



Introduction à la Météorologie

SCA2611

Table des matières

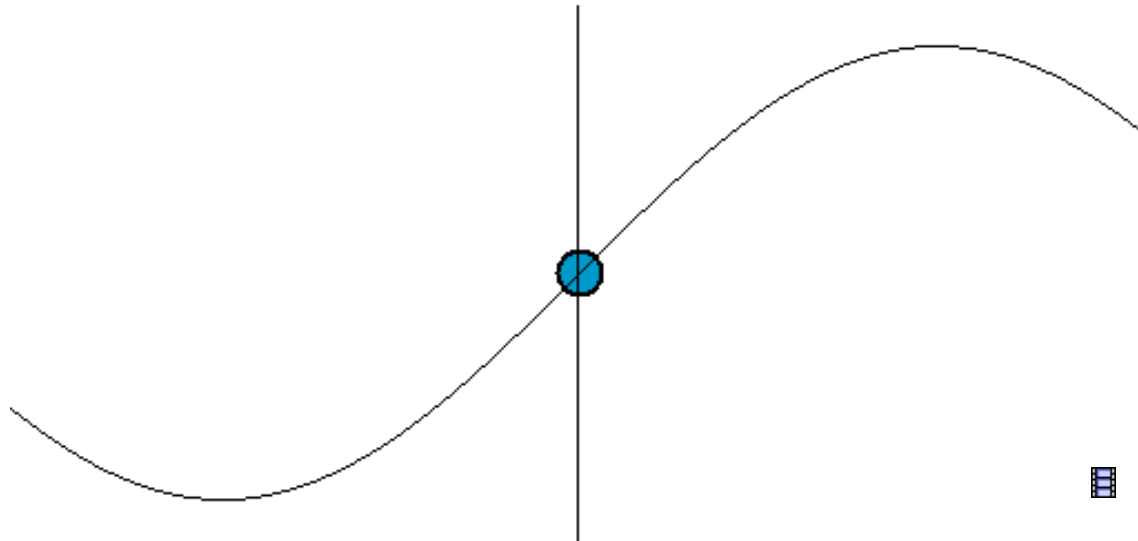
2.3 Les observations par télédétection

- Les ondes électromagnétiques
 - Le spectre électromagnétique
- Imagerie par satellites
 - Imagerie VIS
 - Imagerie IR
- Imagerie par radar
 - Positionnement de la précipitation
 - Présentations panoramiques
 - Réflectivité
 - Vitesse Doppler

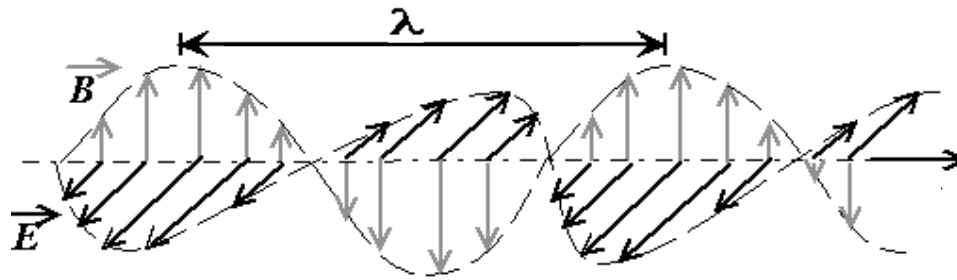
Qu'est-ce qu'une onde?

- Une onde est une perturbation dans l'espace ayant un mouvement oscillatoire. La résultante de ce mouvement est que le *déplacement net de la matière est nul*. **Seule l'énergie est propagée.**

<http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html>



Les ondes électromagnétiques

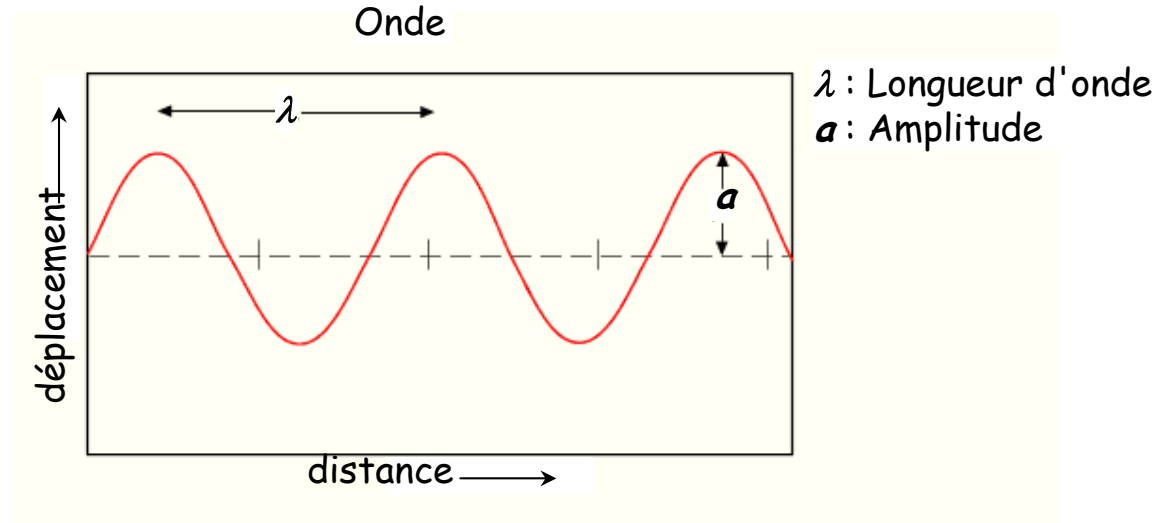


Variations des champs électrique et magnétique représentant le rayonnement électromagnétique.

λ est la longueur d'onde, c'est-à-dire la distance séparant deux crêtes successives d'une onde périodique.

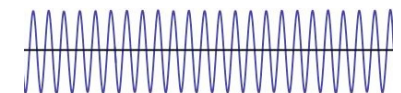
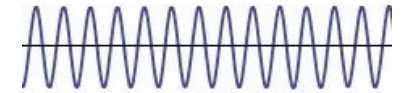
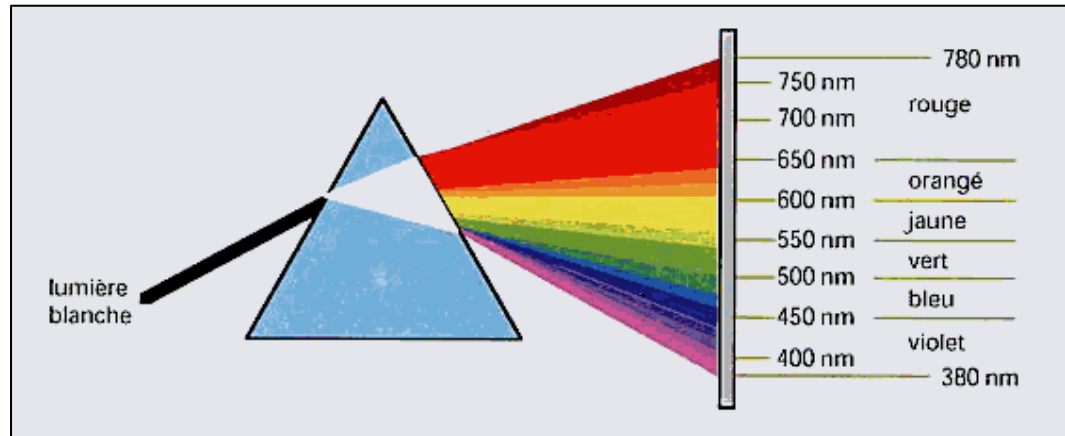


Amplitude, fréquence et longueur d'onde



- Amplitude : a
- Longueur d'onde : λ
- Fréquence : f = vitesse/longueur d'onde
- Les ondes électromagnétiques se propagent à la vitesse de la lumière (299 792 458 m/s), environ 1 milliard km/h.

