



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Prévisions d'ensemble de dispersion de cendres volcaniques

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère
Toulouse, 18/03/2026

DSM/CS/ENV - Mathieu Deslandes, François Besson, Marine Jeoffrion, Cécile Cazalet, Gaëlle Collin, Elvis Renard
dsm_cs_env@meteo.fr

Plan

- Contexte
- Morage Accident
- Constitution d'un ensemble de prévisions
- Exemple
- Évaluation
- Perspectives



*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

Plan

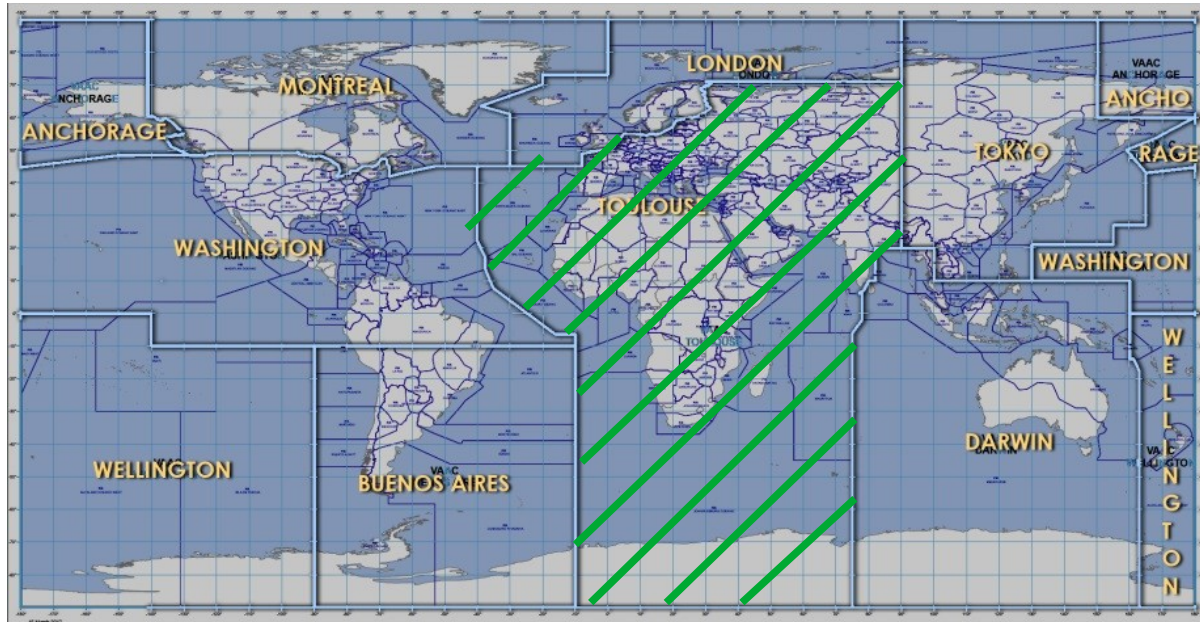
- **Contexte**
- Morage Accident
- Constitution d'un ensemble de prévisions
- Exemple
- Évaluation
- Perspectives



*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

Contexte

- Météo France : Volcanic Ash Advisory Centre (VAAC)
- Région OACI VAAC Toulouse
- En cas d'éruption, production réglementaire au sens OACI

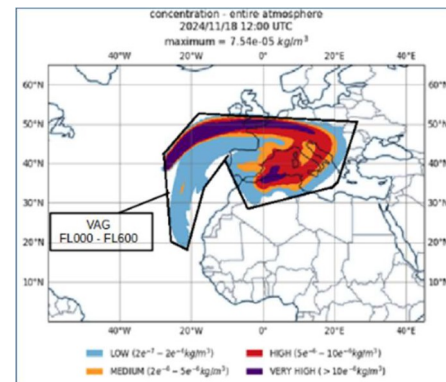
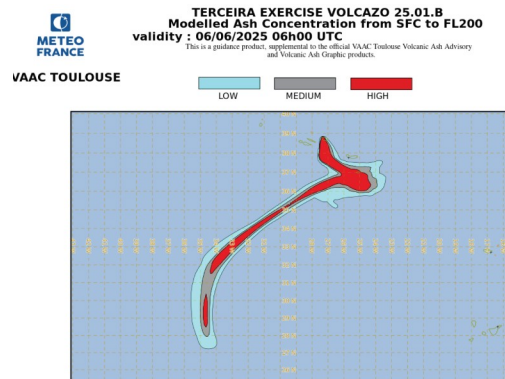


• Production du VAAC

- Basée sur
 - observations (satellites, pirep, webcams, ...)
- Sorties de modèles de dispersion
 - Mocage Accident (domaine global)
 - Flexpart (domaine local)
- Constituée de
 - bulletins/cartes d'avertissement de cendres volcaniques
 - cartes de concentrations (seuils)

• Depuis novembre 2025 (VAAC Toulouse) : **Quantitative Volcanic Ash**

- 4 seuils de concentrations (faibles / modérées / fortes / très fortes)
- 12 niveaux verticaux
- Tri horaire → +24h
- => données déterministes
- **Et probabilités de dépassement** pour les 4 seuils



Plan

- Contexte
- **Mocage Accident**
- Constitution d'un ensemble de prévisions
- Exemple
- Évaluation
- Perspectives



*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

Mocage Accident

- Version de Mocage sans chimie (contraintes opérationnelles de temps de calcul pour situation d'urgences)
 - Approche eulérienne, schéma de transport semi-lagrangien
 - Domaine global à 0.5°
 - Domaine imbriqué ($0.125^\circ / 0.1^\circ$), centré sur le volcan ($60^\circ \times 60^\circ$)
 - Forçages météo en opérationnel (CEP ou ARPEGE)
- Champs :
 - Concentration sur tous les niveaux modèles
 - Colonne totale
 - Dépôts sec, humide

- **Terme source**
 - **caractérisation du polluant**
 - 1 ou 6 tailles de particules de cendres (distributions pré-définies)
 - Densité
 - Vitesse de dépôt
 - ...
 - **Caractérisation du panache**
 - Hauteur du panache
 - Profil vertical (répartition sur la verticale de la quantité de cendres émises)
 - Quantité émise
 - Durée
 - ...

Plan

- Contexte
- Morage Accident
- **Constitution d'un ensemble de prévisions**
- Exemple
- Évaluation
- Perspectives



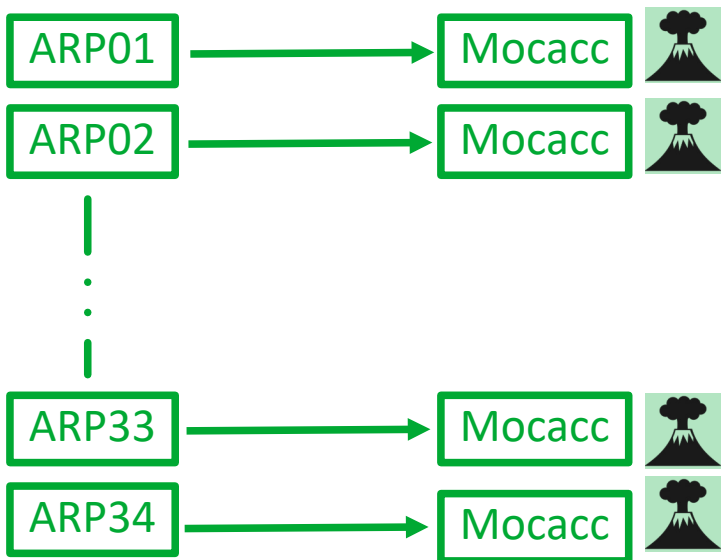
*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

- Dispersions de cendres volcaniques : deux sources d'incertitudes

Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

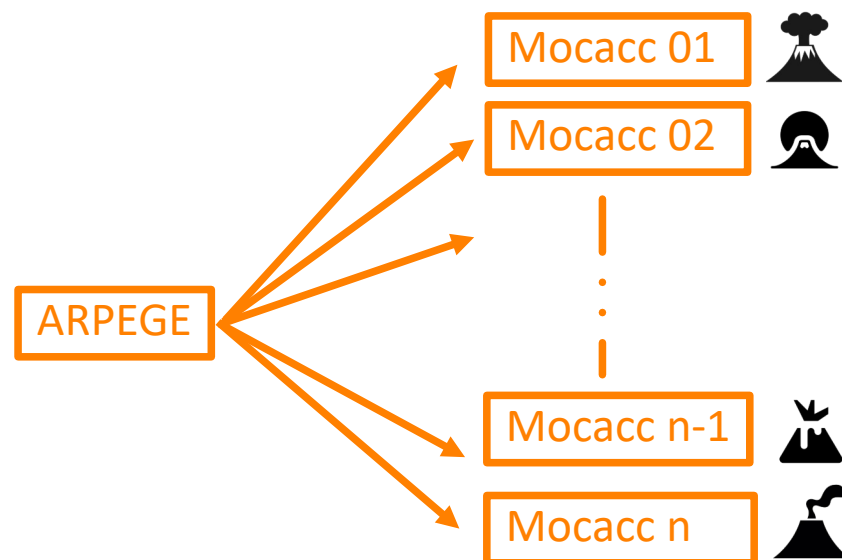
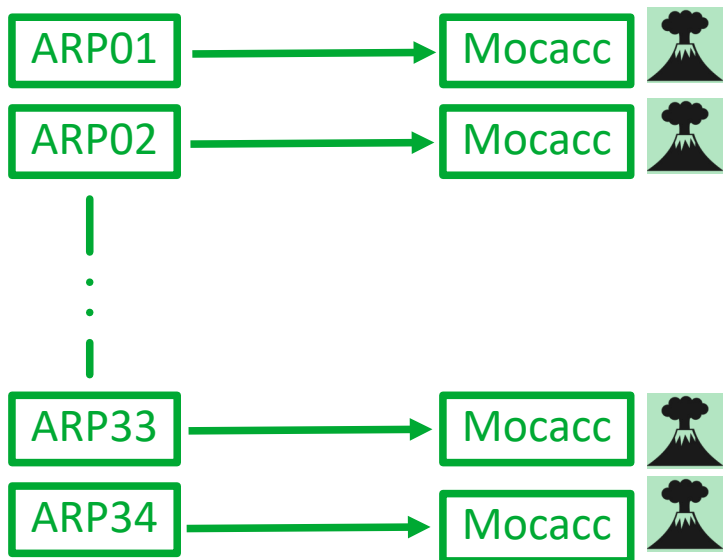
- Dispersions de cendres volcaniques : deux sources d'incertitudes
 - forçages météorologiques



- Choix de plusieurs VAAC (Londres, Montreal, ...)
- Pas VAAC Toulouse pour des contraintes opérationnelles
 - Complexité d'implémentation
 - Coûts calculs (forçages + 35 runs Mocage Accident)

Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

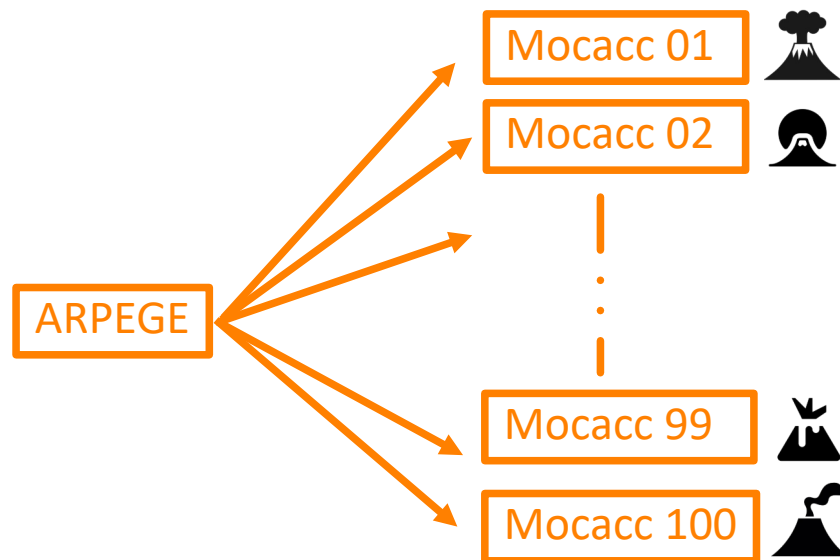
- Dispersions de cendres volcaniques : deux sources d'incertitudes
 - forçages météorologiques
 - Estimation du terme source



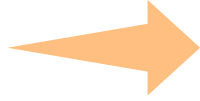
Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

- Dispersions de cendres volcaniques : deux sources d'incertitudes
 - forçages météorologiques
 - Estimation du terme source

- Incertitude forte sur terme source (quantité, ...)
- Incertitude forçages météo à +24h moindre.
- Moindre complexité de mise en œuvre
- *Mais représentativité échantillon ?*



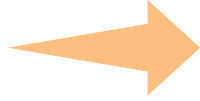
Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident



Estimation du terme source

- **Paramètres du terme source perturbés**
 - Hauteur du panache

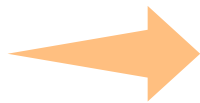
Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident



Estimation du terme source

- **Paramètres du terme source perturbés**
 - Hauteur du panache
 - Quantité émise

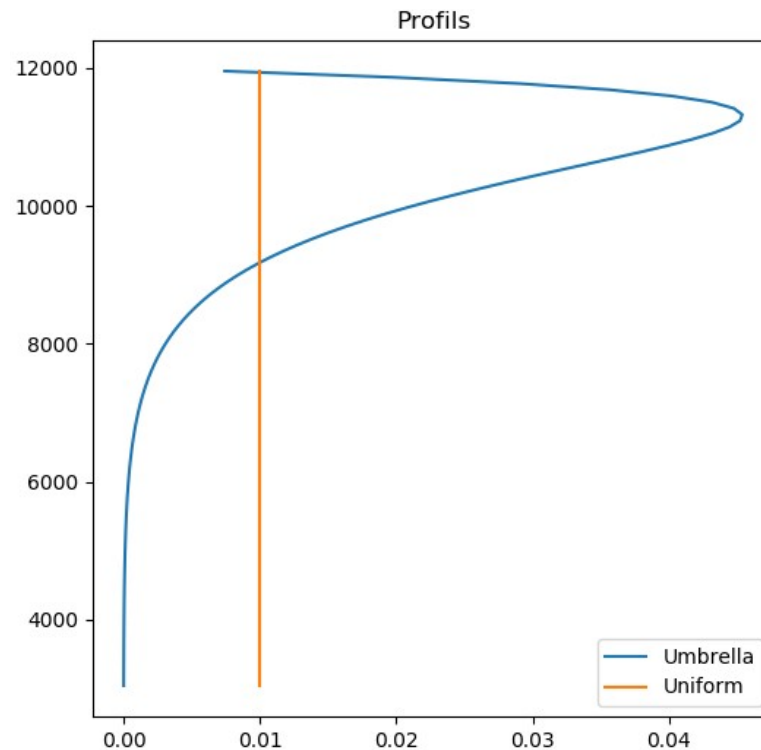
Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident



