

L2 Ecologie

Les normes de réaction

Marc Girondot
marc.girondot@universite-paris-saclay.fr
Bâtiment 362, RDC

1

Génotype vs. phénotype

- Le Génotype correspond à l'information contenue dans le génome d'un individu.
- Le Phénotype correspond à l'ensemble des caractères de l'individu.

2

Diversité génétique

- La diversité génétique désigne le degré de variétés des gènes au sein d'une même espèce, correspondant au nombre total de caractéristiques génétiques dans la constitution génétique de l'espèce (voire de la sous-espèce). Elle décrit le niveau de la diversité intraspécifique.
- Rappel : Dogme central de la biologie moléculaire
 - ADN → ARN → Protéines
 - Génotype → phénotype

3

Diversité génétique

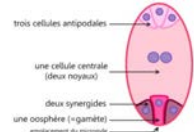
- Rappel : Dogme central de la biologie moléculaire
 - ADN → ARN → Protéines
 - Génotype → phénotype
- Lorsque Francis Crick formula cette théorie en 1958, il utilisa l'expression « *central dogma of molecular biology* ». Le mot dogme prête ici à confusion, car il s'agit plutôt d'une hypothèse scientifique et non pas d'une doctrine établie comme une vérité incontestable.
 - Le dogme est ce qui distingue une science d'une religion

Crick FH (1958). "On Protein Synthesis". In F. K. Sanders (ed.). Symposia of the Society for Experimental Biology, Number XII: The Biological Replication of Macromolecules. Cambridge University Press. pp. 138–163.

4

Les variants génotypiques

- L'apparition de variants génotypiques fait appel aux mutations, changement dans l'ADN au niveau d'une cellule germinale.
- Notez que chez les animaux, la sélection s'effectue majoritairement sur le produit du zygote (diploïde) alors que chez les végétaux elle peut se produire dès le gamétophyte (haploïde).



5

Schistocerca gregaria (Forskål, 1775)



Phase grégaire



Le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) appartient à la catégorie des acridiens de type locuste présentant un phénomène de polymorphisme phasaire, c'est-à-dire la possibilité de développer des aspects variés et réversibles, selon la densité des populations, elle-même fonction des conditions écologiques et météorologiques.

Les individus se développant en phase grégaire mangent leur poids de feuille par jour.



Phase solitaire

6

Mesure de l'héritabilité d'un caractère

$$V_p = V_g + V_e$$

Avec V_p = variance phénotypique
 V_g = variance génétique
 V_e = variance due à l'environnement

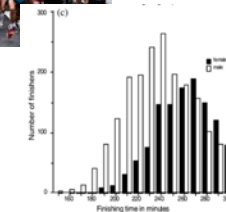
7

Variabilité des performances



Variabilité: Exemple de la durée pour parcourir le marathon de Vancouver en 1999.

Y-a-t-il une base génétique à la performance ?



8

Héritabilité de quelques traits liés à la performance sportive

Heritability estimates for some physical performance phenotypes

Variable	Heritability estimate (%)
Sub maximal aerobic performance	
Base-line	48-74*
Response to training	23-57*
Aerobic power	35-40
Maximum aerobic power	38-86
Ventilatory threshold	
In sedentary individuals	58*, 54'
Relative to $\dot{V}O_{2max}$	38*, 39'
Response to training	22', 51'
$\dot{V}O_{2max}$ (various measures)	59-87
$\dot{V}O_{2max}$ in sedentary individuals	<50
$\dot{V}O_{2max}$ response to exercise	47
Anaerobic capacity ^d	62-85
Explosive power ^d	22-93
Anaerobic threshold (various measures)	55-80
Anaerobic capacity	31-86

Rupert, J.L., 2003. The search for genotypes that underlie human performance phenotypes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 136, 191-203.

Les valeurs d'environ 50% indiquent que 50% de la variabilité phénotypique sur la performance ont une base génétique et donc 50% ont une base environnementale.

9

Plasticité phénotypique

- La plasticité phénotypique inclut tous les processus qui à partir d'un même génotype peuvent conduire à plusieurs phénotypes distincts.

10

La plasticité phénotypique

- Exemple des bonsaïs naturels



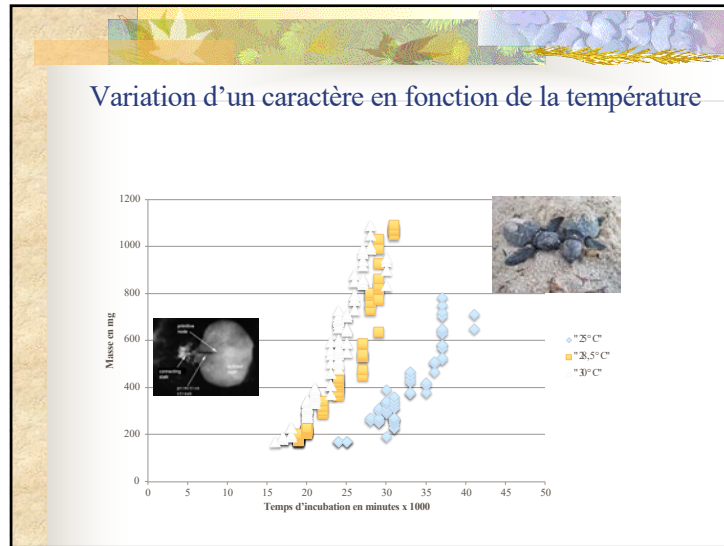
Eastern White Pine (*Pinus strobus* L.)

