

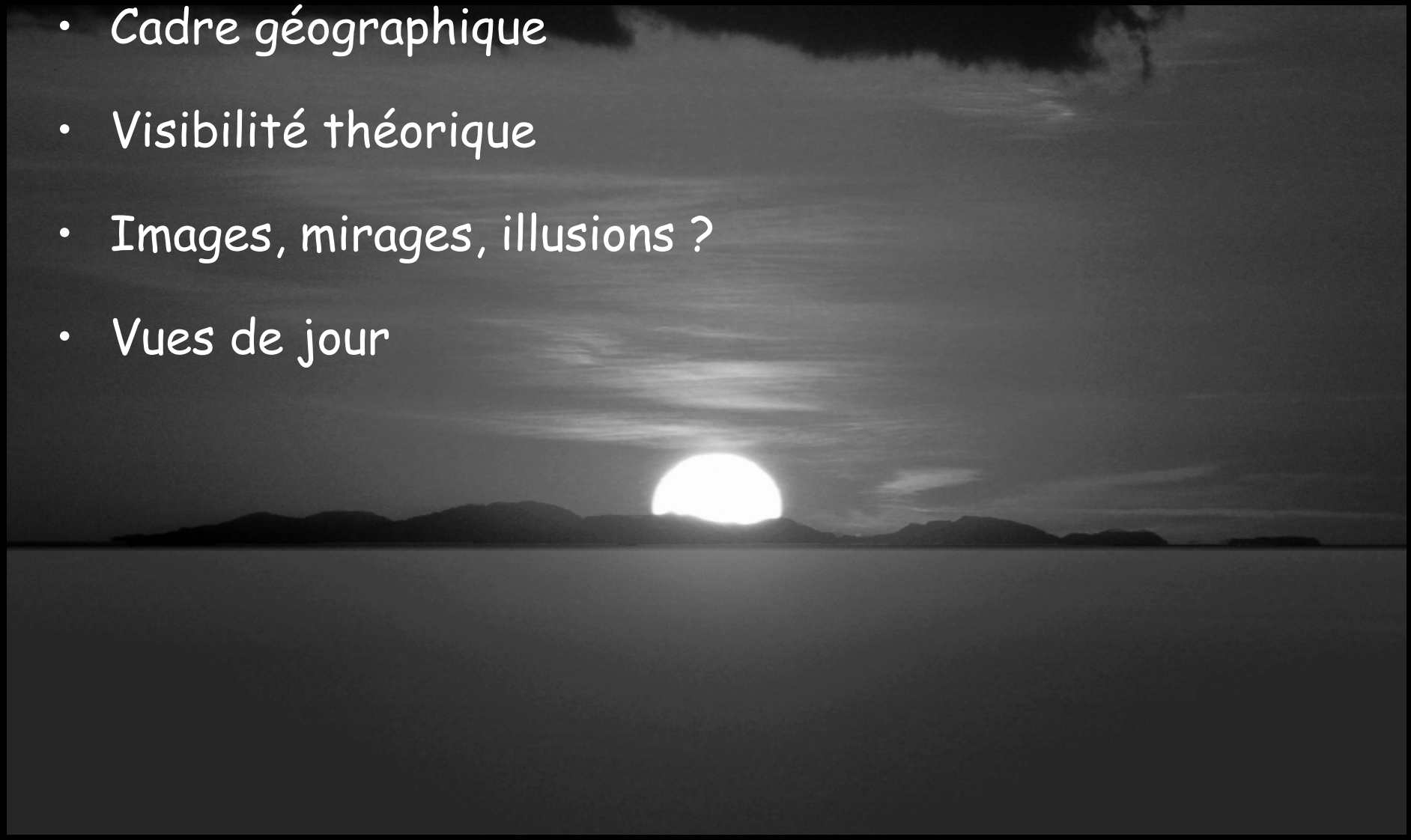
Visibilité de la Corse

Image ou mirage ?

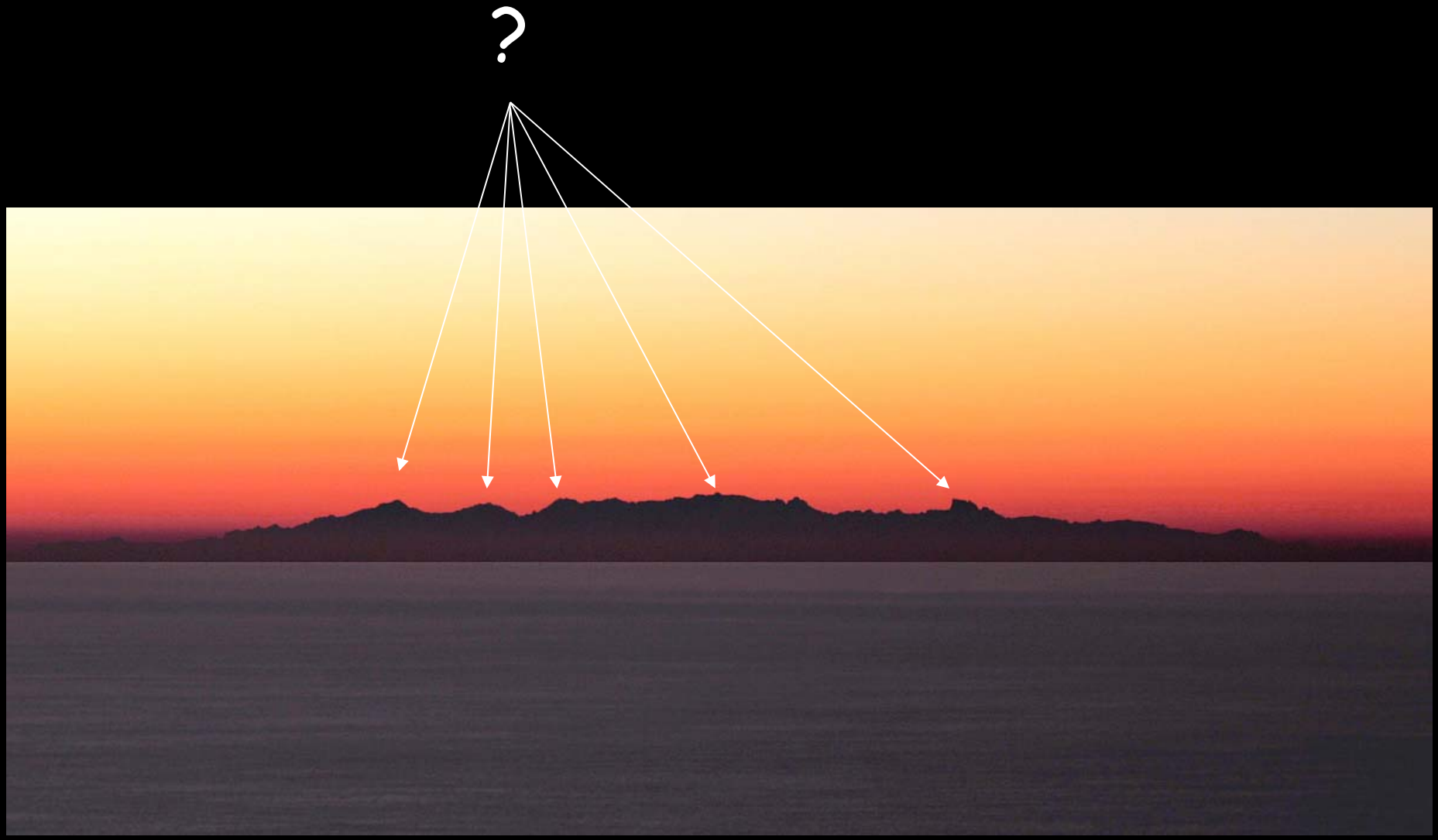
F. Mignard
UNS/CNRS
Observatoire de la Côte d'Azur

Sommaire

- Visible ou pas Visible
- Cadre géographique
- Visibilité théorique
- Images, mirages, illusions ?
- Vues de jour

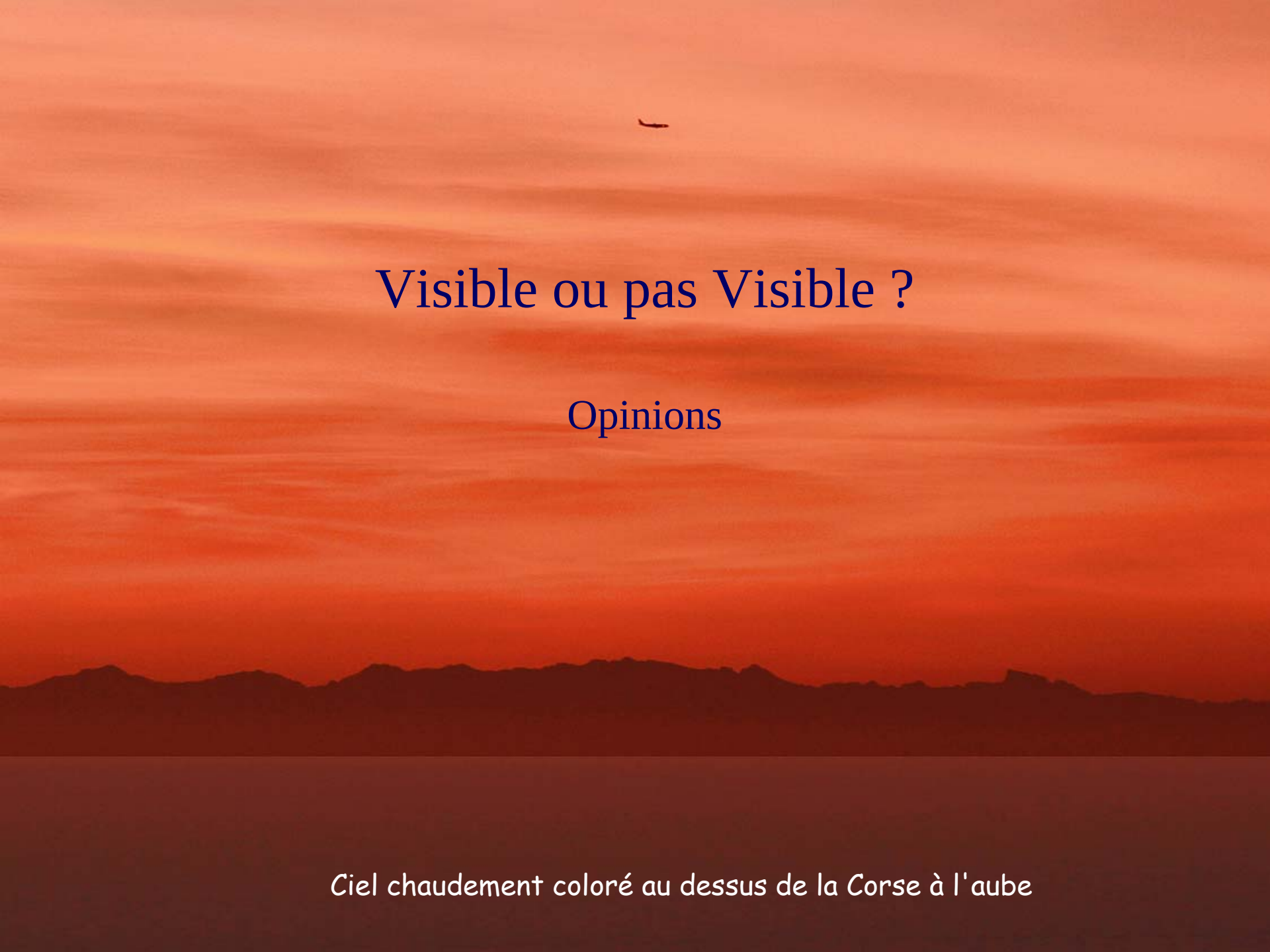


Quels sommets ?



Visible ou pas Visible ?

Opinions



Ciel chaudement coloré au dessus de la Corse à l'aube

Lu et entendu (*sic*)

- Sur des forums (copié-collé):
  - C'est serait du parait il à un phénomène de diffraction qui permet à l'image de contourner la courbure de la terre, phénomène qui est encore accentué si l'air est plus chaud que la mer donc en hiver.
  - … on peut voir la Corse sans être sur les hauteurs , vu que je la voie, mais aussi, on ne voit pas la Corse elle même, mais son mirage!
  - Le phénomène est en réalité plus complexe car on ne voit pas le territoire lui-même mais une projection de son image par le phénomène physique de réfraction de la Lumière du soleil sur la surface de la Mediterranee.
  - Ce n'est qu'un reflet, donc dire qu'on la voit est une erreur !
  - J'ai aussi entendu dire qu'on ne pouvait pas voir a plus 5 ou 10 km sinon la courbure de la terre nous empêche de voir. Donc comment expliquer vous qu'on puisse voir a 160 km?
  - Hum, a mon avis, on ne peut pas voir la Corse du continent... C'était soit un mirage (très fréquent) soit le rosé du BBQ qui produisait son effet, soit le chichon …
  - D'après certains documents que j'ai pu examiner, il semblerait que la courbure terrestre ne cacherait pas entièrement la Corse pour un observateur niçois.
  - Mirage ou pas, on ne voit pas les sommets parce que l'air avec son indice de réfraction variable, courbe la trajectoire des photons et la dévie vers le haut ; dans quelques cas rares quand la température décroît avec l'altitude, la courbure de cette trajectoire s'inverse et la Corse est visible

Lu et entendu (*sic*)

- Toutefois, la nature même de cette apparition reste vague, voir contestée. La courbure de la terre autorise-t-elle une vue directe de l'île-de-beauté ? Est-ce un mirage lié à un effet de réfraction dans les couches basses de l'atmosphère ? Sagit-il simplement de nuages ?

- Ce pourquoi on voit la corse le matin n'est pas à cause de la réfraction mais bien à cause de la réflexion... Le matin la température de l'eau n'a pas beaucoup baissé alors que celle de la couche d'air au dessus de l'eau oui du coup la lumière se retrouve guidée entre les deux couches de température (ce qui change l'indice de réfraction) un peux comme dans une fibre optique..

- ... c'est beau, mais on ne voit pas vraiment la Corse, c'est virtuel. ... Ce que l'on voit n'est pas à la bonne place, elle est au milieu de la distance de la Corse .. elle est rapprochée par l'air ???

- ... Lorsque j'étais pilote privé, mon instructeur m'a affirmé qu'après de multiples discussions sur ce sujet, un jour ils ont décollé de Mandelieu avec les sommets de la Corse en vue, et en continuant à se guider sur cette vision, c'était bien la Corse et non un reflet comme pensaient certains...

- Oui nous pouvons voir loin, mais lorsque l'on regarde l'horizon, on ne voit plus la mer ou la terre! Il y a une formule pour ca! d=racine carré(h+H) h etant la hauteur de l'observateur et H la hauteur de l'objet observé! Je suis marin et nous nous servons de ce fait pour savoir a partir de quand on peut voir un phare!!

- la trajectoire de la lumière va alors se courber, c'est ce qui explique qu'il arrive que la lumière émise par la corse puisse arriver jusqu'à Nice, malgré la rotondité de la Terre...

- un ptit tour sur la Grande Corniche aux aurores avec un ciel clair, il y a pas mal de chances d'apercevoir quelque chose à l'horizon. Maintenant est-ce les montagnes de la Corse ou leur "mirage", je pars faire un ptit Master de Physique et je vous dis ça !

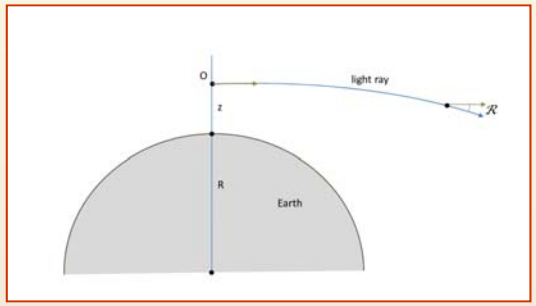
Conclusions provisoires

- Phénomène intriguant sans aucun doute
  - Il ne s'agit pas de nuages mais bien de la Corse. La constance du profil de l'île sur toutes les photographies le suggère
- Quelques vieux souvenirs terminologiques des cours de physique surnagent ..
  - diffraction, réfraction, réflexion, mirages se mélangent allègrement
  - la forme de la Terre 'courbe' semble jouer un rôle important (et c'est exact)
  - C'est moins clair pour la courbure des rayons lumineux
  - la température de l'air et sa variation avec l'altitude sont souvent invoquées
  - il y a des choses qui s'inversent dans cette affaire
- On voit quelque chose, mais comment le décrire avec précision
  - qu'est ce qu'une image isolée au milieu de la mer ?
  - Cela semble bien différent de la vision d'un sommet au milieu d'une crête

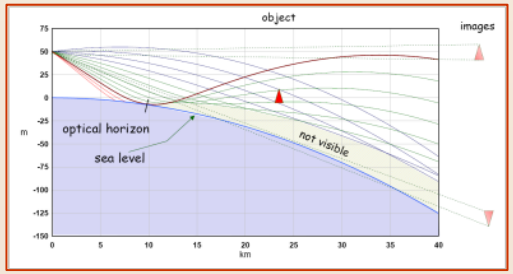
Ce qui est vraiment important

- Très important : 90% du phénomène
  - Altitude de l'Observateur
  - Distance à la Corse
  - Courbure de la Terre
  - Transparence de l'air

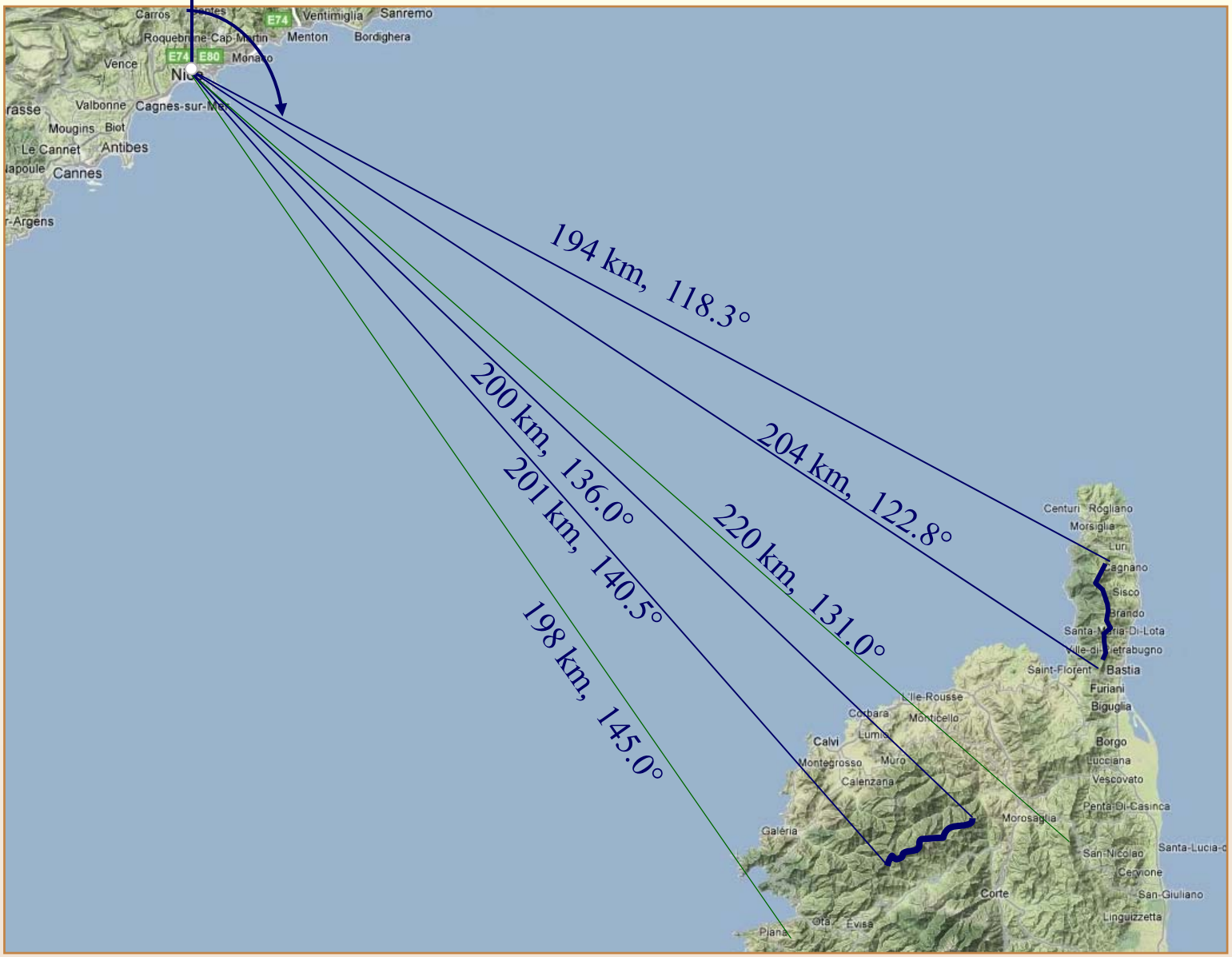
- Contribution secondaire
  - Courbure des rayons lumineux
    - techniquement = réfraction des rayons lumineux



- Totalement marginal, mais spectaculaire
  - les effets de mirages
  - assez difficile à modéliser proprement

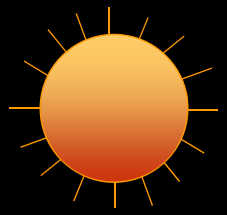


Que voir et où regarder ?



