

# Ondes et nuages d'onde

André Szantai

LMD



**Spécialités :**

- Imagerie satellite
- Deltaplane (planeur, parapente)

**Planètes : Terre et Mars**

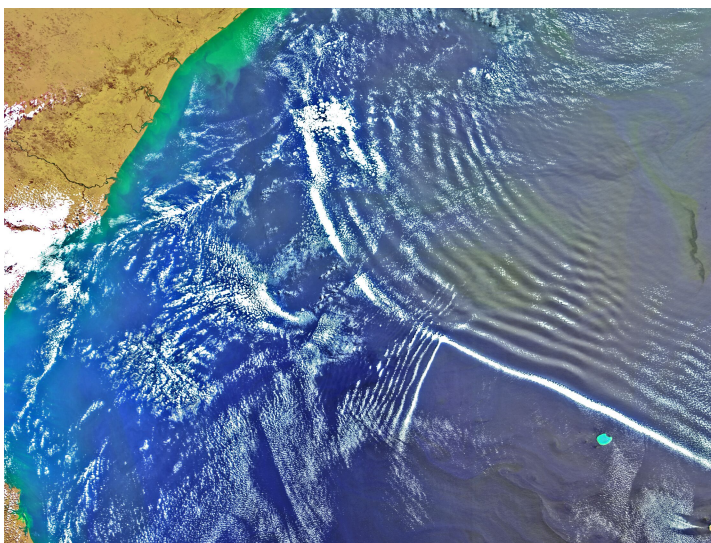


Morning Glory, Australie du Nord (Jonny Durand)

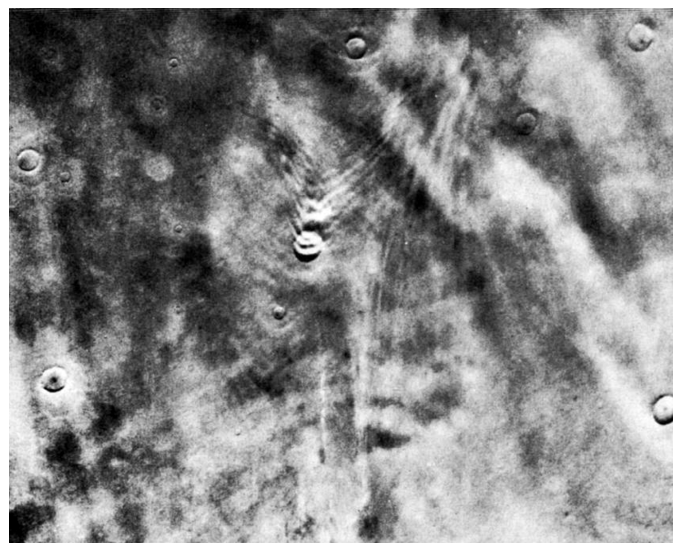
# Ondes et nuages

- **Visualisation d'ondes :**
  - une ou plusieurs rangées ou alignements de nuages
  - observables depuis le sol / par satellite
  - stationnaires / non stationnaires
- **Planètes à nuages d'ondes : Terre et Mars**

Terre :  
Océan Indien,  
Mozambique  
Ondes de  
gravité



(Da Silva and Magalhaes, 2009, Int. J. Remote Sens.)  
(image : <https://imageo.egu.org/view/1119> )



Mars :  
62°N  
Ls=154.1°  
Ondes de  
gravité  
(+brumes)

Viking 1

(Kahn, 1984, JGR)

# Caractéristiques des nuages

## ■ Types :

- **Alto cumulus (stratocumulus, cirrocumulus) lenticularis**
- **(Rues de) cumulus**

## ■ Exemples :

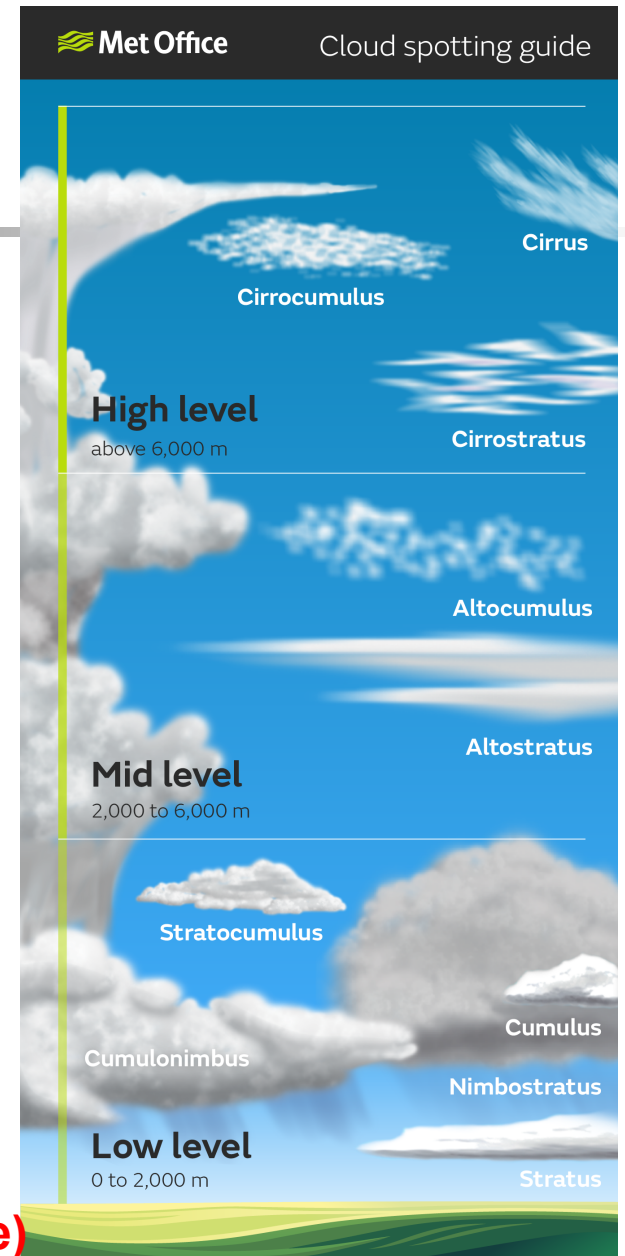
- 1) **Nuages d'ondes de relief**
- 2) **Rues de cumulus**
- 3) **Nuages et ondes de Kelvin-Helmholtz**
- 4) **Morning glories (ondes solitaires)**

