

Conseil supérieur de la météorologie

présentation à la
Commission Tourisme-Information



La recherche en prévision numérique des orages

François Bouttier - Météo-France
Direction de l'enseignement supérieur et de la recherche

4 novembre 2020

l'orage, un phénomène intermittent

déf. orage: cumulonimbus avec éclairs

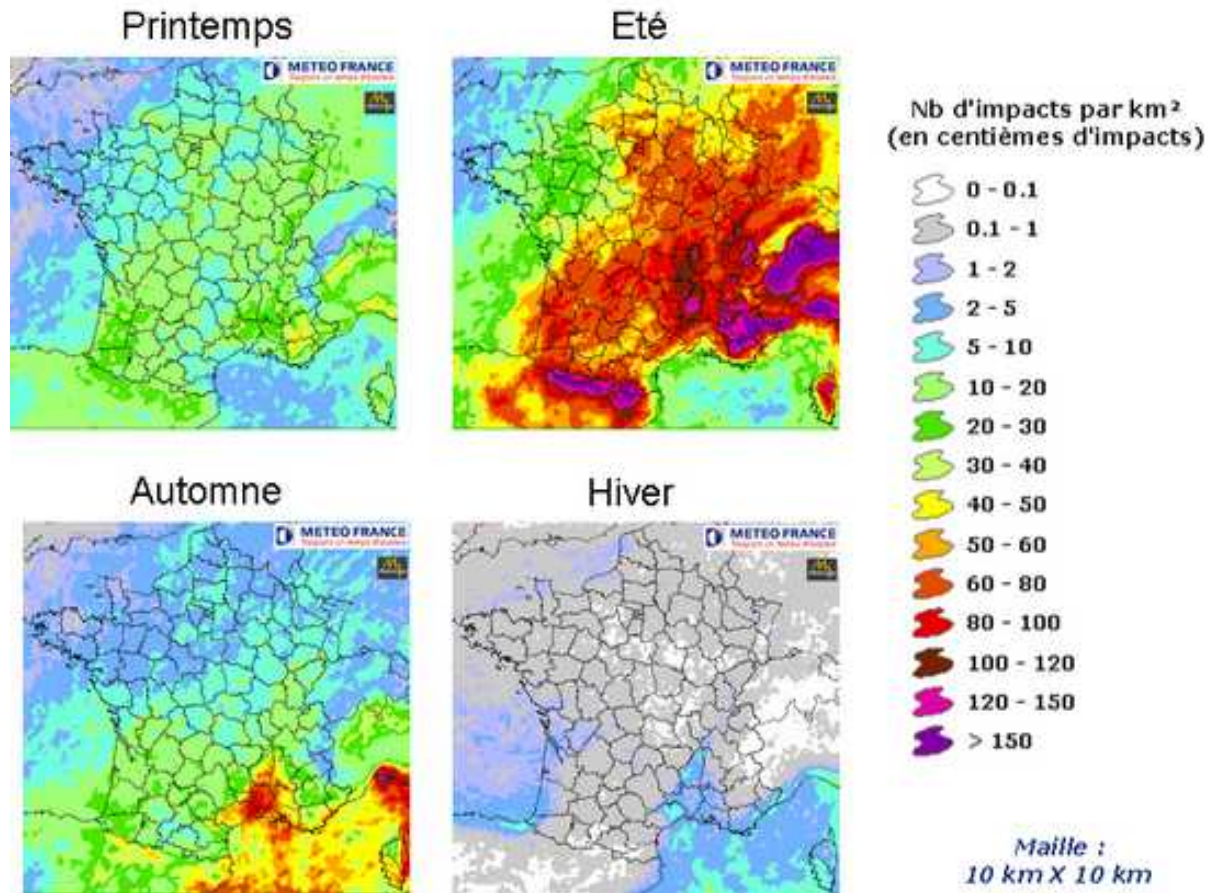
distribution irrégulière

(moyenne 1997-2013):