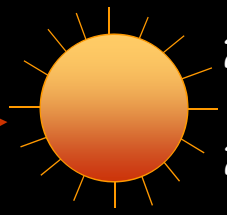
A quelle(s) saison(s) ?

lever du soleil



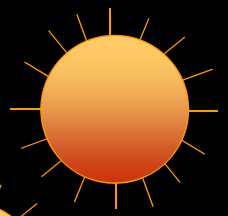
21/06 été ~ 5h45



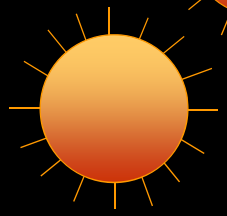


20/03 printemps ~ 6h30

22/09 automne ~ 7h15



31/01 7h45



21/12 hiver ~ 8h

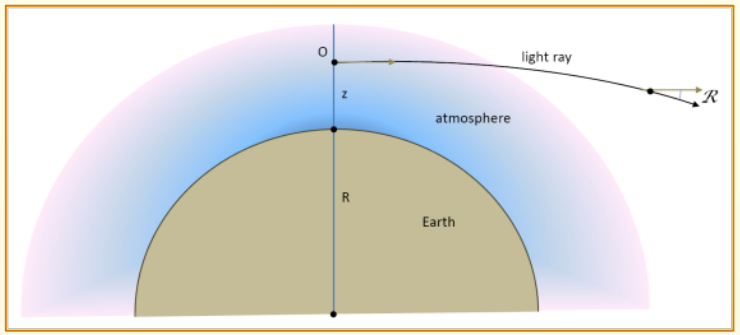
Un peu de théorie

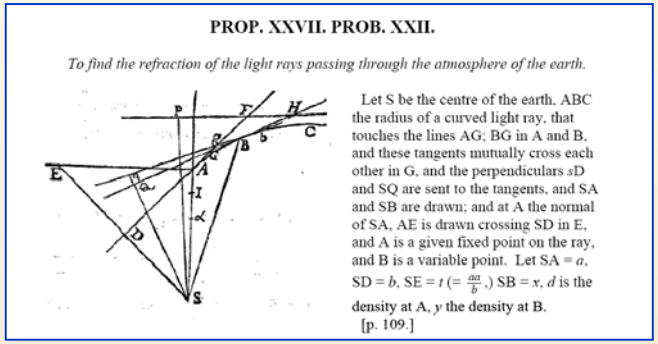


le Cap Corse depuis la Grande Corniche, 1 mn avant le lever du Soleil

Questions essentielles

- Horizon
  - définition
  - distance en fonction de l'altitude
  - direction par rapport à l'horizontal
- Courbure des rayons lumineux
  - comment calculer l'effet
  - impact sur les distances de visibilité

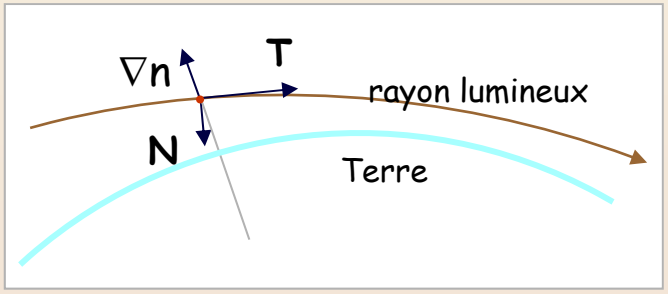




PROP. XXVII. PROB. XXII.

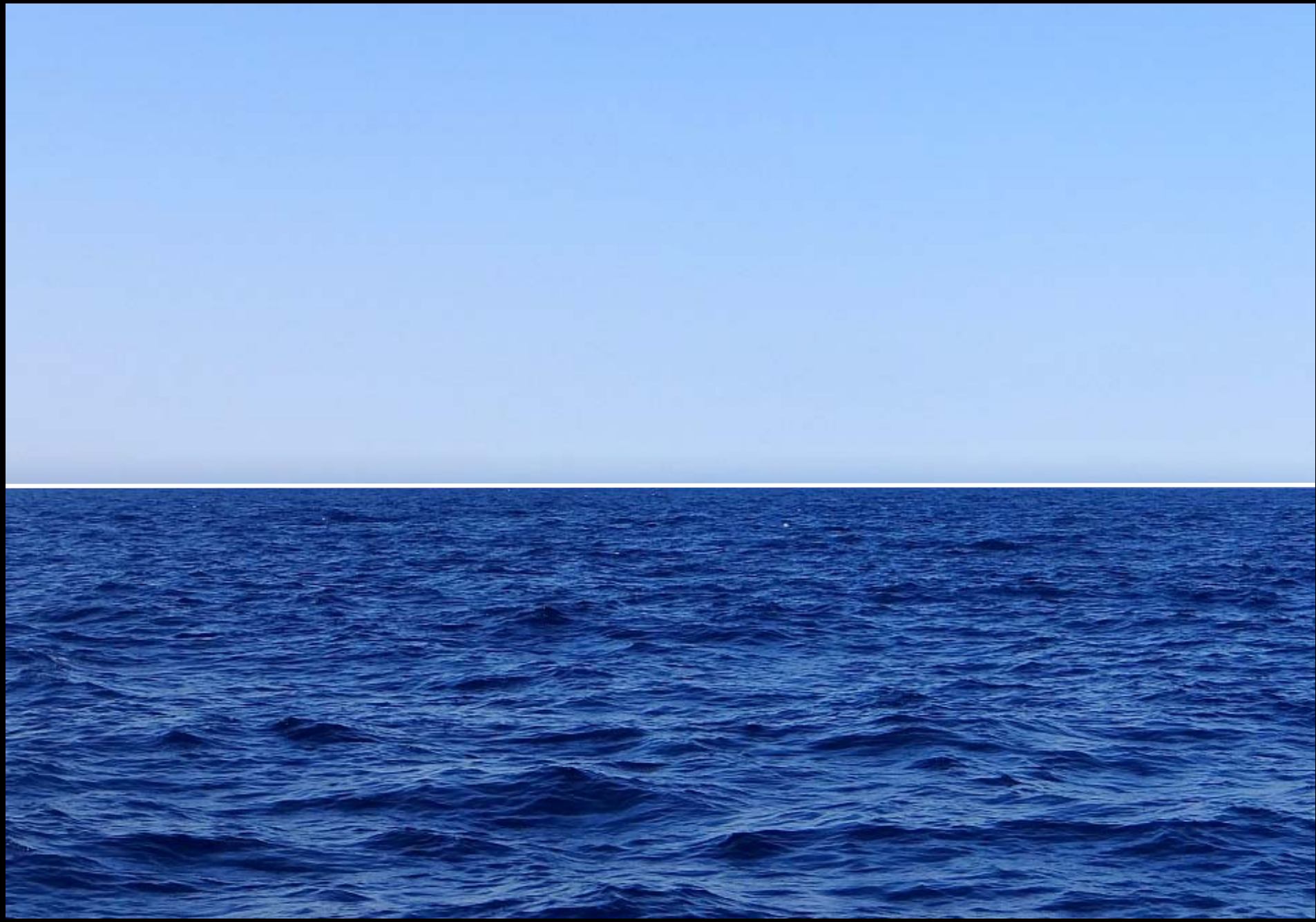
To find the refraction of the light rays passing through the atmosphere of the earth.

Let S be the centre of the earth, ABC the radius of a curved light ray, that touches the lines AG; BG in A and B, and these tangents mutually cross each other in G, and the perpendiculars *s*D and SQ are sent to the tangents, and SA and SB are drawn; and at A the normal of SA, AE is drawn crossing SD in E, and A is a given fixed point on the ray, and B is a variable point. Let SA = *a*, SD = *b*, SE = *t* (= $\frac{aa}{b}$,) SB = *x*, *d* is the density at A, *y* the density at B. [p. 109.]





Horizon optique sur la mer



Horizon optique au lever du Soleil



Plan horizontal et Horizon

- Plan horizontal ➔ surface d'un liquide au repos
  - plan perpendiculaire à la verticale
  - direction horizontale réalisée par le niveau à bulle
  - ce plan est défini par la gravité, donc lié à la géométrie
- Horizon ou ligne d'horizon : ligne où le ciel et la mer se rencontrent
  - il s'agit d'une ligne et non d'un plan ou une surface
  - cette ligne est définie par des rayons lumineux, donc concept lié à l'optique
  - la direction allant de l'observateur à l'horizon n'est pas (en général) horizontale
  - l'horizon se situe à une certaine distance de l'observateur
  - le plan horizontal n'est pas borné



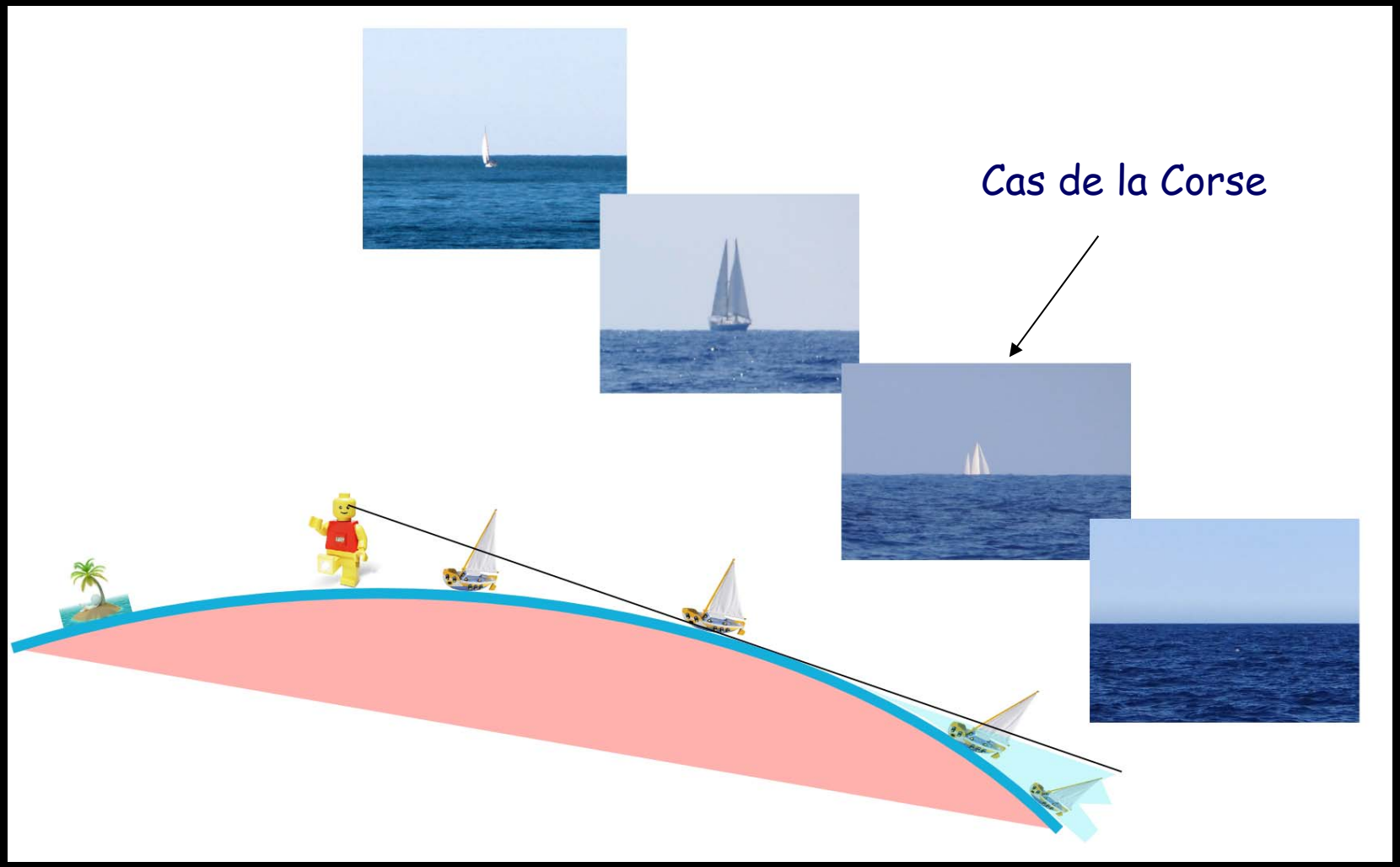


- La distance de l'horizon dépend de l'altitude de l'observateur
  - distance impossible à évaluer sans repères





Voir au-delà de l'horizon



Horizon : effet de l'altitude

- Deux images prises à 2m et 10m au dessus du niveau de l'eau
  - décalage dans le temps de ~ 10 s (~ pas de mouvement du bateau)



h = 10 m

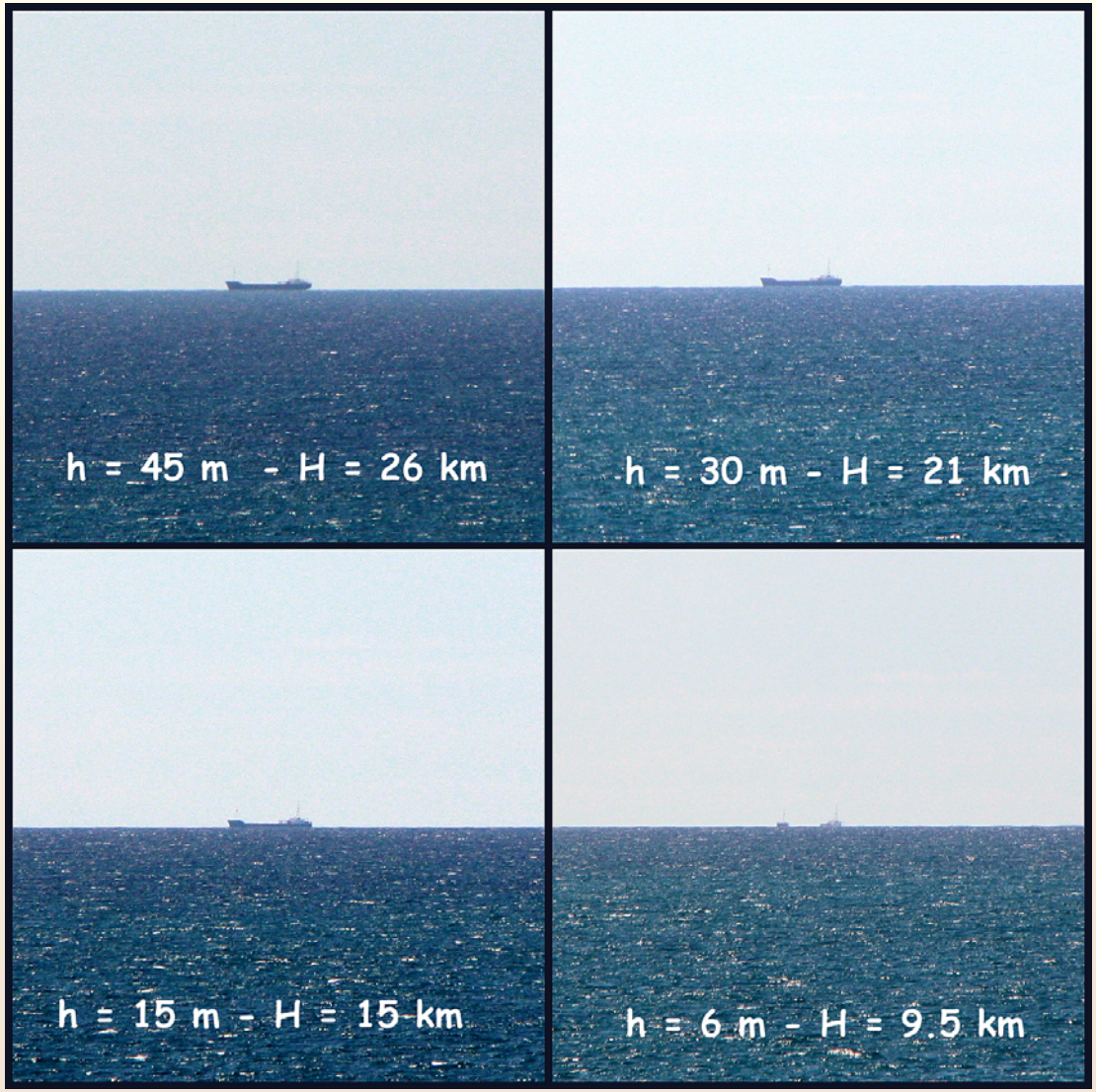
$D_{horizon}$ = 13.5 km

(horizon ~ 5.5 km)

Horizon : effet de l'altitude

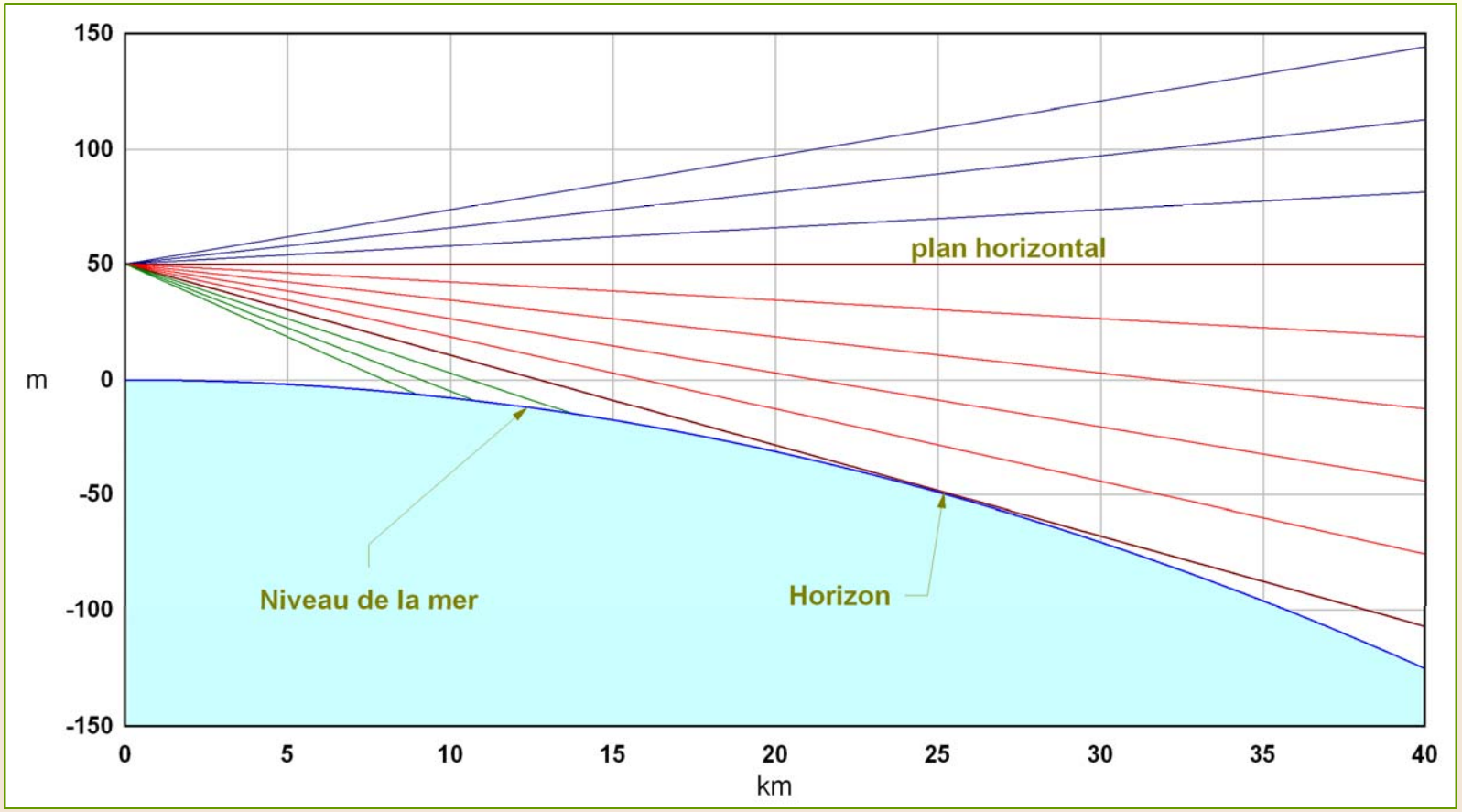
- Images prises à différentes altitudes
  - décalage dans le temps de ~ 2 mn
  - pas de mouvement du bateau

