

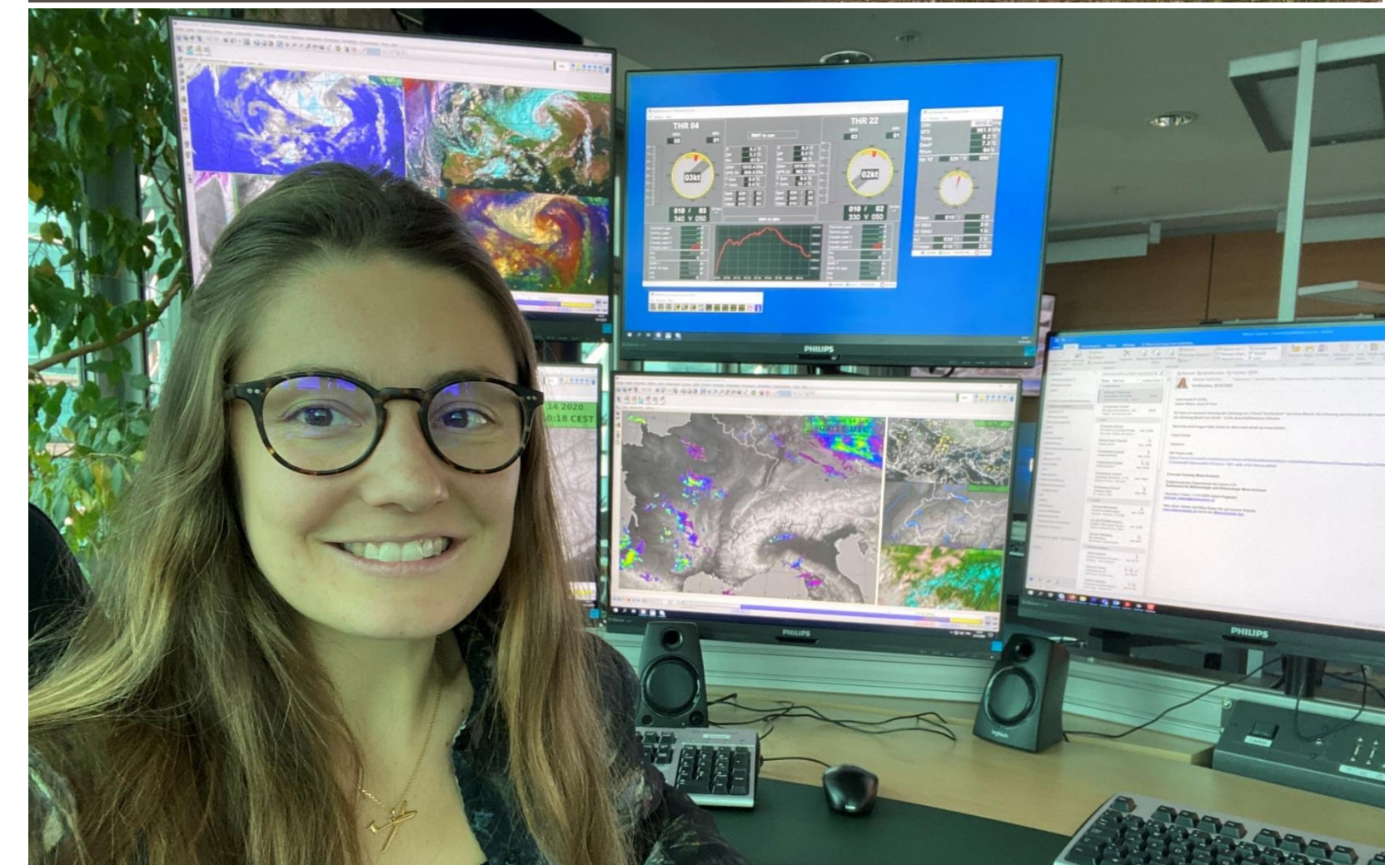
Recette d'une bonne prévision pour le vol à voile

Ingrédients des situations favorables & outils de prévision



Portrait

- Licence en 2011, membre du GVV Bex
- >1600 heures de vol
- Instructrice, compétitrice
- Prévisionniste à MétéoSuisse (Genève)



Aller voler?

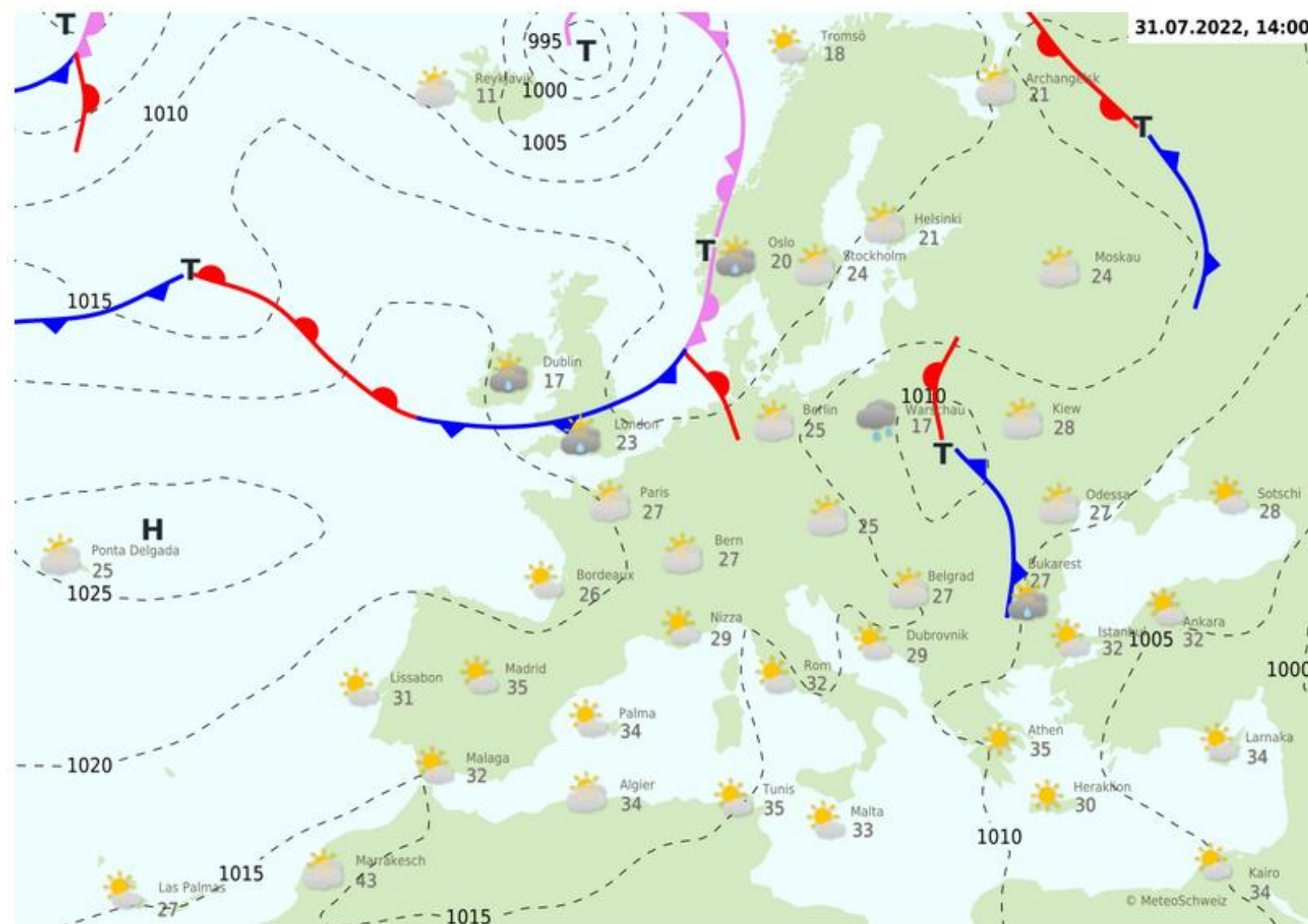


Problématique : *Aller voler? Où voler, que tenter?*

- Prise de décision, avec peu d'informations, parfois incertaines, temps limité
- Topographie complexe en Suisse → contrastes régionaux marqués, pas toujours captés par les modèles météo
- Plus facile d'identifier des conditions défavorables que favorables
- Distance Potentielle de Vol (DPV) pas toujours suffisante car modèles peuvent se tromper, ne donne pas à elle seule de recul sur la situation

Une recette

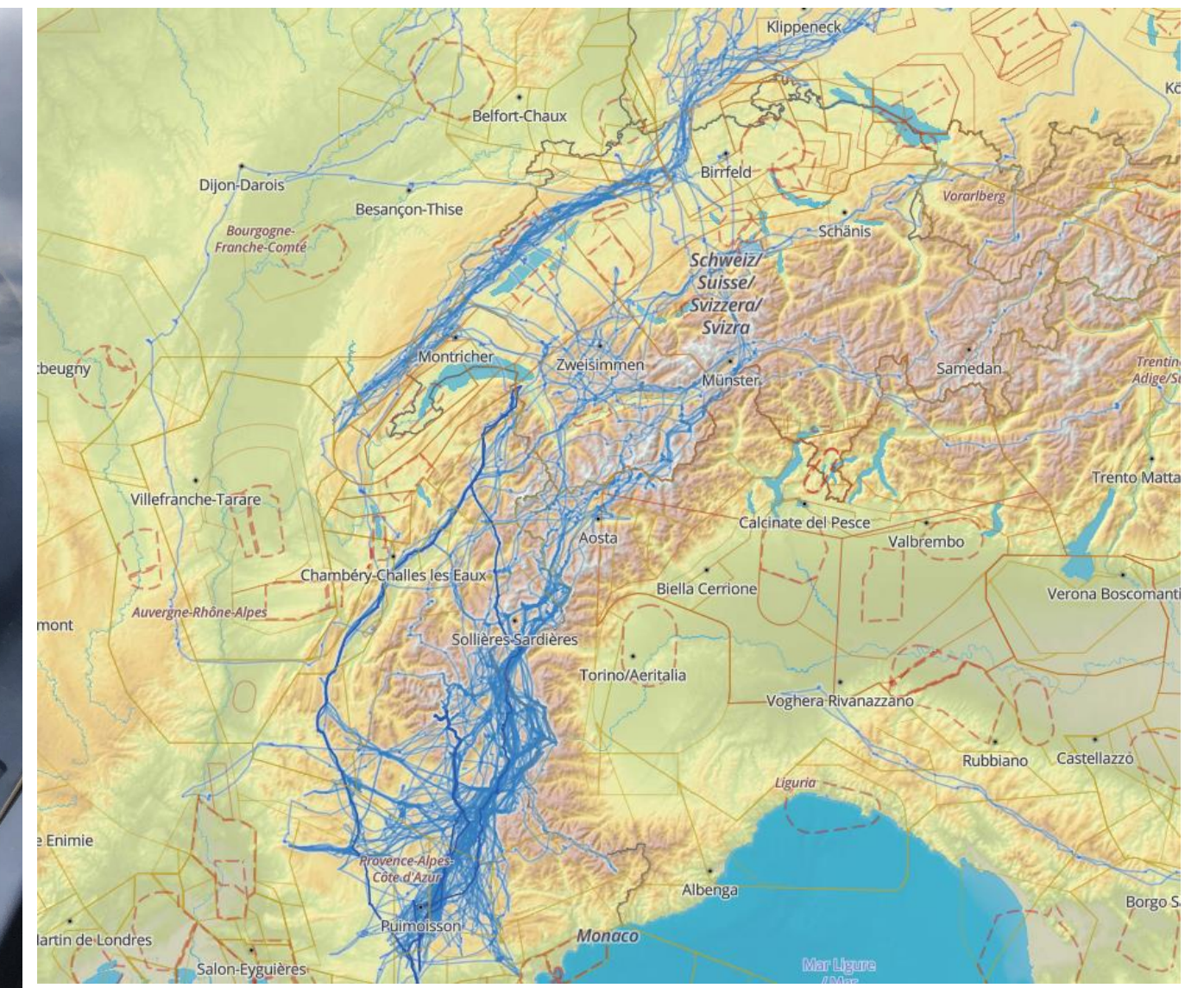
- Matière première : mouvements ascendants, d'origine thermique/dynamique
- Situations météorologiques plus favorables que d'autres
- **Lien entre la situation générale et les conditions aérologiques dans la région**



Prévision 31.07.2022 @MétéoSuisse



Ciel sur le Jura @Ruedi Engeler



Traces de vol 31.07.2022 @WeGlide

Les ingrédients



Démarche d'analyse «*check-list*» :

- 1) Situation générale
 - Est-ce volable?
 - 2) Temps sensible
 - Allure du ciel? Matérialisations?
 - 3) Conditions aérologiques
 - Plafond, force ascendances?
 - 4) Menaces/dangers
 - Eléments à surveiller en vol?
 - 5) Incertitudes
 - Quelles alternatives possibles?
- Les limites des modèles

Les ingrédients



Démarche d'analyse «*check-list*» :

1) Situation générale

➤ Est-ce volable?

2) Temps sensible

➤ Allure du ciel? Matérialisations?

3) Conditions aérologiques

➤ Plafond, force ascendances?

4) Menaces/dangers

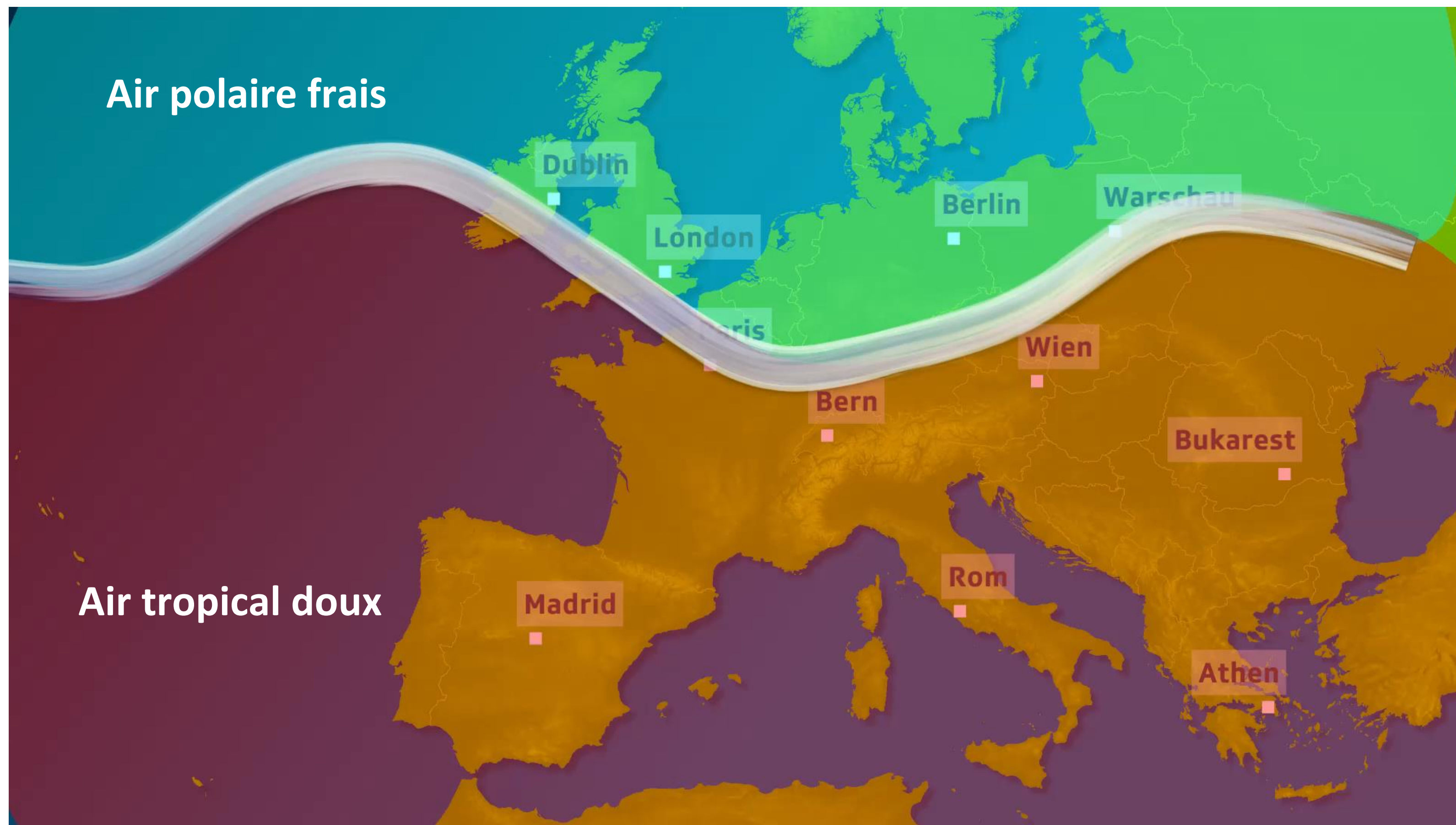
➤ Eléments à surveiller en vol?

5) Incertitudes

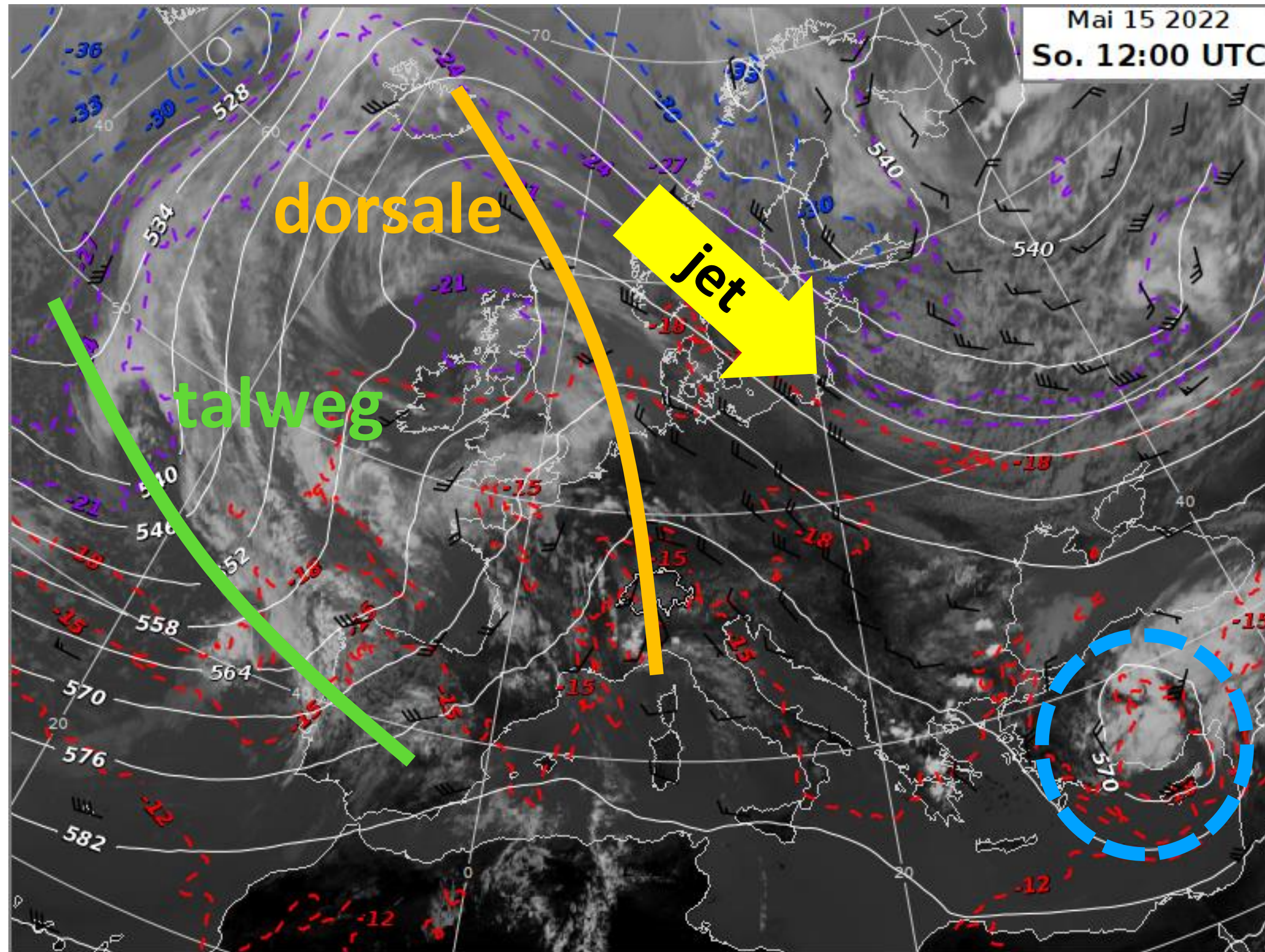
➤ Quelles alternatives possibles?

Situation générale

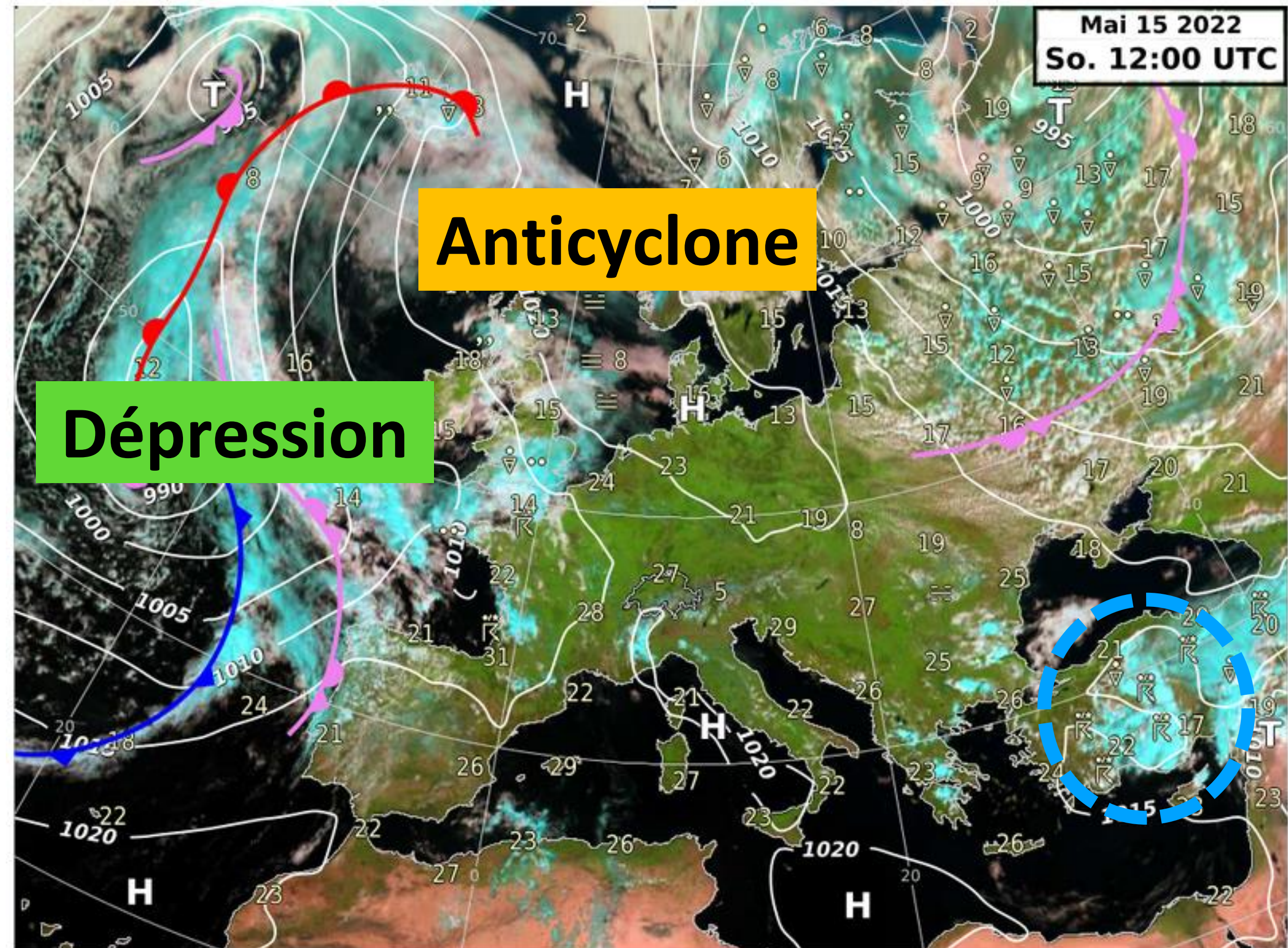
Les courants d'altitude déterminent le flux général et les masses d'air



Situation générale



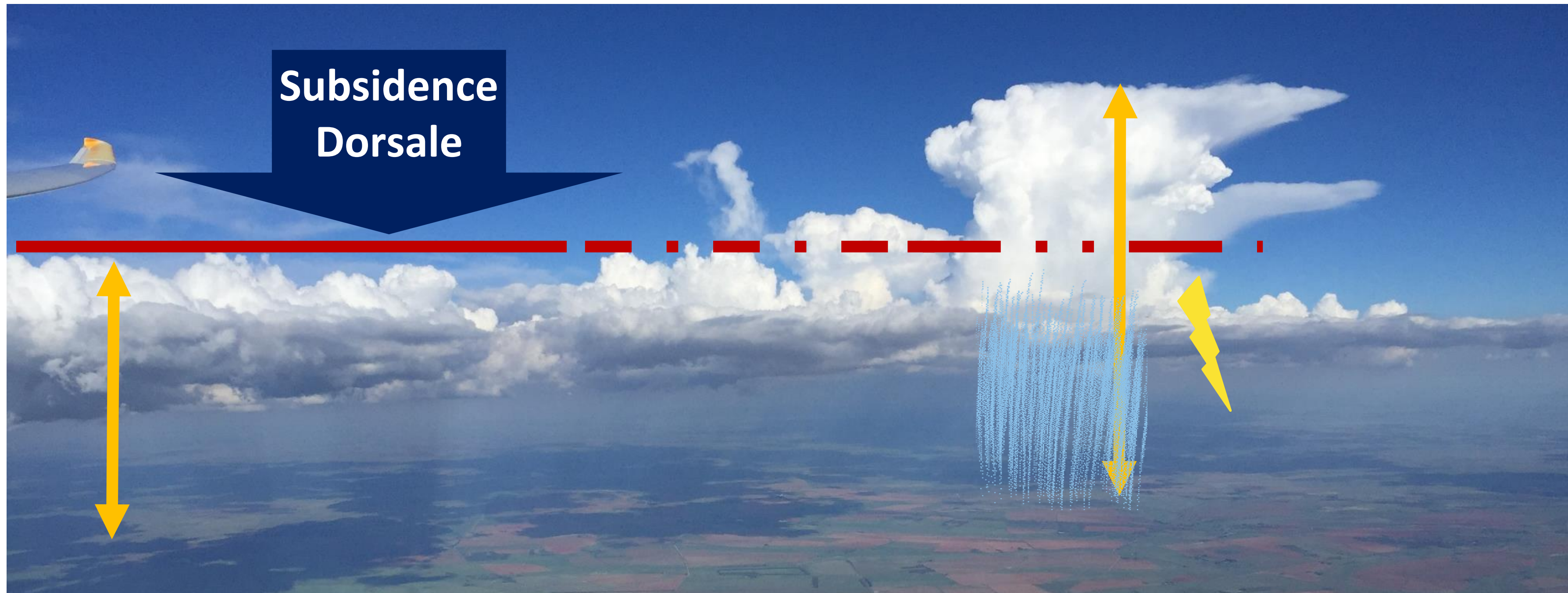
Géopotentiel (lignes blanches) et barbules du vent à 500 hPa (5500 m), le 15 mai 2022