13 km

7 km

2 km

(Sur Terre)



# 1. Nuages d'onde (1)

- **Nuages lenticulaires :**

- **Plus ou moins aplatis, arrondis sur le dessus**
- **Piles d'assiettes**



**Altocumulus Lenticularis (vus du sol)**



**Ac Lenticularis (+ Ci + Cu) vus  
d'avion (Chili)**

# 1. Nuages d'onde (2)

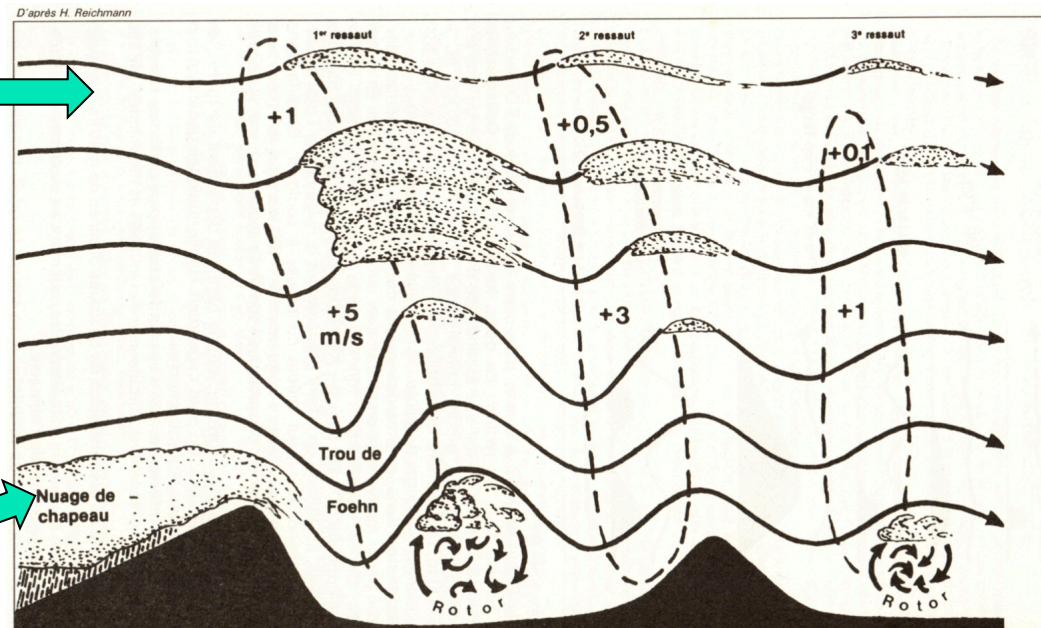


Altostratus Lenticularis sous le vent des Pennines, GB  
(Matthew Clark / International Cloud Atlas (WMO))

## ■ Ondes orographique, de ressaut, de relief, de gravité

## ■ Nuages orographiques

- nuage de chapeau = au sommet d'un relief
- Nuage d'onde : au sommet d'une onde orographique, en aval d'un relief : lenticulaires
- Sous l'ondulation : cumulus (rotors) (zone très turbulente)



## ■ Ondes stationnaires

- Longueur d'onde horizontale : ~2 - 15 km ou +
- (Trapped lee waves)