- Le navire disparait derrière l'horizon optique
  - pus exactement : l'horizon optique de l'observateur passe progressivement devant le navire
  - C'est l'horizon qui change de distance, pas le navire



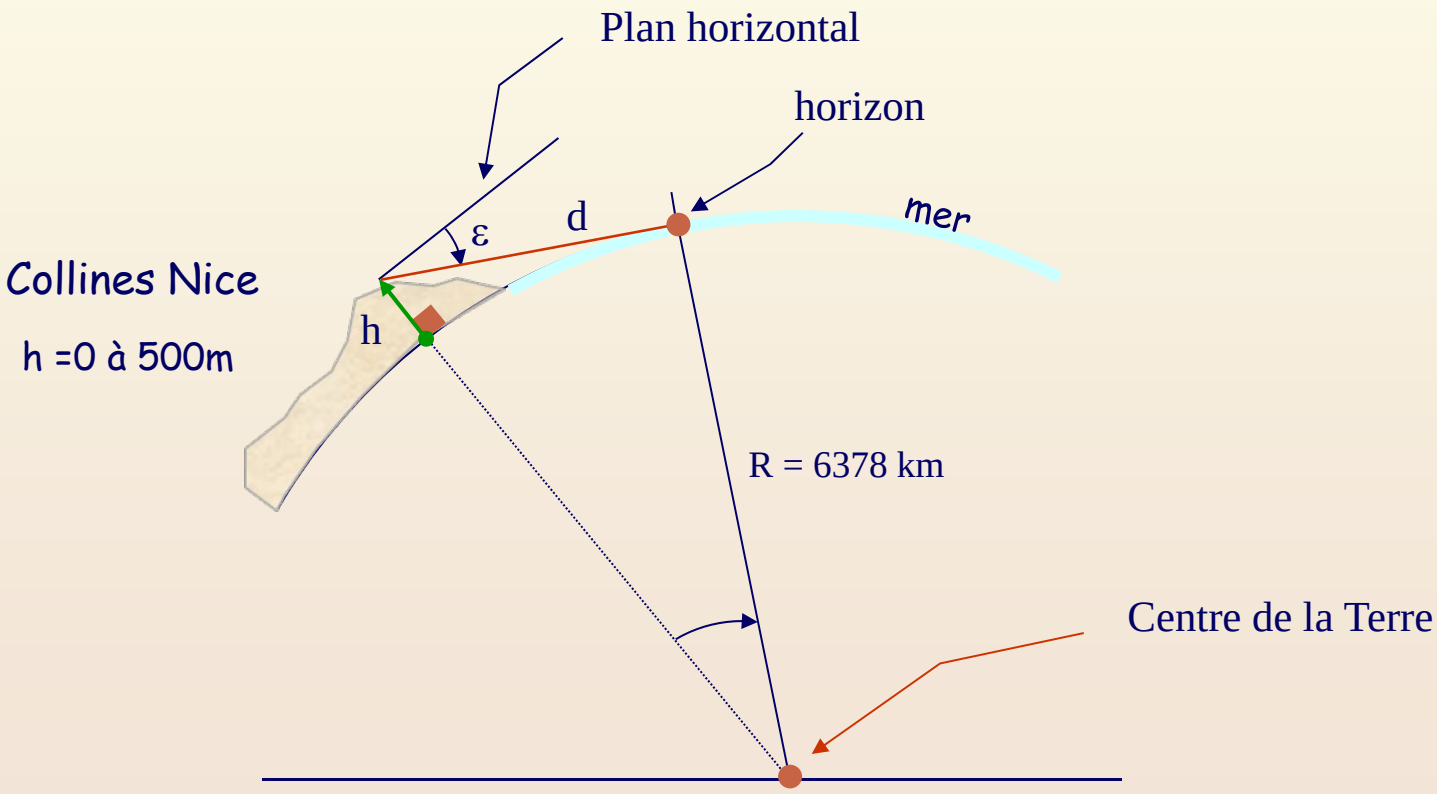
Horizon et rayons lumineux

- Observateur à 50 m d'altitude
- Examen des rayons lumineux dans différentes directions



Distance de l'horizon

- On se place à une altitude h au dessus de la mer
- On voit la ligne d'horizon
  - questions
    - à quelle distance d se trouve-t-elle ?
    - quel angle ε sous le plan horizontal ?

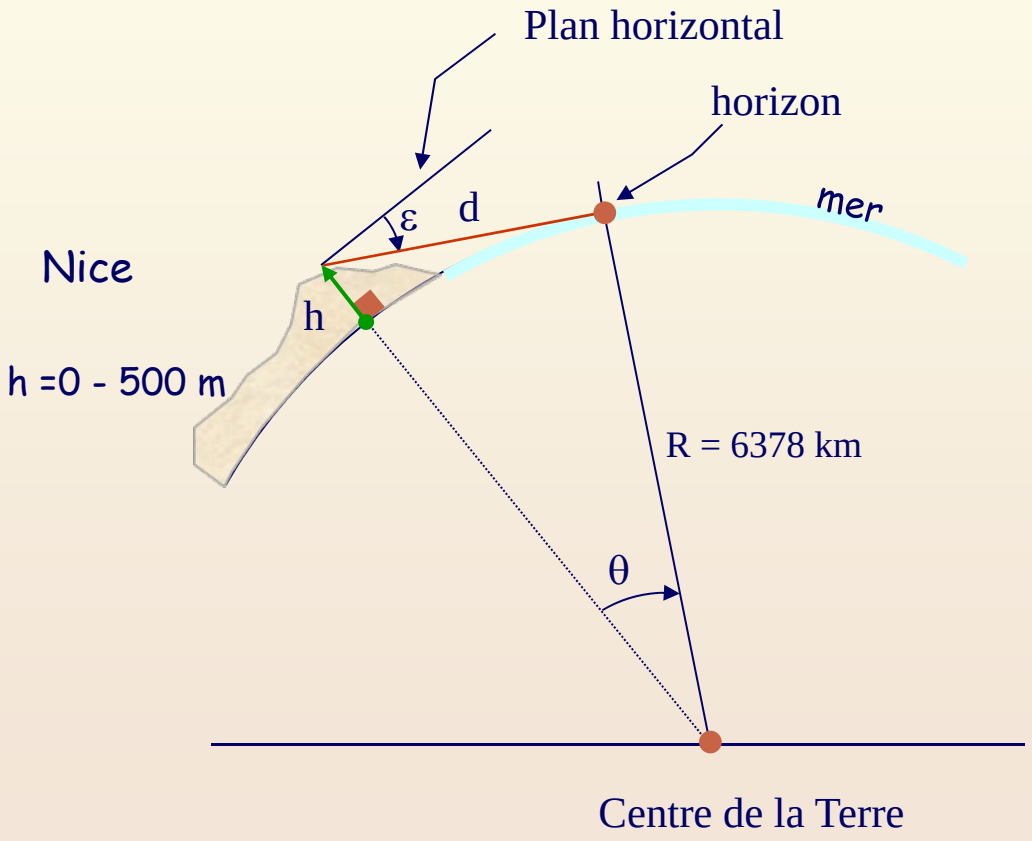


Calcul de la distance de l'horizon

- On suit le premier rayon lumineux qui rencontre la mer
- Hypothèse faite ici : les rayons lumineux sont des droites
  - géométrie du triangle pour calculer la distance d et l'angle ε en fonction de la hauteur h

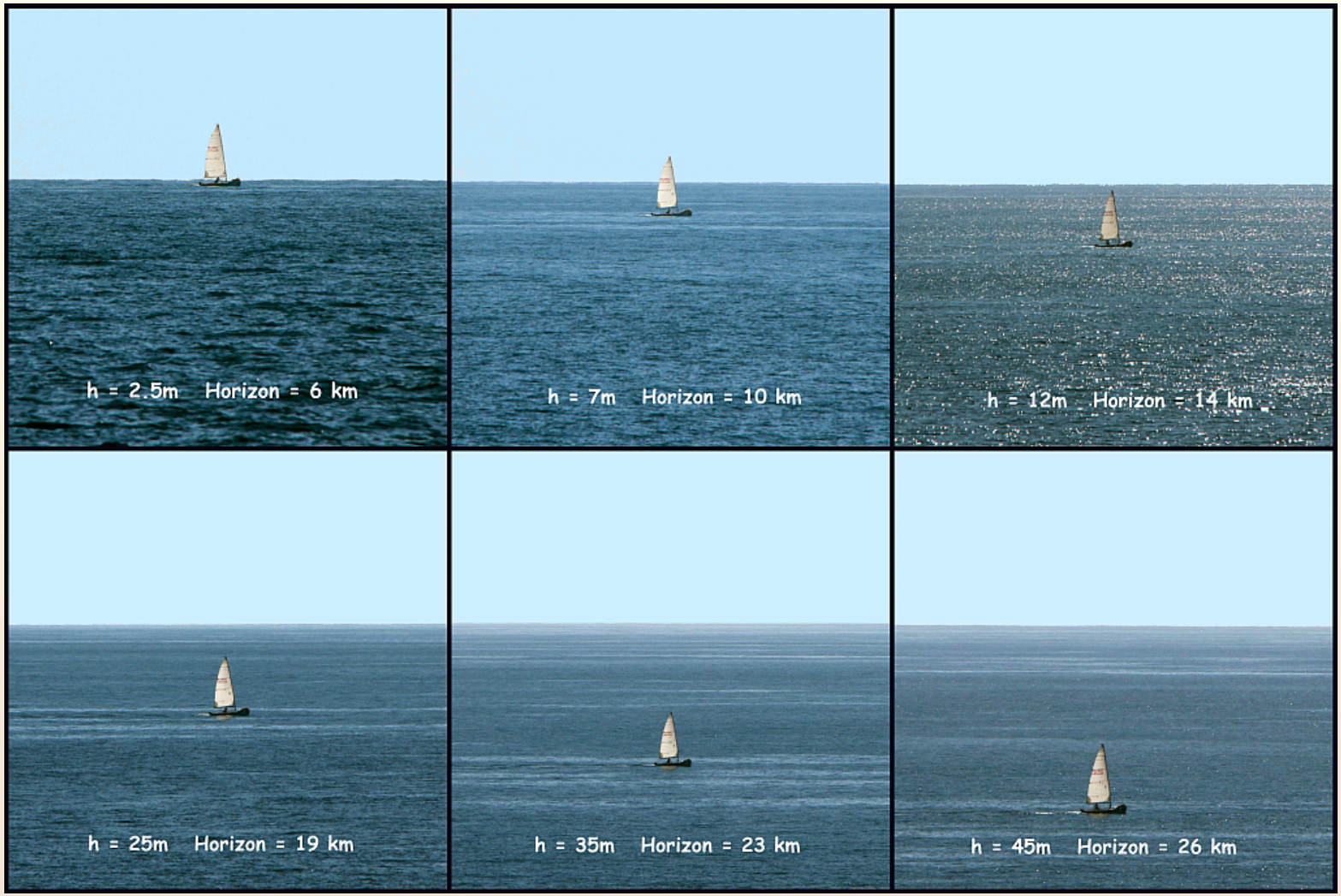
$$d = \sqrt{2Rh} \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

h (m)	d (km)	ε (')
0	0	0
2	5	2.7
5	8	4.3
10	11	6
50	25	14
100	36	19
250	56	30
500	80	43



d : Encore des bateaux …

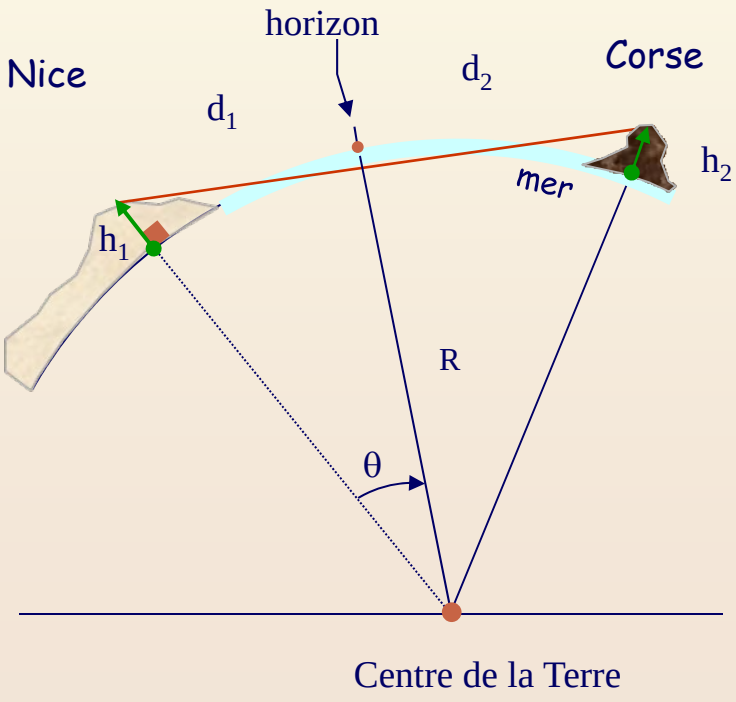
- Séquence d'images à différents altitudes
  - durée totale ~ 2 mn



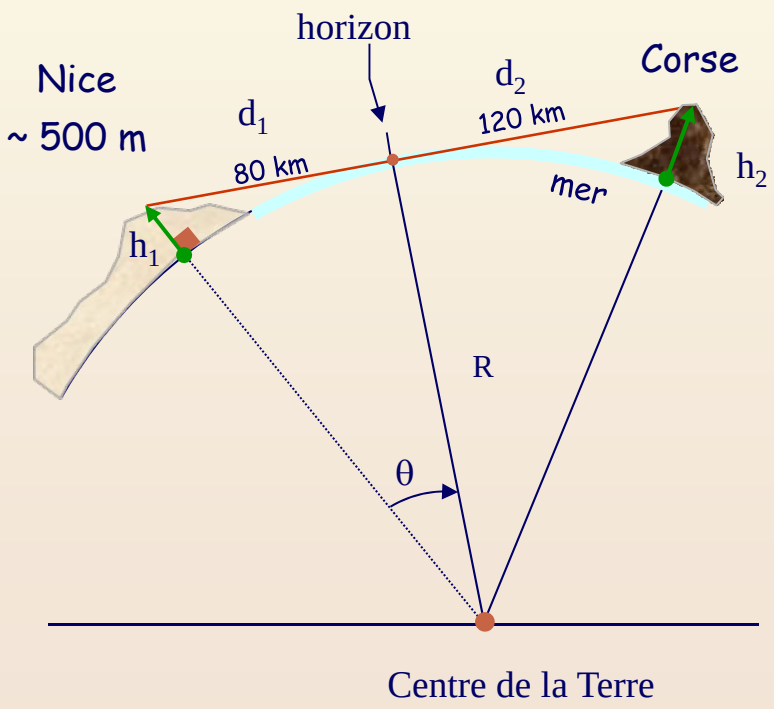
Visibilité des montagnes Corses

- Il faut que la montagne émerge au dessus de l'horizon
  - Elle doit donc dépasser une hauteur minimum
- Le rayon lumineux doit rester au-dessus de la mer

Montagne trop basse
rayon sous la mer



Montagne minimum
le rayon rase la mer



Visibilité des montagnes Corses

- Comment calculer la hauteur minimum ?
  - la distance est donnée (~ 200 km)
  - du sommet de la montagne on doit voir l'horizon de l'observateur
- Altitude en Corse telle que $d_1 + d_2 = 200$ km
  - Ce n'est plus un calcul direct, mais la solution d'une équation

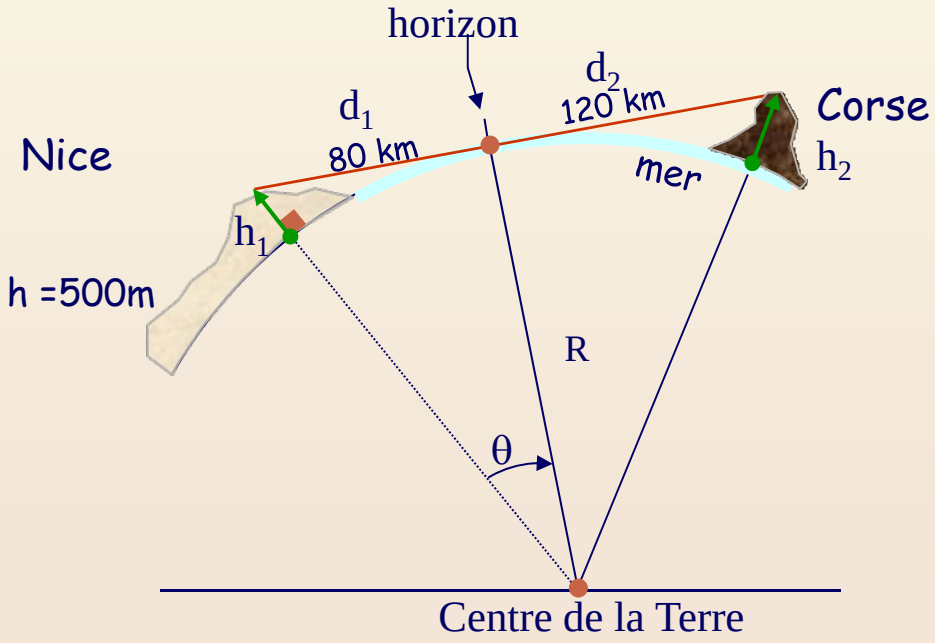
$d = 200\,\mathrm{km}$

$$D < \sqrt{2Rh_1} + \sqrt{2Rh_2}$$

h_1 (m) observateur	h_2 (m) Corse
0	3100
2	3000
5	2900
10	2800
50	2400
100	2100
250	1600
500	1130