Isobares, fronts, image satellite, même date

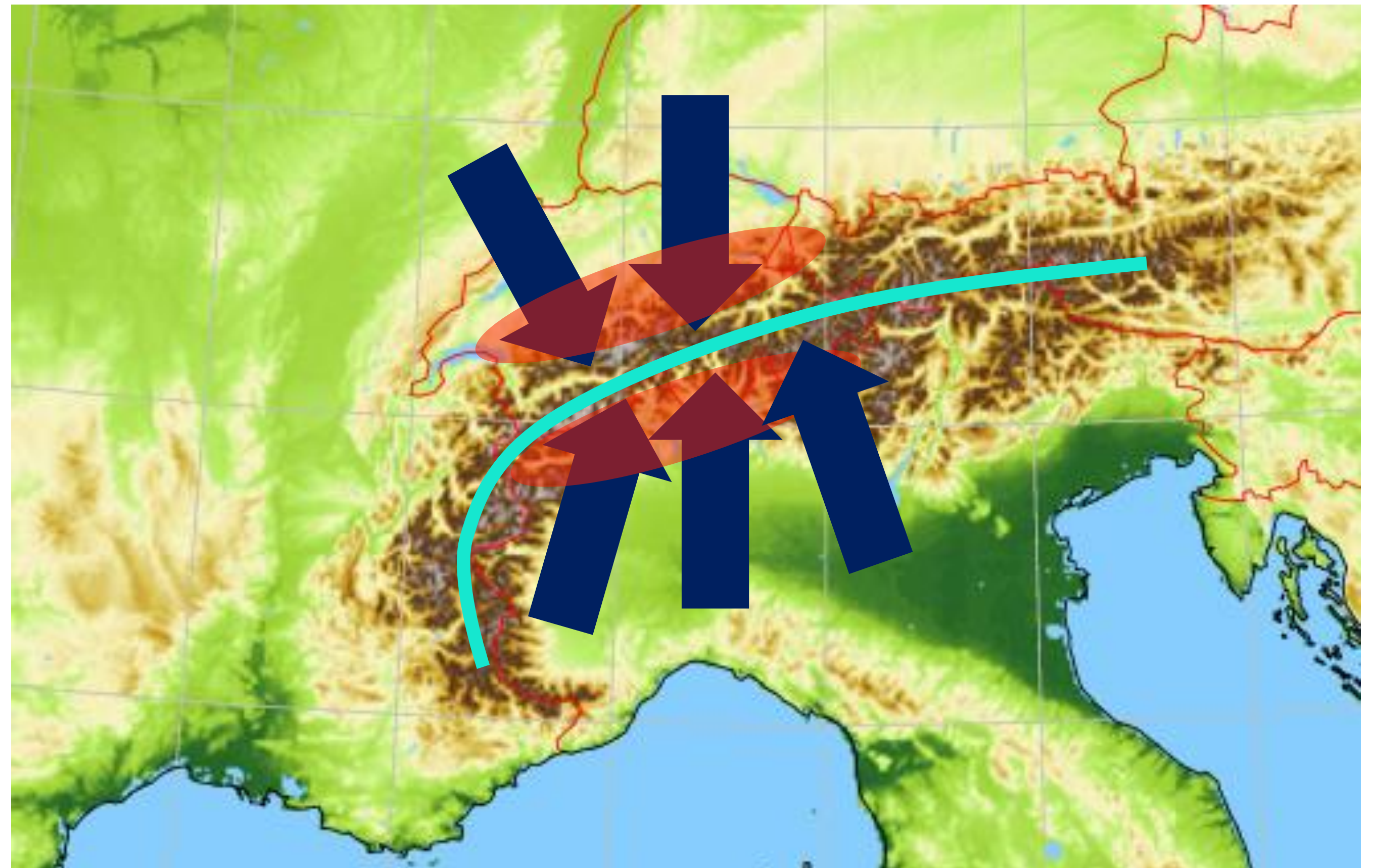
Situations propices

- Thermique : instabilité dans les basses couches, mais pas au-dessus!
 - Dorsale, marais barométrique (été) : Alpes, Jura
 - Traîne : Plateau, bas reliefs



Situations propices

- Dynamique : vent à hauteur crêtes suffisamment fort & perpendiculaire au relief
 - Flux de S-SW-SE : onde au nord
 - Flux de N-NW : onde au sud

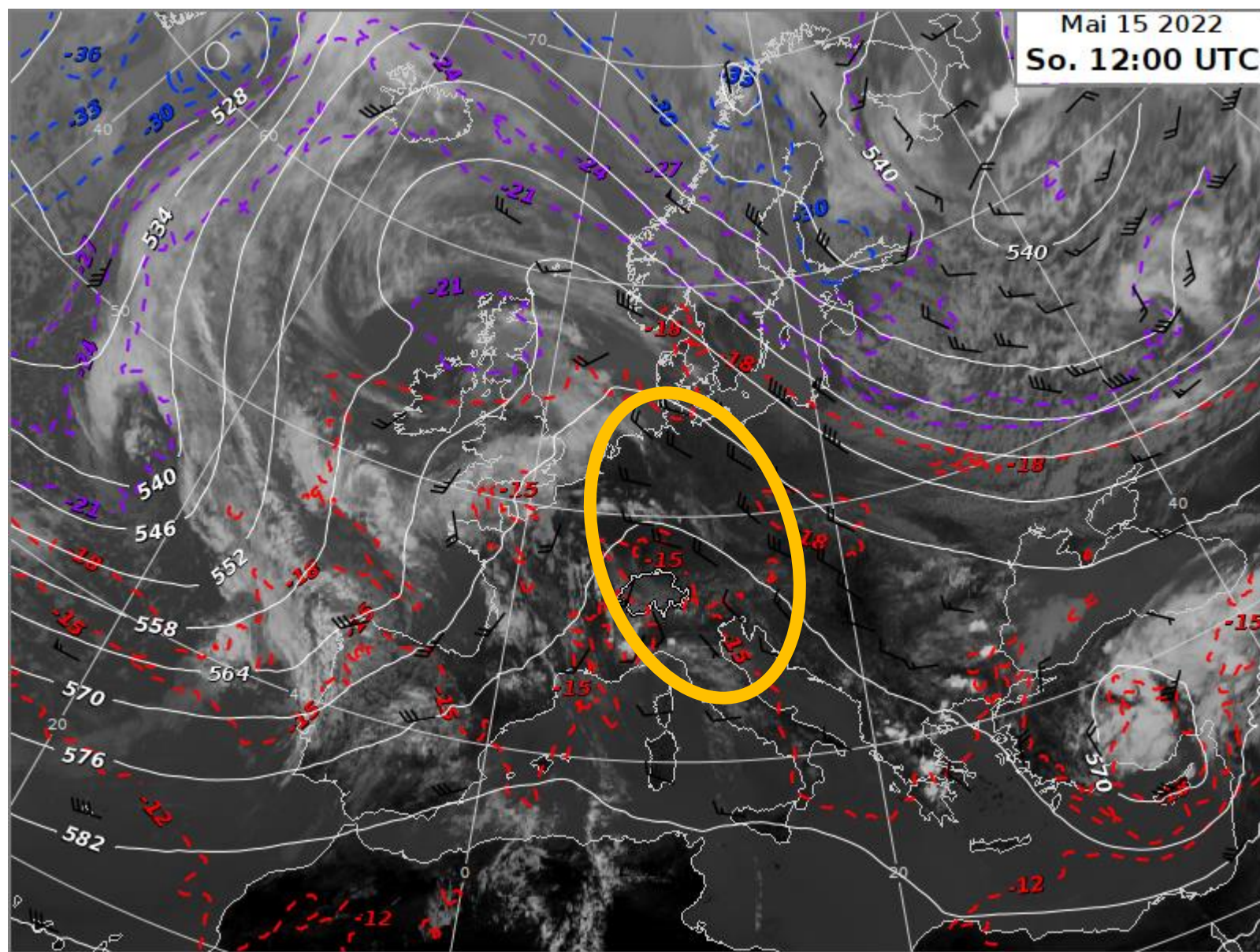


Situation générale

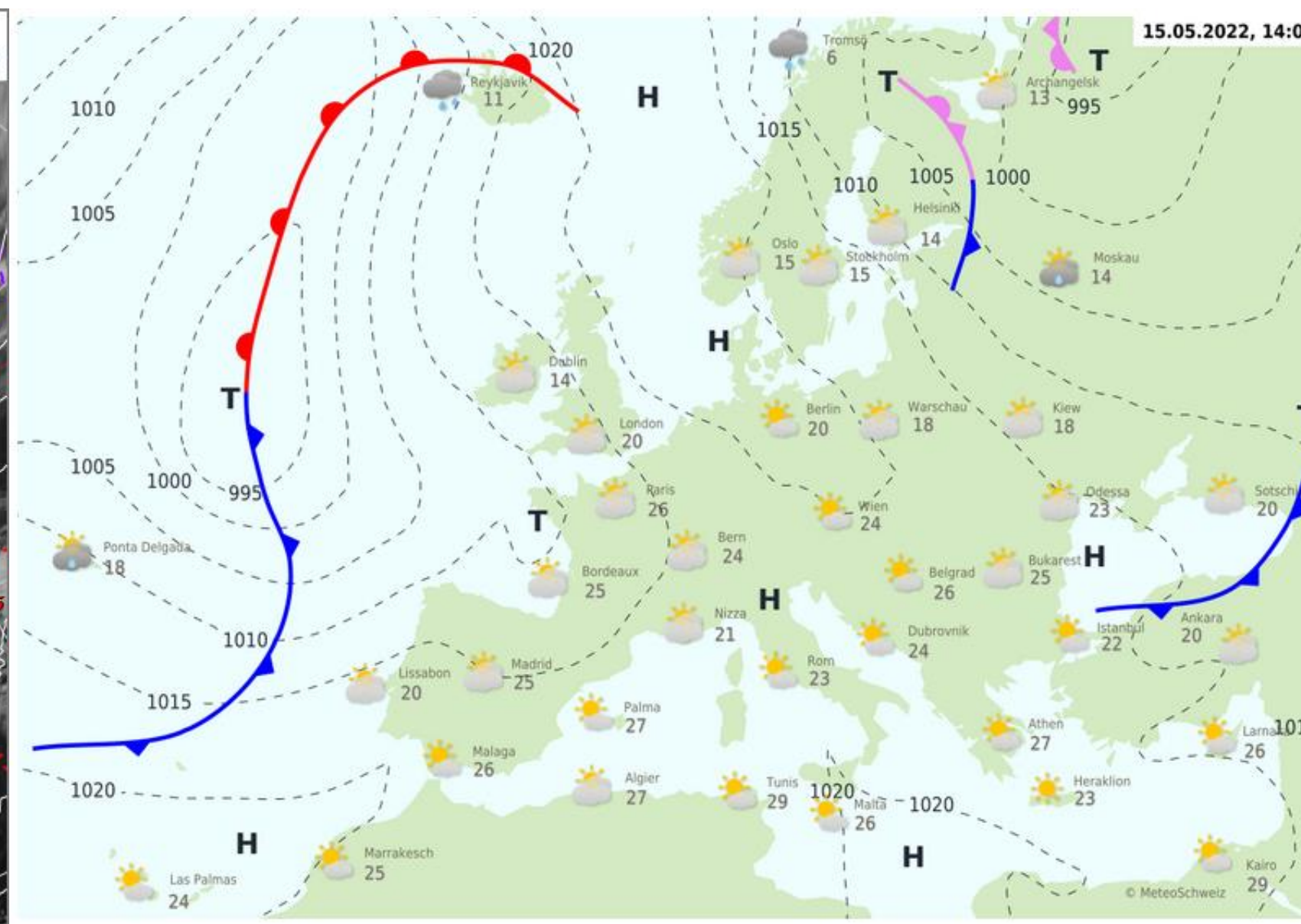
- **Thermique : instabilité dans les basses couches, mais pas au-dessus!**
 - Dorsale, marais barométrique (été) : Alpes & Jura
 - Traîne : Plateau & bas reliefs
- **Dynamique : vent à hauteur crêtes suffisamment fort & perpendiculaire au relief**
 - Flux de S-SW : onde au nord
 - flux de N-NW : onde au Sud

Dorsale

- 15 mai 2022 : dorsale en altitude, flanc sud anticyclone, grands vols dans les Alpes suisses jusqu'en Autriche



Géopotential et vent 5500 m @MétéoSuisse



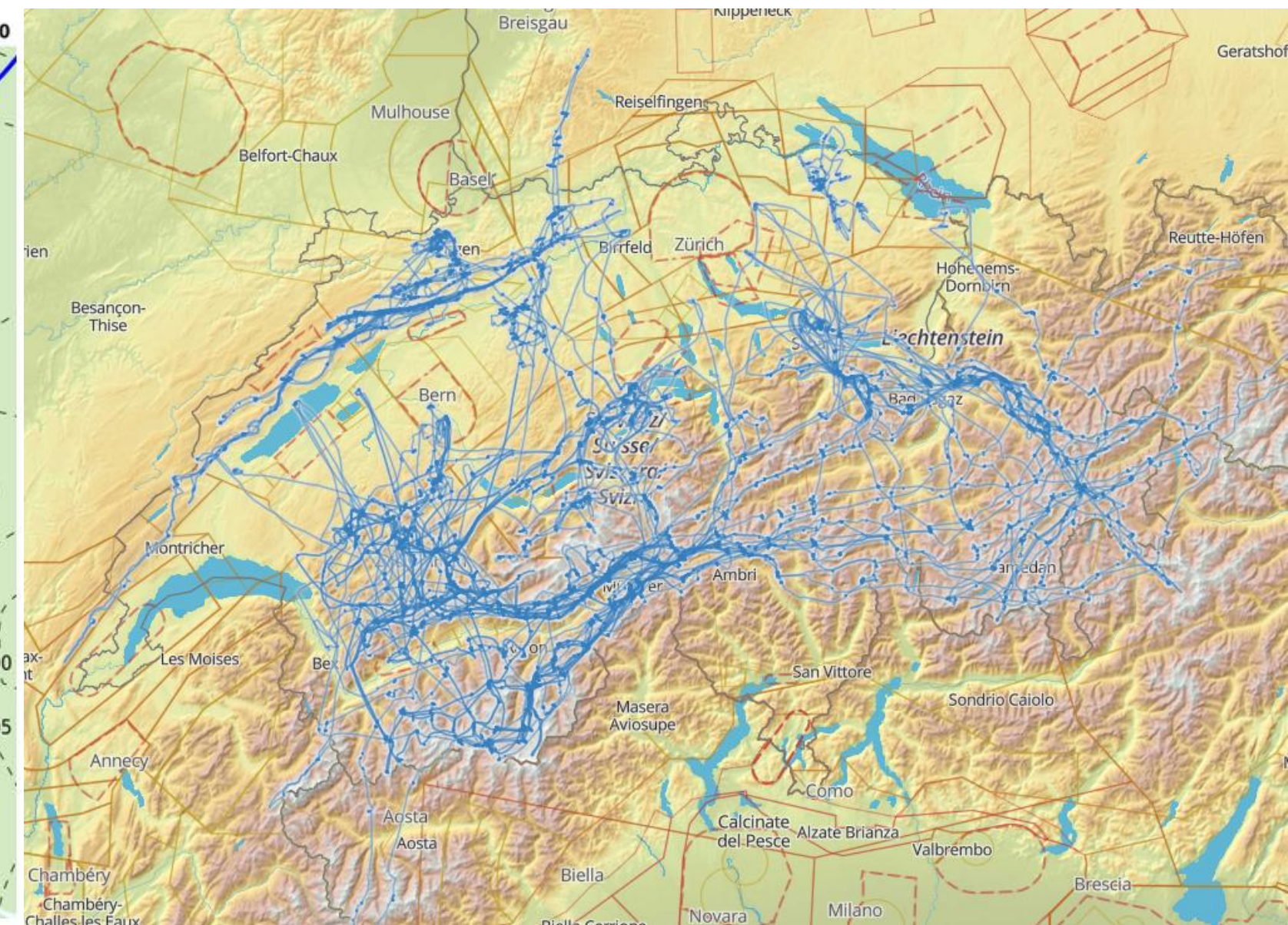
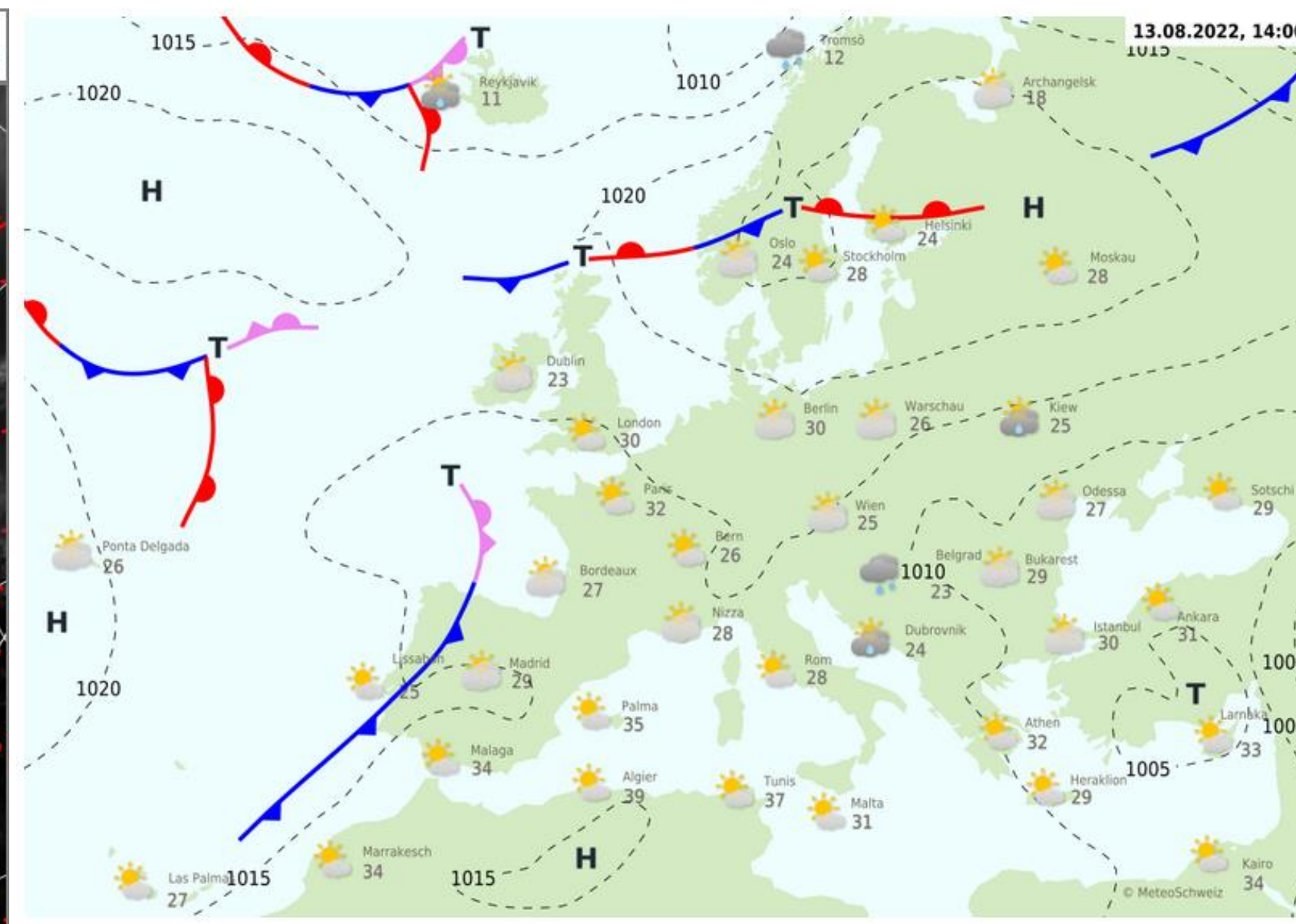
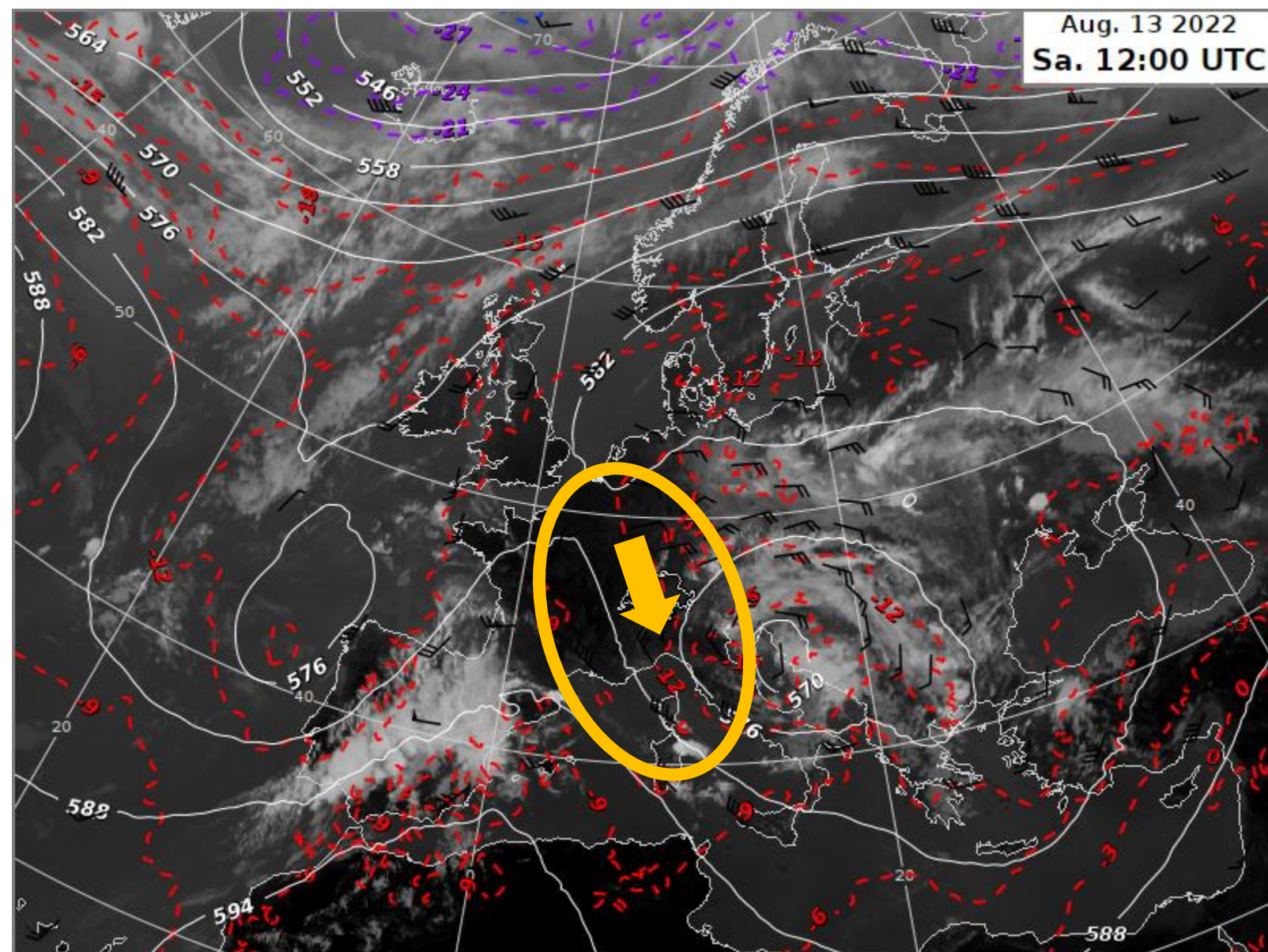
Prévision 15.05.2022 @MétéoSuisse



