

# La propagation des ondes radios dans la troposphère

Problème: Peut-on prédire la qualité de la propagation à partir des données météorologiques?

## Plan

### I/ Propagation troposphérique

- 1) Les différentes couches de l'atmosphère
- 2) Comment se propage l'onde dans la troposphère

### II/ Description de l'expérience

- 1) Présentation de la balise
- 2) Chaîne de réception et traitement des données
- 3) Données météorologiques

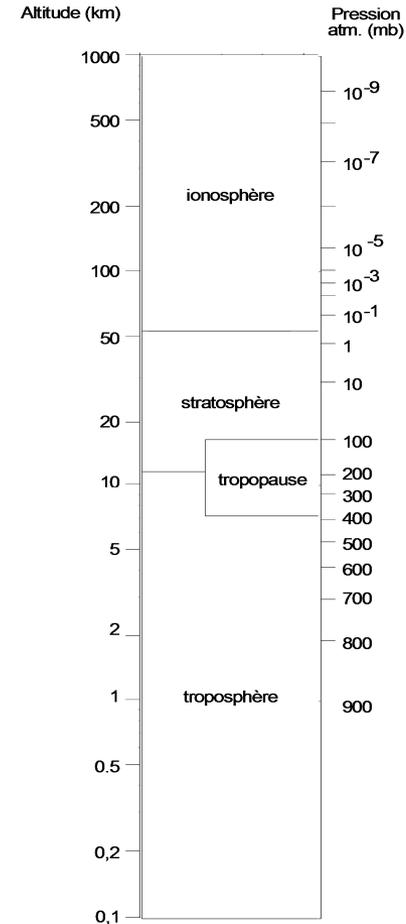
### III/ Lien entre données météorologiques et propagation

- 1) Analyse des résultats
- 2) Interprétation
- 3) Limites de la prévision

# I/ Propagation troposphérique

## 1) Les différentes couches de l'atmosphère

- Atmosphère = enveloppe gazeuse qui entoure la Terre
- Limite externe = distance où les molécules de gaz cessent de subir l'attraction terrestre et les interactions de son champ magnétique
- Epaisseur : varie
- Divisée en plusieurs couches :
  - - Troposphère -> vent, tempête, pluie -> azote et oxygène + vapeur d'eau et humidité
  - - Stratosphère
  - - Ionosphère



## 2) Comment se propage l'onde dans la troposphère

Troposphère -> air -> propriétés= T,P, humidité relative, point de rosée, indice de réfraction...

Propriétés qui ont un impact sur la propagation ?

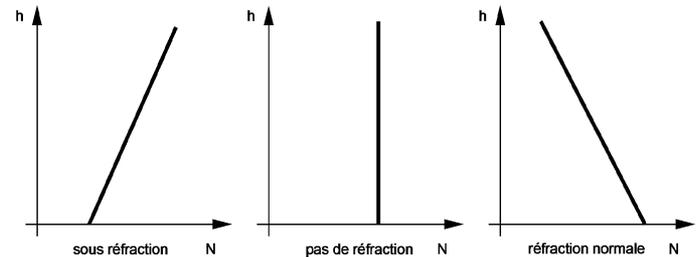
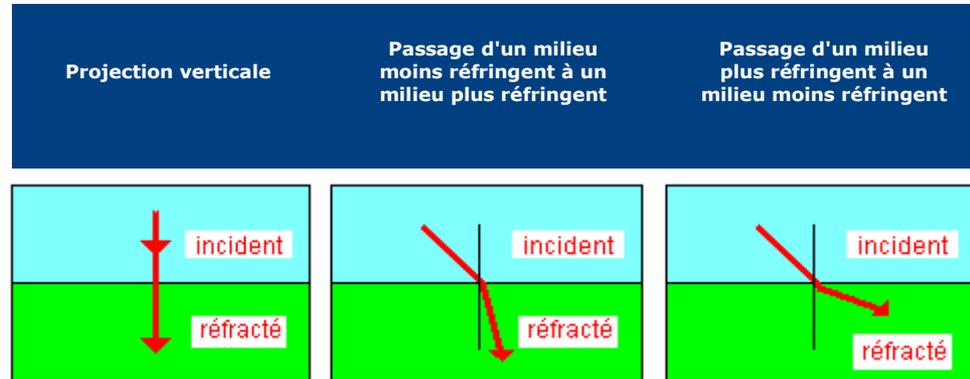
Air -> indice de réfraction =  $f(T, P, \text{vapeur d'eau de l'atmosphère})$