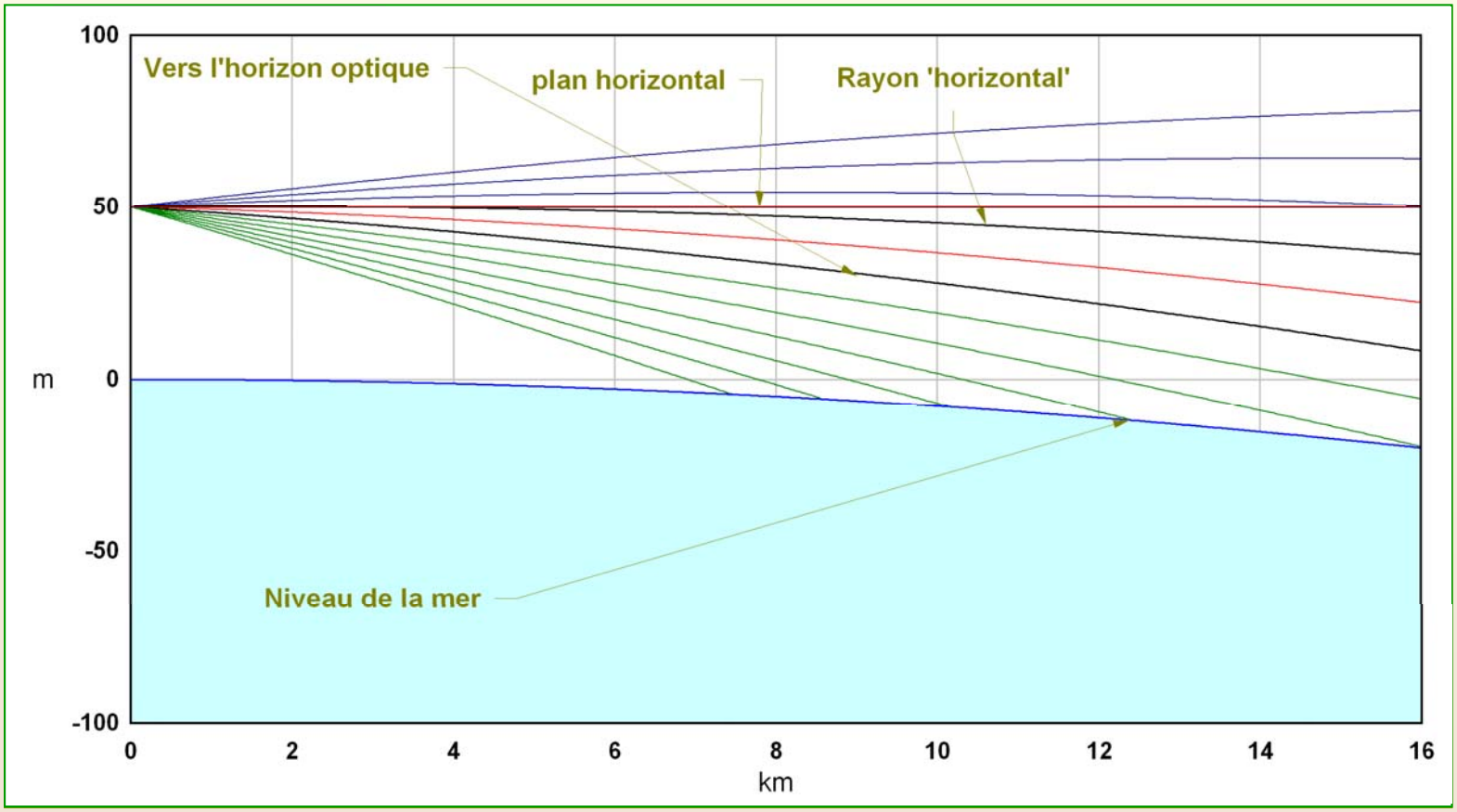
rayons rectilignes

Cinto ~2800 m



Modification avec le courbure

- La lumière ne se propage par en ligne droite dans l'atmosphère
  - parce que la pression et la température changent avec l'altitude
  - les rayons sont courbés vers la surface de la Terre
    - sauf dans des cas exceptionnels (mirages inférieurs)



Horizon et rayons lumineux courbes

- L'horizon est plus éloigné mais aussi 'plus haut'
  - 'plus haut' = plus rapproché du plan horizontal
- La géométrie est plus compliquée qu'avec un triangle
  - il n'y a pas de formule simple rigoureuse

Mais une bonne approximation

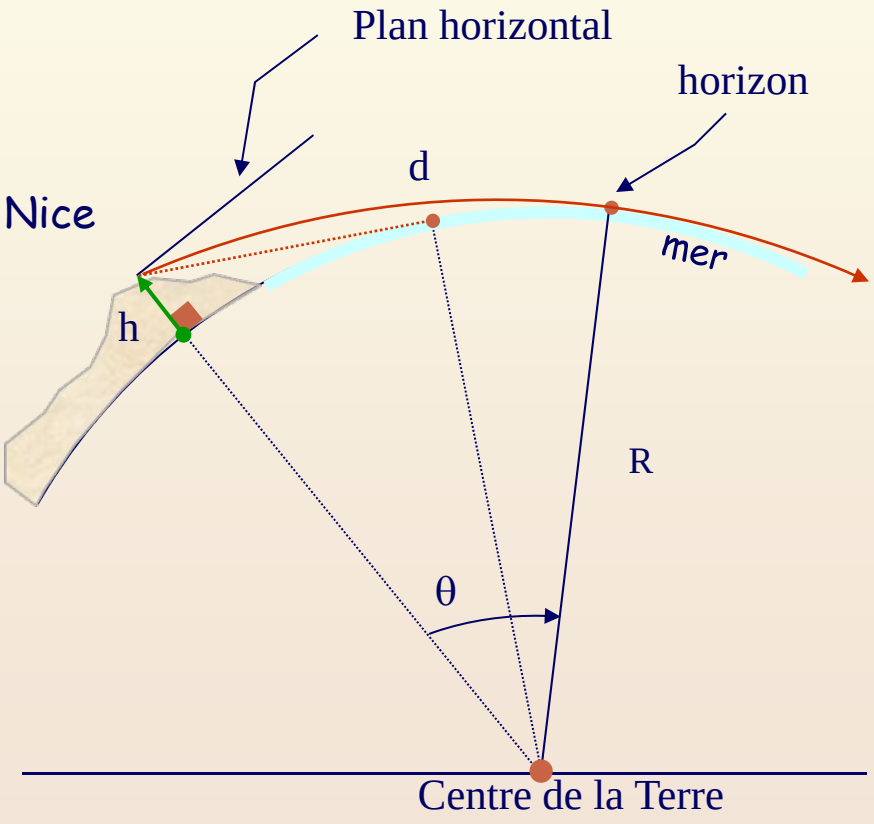
rayons lumineux à courbure constante

$$\frac{1}{\rho} = \frac{dn}{dh} \approx (45000)\,\mathrm{km}^{-1}$$

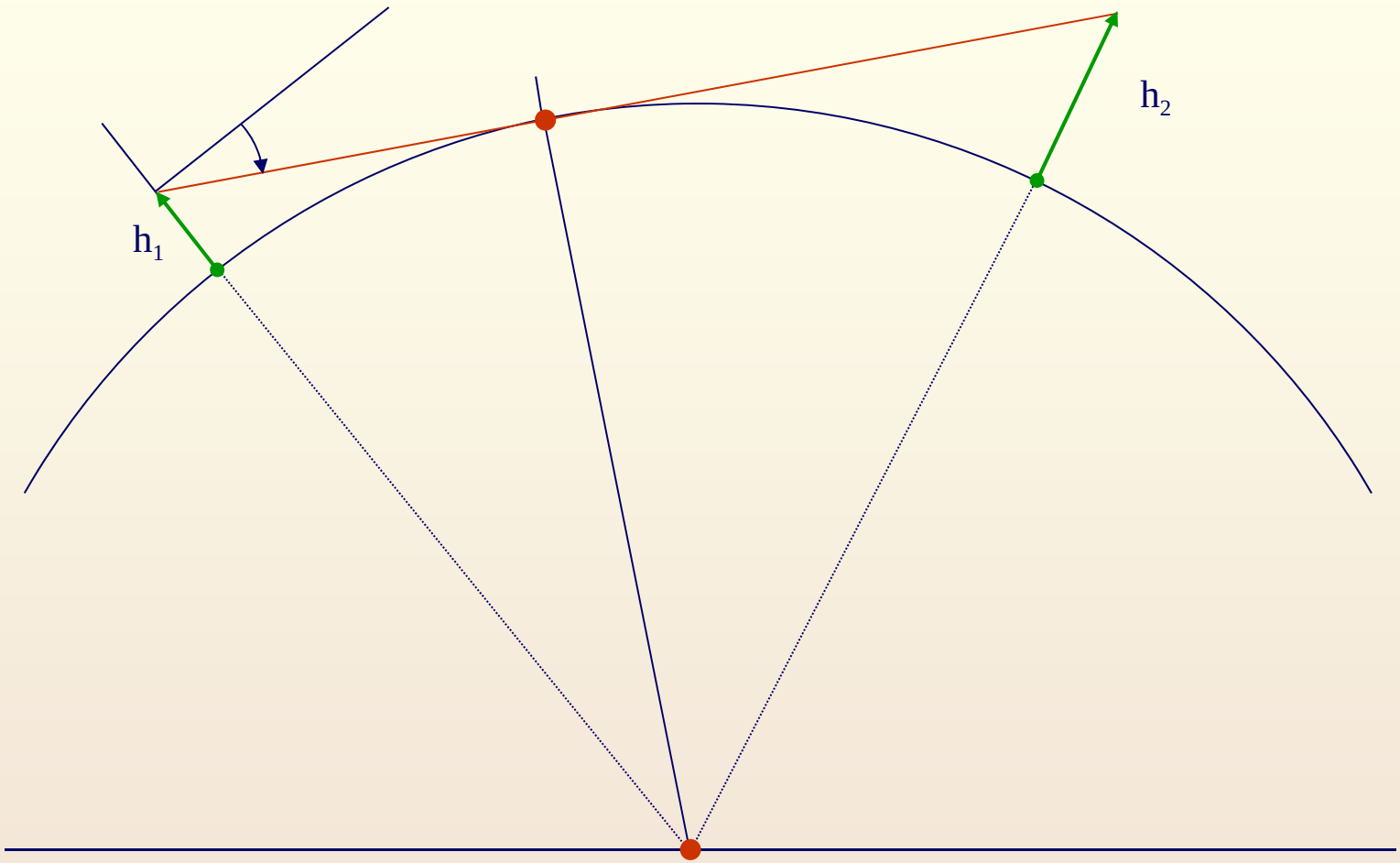
$$d = \sqrt{\frac{2Rh}{\beta}} \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{2h\beta}{R}}$$

$$\beta = 1 - R\frac{dn}{dh} \approx 0.85$$

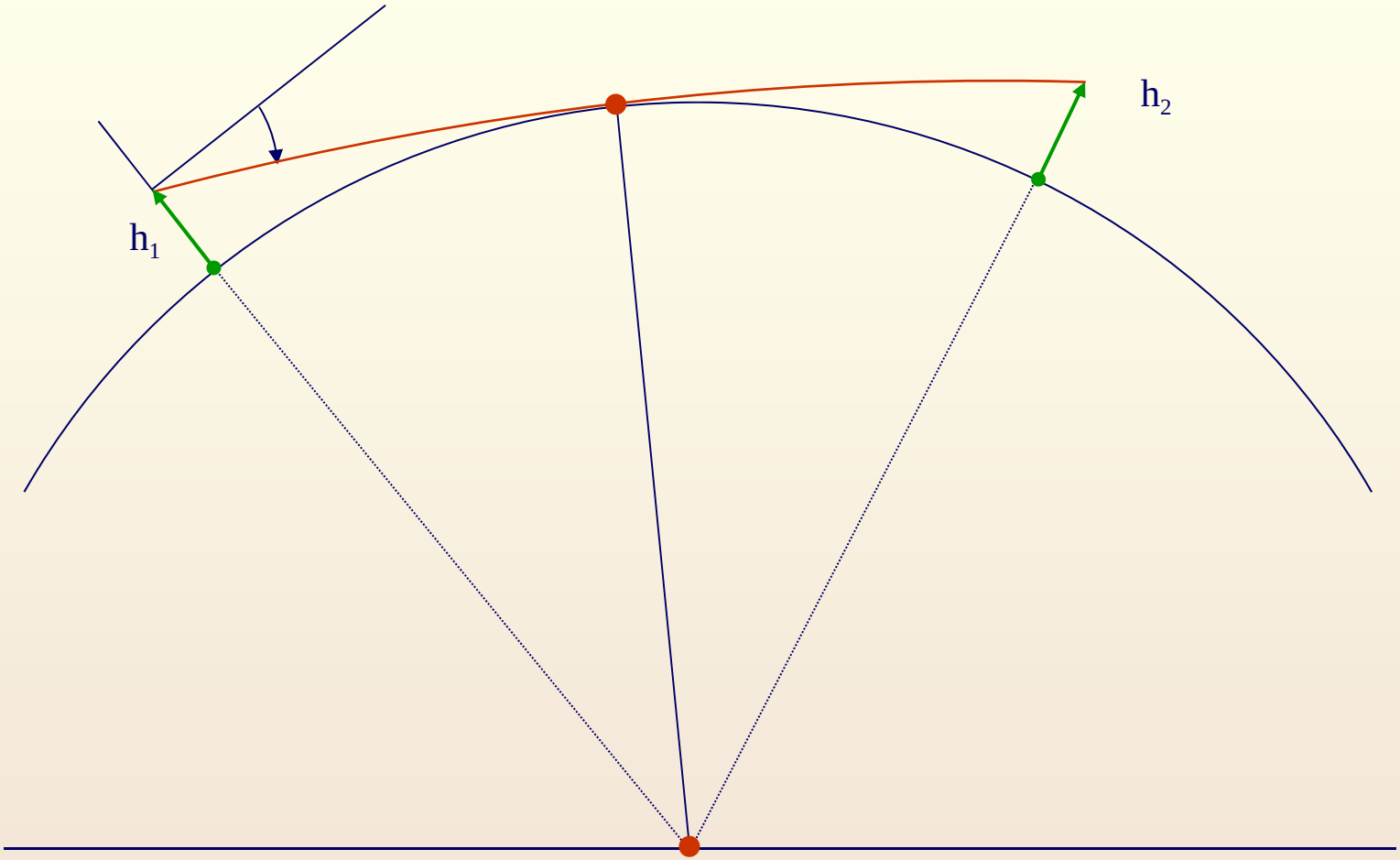
$$\frac{R}{\beta} \approx 7500 \ \mathrm{km}$$



Propagation rectiligne



Propagation avec courbure



Effet de la courbure des rayons lumineux

- Calcul plus compliqué
  - calcul de la trajectoire exact des rayons lumineux
  - simplification en remplaçant les droites par des cercles de très grand rayon (~ 45,000 km)
- Dépend des propriétés physiques de l'atmosphère
  - température, pression

distance horizon $d = \sqrt{\frac{2Rh}{\beta}}$

h (m)	d (km)	
altitude	droite	courbe
0	0	0
2	5	5.5
10	11	12
50	25	27
100	36	39
250	56	62
500	80	87

altitudes visibles en Corse à 200 km

h_1 (m)	h_2 (m)	
observateur	droite	courbe
0	3100	2630
2	3000	2500
10	2800	2320
50	2400	1960
100	2100	1700
250	1600	1250
500	1130	850

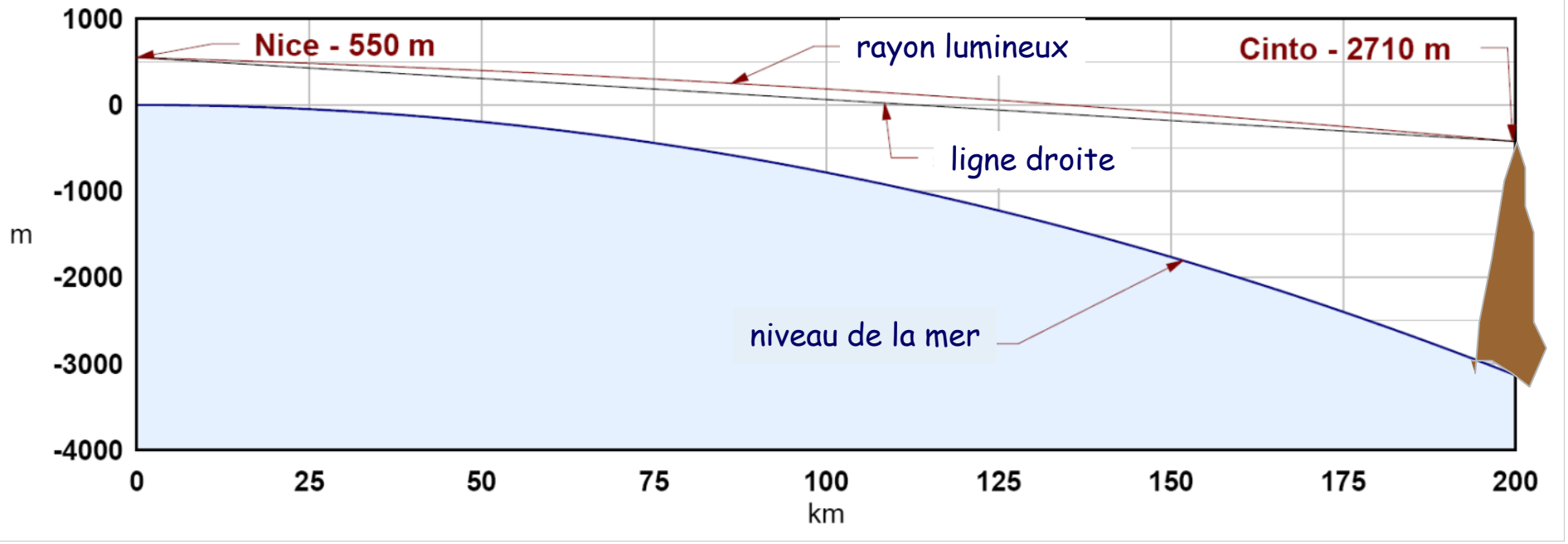
Monte Cinto depuis Nice - Mt Alban





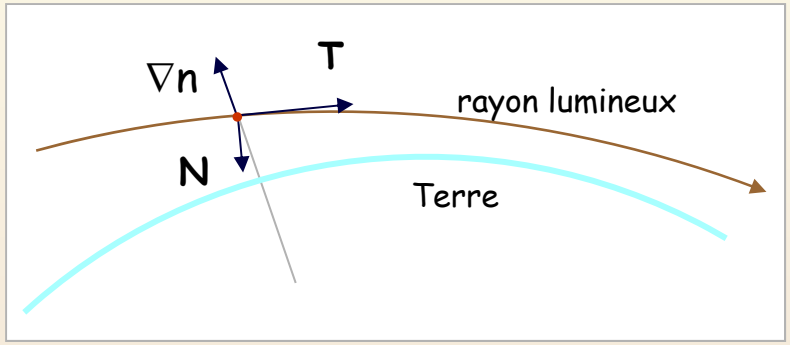
Comparaison rayon droit ou courbe

- Les rayons sont au plus séparés de 150 m



Approximation courbure constante

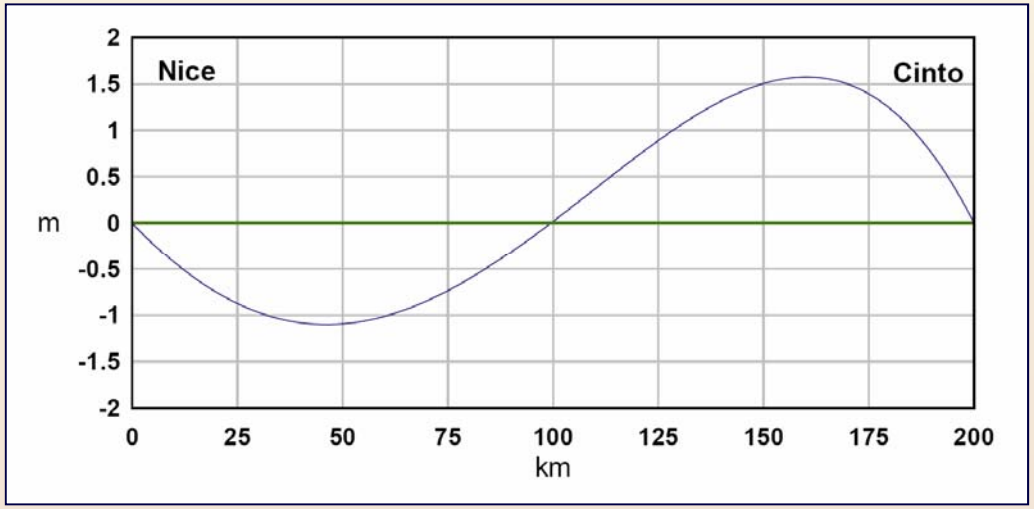
- Ecart des rayons lumineux courbes entre :
  - courbure constante durant le trajet
  - solution exacte de l'équation différentielle de la propagation avec valeur de l'indice dépendant de l'altitude
    - EDO à conditions aux limites et non à conditions initiales