Traces de vol 15.05.2022 @WeGlide

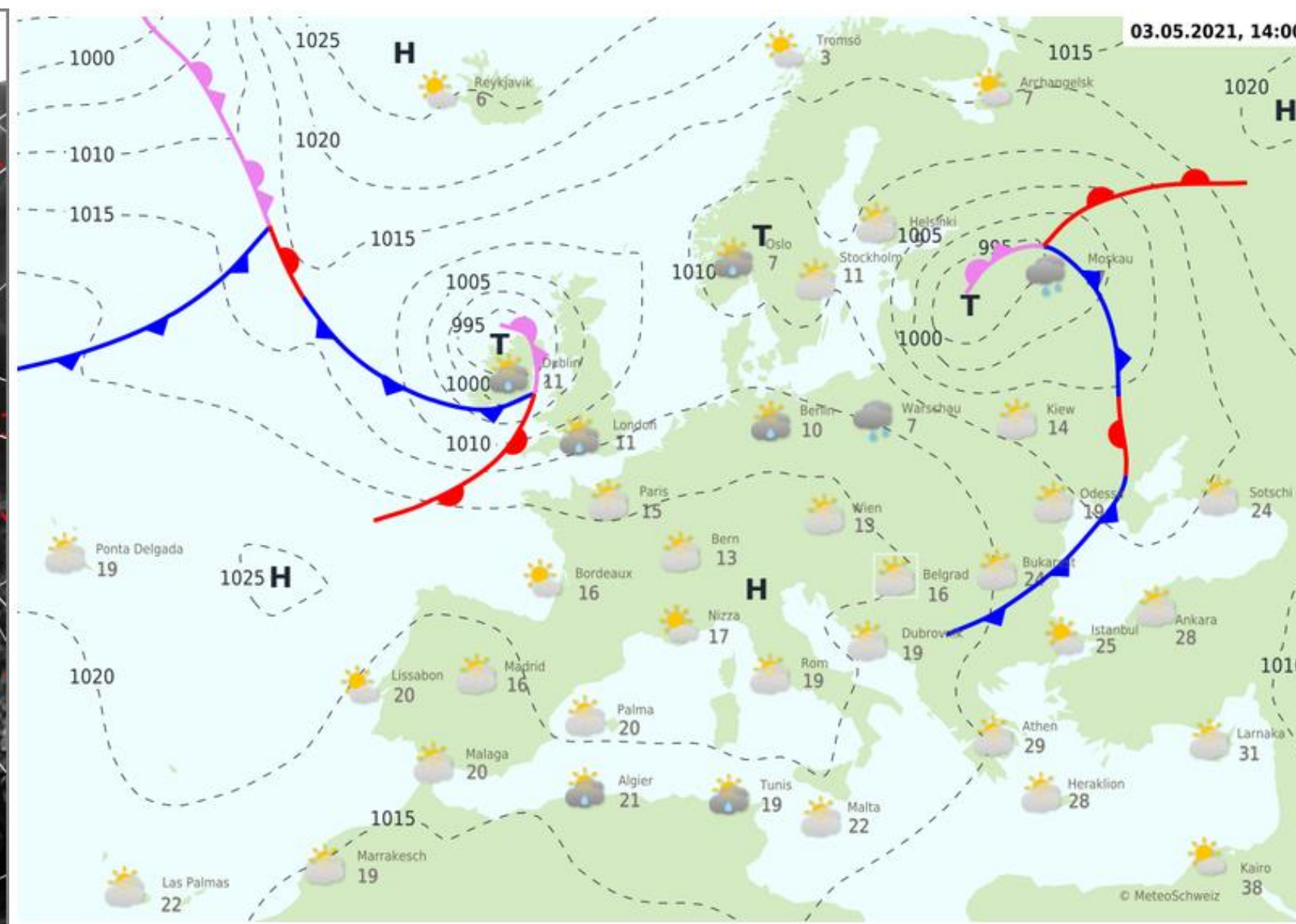
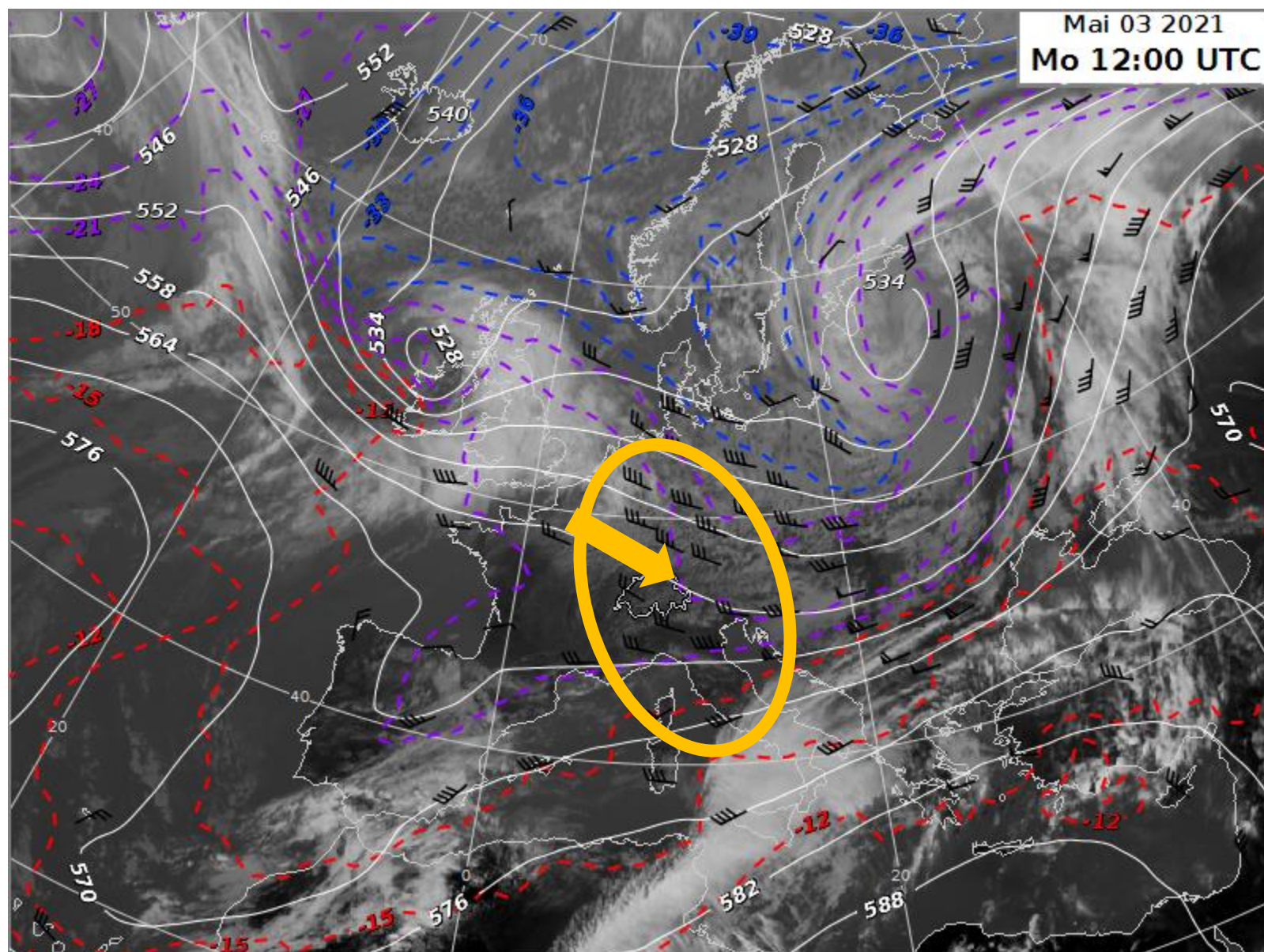
Marais barométrique

- 13 août 2022 : courant N-NW faible en altitude, champ de pression assez uniforme au sol, excellentes conditions thermiques dans toute la région alpine



Traîne

- 3 mai 2021 : courant W-NW frais, hausse pression à l'arrière front froid, reliefs +/- accrochés par les nuages, nombreux vols des Préalpes au Jura, traversées du Plateau



Traîne

- 3 mai 2021 : conditions homogènes, exploitables également sur le Plateau

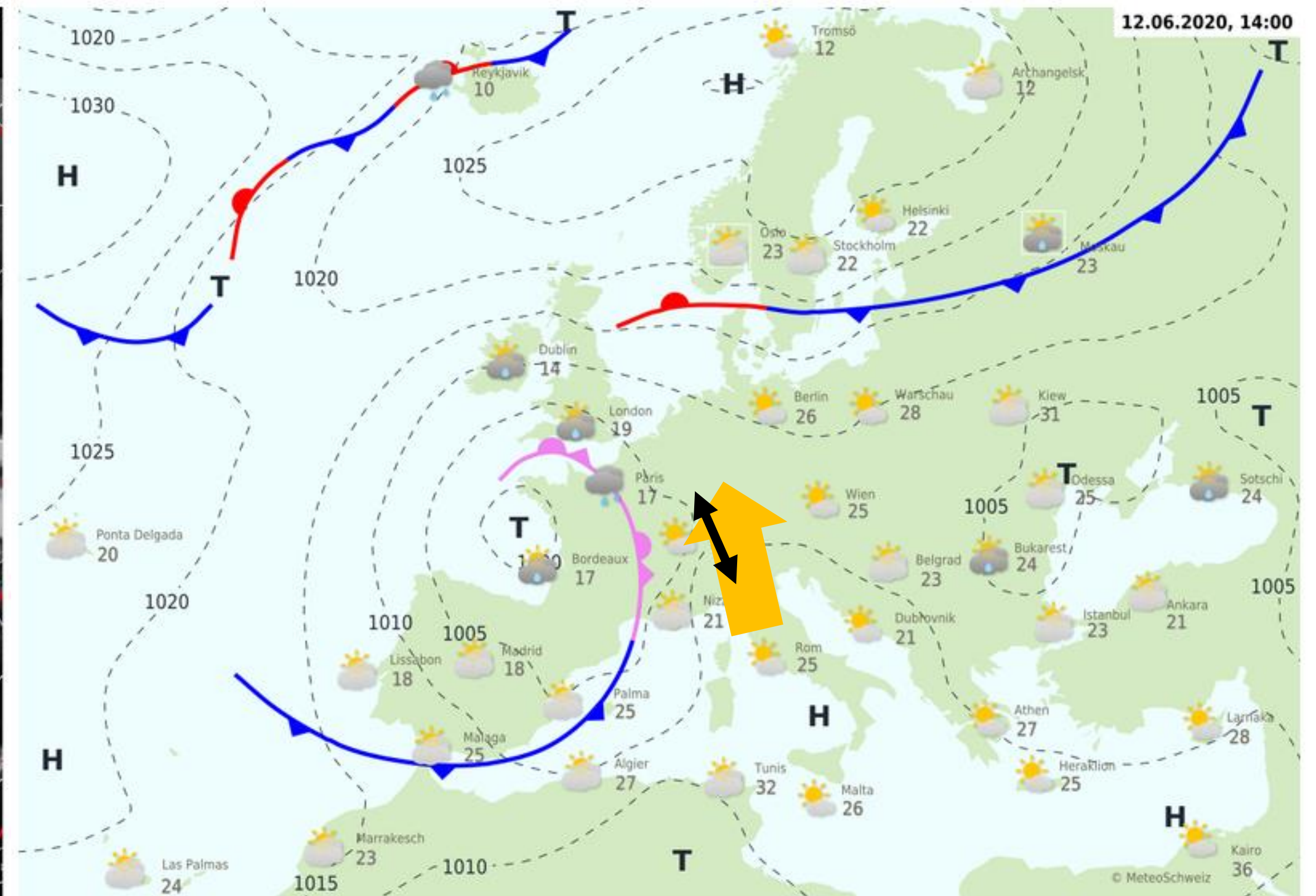
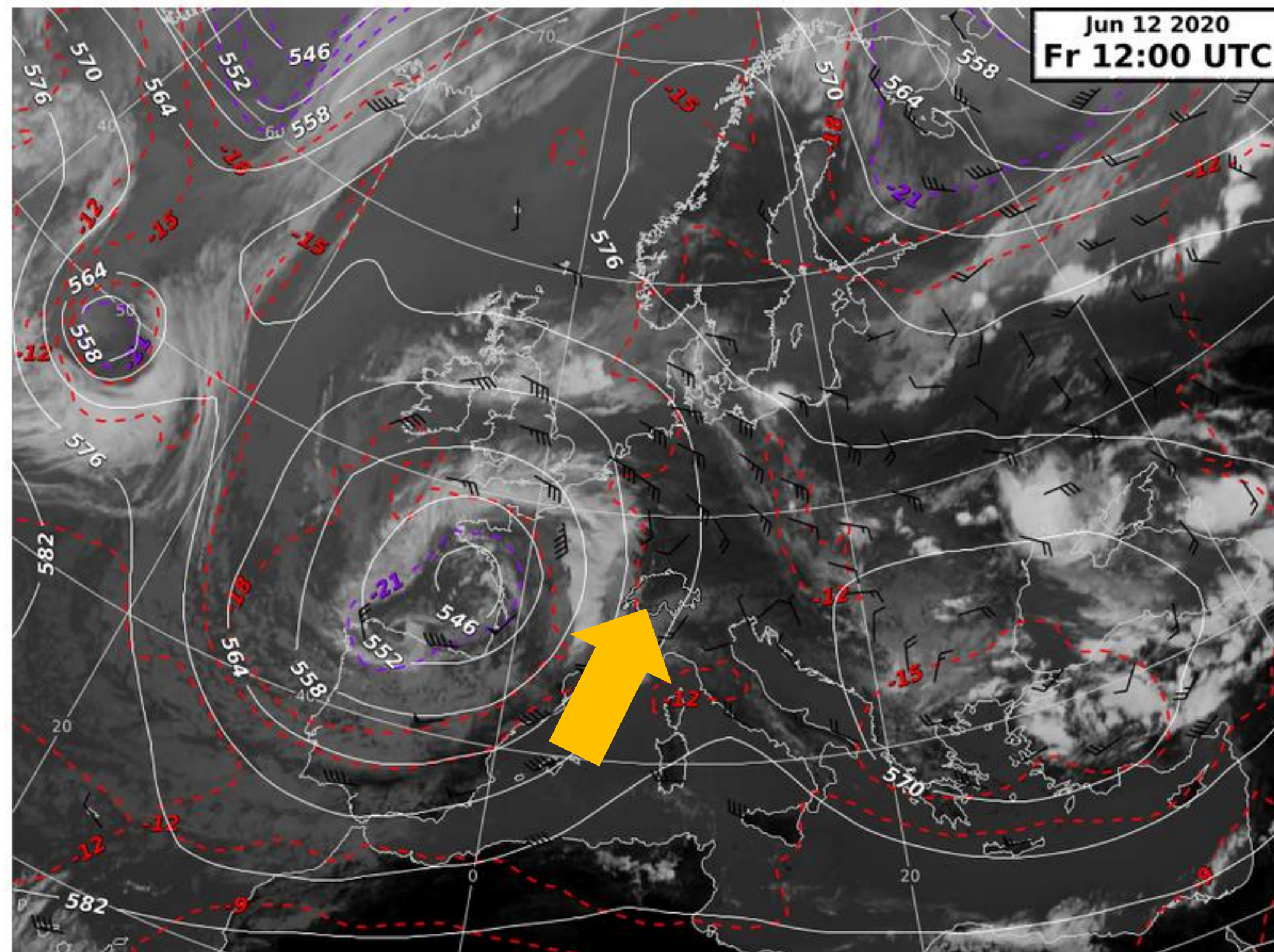


Situation générale

- Thermique : instabilité dans les basses couches, mais pas au-dessus!
 - Dorsale, marais barométrique (été) : Alpes & Jura
 - Traîne : Plateau & bas reliefs
- **Dynamique : vent à hauteur crêtes suffisamment fort & perpendiculaire au relief**
 - Flux de S-SW : onde au nord
 - flux de N-NW : onde au Sud

Foehn du sud

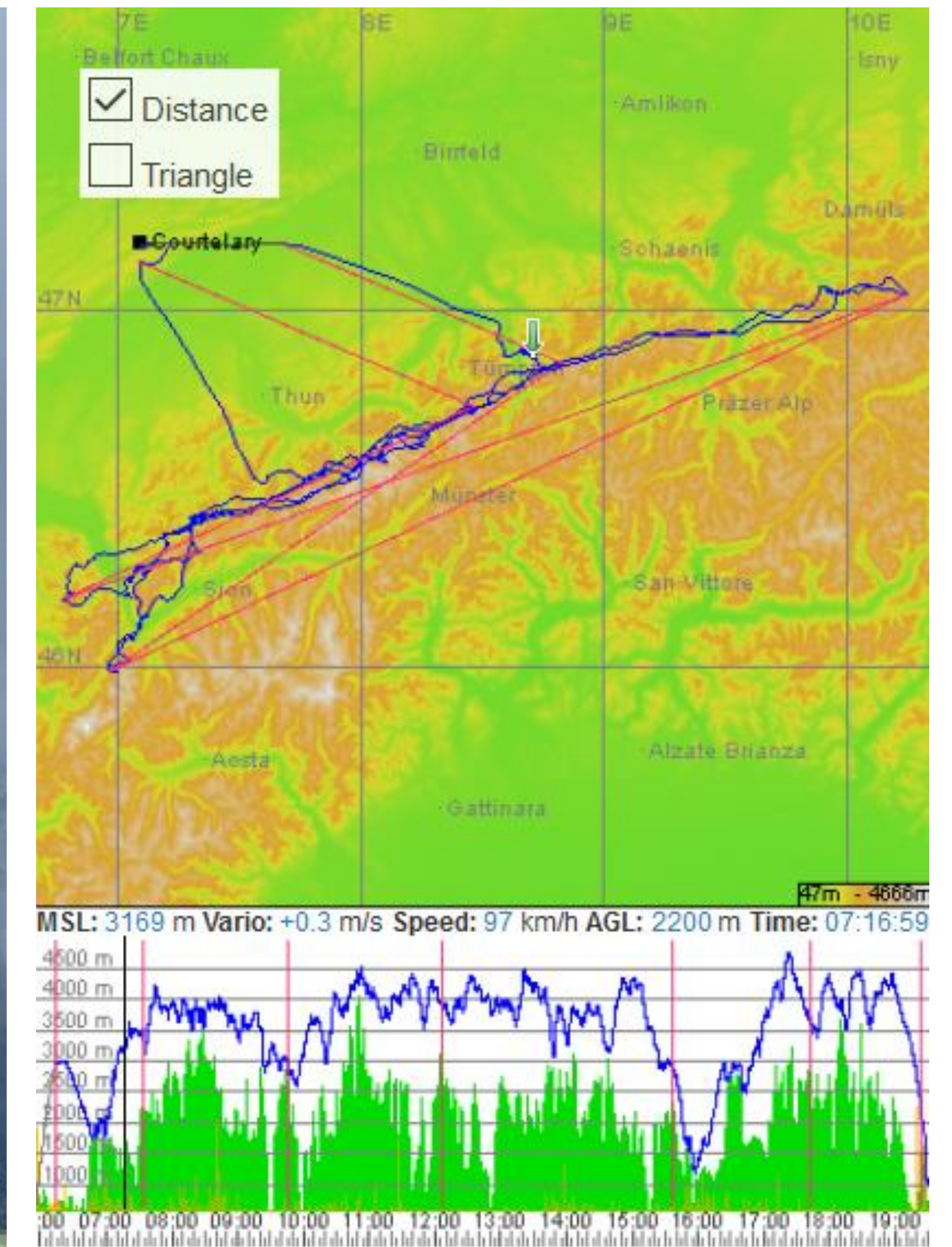
- 12 juin 2021 : vent d'altitude S-SW sur les Alpes, dépression au nord des Alpes, haute pression au sud



Foehn du sud



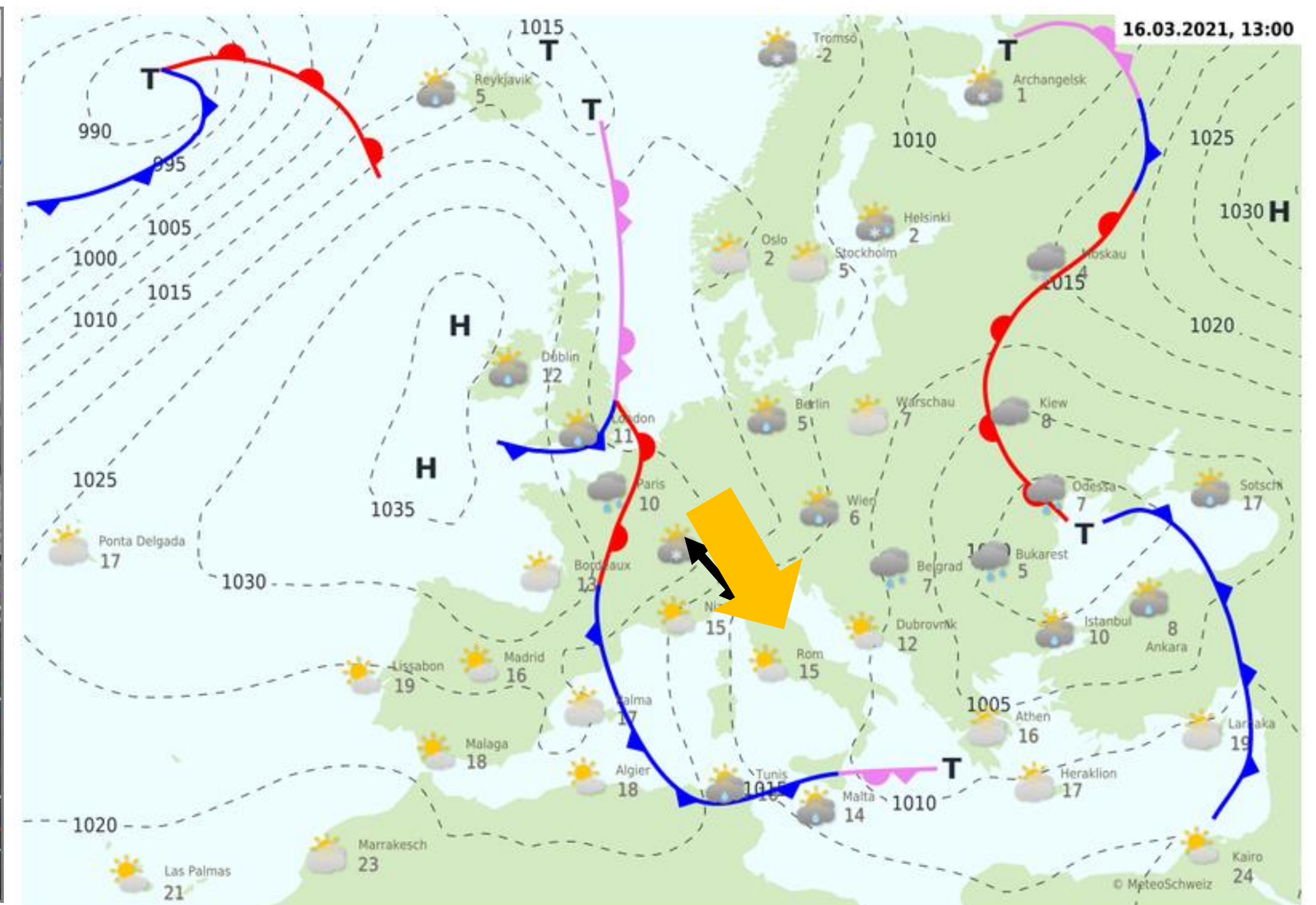
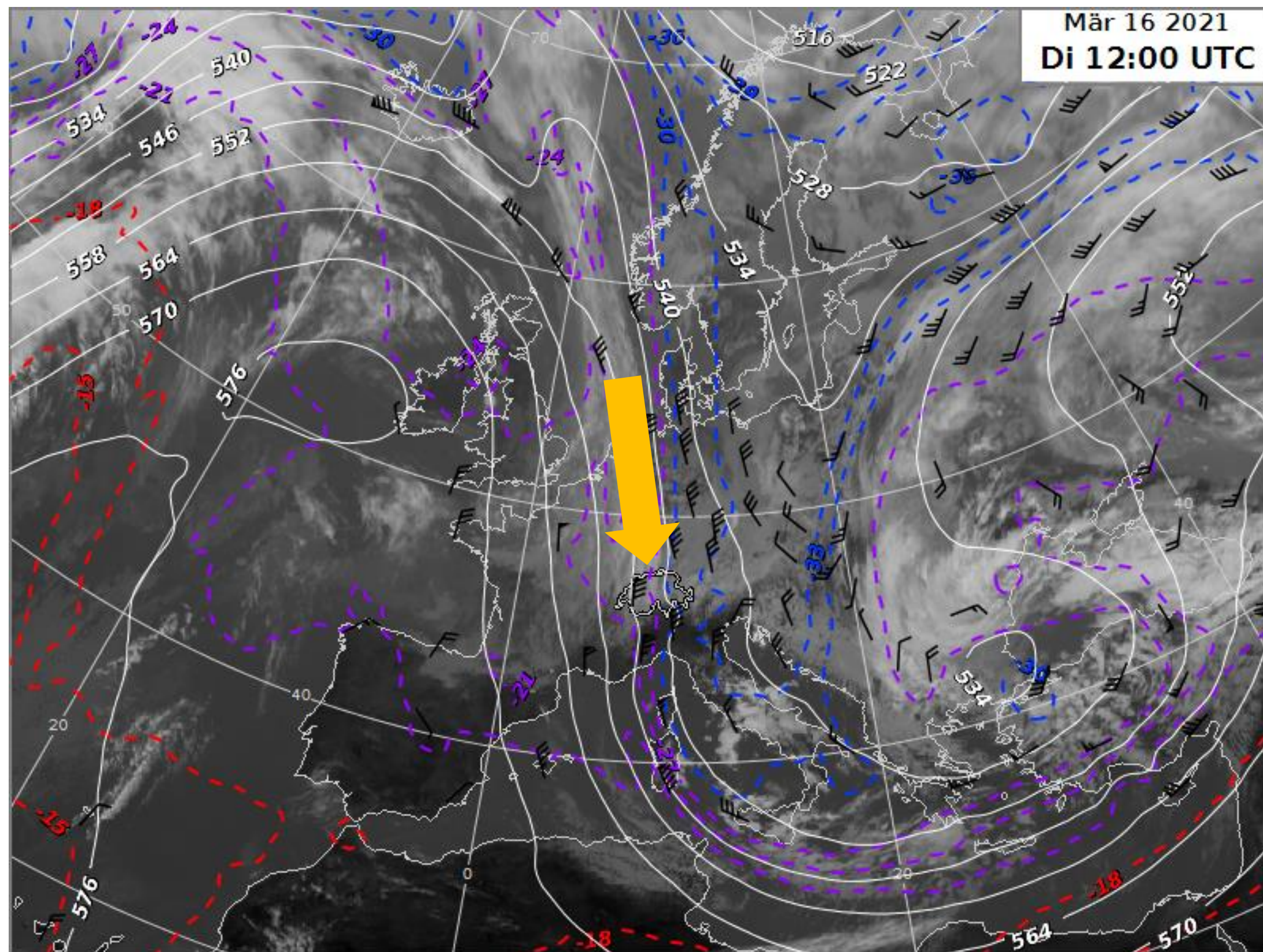
Dans le ressaut sous le vent des Diablerets, trou de foehn à gauche, 12 juin 2020
@Aude Untersee



1000 km en foehn, Yves Gerster

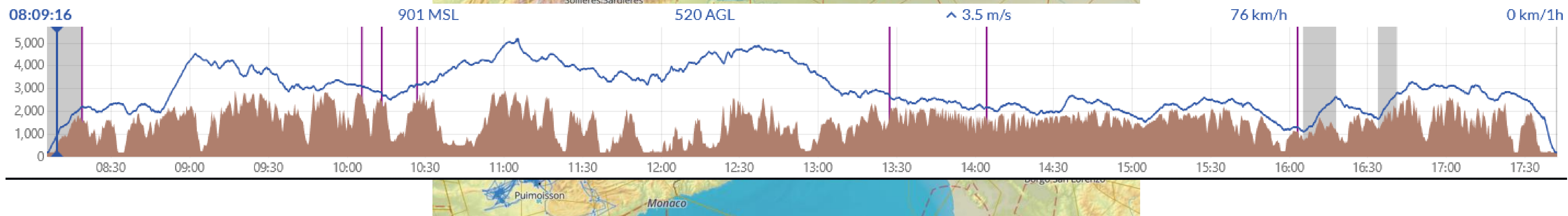
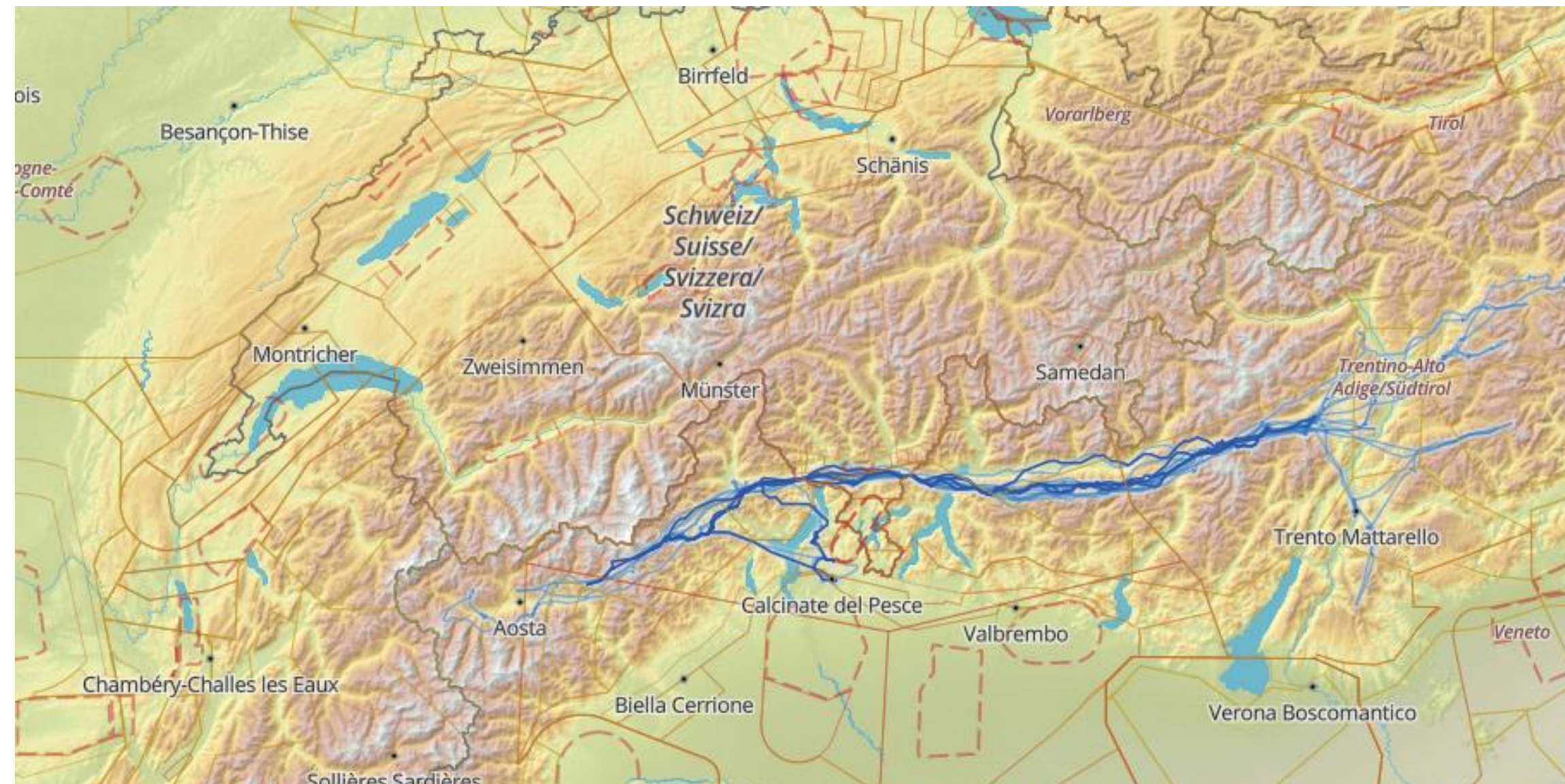
Foehn du nord