11

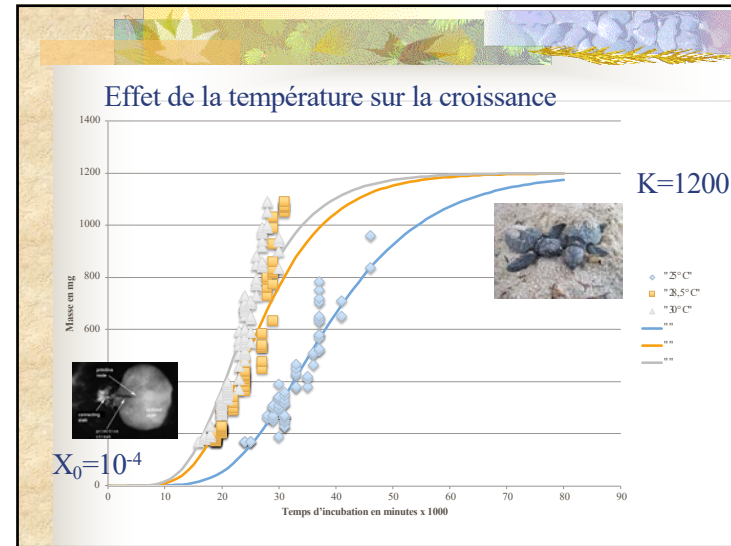
La plasticité phénotypique

- La plasticité phénotypique peut fournir un phénotype avantageux mais celui-ci n'étant pas déterminé sur une base de variant génotypique, il ne pourra pas être soumis directement à la sélection naturelle.
- Par contre, la capacité d'un individu à développer ou non une plasticité phénotypique peut être soumise à sélection.