Ces paramètres ↘ avec la hauteur ->  $n$  ↘

Signal radio -> réfraction (lois d'optique)

Communiquer -> signaux retombent sur terre -> ondes VHF réfractés de proche en proche jusqu'à revenir sur Terre ->  $n$

Dans certains cas inversion de  $n$  ( $n$  ↗ avec  $h$ ) -> sous réfraction -> portée



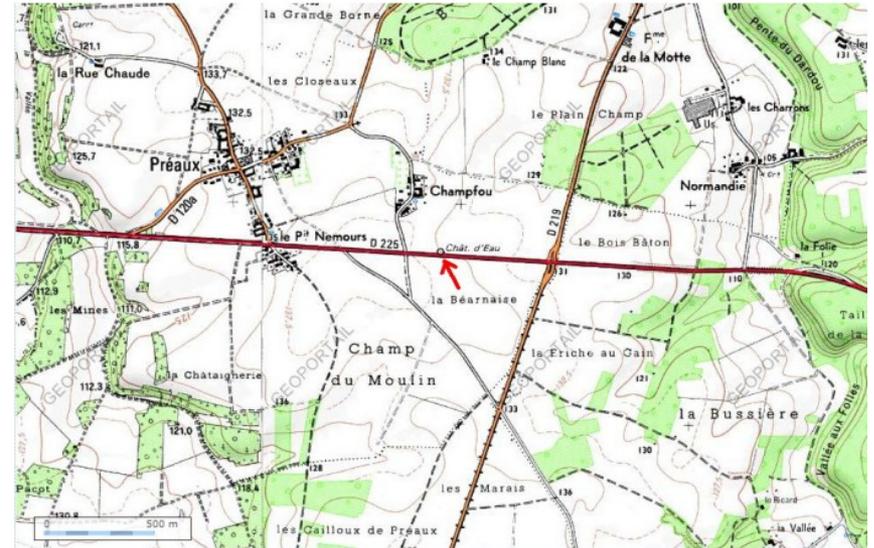
## II/ Description de l'expérience

- Expérience enregistrer un signal émis en continu et comparer le spectre avec de données météo
- corrélations entre conditions météo et puissance du signal ?

### 1) Présentation de la balise

Signal radio

- > balise VHF de fréquence 144 MHz
- > ville de Préaux
- > antenne Big wheel
- > 4 niveaux de puissance différents de 6dB



## 2) Chaîne de réception et traitement des données

Signaux reçus par antenne -> différencier les signaux

Récepteur -> sélectionner, parmi les nombreux signaux, le signal désiré

-> amplifier le signal pour permettre son traitement ultérieur

-> démoduler le signal pour récupérer la copie fidèle du signal original = signal modulant

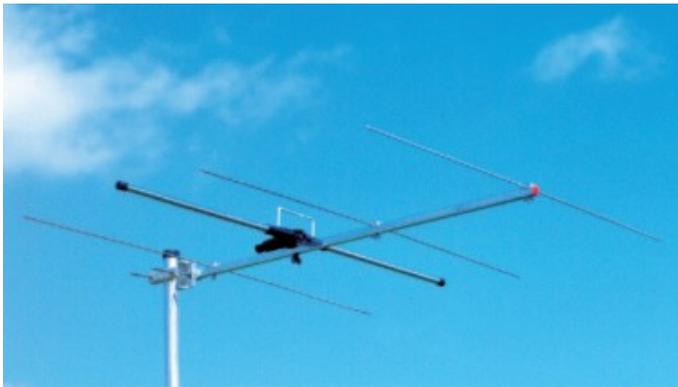
Données enregistrées = date, heure, valeur moyenne de la puissance en dBm (rapport de puissance en dB entre la puissance mesurée et un mW)

