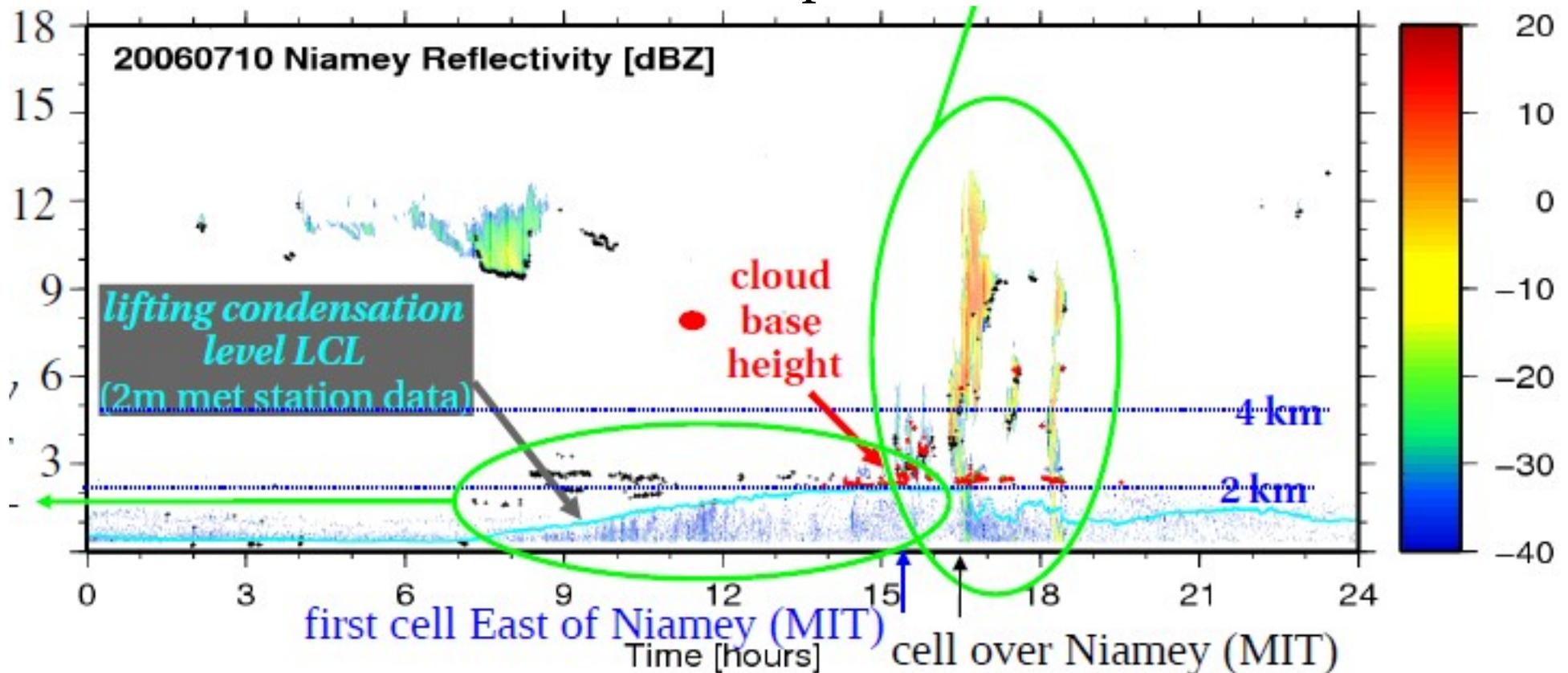
Plan

1. Données et méthodologie
2. Caractéristiques géométriques et dynamiques des panaches sous-nuageux au LCL
3. La transition vers la convection profonde
4. Valeurs extrêmes
5. Conclusion

1. Données et méthodologie

Le cas du 10 Juillet 2006 à Niamey: Données radar (*Lothon et al. 2010*)

Le référence pour le LES

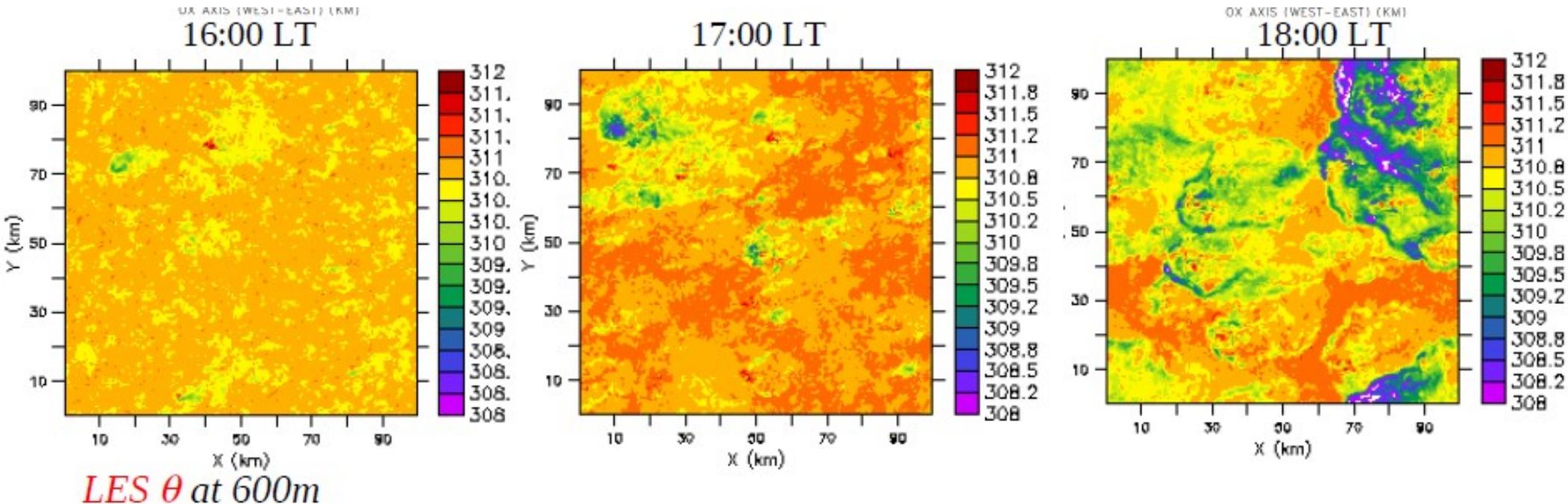


- Cas de déclenchement local au-dessus de Niamey en milieu d'après midi
- Forçage de **grande échelle très faible**: quasiment pas de vent
- Fort flux sensible et faible évaporation ($Bo=10$)
- Conditions de grande échelle a priori **très défavorables au déclenchement** de la convection profonde.
 - Rôle très important des **processus locaux de couche limite**

1. Données et méthodologie

Le cas du 10 Juillet 2006 à Niamey: Le LES (Couvreur et al. 2011)

La référence pour le GCM



- Domaine de **100x100 km**
- Résolution de **200m**
 - Pas de modèle de sol, flux de surface imposés
- Introduction d'une **convergence d'humidité** en bas.
- Introduction d'une **ascendance de $W=0.15\text{m/s}$** à partir de 12h00
- Conditions aux limites périodiques.
- Déclenchement de la convection profonde vers 16h30

1. Données et méthodologie

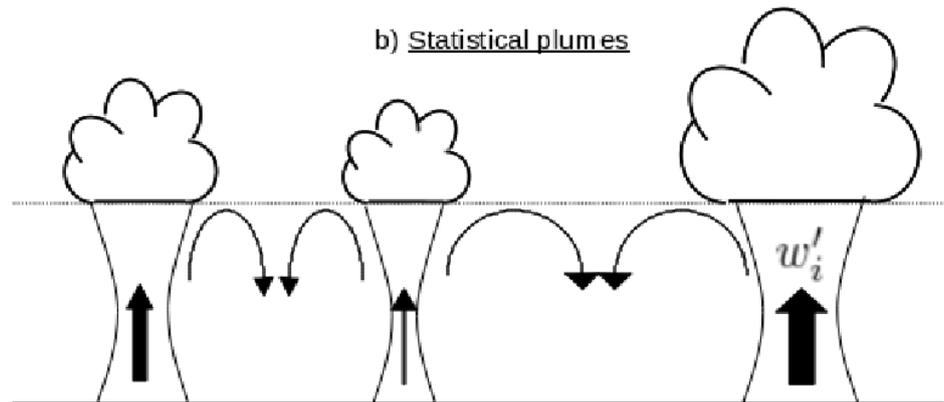
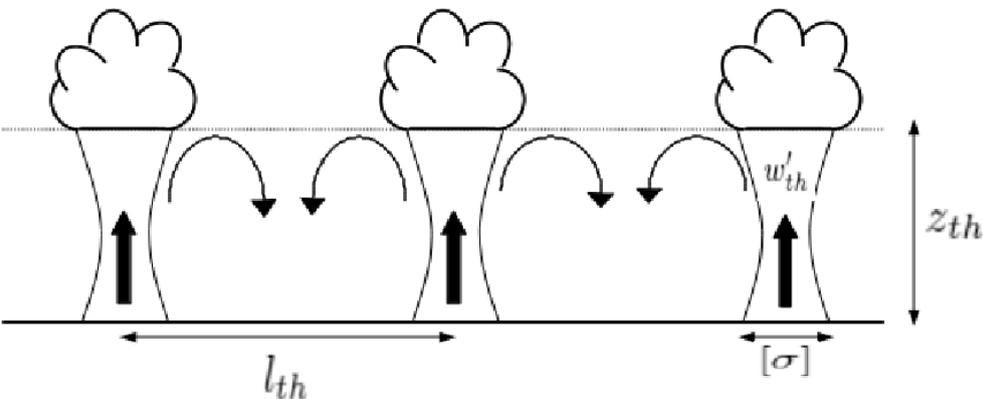
Démarche:

Plusieurs études utilisant des modèles haute résolution ont déjà permis de caractériser la transition au travers de **variables thermodynamiques** telles que ...

- Le déficit à la saturation (Chaboureau et al., 2004)
 - La CIN (Guichard et al., 2004)
 - La flottabilité moyenne de l'ensemble des cumulus du domaine (Wu et al., 2009)
- **Notre but est de calculer une Energie Cinétique maximale à l'entrée de la zone d'inhibition ($ALE=0.5*W_{max}^2$).**
- On s'intéresse donc aux caractéristiques de **surface et de vitesse des panaches à la base du nuage** (au niveau du LCL)
 - Par opposition au modèle du thermique, on ne considère plus un thermique unique mais un **spectre de thermiques**.