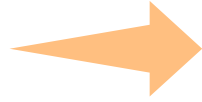
Estimation du terme source

- **Paramètres du terme source perturbés**

- Hauteur du panache
- Quantité émise
- Profil d'émission sur la verticale



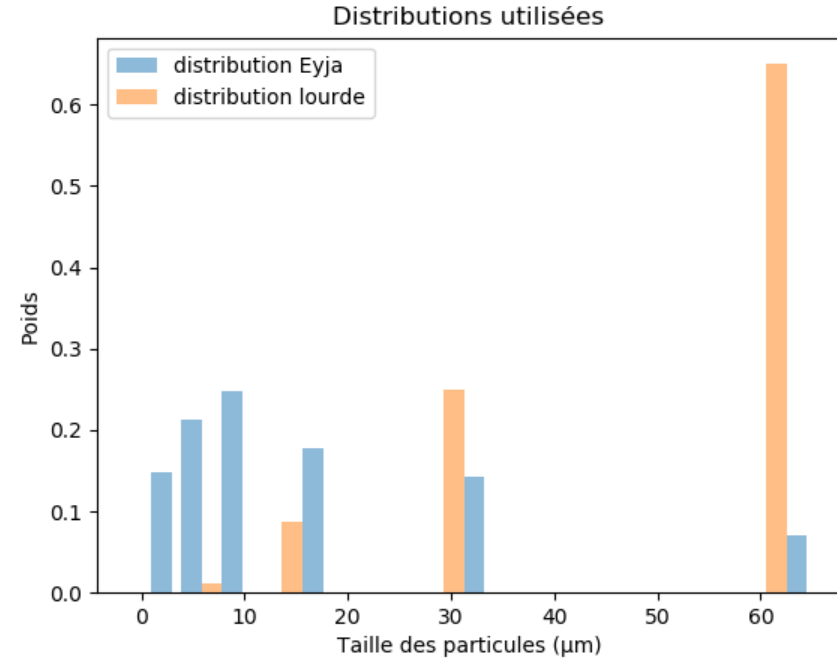
Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident



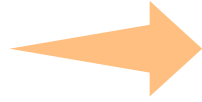
Estimation du terme source

- **Paramètres du terme source perturbés**

- Hauteur du panache
- Quantité émise
- Profil d'émission sur la verticale
- Distribution selon les tailles de particules



Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident



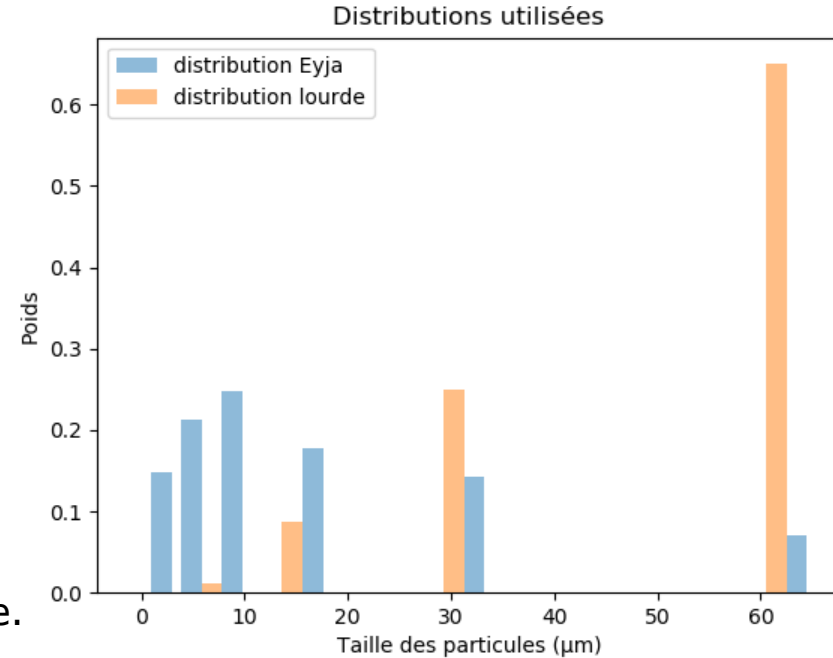
Estimation du terme source

- **Paramètres du terme source perturbés**

- Hauteur du panache
- Quantité émise
- Profil d'émission sur la verticale
- Distribution selon les tailles de particules

- **Principe**

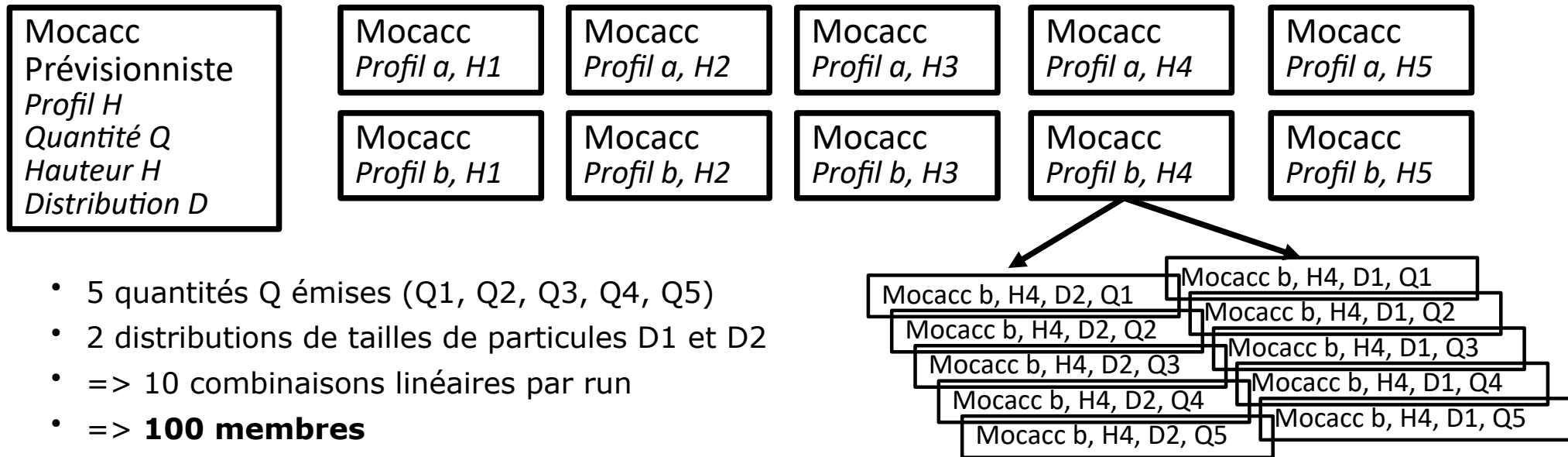
- Un polluant = panache de particules de taille unique fixée.
- Un polluant = traceur passif indépendant (pas de chimie)
- => linéarité des concentrations : quantité(polluant ϵ) x n => concentration(polluant ϵ) x n



Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

• Configuration :

- 5 hauteurs H de panache (H1, H2, H3, H4, H5)
- 2 profils P d'émission (profil a, profil b)
- => lancement de 10 runs (P, H) + run du prévisionniste



- 5 quantités Q émises (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5)
- 2 distributions de tailles de particules D1 et D2
- => 10 combinaisons linéaires par run
- => **100 membres**

Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

- Variation des paramètres hauteur H / distribution / quantité Q / profil :
 - Run déterministe : choix par les prévisionnistes.
 - Ensemble de prévision : niveau de confiance accordé par les prévisionnistes

Faible confiance

Forte confiance

Hauteur panache
 $H_{\text{prévisionniste}}$

-20 / -10 / 0 / +10 / +20 %

-10 / -5 / 0 / +5 / +10 %

Quantité émise
 $Q_{\text{prévisionniste}}$

x3.0 / x2.0 / x1.0 / x0.5 / x0.33

x1.5 / x1.25 / x1.0 / x0.8 / x0.66

Constitution d'un ensemble de prévisions Mocage Accident

- Variation des paramètres hauteur H / distribution / quantité Q / profil :
 - Run déterministe : choix par les prévisionnistes.
 - Ensemble de prévision : niveau de confiance accordé par les prévisionnistes

Faible confiance

Forte confiance

Distribution*

deux distributions figées

+/-20 % de particules fines

Profil vertical

deux profils fixés

Deux profils dépendant du profil
choisi par le prévisionniste

* taille unique : gaussienne centrée sur cette taille

Plan

- Contexte
- Morage Accident
- Constitution d'un ensemble de prévisions
- **Exemple**
- Évaluation
- Perspectives

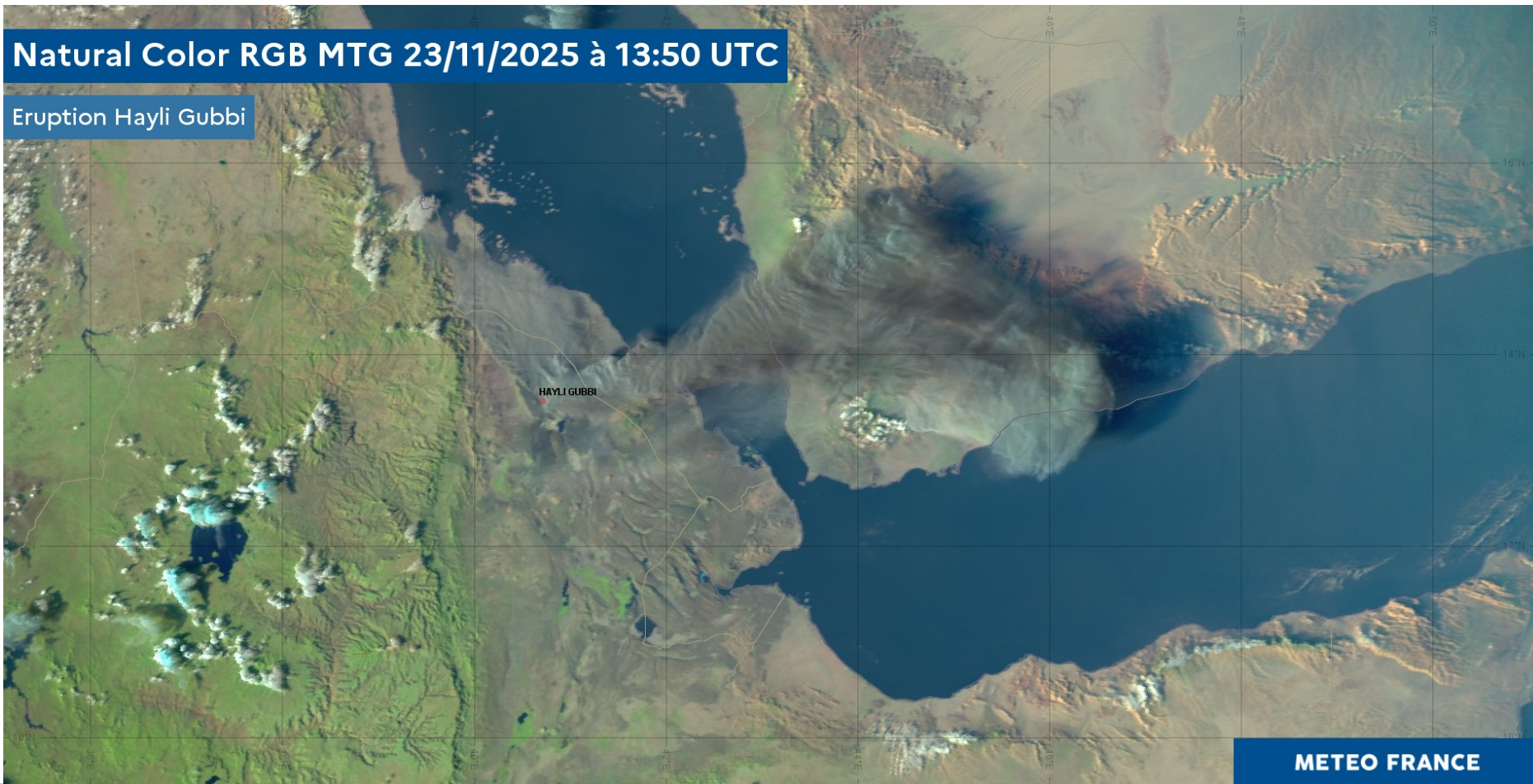


*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

Exemple : haily Gubbi 23 novembre 2026, 8h30 UTC

Natural Color RGB MTG 23/11/2025 à 13:50 UTC

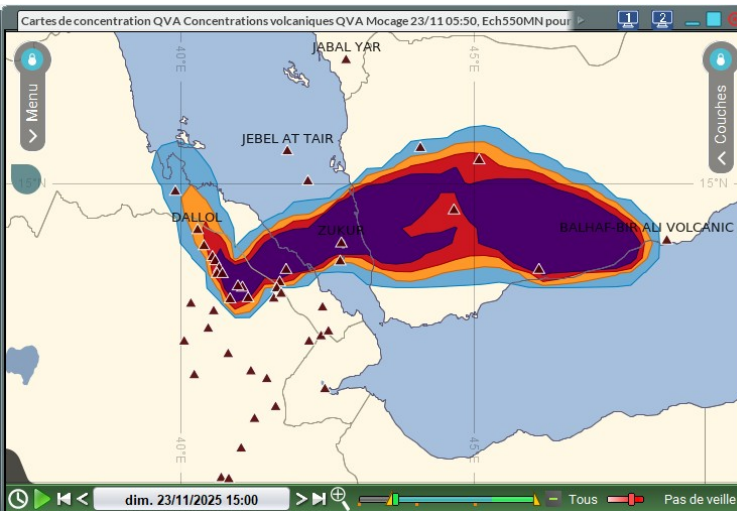
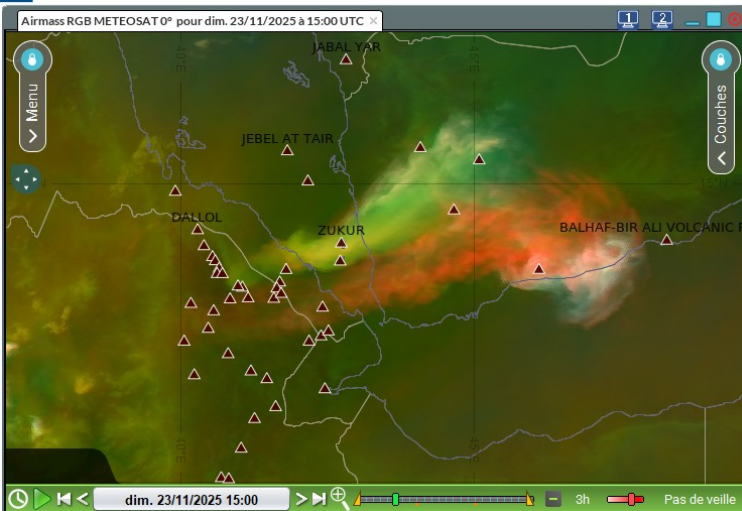
Eruption Hayli Gubbi



