



COULEURS & PHÉNOMÈNES ATMOSPHÉRIQUES 1/2

Par Jean-Pierre
MARTIN

 jpm.astro@wanadoo.fr


ASSOCIATION
D'ASTRONOMIE VÉGA
PLAISIR 78370

Version net Nov 2003



© Jean-Pierre MARTIN

1




PLAN

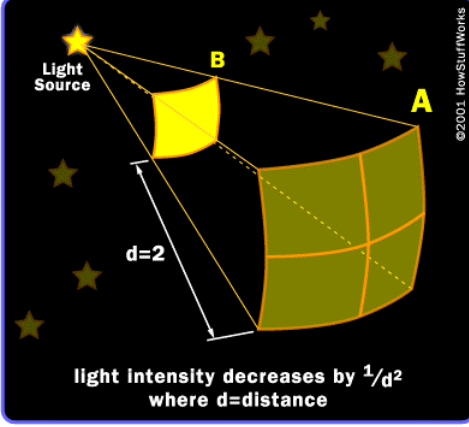
- * Pourquoi la nuit est-elle noire?
- * Pourquoi le ciel est-il bleu? Et rouge au soleil couchant
- * Le rayon vert
- * Arc en ciel, comment, pourquoi?
- * Les aurores , mirages et autres phénomènes atmosphériques ne seront pas traités aujourd'hui et feront l'objet d'une présentation ultérieure

© Jean-Pierre MARTIN

2

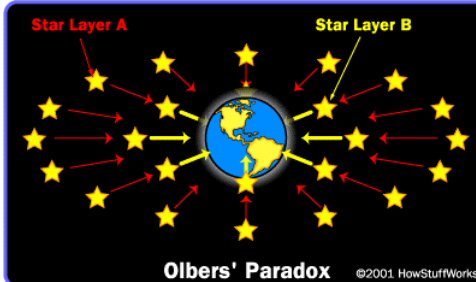


- 
- * En fait si l'Univers était isotrope et immensément grand et avait un nombre infini d'étoiles, le ciel devrait briller de mille feux
 - * Si la répartition des étoiles est uniforme, en effet même si on s'éloigne d'un facteur 2, les étoiles qui sont plus loin sont 4 fois moins lumineuses (loi en $1/d^2$) mais il y en a 4 fois plus (loi en d^2), donc on ne perd rien en lumière
 - * C'est ce que l'on appelle le paradoxe de Olbers, astronome allemand qui l'énonça en 1823 (après que cela eut troublé Halley et Kepler)
 - * Alors pourquoi la nuit est-elle noire??



L'INTENSITÉ LUMINEUSE DÉCROÎT EN $1/d^2$

LE NOMBRE D'ÉTOILES SUR LA COUCHE « A » A CRU DU FACTEUR d^2



© Jean-Pierre MARTIN

- * Et bien c'est qu'une de nos hypothèses ou les deux sont fausses!!!
- * On sait que l'Univers n'est pas infini et qu'il a eu un début il y a quelques 15 Milliards d'années (15Ga) (univers observable) ce qui veut dire que le nombre d'étoiles est fini (même si énorme: 10^{21}), la lumière des premières proto étoiles nous apparaît seulement maintenant, due à la VALEUR FINIE DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE
- * De même si une galaxie située à 15 Gal a commencé à émettre de la lumière il y a 10 Ga, on ne la verra que dans 5 Ga à cause de la vitesse de la lumière, sa contribution à la lumière du ciel actuel sera nulle
- * (Notation : M = million G = milliard)