$$(\nabla n \cdot \mathbf{T})\mathbf{T} + n\frac{\mathbf{N}}{\rho} = \nabla n$$

n(r) = indice de réfraction

δ_{max} < 1.5 m



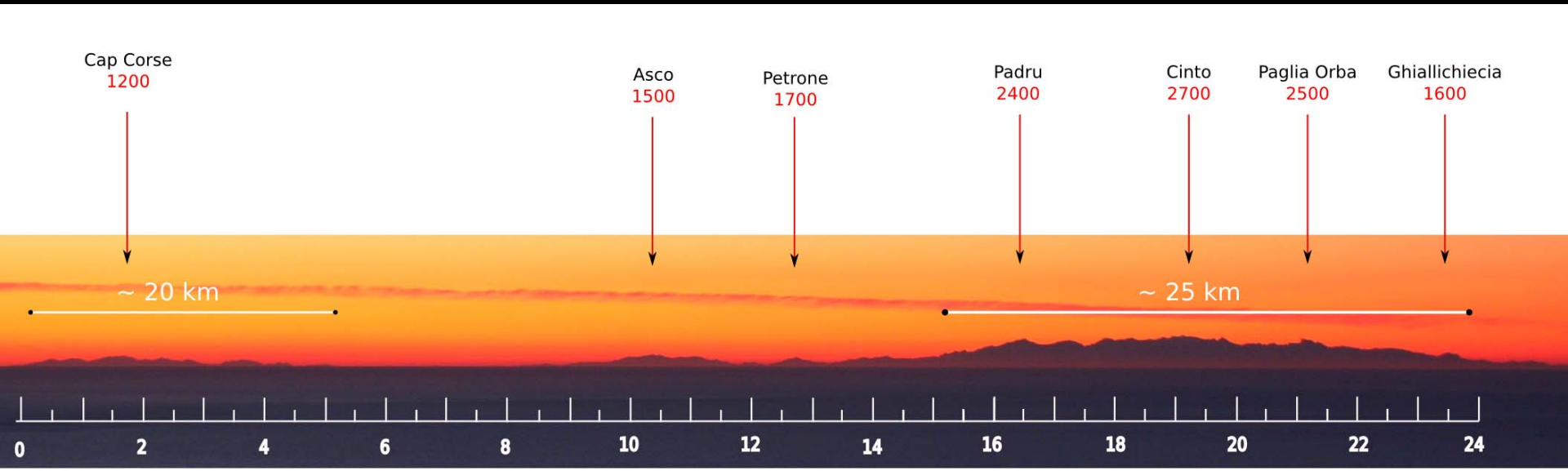
On passe à la pratique



Vue de la partie centrale autour du Mt Cinto

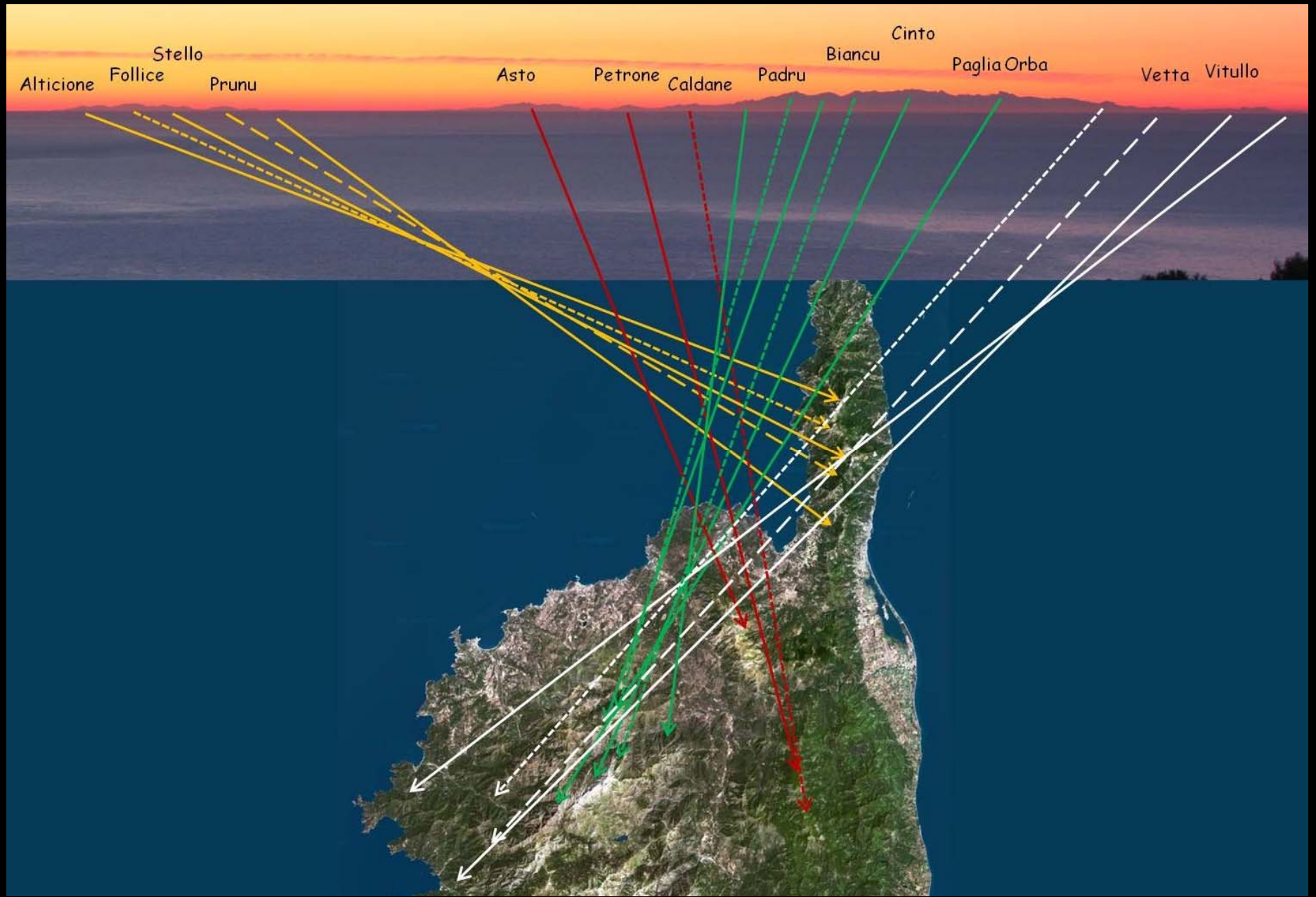

Nice, altitude = 220 m – Visibilité minimum h ~ 1400 m
Cap Corse juste sous l'horizon
Asco (1530 m) et Pozzo (1470 m) à peine visibles

- Secteurs visibles de la Corse depuis le Continent
  - altitude 450 – 500 m arrière pays Niçois





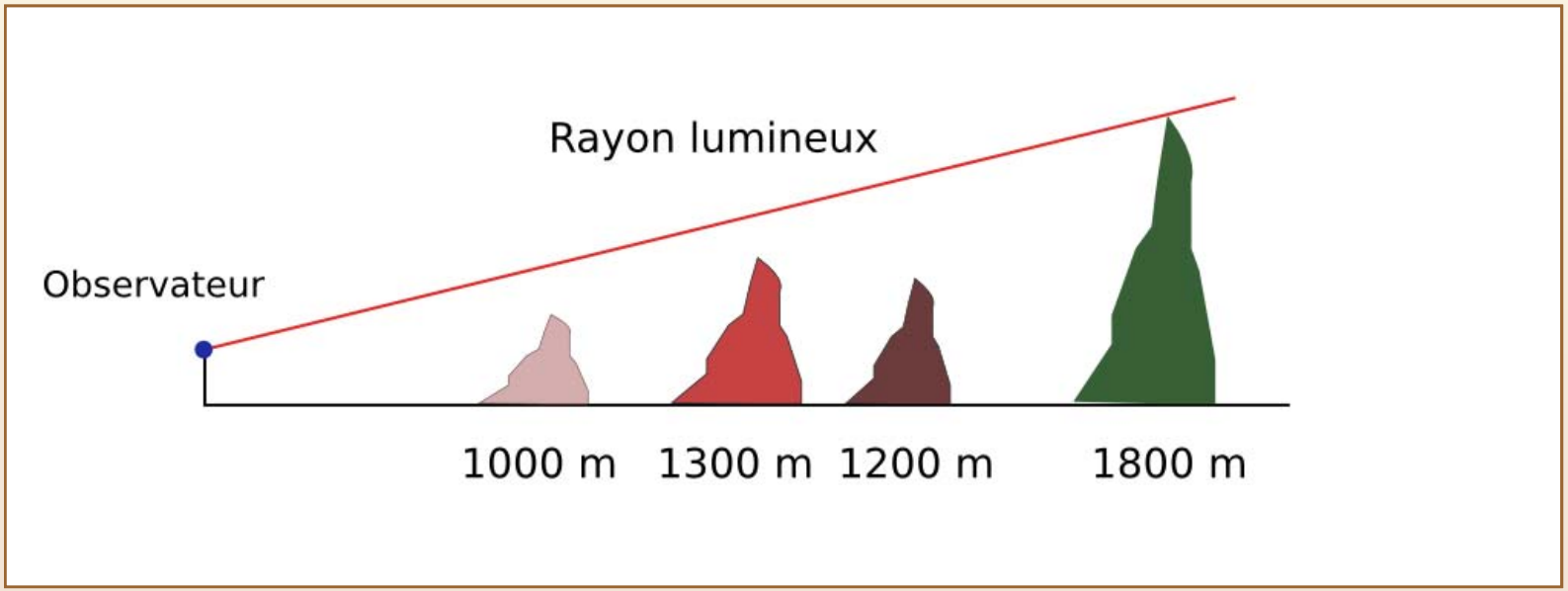
Un plan, des plans




55 m
160 m
220 m
300 m
370 m
550 m
2800m
1800m
800m

Identification des sommets

- On ne voit qu'une ligne de crête projetée au-dessus de l'horizon
- Certains sommets lointains sont cachés par des plus petits sommets du plan avant
- les pics sont à des distances différentes les uns des autres
- Il faut donc faire une liste des sommets et calculer leur hauteur au-dessus de l'horizon en fonction de l'altitude et de la distance

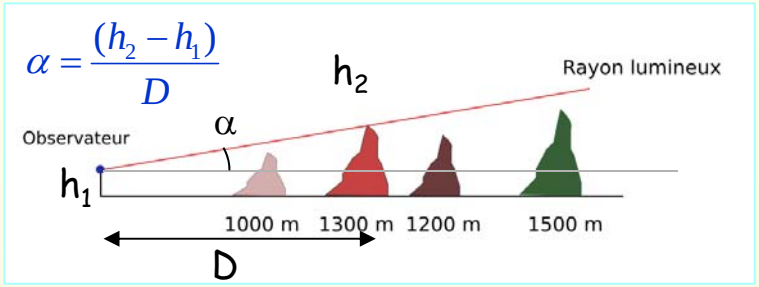



devant
~ 195 km
derrière
~ 200 km
devant
~ 195 km

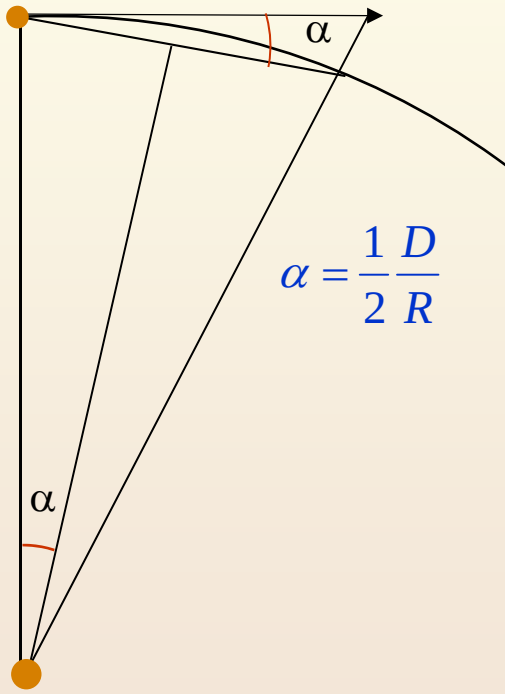
Hauteur (angle) au dessus de l'horizon

- Formule délicate avec trois facteurs:
  - altitude –distance

$$\alpha = \frac{(h_2 - h_1)}{D}$$



  - forme sphérique de la Terre :
    - Le sol 'descend' sous le plan horizontal

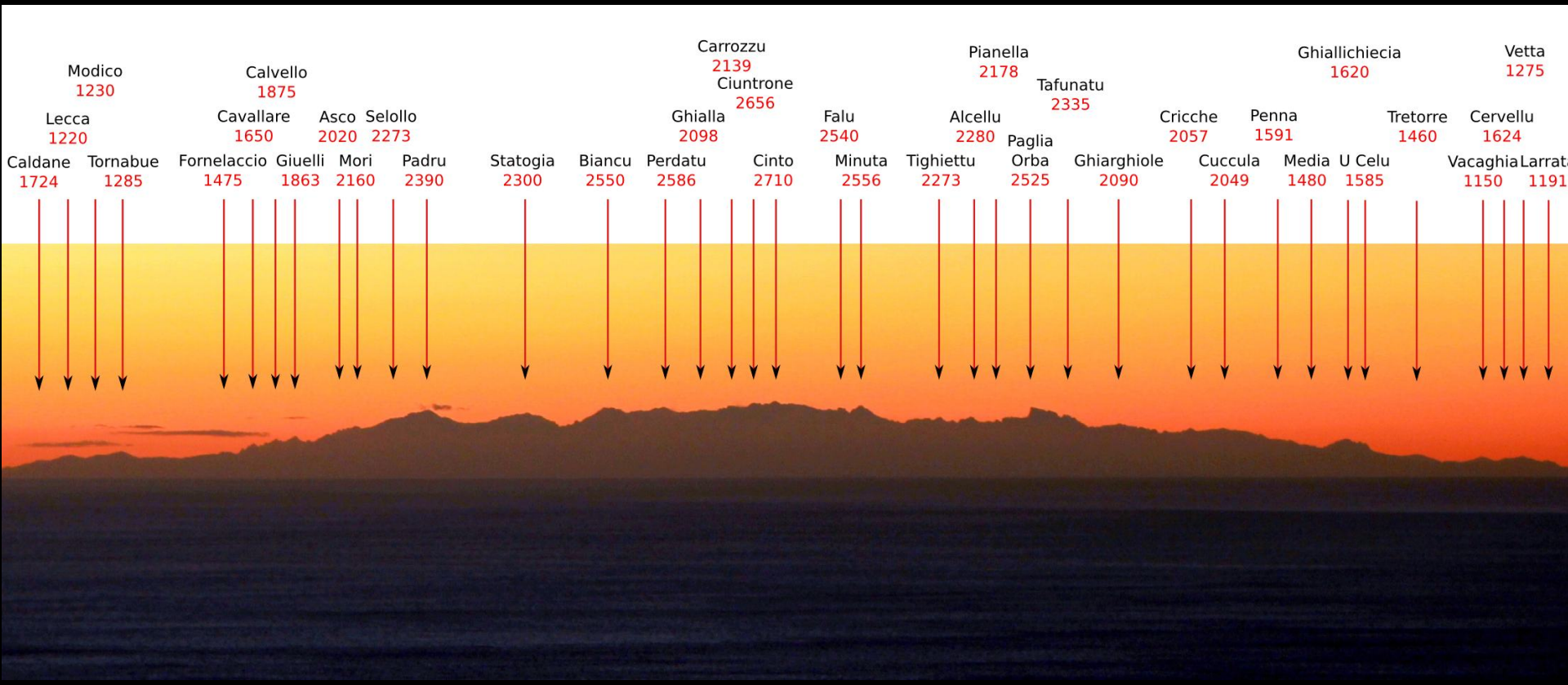


$$\alpha = \frac{1}{2}\frac{D}{R}$$

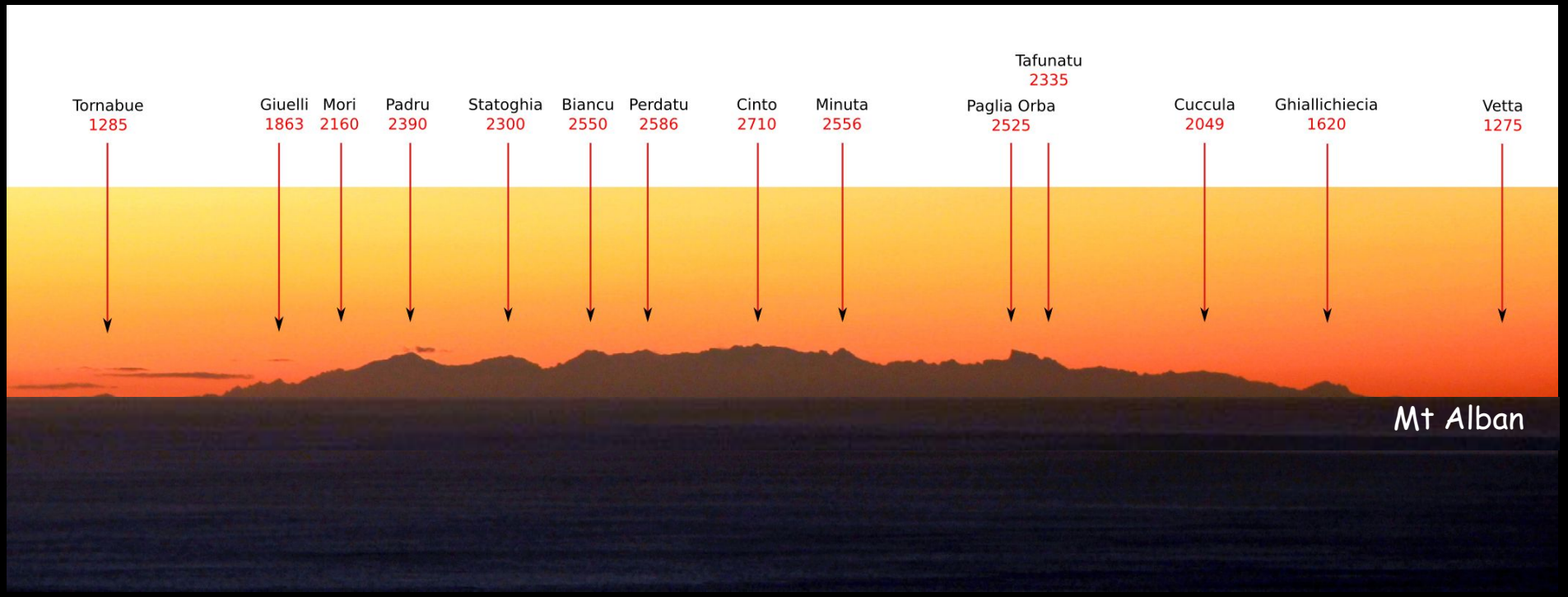
  - direction de l'horizon sous le plan horizontal
    - angle ε déjà rencontré $\varepsilon = \sqrt{\frac{2h_1}{R}}$
  - courbure des rayons lumineux

$$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{D} - \frac{\beta}{2}\frac{D}{R} + \sqrt{\frac{2h_1}{R}}\beta$$