# 1. Formation de nuages d'onde (3)

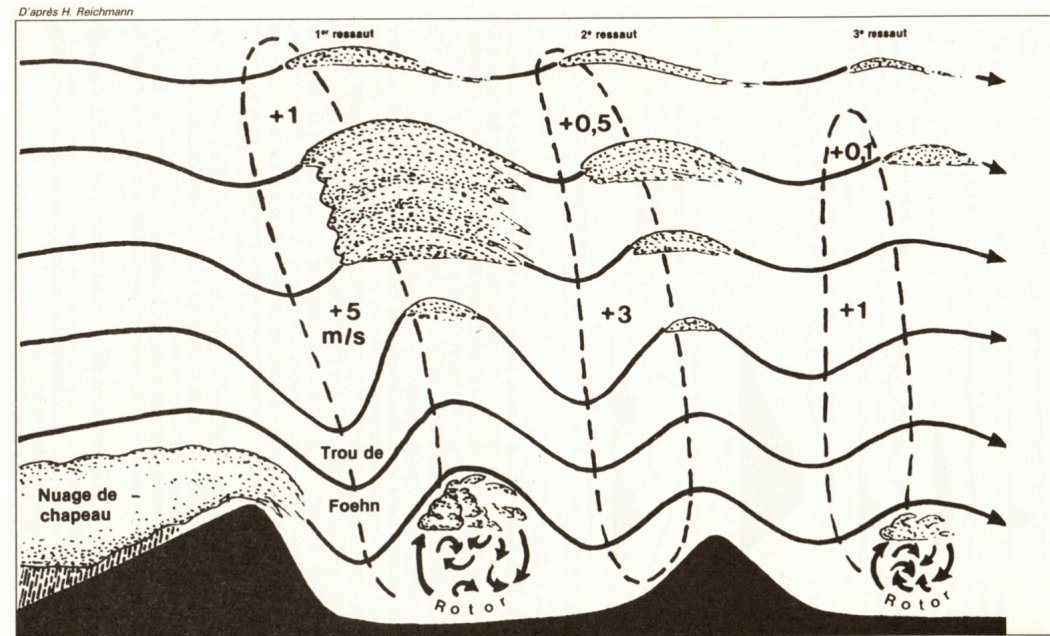


## ■ Éléments déclenchant d'onde de relief :

- Relief (montagne)

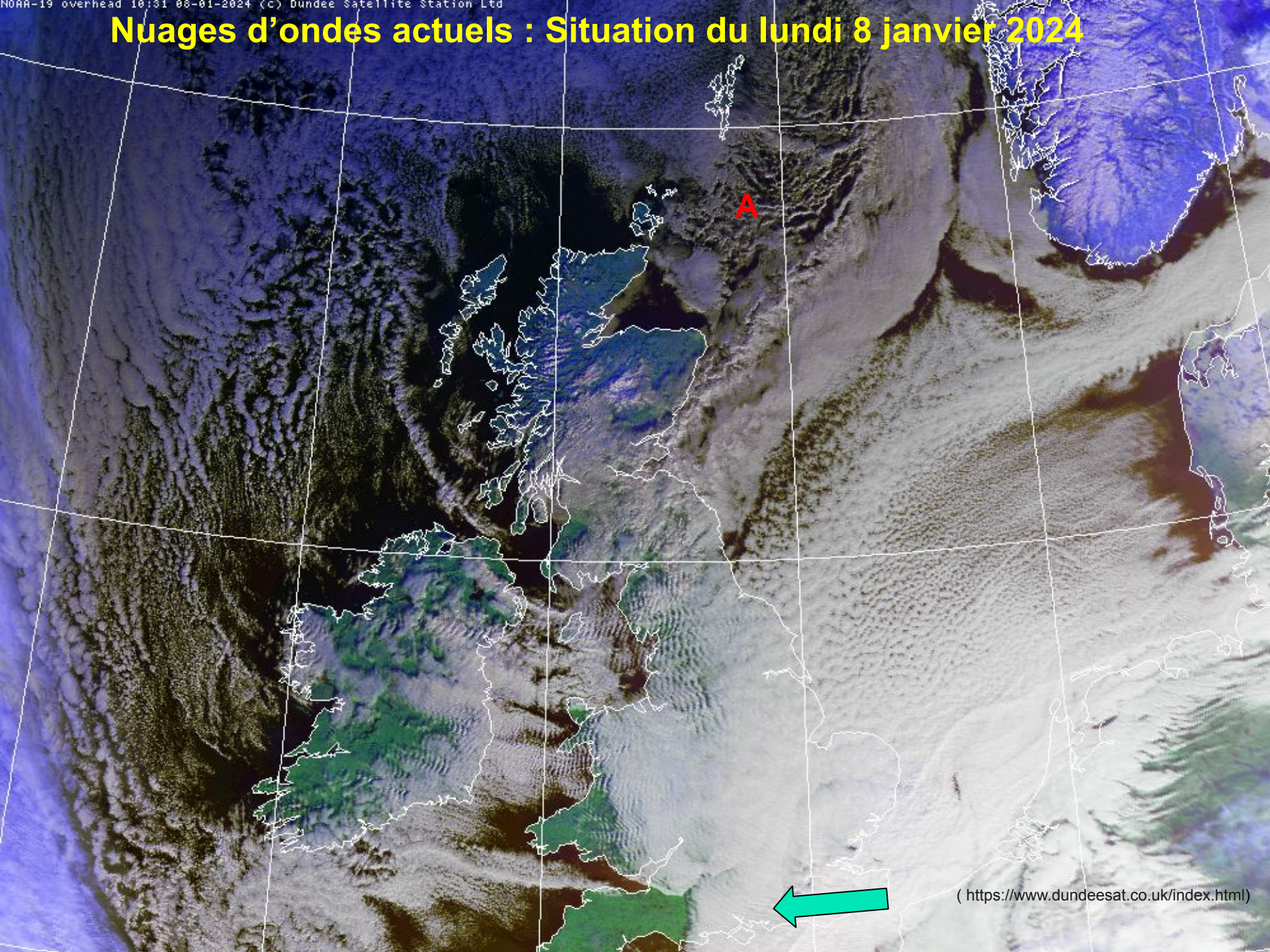
## ■ Éléments nécessaires à la formation de nuages :

- Température, humidité
- Présence d'une couche stable
- Vitesse de vent suffisante en haut de la crête génératrice ( $> 20$  km/h)
- Vent variable, croissant avec l'altitude