© Jean-Pierre MARTIN

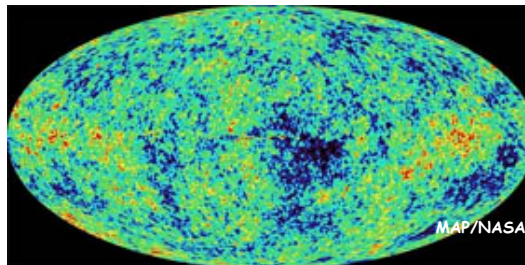
- * D'autre part on sait depuis Hubble que les galaxies d'étoiles s'éloignent (expansion) de nous en « fatiguant » leurs lumières, leurs longueurs d'onde s'allonge, il y a un déplacement vers le rouge (redshift), leurs lumières ne sont pas aussi brillantes (dans le visible)
- * Ces radiations transportent de moins en moins d'énergie avec le temps (ou avec la distance)

© Jean-Pierre MARTIN

7

DONC

- * La nuit est noire car la vitesse de la lumière est finie (horizon cosmologique) et l'univers (qui est lui aussi fini) est en expansion
- * Mais alors, le flash du Big Bang on devrait le voir, ou du moins ce qu'il en reste
- * C'est exact c'est le bruit de fond cosmologique (CMB), la lumière originelle s'est tellement « fatiguée » qu'elle est émise dans le domaine des micro ondes, c'est le rayonnement à 2,7°K



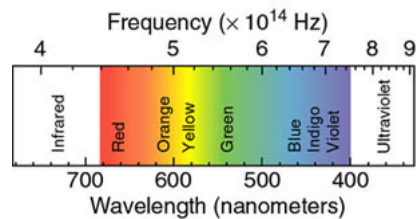
© Jean-Pierre MARTIN

QU'EST CE QU'UNE COULEUR?



PHOTO JPM

© Jean-Pierre MARTIN



- * Les fleurs éclairées par de la lumière blanche (soleil) paraissent jaunes
- * Car elles absorbent toutes les longueurs d'onde SAUF le jaune 9

BLANC & NOIR



- * Un objet apparaît BLANC quand il n'absorbe aucune longueur d'onde visible
- * Toutes les longueurs d'onde sont diffusées dans toutes les directions
- * Un objet apparaît NOIR quand il absorbe toutes les longueurs d'onde
- * Il ne réfléchit donc aucune longueur d'onde
- * Un rayon lumineux peut être soumis à de la:
 - Réflexion
 - Diffusion
 - Transmission
 - Réfraction
 - Diffraction

© Jean-Pierre MARTIN

10

RÉFLEXION

Angle of Incidence Angle of Reflection

DIFFUSION

RÉFLEXION ET RÉFRACTION

Incident Ray Reflected Ray

Milieu 1

Milieu 2

Refracted Ray

© Jean-Pierre MARTIN

11

Long radio waves AM radio Short-wave radio Television, FM radio Microwaves Infrared Visible light Ultraviolet X-rays Gamma rays

0.7 Red 0.4 Violet

1000 m 1 m 1000 μ m 1 μ m 0.001 μ m

Long wave radiation Short-wave radiation

White Light

Prism

Screen

Red
Orange
Yellow
Green
Blue
Violet

Increasing Wavelength

Amplitude

Wavelength

Blue Light

Red Light

© Jean-Pierre MAR1

12

POURQUOI LE CIEL EST-IL BLEU?



PHOTO JPM

* Il faut s'intéresser à ce qui arrive aux rayons lumineux du Soleil qui atteignent la Terre

13

© Jean-Pierre MARTIN

ATMOSPHÈRE ATMOSPHÈRE....

- * Elle est composée de molécules de gaz (principalement N₂ et O₂) ainsi que H₂O et des poussières en suspension
- * L'atmosphère est plus dense vers le sol qu'en altitude
- * La lumière blanche est une combinaison de toutes les couleurs (voir prisme)
- * La lumière traverse l'atmosphère en rencontrant les molécules de gaz et elle est diffusée par ces molécules (qui sont PLUS PETITES que la longueur d'onde)
- * Elle est diffusée par ces molécules (réfléchiée dans toutes les directions) de façon dépendante de λ , plus λ (haute fréquence, haute énergie) est court et plus elle est diffusée (loi en λ^{-4})
- * Le bleu est la longueur d'onde la plus courte, le rouge la plus longue (en anglais diffusion : scattering)