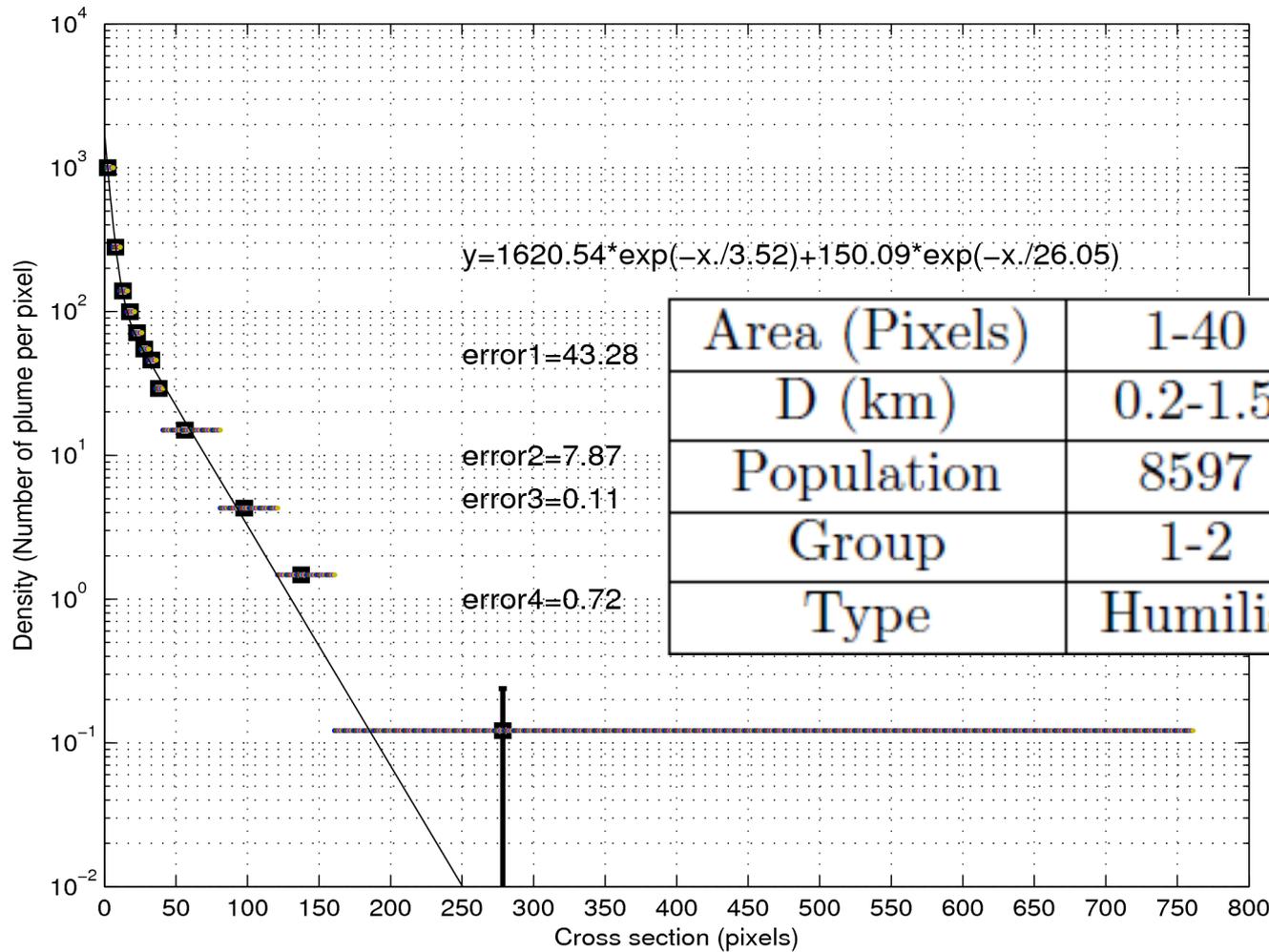
a) Deterministic plumes

b) Statistical plumes



2. Caractéristiques géométriques et dynamiques au LCL

Distribution de la surface à la base du nuage



| | | | |
|---------------|---------|-----------|-----------|
| Area (Pixels) | 1-40 | 41-160 | > 160 |
| D (km) | 0.2-1.5 | 1.5-3 | > 3 |
| Population | 8597 | 829 | 73 |
| Group | 1-2 | 2 | Remaining |
| Type | Humilis | Mediocris | Congestus |

Loi de distribution sous la forme d'une **somme d'exponentielles**:

- On a 2 types de panaches dans le domaine
- Chaque lot est constitué de N panaches (N_1 & N_2)
- Une taille moyenne s (S_1 & S_2)

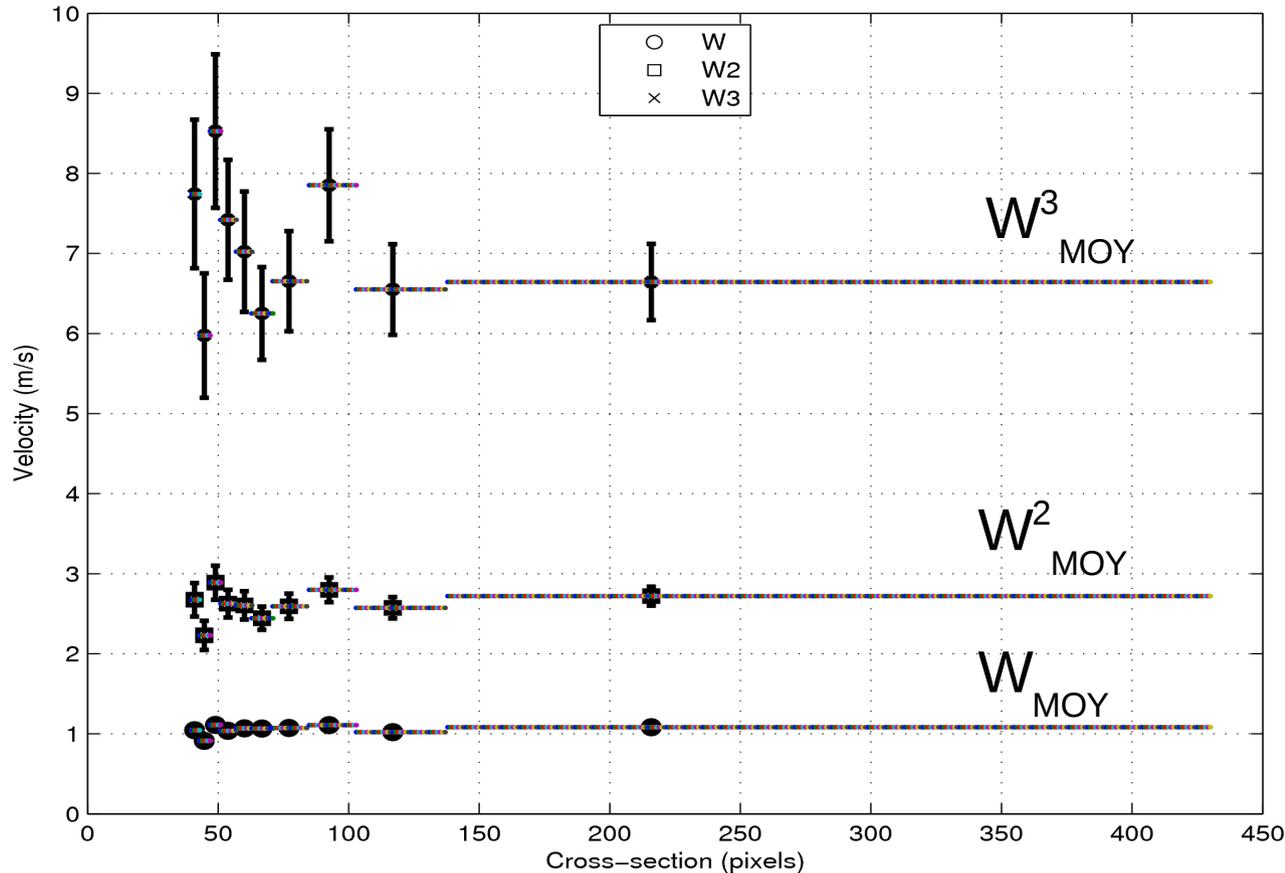
$$p(s) = \frac{N_1}{S_d s_1} \exp\left(-\frac{s}{s_1}\right) + \frac{N_2}{S_d s_2} \exp\left(-\frac{s}{s_2}\right)$$

2. Caractéristiques géométriques et dynamiques au LCL

Distribution de vitesse pour la population 2

Méthode:

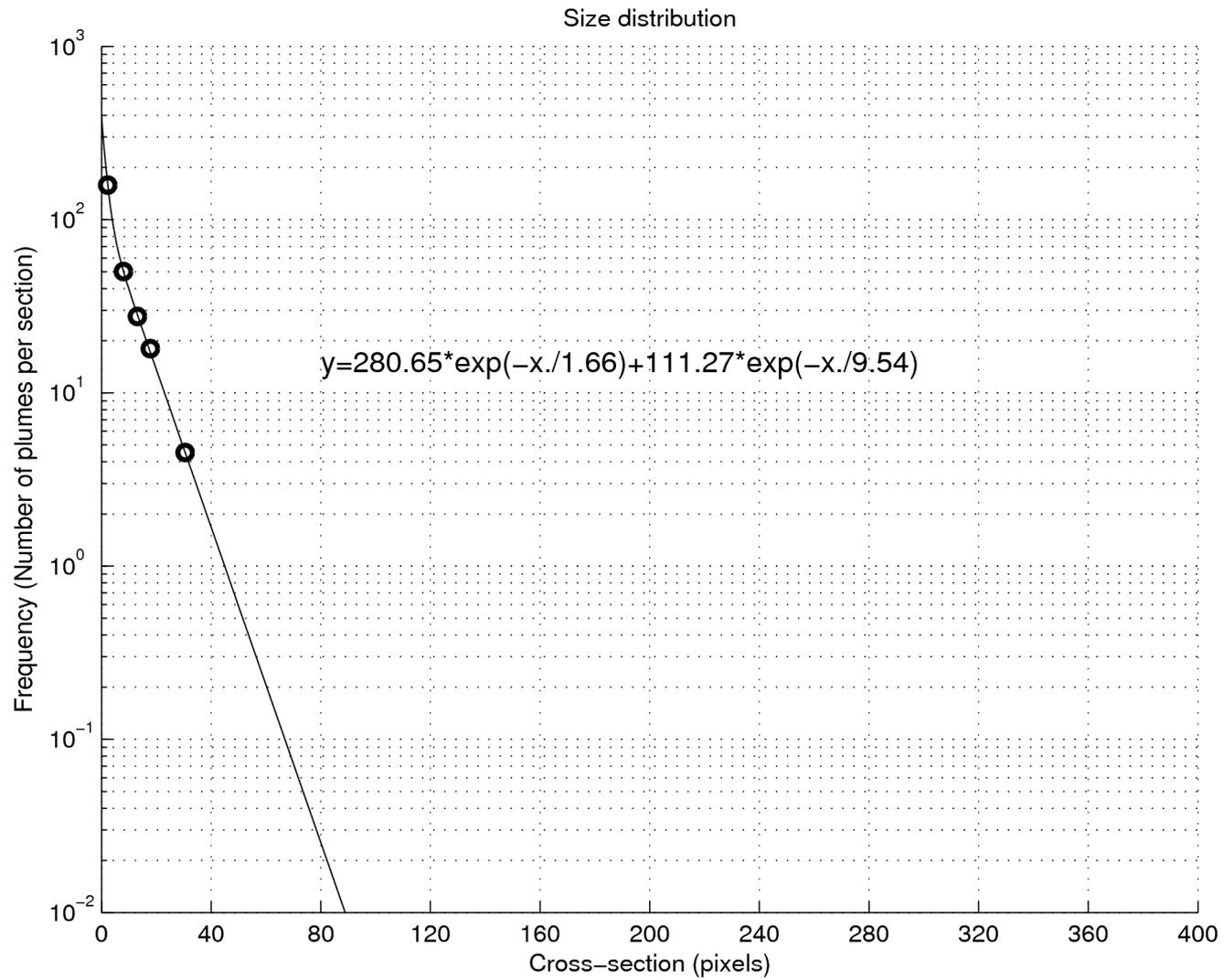
- On ne retient que la population 2.
- On la divise en 10 lots de tailles égales.
- On les range par ordre croissant de surface
- On calcule, pour chaque lot, la moyenne des moments d'ordre 1, 2 et 3 pour la vitesse W_{MOY} du thermique au LCL



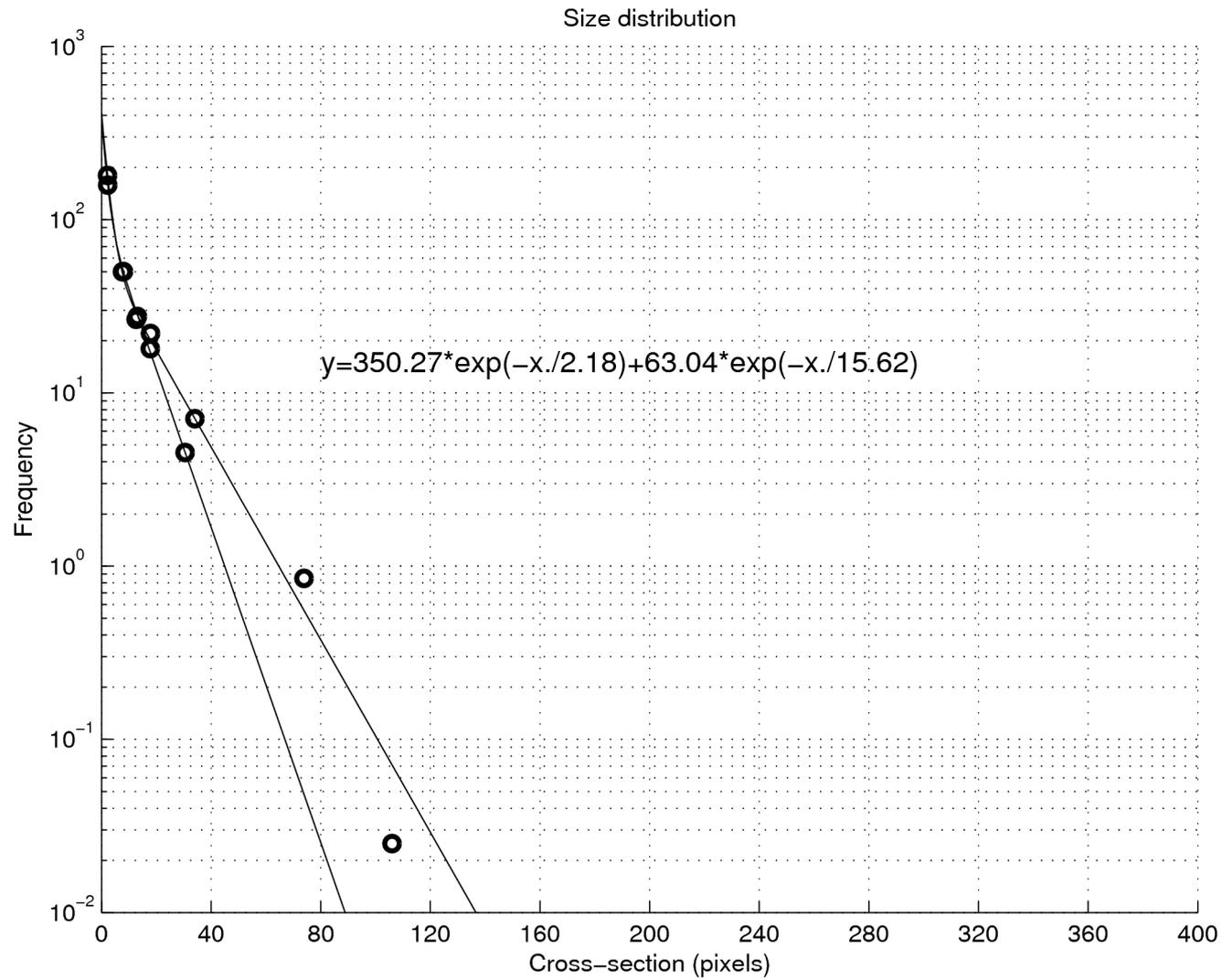
- › Les vitesses moyennes d'ordres 1, 2 et 3 ne varient pas en fonction de la section des thermiques au LCL
 - › Tous les panaches possèdent donc la même loi de distribution pour les vitesses: cette loi est une **Gaussienne**