(Extrait de les visiteurs du ciel – H. Aupetit, 1989)

# Nuages d'ondes actuels : Situation du lundi 8 janvier 2024



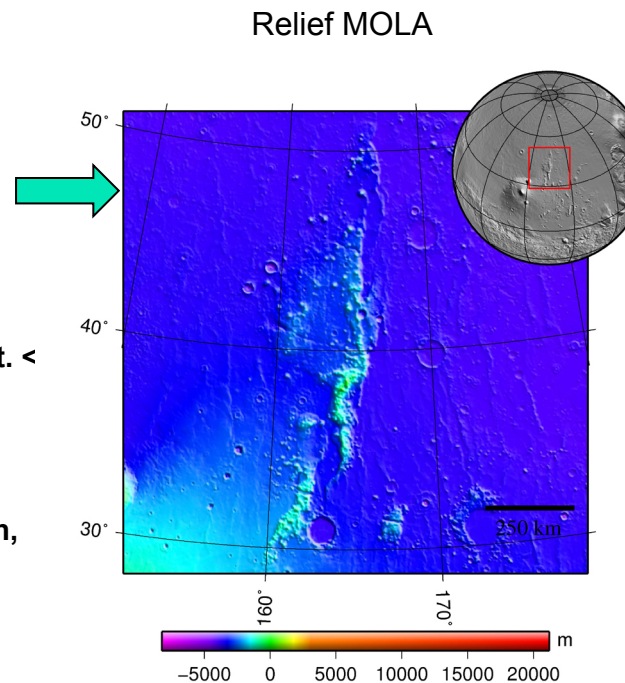
# 1. Nuages d'onde sur Mars (5)

## ■ Localisés :

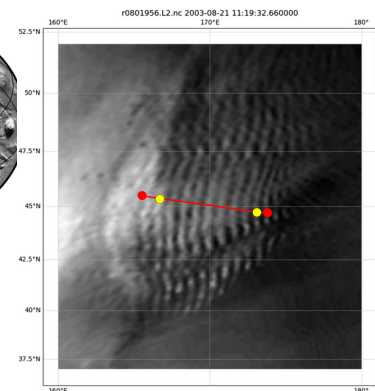
- Derrière des reliefs

## ■ Exemple : Phlegra Montes :

- Formation de nuages d'onde à l'est de Phlegra Montes => vent d'ouest
- Hiver nord (hors période de tempête globale)
- Ondes de relief dans basses couches (alt. < 10 km)
- Long. d'onde horizontale 20 - 40 km
- D'après article Ogohara & Ro, 2023. Earth, Planets and Space.



## MGS - MOC





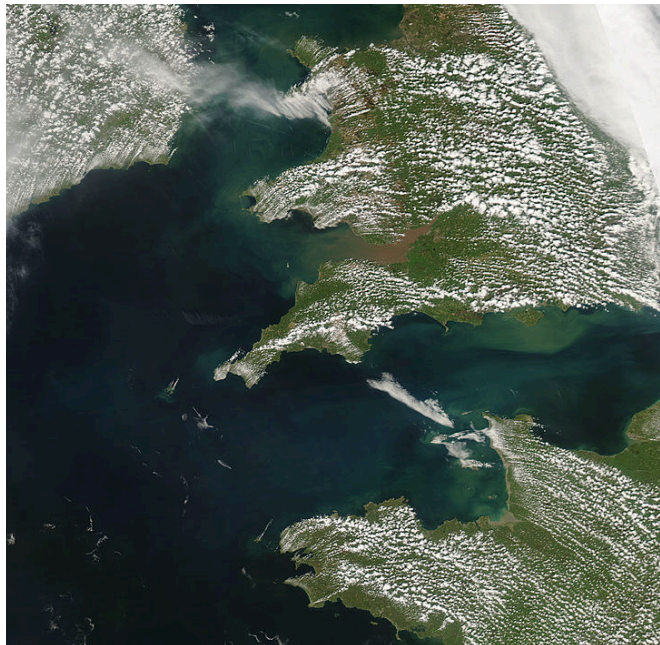
# 2. Rues de nuages (1)

## vues par satellite

### ■ Alignements de nuages

- Produits par la convection sur Terre => Cumulus
- Mécanisme de génération moins net sur Mars
- Sur Terre : nuages d'eau liquide (+ glace ?)
- Sur Mars : nuages de glace d'eau (ou de CO<sub>2</sub> ?)

**Terre :**  
Bretagne,  
Galles,  
Irlande  
SW  
23-04-2008



(NASA)

( [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cloud\\_streets\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cloud_streets_2.jpg) )