Décomposition de la lumière

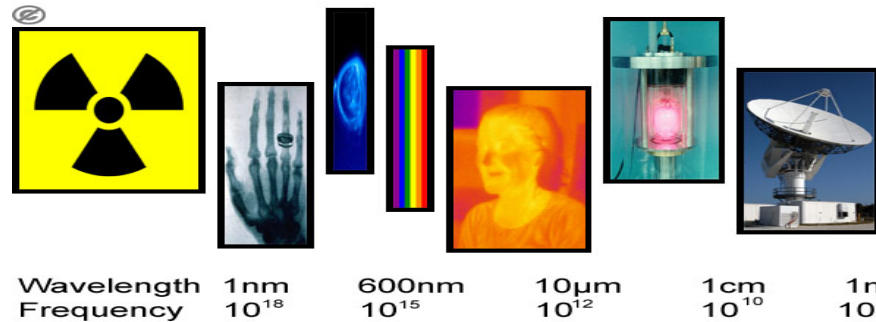


Longueur d'onde (λ)	Teinte	
380 nm à 480 nm	violet	
450 nm à 482 nm	bleu	
482 nm à 487 nm	bleu-verdâtre	
487 nm à 492 nm	cyan (turquoise)	
492 nm à 497 nm	vert-bleuâtre	
497 nm à 530 nm	vert	
530 nm à 570 nm	vert-jaune	
570 nm à 575 nm	jaune-verdâtre	
575 nm à 580 nm	jaune	
580 nm à 585 nm	orangé-jaunâtre	
585 nm à 595 nm	orangé	
595 nm à 620 nm	orangé-rougeâtre	
620 nm à 780 nm	rouge	

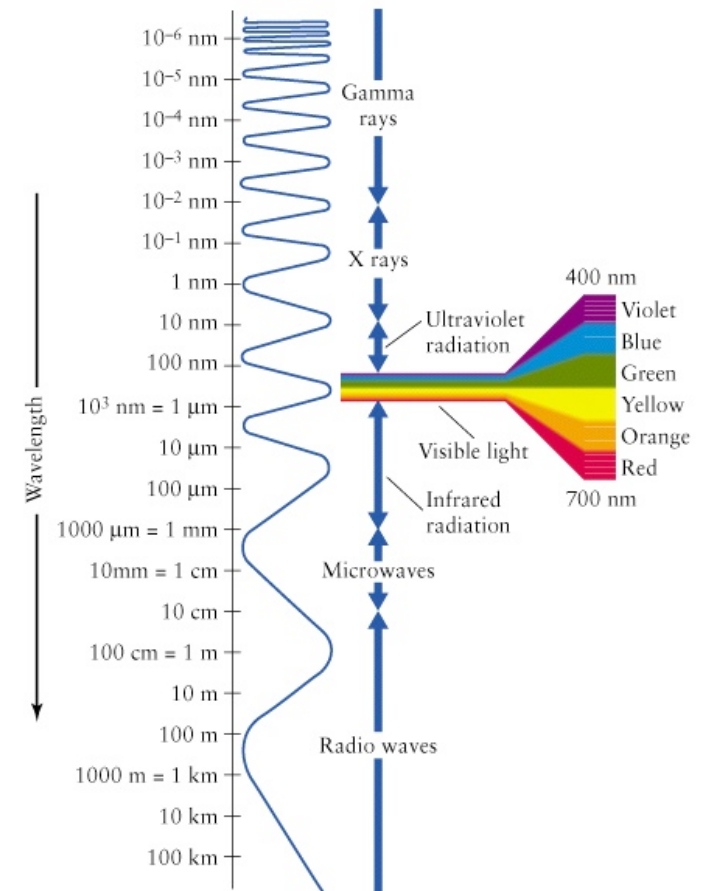
Décomposition de la lumière avec un CD



Le spectre électromagnétique



Wave	Uses	Dangers
Radio Waves	- Radio transmitters - Radar - Television	None
Microwaves	- Microwave ovens - Communication system	Internal heating of body tissue
Infra-red	- Thermal imaging - Remote controls	Burns skin
Light	- Optic fibres - Seeing!	Strong light causes damage to vision.
Ultra-violet	- Washing powder (whiter than white) - Security marking	Skin cancer and blindness
X rays	Taking images of the skeleton	Mutations in cells and severe burns to the skin.
Gamma Rays	- Cancer treatment - Sterilisation of equipment	Cancers and cell mutation



Imagerie par satellite

Le visible et l'infrarouge

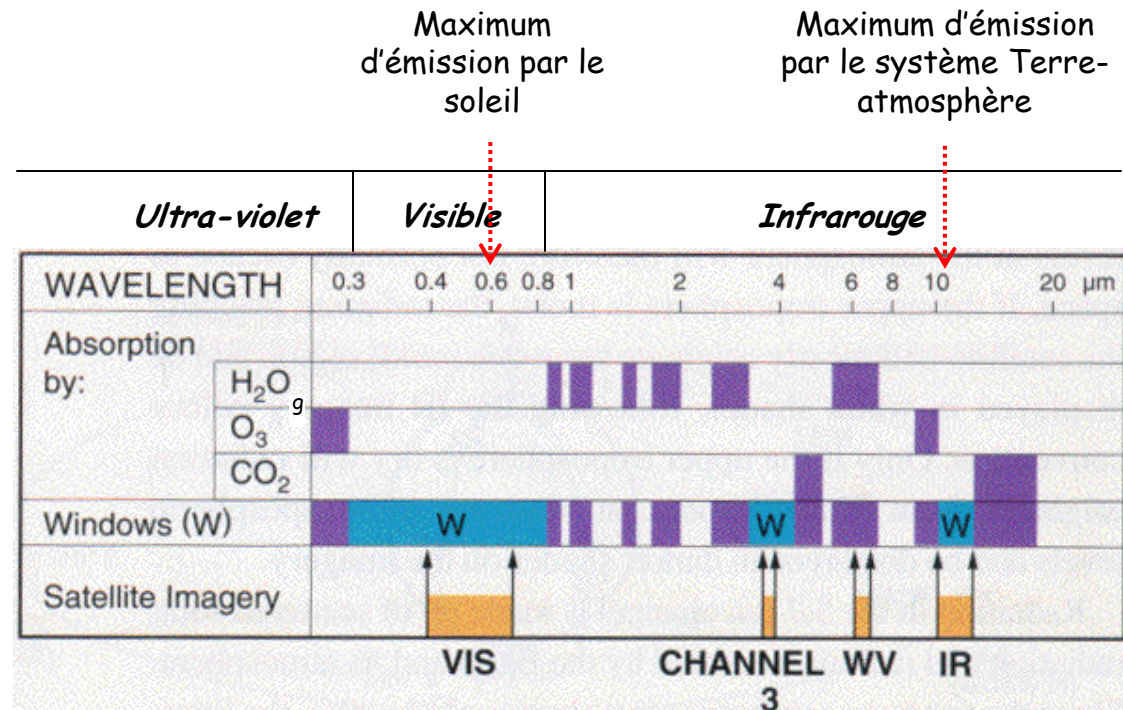
- Les principales longueurs d'ondes exploitées en météorologie en imagerie par satellite sont :

Visible : $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$

L'image provient de la réflexion de la radiation solaire vers l'espace par le système Terre-Atmosphère.

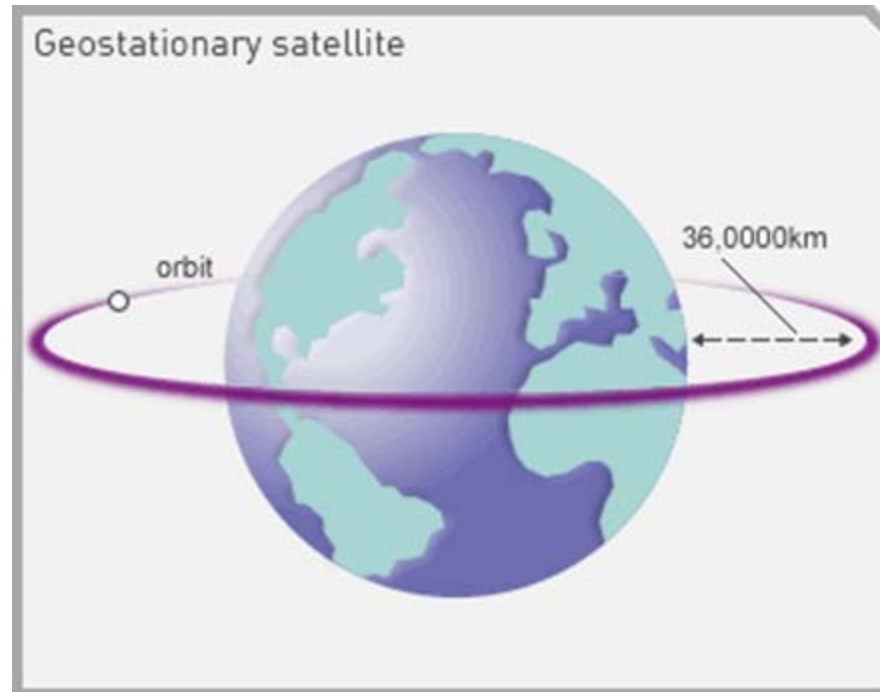
Infrarouge : $\lambda = 11 \mu\text{m}$

L'image provient de la radiation émise vers l'espace par le sol ou les nuages.