14

© Jean-Pierre MARTIN

C'EST LA DIFFUSION RAYLEIGH



- * Ce phénomène a été expliqué pour la première fois par Lord Rayleigh (professeur de physique à Cambridge) en 1871 , mais en fait découvert un peu plus tôt en 1859 par John Tyndall
- * Ce sont donc les rayons bleus qui sont diffusés plus que les autres qui donnent au ciel cet aspect bleu



© Jean-Pierre MARTIN

PHOTO JPM

MAIS ALORS POURQUOI LE CIEL DU SOLEIL LEVANT OU COUCHANT EST-IL ROUGE?



- * Est-ce contradictoire??



© Jean-Pierre MARTIN

PHOTO JPM

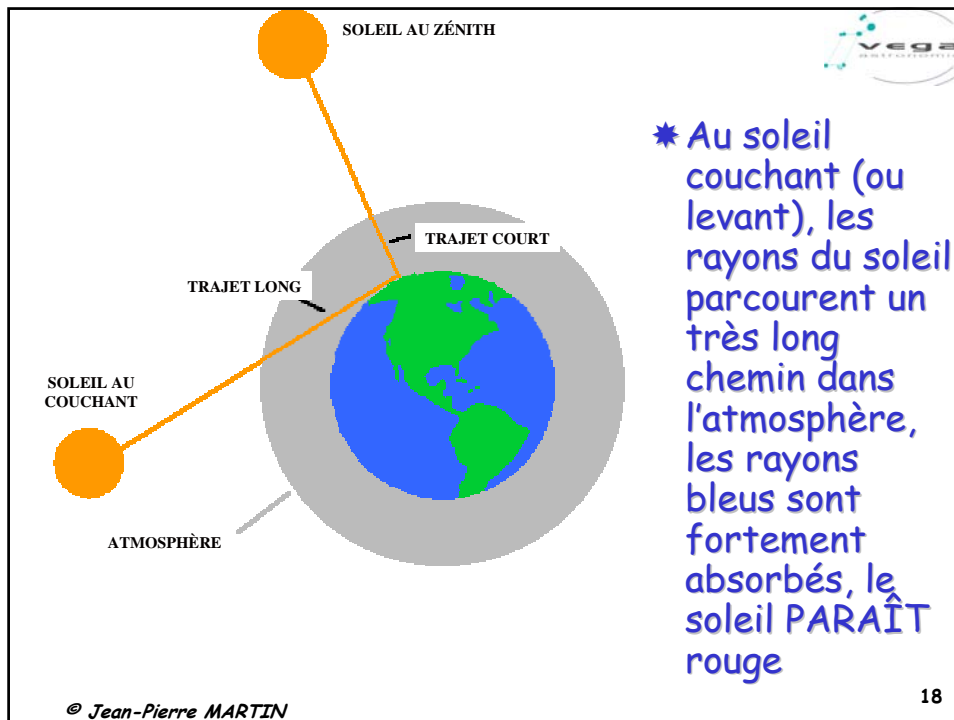
À MÉMORISER !



- * Les longueurs d'onde courtes (bleu) sont celles qui diffusent le plus (10 fois plus que rouge)
- * Les longueurs d'onde courtes (bleu) sont celles qui sont aussi le plus absorbées par l'atmosphère
- * Quand le chemin est court (soleil haut dans le ciel), le 1er phénomène est prépondérant
- * Quand le chemin est long (soleil couchant, levant) le 2ème est prépondérant

© Jean-Pierre MARTIN

17



© Jean-Pierre MARTIN

18

* Vu de l'espace, le ciel a sa couleur naturelle.... Le NOIR



NASA NASA

© Jean-Pierre MARTIN

19

MAIS ALORS POURQUOI LES NUAGES SONT-ILS BLANCS?