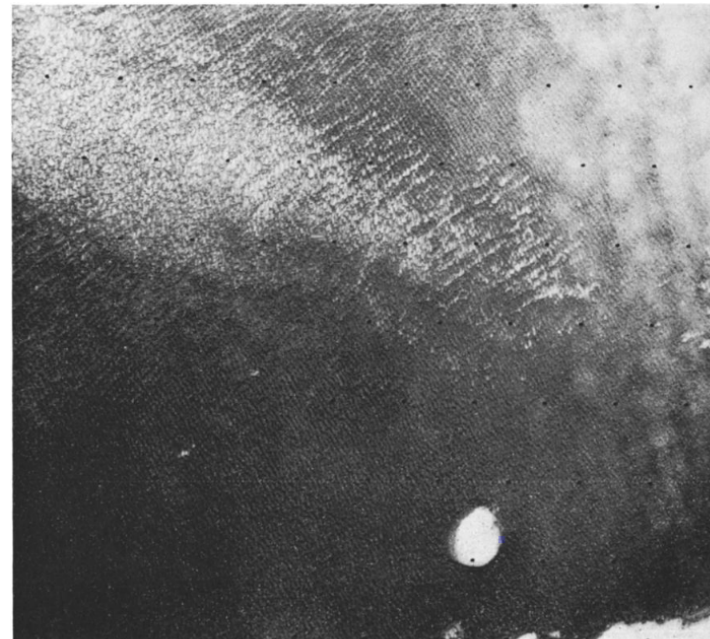


Fig. 2d

**Mars :**  
80.3°N  
Ls = 136.3°  
(été)  
Viking  
Orbiter 2  
  
(Kahn,1984  
JGR)

## 2. Rues de nuages (2)

### vues du sol

- **Alignements de cumulus**
  - Produits par la convection
  - Orientation possible par une (des) onde(s)



## 2. Rues de nuages (3) Mécanisme

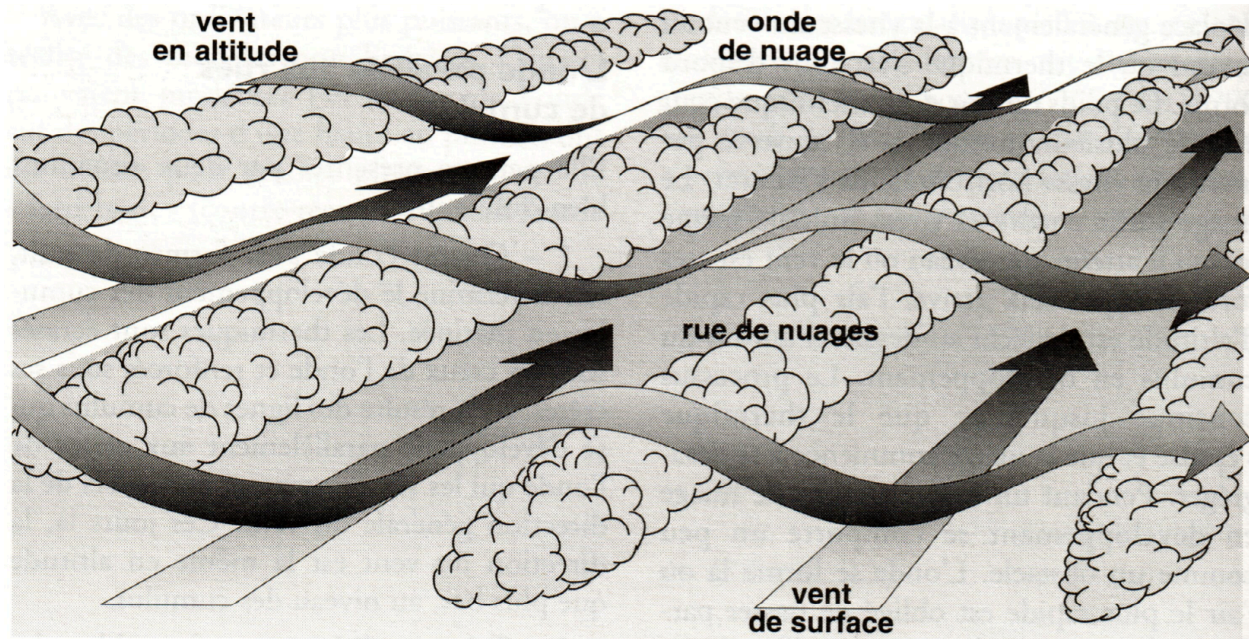


### ■ Convection => cumulus

- Hauteur limitée par une couche d'inversion

### ■ Rues de nuages

- Alignement ~ parallèle au vent de surface
- Formation / renforcement de l'onde si vent en altitude ≠ vent de surface



(Extrait de : la météorologie du vol à voile - T. Bradbury, 1989)

# 3. Ondes de Kelvin-Helmholtz



## ■ Instabilité de Kelvin-Helmholtz

- Si cisaillement de vent vertical
- Ou si vitesse différente à l'interface entre 2 fluides
- D'où ondes de Kelvin-Helmholtz

## ■ Type de nuages associés

- Stratocumulus (ou altocumulus) fluctus (classification nuages WMO de 2017)
- Peu courants, courte durée de vie



Vue aérienne (USA)