Satellites géostationnaires

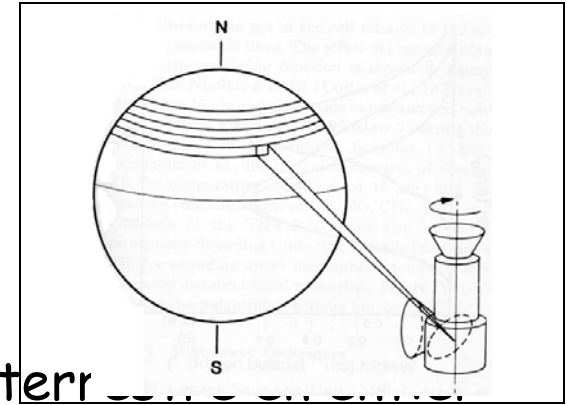
- Leur orbite autour de la Terre est vis-à-vis l'équateur. Ils tournent à la même vitesse angulaire que la Terre, donc ils voient toujours le même disque.



Satellites géostationnaires

Caractéristiques :

- Ils tournent sur eux-mêmes à un taux de rotation stable.
- Ils construisent les images de la Terre en sondant une tranche du disque terrestre parallèle à l'équateur à chaque rotation d'un pôle à l'autre.



Avantages :

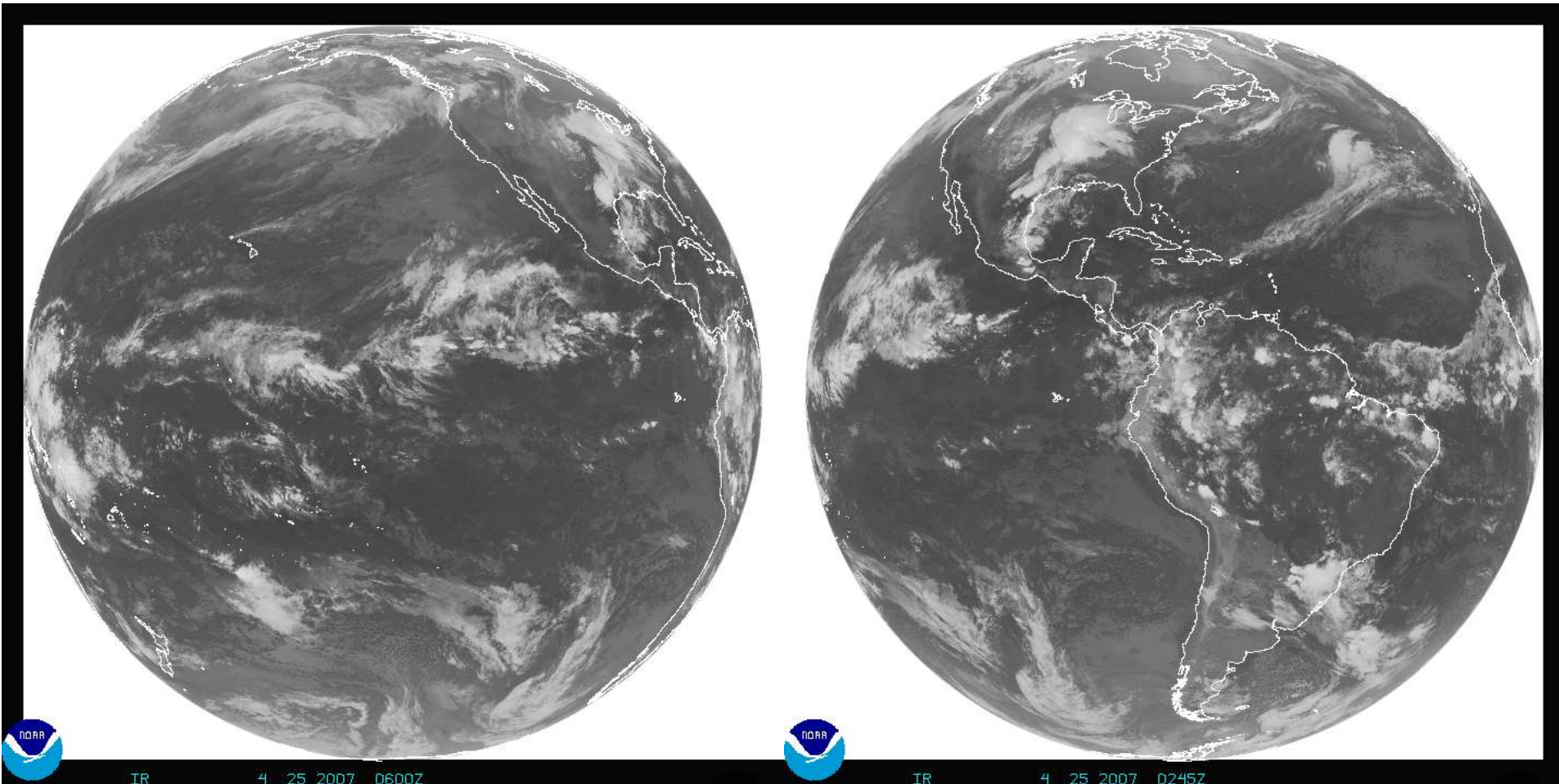
- Ils produisent une image complète du disque terrestre environ à toutes les 25 minutes.
- Ils permettent de suivre l'évolution temporelle du couvert nuageux

Principal désavantage :

- Les images sont sujettes à une forte distorsion près des pôles. Pour cela, leur usage est limité entre 70° N et 70° S de latitude.

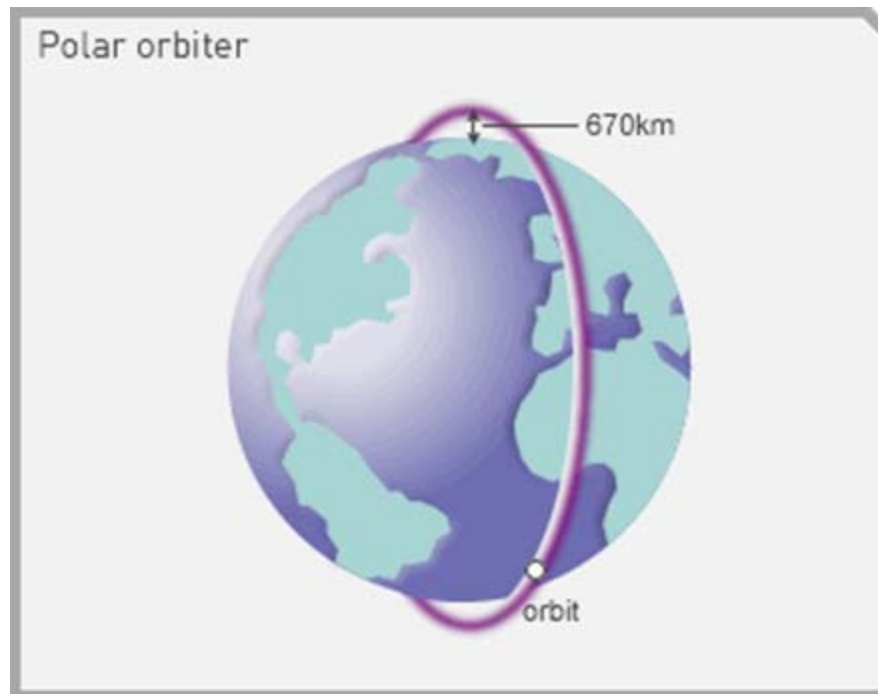
Vue de la Terre par GOES ouest et est

- GOES : Geostationary Operational Environmental Satellites



Satellites à orbite polaire

- Ils couvrent toute la surface de la Terre. Vu de l'espace, ils décrivent une orbite stationnaire et c'est la Terre qui tourne en dessous.
- Ils complètent 14,1 orbites par jour.