**Les caractéristiques dynamiques des thermiques sont invariantes:
tous les thermiques possèdent le même spectre de vitesse W**

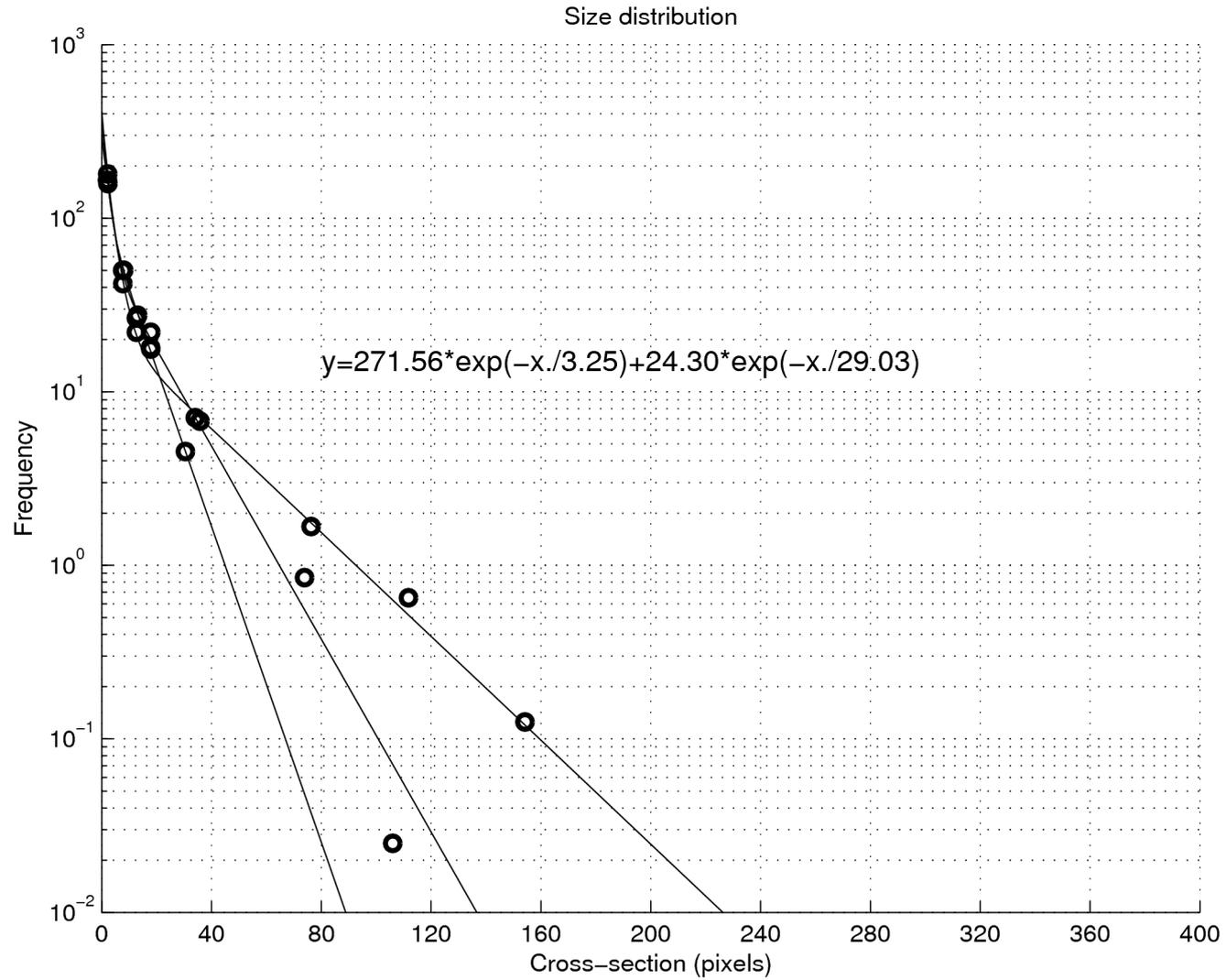
3. Transition vers la convection profonde



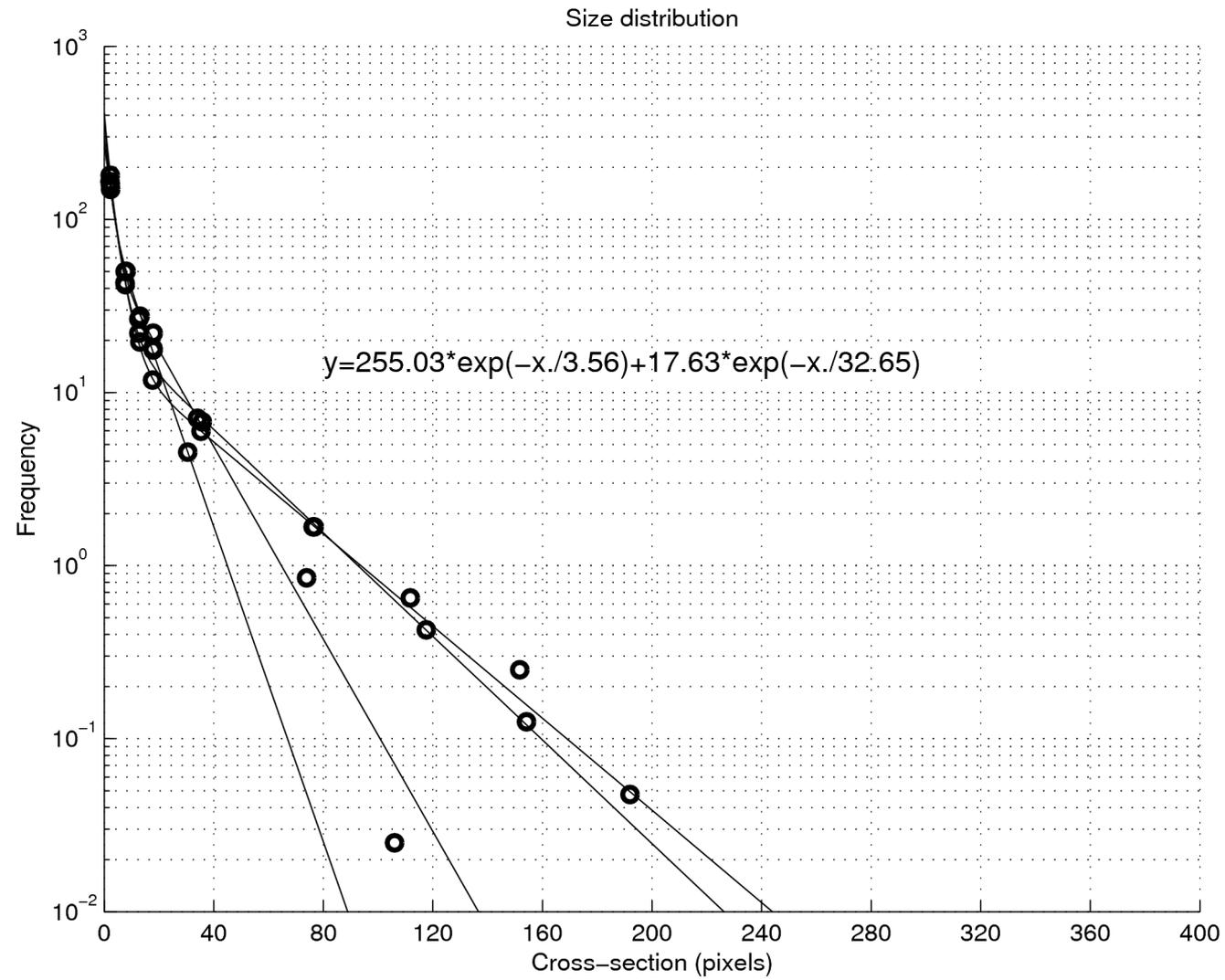
3. Transition vers la convection profonde



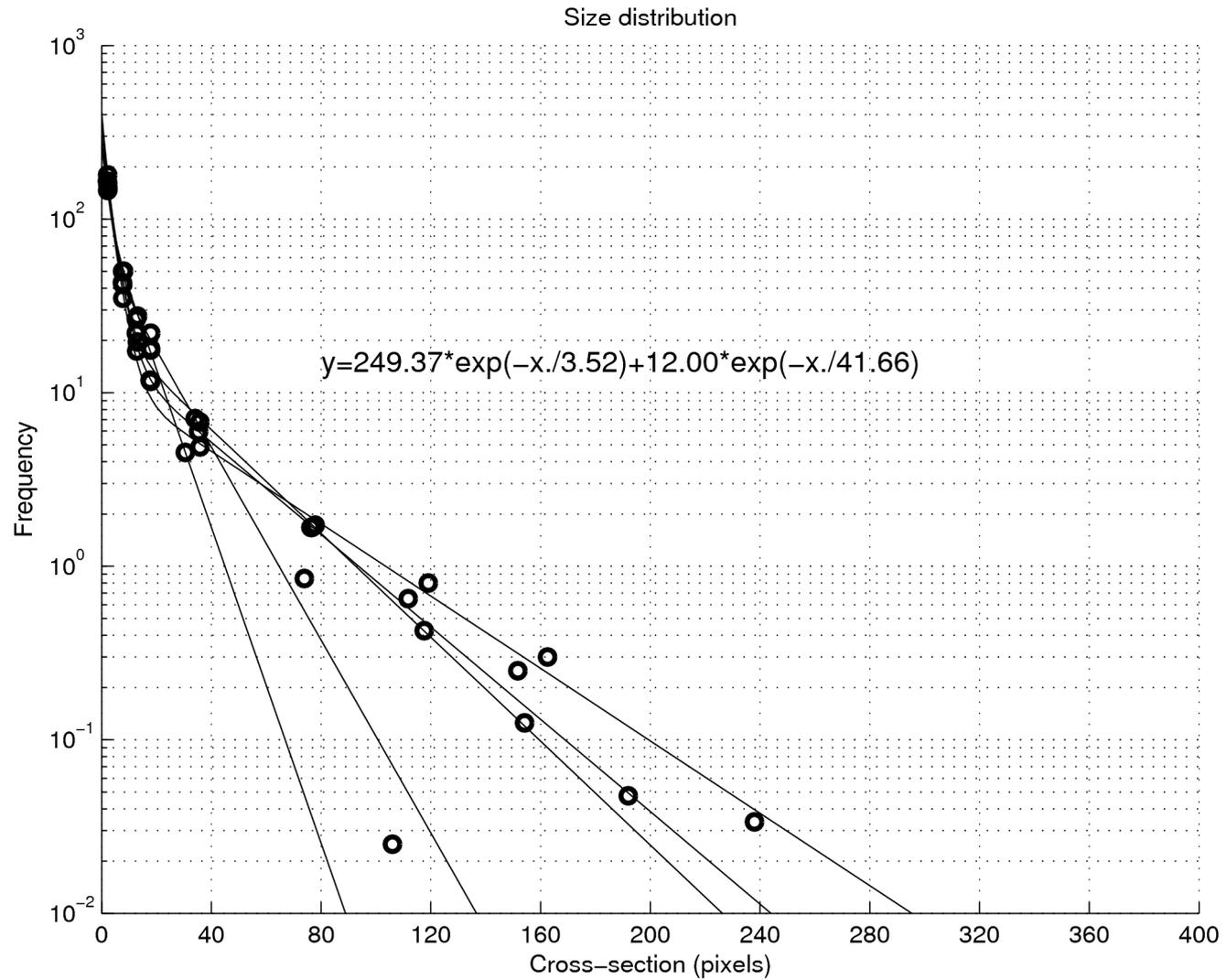
3. Transition vers la convection profonde