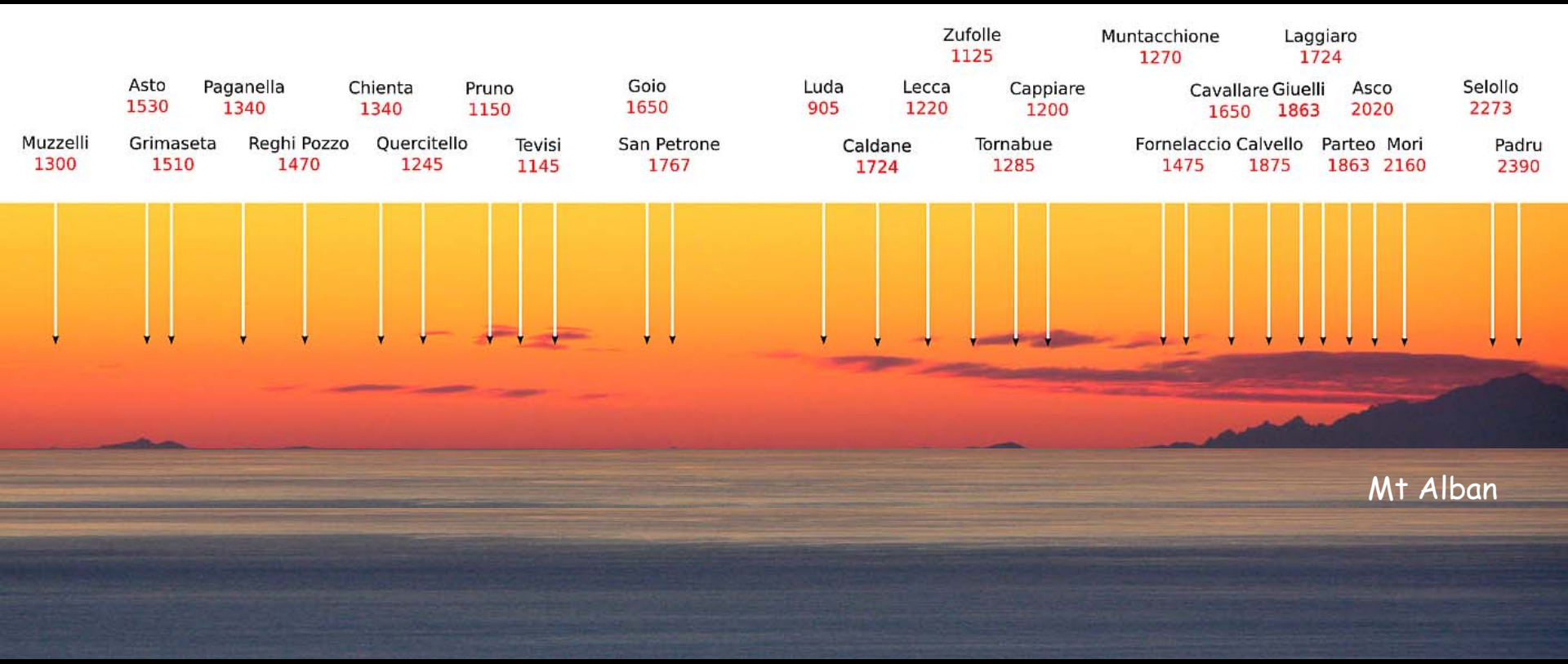
Identification des sommets



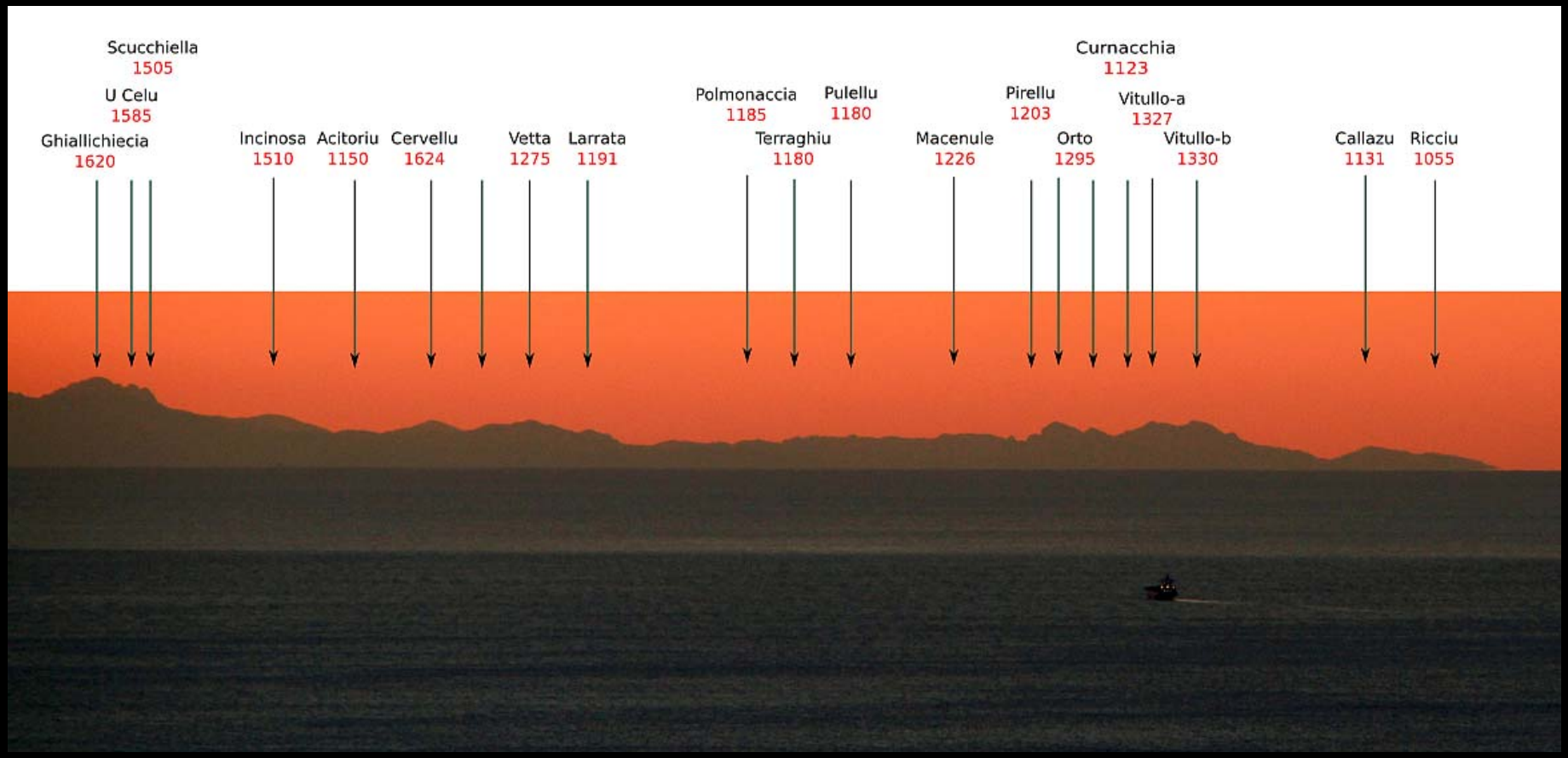
Depuis Mont Alban (approx.)



Partie 'est'


Zufolle 1125
Muntacchione 1270
Laggiaro 1724
Asto 1530
Paganella 1340
Chienta 1340
Pruno 1150
Goio 1650
Luda 905
Lecca 1220
Cappiare 1200
Cavallare 1650
Giuelli 1863
Asco 2020
Selollo 2273
Muzzelli 1300
Grimaseta 1510
Reghi Pozzo 1470
Quercitello 1245
Tevisi 1145
San Petrone 1767
Caldane 1724
Tornabue 1285
Fornelaccio 1475
Calvello 1875
Parteo 1863
Mori 2160
Padru 2390
Mt Alban

Partie 'ouest'



Vue typique vers le Mont Alban

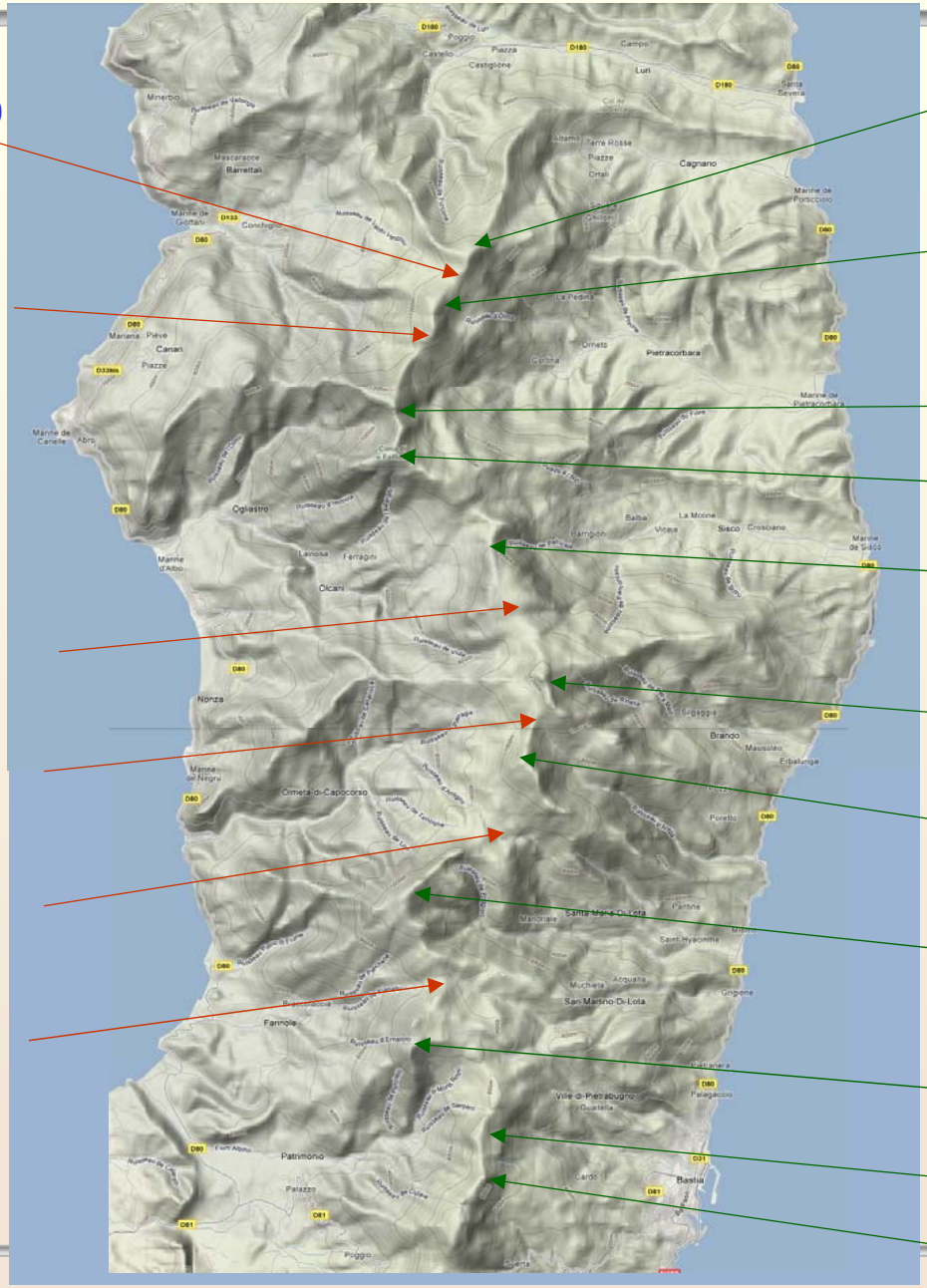


Sans la courbure des rayons lumineux

Visibilité du Cap Corse

Vue depuis 550 m autour de Nice





Bocca di Viezza 1039

Bocca di a Serra 1007

Bocca Corvo 1085

B. di Sta. Maria 1097

Bocca di Antigliu 880

B. san Leonardo 850

Alticcione 1139 m

Croce Viezza 1165

Monte Prato 1282

Cima di e Folicce 1322

Monte Cibiolla 1143

Monte Stello 1307

Monte Capra 1203

Monte Prunu 1184

Monte Gratera 1033

Monte Murzaio 930

Serra di Pigno 960

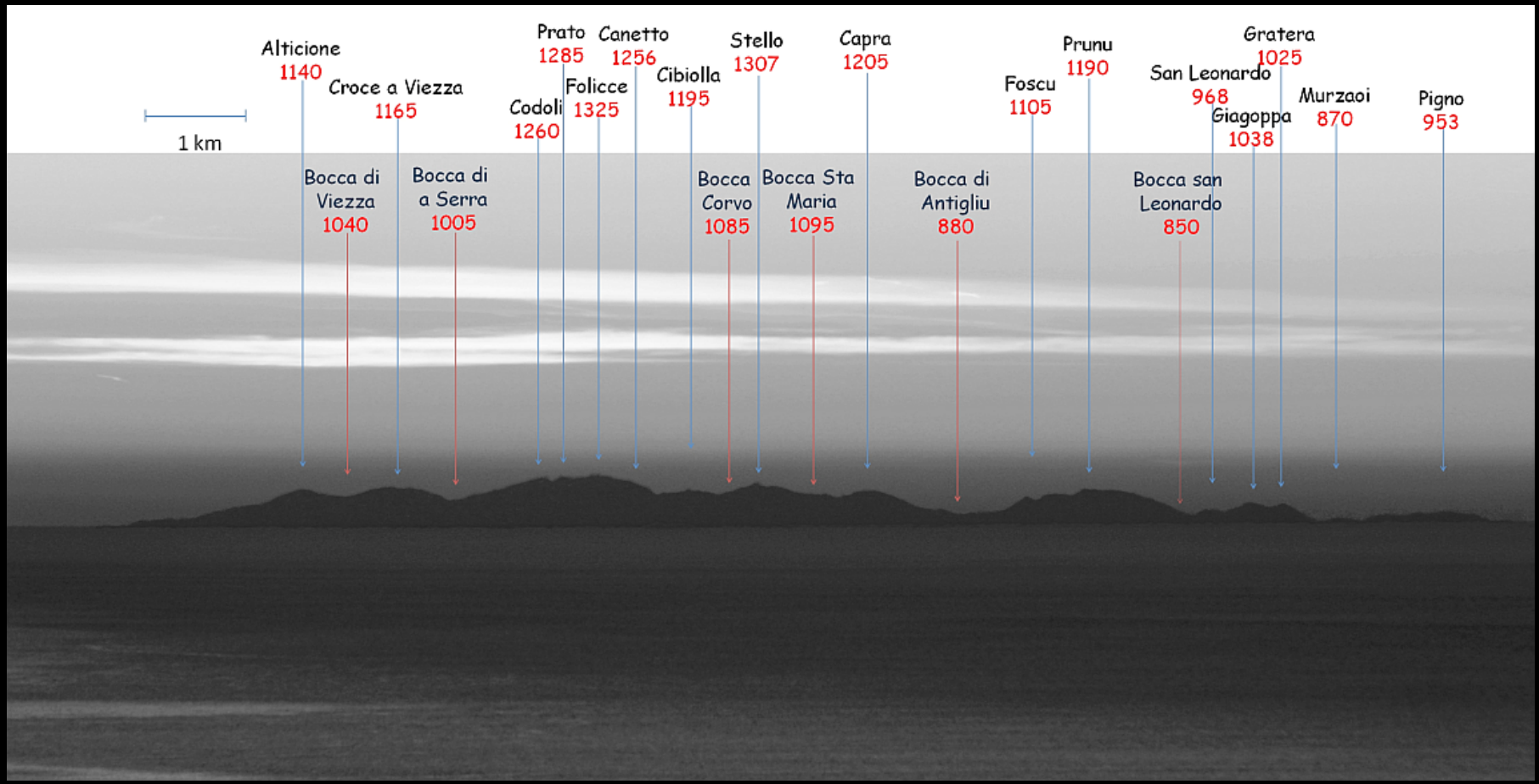
F. Mignardi, OCA

Le Cap Corse depuis le continent



Le Cap Corse depuis le continent

Hauteurs de Nice, 550 m



Lever de Soleil derrière le Cap Corse

- Visible de la fin novembre au début de Janvier (Nice ~ 500 m)