7 valeurs/sec -> 600.000 valeurs/jours

T= 1min40

1 valeur par période (10 sec après démarrage) -> 900 valeurs/jour

Graphique -> amélioration de la propagation =  $\nearrow$  puissance



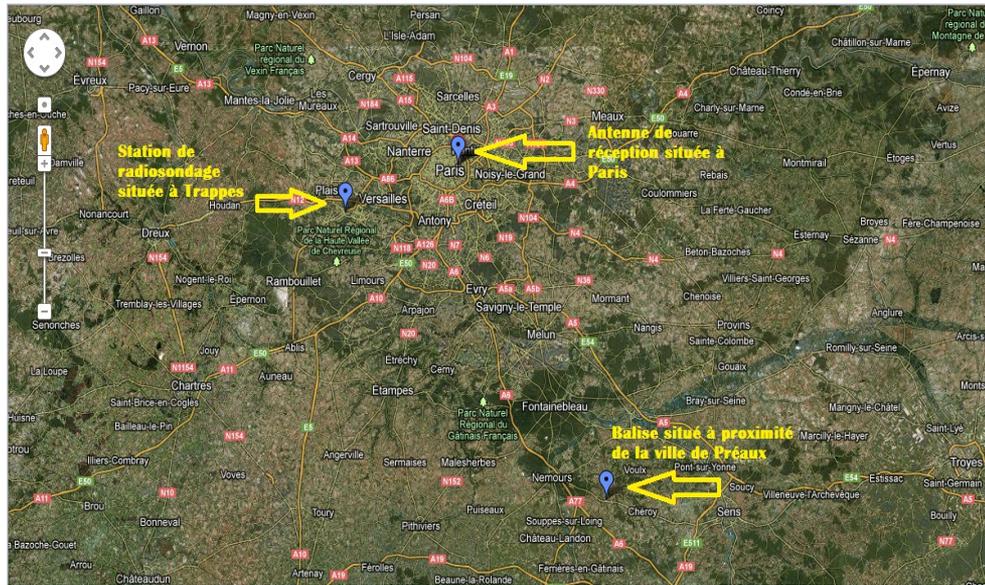
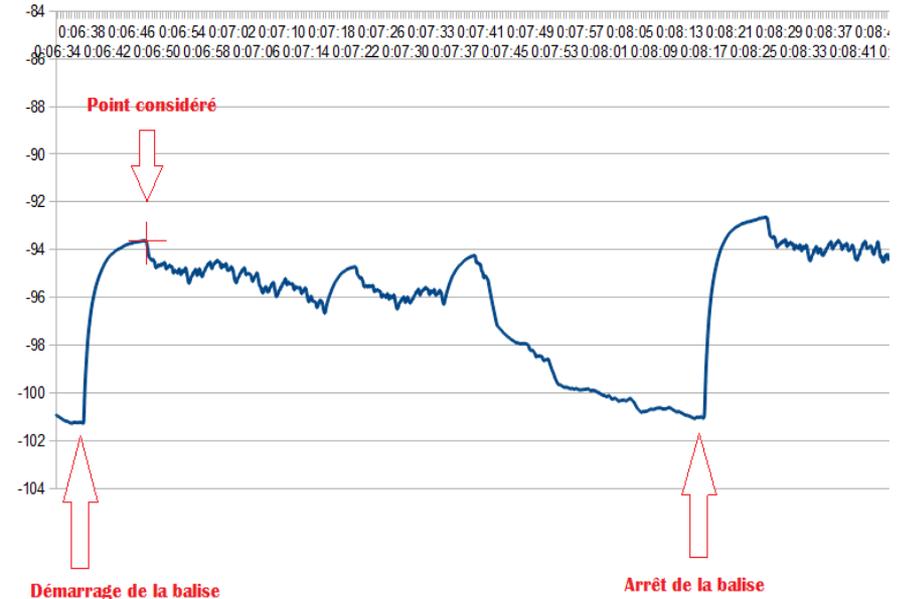
F6GOX - 2012

### 3) Données météorologiques

Données météo -> radiosondage à Trappes (2/jour)

#### 07145 Trappes Observations at 12Z 23 May 2012

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1003.0	168	20.4	15.8	75	11.38	310	4	293.3	325.9	295.3
1000.0	191	20.0	15.6	76	11.26	310	4	293.1	325.4	295.1
954.0	594	15.0	12.9	87	9.89	328	10	292.1	320.4	293.8
940.0	719	14.4	13.0	91	10.11	334	12	292.7	321.7	294.5
927.0	838	16.0	13.1	83	10.32	339	14	295.5	325.4	297.3
925.0	856	16.0	12.9	82	10.20	340	14	295.7	325.3	297.5
915.0	948	15.5	11.1	75	9.12	345	15	296.0	322.7	297.7
888.0	1202	14.0	6.0	59	6.64	347	13	297.1	316.8	298.2
850.0	1570	12.0	5.0	62	6.47	350	11	298.7	318.1	299.9