Satellites à orbite polaire

Caractéristiques :

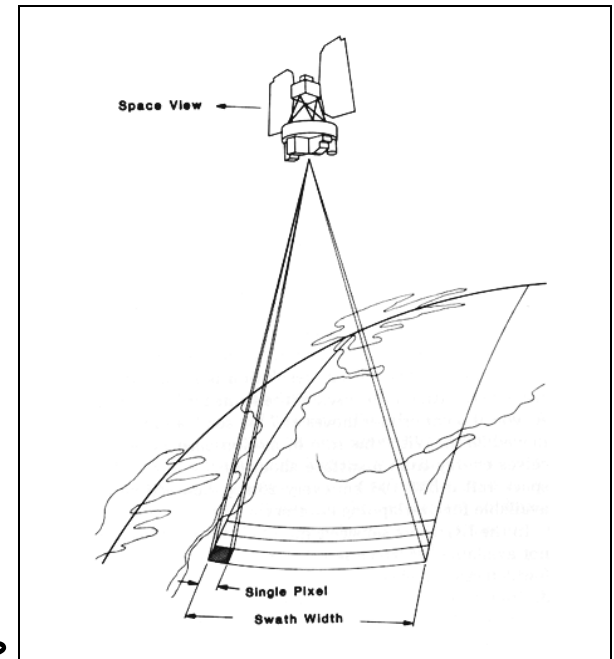
- Ils balaient des régions de 3000 km de large à chaque passage.
- Ils couvrent la Terre en entier 2 fois par jour.
- Ils sont constamment orientés vers la Terre et c'est grâce à un miroir en rotation qu'ils balaient leur champ de vision.

Avantages :

- Ils permettent de bien voir les pôles.
- Meilleure résolution de l'image, car leur orbite est beaucoup plus basse.

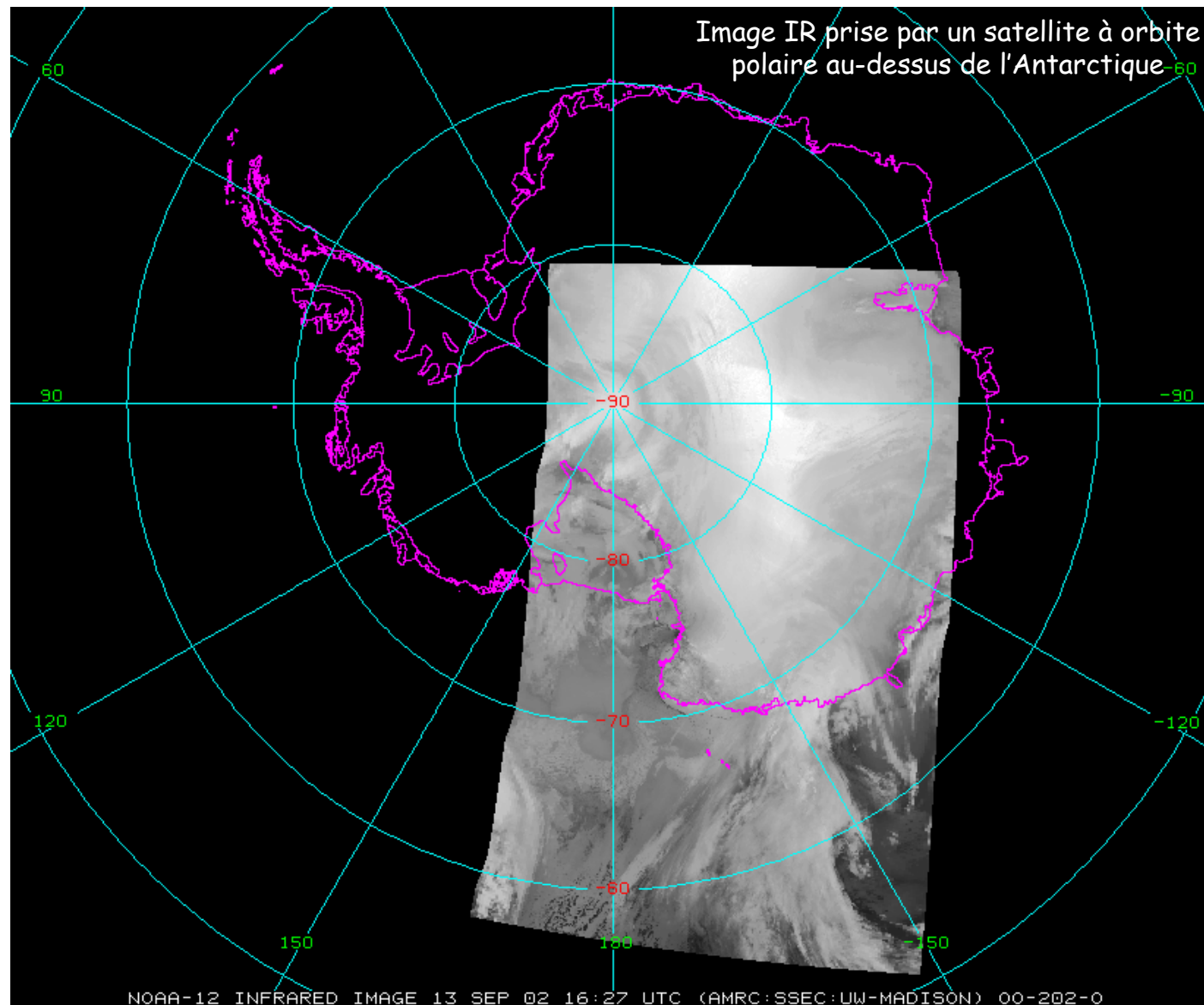
Principal désavantage :

- Les images prennent du temps à être produites.



Le Pôle Sud vu par NOAA-12

(satellite à orbite polaire)



Imagerie VIS

Visible : $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$

À cette longueur d'onde, l'intensité de la radiation mesurée par le satellite dépend de la réflectivité (albédo) du nuage ou de la surface

- Blanc : brillance élevée (albédo élevé)
- Noir : faible brillance (faible albédo)

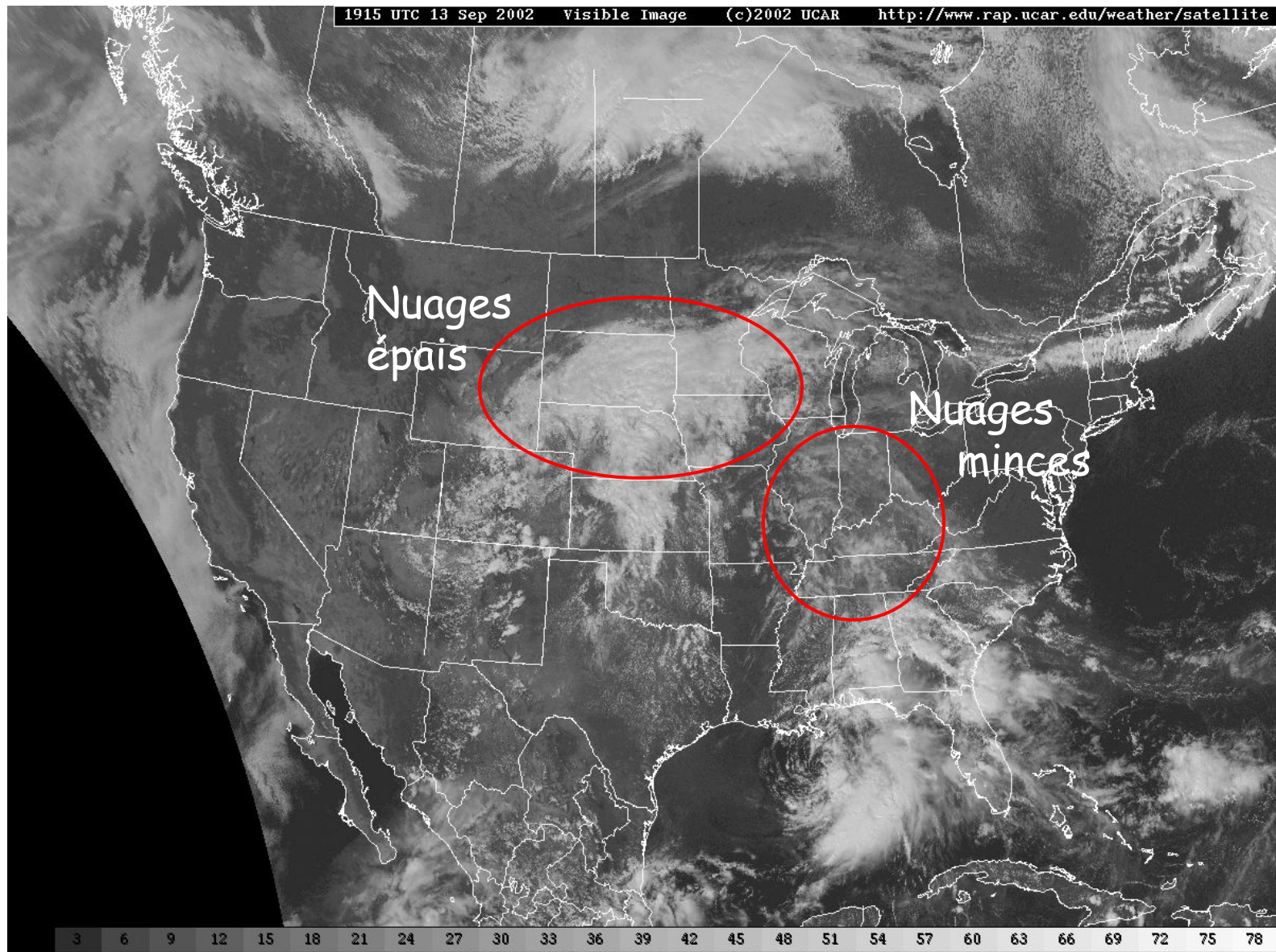
Caractéristiques des nuages avec un fort albédo :