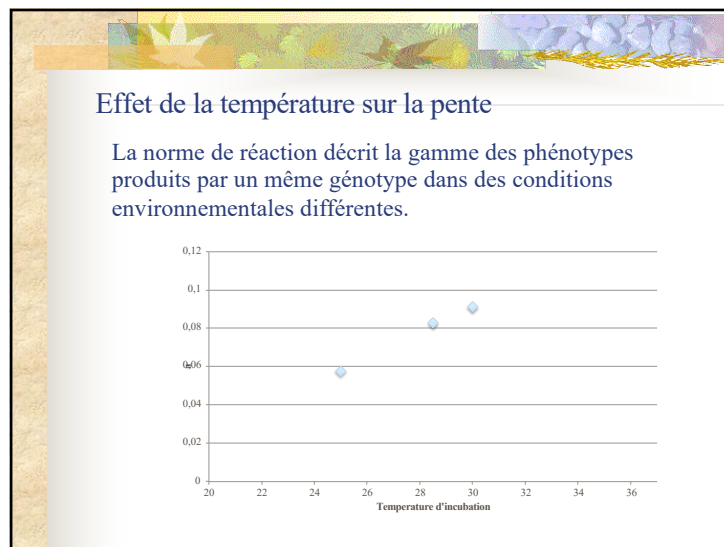
12



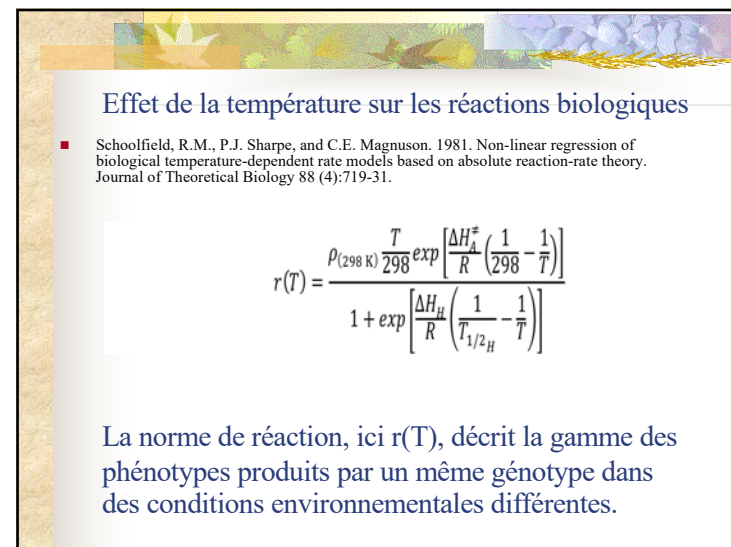
13



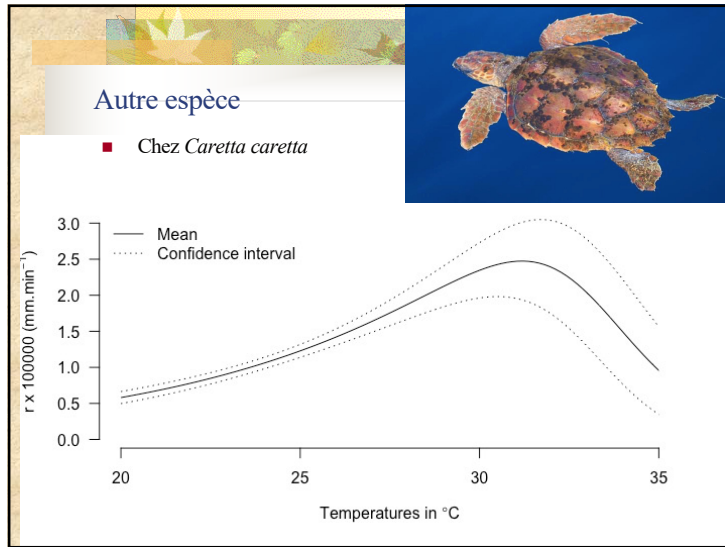
14



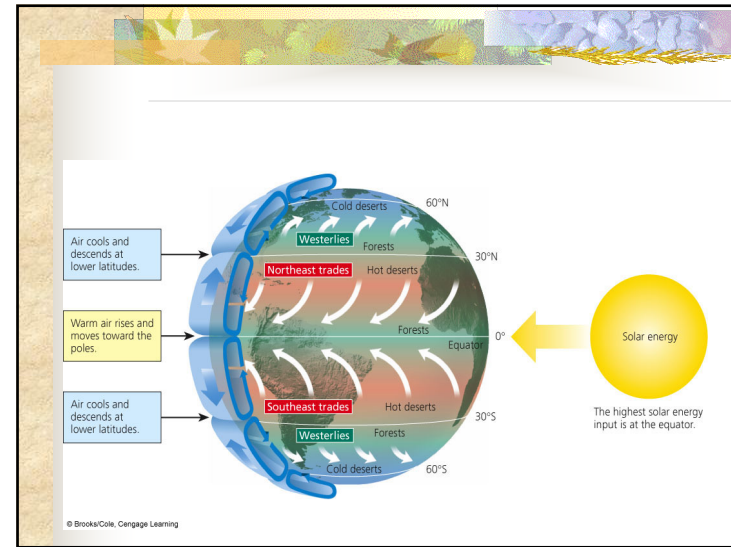
15



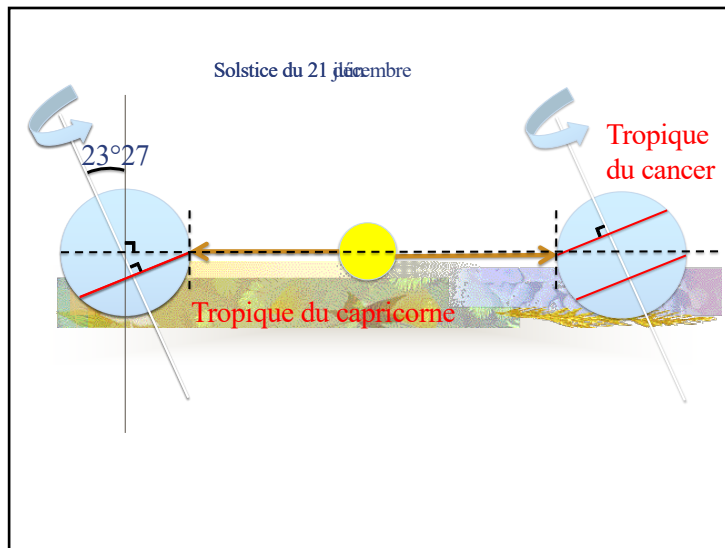
16



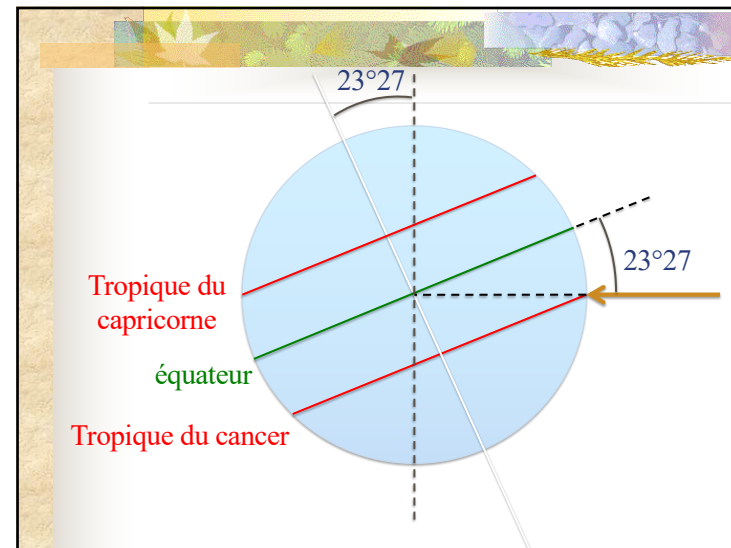
17



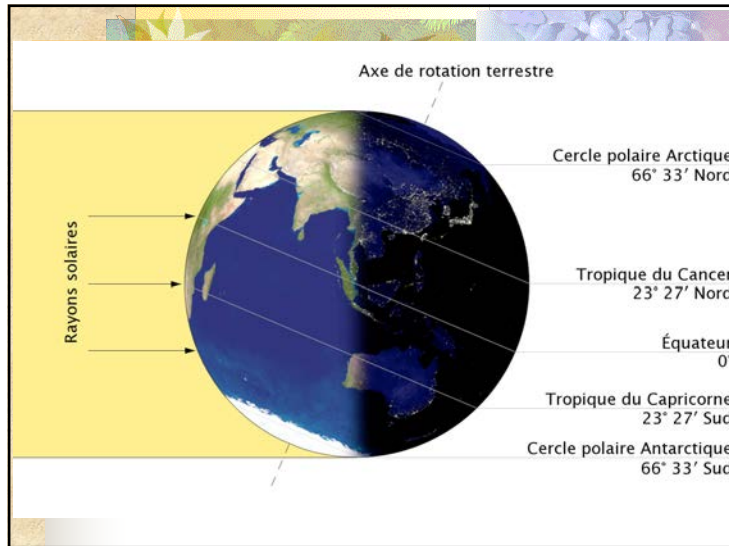
18



19



20



21

La température dans un écosystème

- Parmi les composantes abiotiques, la température apparaît comme une composante essentielle permettant d'expliquer le niveau de biodiversité.
- Il faut cependant noter que beaucoup d'autres composantes abiotiques sont corrélées à la température et qu'il est souvent difficile de distinguer l'effet relatif de ces différentes composantes.

22

“corrélé”... qu'est-ce qu'une corrélation ?

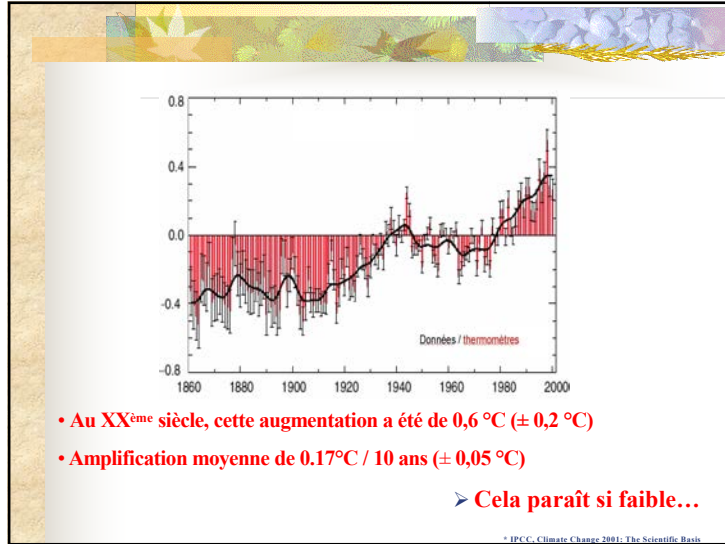
- Le terme corrélation dans l'activité scientifique désigne une relation entre deux variables quantitatives sur lesquelles vous n'avez pas de contrôle, c'est à dire des variables aléatoires.
- Elle se mesure grâce à un coefficient de corrélation nommé en général r .
- Attention, la corrélation n'implique pas de causalité.