Données utilisées pour l'analyse de propagation = T, P et humidité en fonction de l'altitude

Phénomènes de propagation -> courbure anormalement élevée de l'onde -> gradient d'indice de réfraction + important

Principe de l'analyse = calculer et étudier variation de l'indice (= f(T,P, humidité, ))

$$\text{Co-indice } N = (n-1) \cdot 10^6$$

Loi empirique (Smith et Weintraub) ->

$$N = 77,6 (P/T) + (3,73 \cdot 10^5)(e.f)/(T^2) = N_s + N_h$$

T: Température en Kelvin

P: Pression en hPa

f : l'humidité relative en %

e: la pression de vapeur d'eau saturante

Formule de Magnus ->

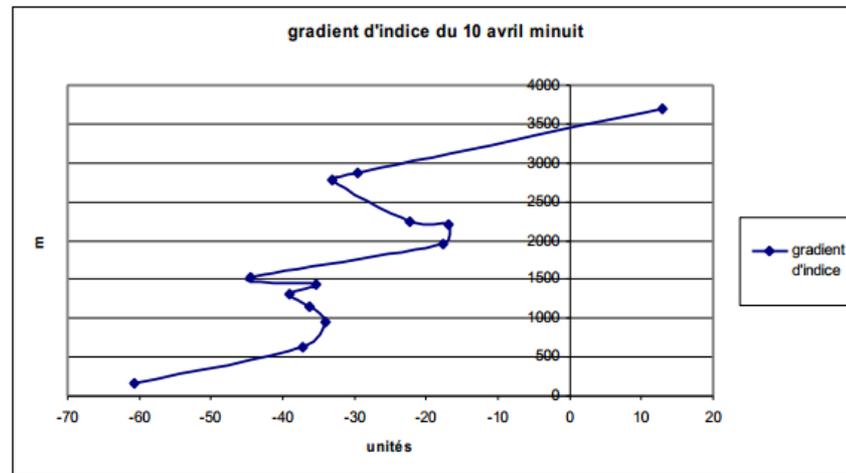
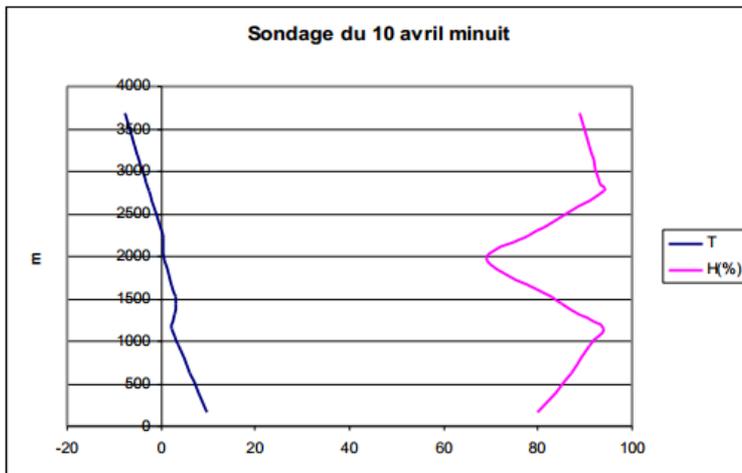
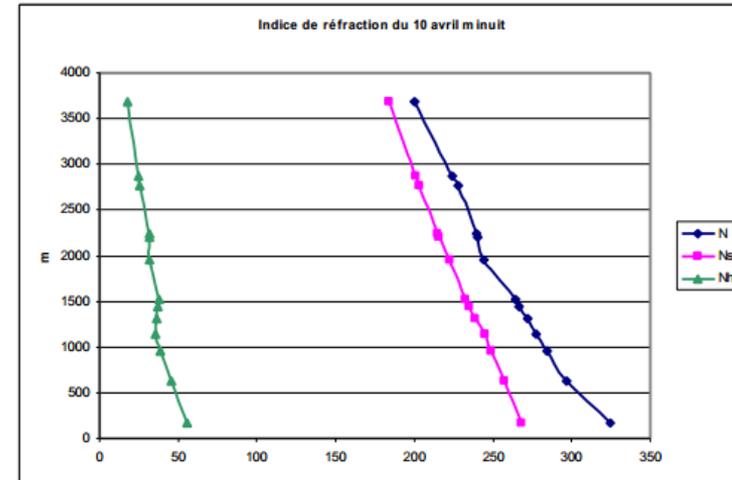
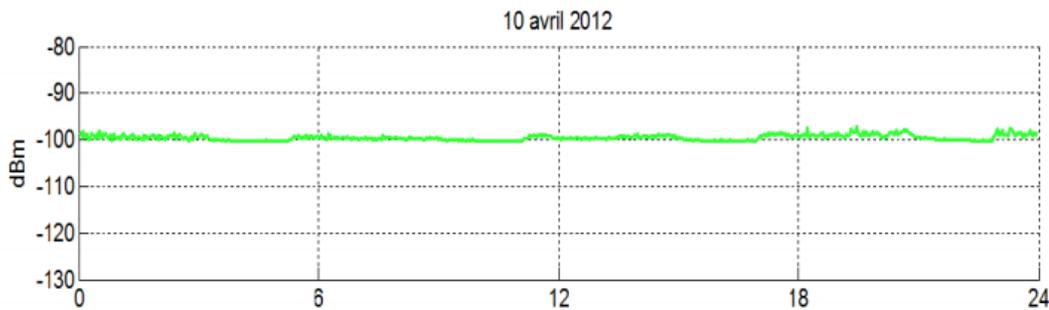
$$e = 6,10 \cdot 10^4 \left( \frac{7,448T}{273,7+T} \right)$$

