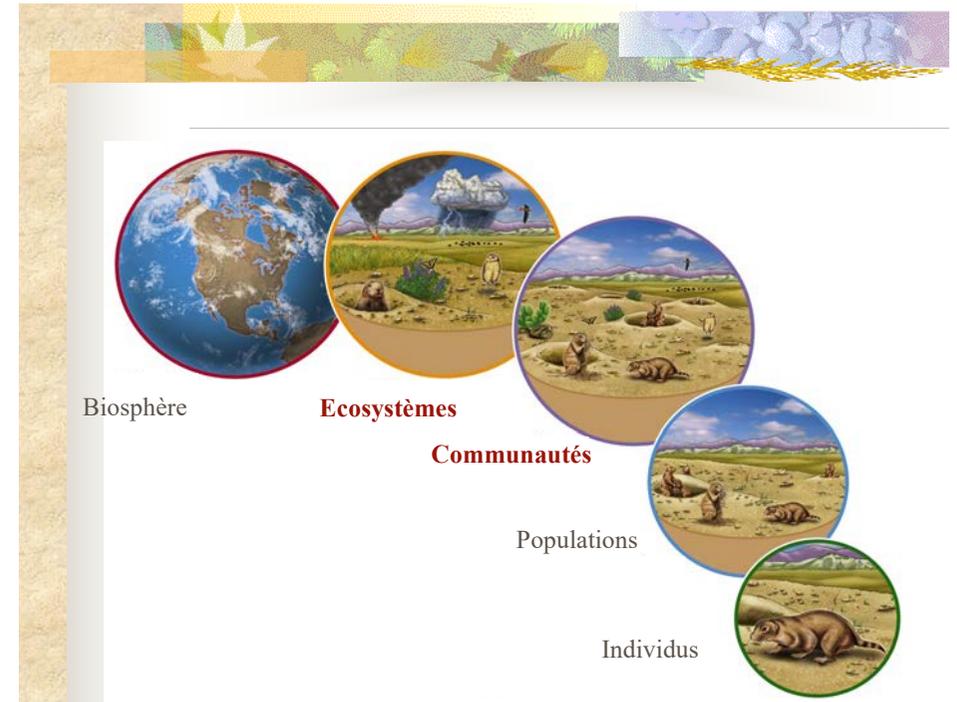


Réseaux trophiques

Marc Girondot, Université Paris Saclay
marc.girondot@universite-paris-saclay.fr



I. Qu'est ce qu'un écosystème?

- **Définition** : Un écosystème est l'ensemble formé par une association d'une communauté d'êtres vivants (ou biocénose) et son environnement géologique, édaphique (sol), hydrologique, climatique, etc. (le biotope).
- Les éléments constituant un écosystème développent un réseau d'échange d'énergie et de matière.
- Le terme fut forgé par Arthur George Tansley en 1935 pour désigner l'unité de base de la nature.



Arthur George Tansley 1871-1955

I. Qu'est ce qu'une communauté écologique?

- **Définition** : L'ensemble de populations animales, végétales et les microorganismes qui vivent dans une aire donnée, à un moment donné, et qui interagissent.
- Les plantes, les animaux et les microorganismes d'une communauté sont liés par des relations alimentaires et par d'autres types d'interactions
- La communauté écologique constitue la biocénose c'est à dire la partie vivante (biotique) d'un écosystème.



II. Les interactions dans une communauté

Types d'interaction	Signes	Effets de l'interaction
Compétition	- / -	Les deux espèces souffrent de interaction
Prédation	+ / -	Une espèce bénéficie de l'interaction, l'autre en souffre
Mutualisme	+ / +	Les deux espèces bénéficient de l'interaction
Commensalisme	+ / 0	Une espèce bénéficie, l'autre n'est pas affectée
Amensalisme	0 / -	Impact négatif sur une espèce, l'autre n'est pas affectée

Auxquels on peut ajouter le neutralisme.

II. Les interactions dans une communauté

Types d'interaction	Signes	Effets de l'interaction
Compétition	- / -	Les deux espèces souffrent de interaction
Prédation	+ / -	Une espèce bénéficie de l'interaction, l'autre en souffre
Mutualisme	+ / +	Les deux espèces bénéficient de l'interaction
Commensalisme	+ / 0	Une espèce bénéficie, l'autre n'est pas affectée
Amensalisme	0 / -	Impact négatif sur une espèce, l'autre n'est pas affectée

Auxquels on peut ajouter le neutralisme.