23

Tendances

- Le réchauffement observé au XX^{ème} siècle ait été le plus important des 1000 dernières années

24



25

• Et pourtant, cela fait 5 °C en 3 siècles

5 °C = ce qui différencie une période glaciaire d'un « optimum interglaciaire »

comme celui que nous vivons actuellement

26

Facteurs abiotiques dans un écosystème

LA TEMPÉRATURE

27

LES UNITÉS

28

Définition d'un système d'unités

- Un système d'unités de mesure est défini par un choix conventionnel de grandeurs de base auxquelles sont associées des unités.
- En 1961, la France a adopté le Système International d'unités SI, nommé précédemment MKSA (Mètre, Kilogramme, Seconde, Ampère) ou de GIORGI (ingénieur italien 1871 - 1950).
 - C'est la Conférence générale des poids et mesures, rassemblant des délégués des États membres de la Convention du Mètre (traité international signé le 20 mai 1875 à Paris), qui décide de son évolution, tous les quatre ans, à Paris.
- Il est utilisé dans l'ensemble des pays à l'exception des États-Unis, du Liberia et de la Birmanie où il n'est pas officiellement adopté.
- La norme internationale ISO 80000-1:2009 décrit les unités du Système international et les recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités.
 - ISO est le nom de l'organisation de normalisation, 80000 est le numéro de la norme, 1 est sa révision et 2009 est l'année de publication.

29

L'ISO



- Lors d'une réunion tenue à Londres en 1946, les délégués de 25 pays décidèrent de créer une nouvelle organisation internationale dont l'objet serait de "faciliter la coordination et l'unification internationales des normes industrielles". La nouvelle Organisation, ISO, entra officiellement en fonction le 23 février 1947 à Genève (Suisse).
- Dérivé du mot grec isos, signifiant « égal ». La forme longue « Organisation internationale de normalisation » appelle une traduction, mais, quelle que soit la langue, la forme courte est toujours ISO.

30

L'organisation actuellement

- L'ISO est un réseau d'instituts nationaux de normalisation de 157 pays, selon le principe d'un membre par pays, dont le Secrétariat central, situé à Genève, Suisse, assure la coordination d'ensemble.
- L'ISO est une organisation non gouvernementale: ses membres ne sont pas, comme dans le système des Nations Unies, des délégations des gouvernements nationaux.
- L'ISO peut donc agir en tant qu'organisation de liaison permettant d'établir un consensus sur des solutions répondant aux exigences du monde économique et aux besoins de la société, notamment ceux de parties prenantes comme les consommateurs et les utilisateurs.



31

Le système d'unités SI

- Système SI (sept grandeurs et unités de base)

Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps	seconde	s
Intensité électrique	ampère	A
Température thermodynamique	kelvin	K
Quantité de matière	mole	M
Intensité lumineuse	candela	c
- 19 unités dérivées, résultant de combinaisons d'unités de base d'après des relations algébriques (multiplication et division) liant les grandeurs correspondantes ont reçu des noms et des symboles spéciaux :

Température Celsius	degré Celsius	°C
---------------------	---------------	----

32

Unités du Système International

- Des unités hors SI sont cependant admises dans le système SI car d'usage courant, par exemple:
 - minute min 60 s
 - heure h 3600 s
 - jour j, d 86 400 s
 - litre l, L 10⁻³ m³

33

Convention d'écriture

- Les nombres s'écrivent avec des chiffres arabes en caractères romains (droits).
- Pour les nombres à partie décimale, la virgule sépare la partie entière de la partie décimale.
 - 3,141
- Si un nombre a plus de quatre chiffres chaque groupe de trois chiffres, doit être séparé par un espace insécable.
 - 23 456
 - En typographie, une espace était la lamelle de plomb séparant deux mots. Par contre, l'intervalle séparant deux objets est masculin. Donc l'espace typographique entre deux mots peut être indifféremment masculin ou féminin.
- La séparation n'existe pas pour les nombres de quatre chiffres désignant une date ou un millésime (l'an 2000).
 - An 2000

34

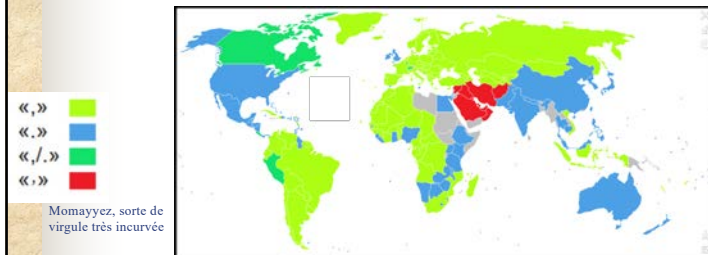
Point ou virgule décimales : historique

- Un séparateur décimal est un symbole utilisé pour partager la partie décimale de la partie entière d'un nombre décimal.
- Au Moyen-Âge, on surlignait la partie entière d'un nombre. Cet usage a disparu lorsque l'usage de l'imprimerie se répandit.
 - 314116
- En Angleterre on utilisait un point médian. On trouve cette notation dans des publications anglaises anciennes. Le Système international d'unités rejeta cette proposition car le symbole était déjà utilisé pour la multiplication.
 - 3•14116
- Jusqu'en 1997, seule la virgule était utilisée comme séparateur décimal par les organisations internationales (BIPM, ISO, etc.), dans toutes les langues, y compris l'anglais. Depuis, les normes internationales reconnaissent indifféremment l'usage du point ou de la virgule comme séparateur décimal, quelle que soit la langue.
 - Cela peut créer une confusion car la virgule est utilisée aux USA comme séparateur de milliers.