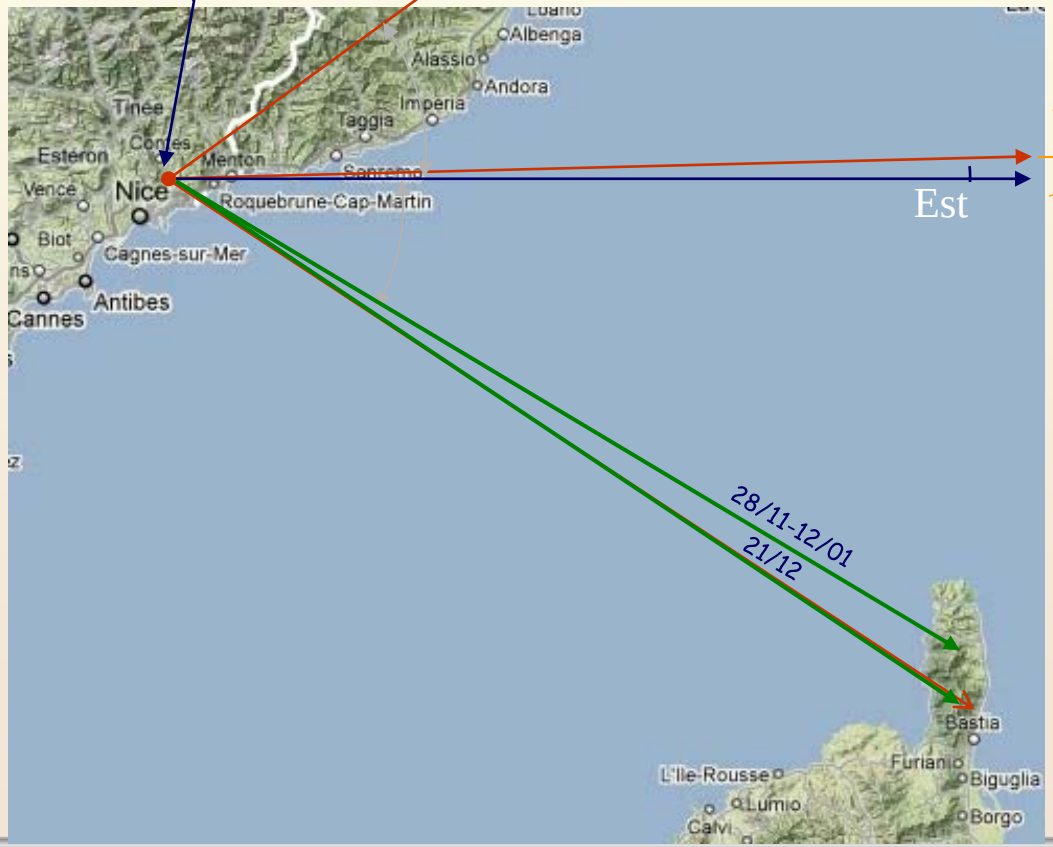
lever de Soleil, 9 janvier

Soleil derrière le Cap Corse

lever du sol

21/06 été ~ 5h45

Châteauneuf



20/03 printemps ~ 6h30

22/09 automne ~ 7h15

21/12 hiver ~ 8h

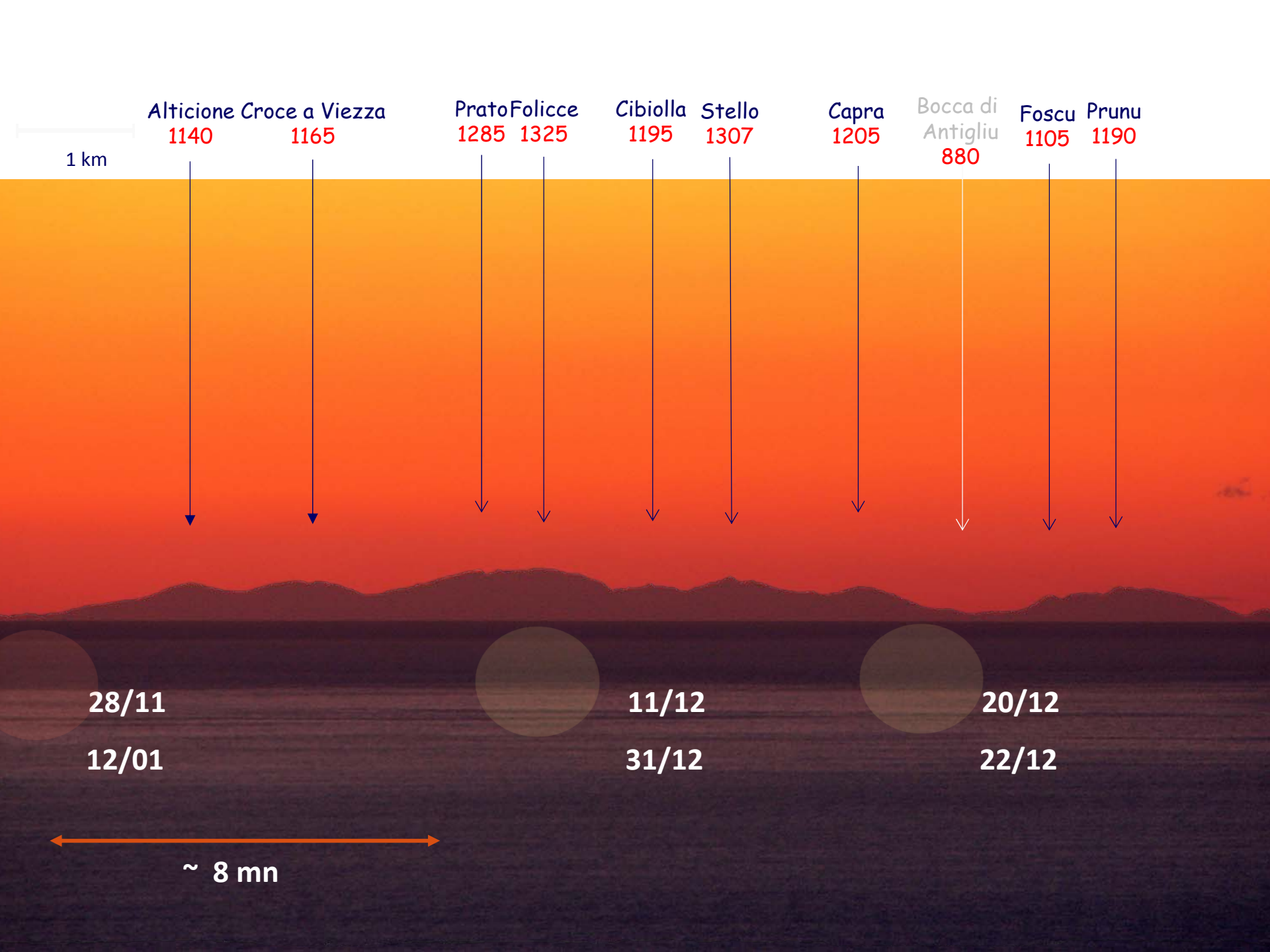
F. Mignard, OCA



Lever de Soleil derrière le Cap Corse le 19 décembre

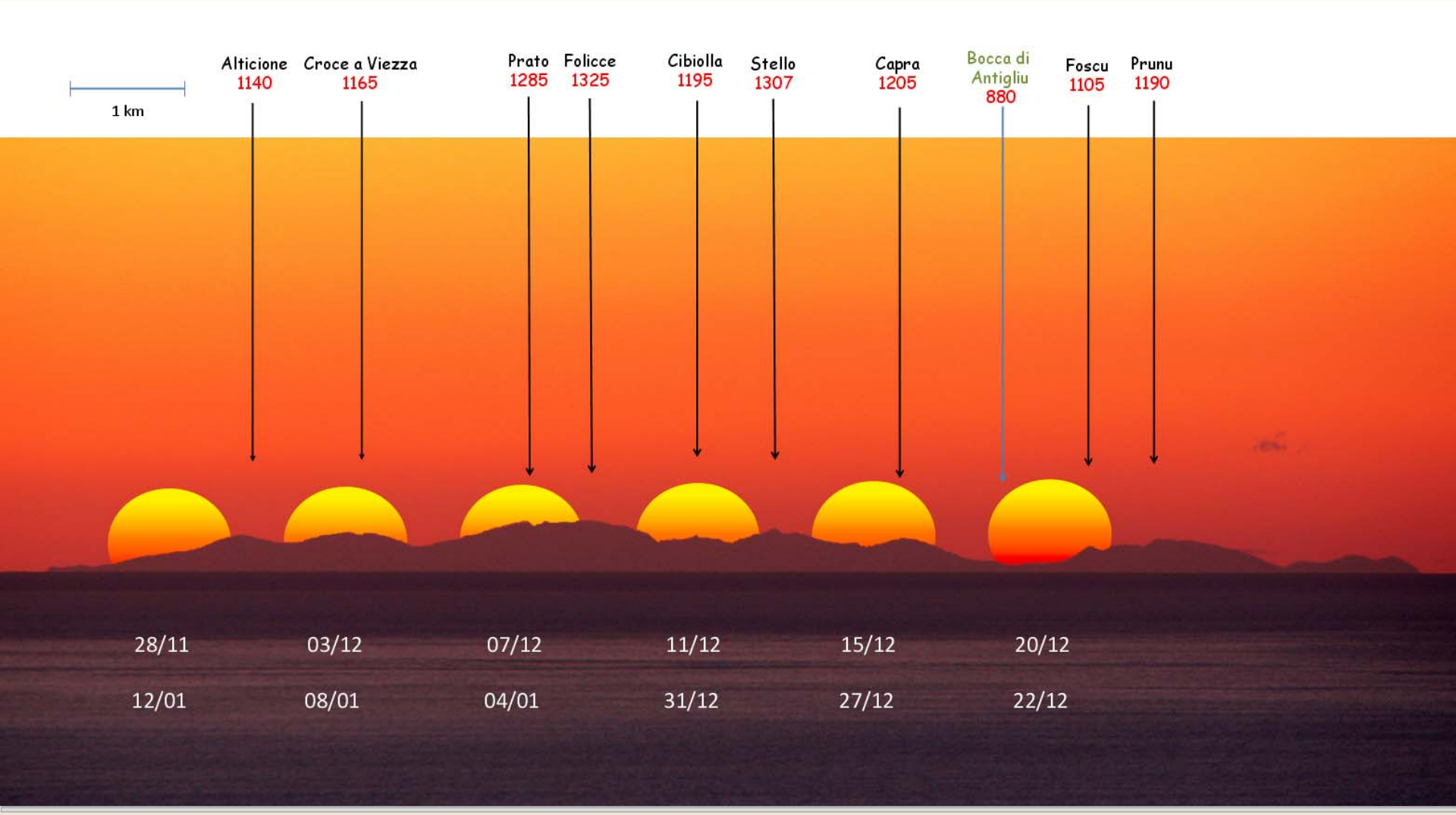


Lever de Soleil derrière le Cap Corse le 29 décembre


Alticione
1140
Croce a Viezza
1165
Prato
1285
Folicce
1325
Cibiolla
1195
Stello
1307
Capra
1205
Bocca di Antigliu
880
Foscu
1105
Prunu
1190
1 km
28/11
12/01
11/12
31/12
20/12
22/12
~ 8 mn

Soleil levant derrière le Cap Corse

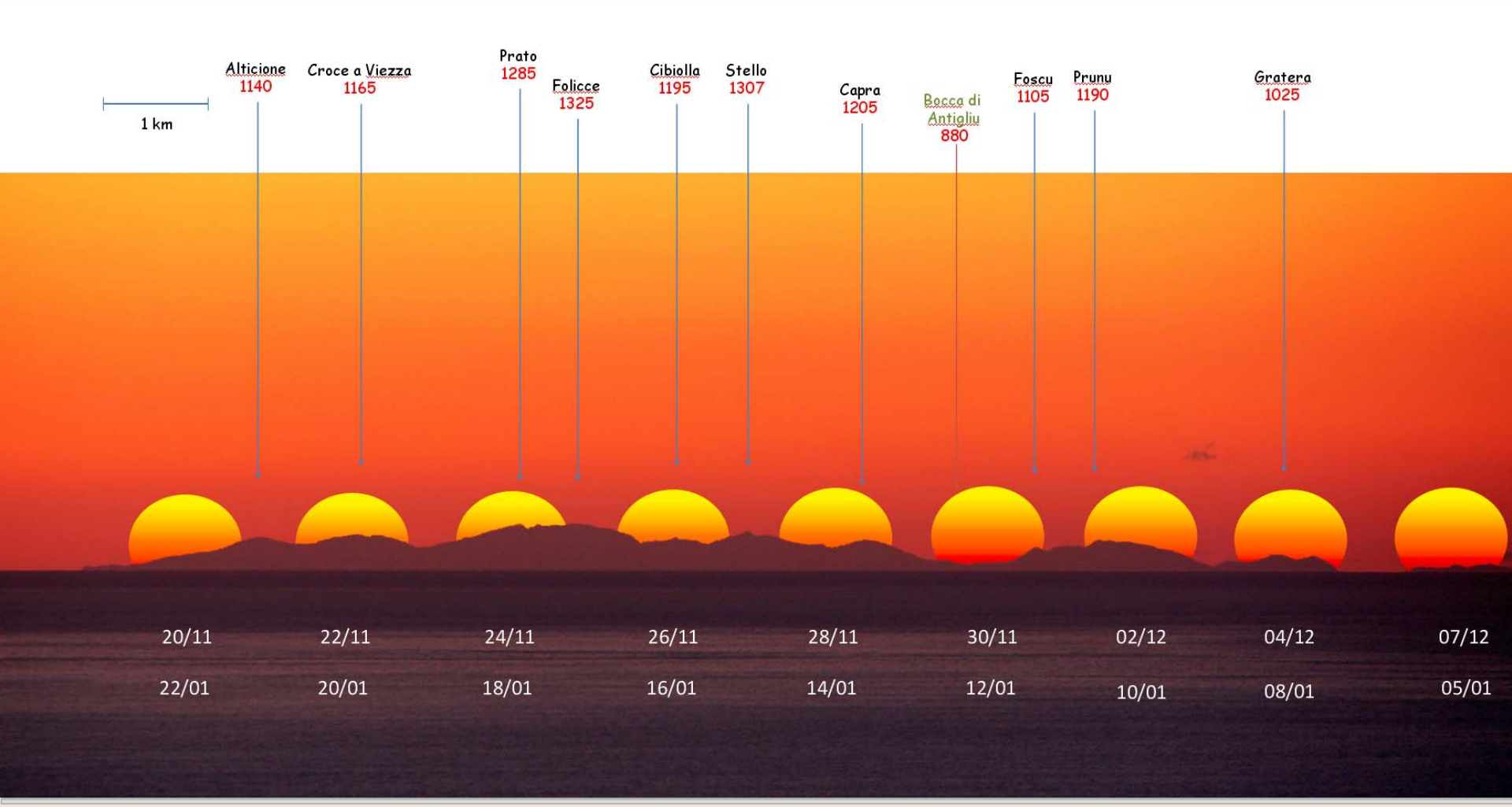
- Possible à partir de ~ 400 m d'altitude vers Nice



F. Mignard, OCA

Soleil levant derrière le Cap Corse

- Bien visible depuis le Calern
  - dates légèrement différentes



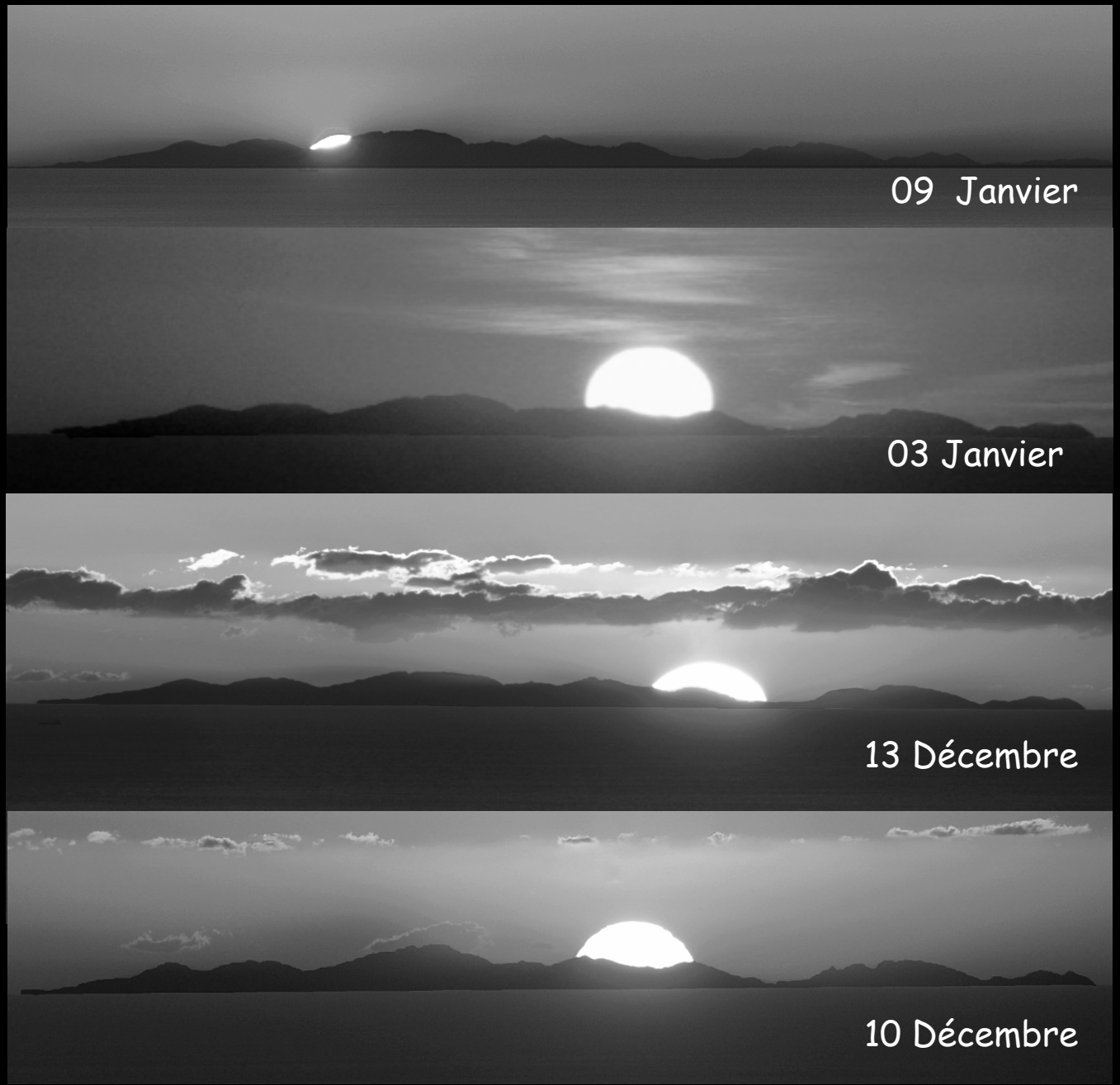
F. Mignard, OCA

Lever de Soleil derrière le Cap Corse



Vue typique autour du 18/12 et 28/12

Lever de Soleil derrière le Cap Corse

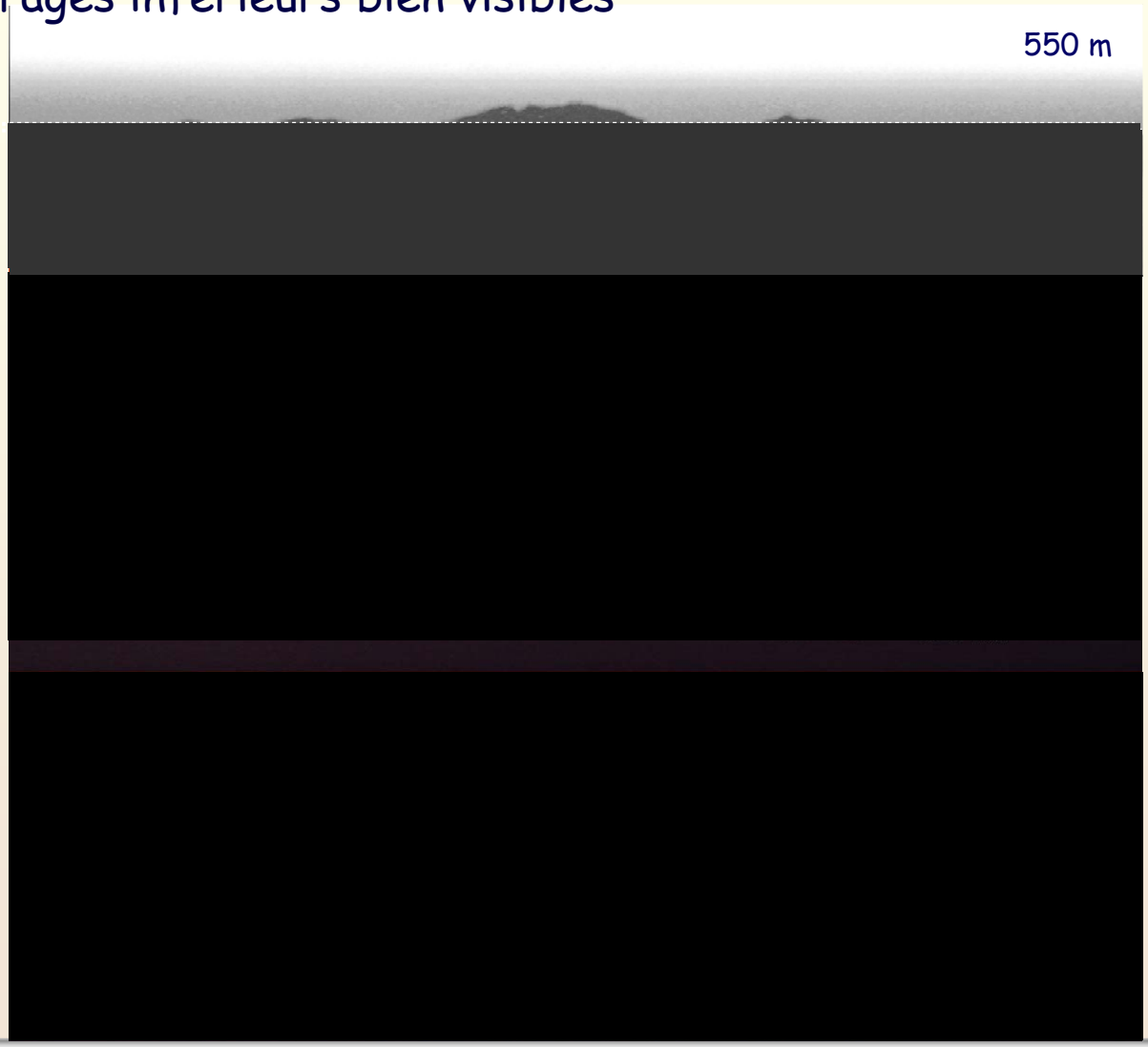


Soleil derrière le Mte Prunu, Solstice d'hiver



Effet de l'altitude sur la visibilité

- Le Cap Corse pris de différents lieux autour de Nice
  - ici mirages inférieurs bien visibles