Graphique du gradient d'indice, de T, de l'humidité, de N, N<sub>s</sub> et N<sub>h</sub> en fonction de l'altitude

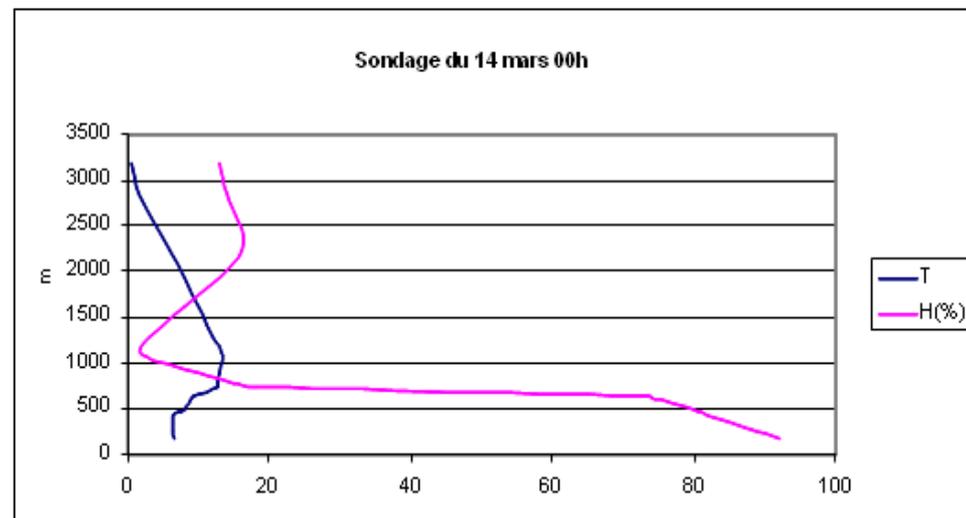