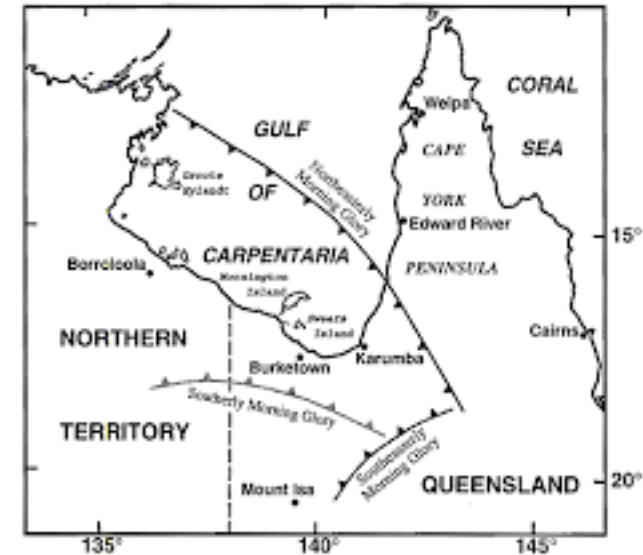


Mont Duval, NSW, Australie

# 4. Morning glories (1)



- (= Gloire du matin)
- Nuages longs en forme de rouleau
- Ondes solitaires, bores
- Lieu : Nord-Est de l'Australie
  - Péninsule du Cap York
  - Période : septembre-octobre (saison sèche)
- Fréquence :
  - Plusieurs épisodes pendant la saison
  - Rares évènements dans le reste du monde.



# 4. Morning glories (2) : Formation



- **Plusieurs provenances :**

- Les plus fréquentes : venant du NE.

- **Conditions favorables (MG du Nord-Est) :**

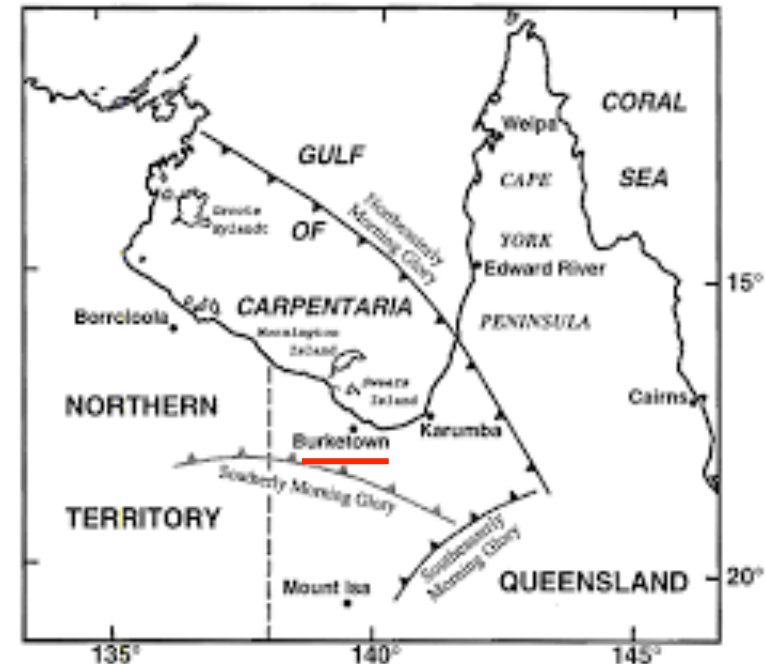
- Anticyclone SE de l'Australie
- Dorsale le long du Cap York
- Brises de mer des 2 cotés du Cap

- **Morning glory (de Nord-Est) :**

- Conséquence de la collision des 2 brises de mer sur le Cap York

- **Prévision locale :**

- A Burketown, au pub du coin
- (givre sur le frigo, table en bois gondolée)



# 4. Morning glories (3)

## Utilisation pratique

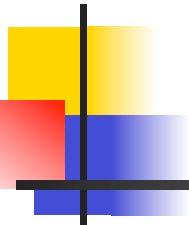


### ■ Vols de distance en planeur (et delta) :

- En général : décollage tôt le matin à l'aube, depuis Burketown
- En avant d'un nuage : Vz positive (ascendance)
- Vols possibles vers le S-SW, centaines de km.
- Vers 12h, décomposition du nuage d'onde (destruction par la convection).



# 4. Variante : Ondes solitaires sur l'Océan Indien



## ■ Formation:

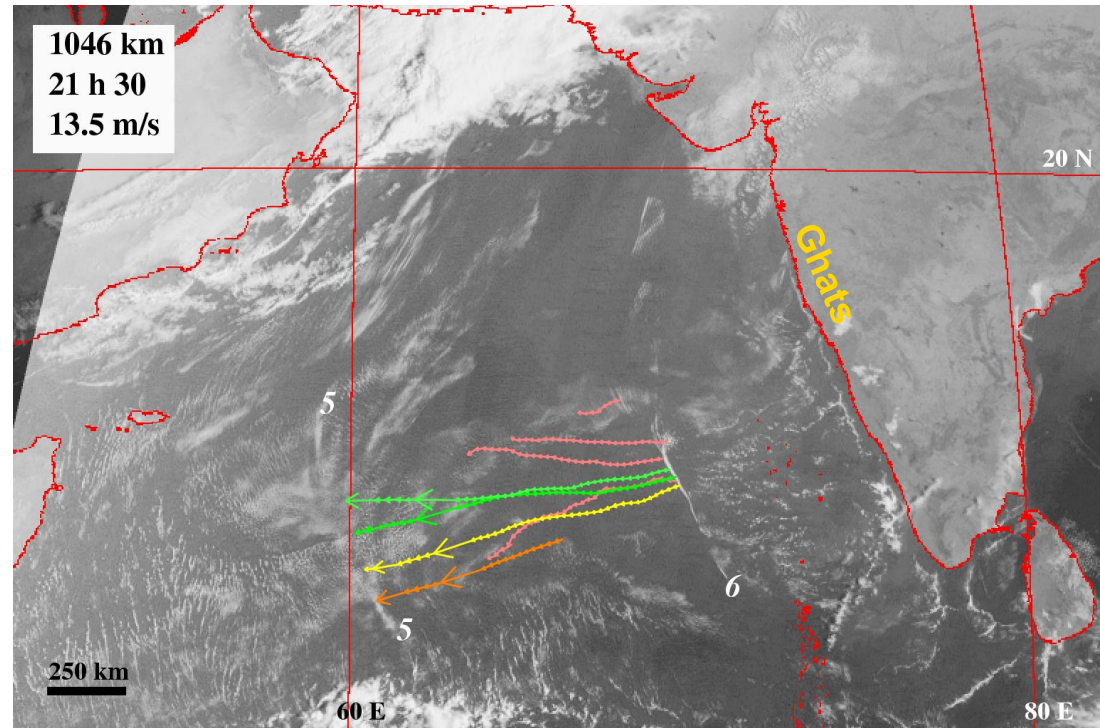
- Hiver (janvier-avril) ; mousson d'hiver (vent de NE)
- A l'ouest de la cote indienne ouest