- 16 mars 2021 : flux N sur les Alpes, forte hausse de pression au nord induisant un gradient de pression ~ 7 hPa de part et d'autre de l'arc alpin



Foehn du nord

- 16 mars 2021 : nombreux vols du Tessin jusque dans le Tirol, en pente et en onde

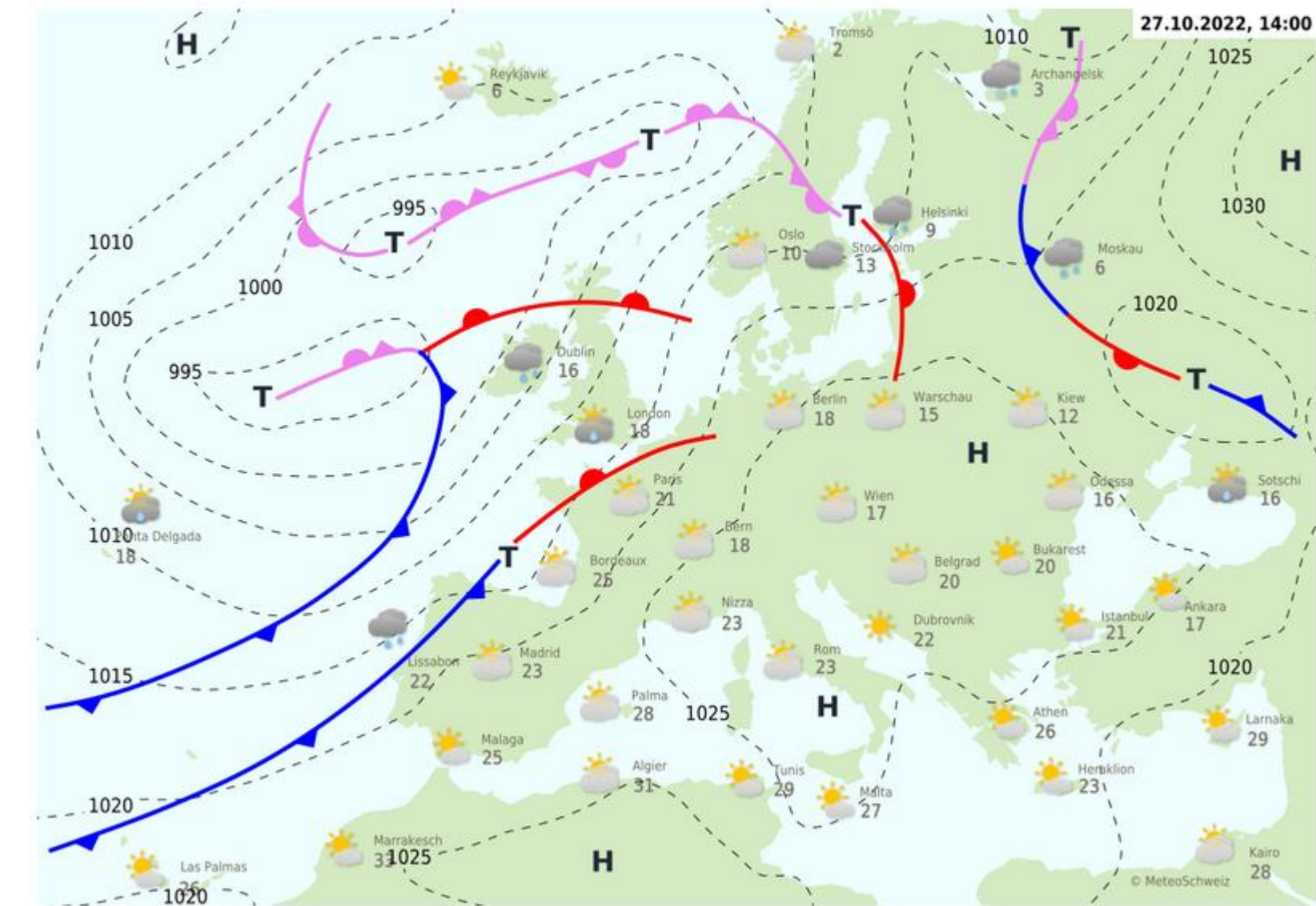


Situation générale

Combiner prévisions :

- ✓ Isobares : centres d'action en surface
- ✓ Géopotential 500 hPa : flux en altitude
- Intérêt : analogue de situations passées connue

Exemple du 27 octobre 2022



Géopotential à 500 hPa prévu du 26.10 au 03.11 par le modèle européen, visualisé avec [Windy](https://www.windy.com)

Les ingrédients



Démarche d'analyse «*check-list*» :

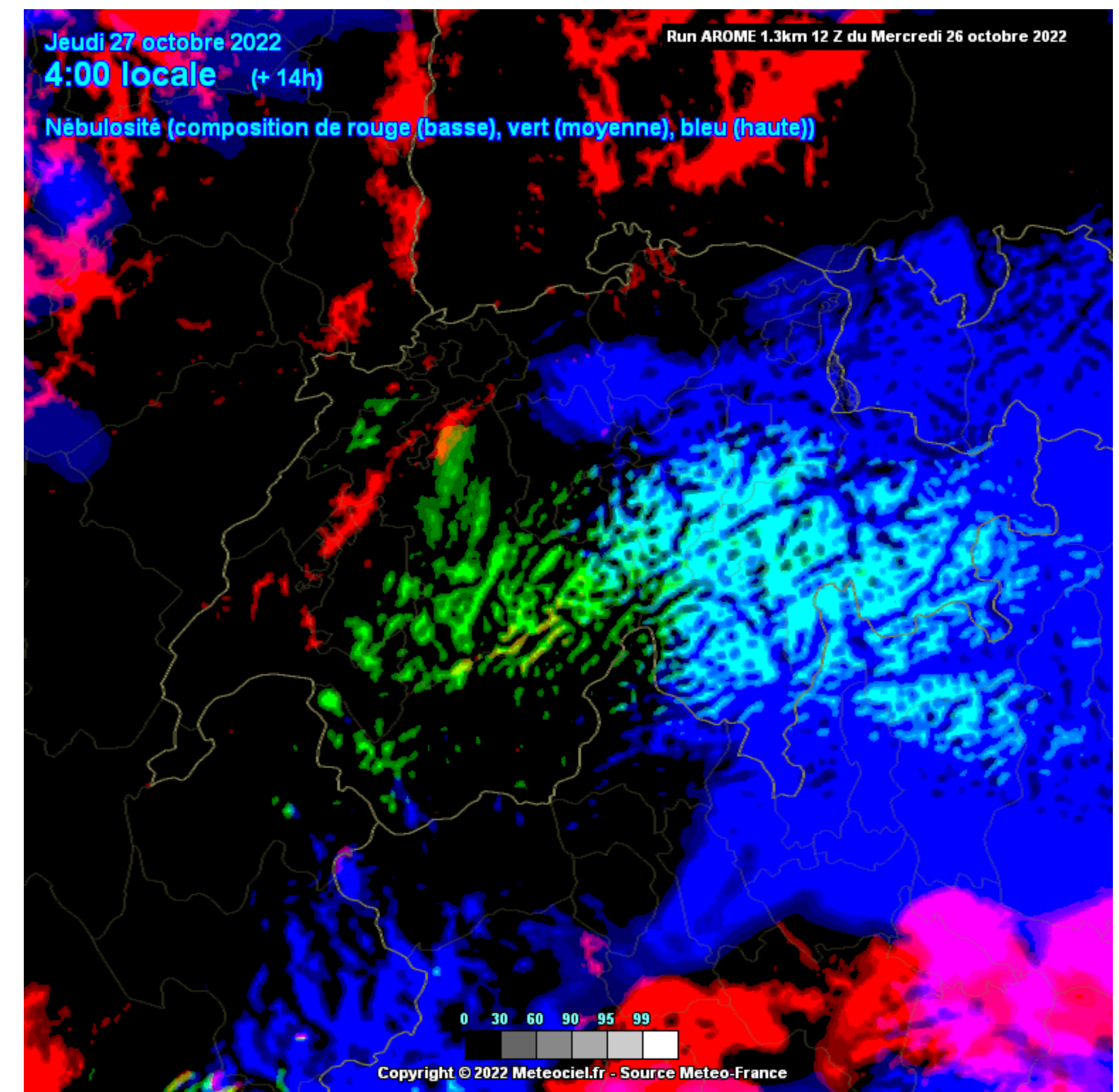
- 1) Situation générale
 - Est-ce volable?
- 2) **Temps sensible**
 - **Allure du ciel? Matérialisations?**
- 3) Conditions aérologiques
 - Plafond, force ascendances?
- 4) Menaces/dangers
 - Eléments à surveiller en vol?
- 5) Incertitudes
 - Quelles alternatives possibles?

Temps sensible

- Pour affiner à l'échelle du pays, modèles meilleure résolution (ICON-D2, AROME)
- Vent, températures, nuages, précipitations...

Nuages bas
Nuages moyens
Nuages élevés

Prévision couches nuageuses pour jeudi 27 octobre, modèle AROME, via [Meteociel](https://www.meteociel.fr)



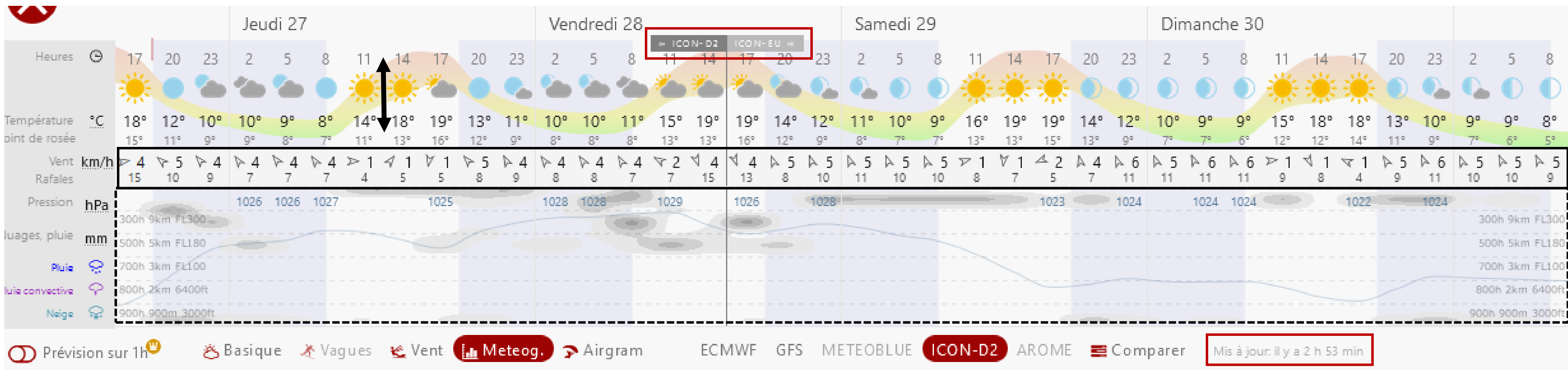
Prévision locale



Amplitude thermique

Vent au sol

Modèle utilisé



Couches nuageuses

Météogramme prévu à Fribourg

Dernière mise à jour

Les ingrédients



Démarche d'analyse «*check-list*» :

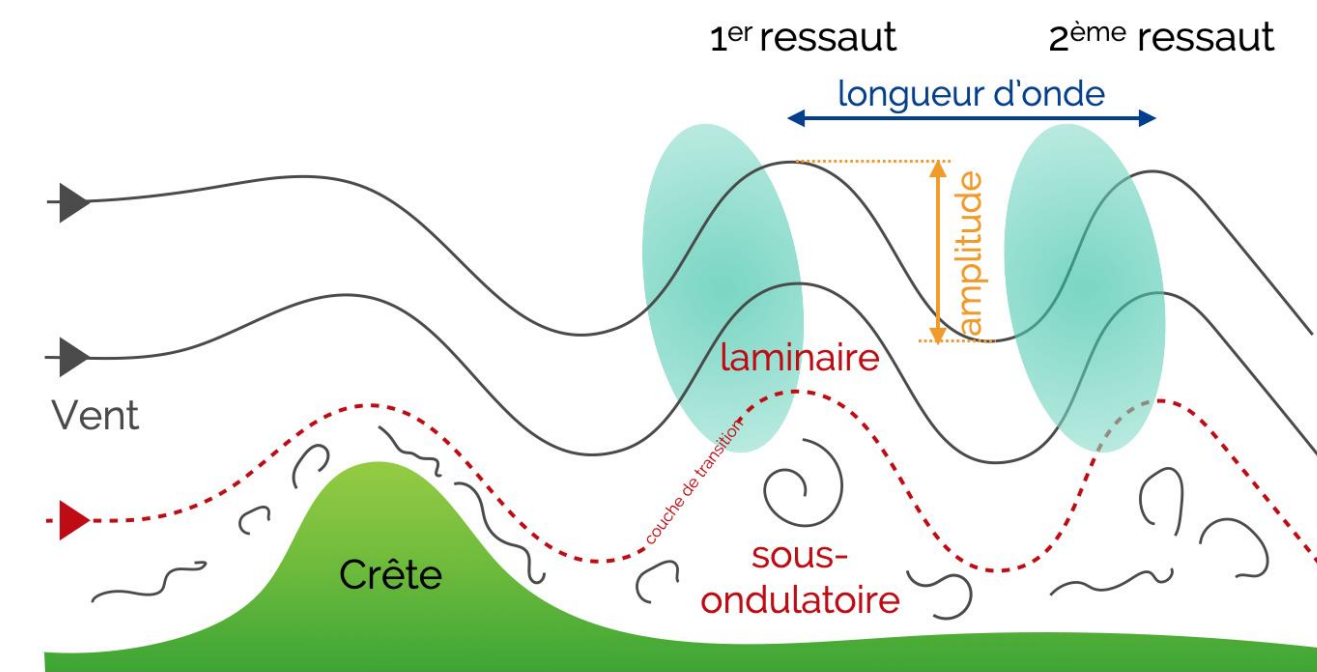
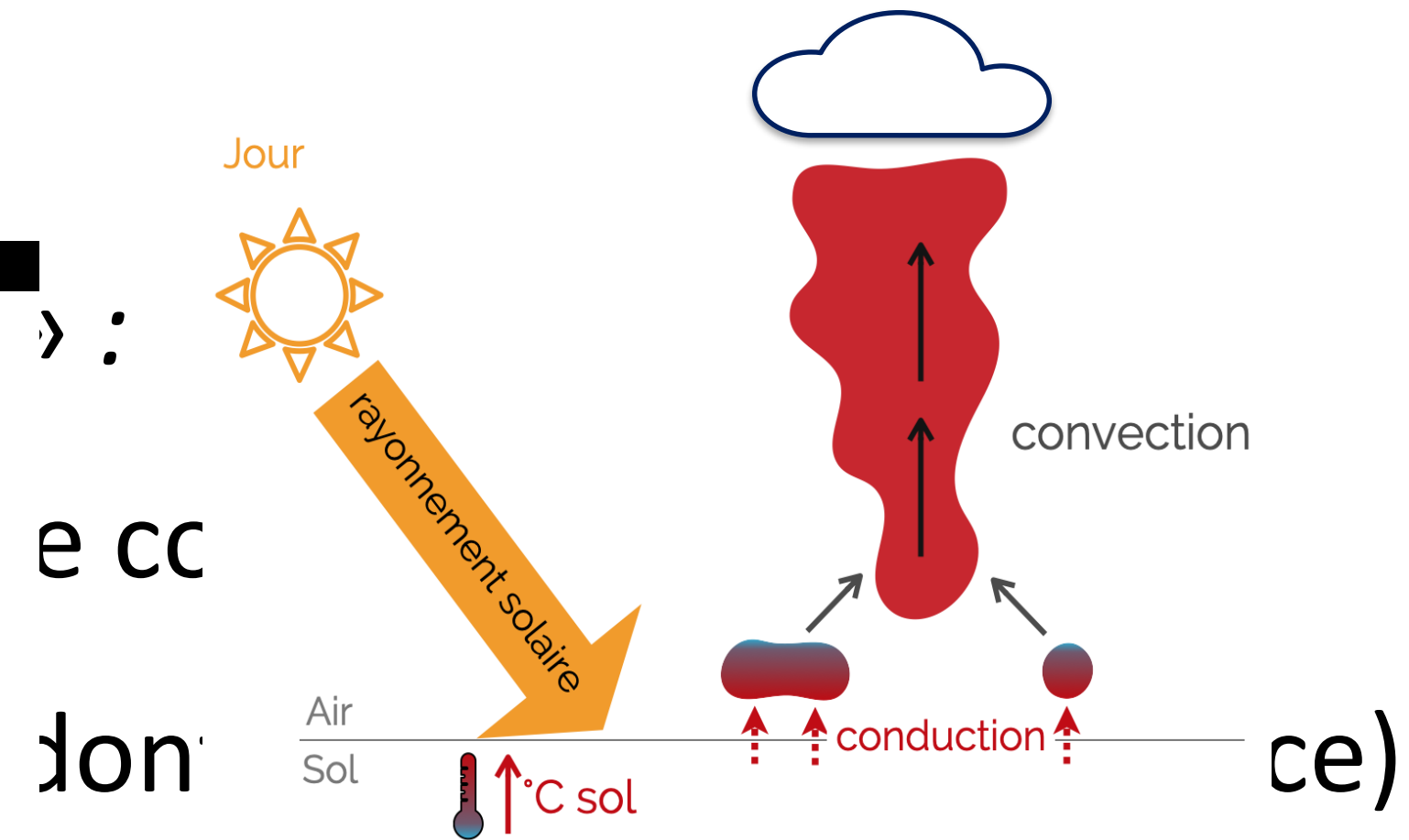
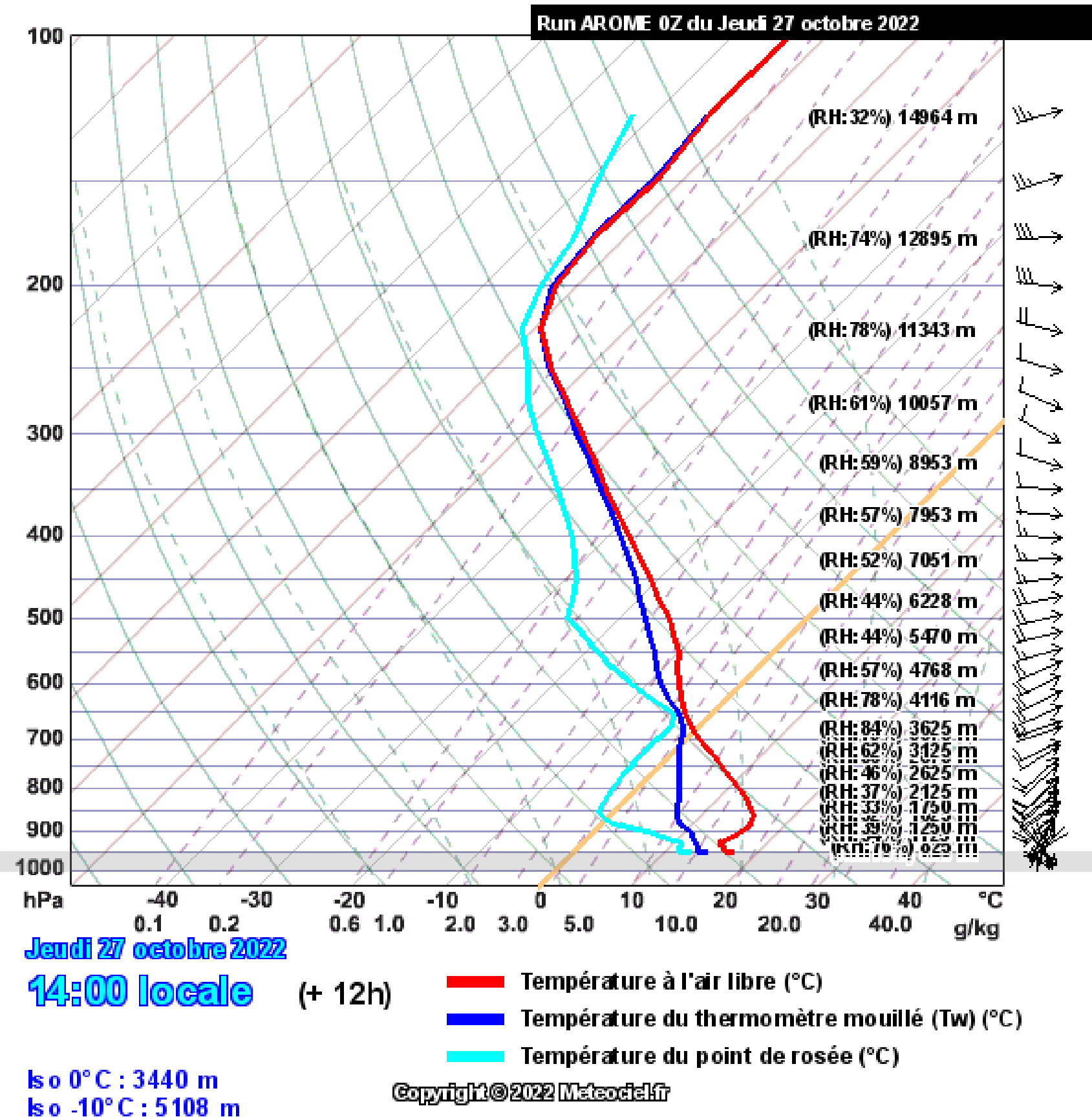
- 1) Situation générale
 - Est-ce volable?
- 2) Temps sensible
 - Allure du ciel? Matérialisations?
- 3) **Conditions aérologiques**
 - **Plafond, force ascendances?**
- 4) Menaces/dangers
 - Eléments à surveiller en vol?
- 5) Incertitudes
 - Quelles alternatives possibles?

Conditions aérologiques

Y a-t-il des mouvements verticaux? Et où?

→ Outils dédiés

- Meteoparape
- Meteociel : gr
- SkySight : the
- TopTherm : th
- TopMeteo : th
- Soaringmetec



En thermique

- Plafond
- Durée du créneau
- Vitesses moyennes des thermiques
- Matérialisations
- Confluences
- Rues de nuages

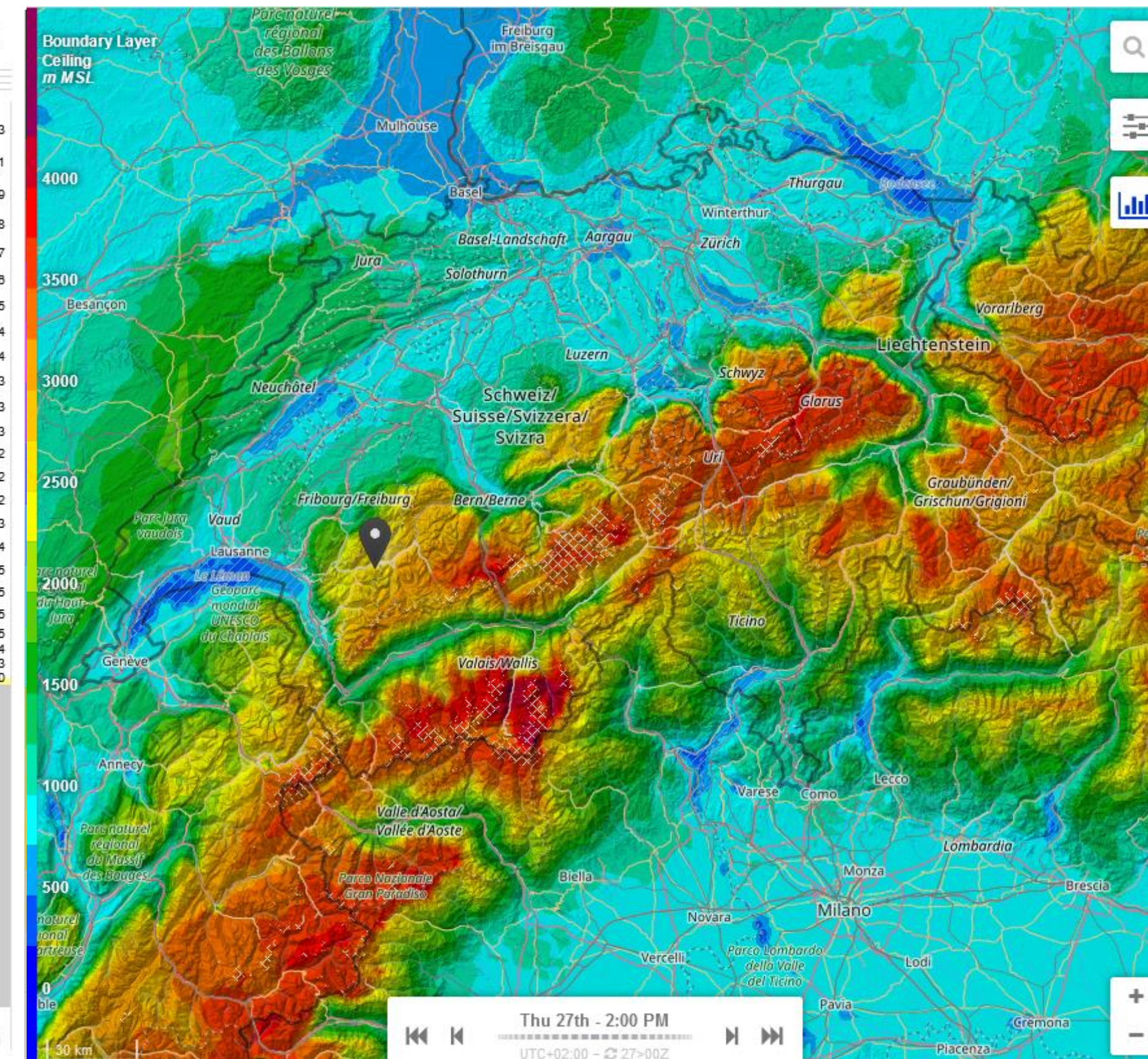
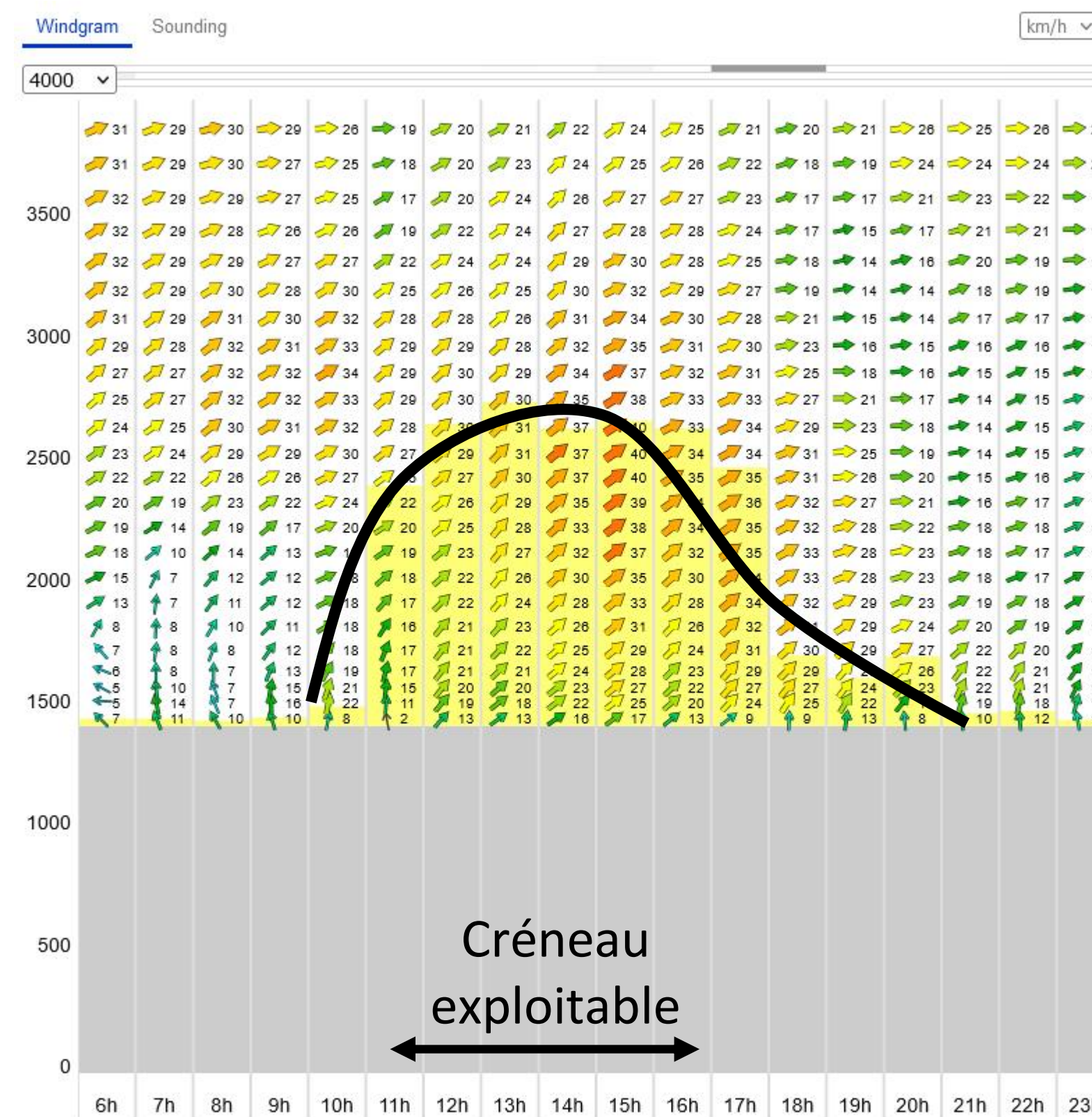