- 1) Grande épaisseur
- 2) Concentration élevée en gouttelettes de nuage

Caractéristiques des nuages avec un faible albédo:

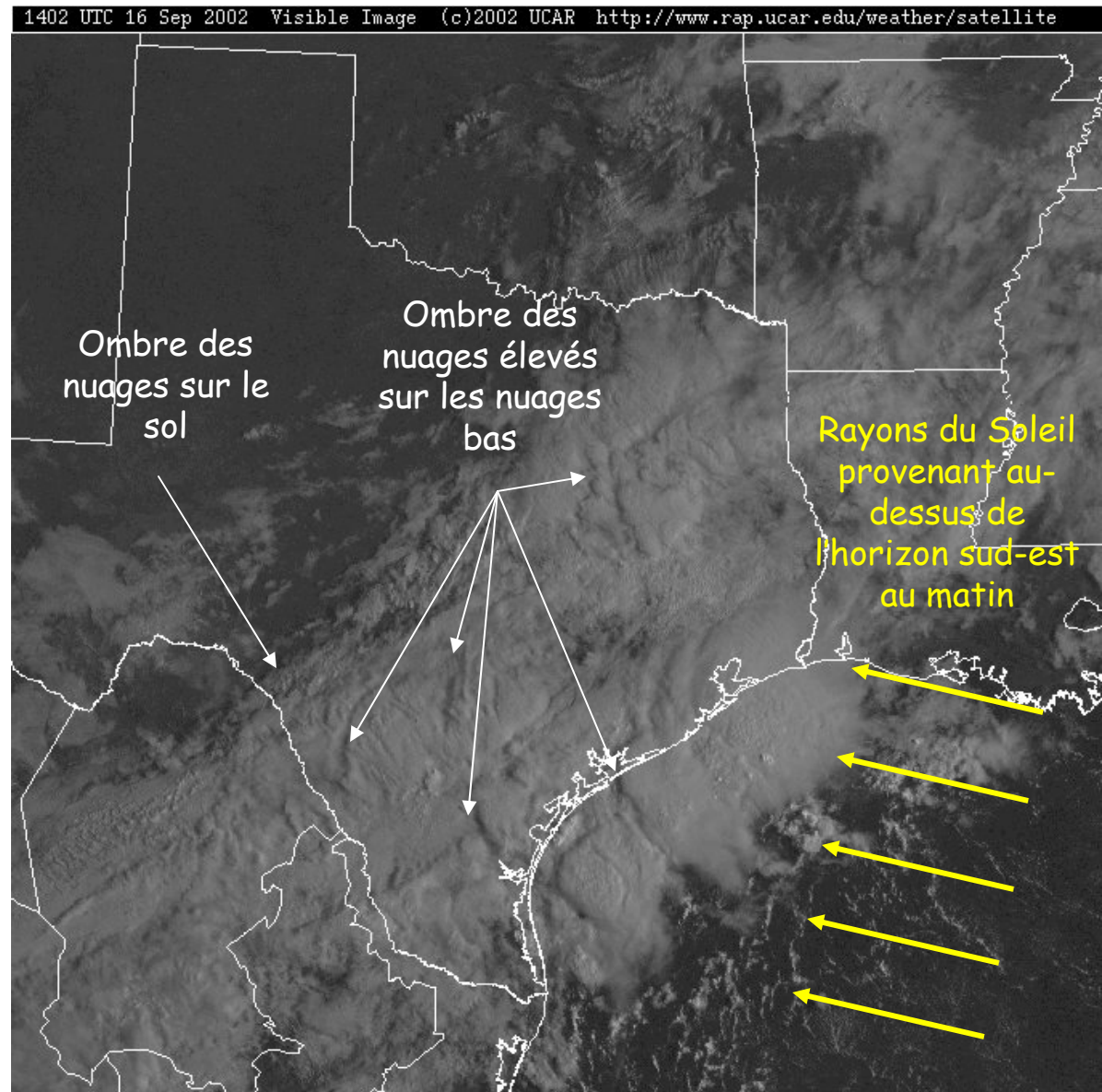
- 1) Mince
- 2) Faible concentration en gouttelettes de nuage

Exemple d'image VIS



Exemple d'image VIS le matin

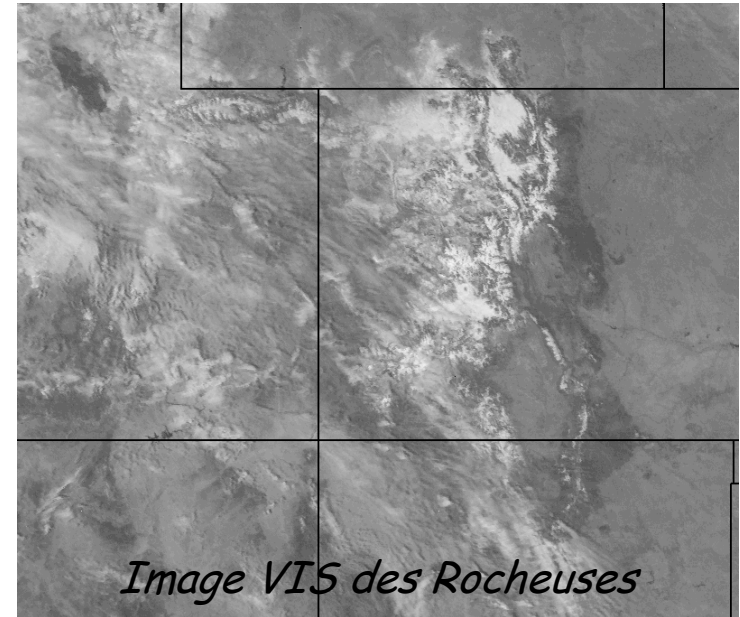
Soirs et matins, alors que le soleil est à l'horizon, la structure des nuages est perceptible



Problèmes avec les images VIS

- Distinguer les nuages avec un sol recouvert de neige.
- Distinguer les nuages très minces (albédo très faible), qui se confondent avec le sol.

Ces problèmes peuvent être contournés en bonne partie par l'utilisation d'animations d'images VIS.



Imagerie IR

Infrarouge : $\lambda = 11 \mu\text{m}$

- A cette longueur d'onde, l'intensité de la radiation mesurée par le satellite dépend de la température du sommet des nuages ou de la surface terrestre.