35

Point ou virgule décimales : usage

- Le symbole dépend des conventions régionales du système de numération ; communément, il est représenté par un point dans les systèmes anglo-saxons et par une virgule dans les autres systèmes.
 - En Suisse, le point décimal est utilisé pour les devises.



36

Conventions d'écriture

- Les noms d'unités sont des noms communs écrits en lettres minuscules. Ils prennent un "s" au pluriel sauf si les noms sont déjà terminés par un s, x ou z.
 - Exemples : des mètres, des kelvins, des newtons, des pascals, des siemens, des lux, des hertz
 - Le nom propre prend une majuscule quand il est associé à l'unité degré : degré Celsius car c'est « degré » qui porte la minuscule.
- L'abréviation du nom de l'Unité prend une majuscule si elle provient d'un nom propre (ie d'une personne ou d'un lieu) sinon elle reste en minuscule, à l'exception du litre qui peut s'écrire L pour éviter la confusion entre l et 1 :
 - K, L, kg, m
- Bien entendu si l'on désigne le nom de la personne ou un nom propre dont est tiré l'unité, il prend une majuscule :
 - Le kelvin de symbole K est en l'honneur de Lord Kelvin
- Les symboles d'unités sont invariables, ne prennent pas la marque du pluriel et se placent après la valeur numérique complète séparés de celle-ci par un espace insécable.
 - 4 m, 293,15 K, 17 °C
- Le symbole degré suit immédiatement son nombre, sans espace, sauf lorsque, s'agissant de température, il est lui-même suivi de l'abréviation précisant l'échelle utilisée. On écrira par exemple « un angle de 45° » mais « 25 °C ».

37

Exemples à ne faut pas faire



38

William Thomson, Lord Kelvin, (June, 26th 1824 Irland – December, 17th 1907)

Unités pour mesurer la température

- La température est une mesure de l'agitation atomique et moléculaire. Il s'agit d'une mesure macroscopique d'évènements microscopiques.
- L'unité de mesure de la température est le kelvin (symbole K) dans le système SI system. Les kelvins sont utilisés en l'honneur de William Thomson, Lord Kelvin, 1^{er} baron Kelvin, premier scientifique anoblit au Royaume-Uni pour ses contributions scientifiques

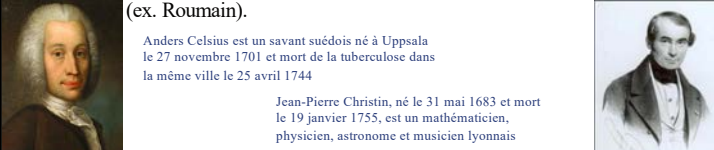


La rivière Kelvin est une petite rivière qui longe le laboratoire de William Thomson en Ecosse.

39

Les degrés centigrades et Celsius

- En 1742, l'échelle des degrés centigrades définie par Anders Celsius avait son zéro au point d'ébullition de l'eau et 100 degrés à son point de congélation.
- L'année suivante, le Français Jean-Pierre Christin inverse l'échelle, qui est désormais croissante du froid vers le chaud.
- En 1948 est définie l'échelle des degrés Celsius.
- L'échelle des degrés centigrades diffère légèrement de l'échelle des degrés Celsius (100 degrés centigrades=99,9839 degrés Celsius) et ne doit pas être utilisée car elle n'est pas une unité SI. Mais il peut y avoir des confusions car dans certaines langues, degré se dit grade (ex. Roumain).



Anders Celsius est un savant suédois né à Uppsala le 27 novembre 1701 et mort de la tuberculose dans la même ville le 25 avril 1744


Jean-Pierre Christin, né le 31 mai 1683 et mort le 19 janvier 1755, est un mathématicien, physicien, astronome et musicien lyonnais

40



Daniel Gabriel Fahrenheit
24 mai 1686 à Dantzig - 16 septembre 1736 à La Haye, Pays-Bas

Températures



René-Antoine Ferchault de Réaumur
28 février 1683 - 17 octobre 1757


- °C n'est plus une unité fondamentale depuis 1954, mais elle peut quand même être utilisée comme étant une unité dérivée du K.
- Les degrés °F, °Ré, °Ra n'ont jamais été des unités fondamentales.

$$K = °C + 273.15$$


$$°C = 0.55 (°F - 32)$$

$$°Ra = °C \times 1.8 + 32 + 459.67$$

$$°C = °Ré \times 1.25$$



Isothermes de janvier
Température isothermale
□ Au-dessus de 8°
□ 4 à 8°
□ 0 à 4°
□ -4 à 0°
□ -8 à -4°
□ Moins de 0°
www.jalisco.com

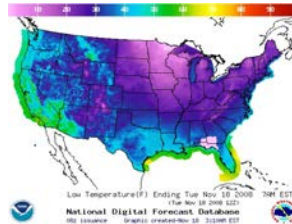


William John Macquorn Rankine
5 juillet 1820 à Édimbourg - 24 décembre 1872 à Glasgow

41

Les degrés Fahrenheit

- Historiquement, dans cette échelle, le point zéro était la température de solidification d'un mélange eutectique* de chlorure d'ammonium et d'eau, et le point 96 était la température du corps humain.
 - Le point de solidification de l'eau est de 32 degrés Celsius et son point d'ébullition de 212 degrés Celsius.
 - Eutectique: Qui fond ou se solidifie de façon uniforme.
- L'échelle de Fahrenheit n'est plus aujourd'hui utilisée qu'aux États-Unis, à Belize et aux Îles Caïman (et tolérée au Canada).