* plus fréquents aux saisons chaudes et en montagne

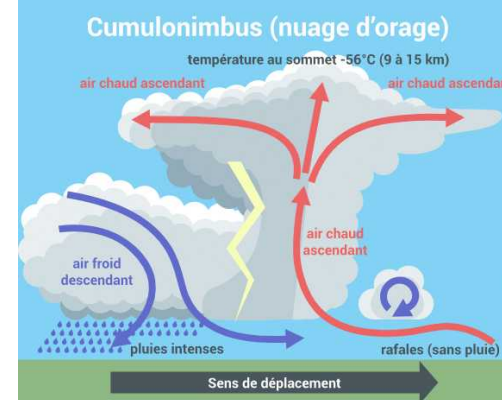
* souvent **brefs et localisés** (<1h, <20km), mais parfois généralisés et/ou persistants

→ phénomène souvent peu prévisible, mais pouvant avoir de **forts impacts**



source: Météo-France/Météorage

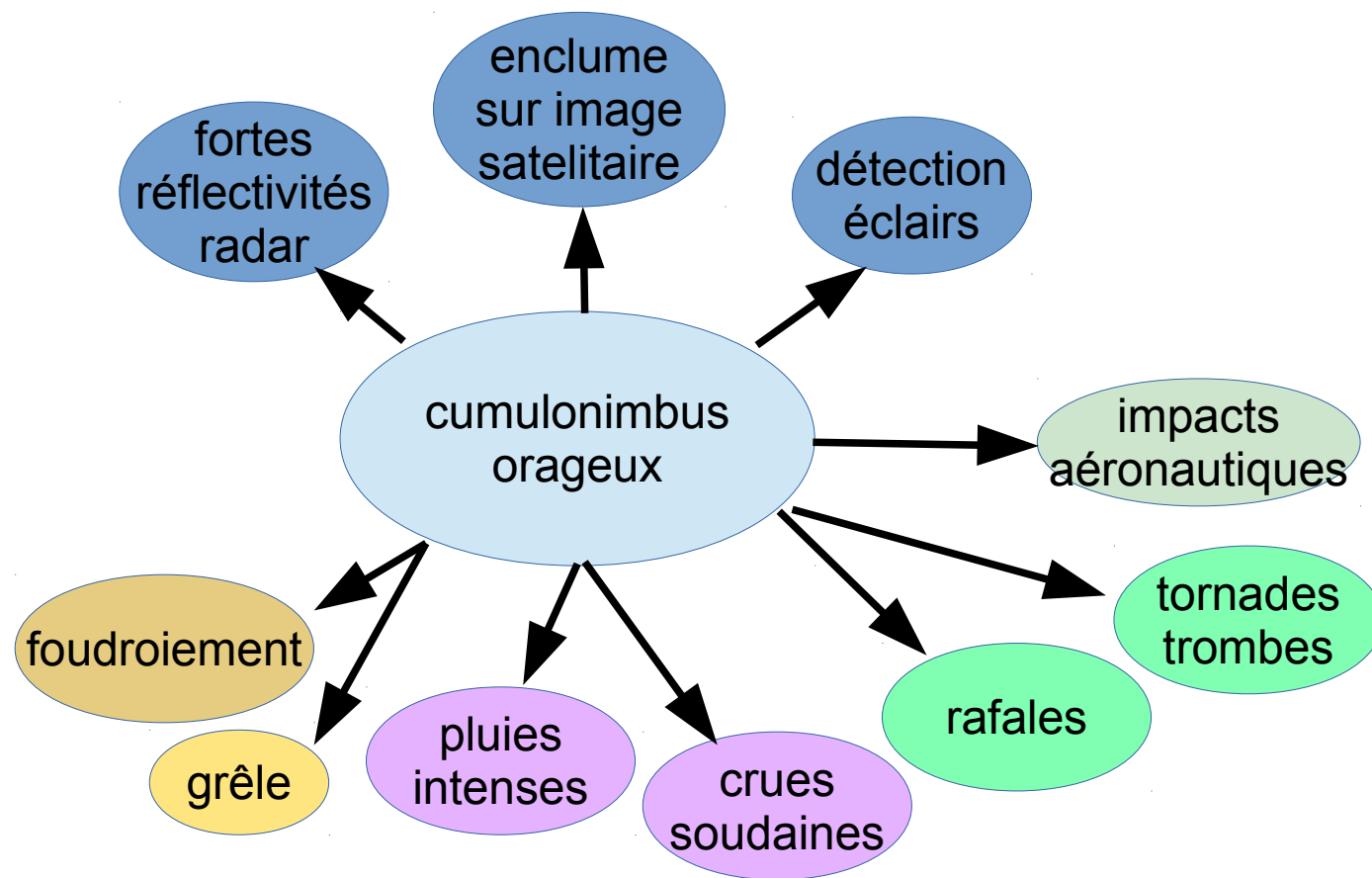
les impacts multiples des orages



Un orage réel ne correspond pas forcément à son archétype scolaire :

selon les cas, les conséquences peuvent être négligeables, ou catastrophiques.