## ■ Caractéristiques :

- Durée : 24 h ou +
- Longueur : centaines de km
- Propagation onde: 14 km/h

## ■ Mécanisme de création probable :

- Interaction entre mousson (de NE) en altitude et brise de mer (vent W-SW) en basse couche en fin d'après-midi.



(Szantai et al., 2012, JGR)

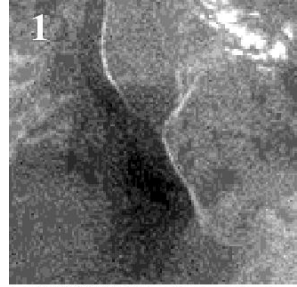
Image Meteosat-5 VIS  
Trajectoires de l'onde du 6/3/1999, début 9 h ILT  
+ restes de l'onde de la veille (5/3)



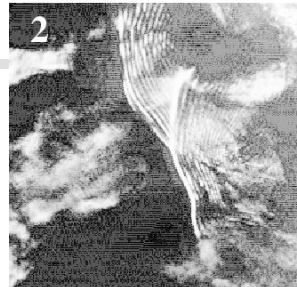
## 4. Variante :

# Ondes solitaires sur l'Océan Indien (2)

$t_0$



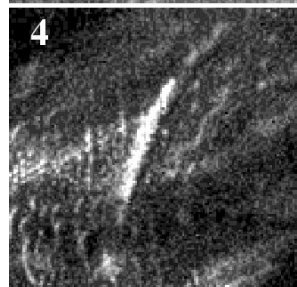
$t_0 + 3.5 \text{ h}$



$t_0 + 14 \text{ h}$



$t_0 + 22 \text{ h}$



$t_0 + 29.5 \text{ h}$



### ■ 3 couches :

- Marine (0 ~ 800 m),
- intermédiaire mousson avec pollution (~1-4 km),
- Troposphère libre (> 4 km).

### ■ Propagation :

- Entre 2 couches
- Favorise la convection après son passage
- Etalement et dissipation progressive.

Une trajectoire de l'onde du 3/3/1999



# Questions ?

---

# Nuages d'ondes actuels : Situation du lundi 8 janvier 2024

- Nuages d'onde sur Angleterre centrale, Galles, ile de Man, et Irlande-est.
- Anticyclone avec au sud du vent d'est fort
- Generation d'ondes à l'ouest des reliefs.
- Image NOAA AVHRR 10:31 UTC
- Prévis à 12 h ECMWF (P + vent 850 hPa) et GFS (RH + streamlines vent 850hPa)

Mean sea level pressure and 850 hPa wind speed

Base time: Mon 08 Jan 2024 00 UTC Valid time: Mon 08 Jan 2024 12 UTC (+12h) Area : Europe