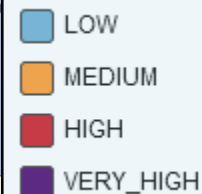
Exemple : haily Gubbi 23 novembre 2026, 15h UTC

@thomas Marmigere

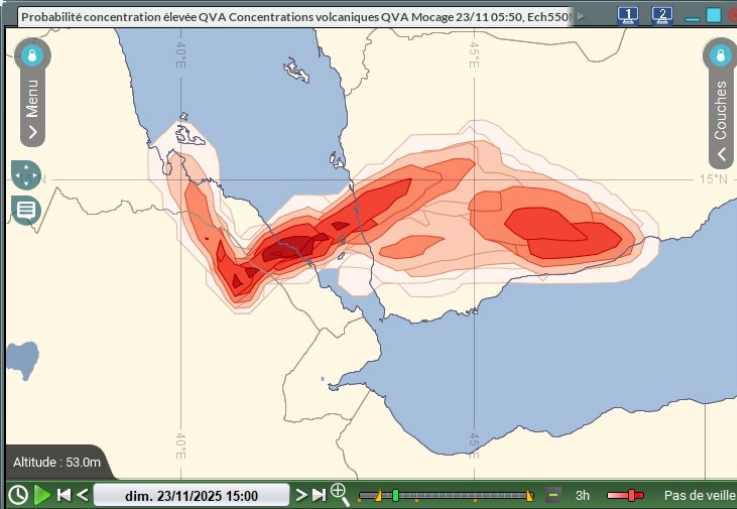
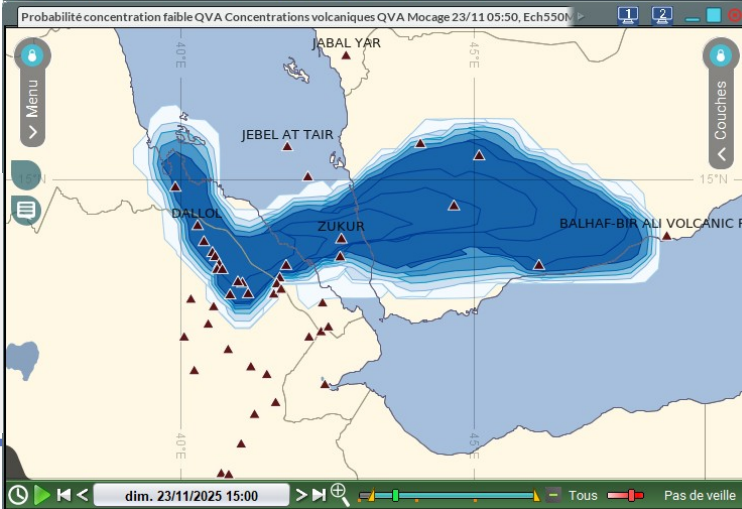
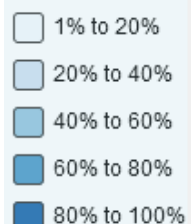
MTG
Airmass



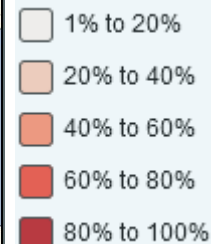
Mocage-
Accident
déterministe



Probabilité
concentrations
faibles



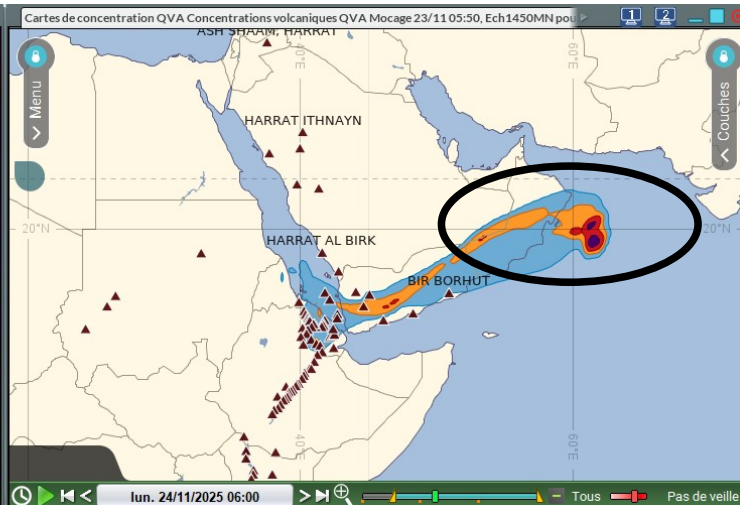
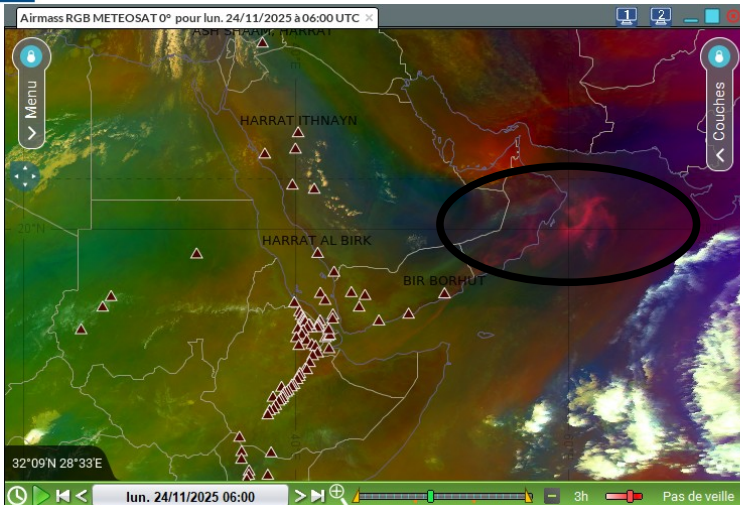
Probabilité
concentrations
élevées



Exemple : Haily Gubbi 24 novembre 2026, 6h UTC

@thomas Marmigere

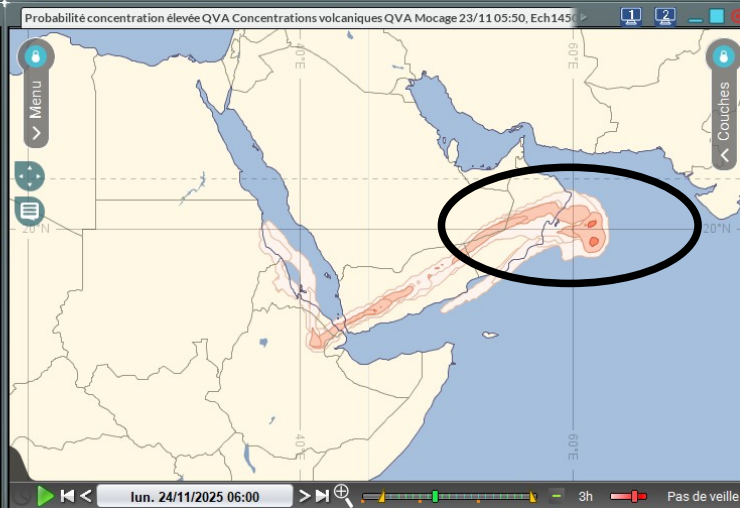
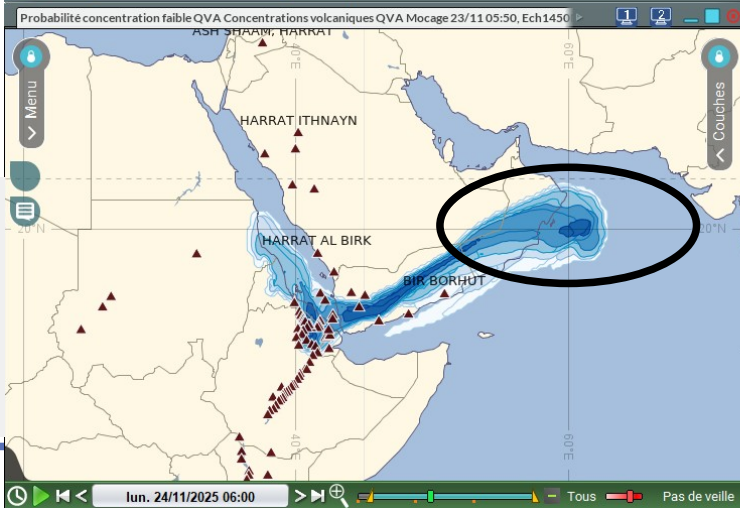
MTG
Airmass



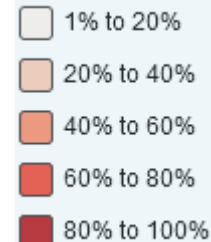
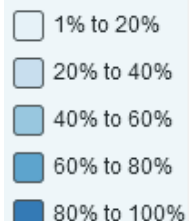
Mocage-
Accident
déterministe



Probabilité
concentrations
faibles



Probabilité
concentrations
élevées



Plan

- Contexte
- Morage Accident
- Constitution d'un ensemble de prévisions
- Exemple
- **Évaluation**
- Perspectives

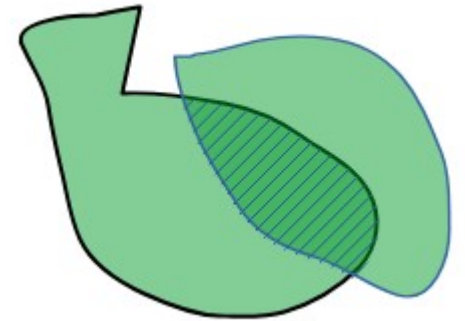


*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

- Comparaisons entre membres / déterministe
- Comparaisons avec un ensemble basé sur PEARP
- Comparaisons entre VAAC

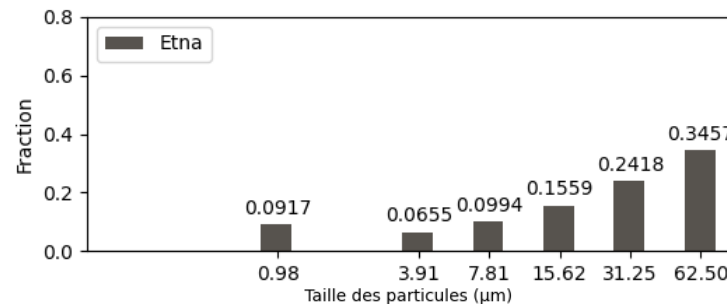
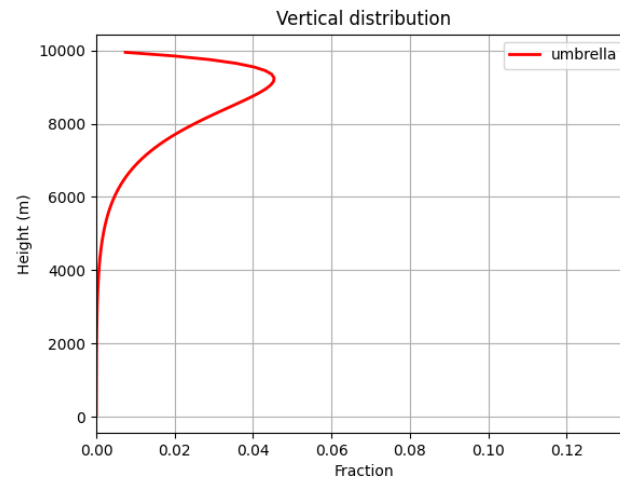
=> Métriques

- Concentration max sur la verticale pour un seuil donné
 - Success Index $\frac{\text{surface panache membre } x \cap \text{surface panache run prévi}}{\text{surface panache membre } x \cup \text{surface panache run prévi}}$
 - Surfaces occupées (degrés x degrés)