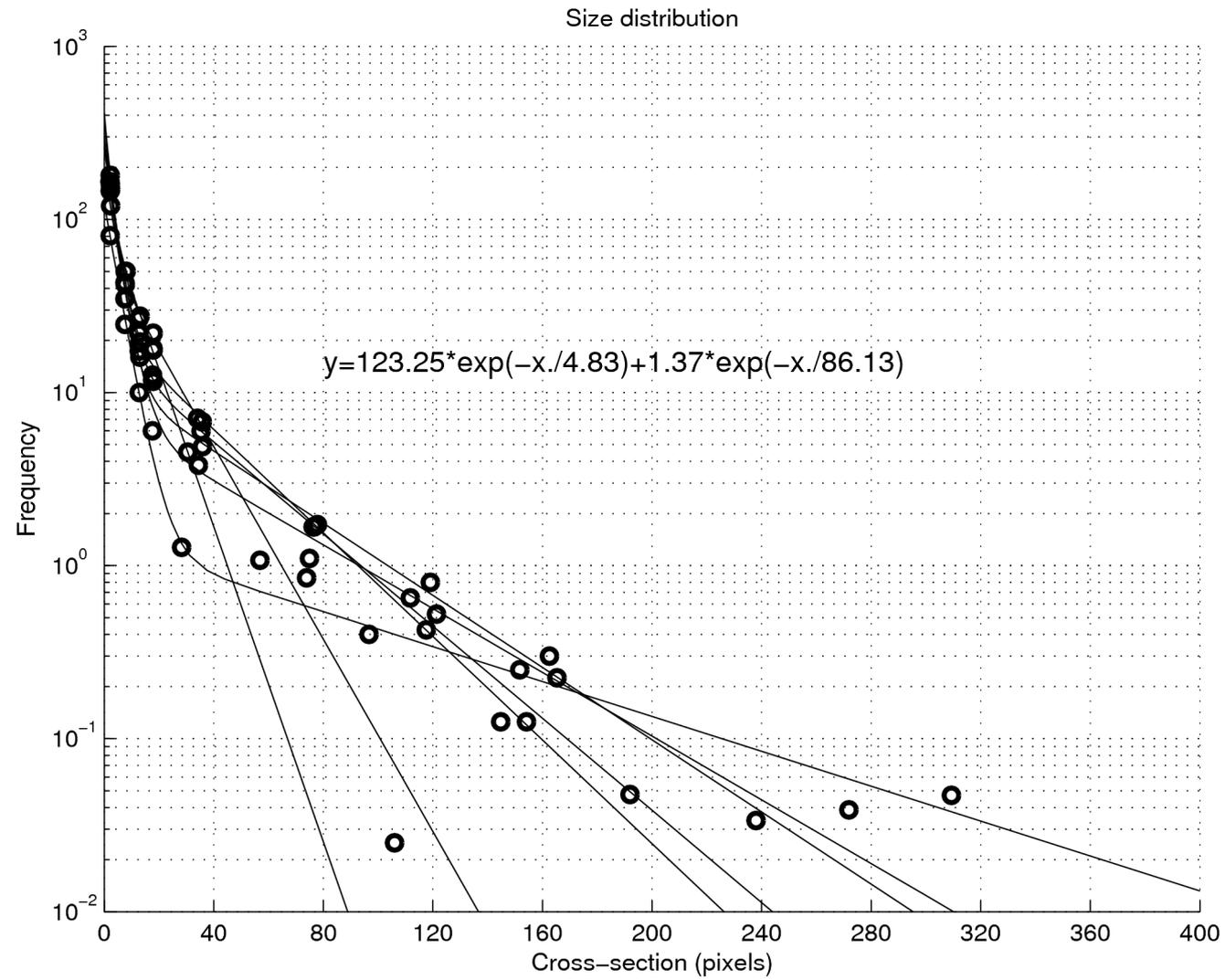
3. Transition vers la convection profonde



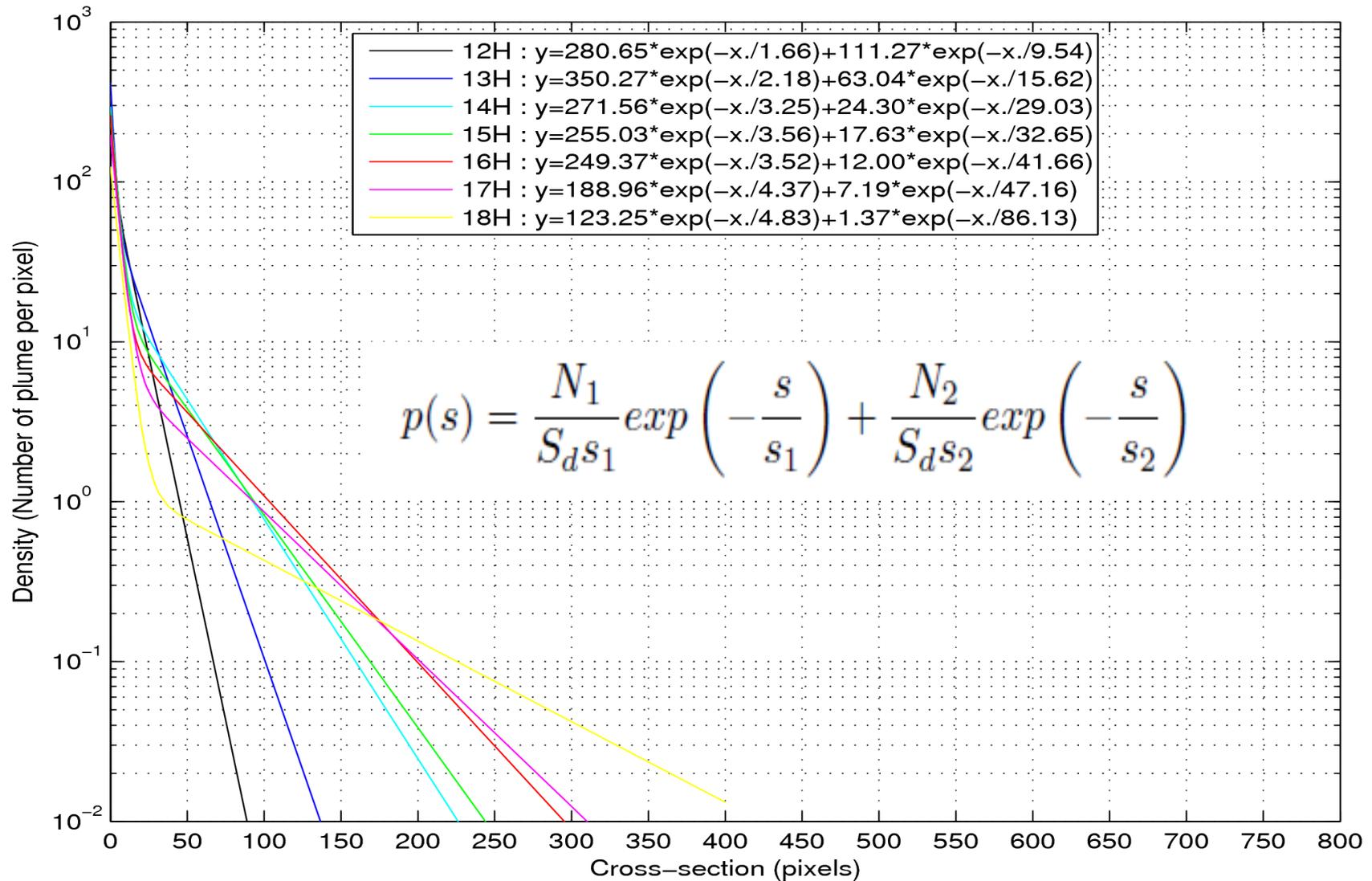
3. Transition vers la convection profonde



3. Transition vers la convection profonde



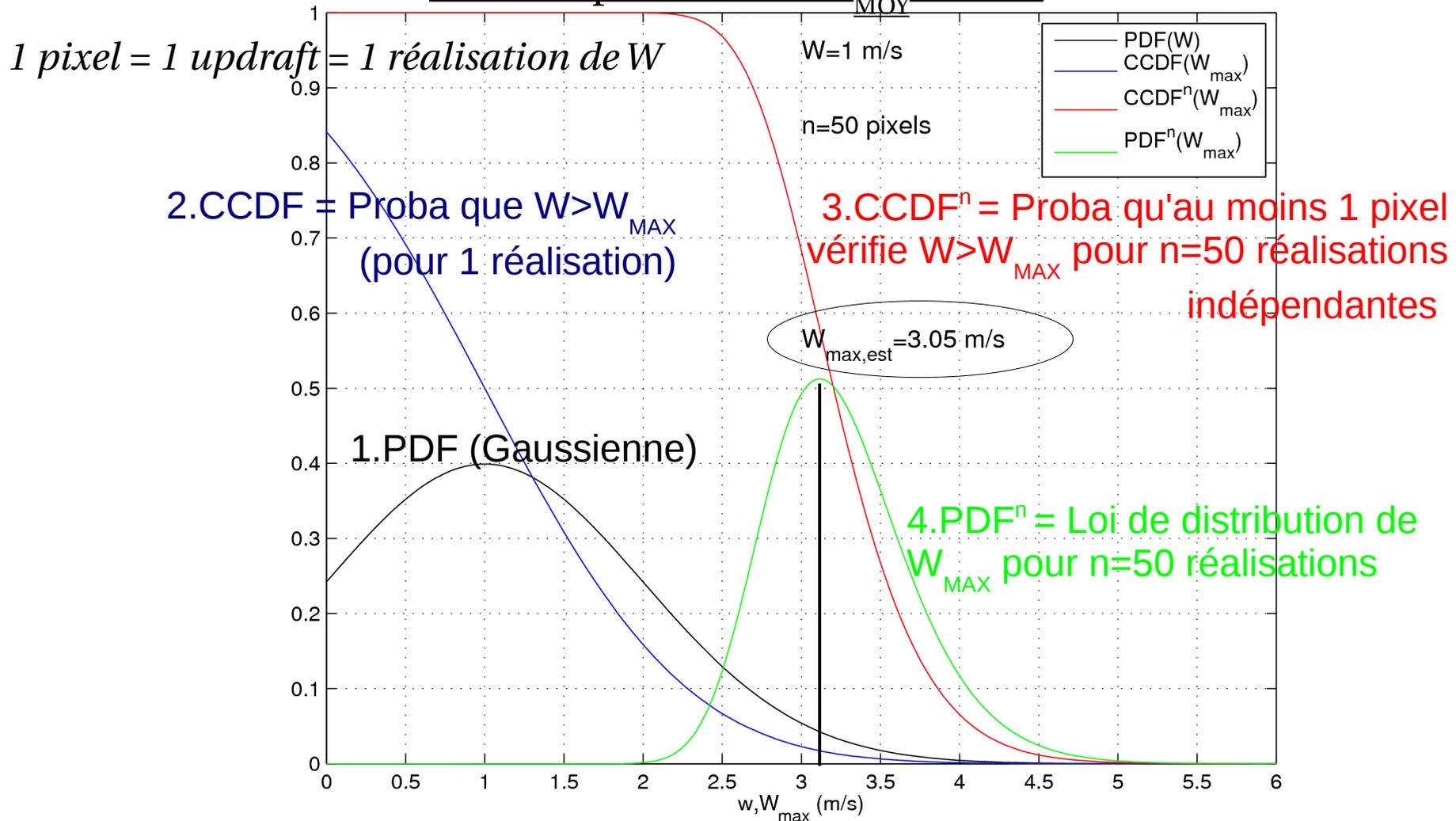
3. Transition vers la convection profonde



- La pdf présente une queue de distribution de plus en plus marquée au fil de la transition
- S_2 augmente et N_2 diminue: **on a de moins en moins de cumulus, mais ils sont plus de plus en plus larges.**

4. Valeurs extrêmes pour la population 2

Pour les vitesses dans chaque thermique: exemple d'un thermique de $n=50$ pixels et de $W_{MOY} = 1$ m/s