PHOTO JPM

© Jean-Pierre MARTIN

20



- * L'eau est transparente, alors pourquoi les nuages qui contiennent des particules d'eau et de glace et/ou des poussières sont-ils blancs?
- * Bonne question, dans ce cas, la lumière rencontrent des particules qui sont PLUS GRANDES que la longueur d'onde
- * La diffusion Rayleigh ne s'applique plus
- * C'est le phénomène de diffusion de Mie (d'après Gustav Mie en 1908)
- * La diffusion n'a plus de fréquence privilégiée, le rayonnement a la couleur du soleil : de la lumière ...blanche (mélange de toutes les λ)

© Jean-Pierre MARTIN

21



- * Ils peuvent apparaître gris ou noirs quand ils sont très épais et très chargés en eau
- * Dans ces conditions la lumière blanche est absorbée
- * Les nuages peuvent paraître gris ou noirs

© Jean-Pierre MARTIN

22

QUI A VU LE RAYON VERT ?

En anglais : *Green flash* ou *Green ray*

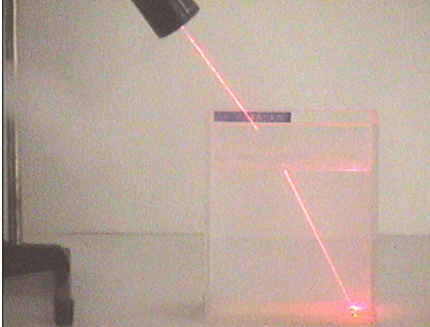
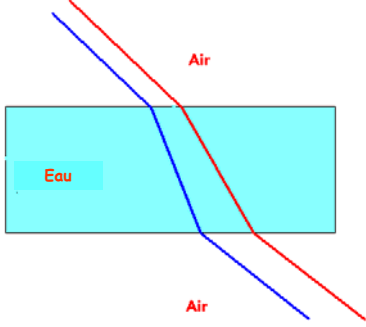
- * Lorsque le Soleil se couche, parfois une étrange lueur verte apparaît
- * À quoi cela est-il dû? Est-ce réel?



Photo © Paviainen

© Jean-Pierre MARTIN

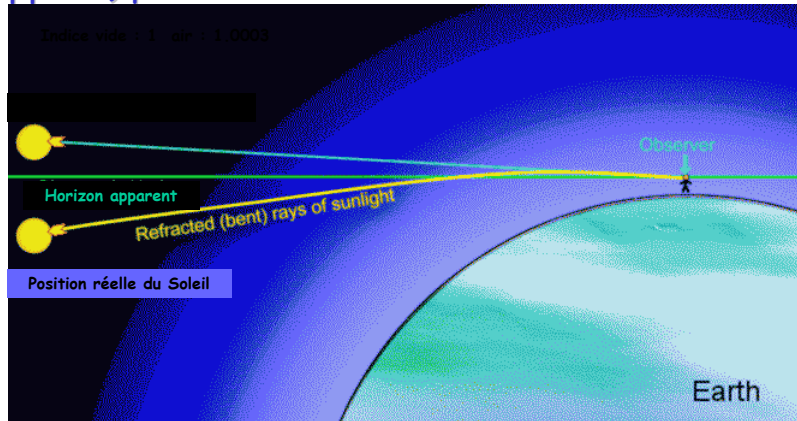
- * Ce phénomène compliqué fait appel à toutes les lois de l'optique
- * La RÉFRACTION, connue par le prisme de Newton et plus généralement, les rayons lumineux sont plus ou moins courbés lors du passage d'un milieu à un autre