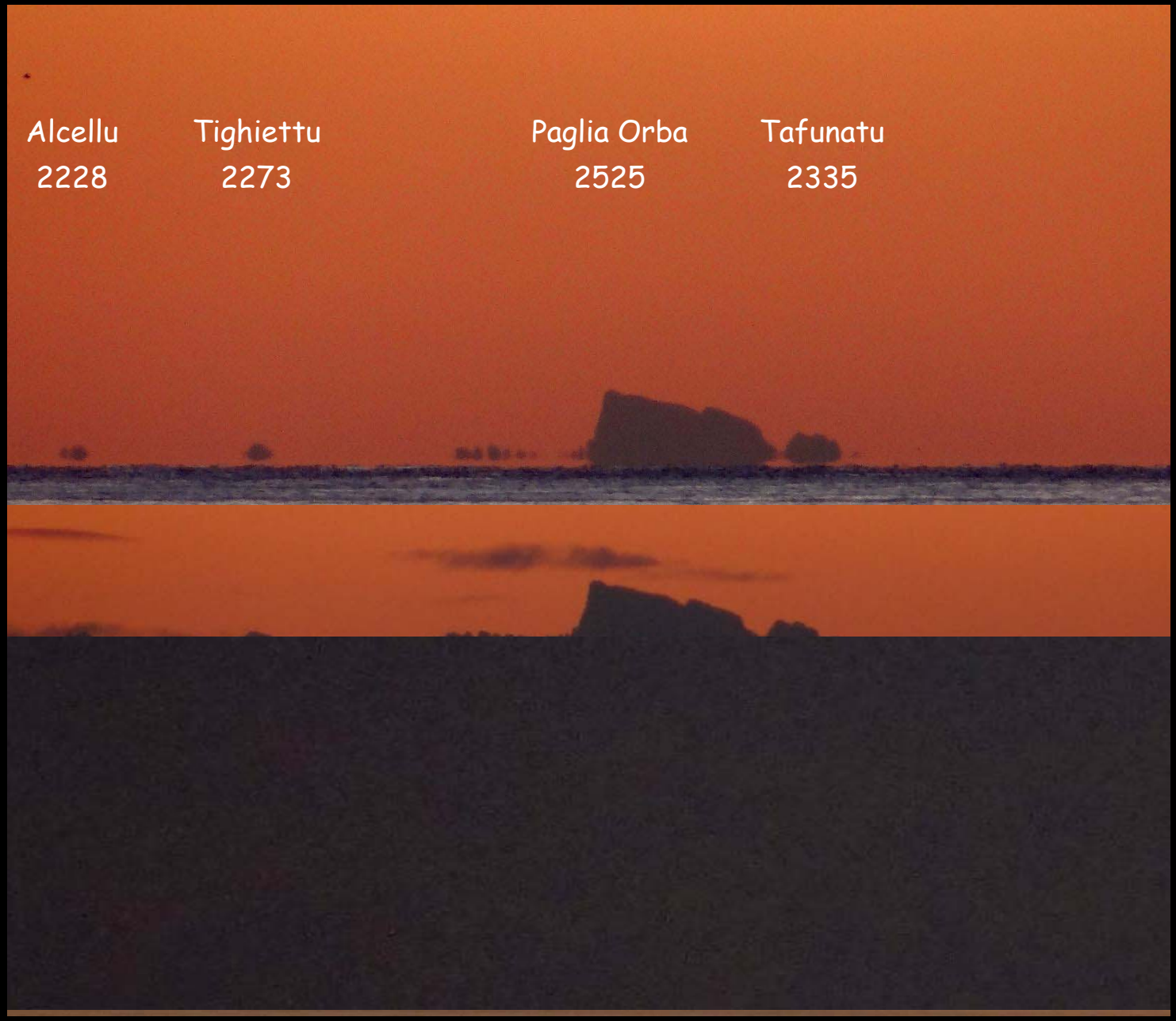


Vue à basse altitude

- Depuis le port de Beaulieu sur Mer. Altitude = 8m



Paglia Orba depuis Beaulieu



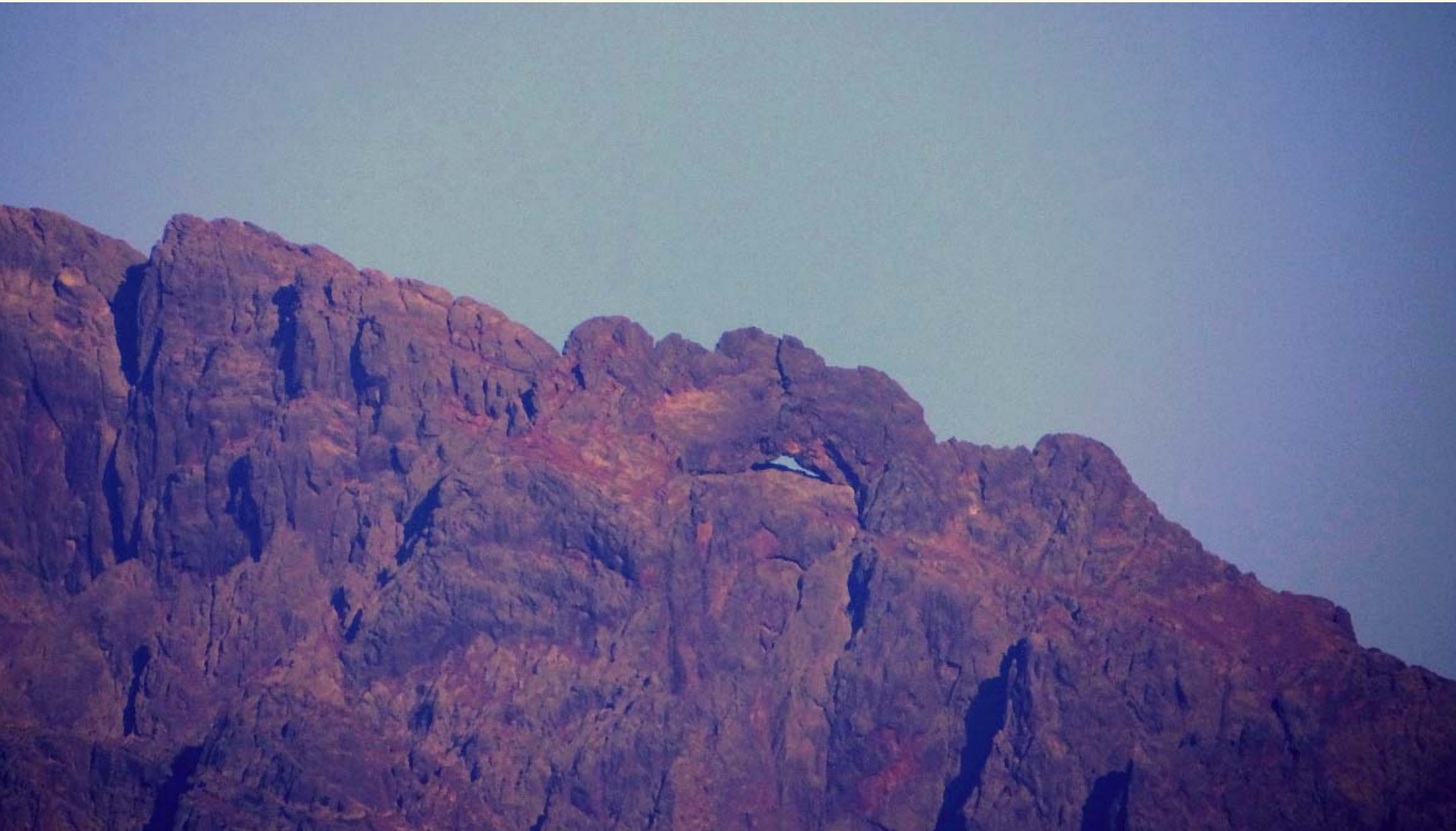
Vue à basse altitude

Depuis la Promenade des Anglais



Une curiosité

- Vue du trou du Tafunatu
  - ouverture d'environ 20m située à 200 km de Nice
  - éclairé par l'arrière par les lumières de l'aube



Vues spéciales



Vues de jour

- Photo prise le 22 Février 2014, ~ 18h, soleil couchant
  - prise à la Revère ~ 600m, beaucoup d'humidité dans l'air
  - très difficile de récupérer le contraste



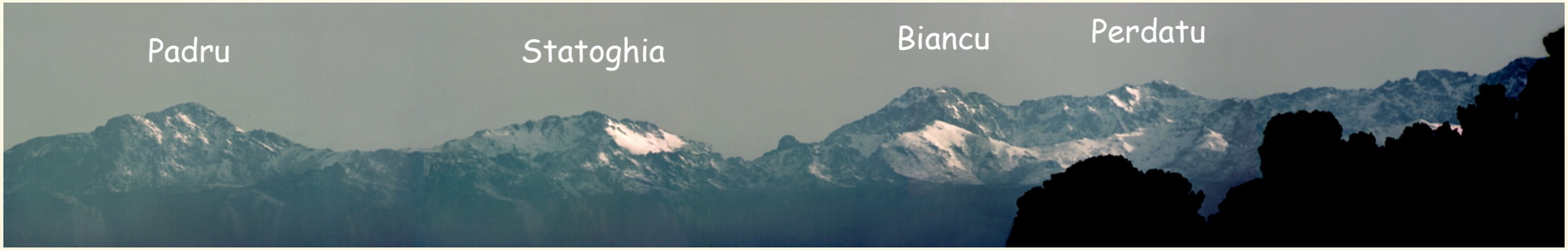
Vues de jour

- Photo prise le 29 décembre 2014, 16h50, soleil couchant



Vues de Jour

- photos (mosaïque) de Mathieu Conjat faite avec un lunette 130/1900 à la coupole Schaumasse de l'Observatoire de Nice
  - ~ 1 h avant le coucher du Soleil en février





Continent depuis la Corse

coucher du soleil

~ 21h15 21/06 été

~ 18h15 20/03 printemps

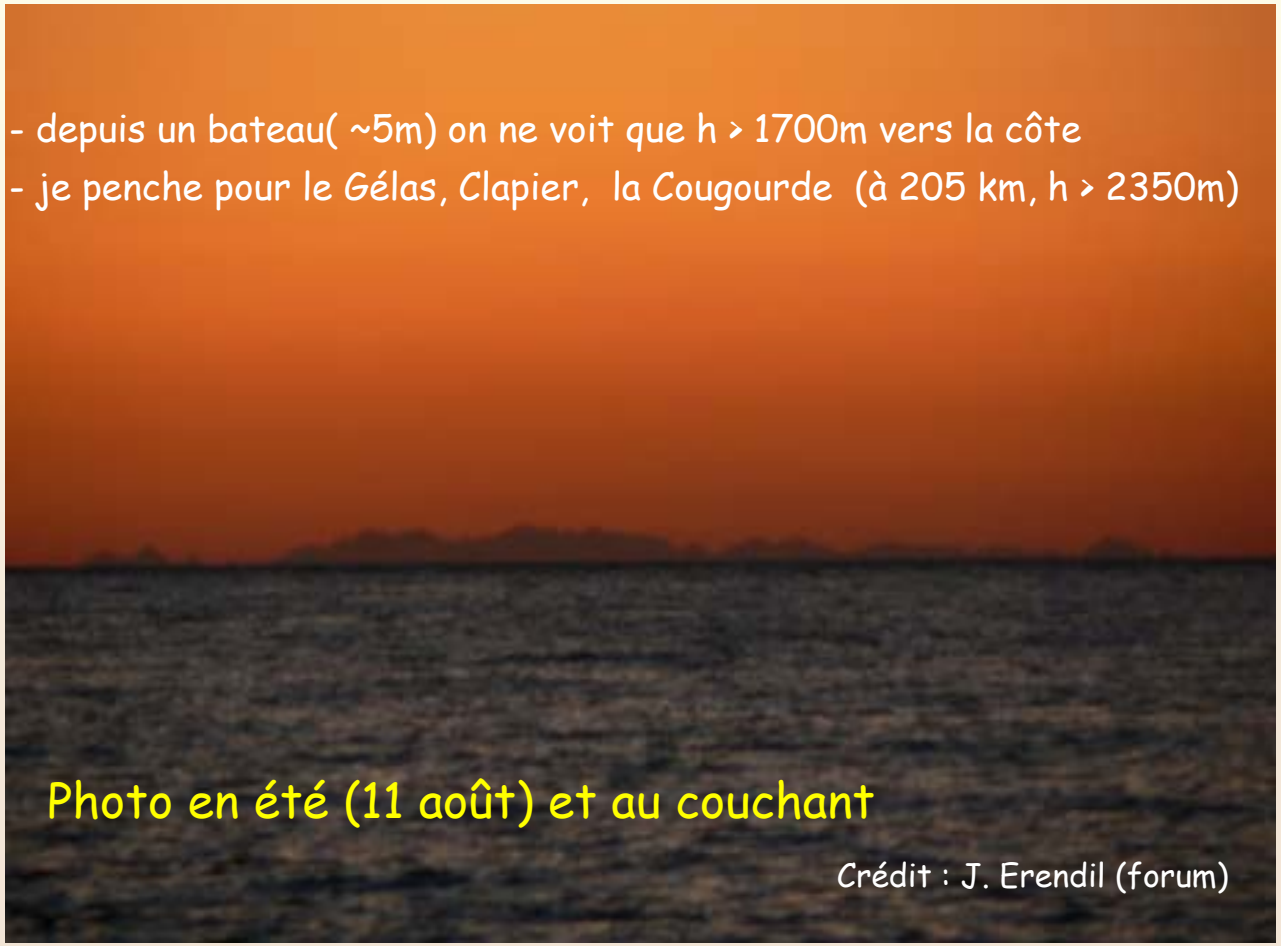
~ 19h30 22/09 automne

~17h15 21/12 hiver



Continent depuis la Corse

- Région de Menton vue du Cap Corse (plage de Barcaggio)
  - "La photo montre la Cote d'Azur, entre l'Esterel et Menton. Je n'y croyais pas, mais j'ai vérifié avec un relèvement. Elle se trouve, au plus près, à 90 milles".





Continent depuis la Corse

- Région de Nice et Mercantour
  - Photo prise de Calvi





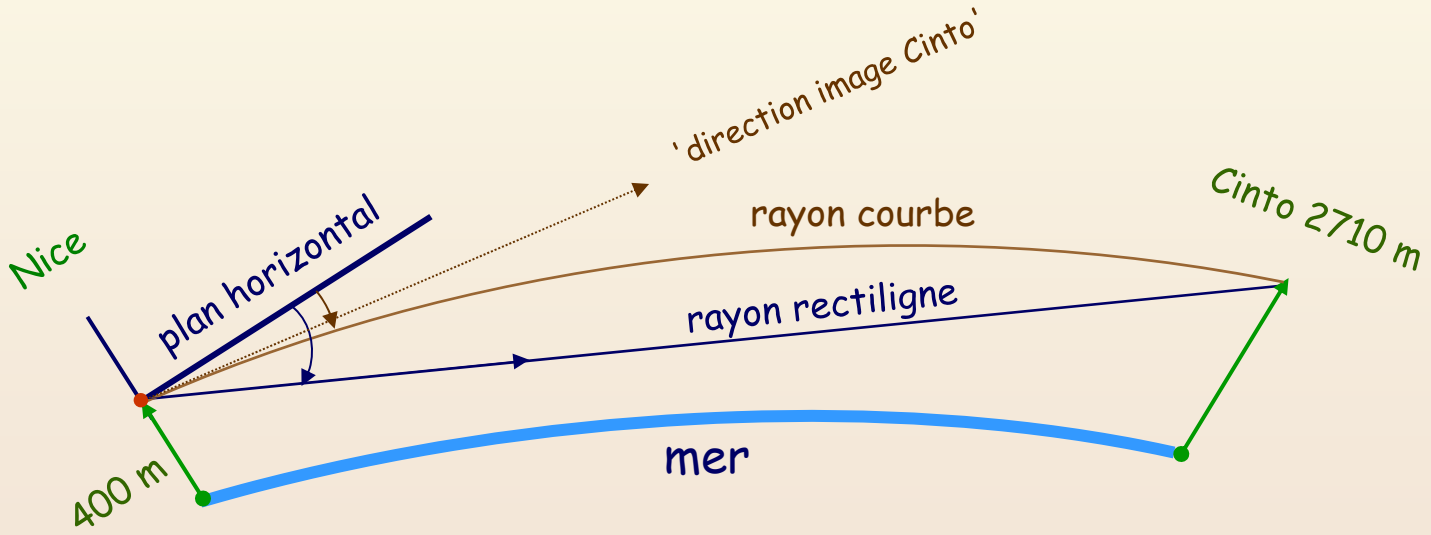
Continent depuis la Corse

- Région de Nice et Mercantour
  - Photo prise de Calvi (Pointe de la Revellata à gauche)



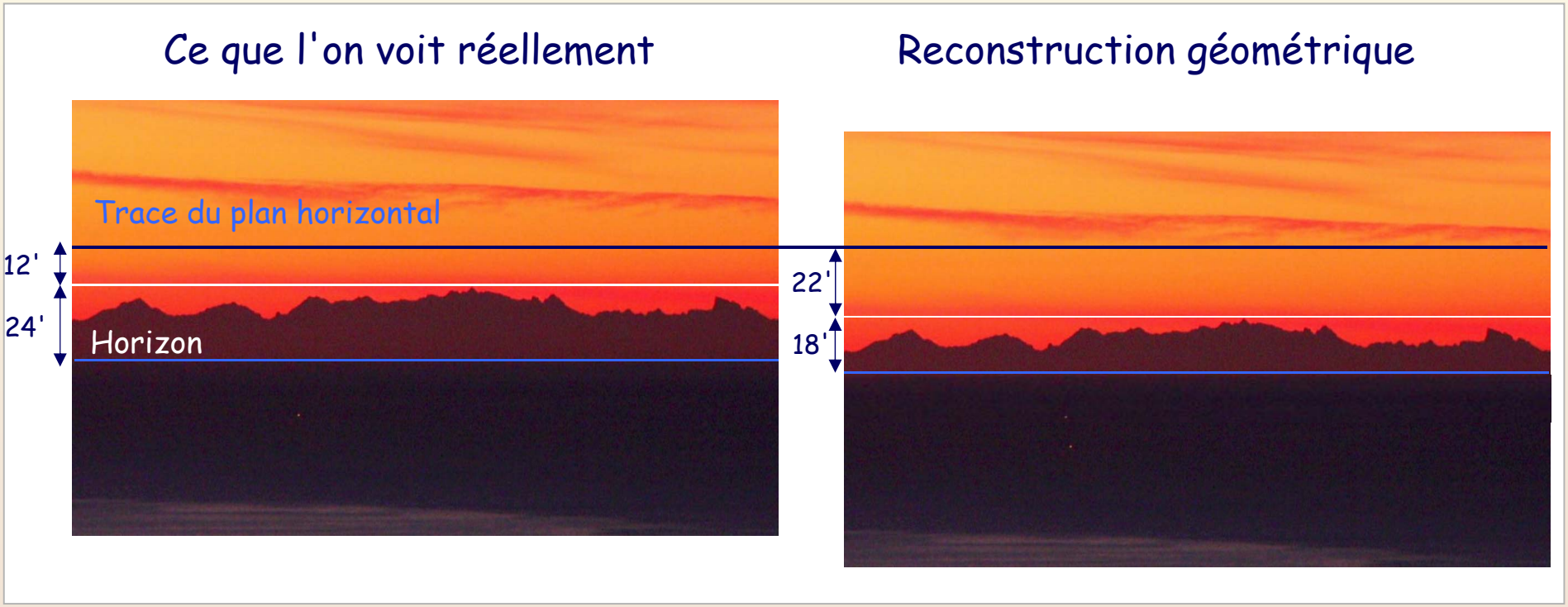
Voit-on la Corse à sa place ?

- Question très ambigüe
  - on ne peut voir qu'une seule image qui donne une direction, mais non une position
    - l'image n'a pas de distance
  - on peut cependant définir la direction de la ligne droite qui rencontrerait la Corse et convenir que cela donne la 'vraie direction'



Reconstruction des deux 'images'

- Une référence commune pour les directions
  - les directions contenues dans le plan horizontal
- On place les deux 'images' par rapport à cette direction
- L'image est plus relevée que la direction géométrique
  - on voit des parties plus basses qu'avec la propagation rectiligne
- Ceci s'applique à toutes les images de paysage distant



Pour Conclure

- La Corse est bien visible depuis le continent
- Il n'y a rien de mystérieux dans cette affaire
- C'est une image ordinaire, sans complication particulière
  - mais avec les mêmes pièges que toutes les images
- La courbure des rayons lumineux joue un rôle mineur en général
  - la qualification de mirage n'est pas appropriée
    - il faut limiter son acception aux images multiples, sinon tout est mirage