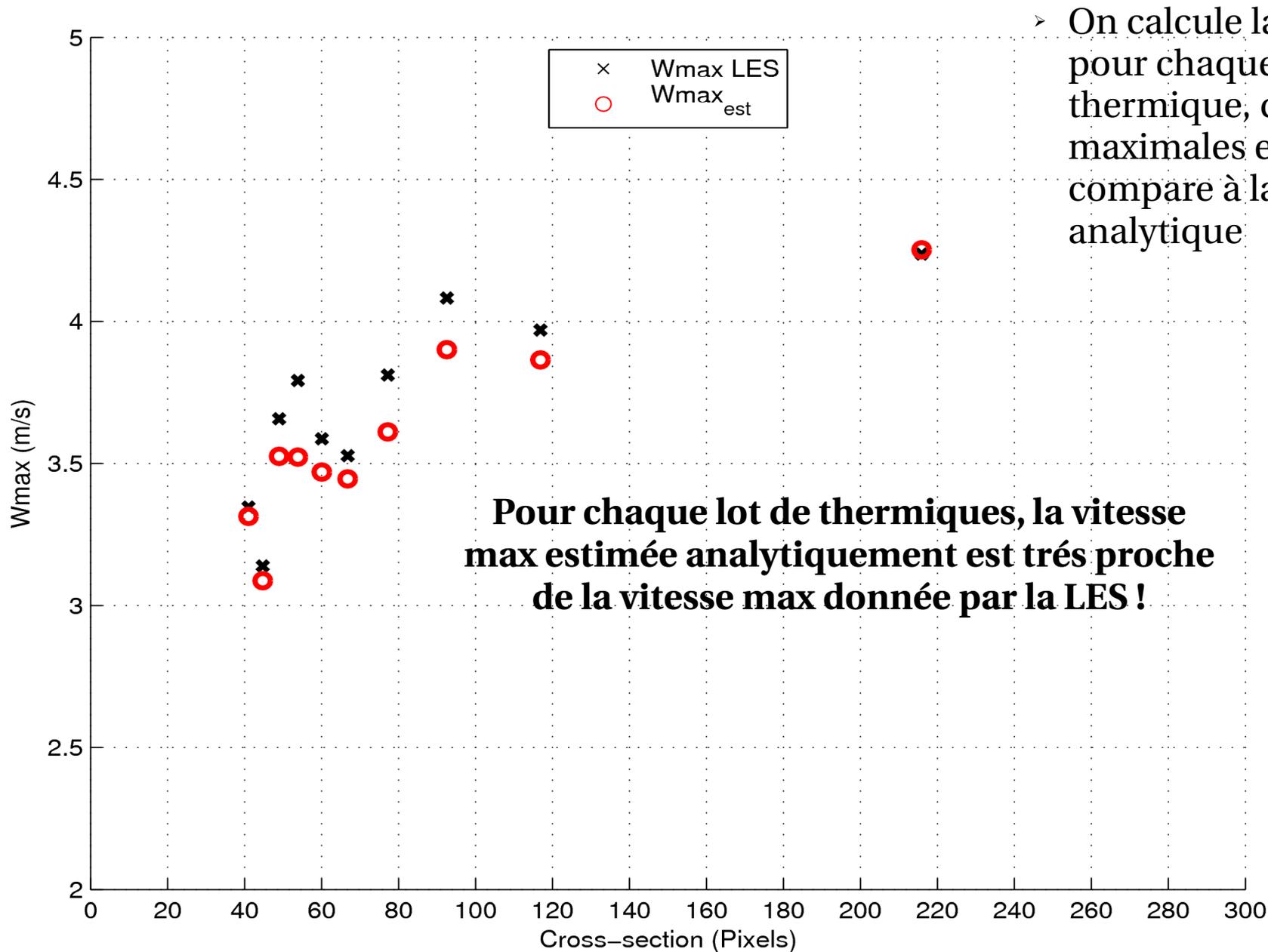


On peut donc estimer une valeur médiane de la vitesse max dans le panache, connaissant la vitesse moyenne et la surface

$$W_{MAX,EST} = W_{MOY} \left\{ 1 + \left[\ln(n^2/2\pi i) - \ln(\ln(n^2/2\pi i)) \right]^{1/2} \right\}$$

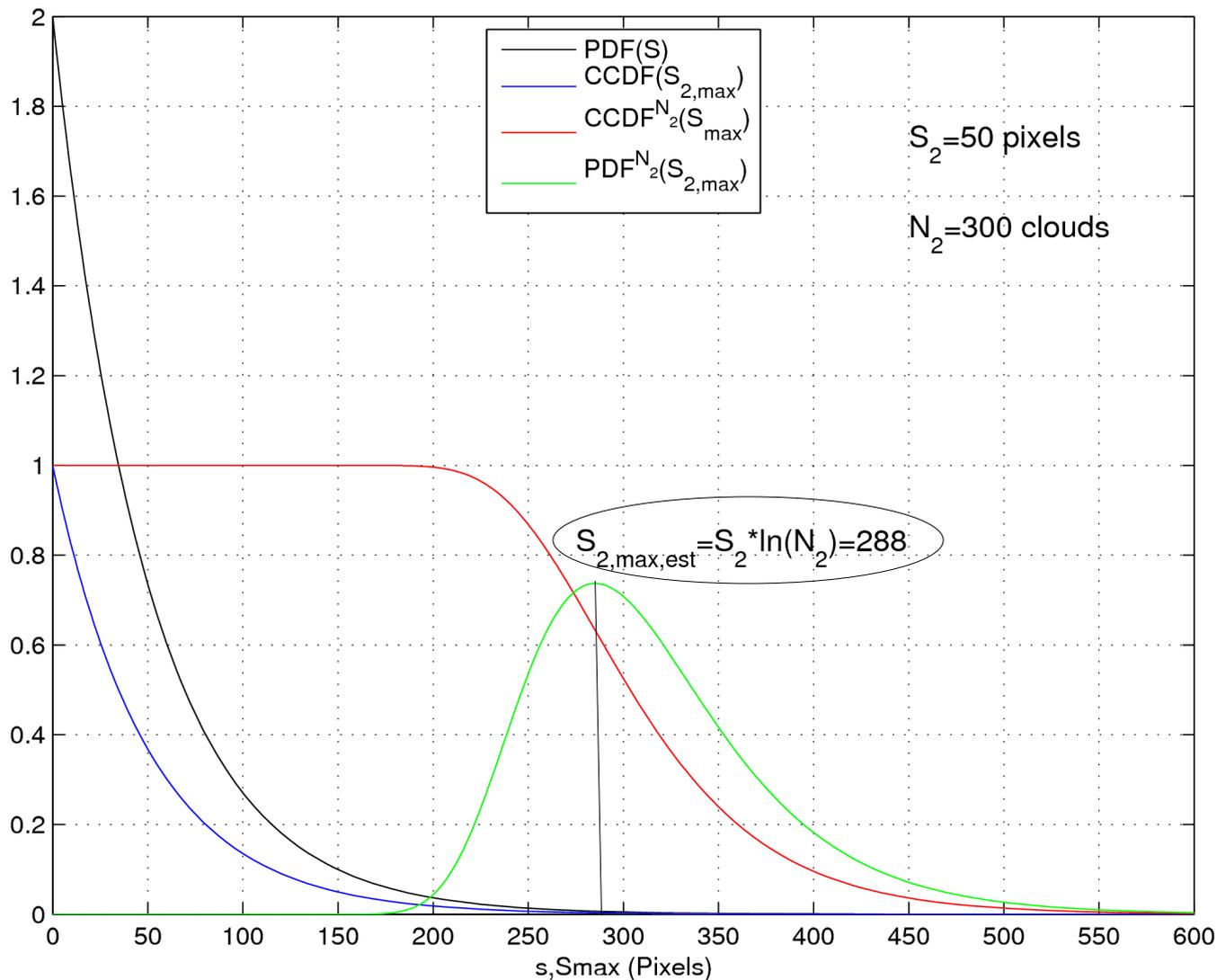
4. Valeurs extrêmes pour la population 2

Pour les vitesses dans chaque panache



4. Valeurs extrêmes pour la population 2

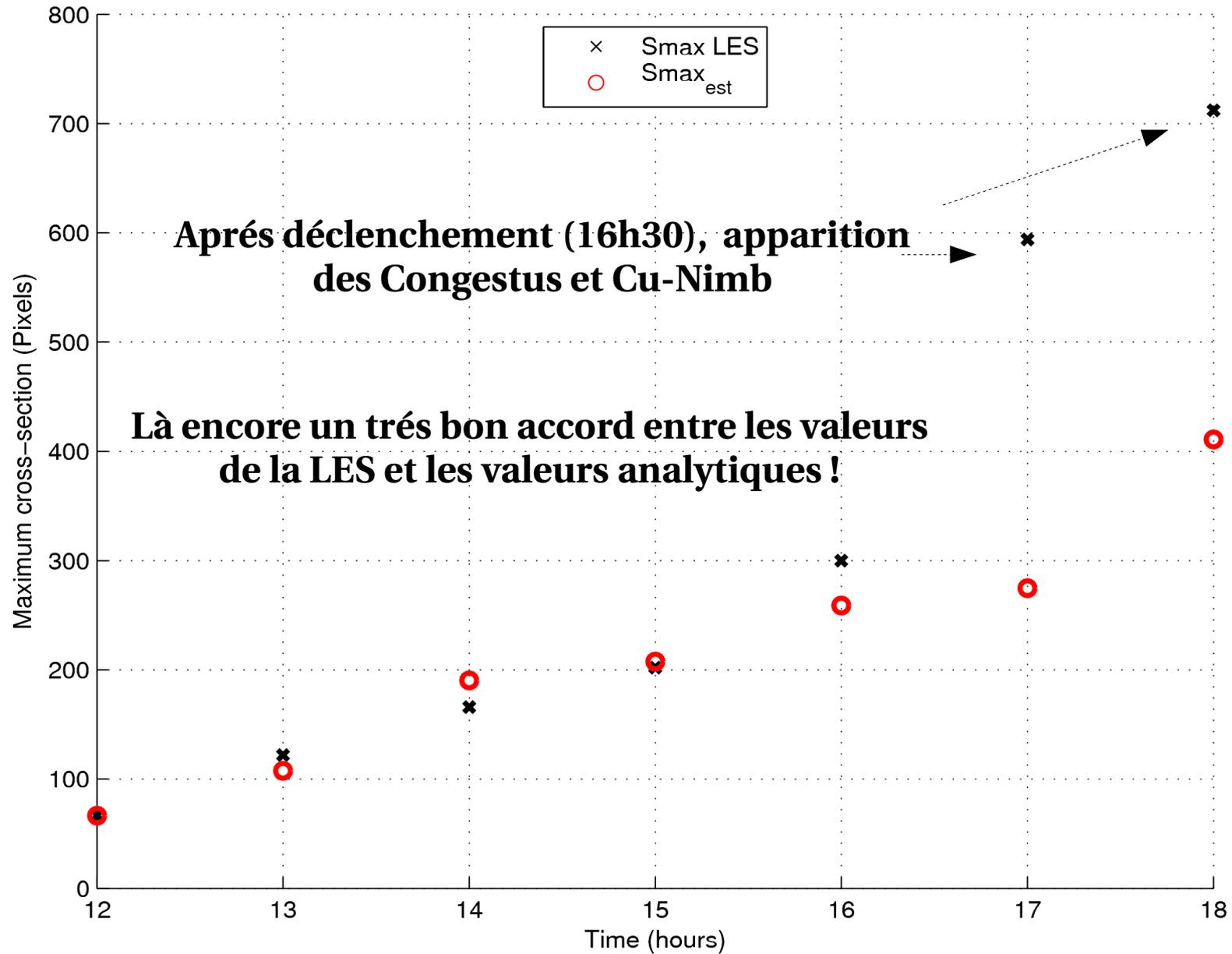
Pour les surfaces à la base du nuage: exemple d'un ensemble de $N_2=300$ thermiques de section moyenne $S_2=50$ pixels



Même méthode...en revanche on remarque que la PDF du maximum de taille est très large

4. Valeurs extrêmes pour la population 2

Pour les surfaces à la base du nuage



4. Valeur extrêmes pour la population 2

Cette analyse nous a permis de dégager des expressions analytiques fiables

- **Pour la vitesse max** d'un groupe de thermiques de taille moyenne donnée
- **Pour la surface max** d'un peuplement de thermiques dans un domaine de taille donnée

En combinant les 2 on peut donc obtenir une expression analytique de la vitesse max au sein du plus gros thermique, et ainsi proposer une énergie cinétique maximale à la base des nuages:

$$\mathbf{ALE = 0.5 * W_{MAX}^2 \quad \text{où} \quad W_{MAX} = f(S_{MAX})}$$

La taille du domaine intervient !