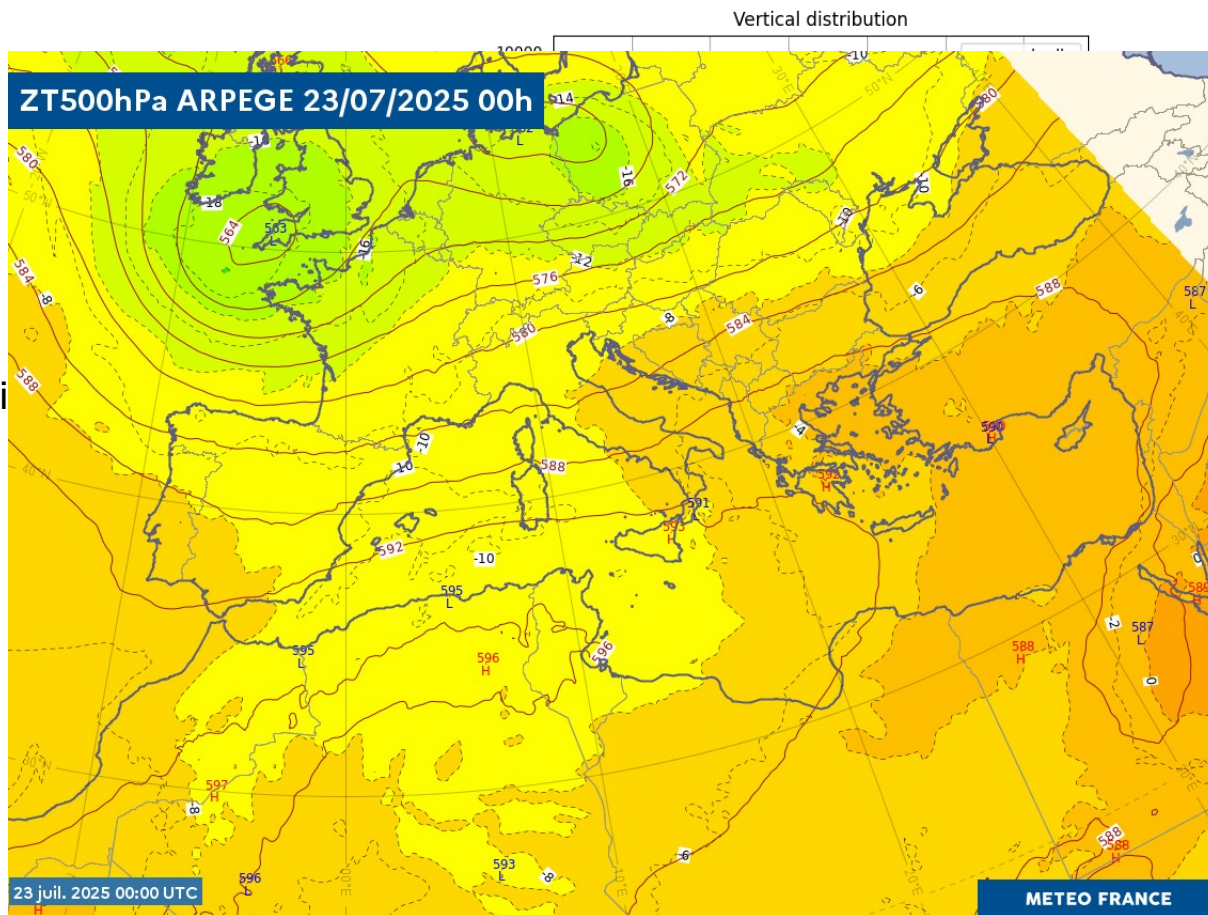
Exemple : éruption fictive Etna

- Situation synoptique – 23 juillet 2025
- Eruption : le 23 juillet à 0h UTC
- Durée : 12h
- Sommet panache : 12km
- Profil vertical : umbrella (pic de quantité émise en altitude)
- Distribution 6 tailles de particule.
- Forçage météo : ARPEGE run 0h



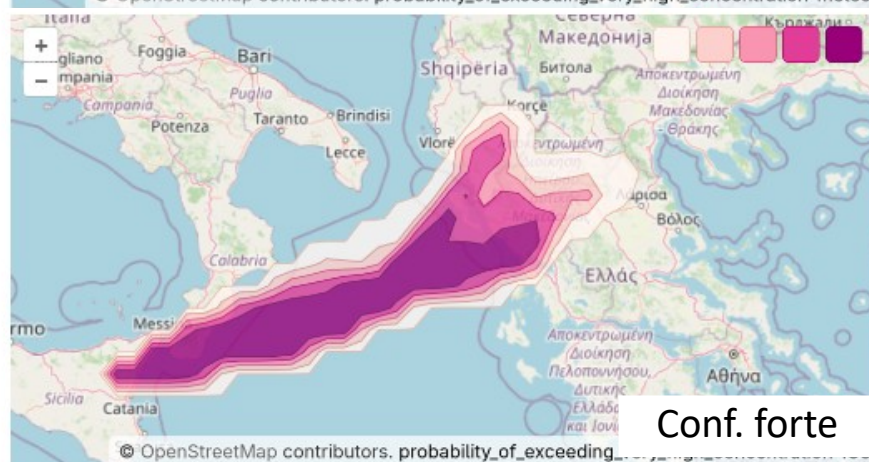
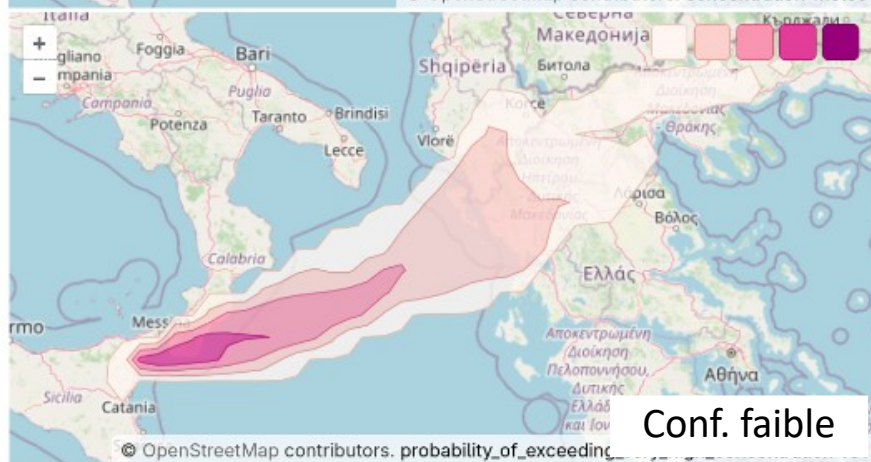
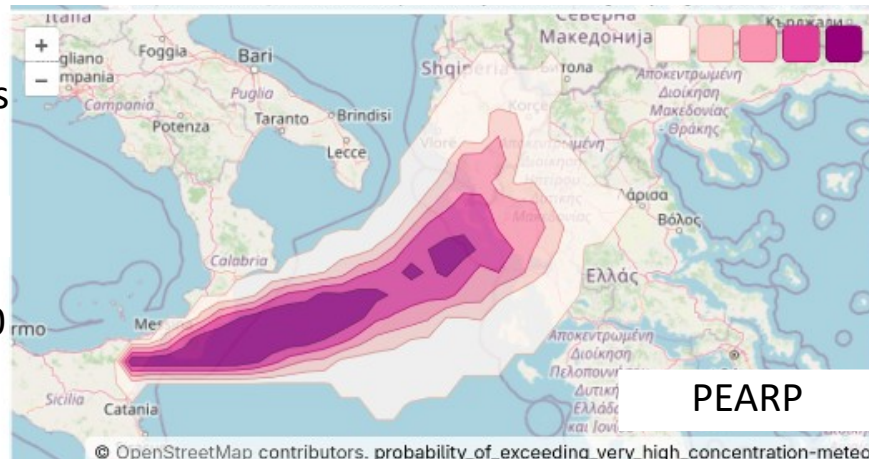
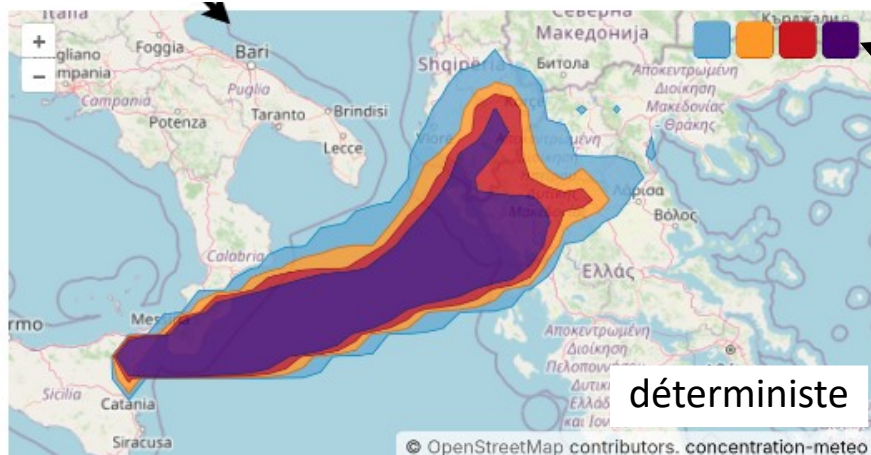
Exemple : éruption fictive Etna

- Situation synoptique – 23 juillet 2025
- Eruption : le 23 juillet à 0h UTC
- Durée : 12h
- Sommet panache : 12km
- Profil vertical : umbrella (pic de quantité)
- Distribution 6 tailles de particule.
- Forçage météo : ARPEGE run 0h



Exemple : éruption fictive Etna

@Mathieu Deslandes



Exemple : éruption fictive Etna

@Mathieu Deslandes



déterministe



Conf. faible

Conc.
modérées
+24h

FL200-250



PEARP



Conf. forte

Exemple : éruption fictive Etna

@Mathieu Deslandes

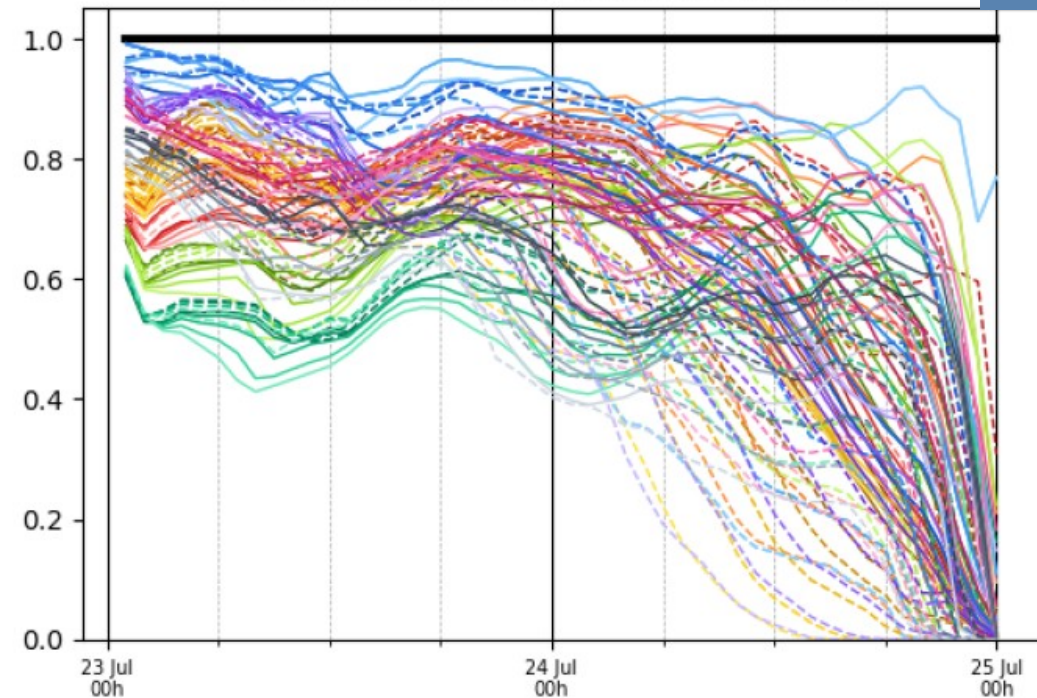
success index (référence : 000)

Concentration max - seuil: $2e-06 \text{ kg/m}^3$

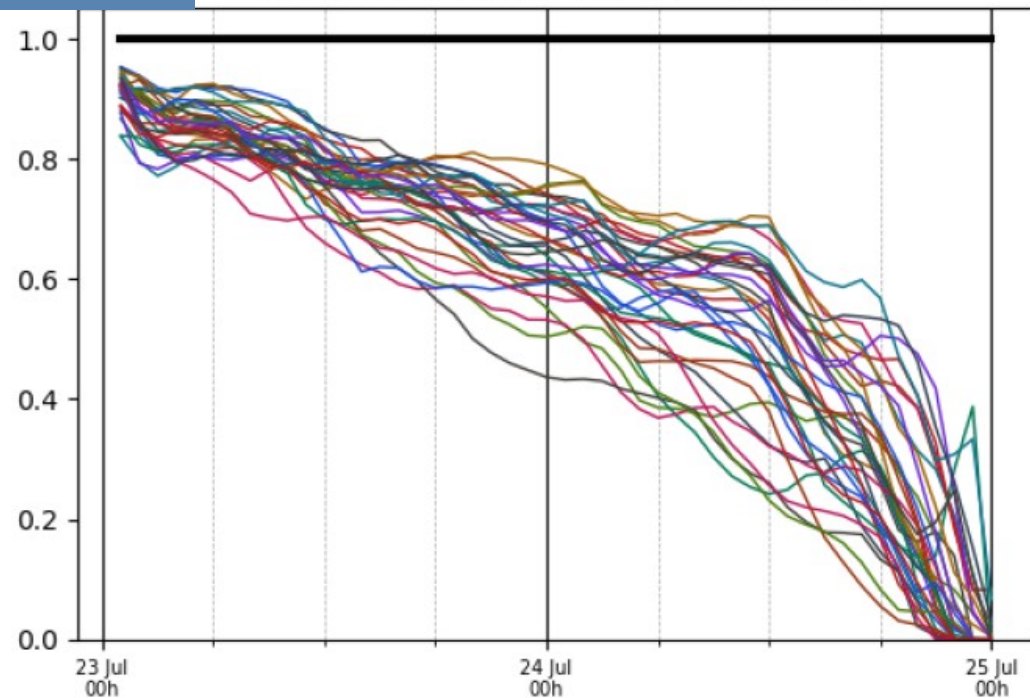
Conc. modérées

success index (référence : 000)