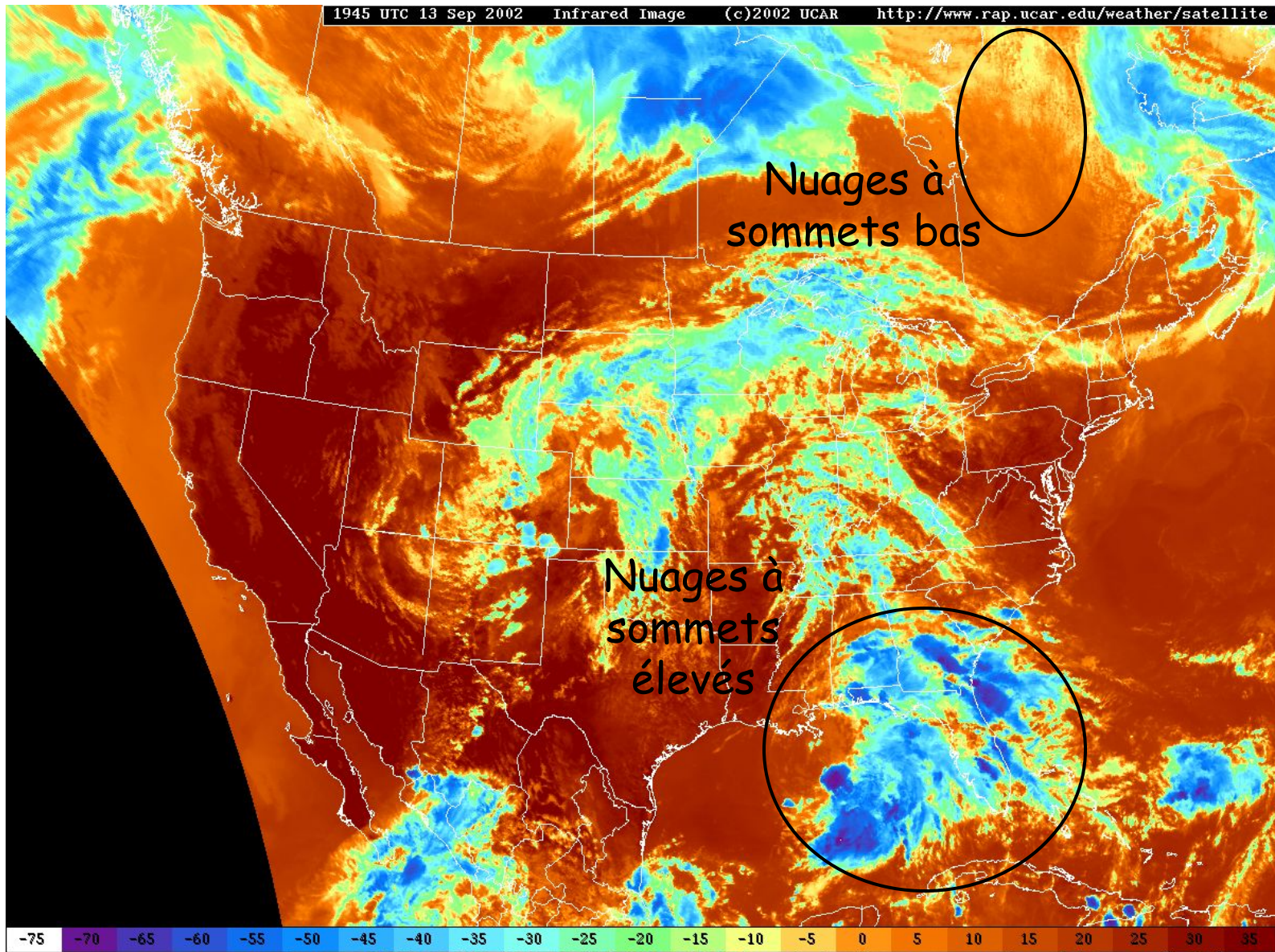
Présentation
en couleur

- Teinte de **bleu** : basse température (nuage élevé)
- Teinte de **rouge** : haute température (nuage bas ou sol)

Présentation en
noir et blanc

- Blanc: basse température (nuage élevé)
- Noir : haute température (nuage bas ou sol)

Exemple d'image IR



Problèmes avec les images IR

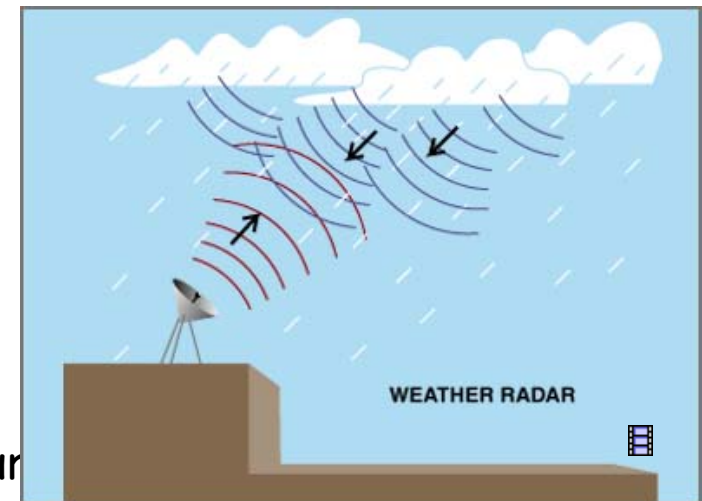
- Les nuages bas et le brouillard sont difficilement perceptibles en raison de la faible différence de température entre ceux-ci et le sol.
- Avec des nuages très minces ou de petites tailles, la radiation des niveaux inférieurs peut les traverser ou les contourner et faire paraître le nuage plus chaud, donc plus bas qu'il ne l'est en réalité.



Le radar météorologique

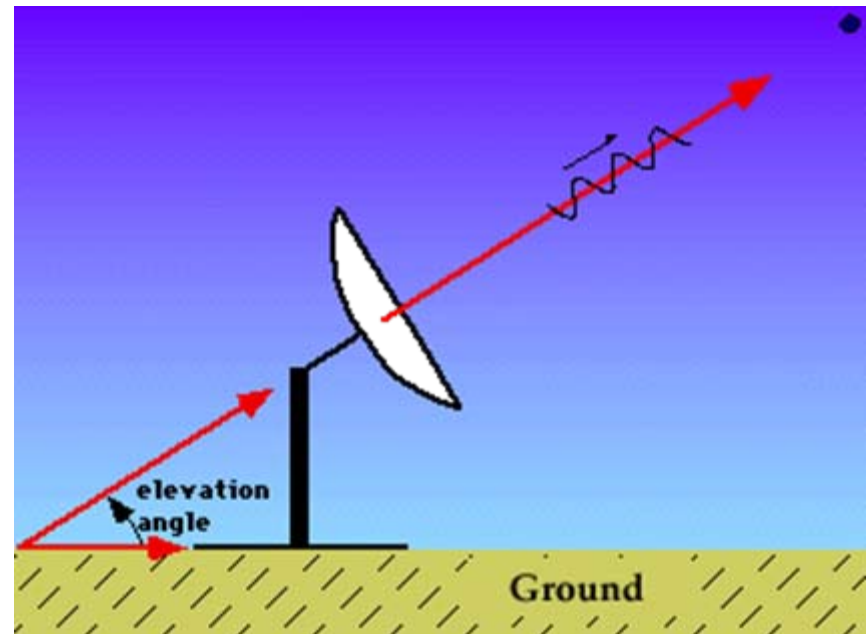
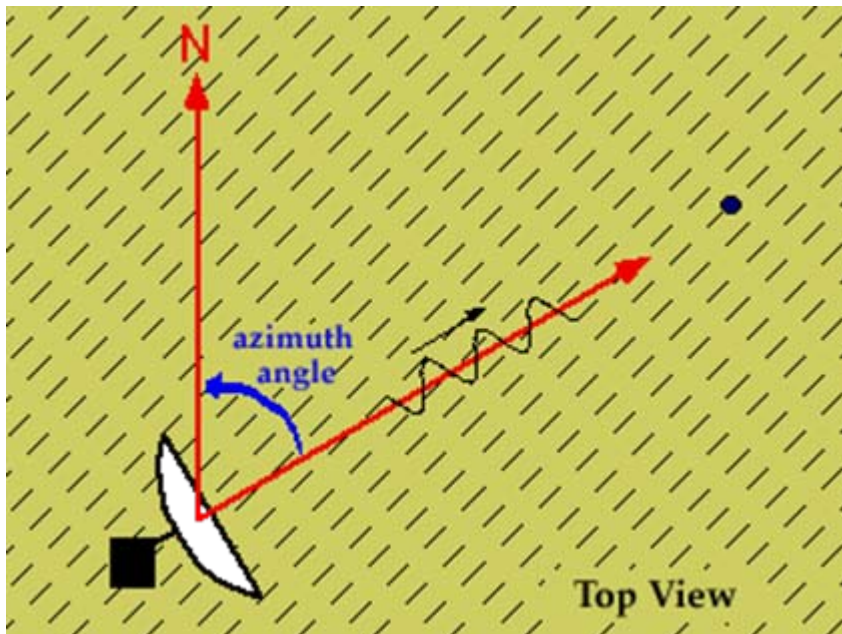
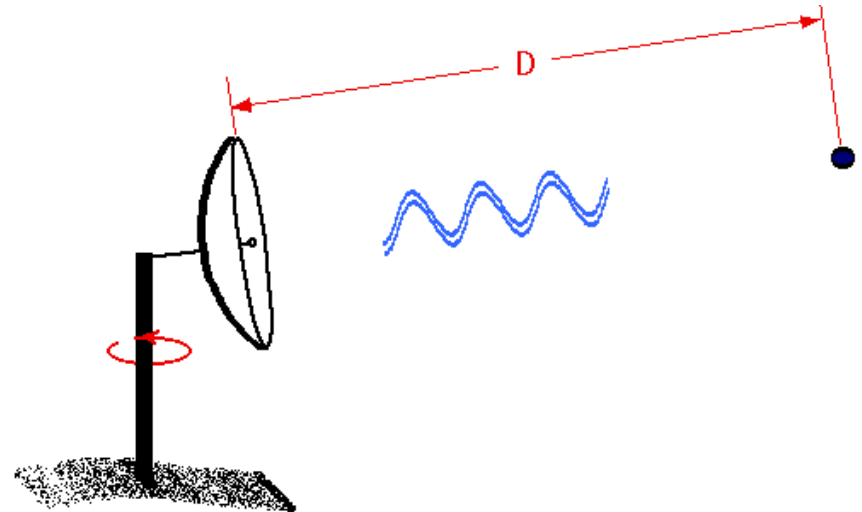
Radar (RAdio Detection And Ranging)