S_{MAX} est fonction du nombre de thermiques indépendants,
et a fortiori de la taille du domaine

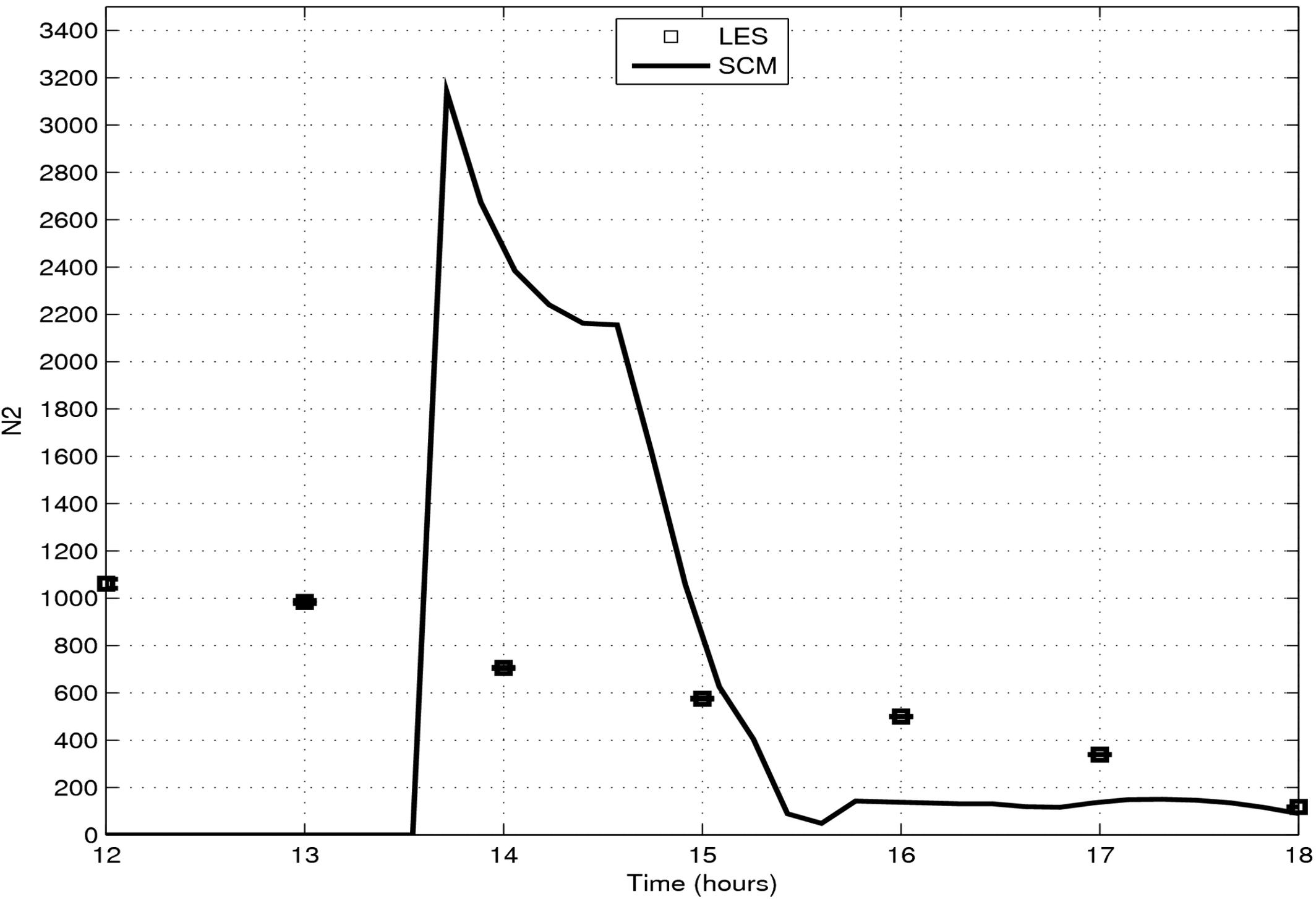
5. Conclusion

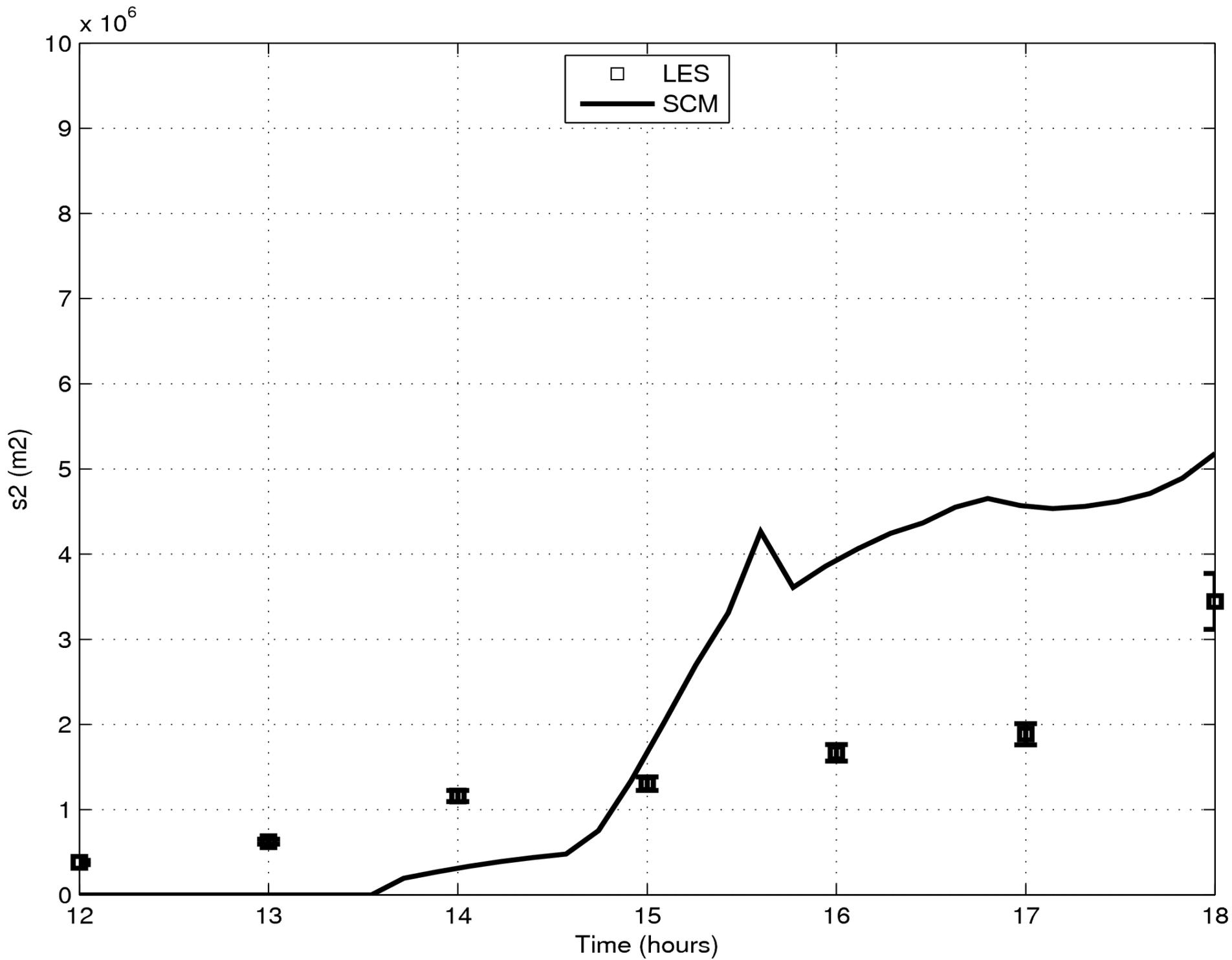
- L'analyse des caractéristiques de la couche-limite simulée par les LES nous a permis de dégager **2 population de nuages**.
- La population soupçonnée de jouer le plus grand rôle (désignée 2) dans la transition vers la convection profonde (cumulus mediocris?) présente des **caractéristiques géométriques et dynamique relativement simples**
- Ces propriétés simples nous ont permis de dégager des lois analytiques pour les **valeurs extrêmes** qui collent très bien avec les résultats des simulations LES.
- De ces valeurs extrêmes en taille et en vitesse, on peut en déduire une **formulation pertinente du déclenchement**.

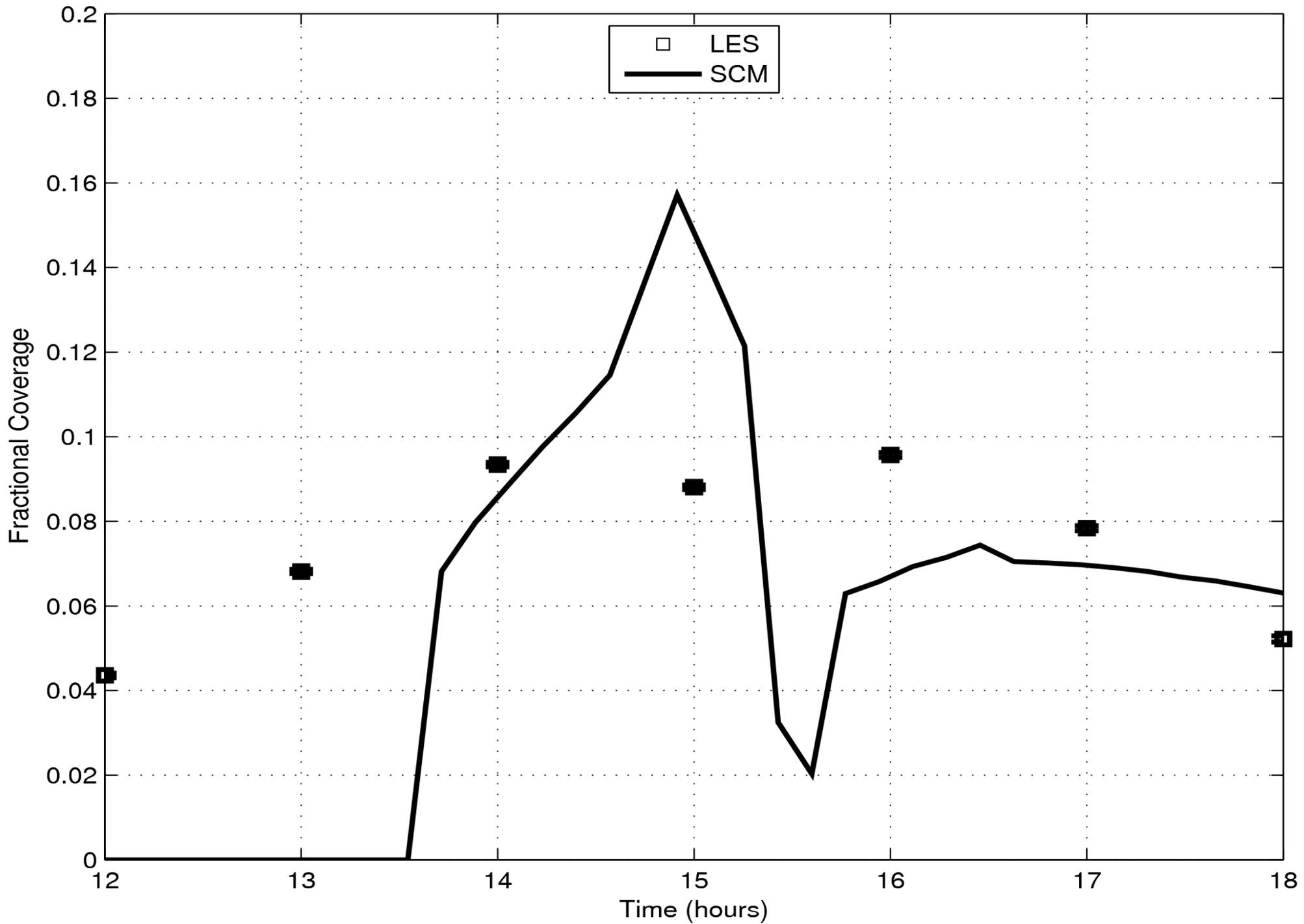
Mais ce n'est là qu'une première étape...

Que faire quand l'inhibition est nulle ?