© Jean-Pierre MARTIN

24

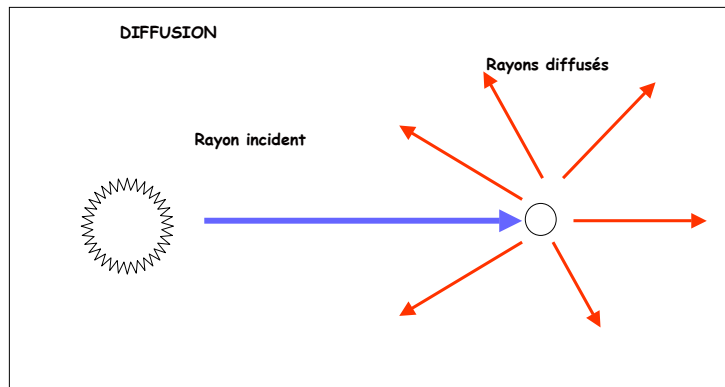
- * Les rayons solaires passent du vide de l'espace à notre atmosphère
- * Il y a donc réfraction de ses rayons (0.03%)
- * En fait le soleil est DÉJÀ couché (de son diamètre approx) quand on le voit « tomber » dans l'océan



© Jean-Pierre MARTIN

25

- * La DIFFUSION que l'on vient de voir avec l'effet Rayleigh et le bleu du ciel
- * Les rayons diffusés dépendent de la taille des particules qui diffusent



© Jean-Pierre MARTIN

26



- * Au lever et au coucher du Soleil, les rayons lumineux passent par une épaisseur très importante d'atmosphère
- * La lumière est réfractée différemment suivant les longueurs d'onde (bleu plus que rouge)
- * Comme nous l'avons vu la bleue est diffusée et absorbée fortement (soleil rouge)
- * Plus le Soleil « s'enfonce » dans l'eau, plus certaines couleurs disparaissent de notre vue (en commençant par le rouge)
- * Il ne devrait rester que le bleu et le vert vers la fin, mais le bleu diffuse énormément
- * Les derniers feux sont donc VERTS quand on a la chance de les voir (1/10 à 1 sec)