Beaux cumulus dans les Préalpes vaudoises, développements orageux au fond sur le Jura

Photo @Aude Untersee

En thermique

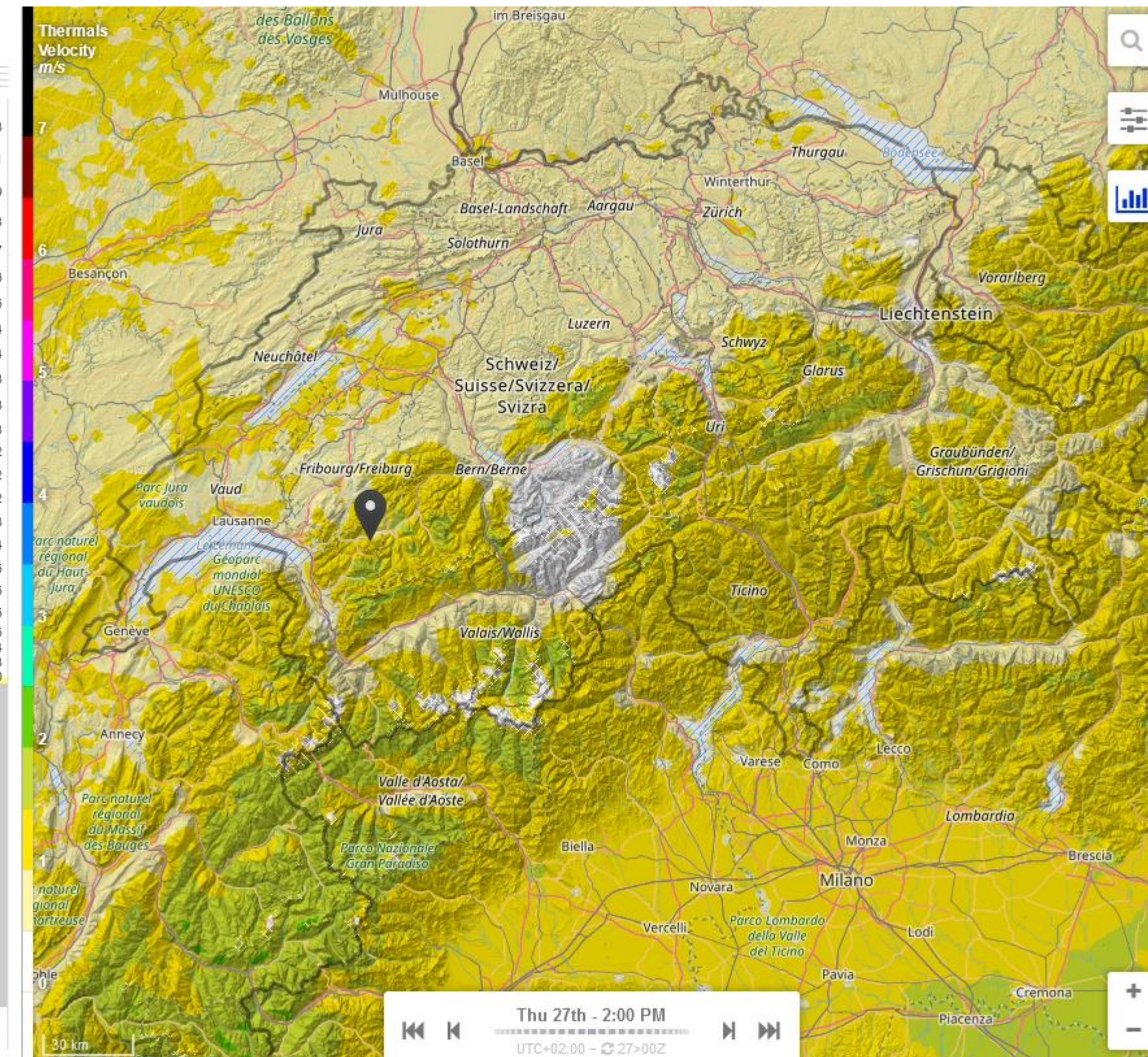
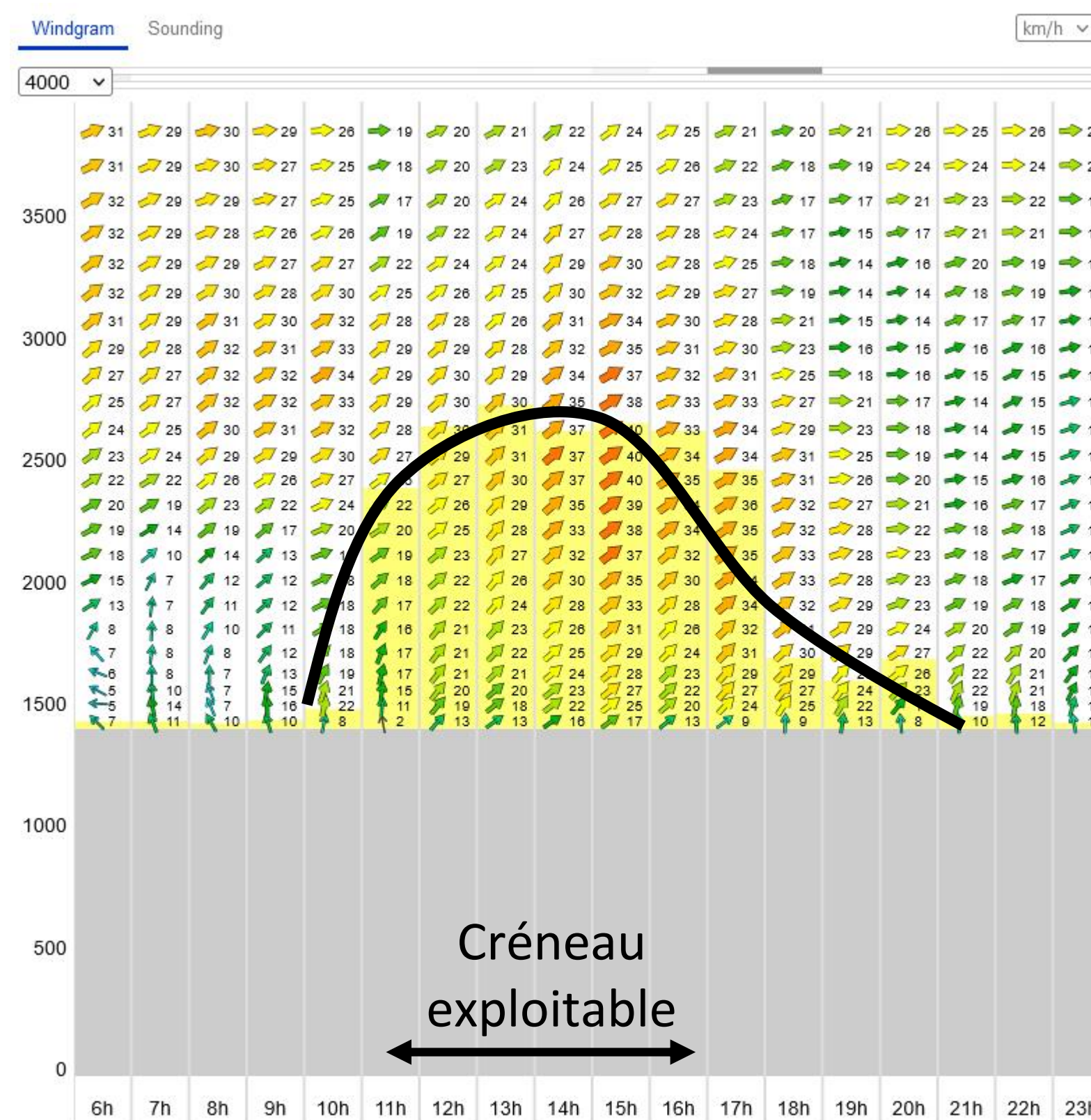
- Plafond
- Durée du créneau
- Vitesses moyennes des thermiques
- Matérialisations
- Confluences
- Rues de nuages



Coupe journalière hauteur exploitable et vent, et carte de l'altitude des thermiques jeudi 27 octobre à 14h locales avec [meteoparapente](https://www.meteoparapente.com/)

En thermique

- Plafond
- Durée du créneau
- **Vitesses moyennes des thermiques**
- Matérialisations
- Confluences
- Rues de nuages



Coupe journalière hauteur exploitable et vent, et carte des vitesses des thermiques jeudi 27 octobre à 14h locales avec [meteoparapente](https://www.meteoparapente.com/)

En thermique



Vérification : ciel à 14h40 depuis le sommet du Mont Fort (VS) jeudi 27 octobre

Photo : Webcam @Roundshot.ch

En dynamique

- Gradient de pression
- Vent au niveau des crêtes
- Position, force et extension verticale des ressauts d'onde
- Couches nuageuses

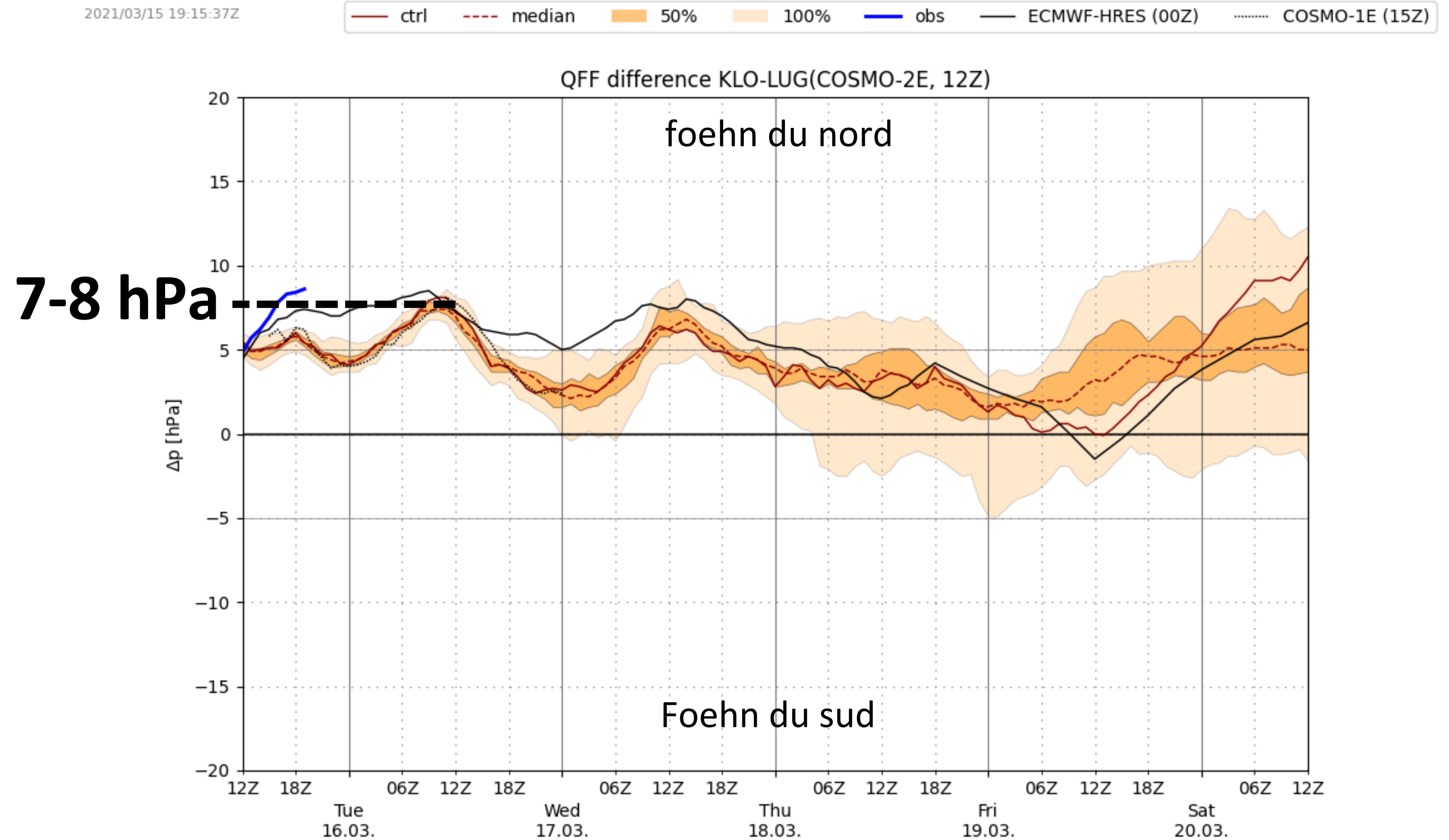


Lenticulaires lors d'un vol en onde de sud, le 29 octobre 2021

Photo @Yves Gerster

Foehn du nord

- Gradient de pression
- Vent au niveau des crêtes
- Position, force et extension verticale des ressauts d'onde
- Couches nuageuses

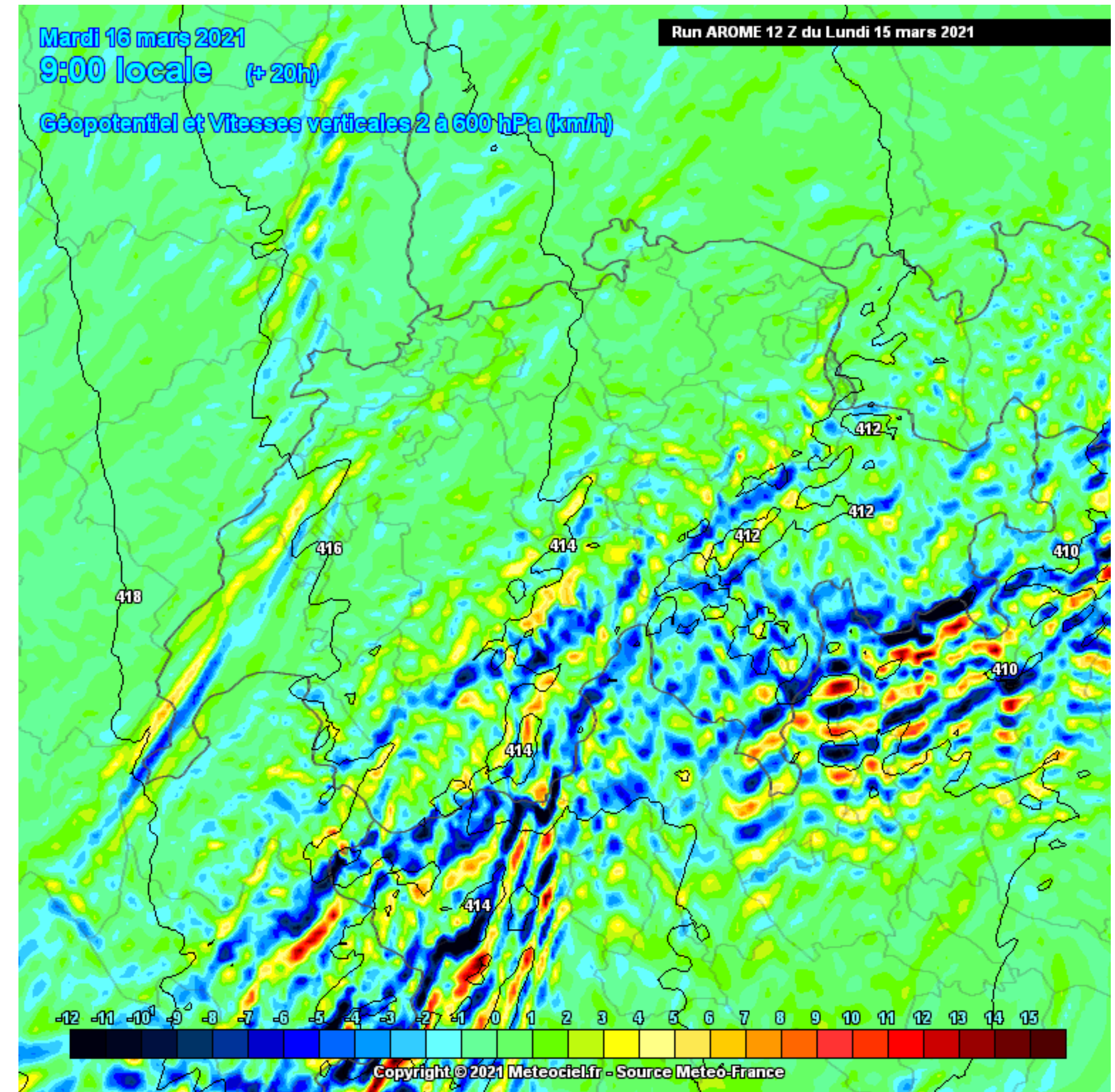


Prévision de gradient de pression entre le nord et le sud des Alpes du 16 au 30 mars 2021

Foehn du nord

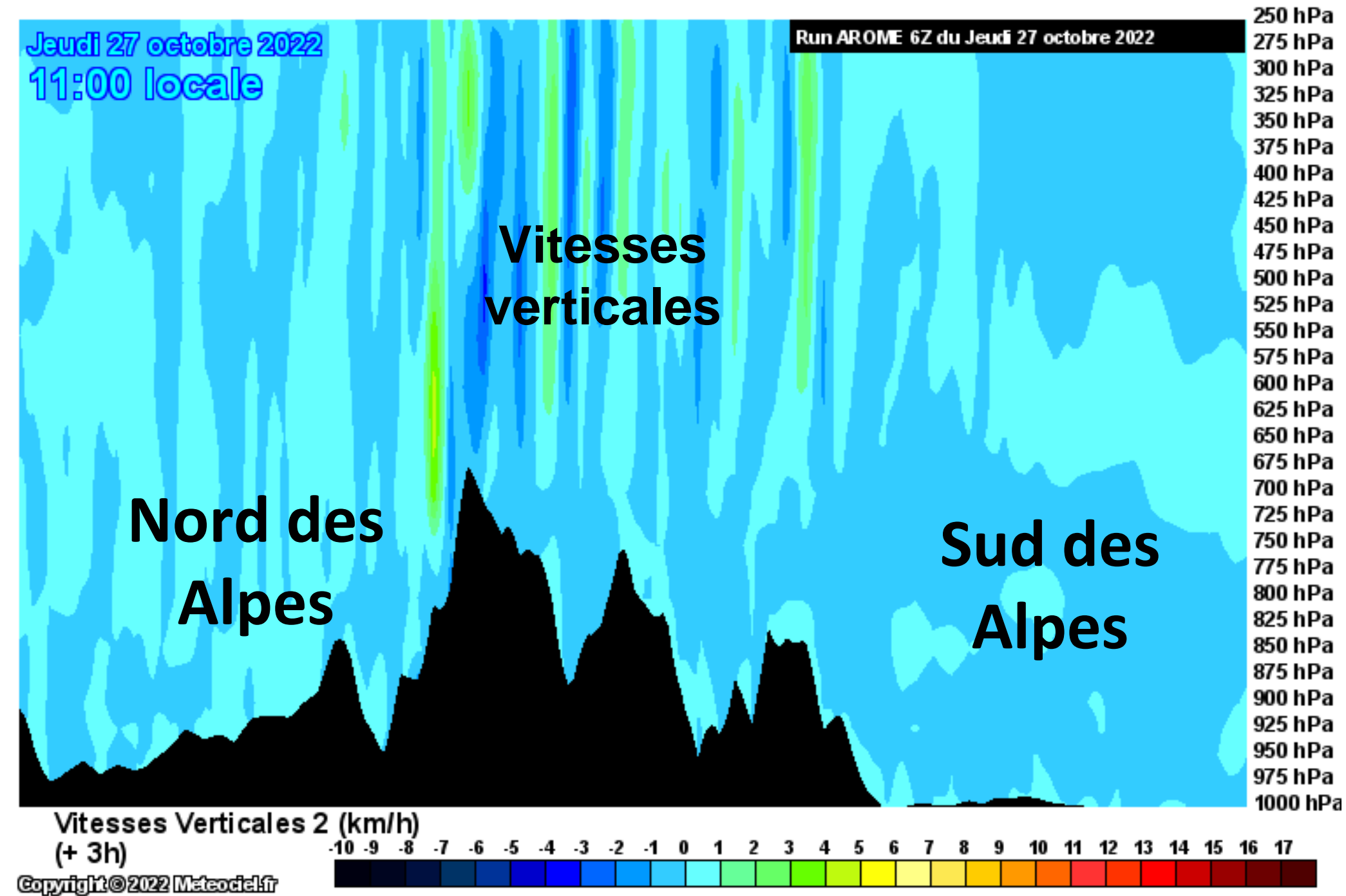
- Gradient de pression
- Vent au niveau des crêtes
- **Position, force et extension verticale des ressauts d'onde**
- Couches nuageuses

Prévision de vitesse verticales à 4300 m d'altitude, modèle AROME, Météociel



Foehn du nord

- Gradient de pression
- Vent au niveau des crêtes
- **Position, force et extension verticale des ressauts d'onde**
- Couches nuageuses



Coupe verticale
au choix

Différents
paramètres

Rendre permanent

3 h

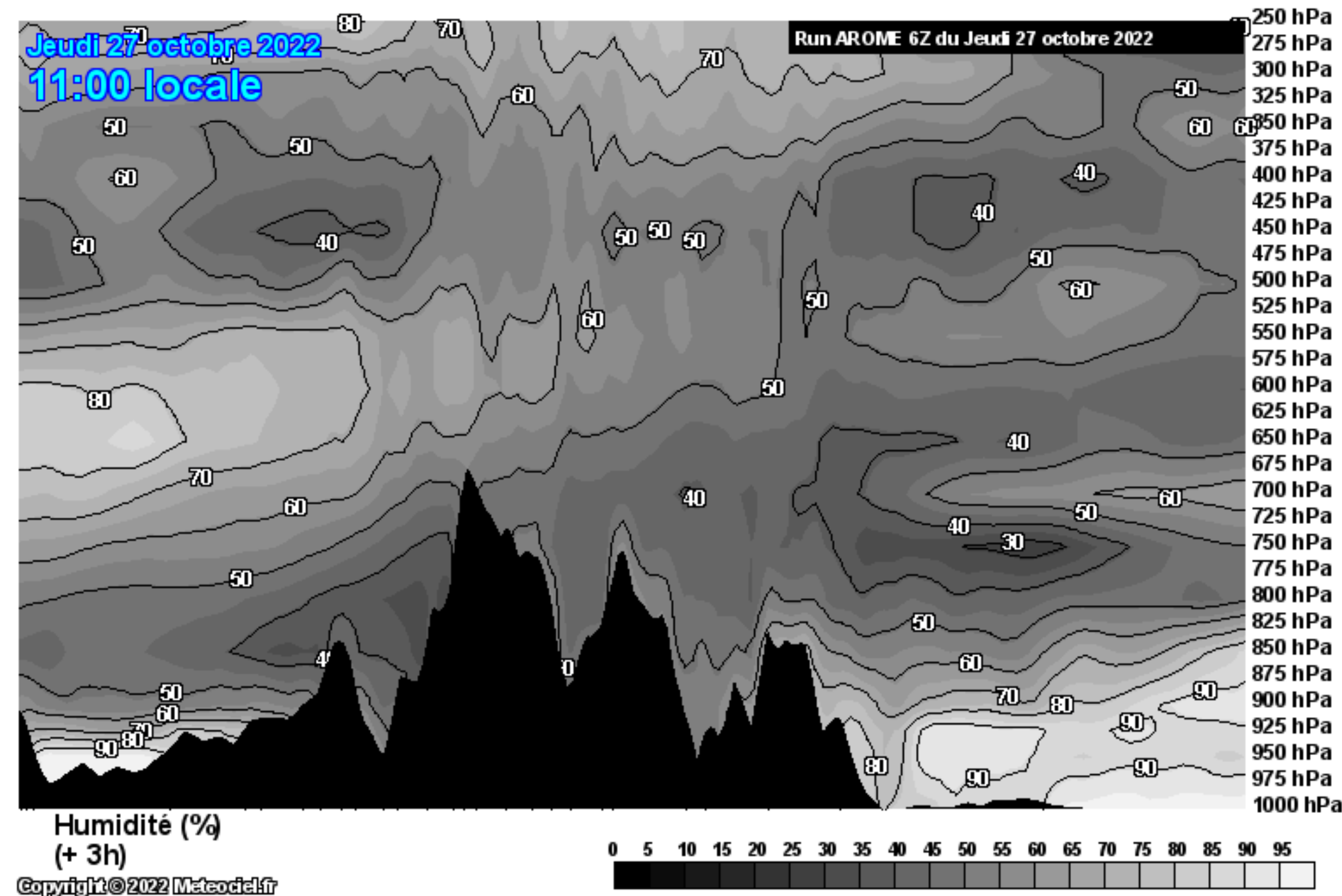
Paramètre	Couche à afficher
<input type="radio"/> Températures	Niveau haut : 250 hPa
<input type="radio"/> Humidité	Niveau bas : 1000 hPa
<input type="radio"/> Thêta E	
<input type="radio"/> Vitesses verticales	
<input type="radio"/> Vent horizontal	
<input type="radio"/> Vent perpendiculaire	
coupe	
<input type="radio"/> Divergence horizontale	
<input type="radio"/> Theta'W	
<input checked="" type="radio"/> Vitesses verticales 2	