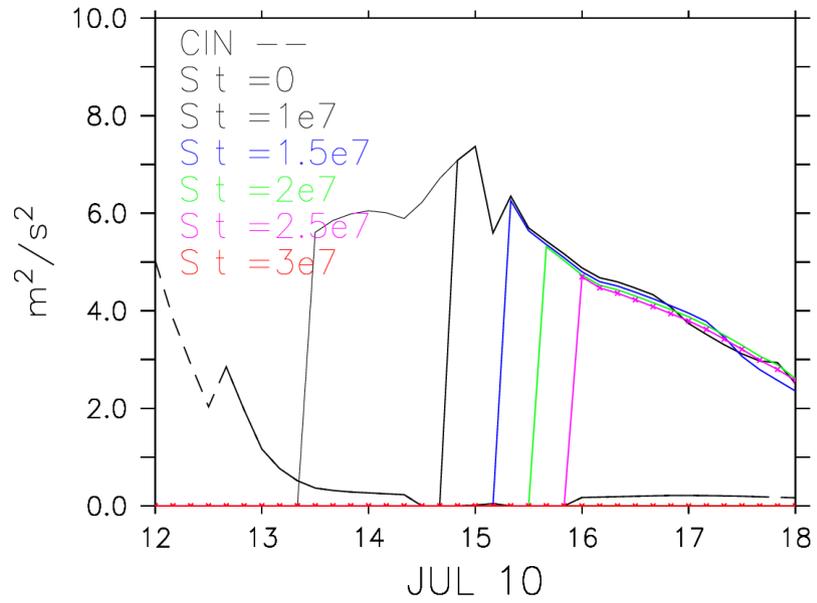
Merçi pour votre attention !