La prédation au sens large

- **Prédation** : un animal en tue un autre et le mange
- Parasitisme
- Herbivorie
- Parasitoïdes
- Pathogènes

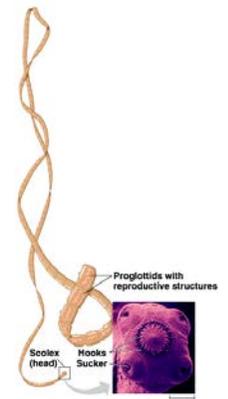


La prédation au sens large

- Prédation
- **Parasitisme** : Le parasitisme est une relation dans laquelle le parasite tire profit de l'hôte, en vivant soit à l'intérieur de l'hôte (endoparasite), soit à l'extérieur de l'hôte (ectoparasite)
- Herbivorie
- Parasitoïdes
- Pathogènes



Moustiques : ectoparasites



Ver solitaire : endoparasite

La prédation au sens large

- Prédation
- Parasitisme
- **Herbivorie** : un animal consomme une plante
 - Peut ressembler à de la prédation : la plante entière est consommée
 - Ou à du parasitisme : une partie de la plante est consommée
- Parasitoïdes
- Pathogènes



La prédation au sens large

- Prédation
- Parasitisme
- Herbivorie
- **Parasitoïdes** : Un parasitoïde est un organisme qui se développe sur ou à l'intérieur d'un autre organisme dit « hôte » et qui tue inévitablement ce dernier au cours, ou à la fin, de ce développement alors que de nombreux parasites ne tuent pas leur hôte.
- Pathogènes

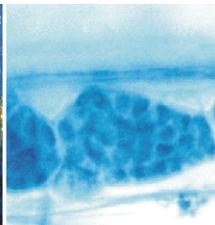


La prédation au sens large

- Prédation
- Parasitisme
- Herbivorie
- Parasitoïdes :
- **Pathogènes** : organismes microscopiques qui provoquent des maladies



Fusarium culmorum/F. *graminearum*
(ear blight)



Soil borne cereal mosaic virus (SBCMV) /*Polymyxa*



Mycosphaerella graminicola
(STR, leaf blight)



Oculimacuta yallundae
(eyespot)

Pathogènes du blé

L'ÉCOLOGIE DES COMMUNAUTÉS

a) Adaptations des prédateurs



Tortue alligator



Guépards



b) Défenses des Végétaux

Défenses chimiques



Morphine (Pavot)
Nicotine (Tabac)
Mescaline (Cactus Peyotl)

Défenses mécaniques



Épines
Crochets
Piquants

c) Défenses des Animaux

Défenses chimiques



Substance odorante
Acide

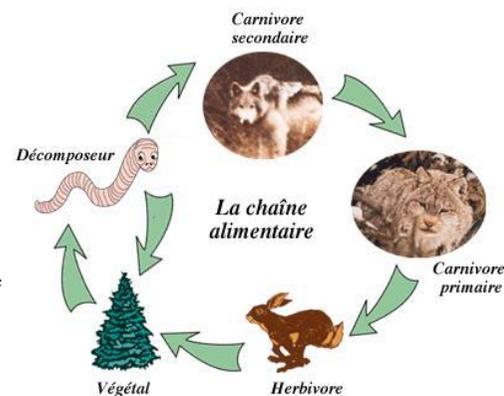
Défenses mécaniques



Carapace
Piquants
Dards

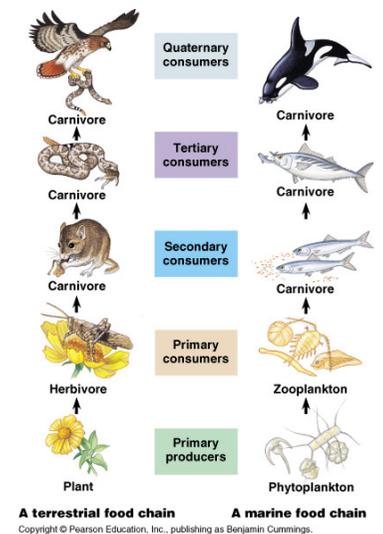
II. Relations à plus de deux partenaires

- Les producteurs (les végétaux chlorophylliens)
- Les consommateurs (les animaux)
 - les herbivores = consommateurs primaires
 - les carnivores primaires qui se nourrissent des herbivores = consommateurs secondaires
 - les carnivores secondaires qui se nourrissent des carnivores primaires = consommateurs tertiaires
- Les décomposeurs (animaux détritiques, bactéries et champignons)



La chaîne alimentaire

- Chaque maillon de la chaîne alimentaire est appelé un **niveau trophique**
- Les producteurs constituent le **premier niveau trophique**
- Les herbivores le second, etc...



Les producteurs des chaînes alimentaires

Milieu	Source d'énergie	Type de chaîne alimentaire	Producteurs
Terrestre	Énergie lumineuse	Chaîne photosynthétique	Végétaux
Aquatique	Énergie lumineuse	Chaîne photosynthétique	Cyanobactéries, petites algues du plancton, grandes algues, végétaux aquatiques
Abysal	Énergie tirée de l'oxydation du H_2S (sulfure d'hydrogène) et du CH_4 (méthane)	Chaîne chimiosynthétique	Bactéries hébergées par les vers tubicoles des cheminées chaudes et par les moules des suintements froids

Des producteurs !