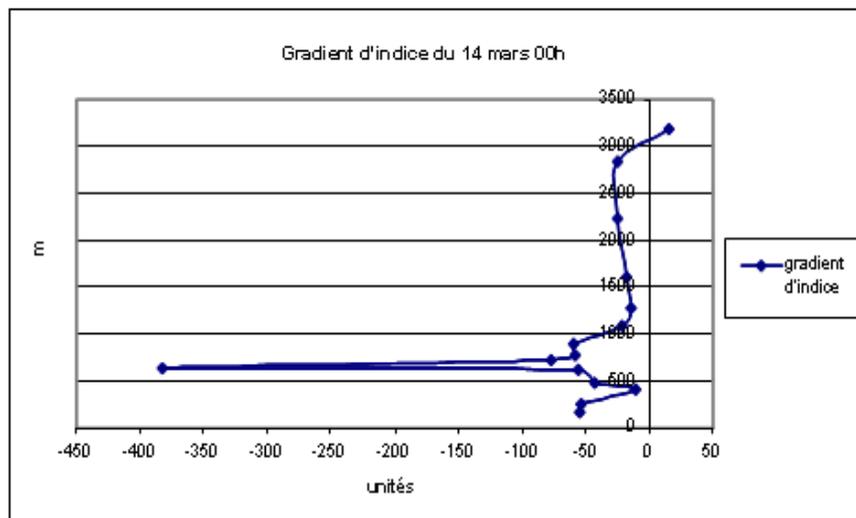
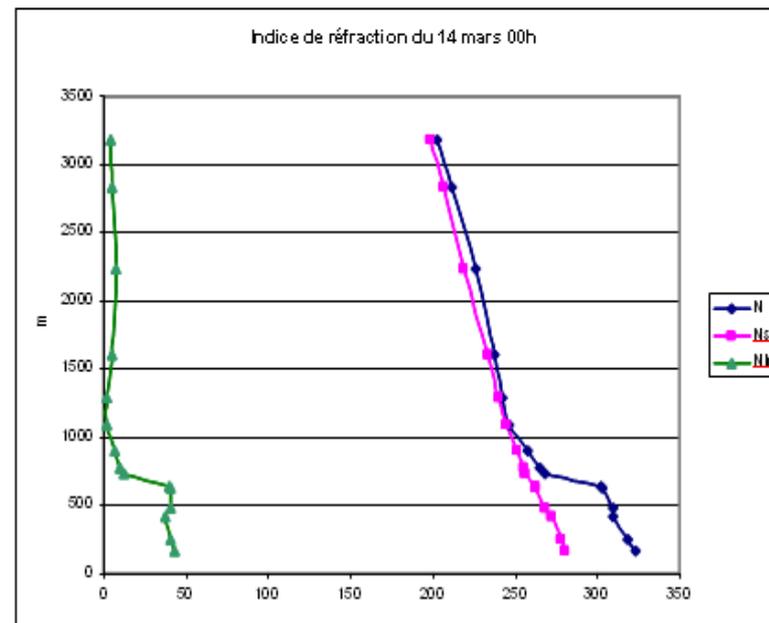
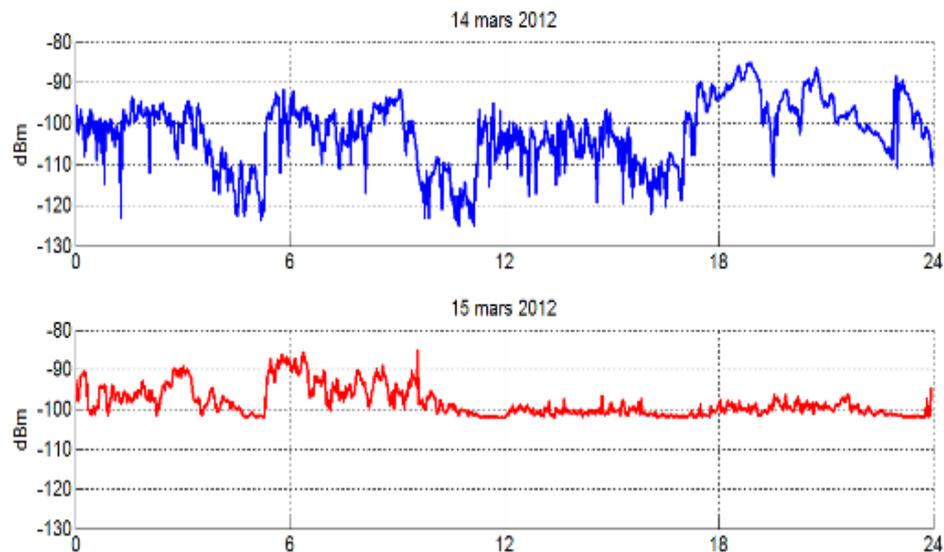
# III/ Lien entre données météorologiques et propagation