Nos capacités à observer et modéliser ces conséquences sont très variables selon les paramètres.



la "double peine" des prévisions haute résolution : solution probabiliste

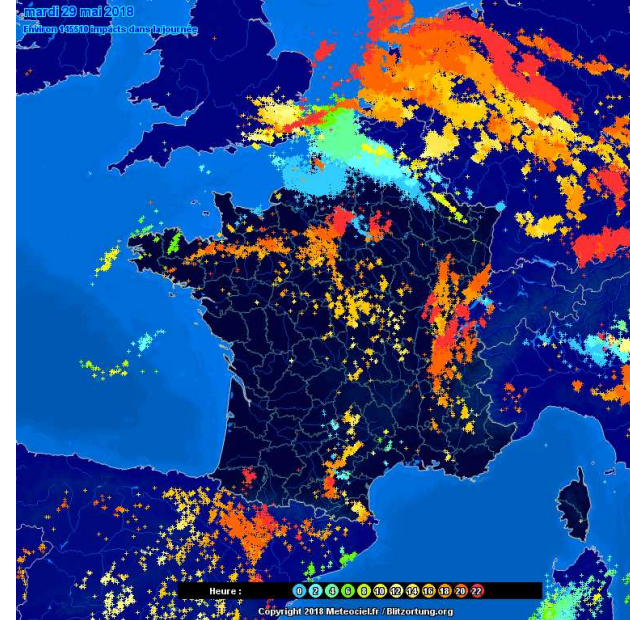
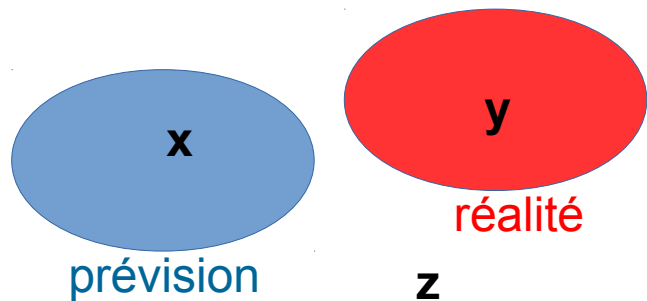
Les orages ont des structures complexes dont la finesse atteint le km.

La grille de calcul des modèles numériques modernes (Arôme:1,3km) permet d'en **simuler** la plupart, et de les **prévoir** avec erreur moyenne de quelques dizaines de km (à 6-24h d'avance)

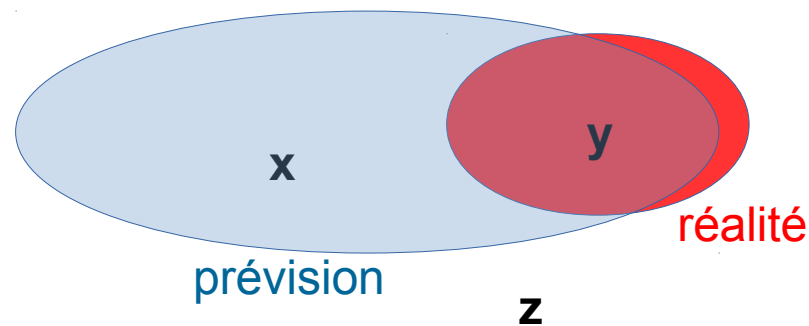
Problème: la prévision du lieu exact d'un orage sera presque toujours fausse, car l'erreur est aussi grande que le phénomène à prévoir.