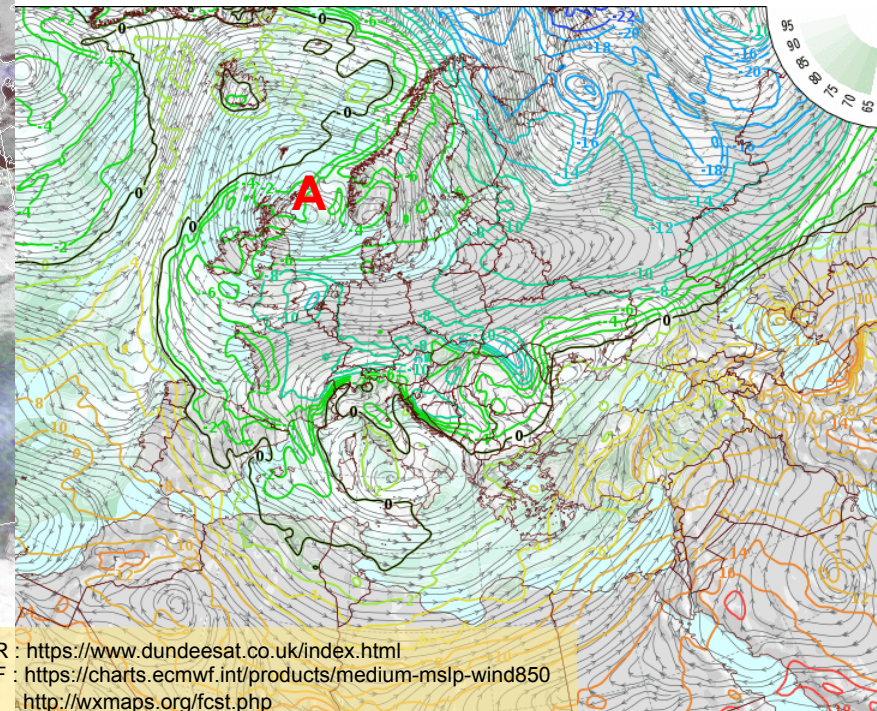
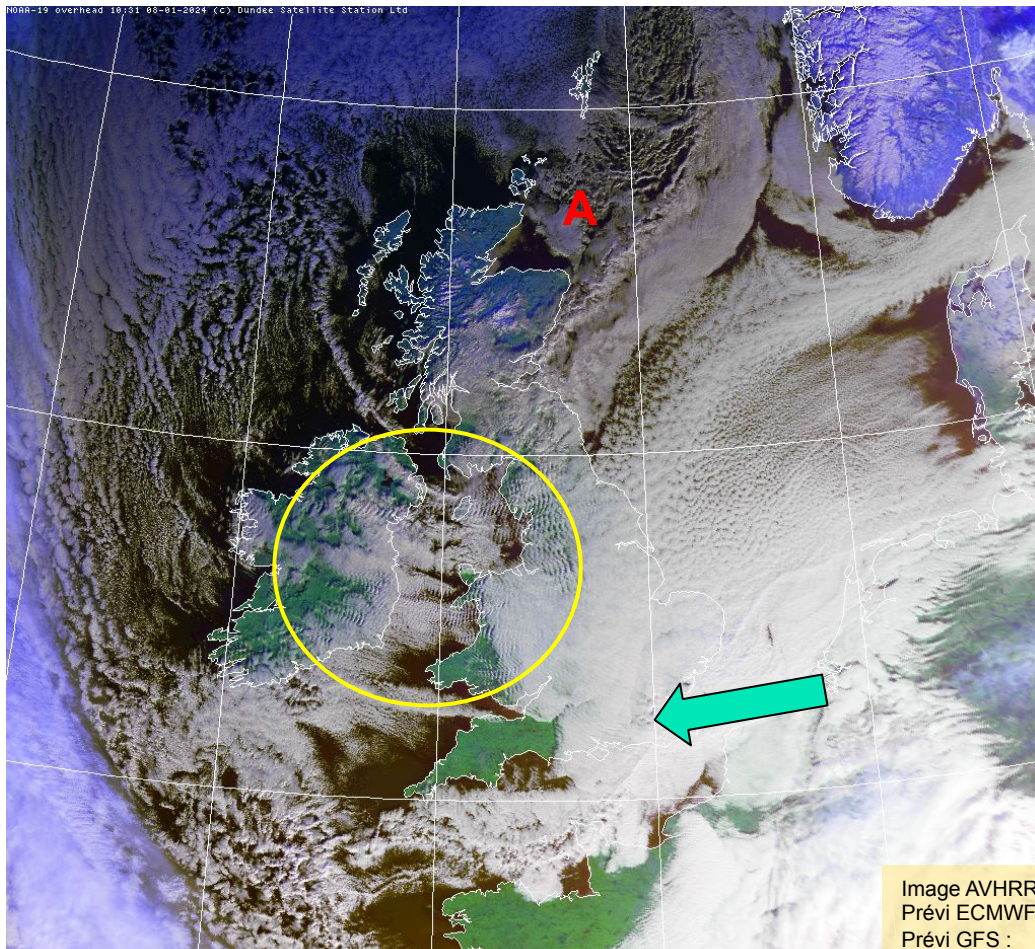
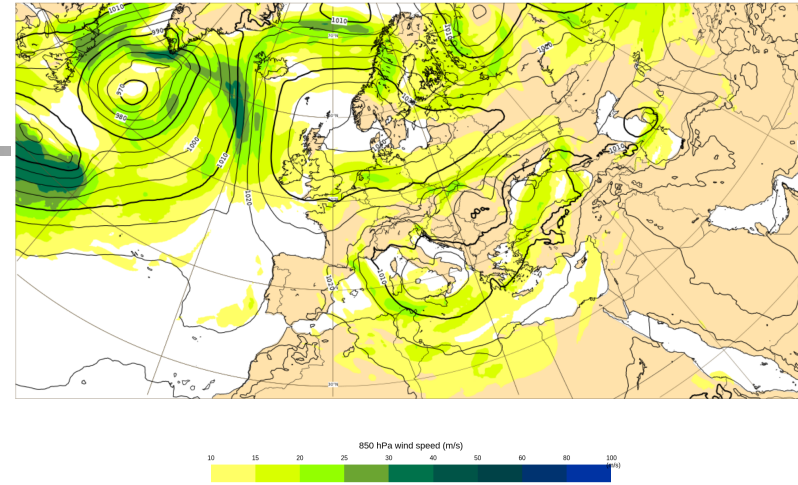


Image AVHRR : <https://www.dundeesat.co.uk/index.html>  
Prévi ECMWF : <https://charts.ecmwf.int/products/medium-mslp-wind850>  
Prévi GFS : <http://wxmaps.org/fcst.php>

Issued: 00708JAN2024 Valid: 127 Mon 08 JAN 2024

850mb Temperature (C), RH (%), Streamlines