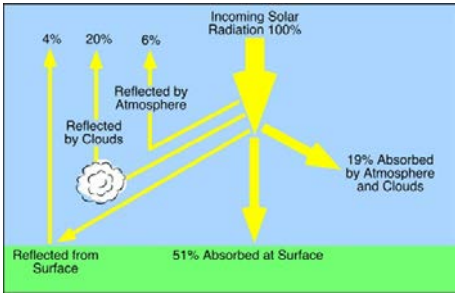


Low Temperature (F) Ending Tue Nov 10 2009 20h EST
The Nov 09 2009 22:27
National Digital Forecast Database
NOI issuance Graphic created Nov 10 2009 03:00 EST

42

Température de l'air


- The air temperature is dependent on sun irradiation:



43

Air and soil temperature

- The temperature is dependent on sun irradiation and loss of energy by infrared radiation:

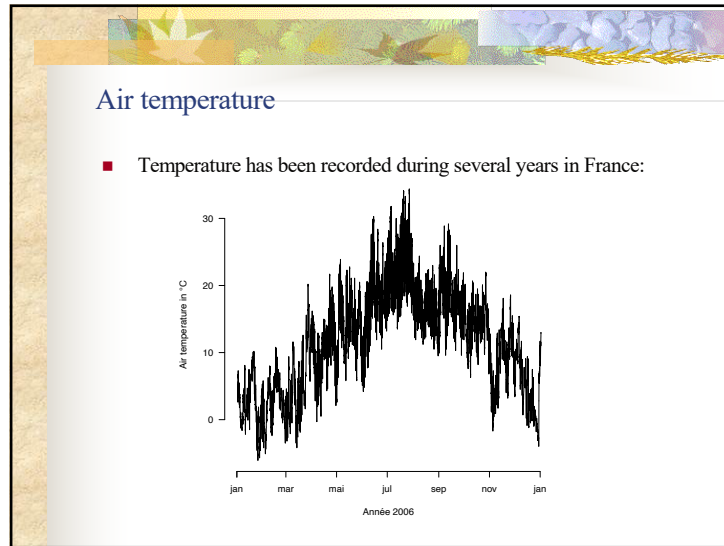


During the night, no energy is brought by sun and only loss exists:

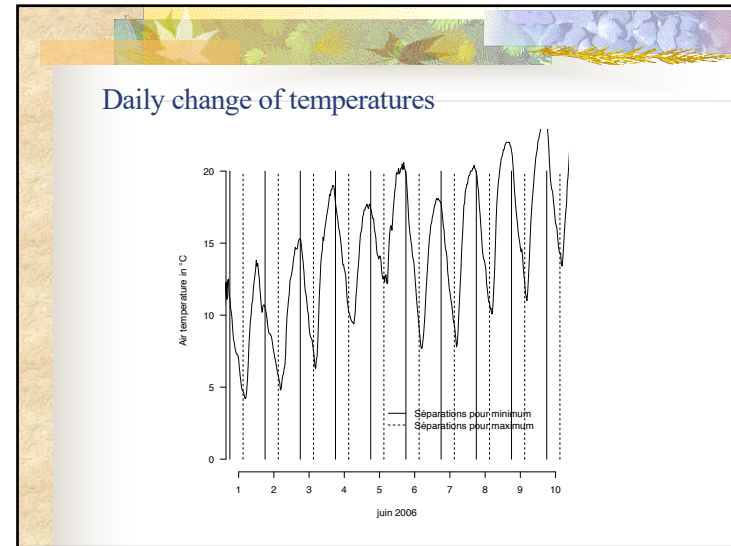
- The temperature is the lowest at sun rise in the morning

When is the maximum ?

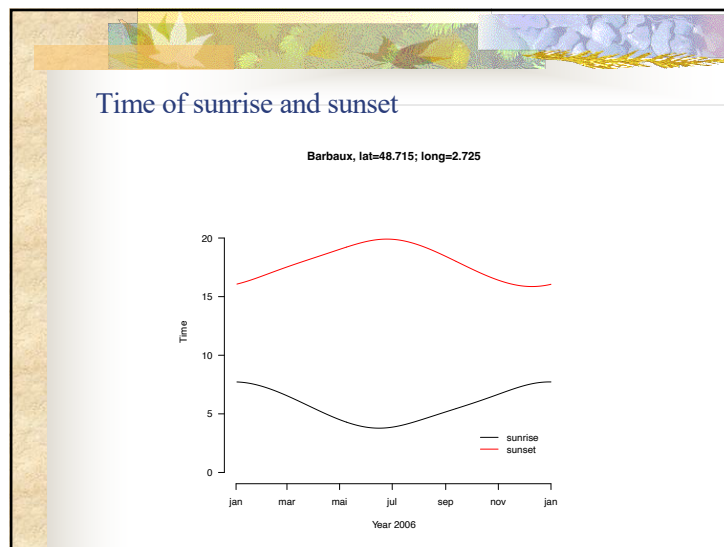
44



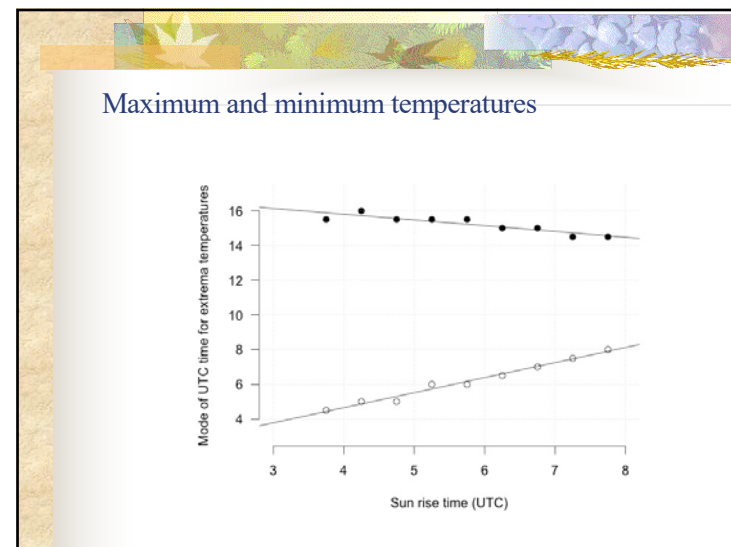
45



46



47



48

Model for soil daily temperature

- The daily thermal amplitude is lower at lower depth and the phase is shifted. The change of amplitude and phase shift depends on the thermal diffusivity of the soil:

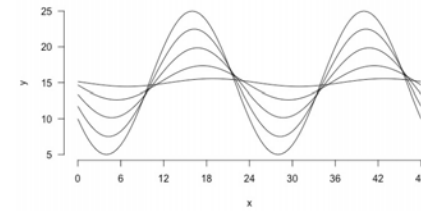
$$\delta(\omega) = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$$

- ω is the pulsation of periodic temperature signal, in $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

49

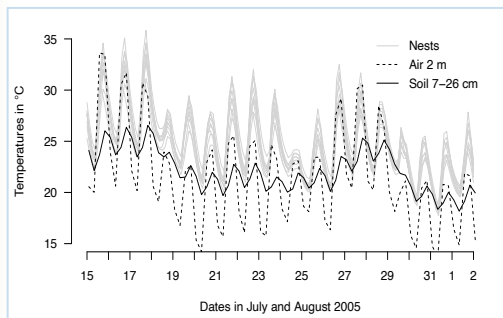
Example of series of temperatures in soil

- 0, 2, 5, 10 and 20 cm with $D=1\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$



50

Mesure de la température dans le sol d'un écosystème



Des points de mesure sont plus ou moins chaud de 3 °C.


51

Comment augmenter sa niche écologique ?

**DÉPENDANCE À LA
TEMPÉRATURE CHEZ LES
ANIMAUX**

52

Description de la tolérance des animaux

- Sténothermes: ne tolèrent qu'une faible gamme de températures
 - Poissons tropicaux
- Eurythermes: tolèrent une grande gamme de températures
 - Ex. : organismes intertidaux

53

Torpeur

- La torpeur est un état physiologique qui correspond à un arrêt de l'activité de l'animal.
- Cet état physiologique s'arrête dès que l'air se réchauffe ou se refroidit, c'est-à-dire que l'animal réajuste sa température interne afin de ne pas gaspiller d'énergie.
- L'entrée et la sortie de l'état de torpeur peut être très rapide.

54

Hivernation ou somnolence hivernale

- Entrecoupée de nombreux réveils et accompagnée d'une hypothermie modérée, l'hivernation n'entraîne pas une interruption de toutes les activités physiologiques.
- Ainsi, l'ours donne naissance aux petits pendant l'hiver. Les organes vitaux restent à une température normale pour réagir en cas de danger.



55

Hivernation: Le blaireau

- Le blaireau (*Meles meles*) est aussi un animal qui hiverne. Cela lui permet d'avoir une très grande aire de répartition.




56

Hivernation: le bourdon

- Il existe également des exemples d'hivernation chez les insectes tels que le bourdon terrestre (*Bombus terrestris*) qui butine en hiver avec des températures proches de 0 °C s'il y a du soleil.



57

L'hivernation

Loir en hibernation

- L'hivernation est un état d'hypothermie régulée, durant plusieurs jours ou semaines qui permet aux animaux de conserver leur énergie pendant l'hiver. Durant l'hivernation les animaux ralentissent leur métabolisme jusqu'à des niveaux très bas, avec la température de leurs corps et des taux respiratoires qui s'abaissent graduellement, et en utilisant les réserves de graisse du corps qui ont été stockées pendant les mois actifs.



58

Exemples d'organismes hibernant

Rongeur du genre *Spermophilus*



- Les animaux considérés comme hibernants sont : les marmottes, les loirs, les lérots, les spermophiles, les hérissons, le tenrec, le setifer (grand hérisson), les mouffettes, ainsi que certains hamsters, souris, chauve-souris et l'engoulevent de Nuttall, seul oiseau capable d'hiberner.

Phalaenoptilus nuttallii



59

Entrée en hibernation

- Plusieurs mois avant la période d'hivernation, les hibernants stockent et consomment énormément de nourriture. Par exemple, le spermophile passe de 150 grammes de masse corporelle à 350 grammes. Les réserves sont essentiellement des réserves lipidiques stockées sous la peau.

60

Entrée en hibernation

- La température corporelle de l'animal chute alors de façon spectaculaire jusqu'à ce que la température interne s'approche de 1 °C ou 2 °C.
- La thermorégulation ne s'arrête pas et la thermogénèse se remet en route pour maintenir la température intérieure de l'animal à une température acceptable si la température extérieure descend.
- L'hibernation n'est pas un état passif.

61

Contrôle de l'hibernation

- Le système nerveux est réactionnel. Cependant, seules les aires cérébrales jouant un rôle dans les fonctions végétatives autonomes (comme la respiration) restent véritablement actives. Les autres régions ne montrent pas d'activité corticale spontanée. Mais l'animal réagit aux bruits, au toucher, etc.
- La diminution de la vitesse de circulation du sang nécessite un abaissement de sa coagulabilité pour éviter le risque de formation de caillot. Ceci se fait par une baisse du taux de plaquettes et des facteurs de la coagulation.

62

Sortie de l'hibernation

- La sortie de l'hibernation se caractérise par un réchauffement rapide des différentes parties du corps, une augmentation de la fréquence cardiaque, etc. Ces mécanismes sont plus rapides que ceux de l'entrée en hibernation. Tout est rétabli en quelques heures.

63

Chez les organismes poïkilothermes: la brumation

- Les animaux poïkilothermes sont des animaux ayant une température corporelle qui varie avec celle de leur milieu. Par cette caractéristique, ils diffèrent et s'opposent aux homéothermes qui ont une température interne relativement stable.
- Chez les organismes poïkilothermes, l'activité est dépendante directement de la température corporelle de l'organisme et donc de celle du milieu. Ce mode de torpeur sans régulation a été appelé « brumation ».

Mayhew, Wilber W. 1965. Hibernation in the Horned Lizard, *Phrynosoma m'calli*. Comparative Biochemical Physiology. Vol 16, pp. 103-119.



64

Hivernage

- Les oiseaux migrateurs hivernent sur certains sites au terme de leur migration automnale. On entend donc ici l'hivernage comme une période de ravitaillement en attendant le retour vers les sites de nidification.