Exemple : on a 3 villages x,y et z. On prévoit un orage sur x et il a lieu sur y : 2/3 des prévisions sont donc "fausses"

- pour x : fausse alerte
- pour y : prévision manquée
- pour z : ok



L'alternative : prévoir "**50 % de risque d'orage sur la zone xy**" en évitant les non-détections catastrophiques



Les axes de progrès en prévision numérique des orages

Observations : pour initialiser les prévisions et aux échéances <2h :

- systèmes satellitaires, radars et foudre -> Météosat 3e génération (->2022)
- outils de **prévision immédiate**, obs collaboratives, objets connectés et IA
- préparer une future fusion "sans couture" avec la prévision numérique
- futurs algorithmes adaptatifs d'assimilation des observations (EnVar)

Modèles numériques de prévision : *les orages dépendent à la fois des conditions locales et de la météo à grande échelle*

- forte **augmentation des résolutions** des modèles : ARPEGE et AROME à Météo-France
- augmentation des fréquences de **rafraîchissement** des prévisions : notamment AROME-PI, AROME-IFS et Prévision d'ensemble AROME (+ modèles sur outre-mer)
- meilleur **réalisme physique** : algorithme de convection ARPEGE, physique nuageuse AROME, diagnostics d'éclairs et de grêle,...

Techniques de traitement des données:

- utilisation des prévisions d'ensemble -> élaboration de produits probabilistes
- méthodes d'IA (apprentissage automatique) pour corriger les défauts des modèles
- meilleur productions automatisées et outils pour les prévisionnistes (**aide à la décision**)

Les axes de progrès en prévision numérique des orages

Quatre exemples ci-après :

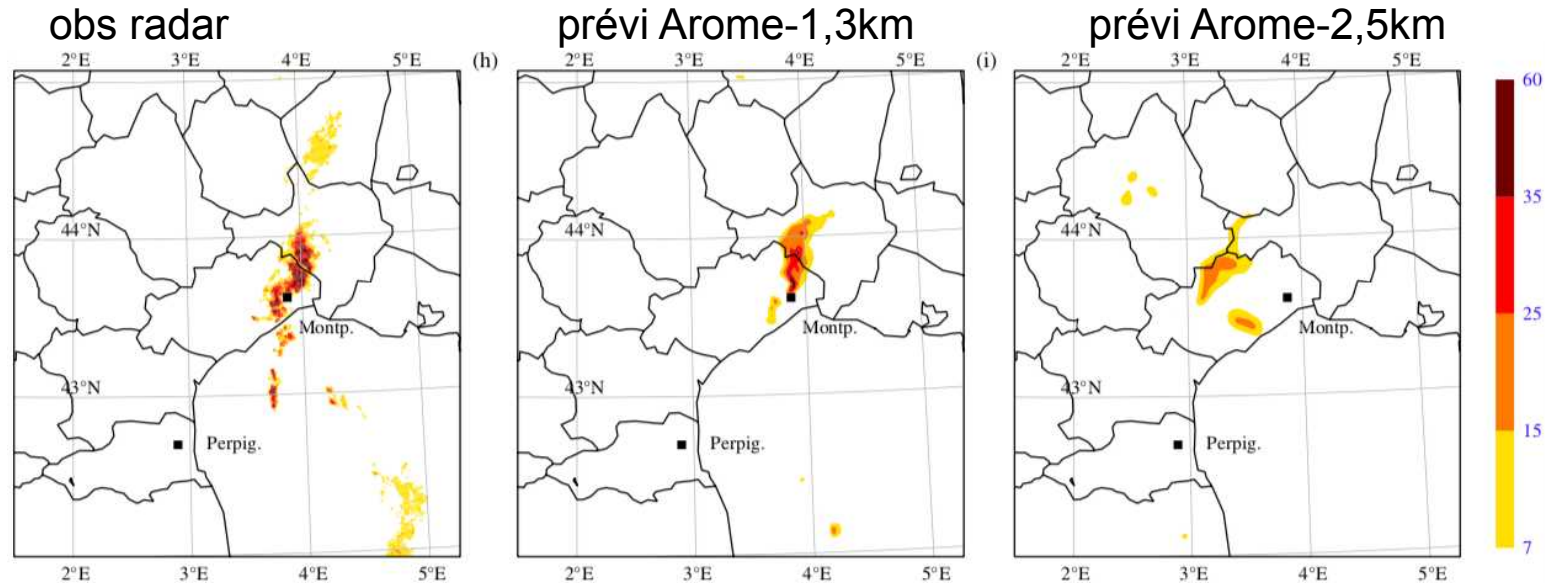
- système de prévision d'ensemble AROME
- diagnostic de foudre
- prévision de probabilité d'orage
- vers la prévision numérique des orages violents

La prévision d'ensemble AROME haute résolution

La prévision d'ensemble PE AROME estime les probabilités d'orage en simulant de multiples scénarios météorologiques en parallèle.