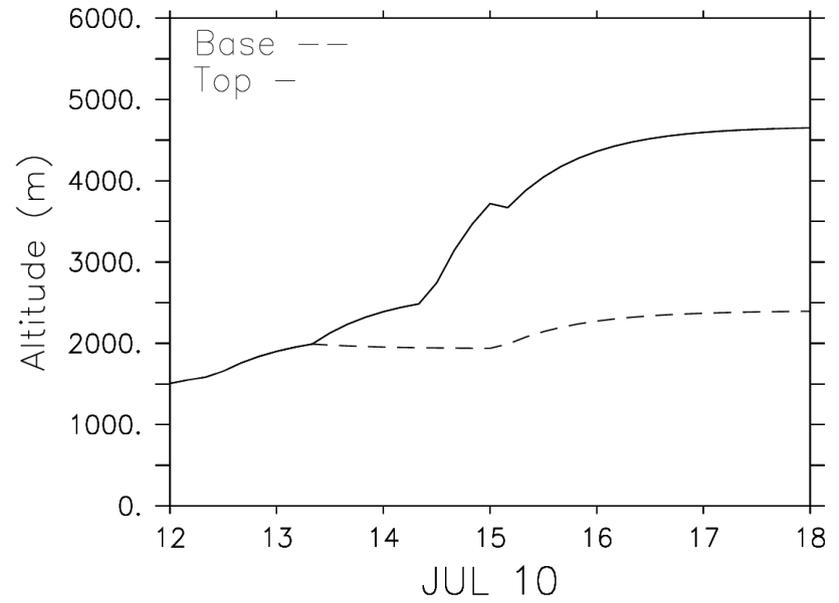




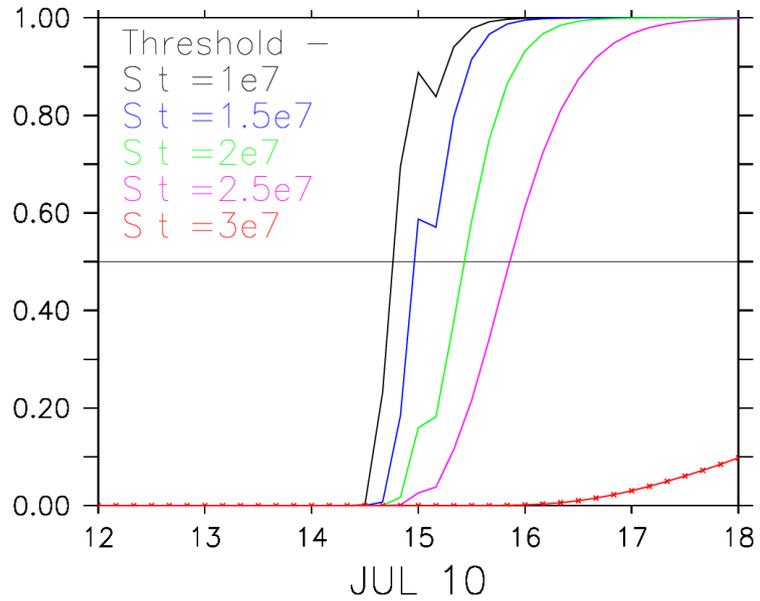
5. AMMA



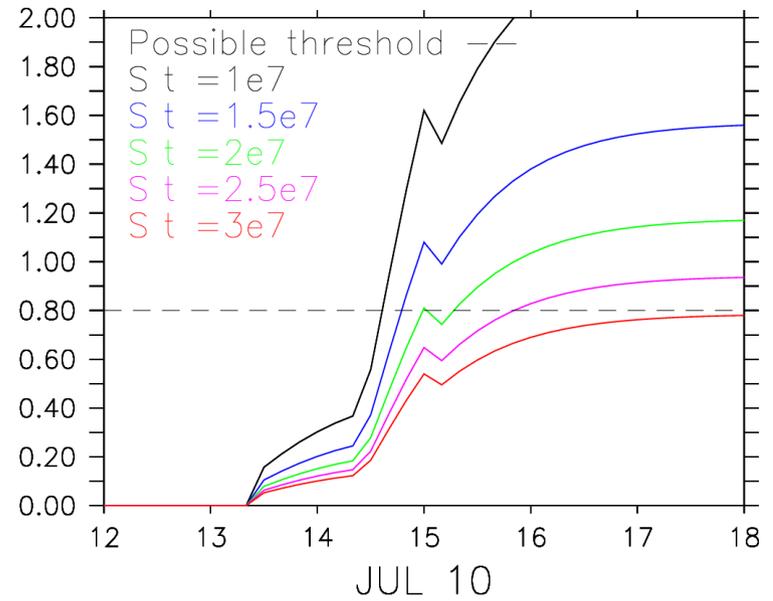
ALE & CIN



Cloud Base & Top

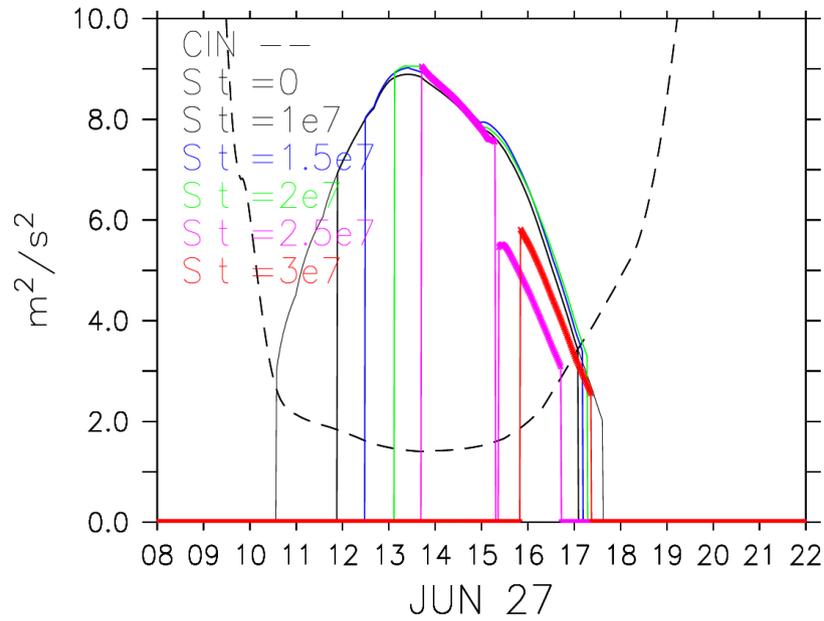


Integrated Triggering probability

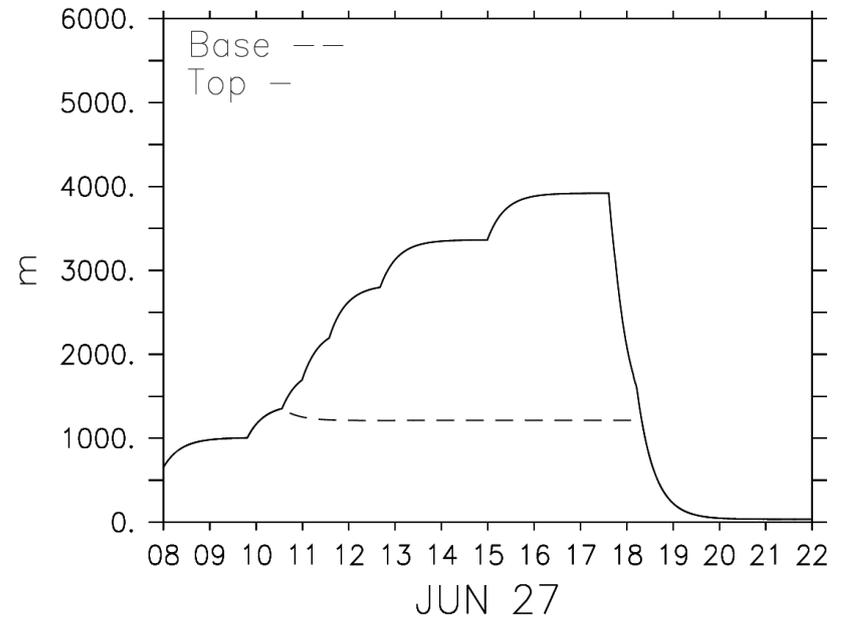


$S_{max} / S_{trigger}$

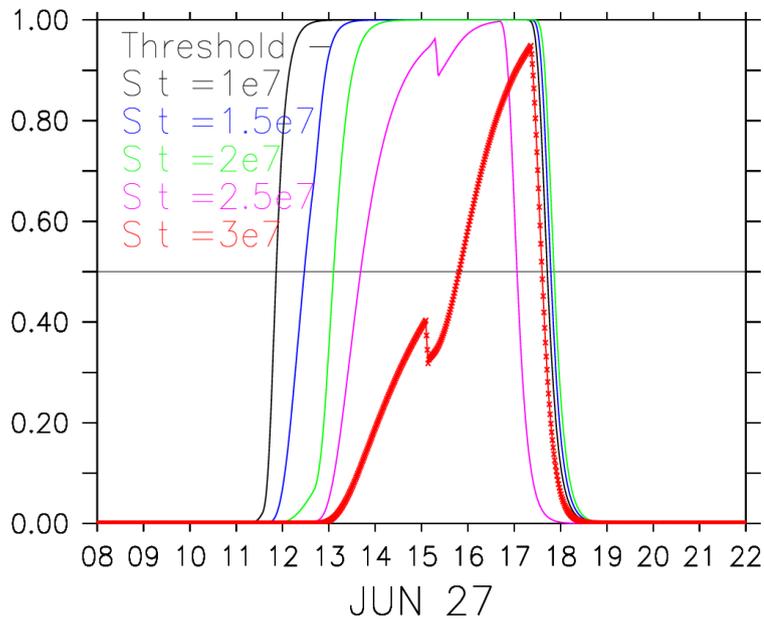
5. EUROCS_CvP



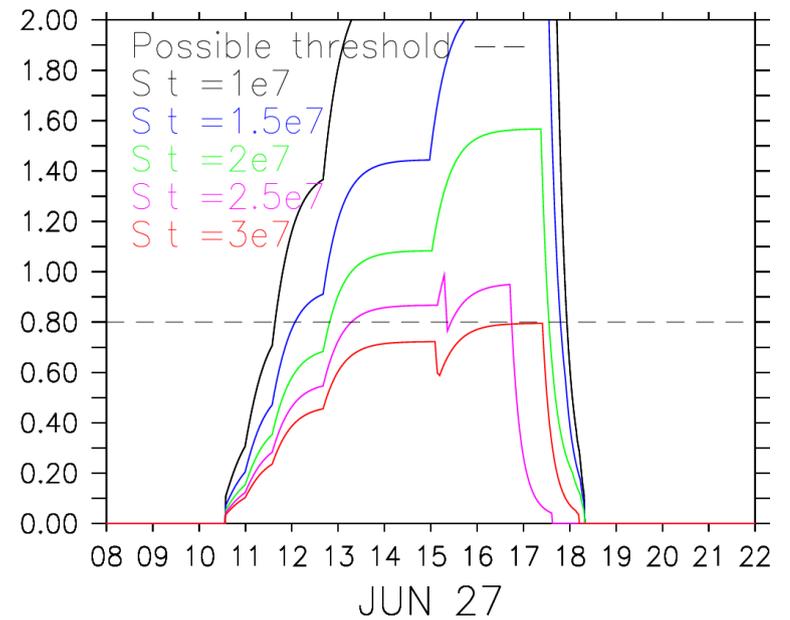
ALE & CIN



Cloud Base & Top

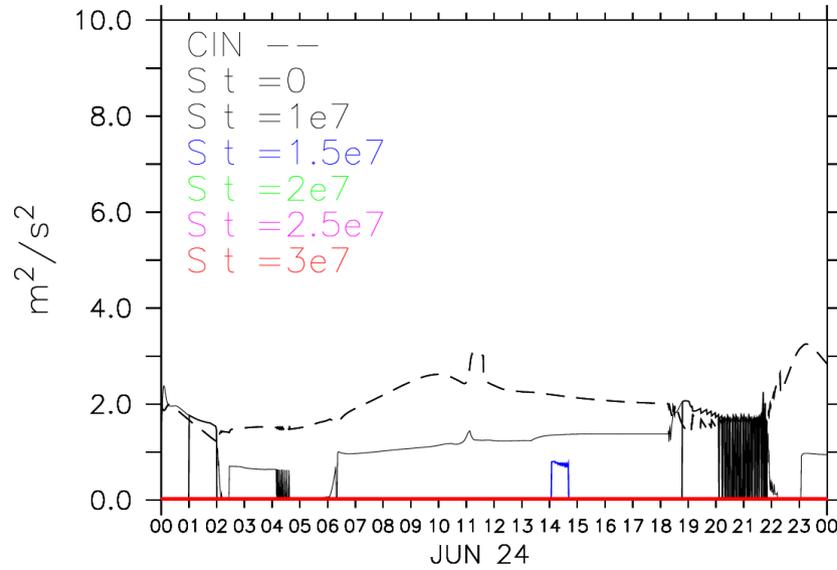


Integrated Triggering probability

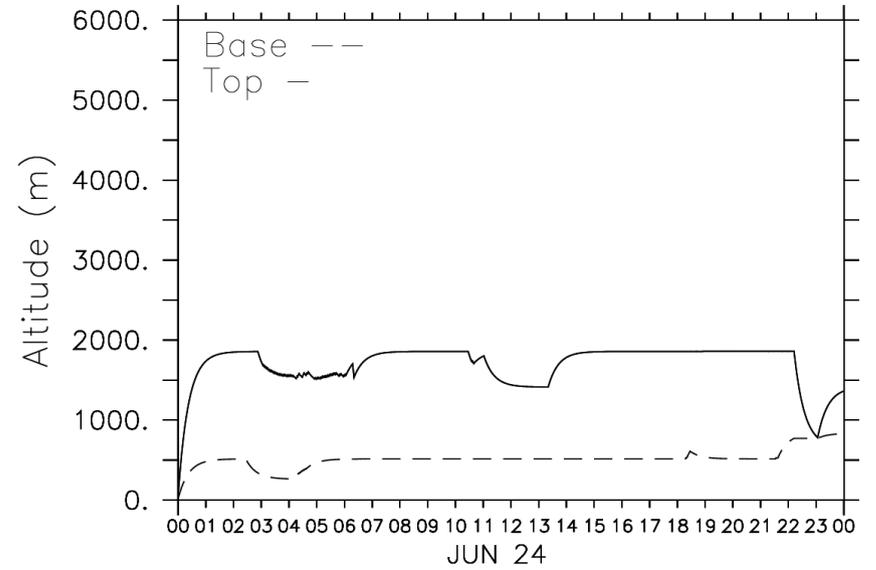


$S_{max} / S_{trigger}$

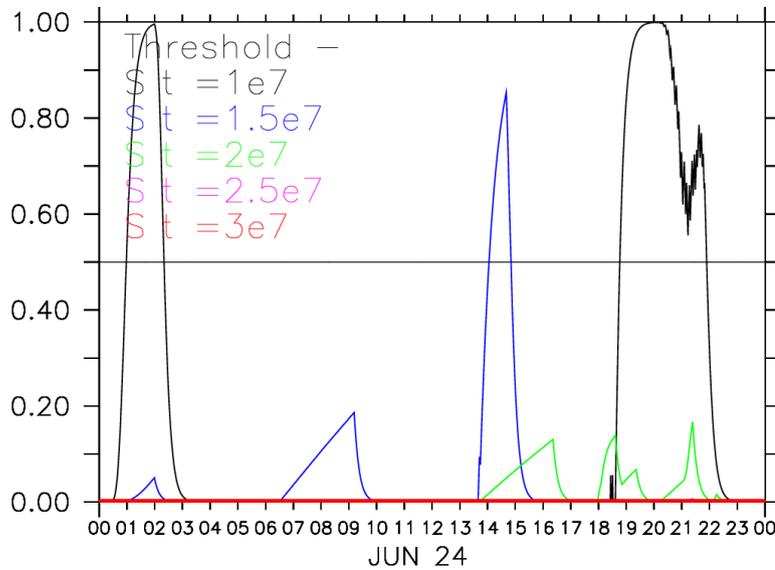
5. BOMEX



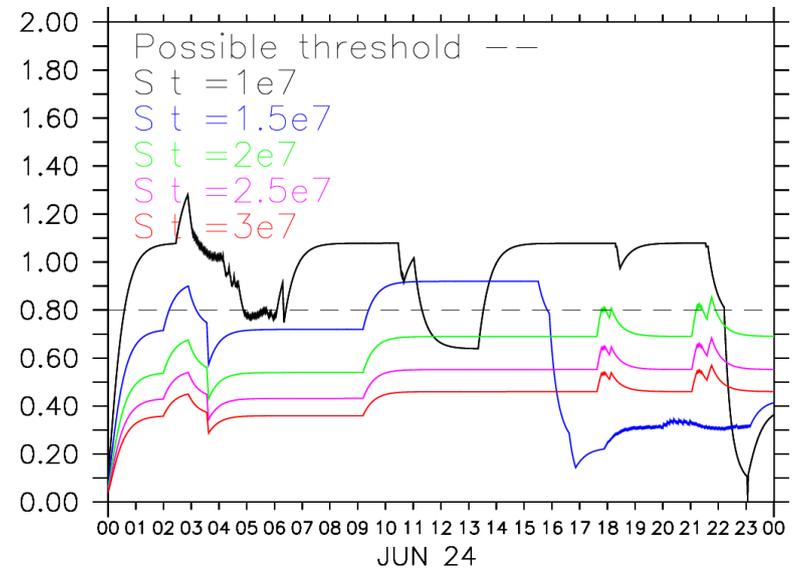
ALE & CIN



Cloud Base & Top

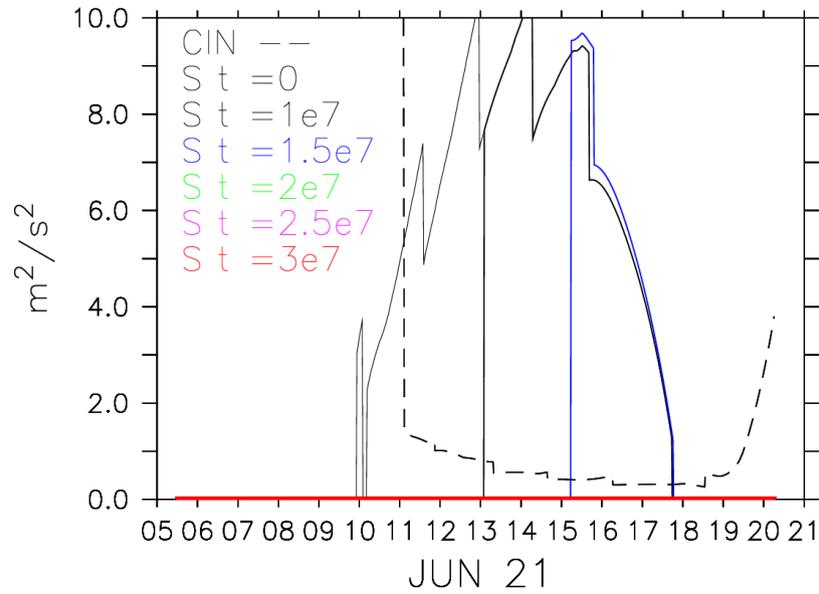


Integrated Triggering probability

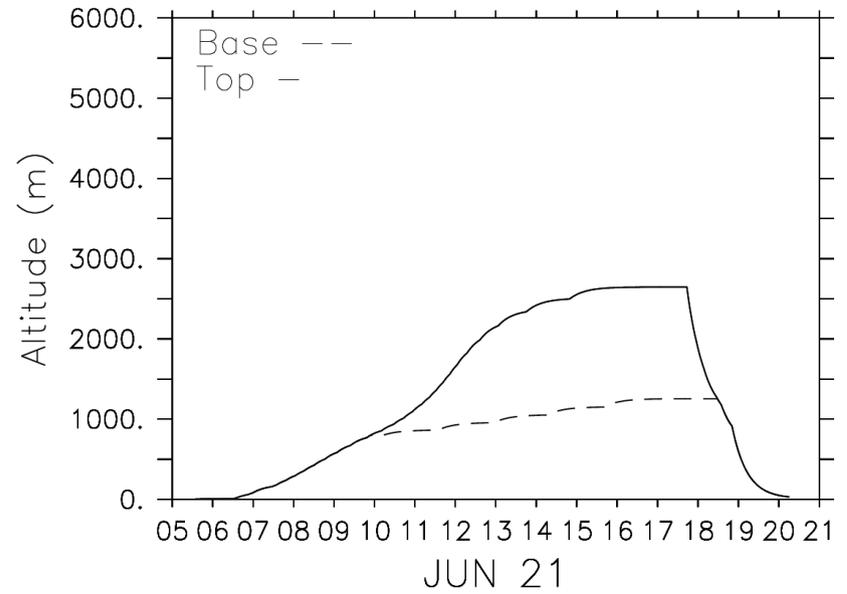


$S_{max} / S_{trigger}$

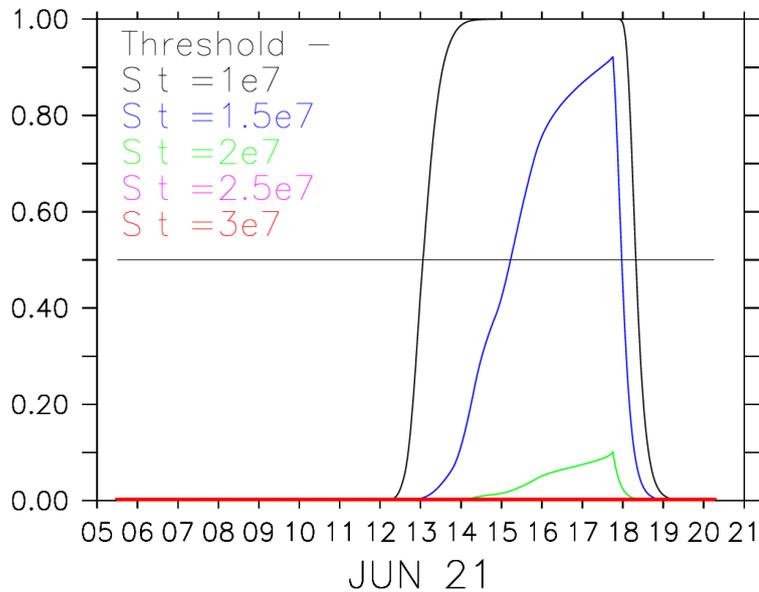
5. EUROCS Cu



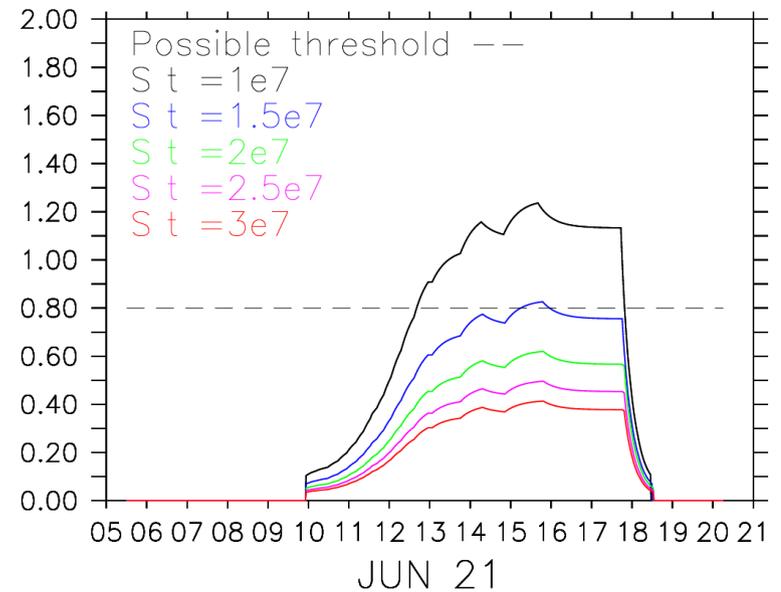
ALE & CIN



Cloud Base & Top (m)



Integrated Triggering probability



S max / S trigger