Concentration max - seuil: $2e-06 \text{ kg/m}^3$



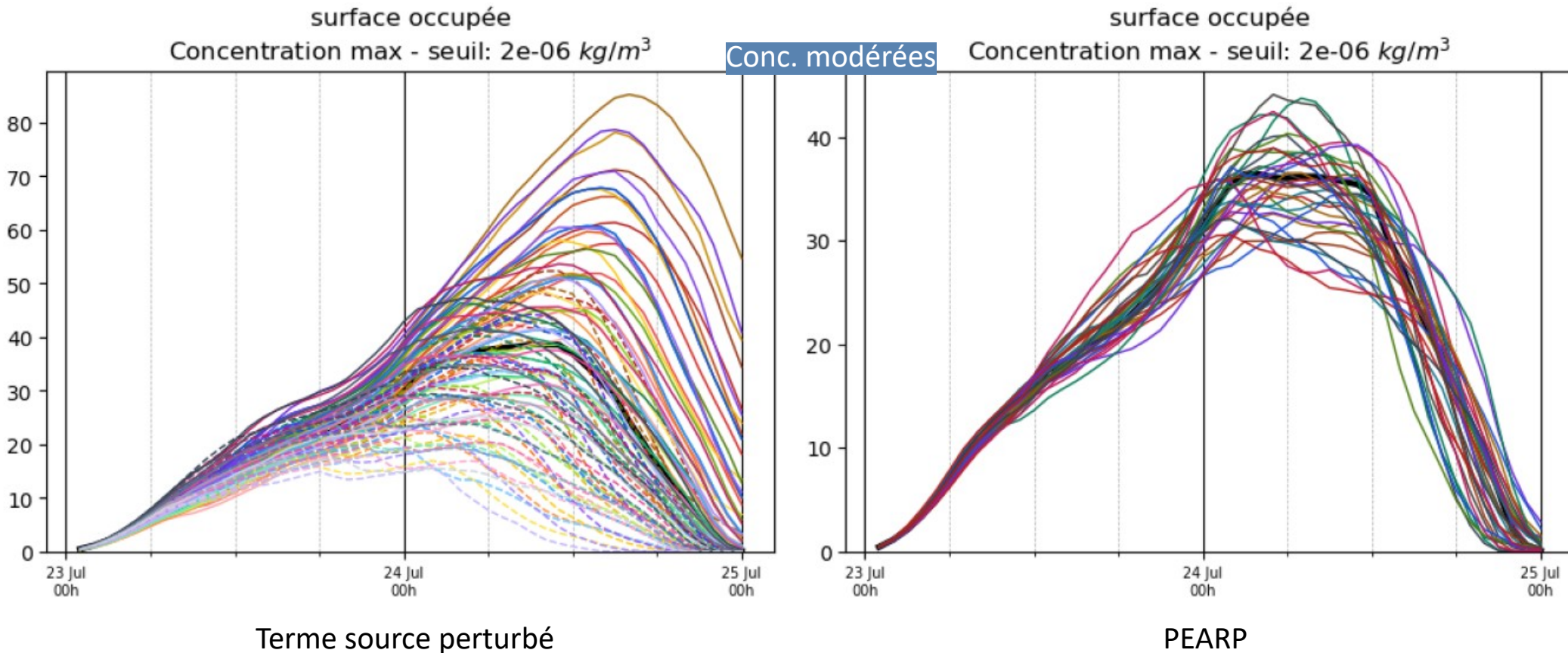
Terme source perturbé



PEARP

Exemple : éruption fictive Etna

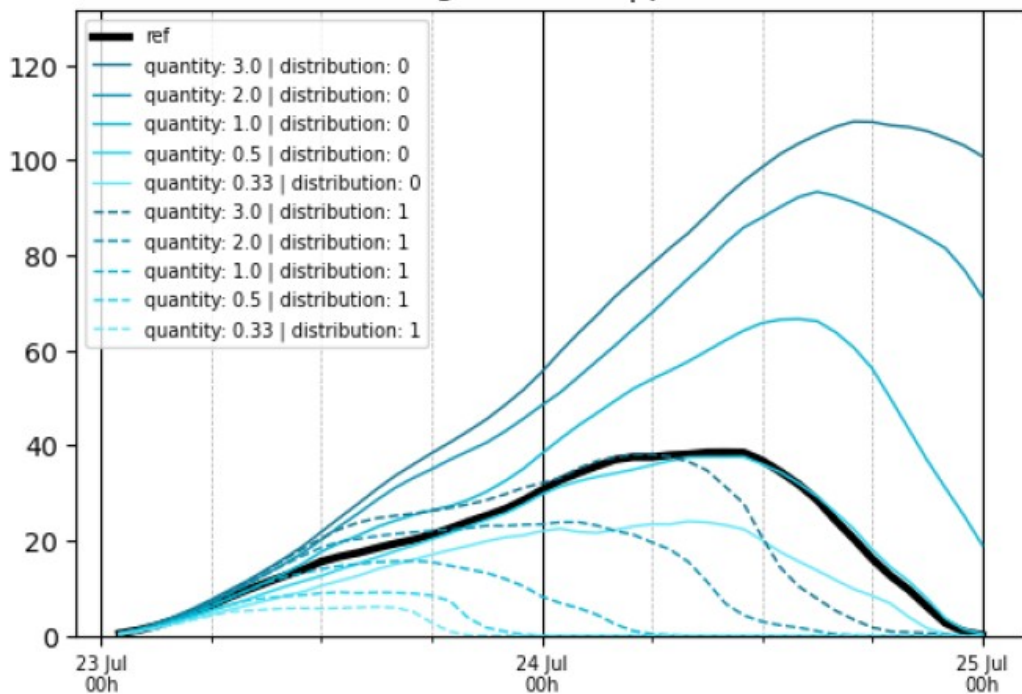
@Mathieu Deslandes



Exemple : éruption fictive Etna

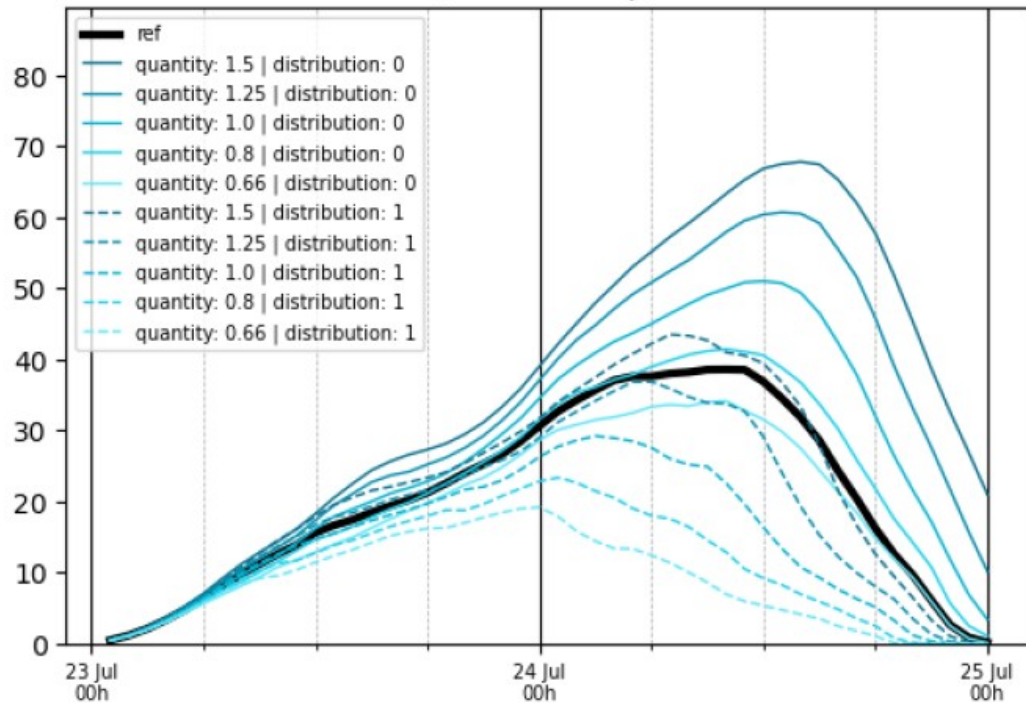
@Mathieu Deslandes

surface - Concentration max - threshold : **Conc. modérées**
run 006 => height: +0.0m | profile: umbrella



Terme source perturbé
Confiance faible

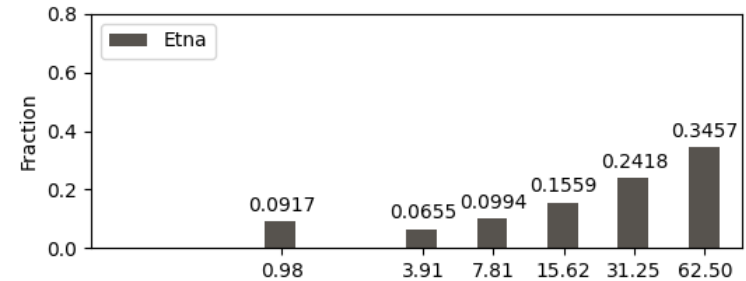
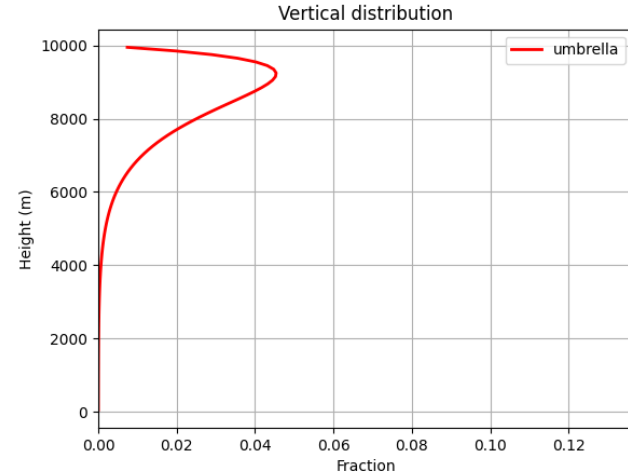
surface - Concentration max - threshold : **Conc. modérées**
run 006 => height: +0.0m | profile: umbrella



Terme source perturbé
Confiance forte

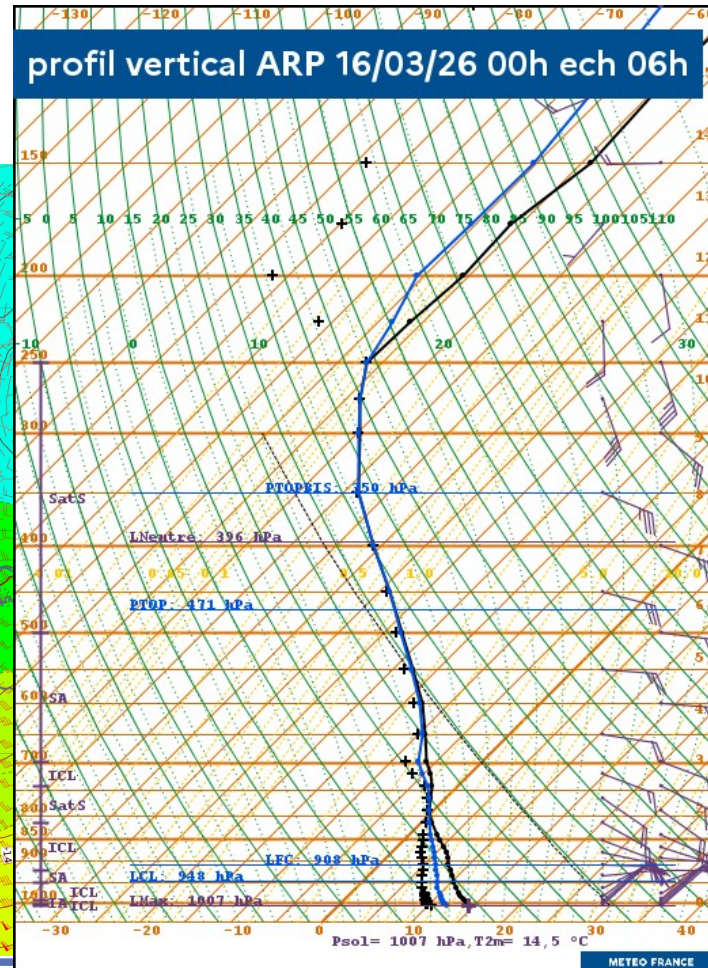
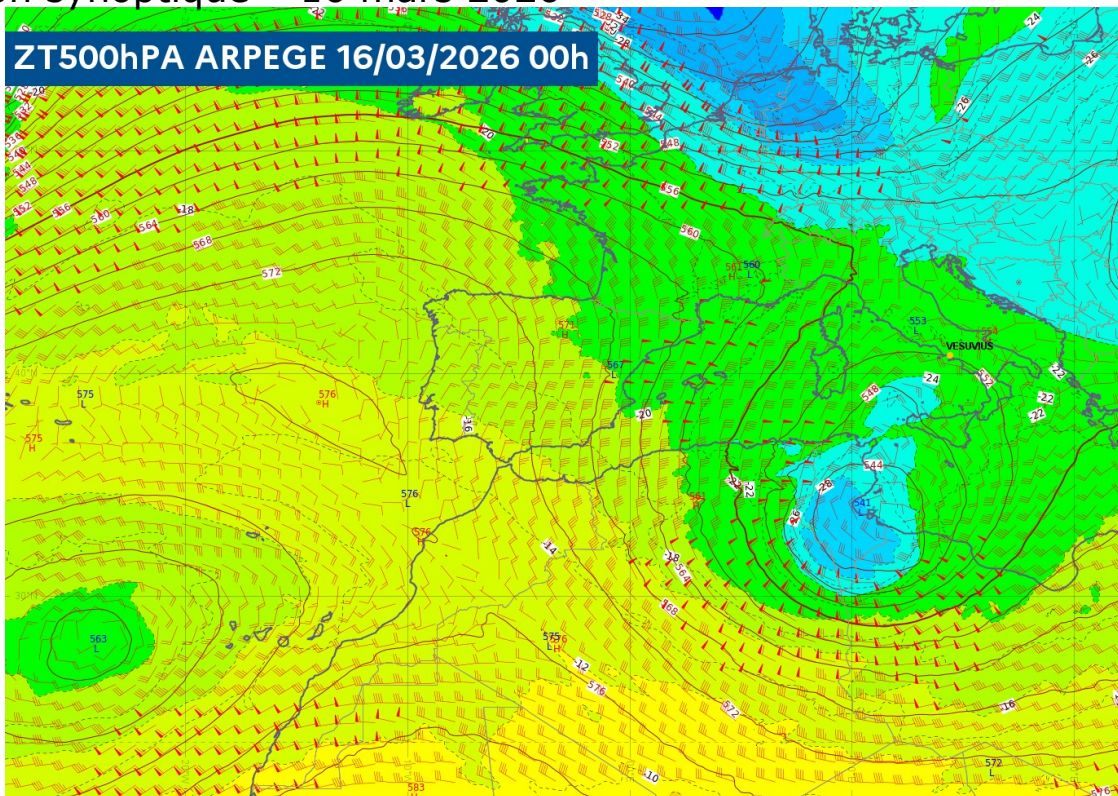
Exemple : éruption fictive Vésuve

- Situation synoptique – 16 mars 2026
- Eruption : le 16 mars à 6h UTC
- Durée : 2h
- Sommet panache : 12km
- Profil vertical : umbrella
- Distribution 6 tailles de particule.
- Forçage météo : ARPEGE run 0h