© Jean-Pierre MARTIN

27

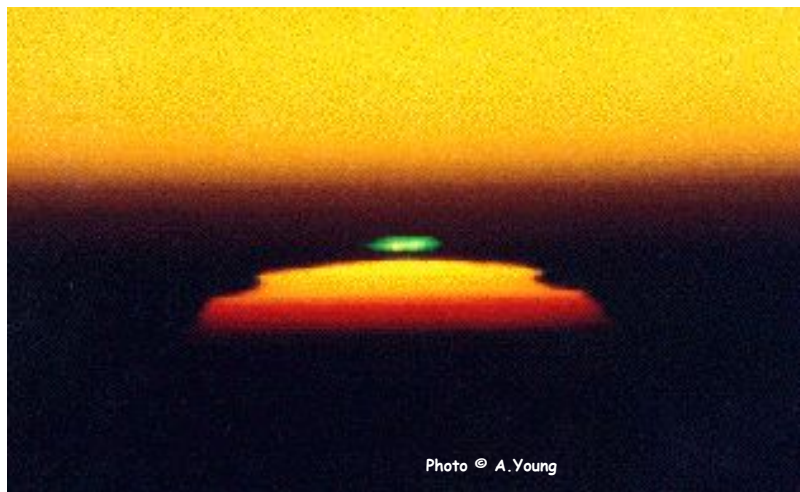


Photo © A. Young

© Jean-Pierre MARTIN

28

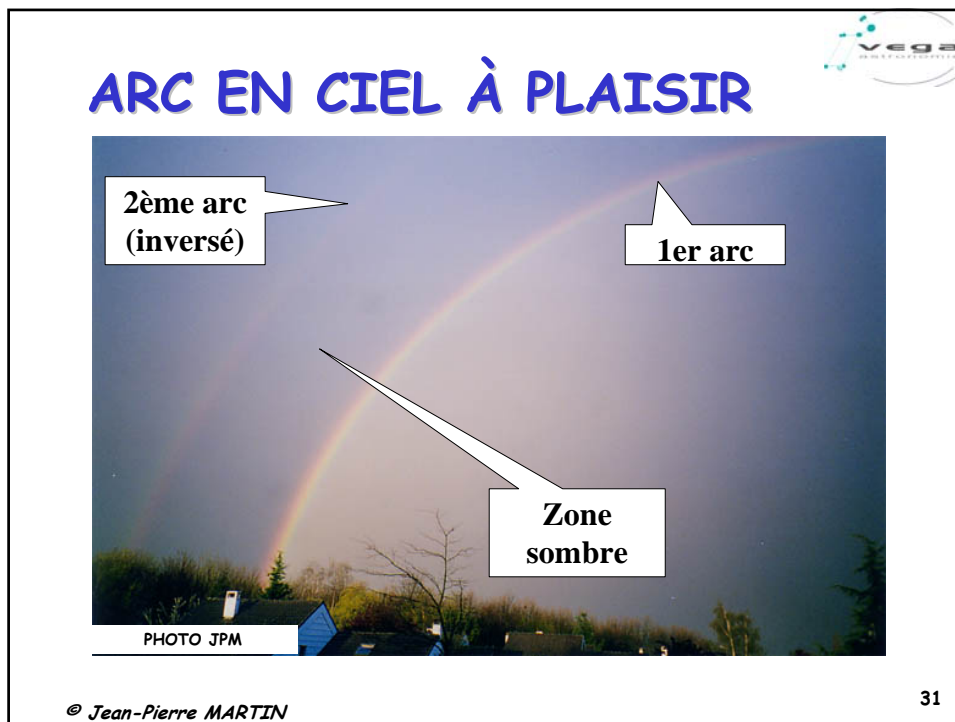



POURQUOI L'ARC EN CIEL?

- * Tout le monde a vu un arc en ciel (rainbow en anglais) mais qui peut l'expliquer
- * On dit vaguement que c'est après la pluie , c'est vrai
- * On dit que l'on a toujours le soleil dans le dos quand cela se produit, c'est vrai
- * Comment sont disposés les couleurs, ah là ça devient déjà plus difficile, qui sait?
- * Qui a remarqué qu'il y avait très souvent un 2ème arc et qu'à l'extérieur du 1er, le ciel semblait plus sombre
- * Faisons le point