- Les radars météorologiques exploitent surtout les longueurs d'onde de 5 cm et 10 cm (micro-ondes).
- Principe de fonctionnement du radar
 1. Un signal électromagnétique est émis.
 2. Le signal interagit par diffusion avec les obstacles rencontrés le long de sa propagation (pluie, neige, insectes, oiseaux, édifices, sol, etc.) et une partie de l'énergie électromagnétique est rétrodiffusée vers le radar.
 3. Le récepteur du radar mesure le signal reçu et il le compare à celui transmis pour électromagnétique rétrodiffusée par les obstacles et leur vitesse Doppler.



Positionnement de la précipitation

- Le délai de temps entre le signal émit et celui reçu permet de calculer la **distance** de la cible.
- L'angle azimutal et l'élévation de l'antenne permettent de compléter le **positionnement**.



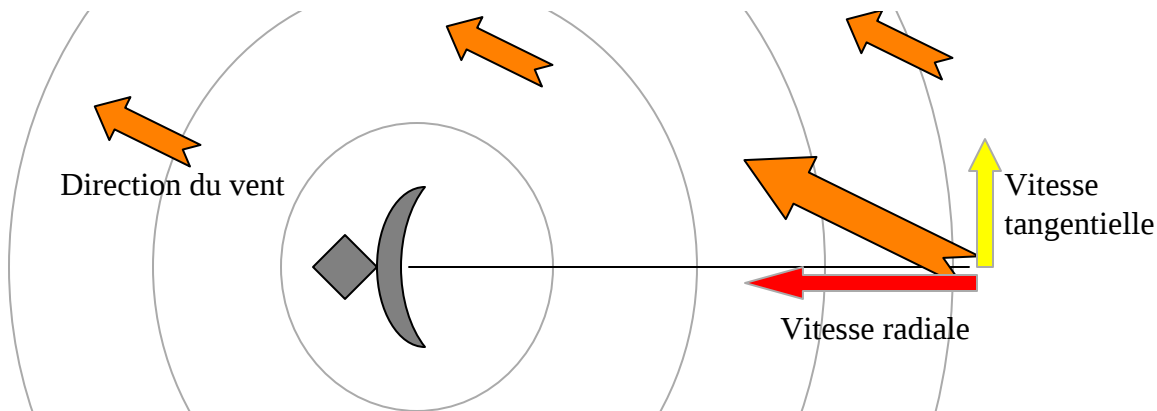
Imagerie par radar

- Images de la réflectivité radar

Affichage de la quantité d'énergie rétrodiffusée par la précipitation (pluie, neige, grêle, ...)

- Images de la vitesse Doppler

Affichage de la **vitesse radiale** de déplacement des obstacles obtenue en mesurant le changement de phase entre le signal émis et celui reçu.



Radar Doppler principal de l'Université McGill

(Ste-Anne-de-Bellevue)

- Radar de bande S : $\lambda = 10$ cm
- Antenne parabolique de 9 m (30') de diamètre
- L'antenne complète un tour en 12,5 sec
- Sonde à 24 angles d'élévation différents (de $0,5^\circ$ à $34,5^\circ$)
- Puissance du signal émis : 700 kW ($\sim 10^6$ W)
- Puissance du signal reçu : ~ 1 mW ($\sim 10^{-3}$ en moyenne)
- Durée de l'émission : $1 \mu\text{s}$ (10^{-6} s)
- Durée de l'écoute : ~ 1 ms (10^{-3} s)

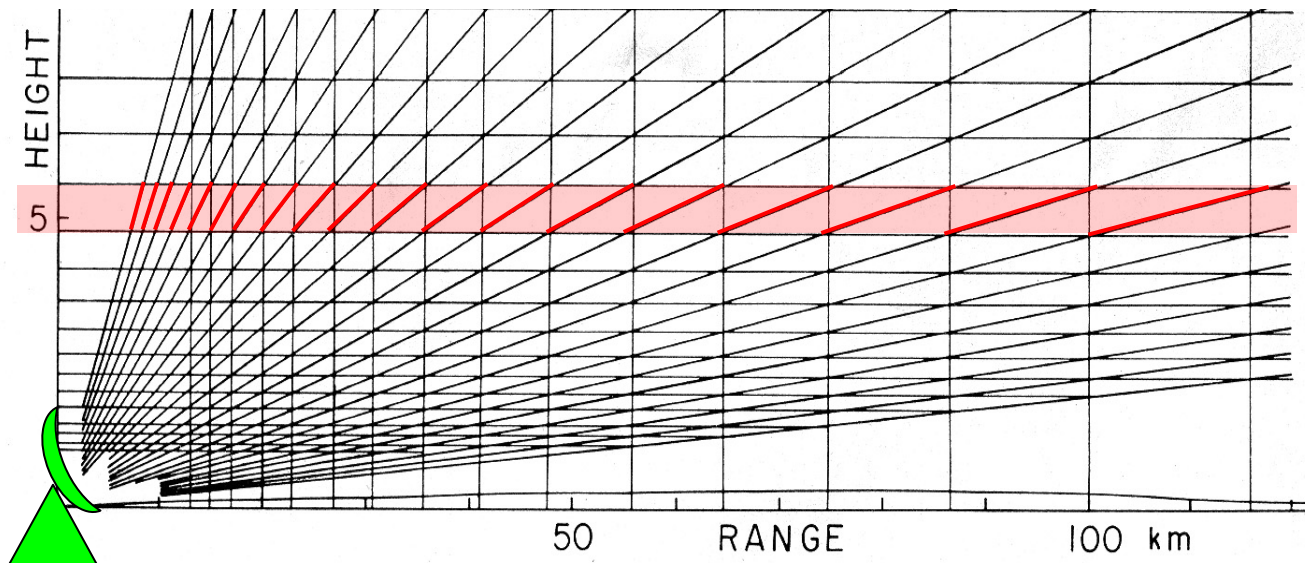


Présentations panoramiques

Les images de réflectivité radar et de vitesse Doppler sont généralement présentées sous forme CAPPI :