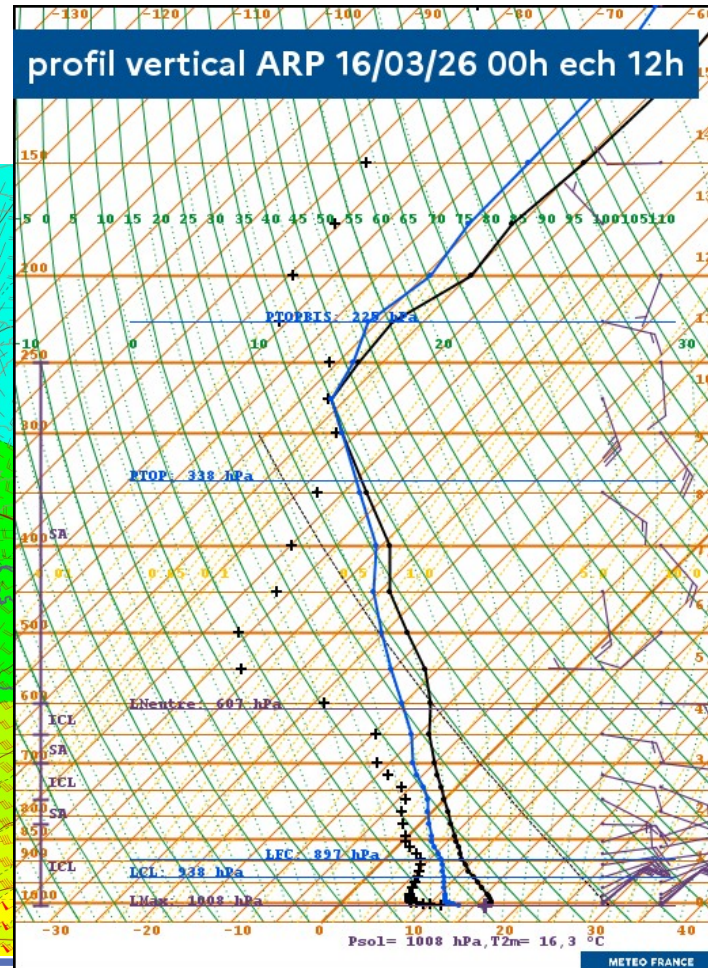
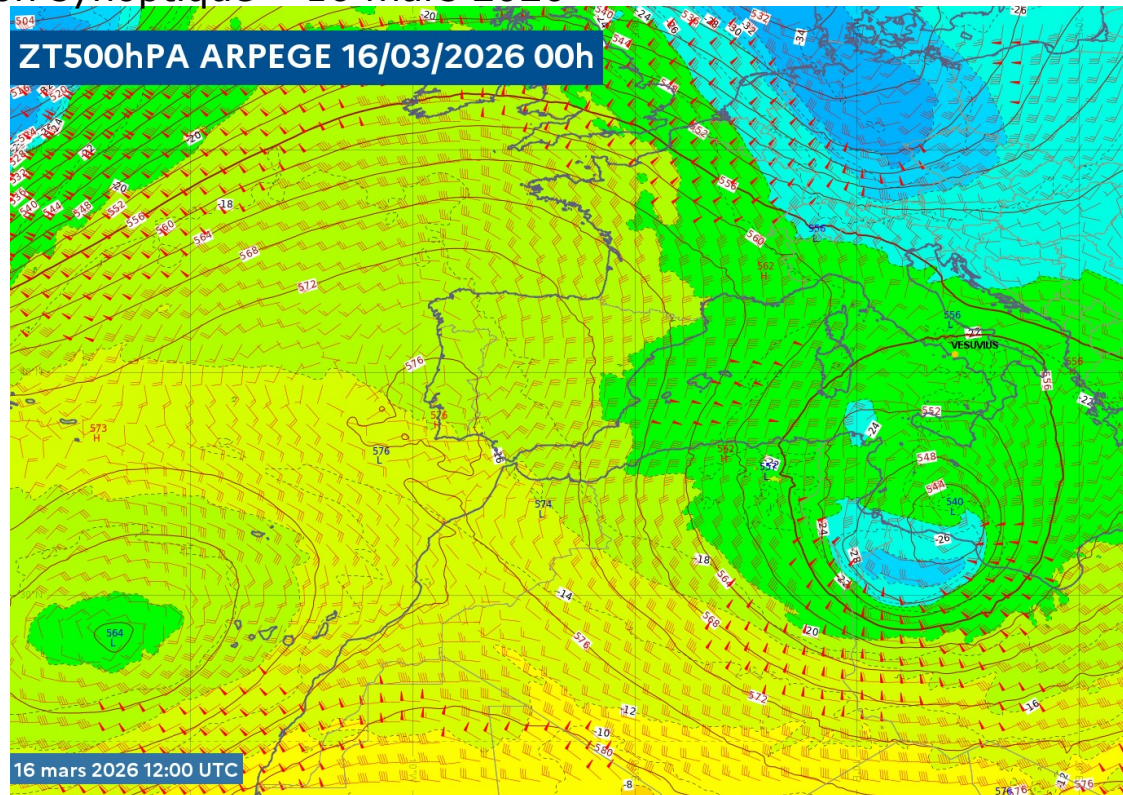
Exemple : éruption fictive Vésuve

- Situation synoptique – 16 mars 2026



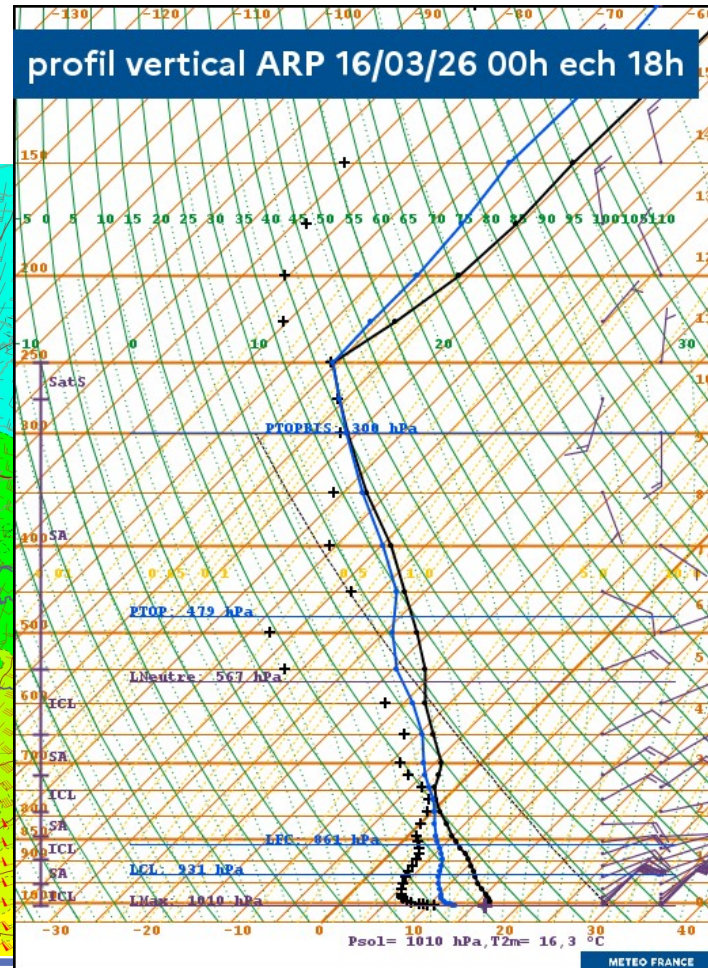
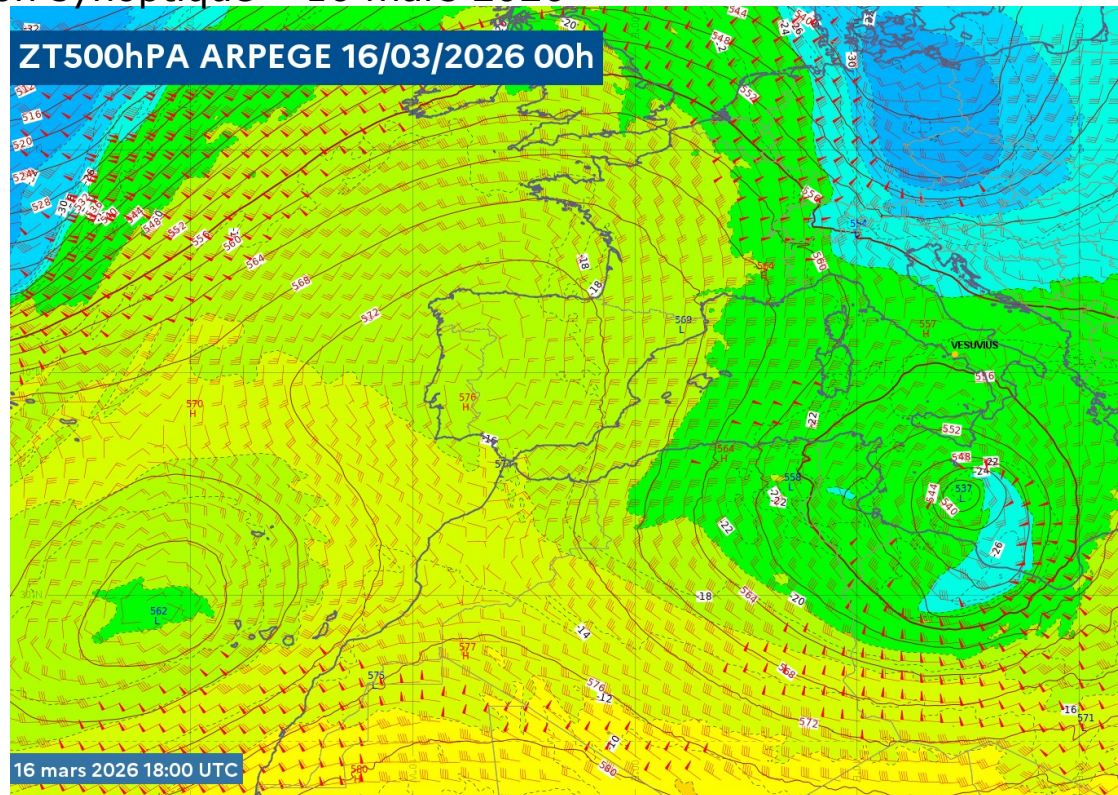
Exemple : éruption fictive Vésuve

- Situation synoptique – 16 mars 2026



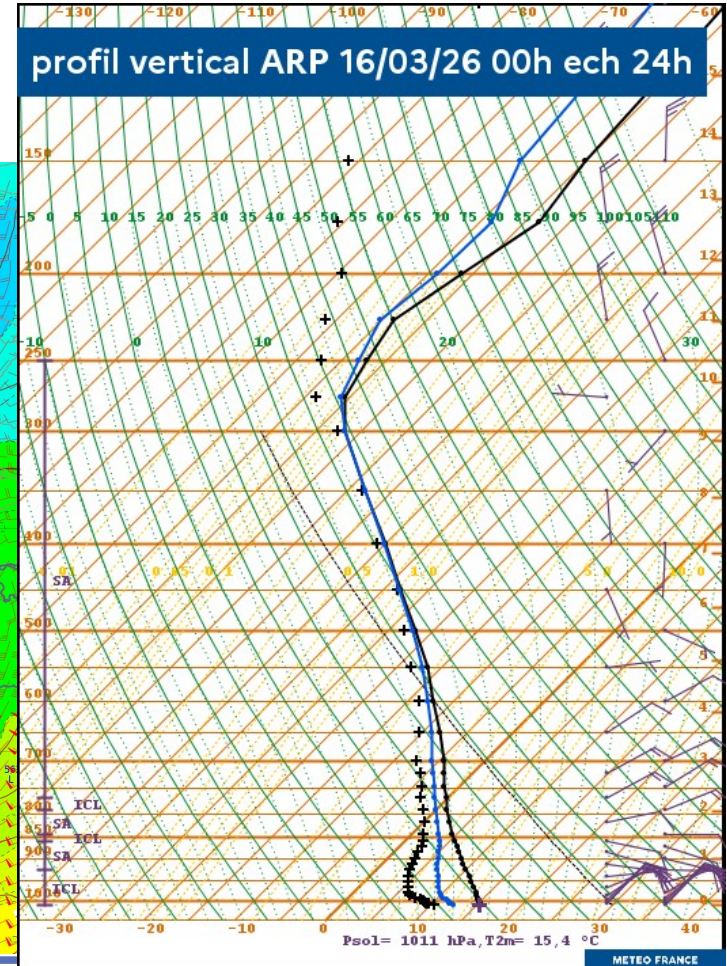
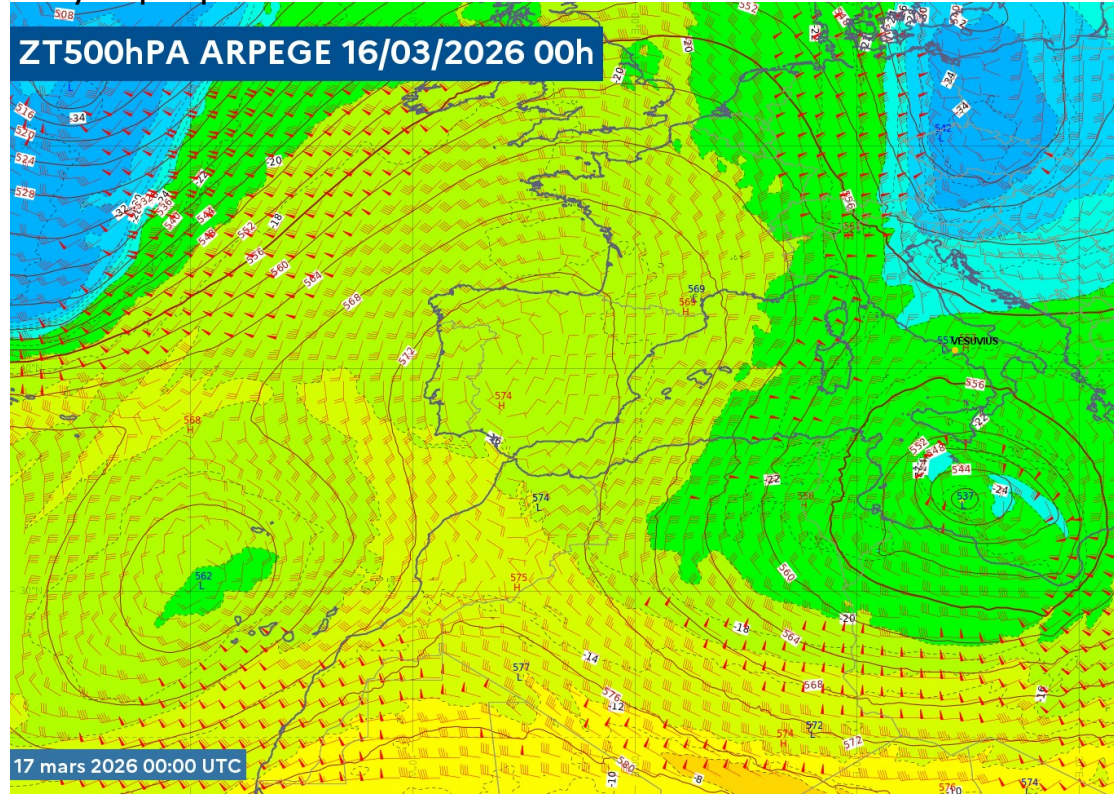
Exemple : éruption fictive Vésuve