En 2021, grâce au nouveau calculateur de Météo-France, la résolution de ce système numérique sera doublée (de 2,5 à 1,3km), ce qui améliorera significativement la précision des prévisions.

ex. Prévision d'un cas d'orage :



source : [doi:10.1002/qj.2822](https://doi.org/10.1002/qj.2822)

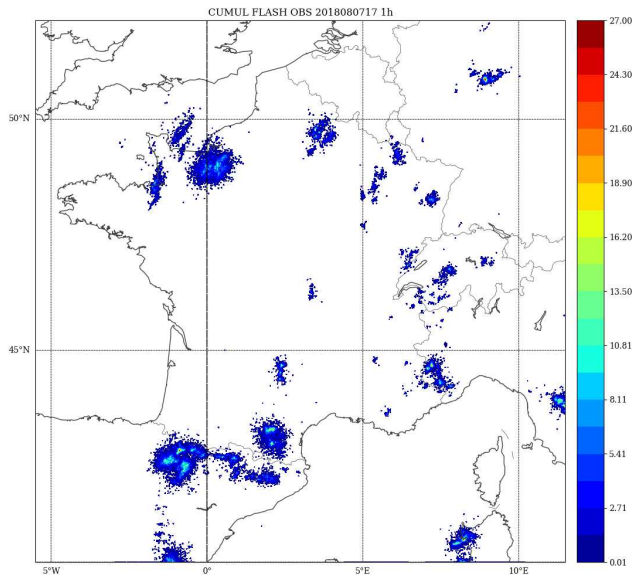
Nouveaux diagnostics de foudre des modèles Météo-France

Les modèles ARPEGE et AROME prévoient des cumulonimbus en zones orageuses, mais pas leur activité électrique.

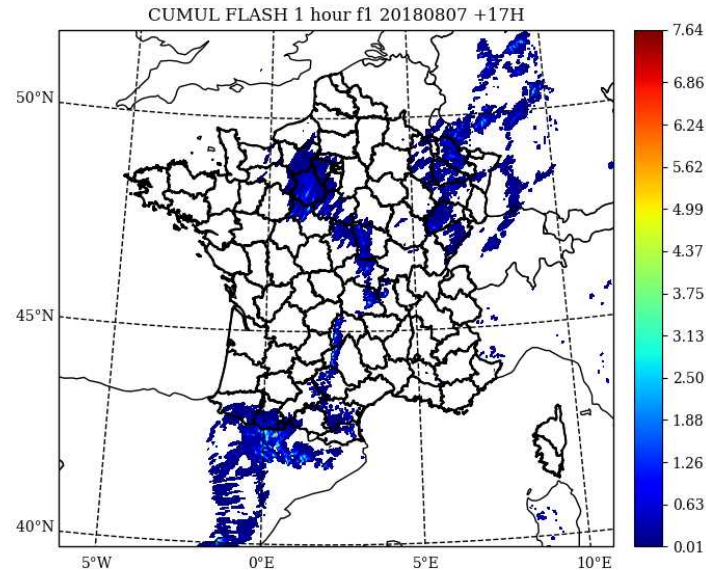
En 2021, des simulateurs de densité d'éclair dans ces modèles aideront à prévoir la sévérité des orages. Ils utilisent informations microphysiques et techniques d'apprentissage automatique.

ex. densité d'éclairs sur un cas orageux :

obs Météorage



diagnostic microphysique AROME (flux de graupel)



La prévision des probabilités d'orage

dans le projet 3P/ALPHA de Météo-France, de nouveaux produits exploiteront la diversité des modèles accessibles à Météo-France :

- **combinaison** des systèmes AROME, ARPEGE, IFS du CEPMMT et de leurs ensembles
- prise en compte des **erreurs de localisation et d'intensité** des orages
- minimisation de l'**impact des erreurs** de prévision par apprentissage automatique
- produits **directement utilisables** par le grand public et par les expert(e)s prévisionnistes.