© Jean-Pierre MARTIN

30

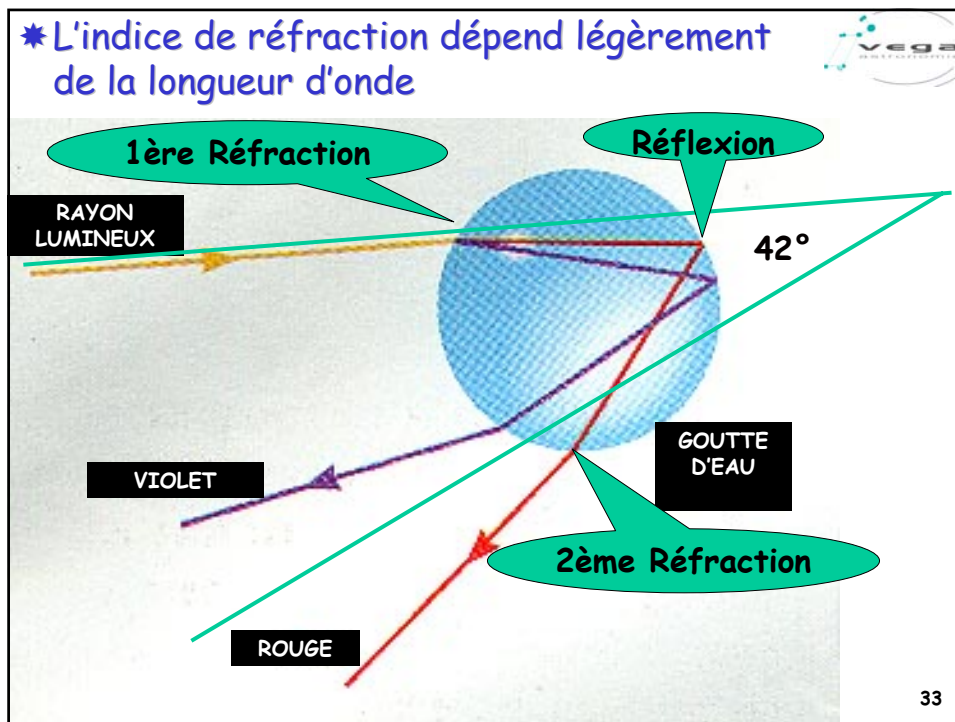




- * C'est Aristote le premier qui chercha l'explication, il comprit qu'il y avait un angle particulier des rayons du soleil qui favorisait le phénomène
- * C'est Roger Bacon qui en 1266 mesura cet angle : 42°
- * À la fin du XIII^{ème} siècle Dietrich de Freiberg, un Dominicain Allemand, comprend le mystère de l'arc en ciel, il est le premier à expliquer le système de réflexion et réfraction à l'intérieur des gouttes d'eau
- * Descartes va plus tard retrouver cette justification physique du phénomène : une double réfraction et une réflexion à l'intérieur des gouttes d'eau
- * Newton va tout mettre en équation dans son traité sur l'optique
- * Voyons cela

© Jean-Pierre MARTIN

32

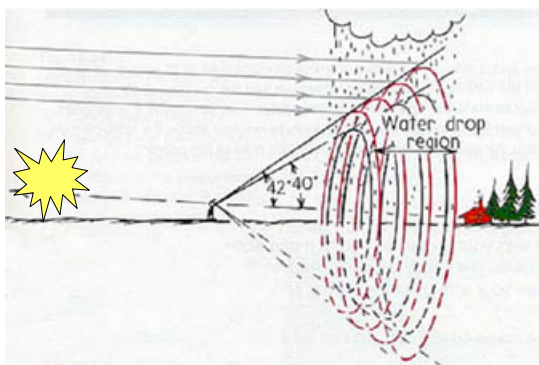


- * Les gouttes d'eau jouent le rôle de prismes
- * Si on considère tous les angles d'incidence des rayons lumineux sur la gouttelette, on prouve que:
- * Il existe une ZONE PRÉFÉRENTIELLE où la lumière s'accumule (un calcul mathématique pas trop trapu le démontre)
- * Cet angle entre le rayon lumineux (la direction du soleil) et le rayon sortant donnant naissance à l'arc en ciel est de 138° (ou 42° suivant la façon de compter), il ne dépend pas de la taille des gouttes
- * Mais cet angle dépend de n , ce qui donne naissance à l'arc de toutes les couleurs, le violet dévié au max et le rouge le moins dévié (extérieur)
- © Jean-Pierre MARTIN
- 34



POURQUOI UN ARC?

- * En fait ce qui se produit pour UNE goutte d'eau se produit pour TOUTES les gouttes d'eau
- * Toutes les gouttes d'eau émettant préférentiellement de la lumière à 42° de NOTRE LIGNE DE VISÉE, on voit donc bien logiquement un CERCLE centré sur cette ligne de visée qui nous est PERSONNELLE



© Jean-Pierre MARTIN



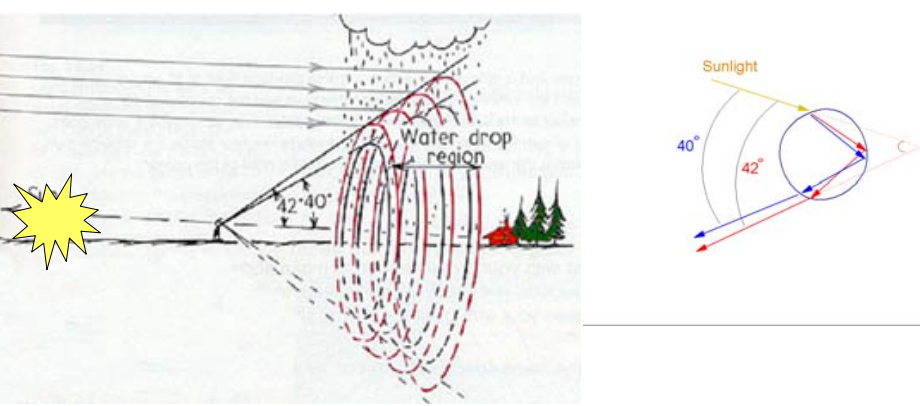
- * Chacun voit donc son PROPRE ARC EN CIEL
- * Du sommet d'une montagne (ou d'un avion) on verrait un cercle entier, du sol, ce cercle est interrompu par l'horizon