- Situation synoptique – 16 mars 2026



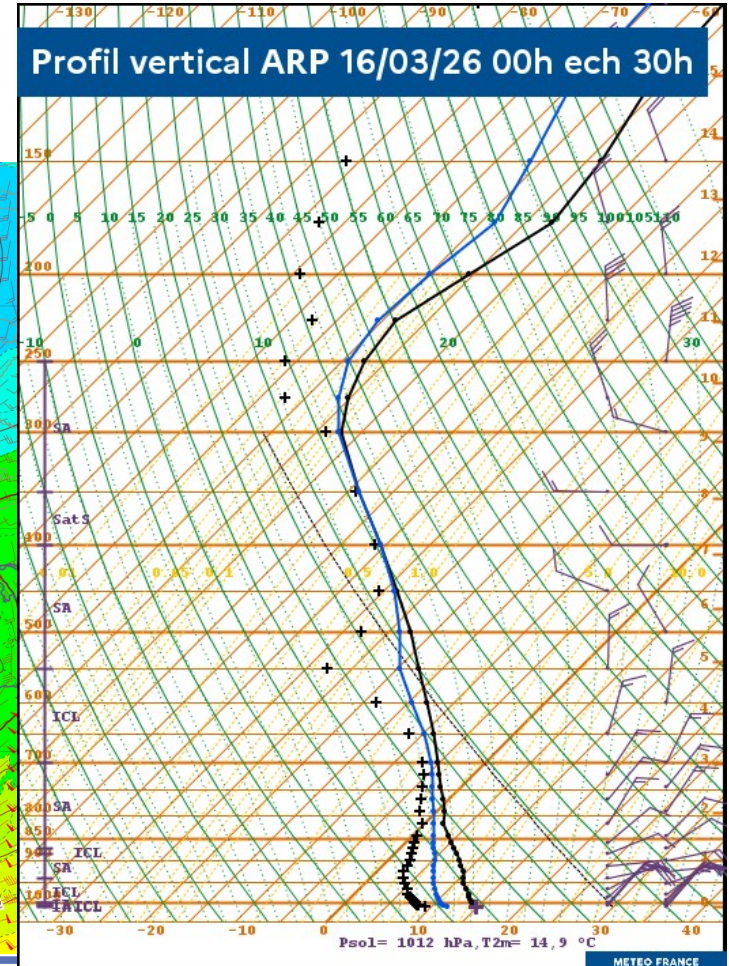
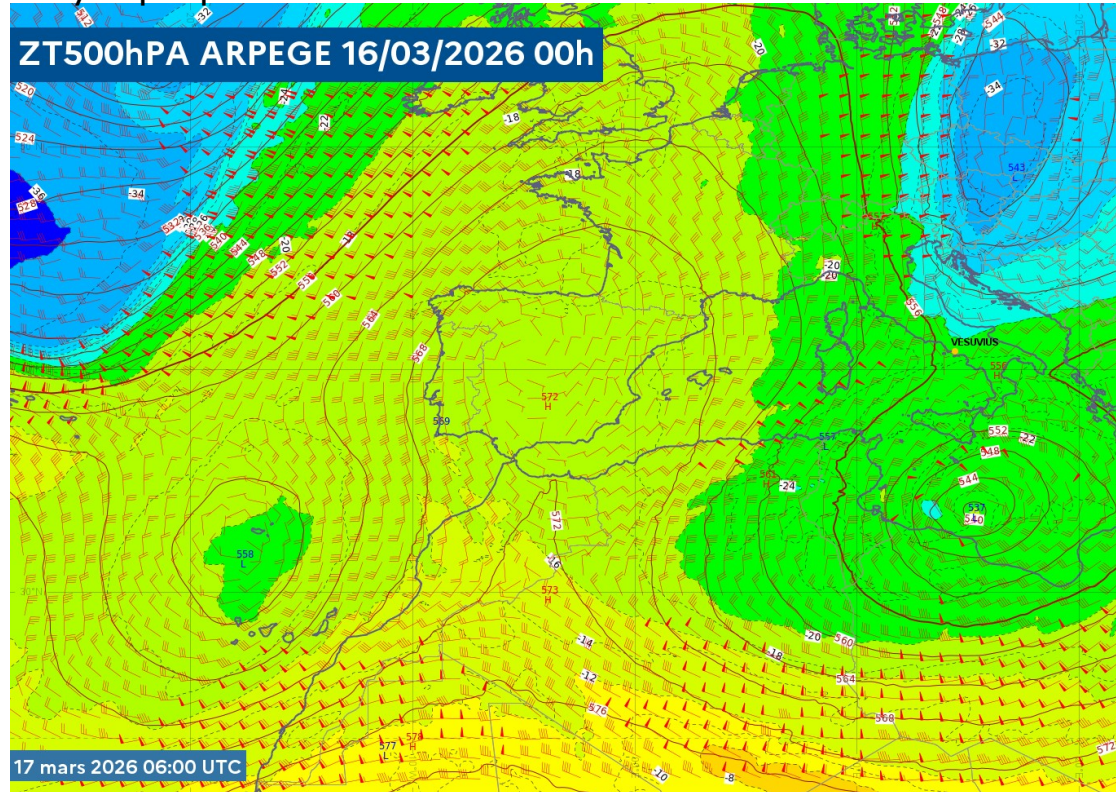
Exemple : éruption fictive Vésuve

- Situation synoptique – 16 mars 2026



Exemple : éruption fictive Vésuve

- Situation synoptique – 16 mars 2026

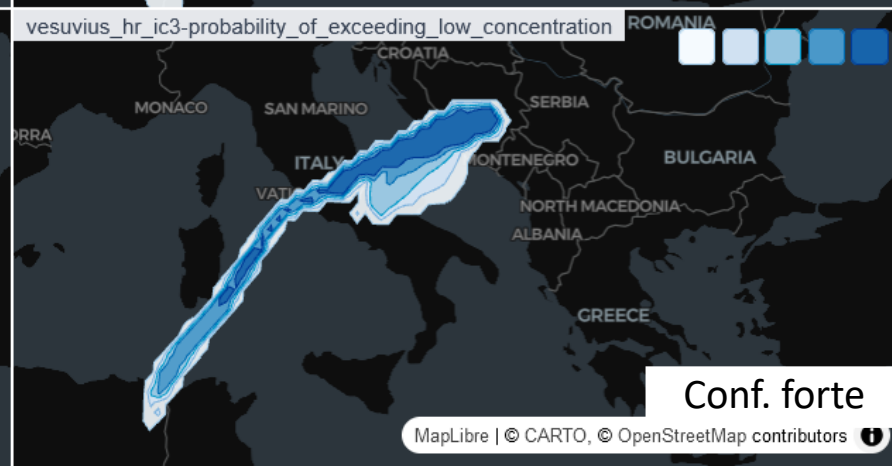
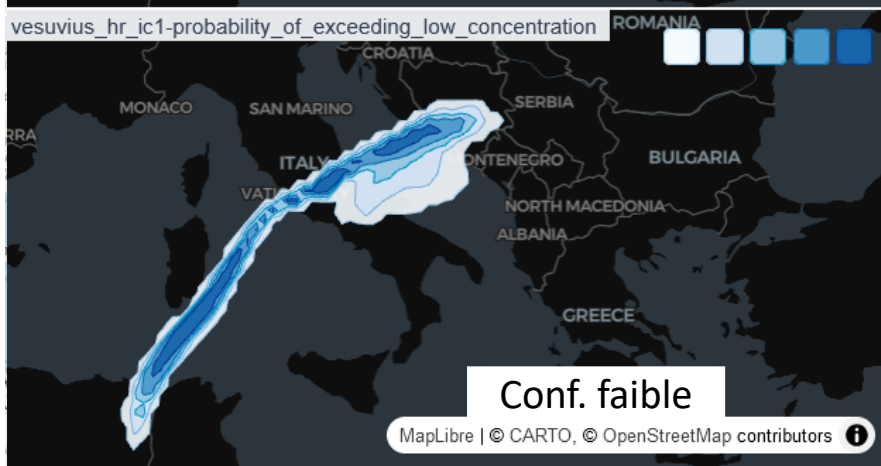
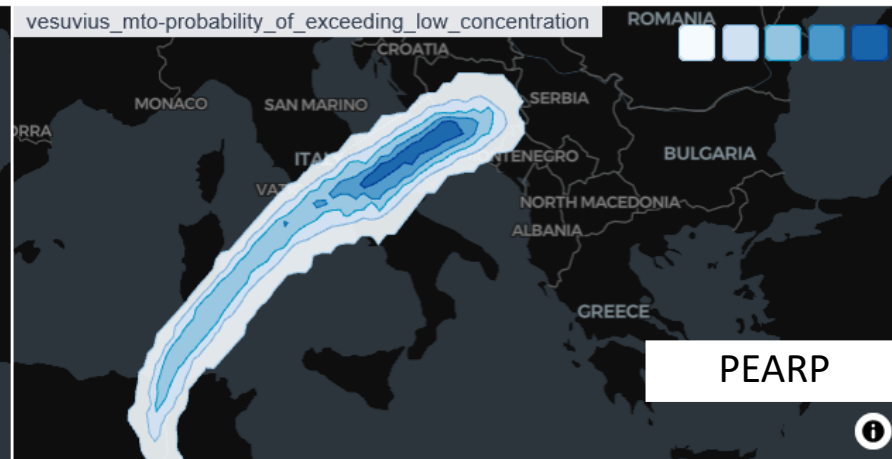
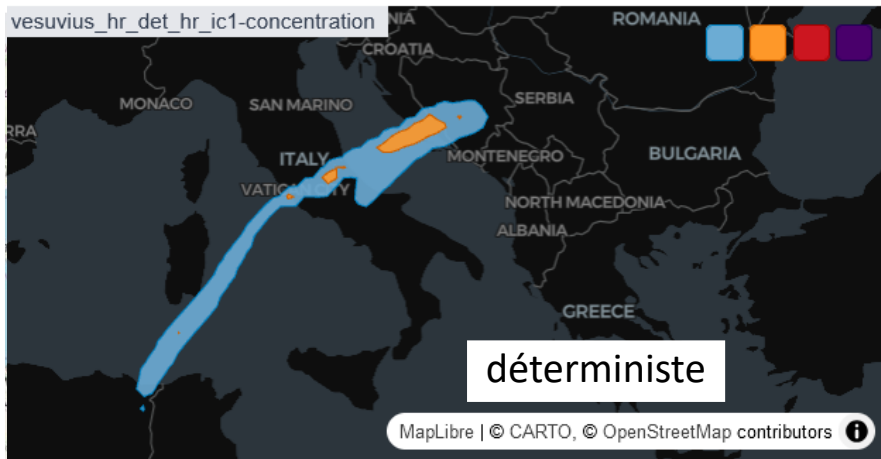