Envoyer

Modèle AROME
visualisé sur
Meteociel

Foehn du nord

- Gradient de pression
- Vent au niveau des crêtes
- Position, force et extension verticale des ressauts d'onde
- Couches nuageuses



Coupe verticale
au choix

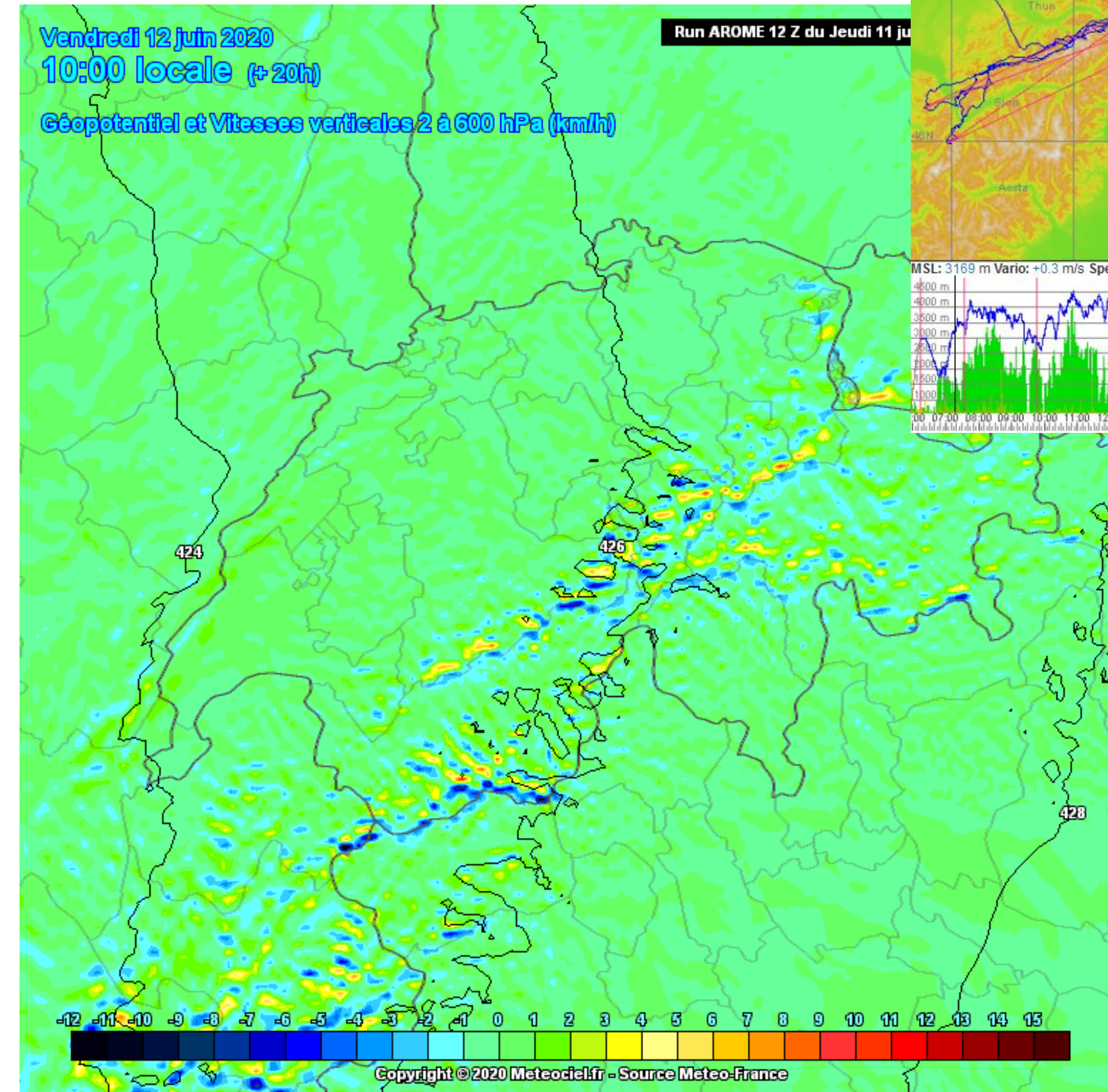
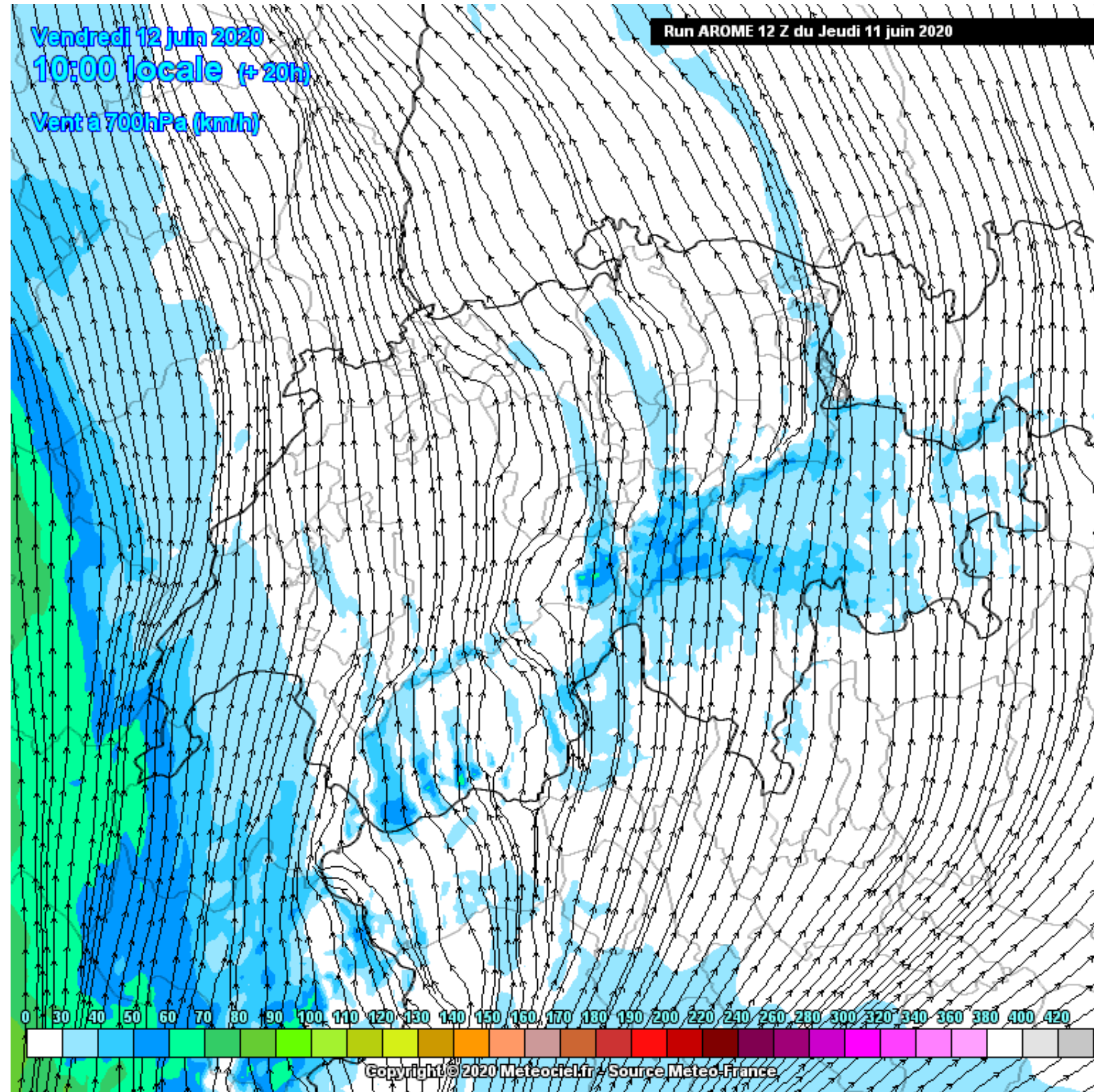
Différents
paramètres

Paramètre	Couche à afficher
<input type="radio"/> Températures	Niveau haut : 250 hPa
<input type="radio"/> Humidité	
<input type="radio"/> Thêta E	Niveau bas : 1000 hPa
<input type="radio"/> Vitesses verticales	
<input type="radio"/> Vent horizontal	
<input type="radio"/> Vent perpendiculaire	
<input type="radio"/> Divergence horizontale	
<input type="radio"/> Theta'W	
<input checked="" type="radio"/> Vitesses verticales 2	

Modèle AROME
visualisé sur
Meteociel

Foehn du sud

12 juin 2020 : prévision de vent à 700 hPa et vitesses verticales à 600 hPa



Les ingrédients



Démarche d'analyse «*check-list*» :

- 1) Situation générale
 - Est-ce volable?
- 2) Temps sensible
 - Allure du ciel? Matérialisations?
- 3) Conditions aérologiques
 - Plafond, force ascendances?
- 4) **Menaces/dangers**
 - **Éléments à surveiller en vol?**
- 5) Incertitudes
 - Quelles alternatives possibles?

Menaces

- Voiles nuageux d'altitude, étalements
- Couverture nuageuse chargée voire soudée (onde)
- Développement d'averses/orages

→ Prise en compte dans planification journée/circuit

→ Rester opportuniste !

Les ingrédients

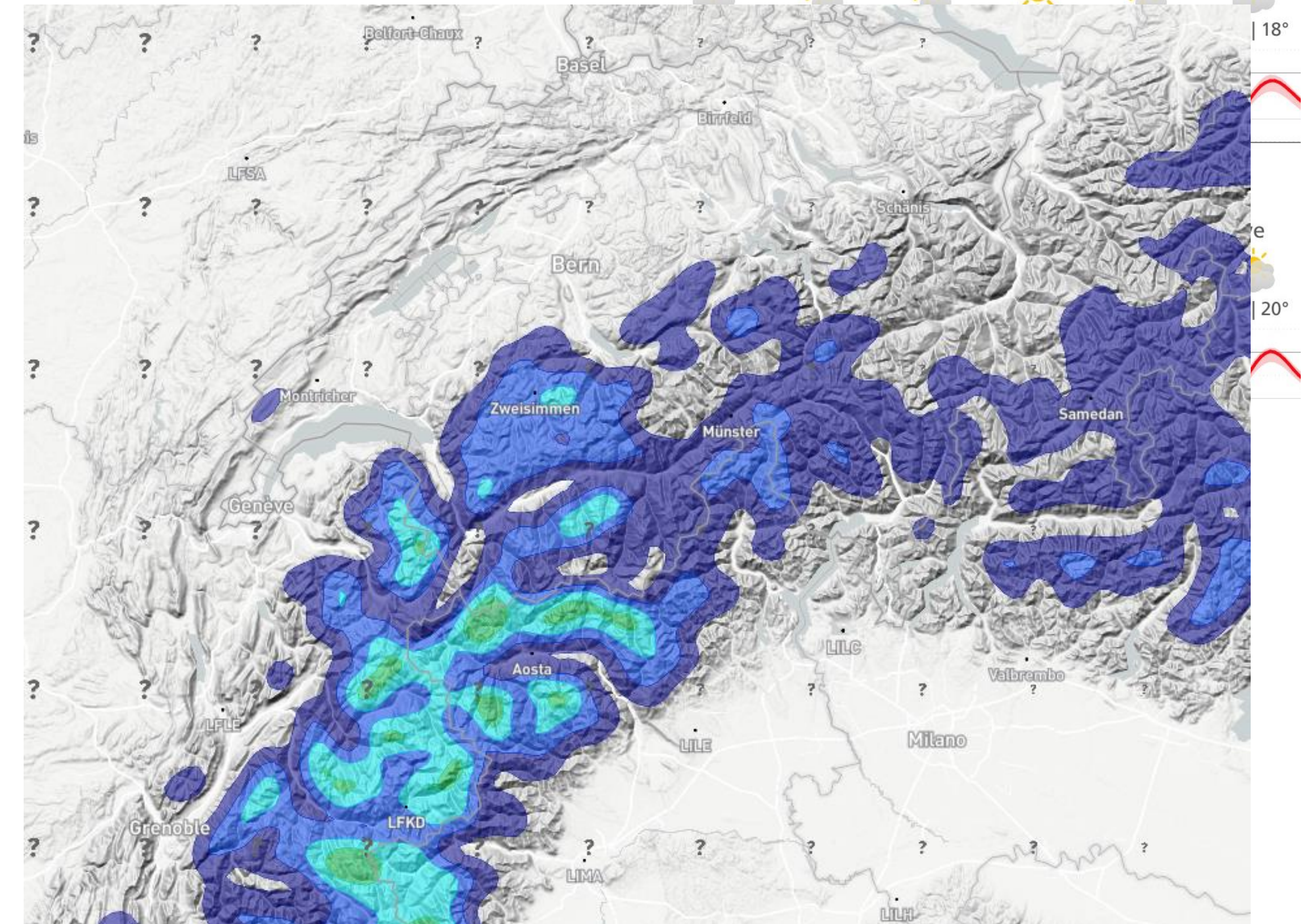
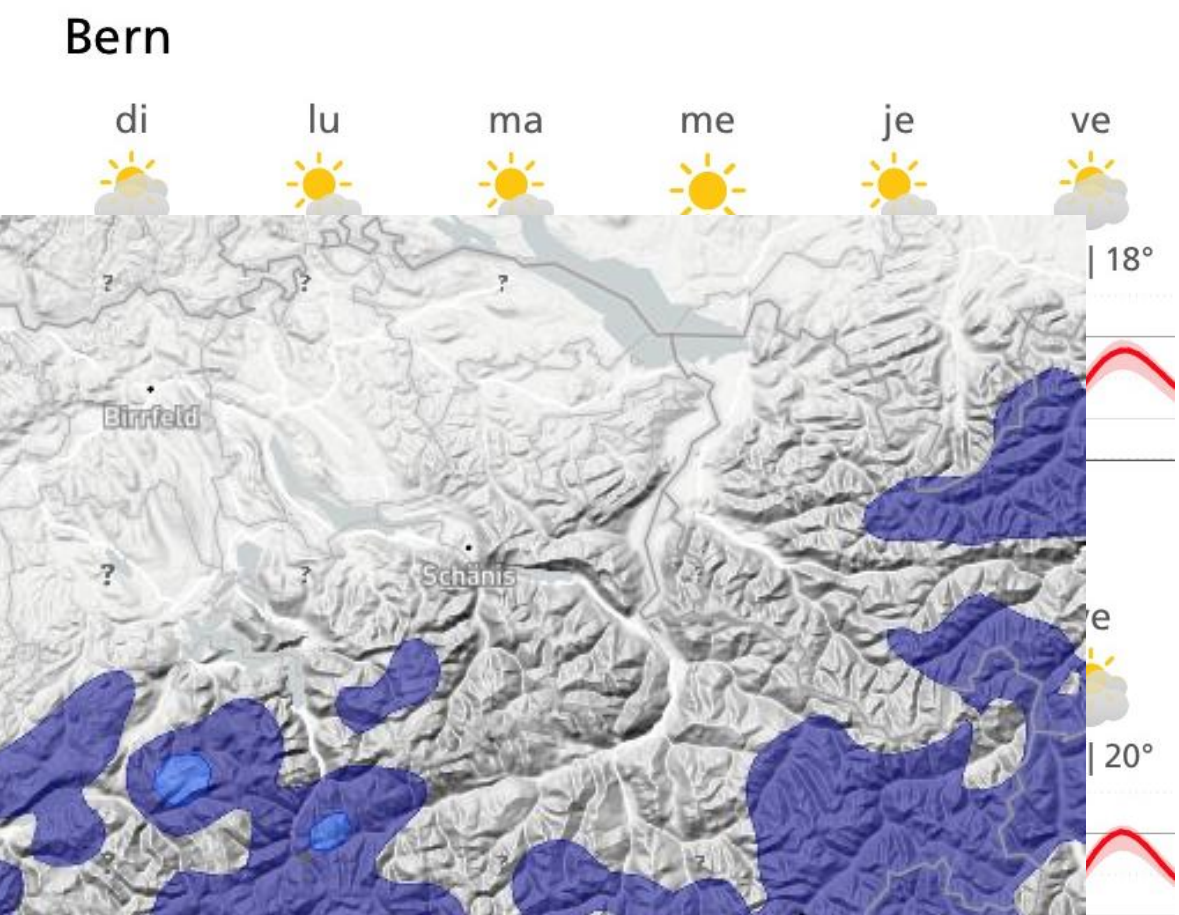
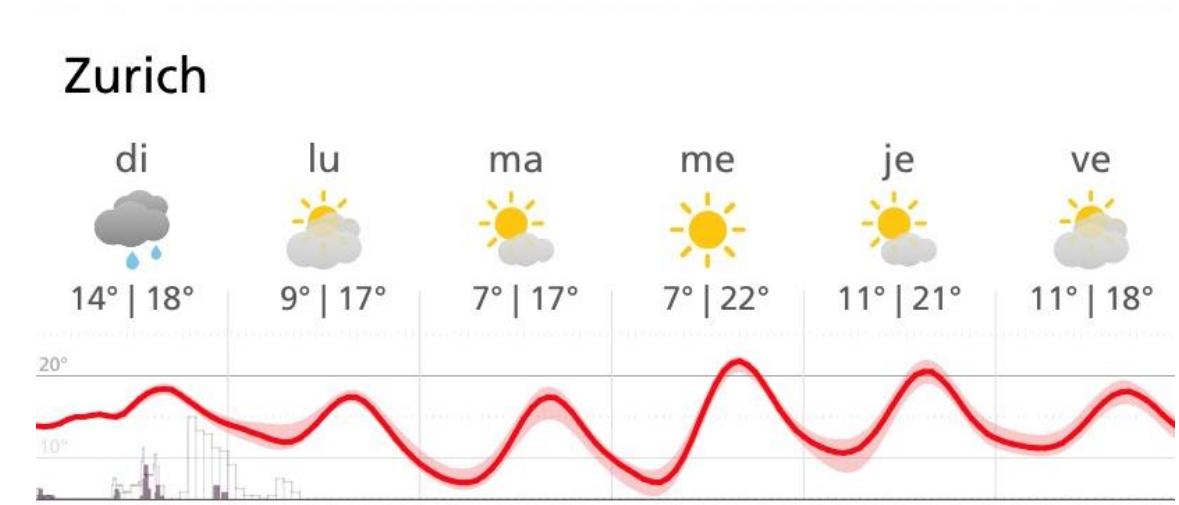


Démarche d'analyse «*check-list*» :

- 1) Situation générale
 - Est-ce volable?
- 2) Temps sensible
 - Allure du ciel? Matérialisations?
- 3) Conditions aérologiques
 - Plafond, force ascendances?
- 4) Menaces/dangers
 - Eléments à surveiller en vol?
- 5) **Incertitudes**
 - **Quelles alternatives possibles?**

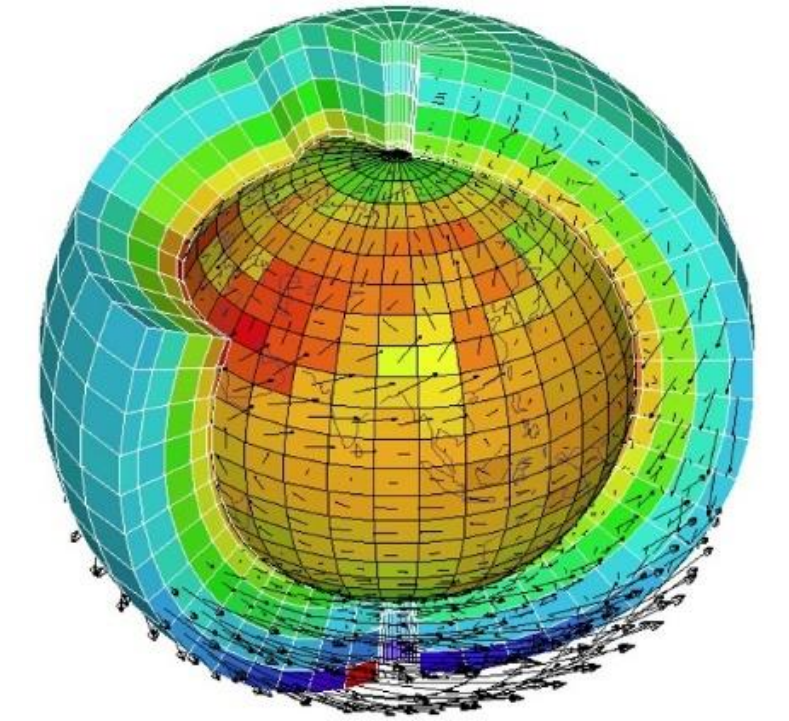
Incertitudes

- Dépendent de l'échéance et de la situation
- Prédiction d'ensemble → probabilités
- Comparer prévisions : multimodèle
- Outils prévision vol à voile aussi !



DPV en couleurs, la taille des points d'interrogation est proportionnelle à l'incertitude de la prévision

Les limites des modèles

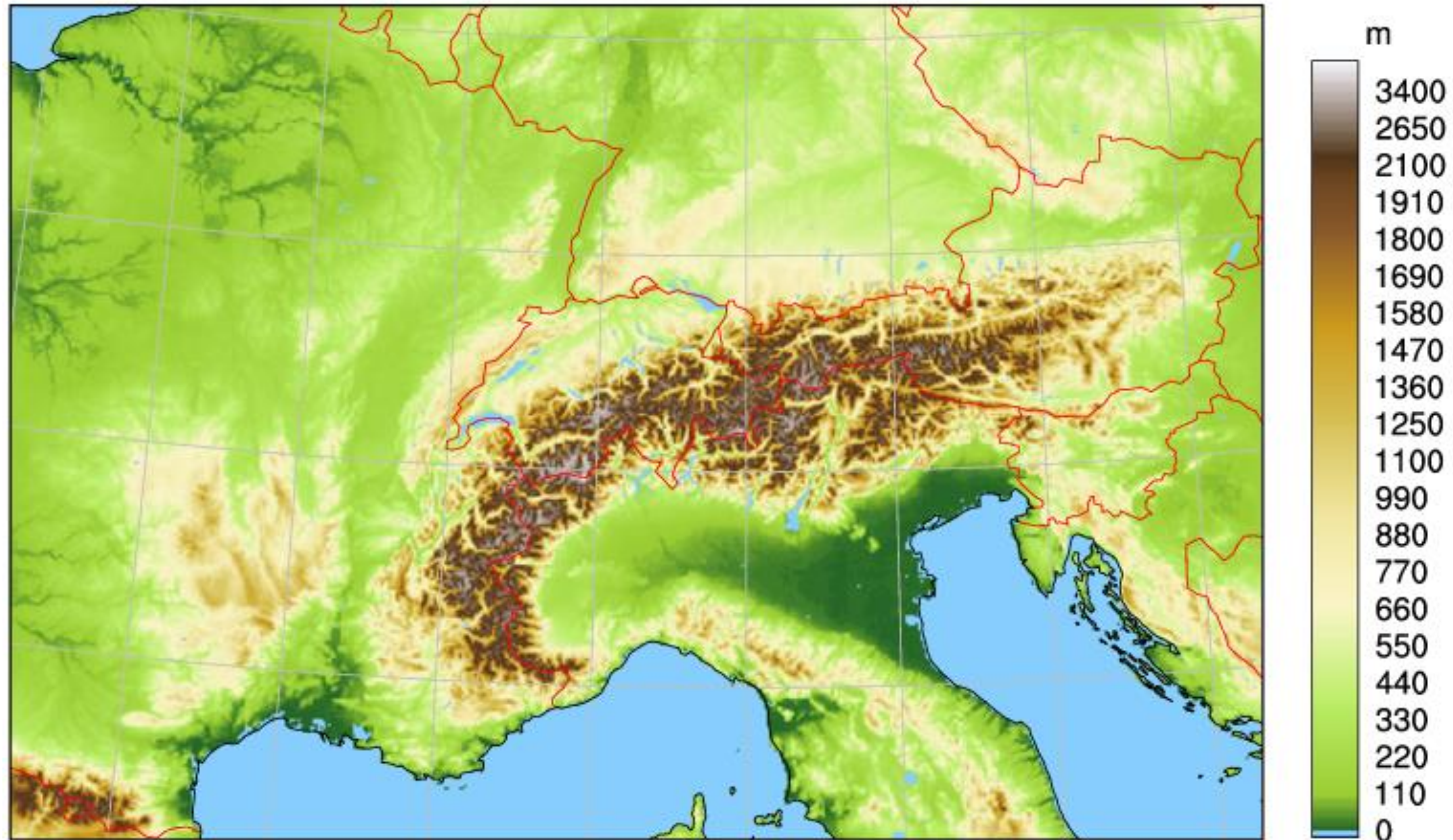


- Résolution
- Processus d'échelle $<$ km comme la convection paramétrisés
- Situations à forte incertitude : orages (marais barométrique)
- Situations avec biais systématiques :
 - Traîne après perturbation très pluvieuse (humidité des sols)
 - Panaches sahariens (insuffisante prise en compte des concentrations d'aérosols)

Résolution

COSMO-1E ENSEMBLE_FORECAST Version: 403
Height of Orography

Tue 03 Mar 2020 00UTC
03.03.2020 00UTC +00h



4267 m

Geometric height of the earth surface above msl [m]

Min/Max: -1.0/4267.5 [m]

Une recette

Bons outils

Expérience

Connaissances

- ✓ Méthode/*Check-list* prévision
- ✓ Situations favorables en thermique/onde
- ✓ Jouez avec les archives météo!
- ✓ Même en mélangeant tous les ingrédients...
il y a des surprises, bonnes et mauvaises!



Merci pour votre attention



Questions? Fragen?