65

Hivernage

Quartiers de reproduction et d'hivernage de l'Oie des neiges et du Chevalier combattant. L'Oie des neiges migre du Nord canadien vers les plages de l'ouest, du sud et de l'est des USA, tandis que le Chevalier combattant, qui niche dans une vaste région du nord du paléarctique, hiverne dans une série d'habitats allant des marais de l'Afrique à ceux du sud et de l'ouest de l'Europe. La majorité de ces Chevaliers hivernent en Afrique, mais beaucoup, venant de l'est sibérien, gagnent les zones maritimes tempérées de l'ouest européen.




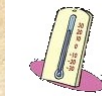
66

Les modalités d'échange de chaleur

- Absorption solaire
 - La chaleur absorbée dépend de la lumière disponible et de la couleur de l'animal.
 - Si les écailles, plumes ou poils sont brillants, une partie de la lumière sera réfléchi.
 - Possibilité de changer de couleur pour contrôler la température corporelle (polymorphisme, instantanément ou sur un rythme annuel).

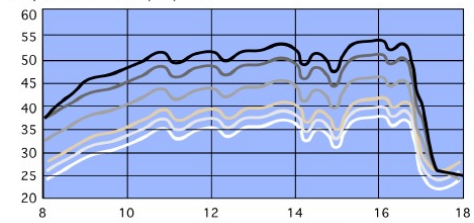
67

Effet de la couleur

Mesures le 25 juillet 1990

Température sous la plaque en °C




Heures dans la journée

68

Le polymorphisme des *Colias*

- Papillon ayant une large aire de répartition




Les papillons du genre *Colias* sont des exemples excellents de mélanisation alpine en présentant des clines altitudinaux à la fois au niveau intra-spécifique et inter-spécifique.

Ellers J, Boggs CL: Functional ecological implications of intraspecific differences in wing melanization in *Colias* butterflies. Biological Journal of the Linnean Society 2004, 82(1):79-87.

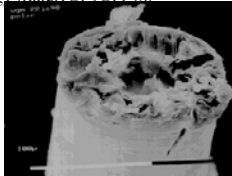
69

Le cas de l'ours polaire




Le poil de l'ours polaire éclairé en ultra-violet ne réémet aucune lumière d'où l'idée qu'il se comporte comme une fibre optique conduisant la lumière jusqu'à la peau de l'ours

- Grojean, R. E., Sousa, J. A., and Henry, M. C., "Utilization of solar radiation by polar animals: an optical model for pelts", *Appl. Opt.* 19, 339-46 (1980).
- Tributsch, H., Goslowsky, H., Küppers, U., and Wetzel, H., "Light collection and solar sensing through the polar bear pelt", *Sol. Energy Mater.* 21, 219-36 (1990).



70

Le cas de l'ours polaire



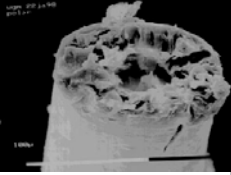
Le poil de l'ours polaire éclairé en ultra-violet ne réémet aucune lumière d'où l'idée qu'il se comporte comme une fibre optique conduisant la lumière jusqu'à la peau de l'ours

- Grojean, R. E., Sousa, J. A., and Henry, M. C., "Utilization of solar radiation by polar animals: an optical model for pelts", *Appl. Opt.* 19, 339-46 (1980).
- Tributsch, H., Goslowsky, H., Küppers, U., and Wetzel, H., "Light collection and solar sensing through the polar bear pelt", *Sol. Energy Mater.* 21, 219-36 (1990).

En fait, non... le poil de l'ours blanc ne laisse passer 1/1000ème de la lumière reçue

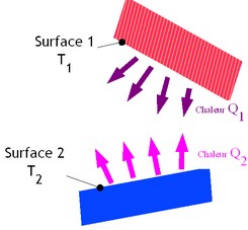
Koon, Daniel W., "Is Polar Bear Hair Fiber Optic?", *Applied Optics*, 37, 3198-3200 (1998).

Mais le poil de l'ours absorbe les UV ce qui est une propriété connue de la kératine.

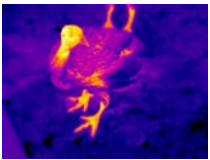
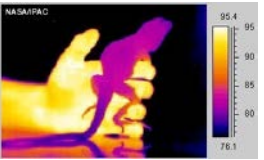


71

Radiation infrarouge



- Tout corps qui n'est pas à 0 K émet des infrarouges. Le sens du flux dépend de la température de l'animal et des objets l'entourant.

72

Convection

- Transfert de chaleur d'un objet à un fluide (air ou eau en général).
- Le flux net peut-être entrant ou sortant de l'animal.
- Le transfert augmente lorsqu'il y a du courant ou du vent. Mais le corps de l'animal plus ou moins chaud que le milieu crée lui-même un courant.
- L'efficacité du transfert dépend de la forme de l'animal et de la texture de sa surface. En général, une surface rugueuse limite l'effet de la convection en limitant les mouvements de liquide à proximité du corps.

73

Conduction

- Transfert de chaleur entre deux corps, par contact, par exemple un animal dans son terrier

Heterocephalus glaber (rat-taupe nu)






74

Conduction

Le transfert de chaleur existe aussi entre individus et expliquera l'existence de copulation multiple chez certains serpents à la sortie de l'hivernation.


Quand la femelle de la couleuvre rayée *Thamnophis sirtalis* sort d'hivernation au Canada, elle produit une phéromone qui attire des centaines de serpents mâles dans le voisinage et se forme une « balle d'accouplement ».



75

Evaporation

- Lors de la respiration, l'animal expulse de l'air saturé en vapeur d'eau. A moins que l'air inhalé soit lui même saturé en eau, l'évaporation qui se produit dans le poumon fait perdre de la chaleur à l'animal.
- Le halètement est une méthode très efficace pour perdre de la chaleur.
- L'évaporation peut aussi se produire au niveau de la peau. Par exemple, Templeton (1970) estime que 60% de l'eau est perdue chez un lézard par la peau et 40% par la respiration.



76



Métabolisme

- Beaucoup de réactions biochimiques dissipent une énorme quantité d'énergie sous la forme de chaleur.
- Certains organismes utilisent ce métabolisme pour générer de la chaleur et maintenir leur température corporelle plus élevée que celle du milieu.