Photo © Roddy Scheer



© Jean-Pierre MARTIN

*** Chaque couleur a son propre arc en ciel**
*** Pour le bleu il est de 40° Pour le rouge de 42°**
*** Ces rayons se répartissent sur un cône dont le sommet est l'observateur d'ou ARC**

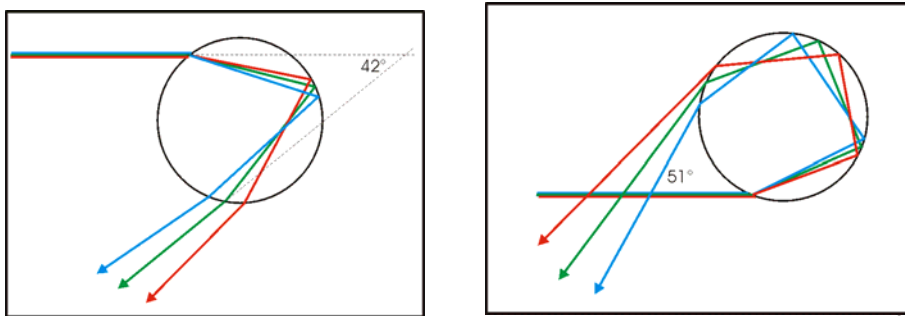


© Jean-Pierre MARTIN 37

ET LE DEUXIÈME ARC?

*** Dans de bonnes conditions atmosphériques, on voit généralement un 2ème arc plus faible et inversé. Pourquoi?**

Arc primaire : 1 réflexion **Arc secondaire : 2 réflexions**



© Jean-Pierre MARTIN 38



- * On remarquera que l'arc secondaire est situé **AU DESSUS** du primaire 51° au lieu de 42)
- * Et que bien logiquement ses couleurs **SONT INVERSÉES**



© Jean-Pierre MARTIN

39



ALEXANDRE'S BANDE!

- * Les zones des deux arcs étant des zones où la densité de lumière est forte (par définition), il en résulte qu'il y a entre ces deux arcs
- * Une bande sombre, appelée bande sombre d'Alexandre, philosophe grec de la ville de Aphrodisias qui le premier remarqua le phénomène (ne pas confondre avec Alexander's ragtime band, c'est autre chose.....)

© Jean-Pierre MARTIN

40

UNE BELLE PHOTO DE LA BANDE SOMBRE



*Burnsville, MN June 8, 2001
© Andrew Revering*

© Jean-Pierre MARTIN 41

- * En fait le phénomène d'arc en ciel est plus complexe
- * Il y a aussi les arcs surnuméraires situés au dessous de l'arc primaire
- * Les côtés extérieurs des arcs qui sont plus lumineux que le reste du ciel
- * Tout ceci ne peut pas être traité ici




Photo © John Day

© Jean-Pierre MARTIN 42



- * L'arc en ciel ne se produit pas que dans le ciel quand il pleut
- * N'importe quelle situation impliquant de l'eau comme ici aux grandes eaux de Versailles crée les bonnes conditions pour ce phénomène

PHOTO JPM

43

À SUIVRE



- * Une prochaine fois nous étudierons des phénomènes tels que :
- * Aurores
- * Mirages
- * Piliers solaires
- * La gloire
- * Etc...
- * Questions et suggestions à envoyer à :
jpm.astro@wanadoo.fr

© Jean-Pierre MARTIN

44