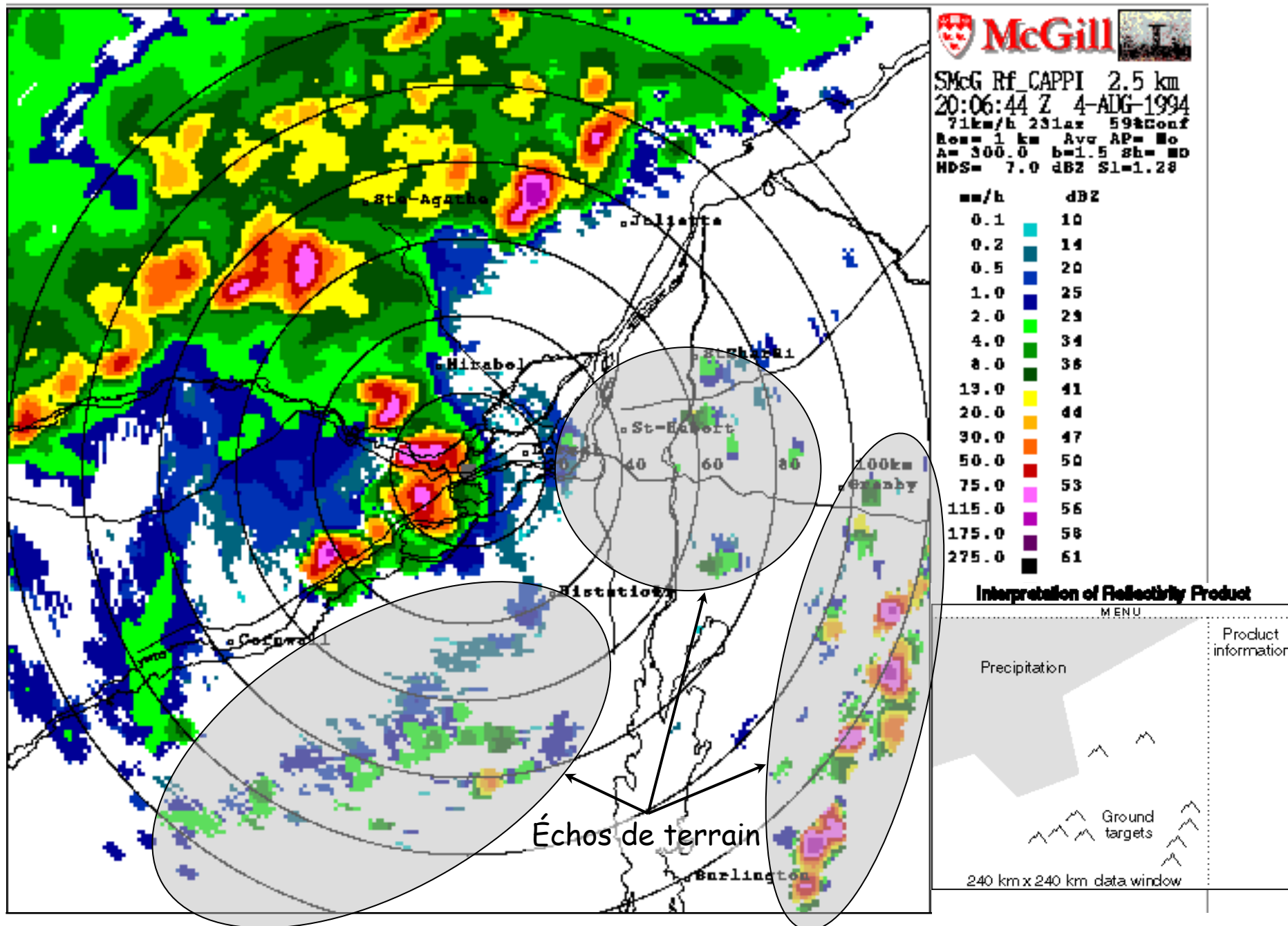
CAPPI - "Constant Altitude Plan Position Indicator"

- Présente les mesures à altitude constante.
 - Ces images sont obtenues par traitement informatique une fois le balayage à tous les angles de site complété.



DISPLAY ALGORITHMS SELECT TIME ANIM CORRECTIONS GENERATE OPTIONS SENSOR EXIT

HELP

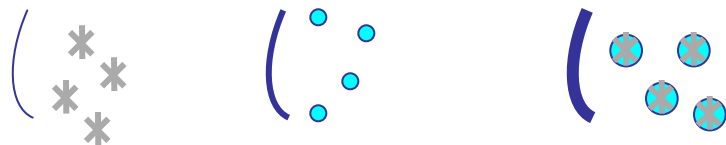


Images de réflectivité

- L'énergie rétrodiffusée est :
 - proportionnelle au **nombre** d'hydrométéores
 - proportionnelle à la **grosueur** des hydrométéores

⇒ Elle est donc proportionnelle à l'intensité de la précipitation.
- L'énergie rétrodiffusée dépend du type de précipitation :
 - la pluie est plus réfléchissante que la neige, mais
 - la neige fondante est plus réfléchissante que la pluie

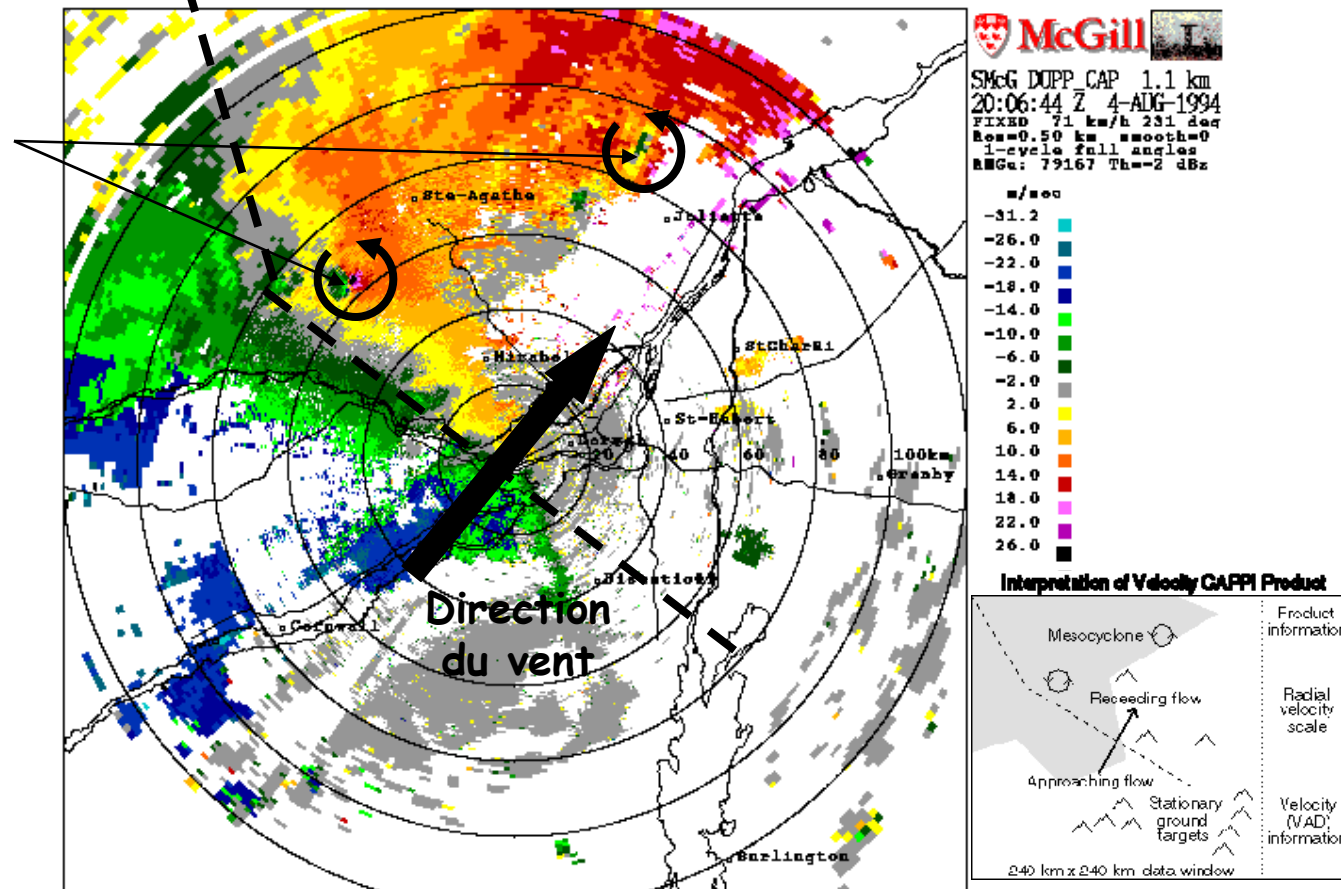
neige < pluie < neige fondante



Images Doppler

- Utiles pour la détection du temps violent, par exemple : le mésocyclone, précurseur potentiel d'une tornade.
- Les **valeurs négatives** indiquent des cibles qui s'approchent du radar
- Les **valeurs positives** indiquent des cibles qui s'éloignent du radar

Mésocyclones



Mésocyclones:
zone de rotation
dans un orage,
environ 10km de
diamètre.

Satellite de la série TIROS