Liens

Prévision «générale» :

- [MétéoSuisse](#)
- [Windy](#)
- [Meteoblue](#)
- [Meteociel](#)

Prévision spécifique vol à voile :

- [Meteoparapente](#)
- [SkySight](#)
- TopTherm
- [TopMeteo](#)

Documentation sur les modèles :

- [Wettervorhersage DWD](#) (Deutsch)
- [Situations météorologiques typiques dans la région des Alpes](#) (brochure MétéoSuisse)
- [Système de prévision COSMO à MétéoSuisse](#)



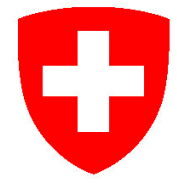
Annexes

- Outils de prévision vol à voile : comparaison
- Prévision du temps
- Résolution des modèles
- Représentation de la surface & processus atmosphériques
- Paramétrisation
- Incertitudes
- Prévision d'ensemble

Outils de prévision



Outil	TopTherm	TopMeteo	SkySight
Modèle(s)	ICON-EU	WRF & GFS	WRF & ICON-EU
Couverture	Europe	Europe, US, Namibie-AFDS	Globale
Échéance	jusqu'à 6 jours	jusqu'à 6 jours	5 jours
Historique prévisions	1 mois	2 jours	14 jours
Probabiliste	Oui (40 membres)	-	Oui



Comparaison fonctionnalités

Outil	TopTherm	TopMeteo	SkySight
Convergences	-	-	✓
Onde	✓	✓	✓
Émagramme	-	-	✓
Coupes	✓	-	✓
Observations	-	✓	✓
Planification circuit	✓	-	✓
Analyse circuit	✓	-	✓

Thermique

Paramètres météorologiques

Support de prévision

- Instabilité : épaisseur de la tranche convective
- Nature humide ou sèche de la masse d'air

Profil vertical de température (émagramme) prévu

- Distribution spatiale de la convection (nébulosité en octas, rues de nuages)
- Nébulosité défavorable (arrivée de cirrus, entrées maritimes...)

Carte de la nébulosité basse, moyenne et haute

Hauteur des ascendances thermiques

Carte de la hauteur des ascendances

Force des ascendances thermiques

Carte de la vitesse moyenne des ascendances

Présence d'éventuels effets thermodynamiques en montagne (ascendances de pente et thermiques)

- Profil vertical de vent
- Cartes du vent à différentes altitudes

Comportement des brises et zones de confluences

Carte du vent en surface (visualisation des [lignes de flux Windy](#) par exemple)

Durée de la convection avec estimation des heures de début et de fin

Météogramme local

Précipitations
Orages

Carte des précipitations

Dynamique

Paramètres météorologiques

Support de prévision

Courant général en altitude

Géopotential à 500 hPa (environ 5500 m)

Force et direction du vent en altitude

- Cartes du vent à différentes altitudes
- Profil vertical du vent (sondage prévu)

Position des ressauts d'onde

Carte des vitesses verticales à différents niveaux

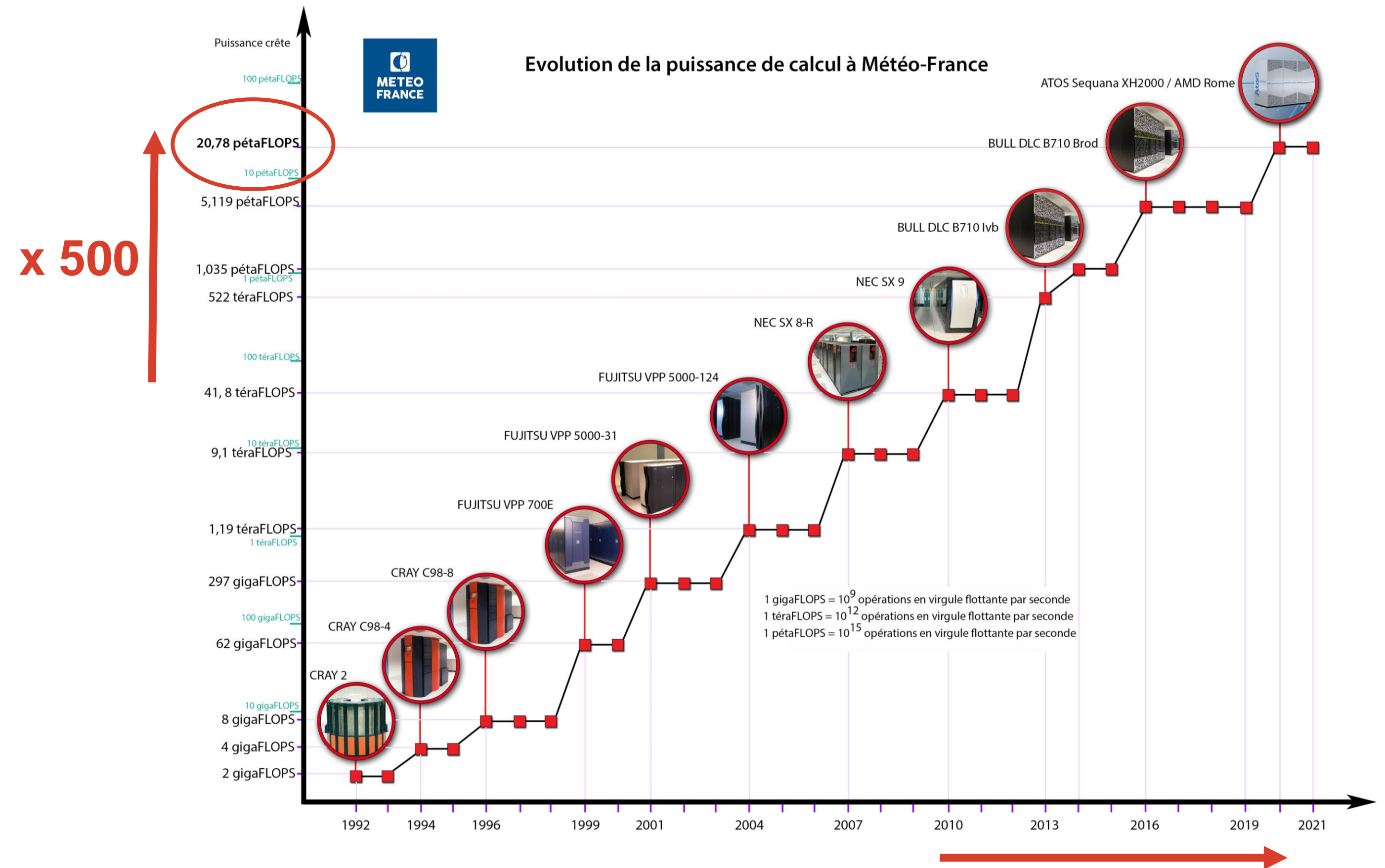
Extension verticale des ressauts

Coupe verticale du système ondulatoire

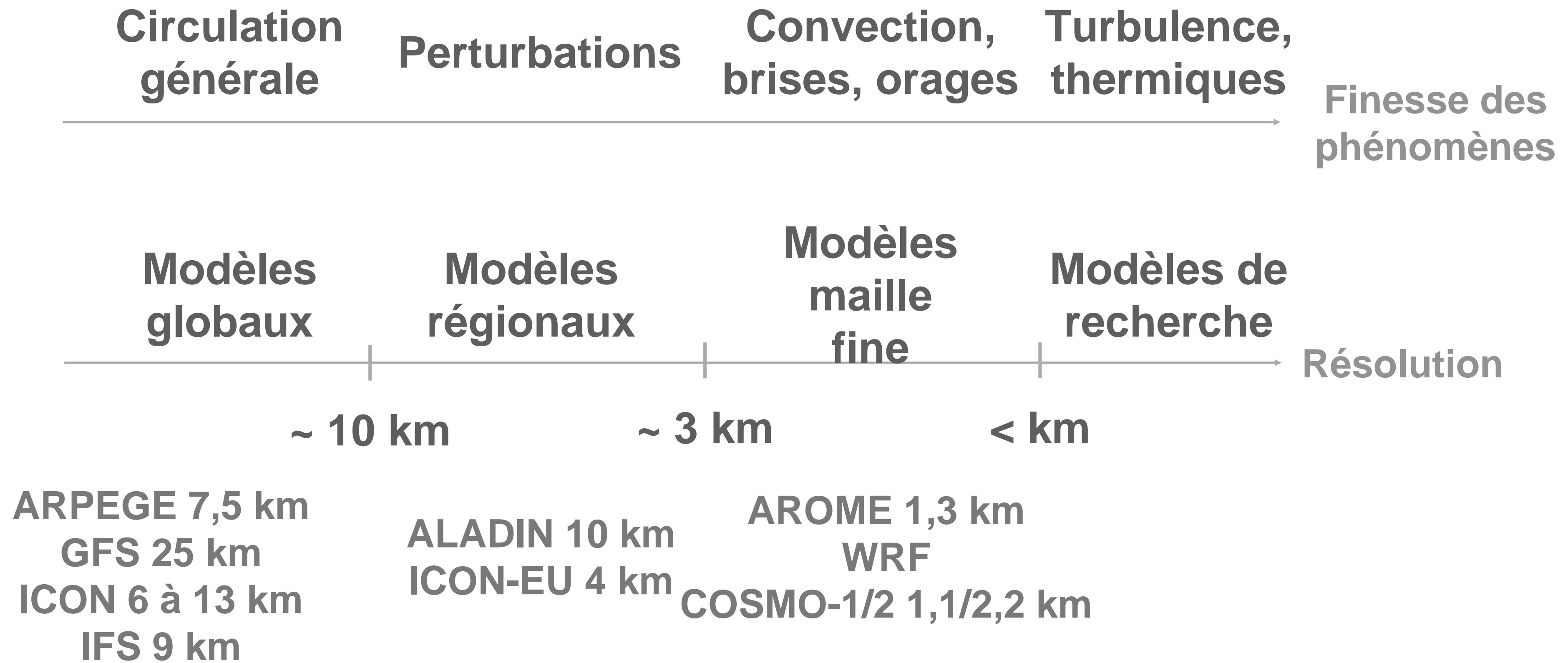
Prévision du temps : progrès

- Amélioration continue des modèles :
 - Longs travaux de recherche
 - Augmentation de la puissance de calcul

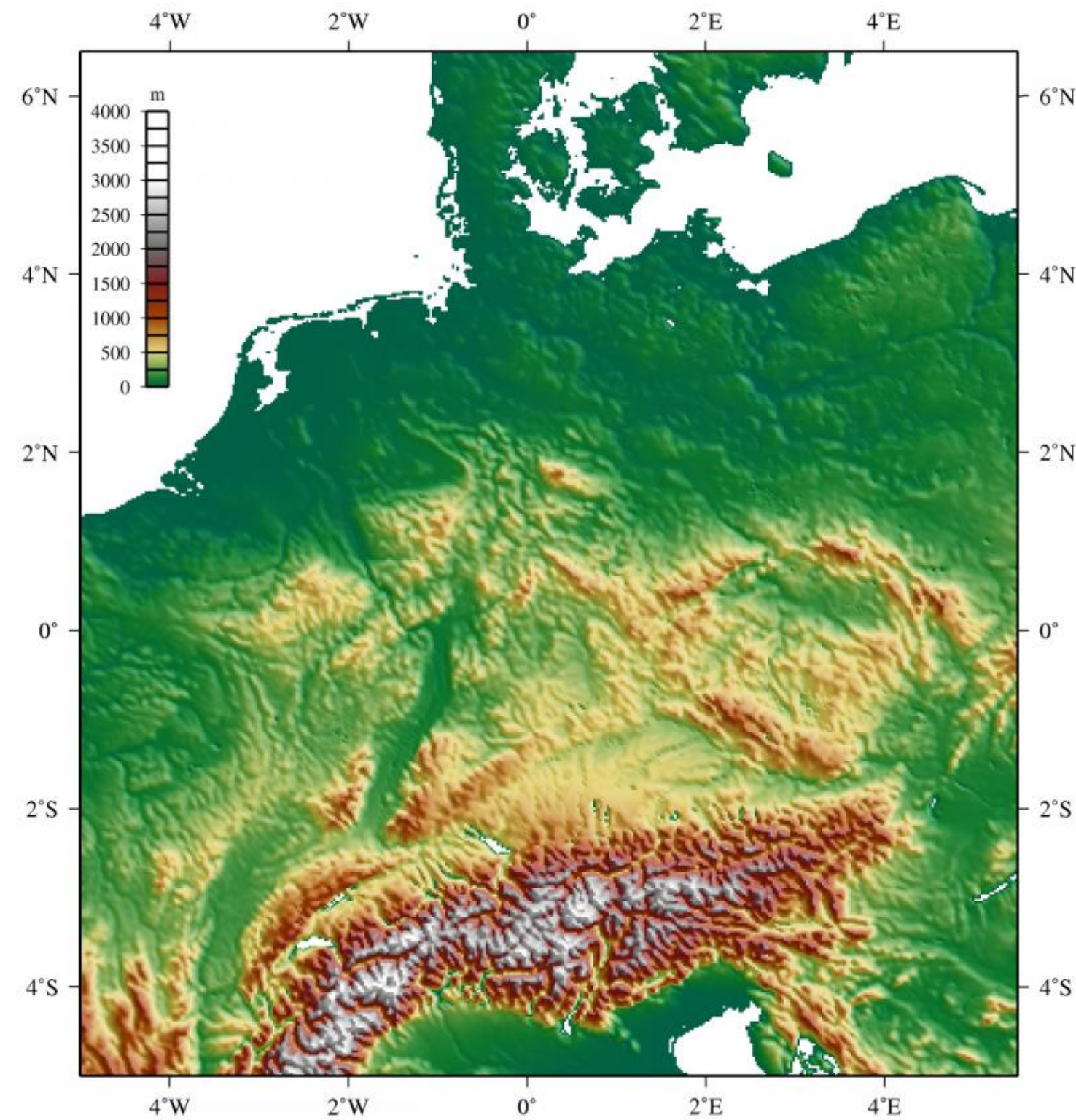
Météo-France : gain d'1 jour d'horizon de prévisibilité tous les 10 ans



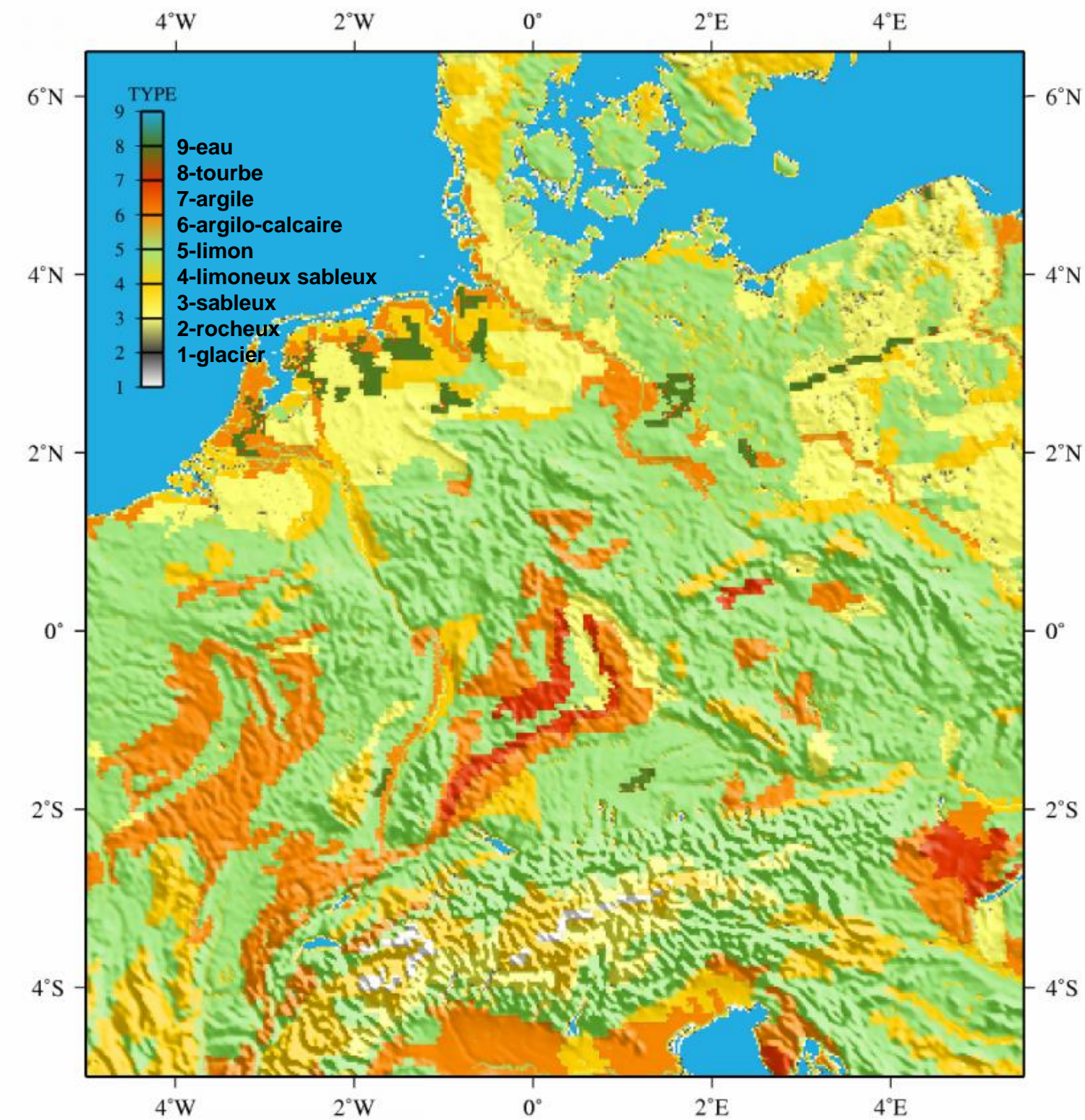
La résolution



Représentation de la surface



Représentation du relief dans COSMO



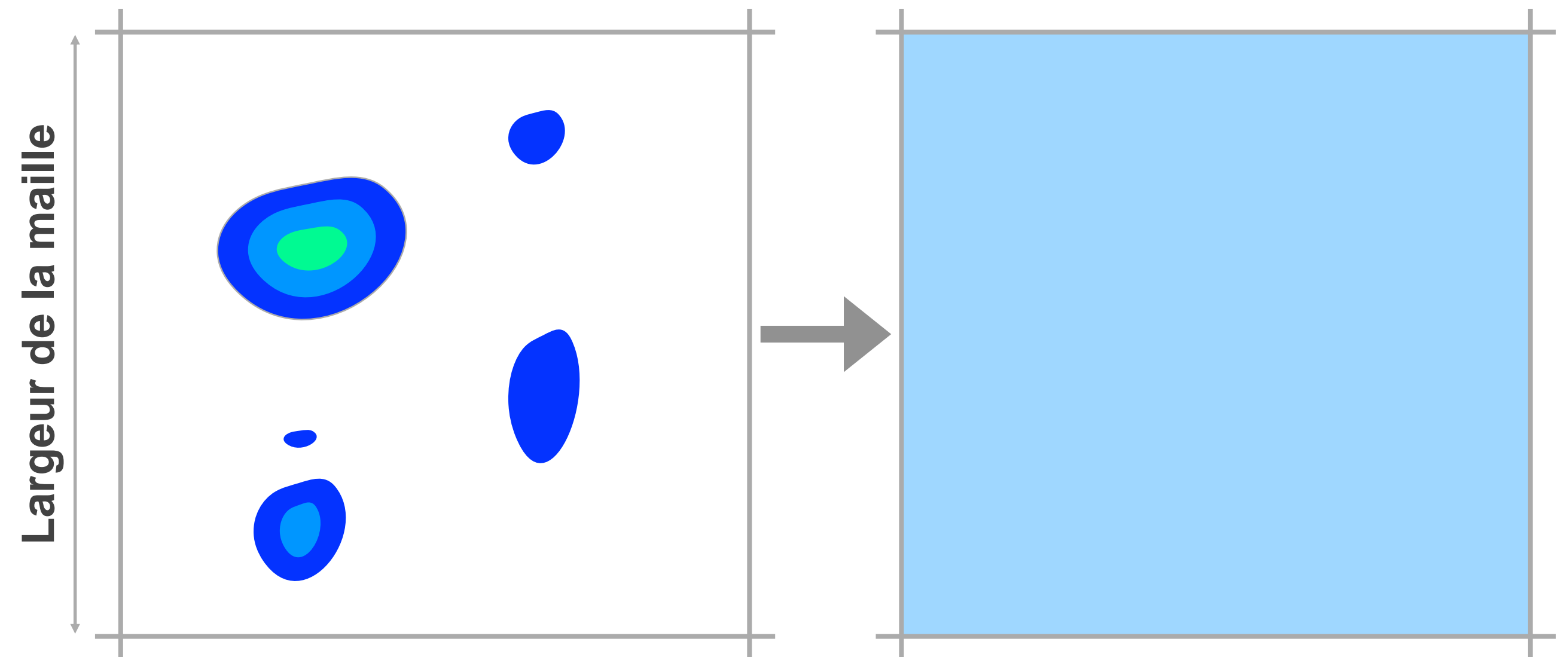
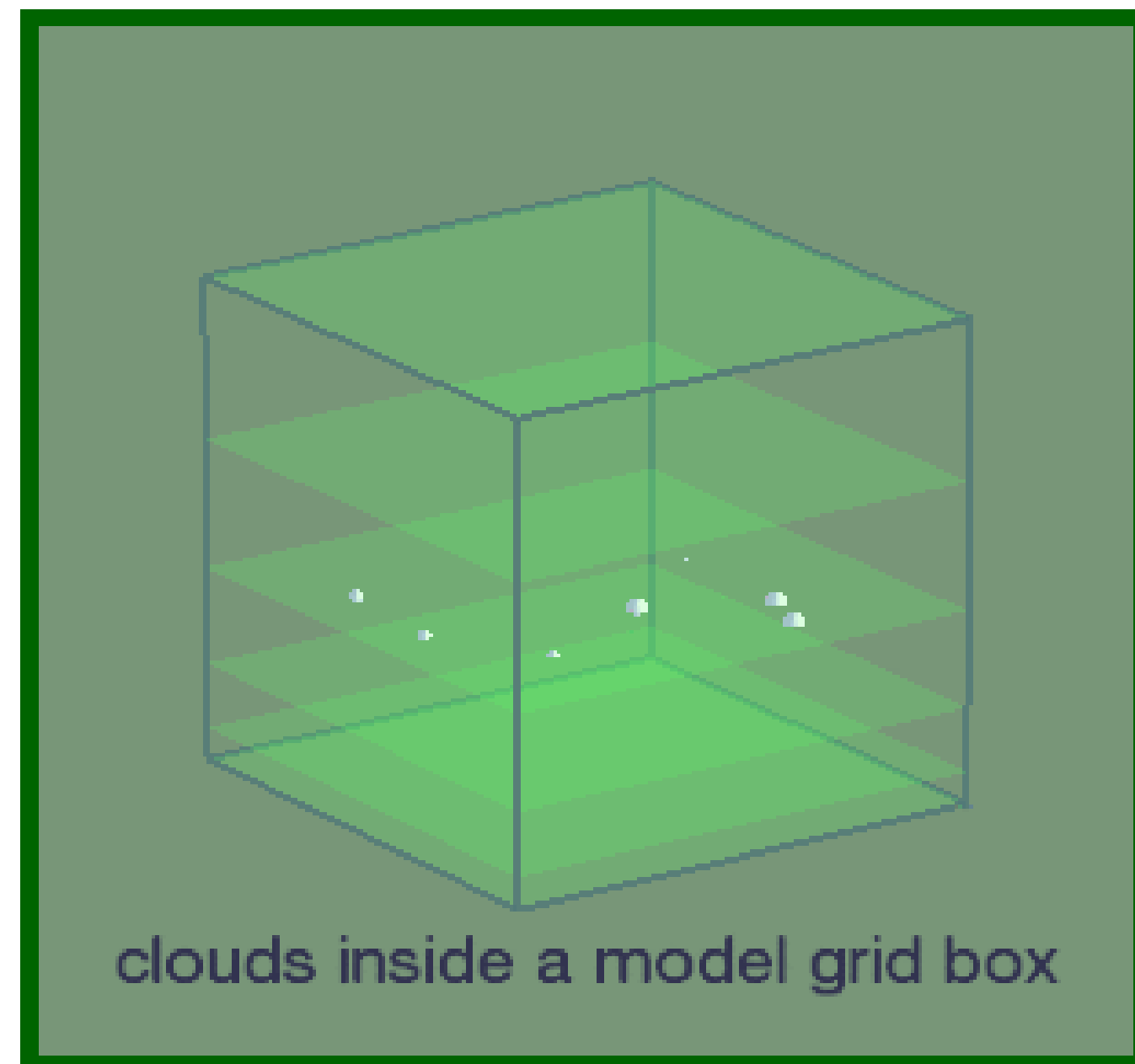
Représentation de la nature du sol dans COSMO

Représentation des processus atmosphériques

- Paramètres : pression, température, vent, humidité...
- Équations numériques : physique et dynamique
- Couplage avec d'autres modèles
- Phénomènes de très petite échelle (infra-maille) → paramétrisation
 - Convection
 - Changements d'états
 - Formation des nuages

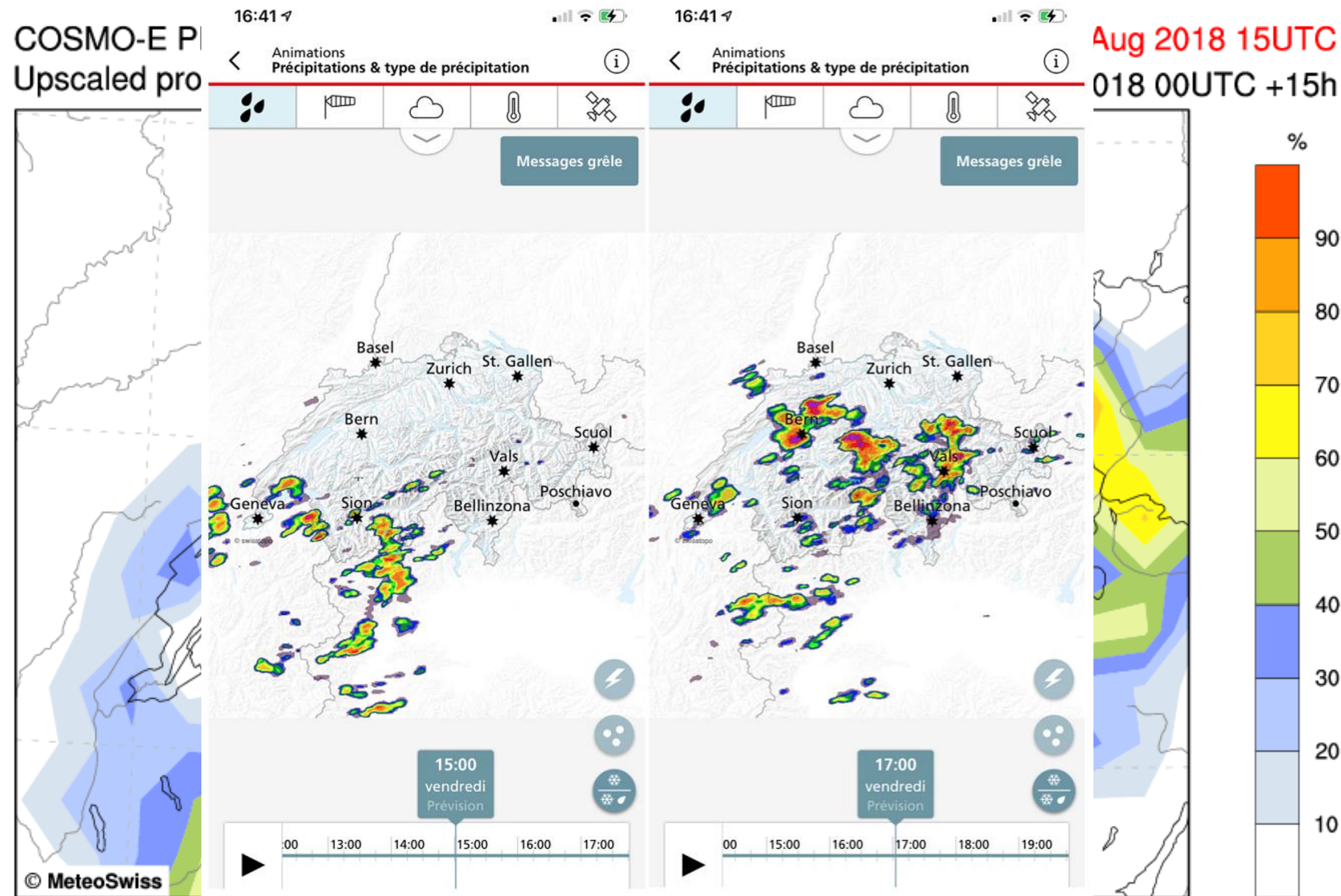
Phénomènes de petite échelle

- Échelle caractéristique de la convection ~ 100 m - 1 km
- Représentation d'un processus sous-maille à l'échelle de la maille \rightarrow lissage des phénomènes très petite échelle