Exemple : éruption fictive Vésuve

2026-03-16T18:00Z

FL250-FL300

Conc.faibles

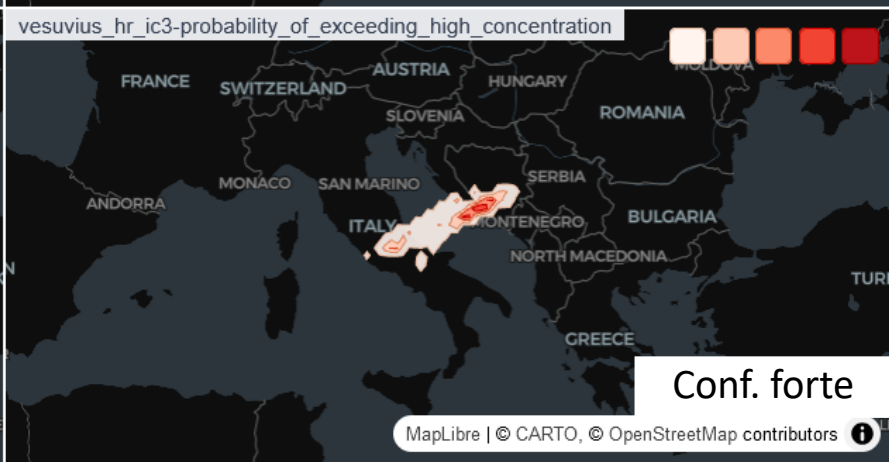
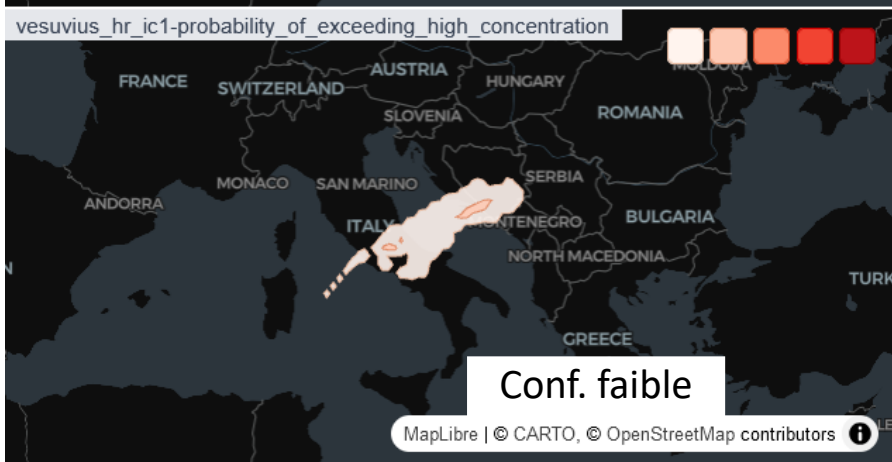
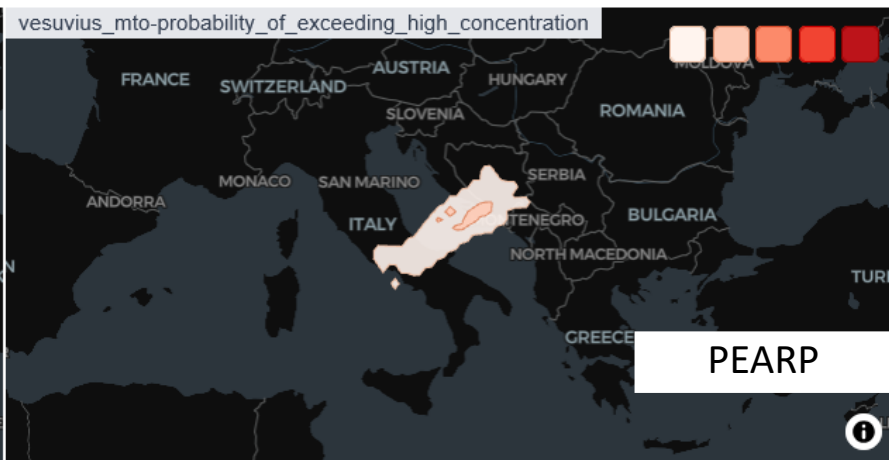
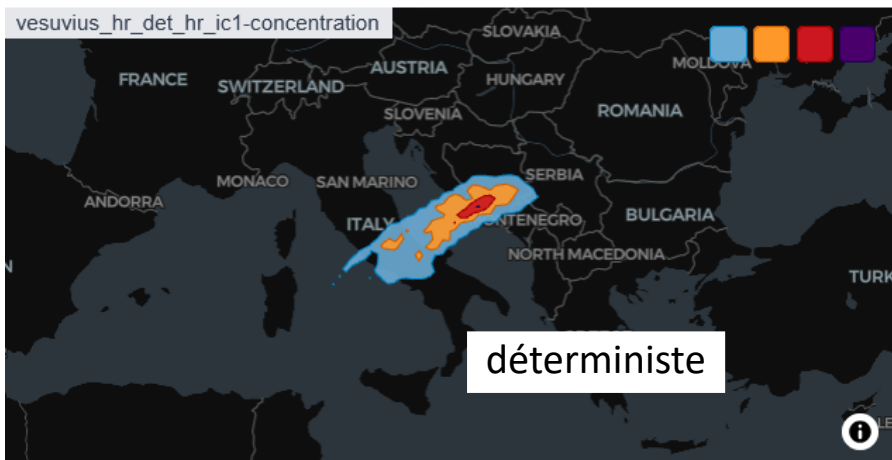


Exemple : éruption fictive Vésuve

2026-03-16T18:00Z

FL300-FL350

Conc.fortes

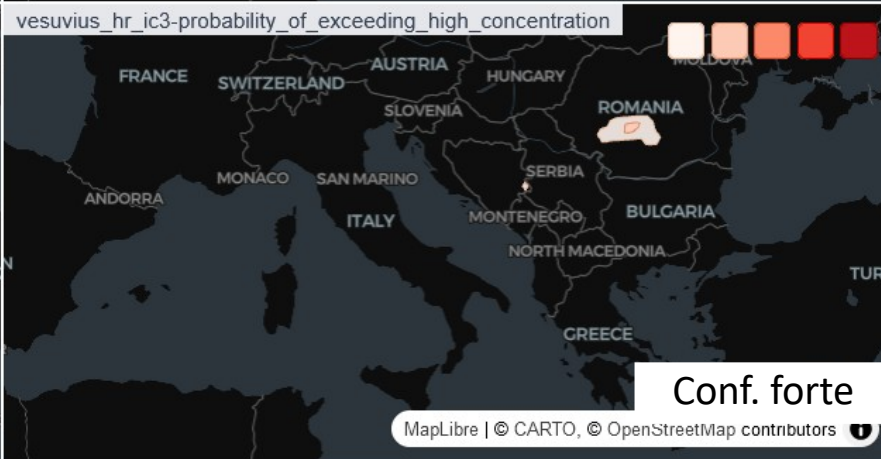
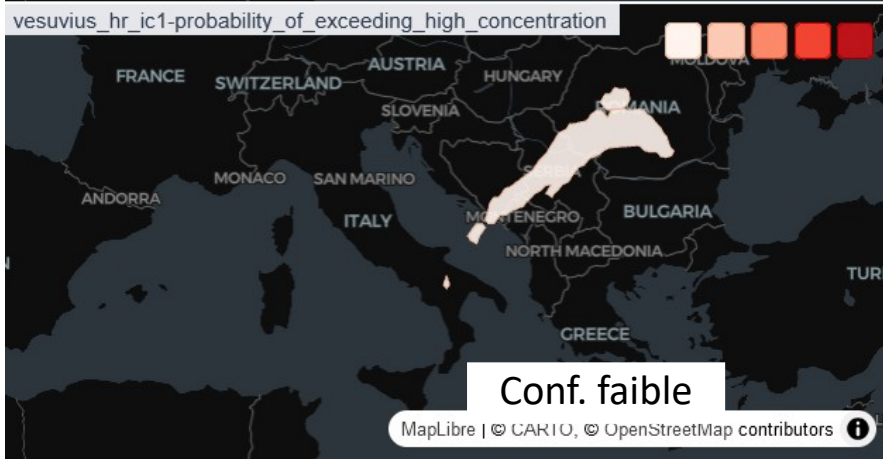
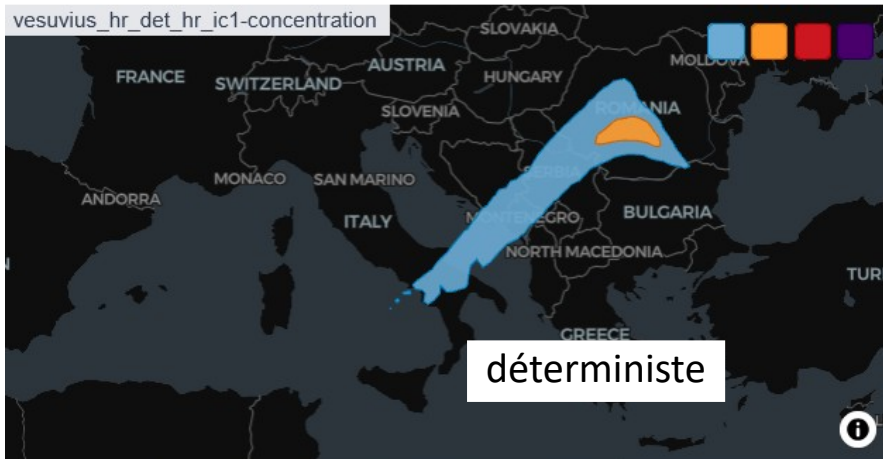


Exemple : éruption fictive Vésuve

2026-03-17T03:00Z

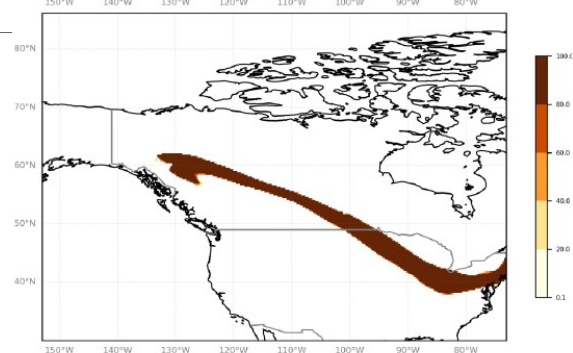
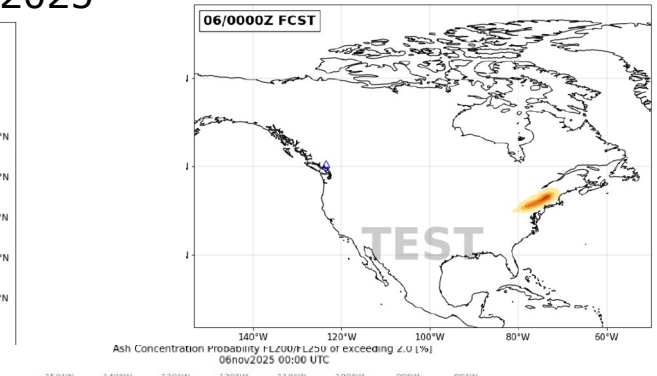
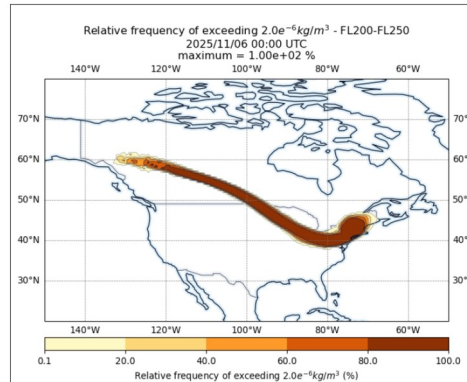
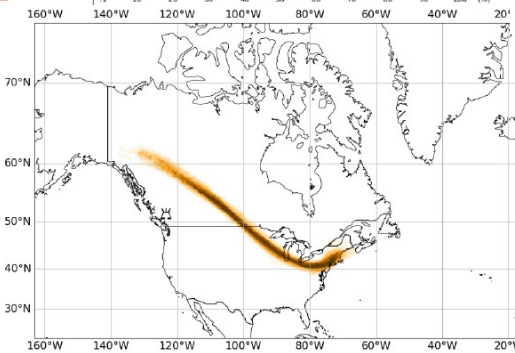
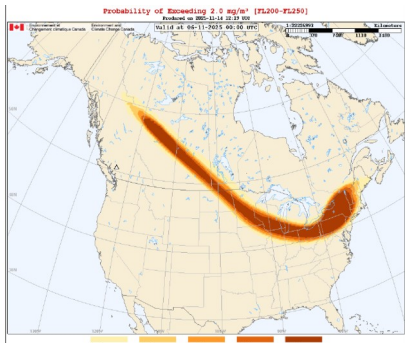
FL300-FL350

Conc.fortes



Comparaisons entre VAAC

- **Principe** : lancements de simulation, avec conditions similaires (modélisations, forçages différents)
- **Exemple** : éruption fictive volcan Meager (Canada), 6 novembre 2025



Plan

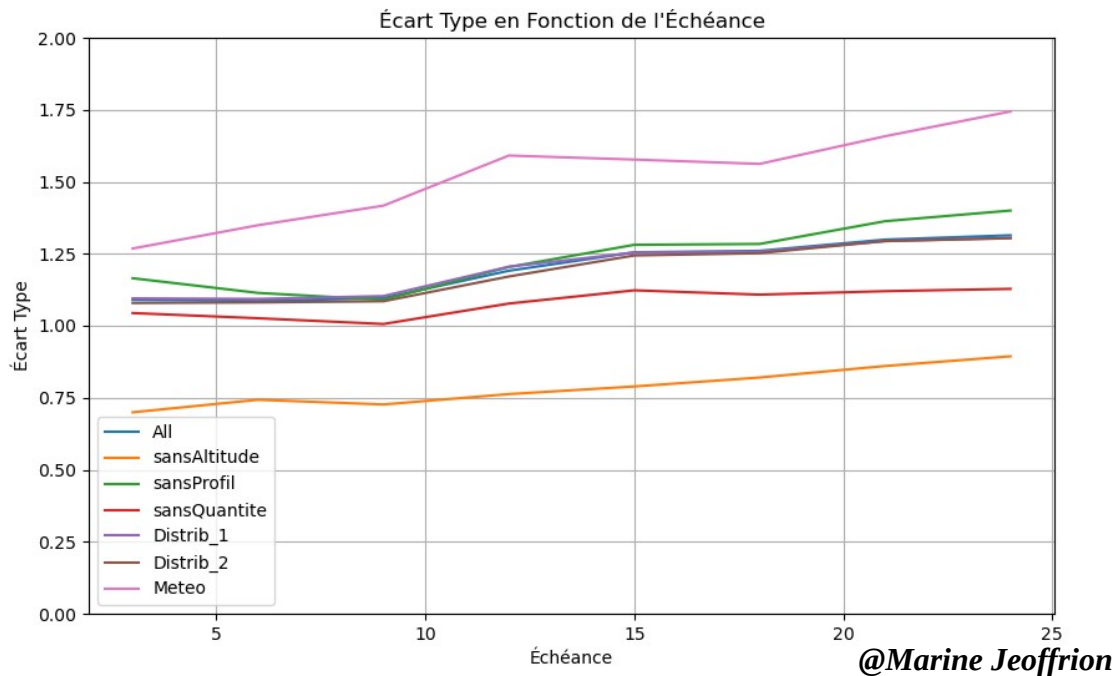
- Contexte
- Morage Accident
- Constitution d'un ensemble de prévisions
- Exemple
- Évaluation
- **Perspectives**



*Éruption Hayli Gubbi, 23/11/2025 © Afar Gov. Communication
Bureau/Handout—Anadolu/Reuters*

• Quelle information en extraire ?

- Information pour les usagers
- Outils de diagnostic (sensibilité de chacun des paramètres) à destination du prévisionniste



- **Quelle information en extraire ?**
 - Information pour les usagers
 - Outils de diagnostic (sensibilité de chacun des paramètres) à destination du prévisionniste
- **Évaluation :**
 - Poursuite de cas d'études (observations rares..)
 - Déterministe vs ensemble
 - Ensemble *terme source* vs *ensemble météo*
 - Intercomparaisons VAACs
 - Quid représentativité ?
- **Opérationnel**
 - MCO
 - Déploiement sur d'autres modèles (Flexpart)



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Questions ?

*DSM/CS/ENV - Mathieu Deslandes, François Besson, Marine Jeoffrion, Cécile Cazalet, Gaëlle Collin, Elvis Renard
dsm_cs_env@meteo.fr*