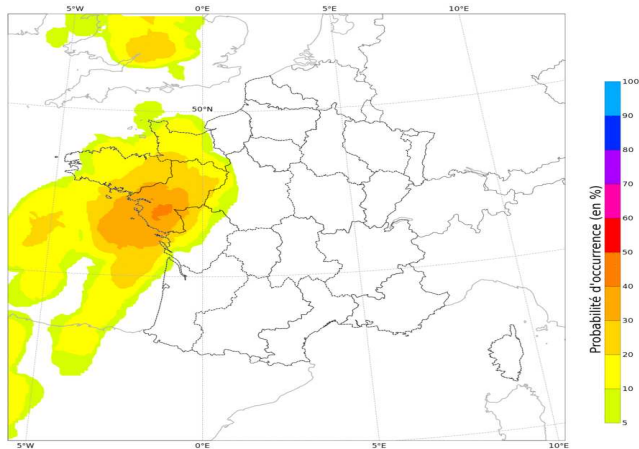
Mise en production : 2022.

Risque d'orage 3P/ALPHA sur la France métropolitaine

Date de validité: 2019-06-24 08h (UTC)

Date de production: 2019-06-24 07h + 1h (UTC)

Modèles: pearoper.R03 aromefrance.R18.R00.R03 aromepl.R04.R05.R06 aromeifs.R00.R12.R00



prévision de probabilité d'orage
(couleur orange : 30%)

ce système produit en moyenne :

- 90 % de détections à 18h d'avance
- ~3 fois plus de fausses alertes que de non-détections

Vers une prévision numérique des orages violents

Les prévisions probabilistes sont **univariées** : on prévoit un événement à la fois :

- pluie ou pas
- orage ou pas
- rafales qui dépassent le seuil de vigilance orange, etc.

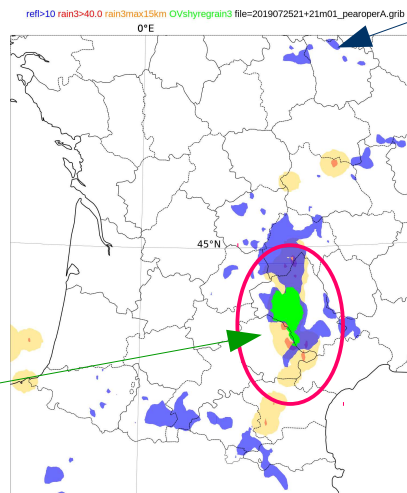
L'avenir est à la **prévision automatisée des impacts**, intégrant :

- les vulnérabilités = adaptation à des publics divers
- la concomitance de plusieurs paramètres
- le séquençage spatio-temporel : présentation de l'information "par objet"

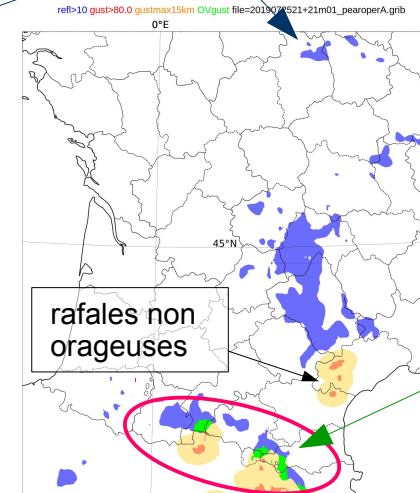
modélisation d'objets "orages violents"

- violet : orage
- vert : orage + attribut de sévérité

orage avec
risque
d'inondation



orage non
violent



rafales non
orageuses

orage avec
rafales

Conclusions et perspectives

De gros progrès ont été réalisés sur la **prévision d'occurrence** et des **situations dangereuses (vigilance)**

Grâce à la généralisation

- de la **modélisation à échelle kilométrique** (systèmes AROME)
- d'**observations** performantes (radar, foudre, satellites)
- de la **prévision d'ensemble** pour gérer les incertitudes

Les orages resteront par nature un phénomène souvent peu prévisible : "importante marge de progrès"

Principales avancées en cours (2021) :

- Prévision d'ensemble à **résolution accrue**
- nouveaux **diagnostics** (foudre)
- **produits probabilistes** de prévision

Et à horizon 2025 :

- fusion entre **Prévision Immédiate**, Prévision Numérique et **Intelligence Artificielle**
- usage accru des données foudre (**Météosat**), obs collaboratives
- démonstration temps réel sur les **JO de Paris 2024**