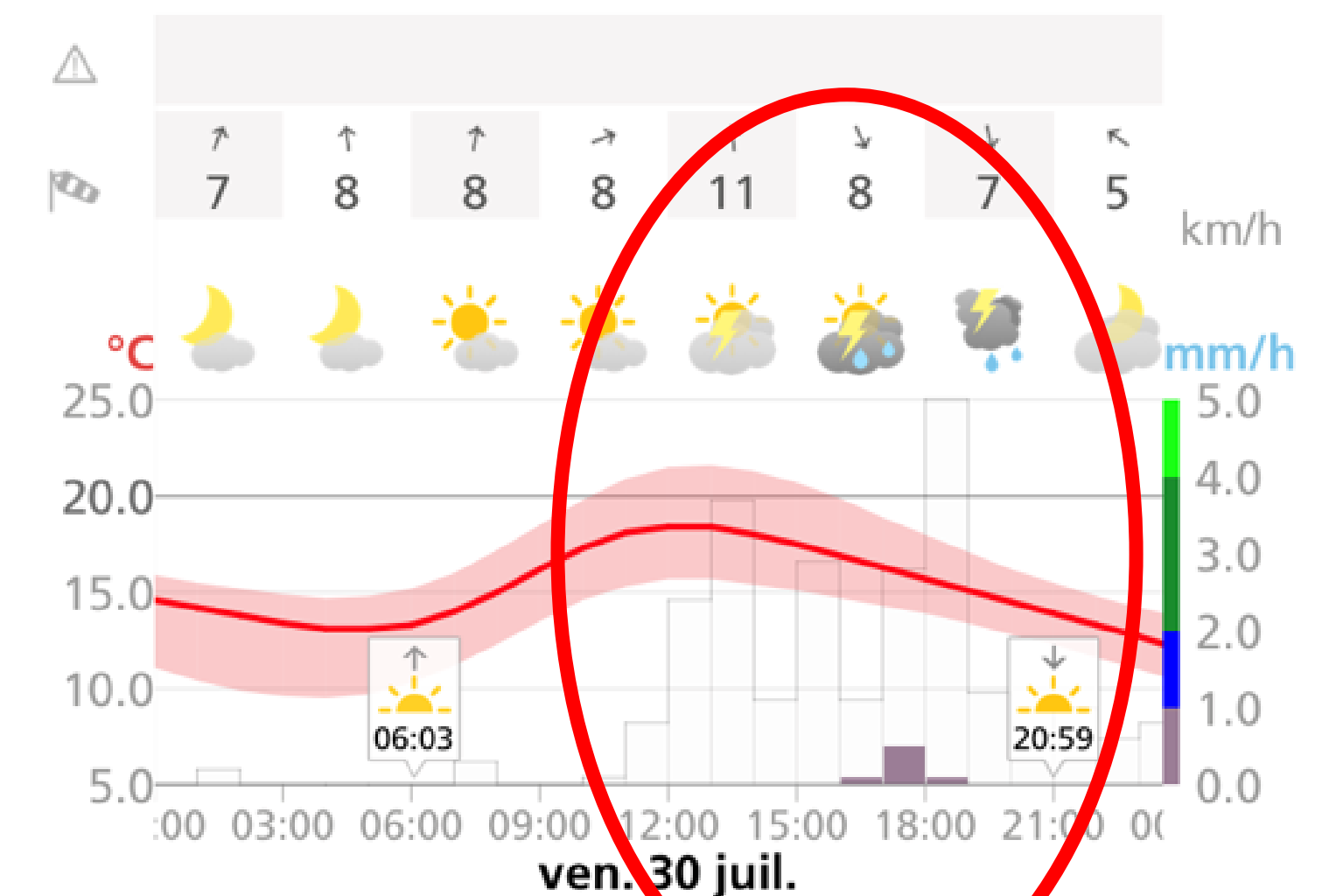
Orages

- Phénomènes déterminés localement → prévision incertaine
- Calcul de probabilités d'orages à l'échelle régionale



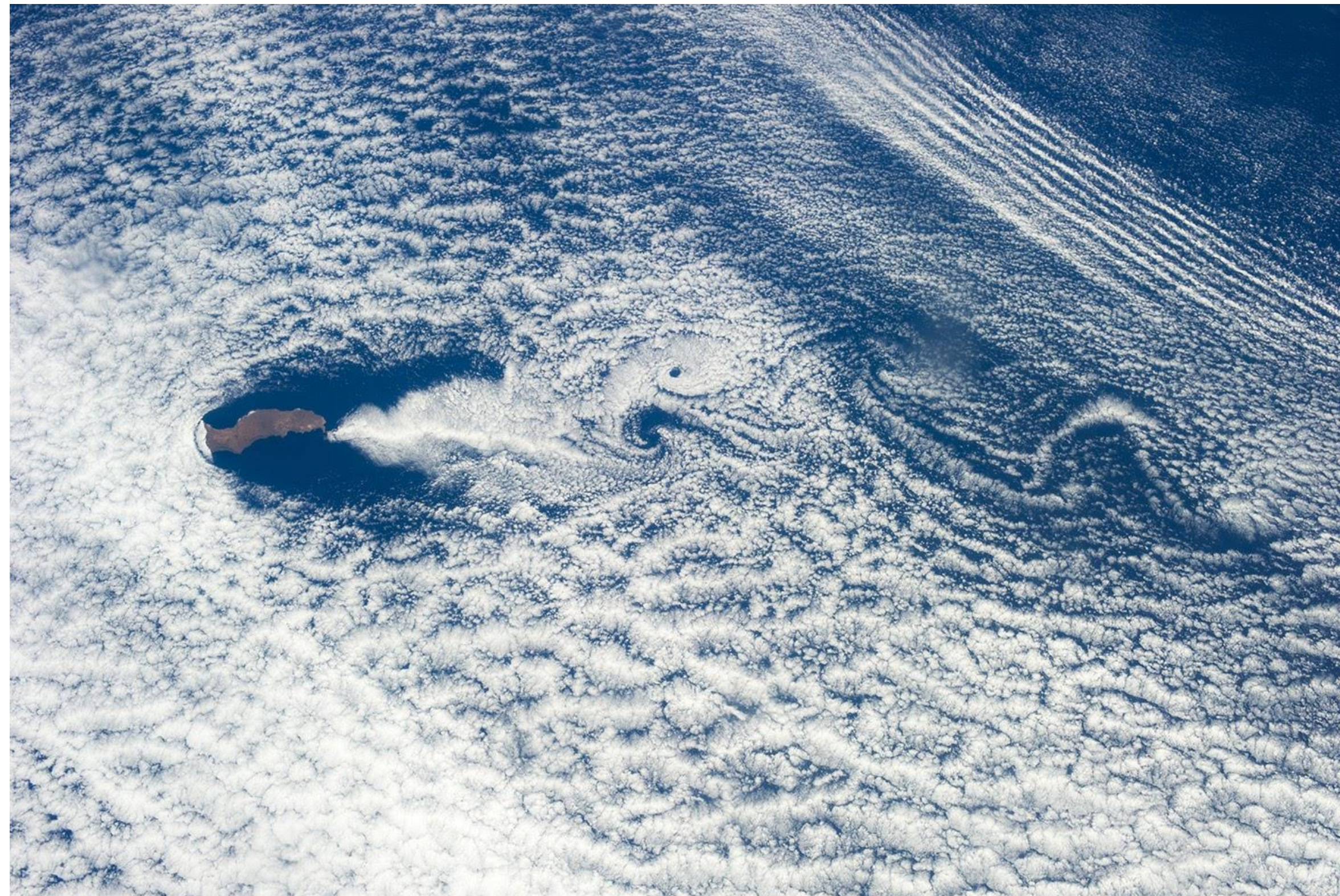
Prévision de la semaine

lundi 26 juil.		11° 18°	2 mm
mardi 27 juil.		9° 19°	3 mm
mercredi 28 juil.		11° 15°	4 mm
jeudi 29 juil.		11° 19°	0 mm
vendredi 30 juil.		12° 18°	8 mm
samedi 31 juil.		10° 15°	7 mm



La performance des modèles

- Compromis couverture spatiale/résolution



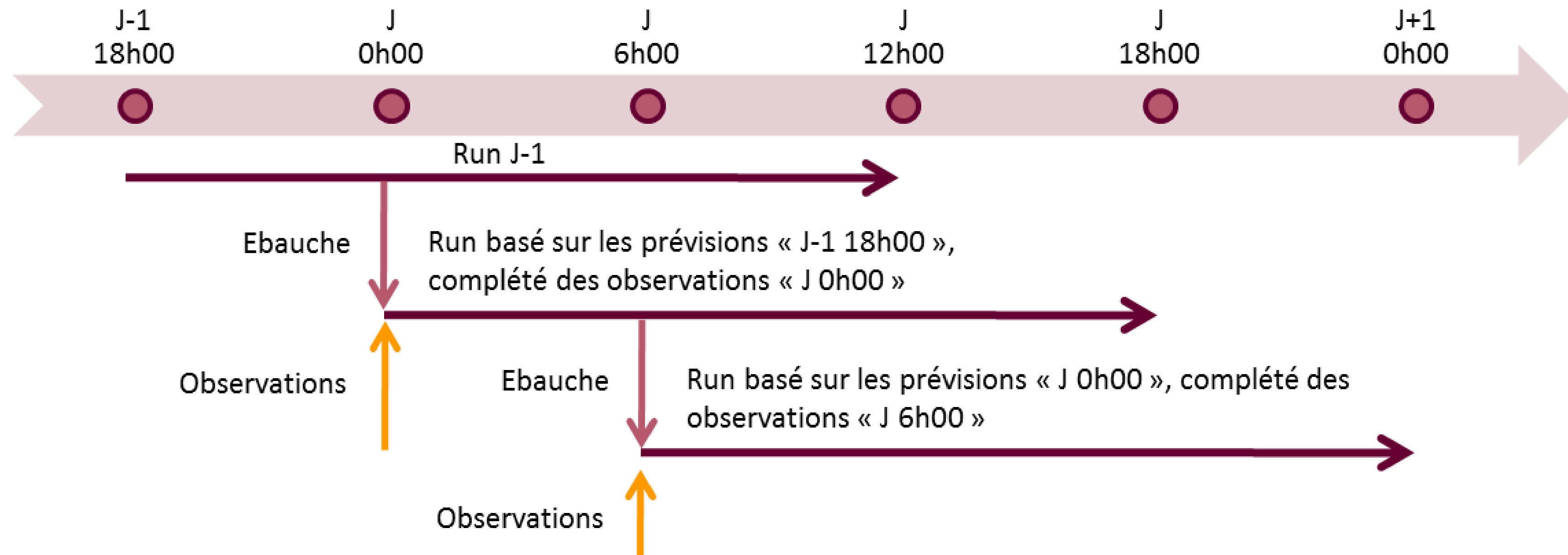
Tourbillons de Von Karman en aval d'une île exposée au vent

La performance des modèles

- ▶ Qualité de l'état initial
 - ▶ Résolutions horizontale et verticale
 - ▶ Représentation physique et dynamique
- Évaluation *a posteriori* de la performance des modèles par comparaison aux observations (adaptations statistiques, machine learning)

La prévision

- Principe

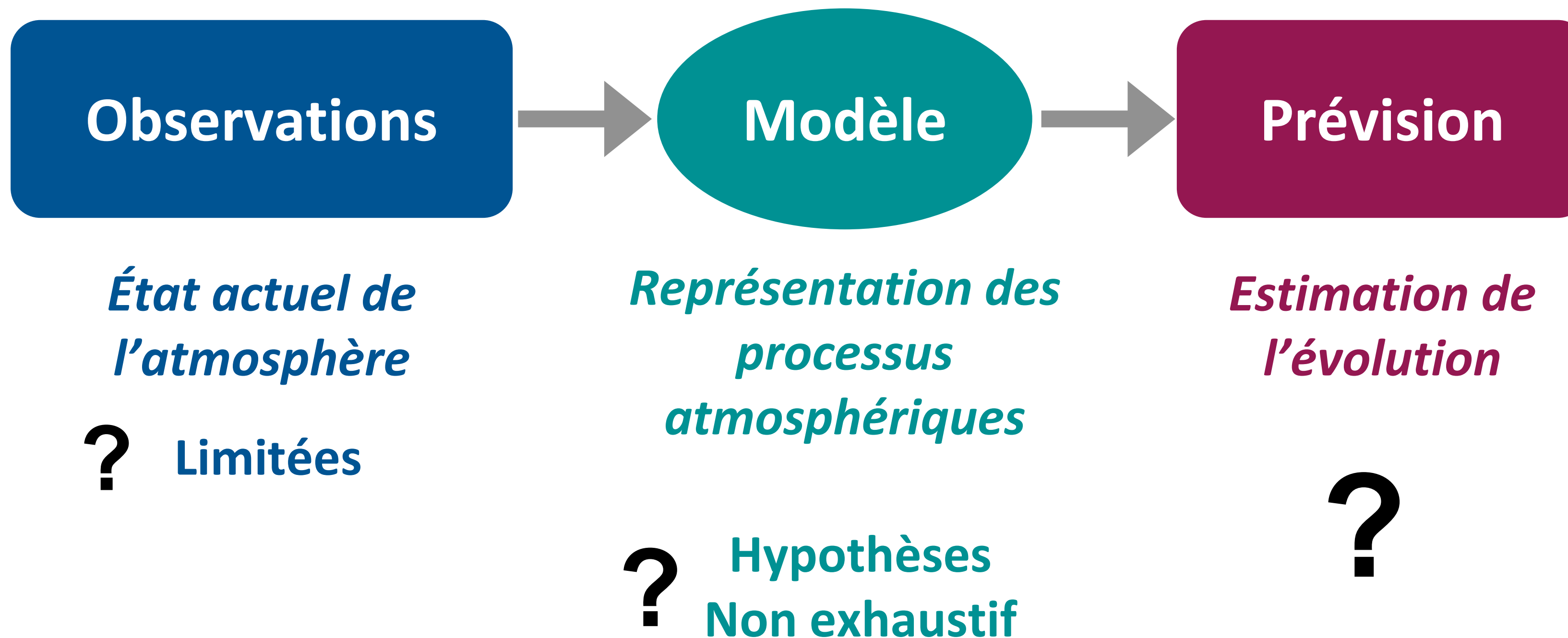


La prévision

- ✓ Champs bruts : pression, température, vent, humidité...
- ✓ Paramètres calculés *a posteriori* :
 - Indices spécifiques : turbulence, cisaillement
 - Convection : vitesses verticales thermiques $V_z = k (Q_s H)^{1/3}$ avec
 - Q_s : flux d'énergie du sol vers l'atmosphère
 - H : hauteur couche convective

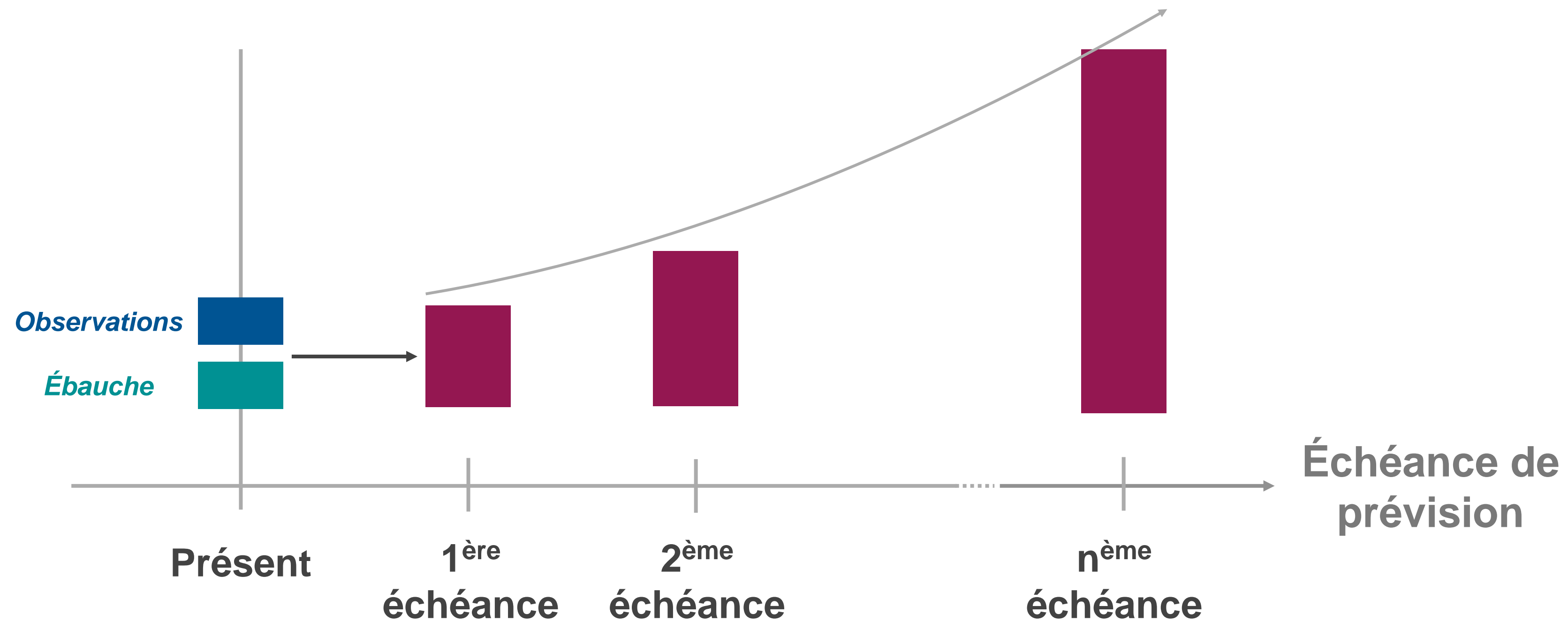
Incertitudes

- A tous les niveaux de la chaîne de modélisation



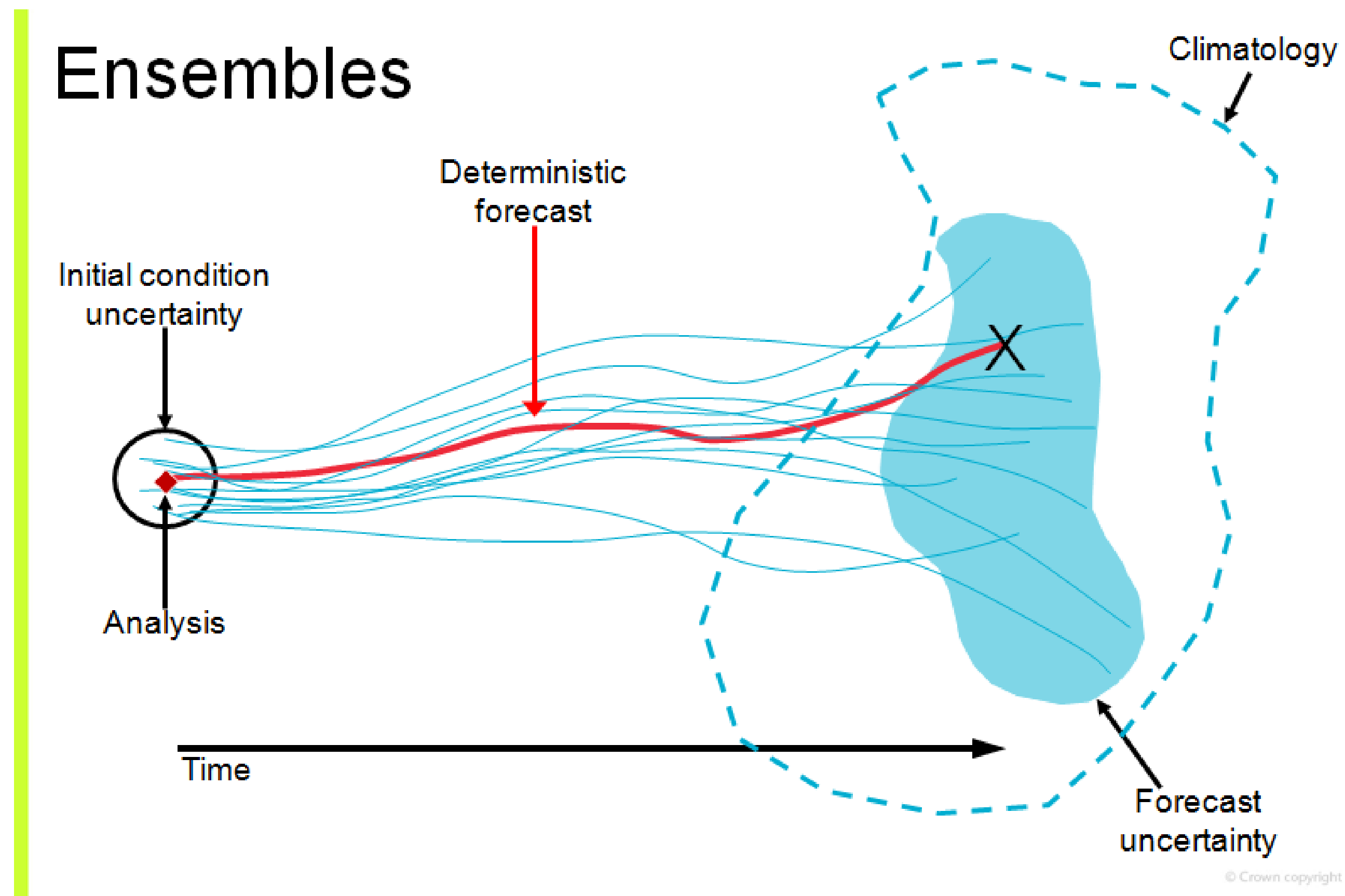
Incertitudes

- Amplification des erreurs
- Augmentation de l'incertitude de la prévision
- Diminution de l'indice de confiance de la prévision



La prévision d'ensemble

- Principe : perturbation état initial \rightarrow incertitude de la prévision



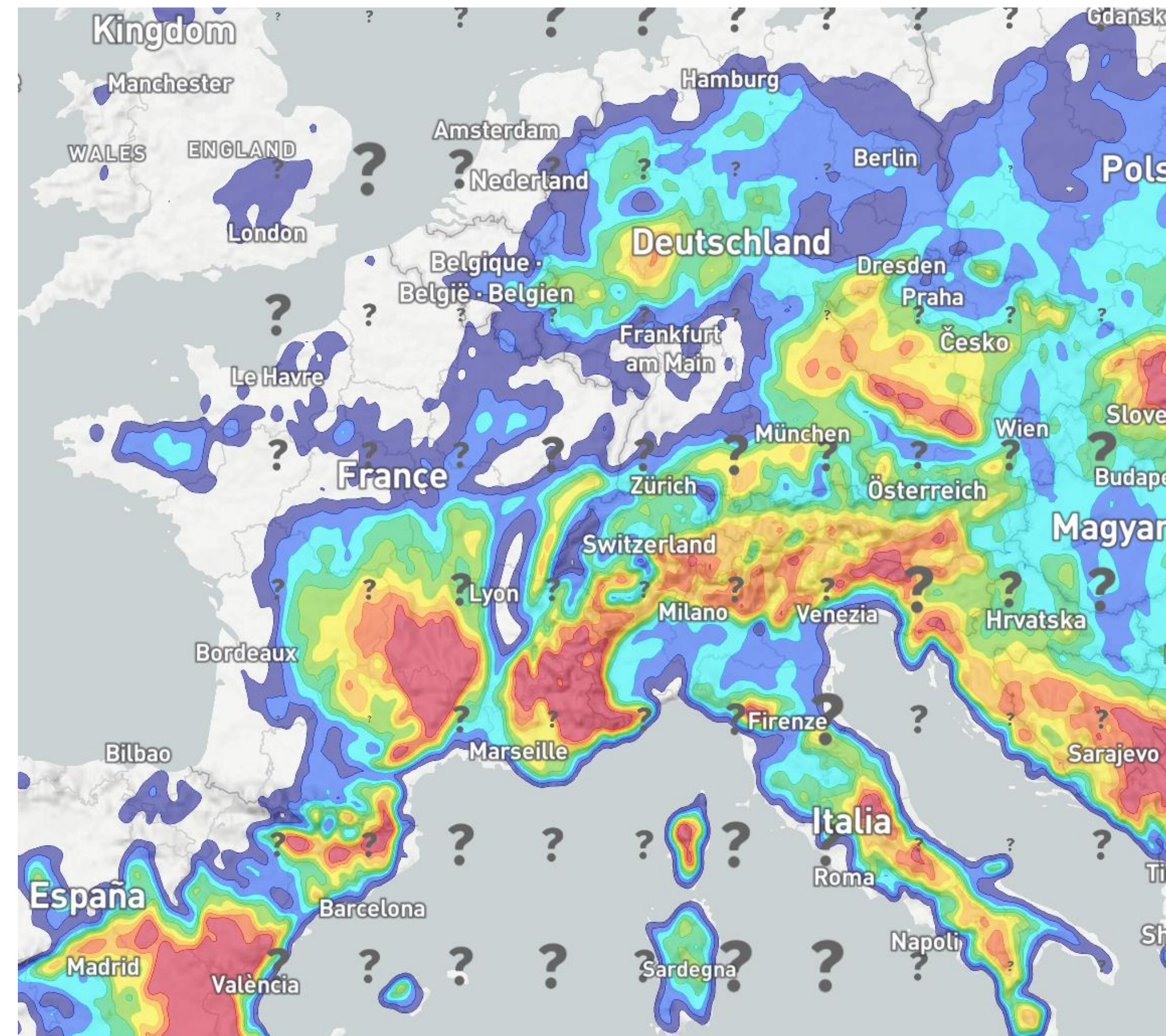
La prévision d'ensemble

- Approche probabiliste plus représentative du réel que l'approche déterministe
 - Phénomènes tangents, difficiles à prévoir (intensité, localisation, temporalité)
- Coût numérique important → résolution moindre (sauf COSMO-1/2)
- Estimation de l'incertitude des prévisions :
 - Probabilité de dépassement de seuils
 - Statistiques : moyennes & écart-types

La prévision d'ensemble

Applications à la prévision pour le vol à voile : cartes de Distance Potentielle de Vol avec incertitude associée aux prévisions des paramètres convectifs

Extrait du site de prévision pour le vol à voile [SkySight](#)



DPV en couleurs, la taille des points d'interrogation est proportionnelle à l'incertitude de la prévision