## 1) Analyse des résultats

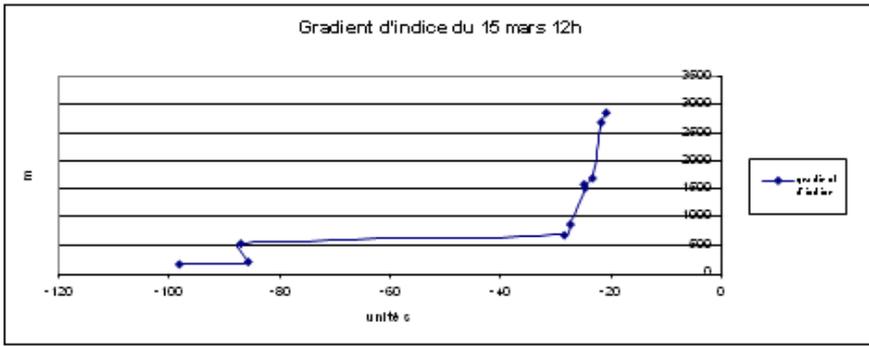
a) Journée « normale »: (10 avril) -> météo du 10 avril minuit



b) Amélioration troposphérique: (14 et 15 mars) -> météo du 14 mars minuit et 15 mars midi



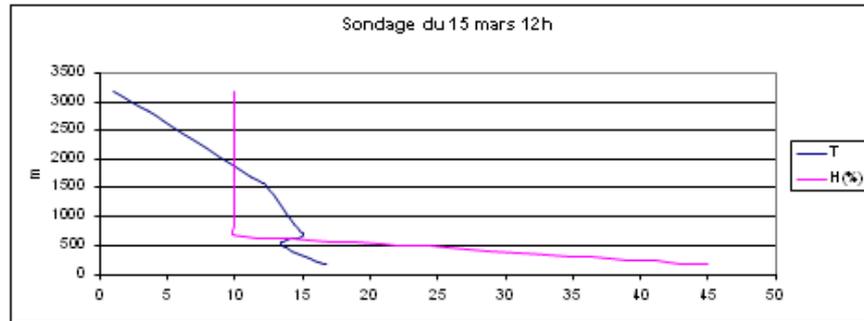
Gradient d'indice du 15 mars 12h



Indice de réfraction du 15 mars 12h



Sondage du 15 mars 12h

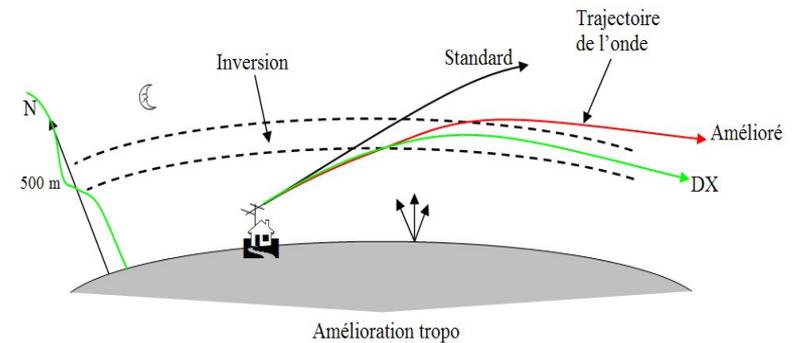


## 2) Interprétation

Variation de  $n$  (gradient d'indice)  $\rightarrow$  réfraction de l'onde  $\rightarrow$  courbure du chemin de l'onde

$\rightarrow$  superposition des différentes masses d'air de T et H différents

Gradient élevé  $\rightarrow$  distance élevé



T et H = paramètres importants

Masse d'air chaude et sèche au dessus masse d'air froide et humide -> meilleures conditions de variation de n

-> variation brutale de n -> ↘ très rapide de H% et/ou inversion brutale de T  
=> couche d'inversion

4 cas d'inversion:

- inversion de subsidence: haute pression -> air froid (lourd) descend vers le sol remplacé plus haut par de l'air chaud
- inversion d'advection: (advection = déplacement horizontal) air chaud et humide (océan) arrive sur sol froid et se refroidit à sa base -> inversion
- Inversion de rayonnement: refroidissement sol et basses couches plus rapides que haute couche
- Inversion liée à un passage de front: masse d'air chaud légère et humide poussé par une masse froide et dense -> air chaud plus léger passe au dessus de l'air froid

### **3) Limites de la prévision**

Certains jours conditions météo favorables -> pas d'amélioration de propagation

Perturbations du signal :

- atténuation due à des réflexions ( sol, mur, façade d'immeuble, aéronef...)
- diffraction lorsqu'une onde rencontre une arête (colline, immeuble, végétation, toits, coins de bâtiments, structures routières...) dont dimensions grandes devant longueur d'onde

Environnement de propagation -> fluctuant : passage de véhicules et de personnes, vent dans les arbres

-> fluctuation des trajets radioélectriques et variations rapides du signal observé.