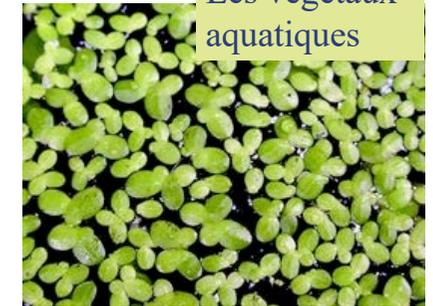
Les végétaux terrestres

Les grandes algues



Des laminaires

Les végétaux aquatiques



Des lentilles d'eau

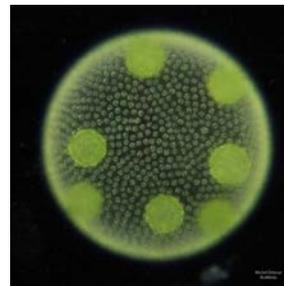
Encore des producteurs !

Les algues microscopiques du phytoplancton ou plancton végétal

Algues vertes



Diatomés



Volvox

Toujours des producteurs !

Les cyanobactéries «algues bleu vert» du plancton végétal (*sont minuscules par rapport aux algues vertes du plancton car ce sont des prokaryotes*)

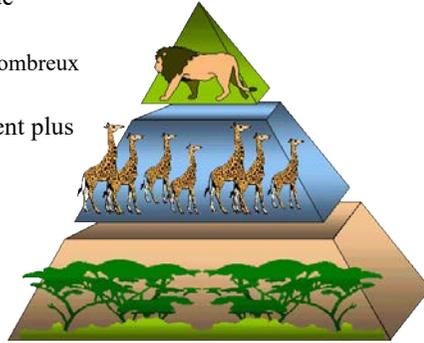


Bactéries hébergées par les vers tubicoles et par des moules : au fond des océans, là où il fait très noir.



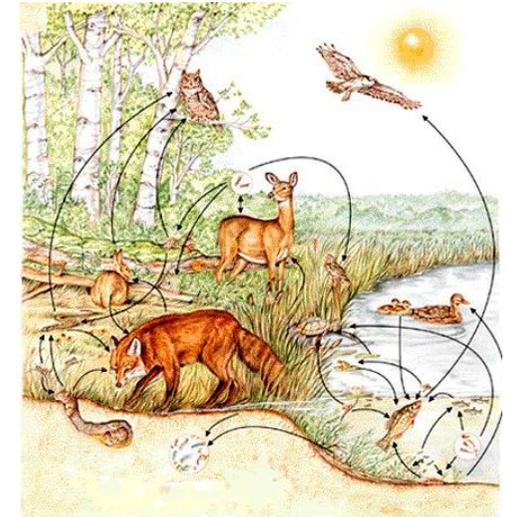
La chaîne alimentaire

- A chaque niveau trophique, seule 10 % de l'énergie disponible est transférée
- En général, dans une communauté, le nombre et la biomasse des espèces diminuent quand le niveau trophique augmente
 - Ex : Les carnivores sont moins nombreux que les herbivores
- Une communauté comprend rarement plus de 4 à 5 niveaux trophiques



Le réseau trophique

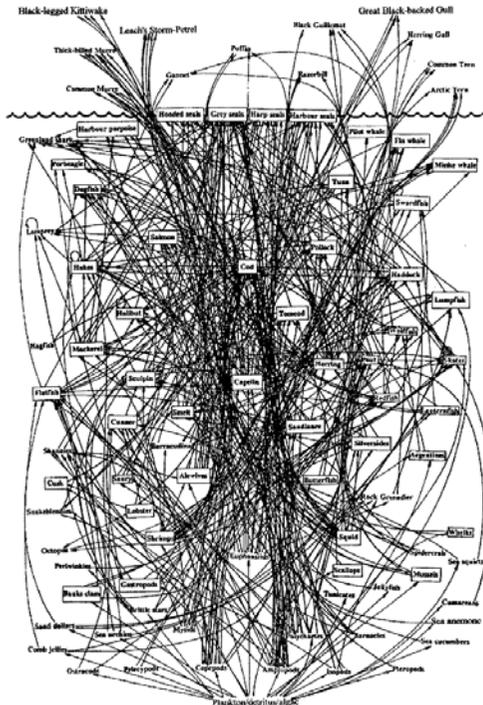
- La plupart des espèces appartiennent à plusieurs chaînes alimentaires
- L'ensemble de ces chaînes alimentaires forme le réseau trophique
- Certaines espèces peuvent se trouver à plusieurs niveaux trophiques



Réseau trophique dans un écosystème forestier français

Le réseau trophique

- La plupart des espèces appartiennent à plusieurs chaînes alimentaires
- L'ensemble de ces chaînes alimentaires forme le réseau trophique
- Certaines espèces peuvent se trouver à plusieurs niveaux trophiques
- Représenter l'ensemble d'un réseau trophique est souvent impossible.

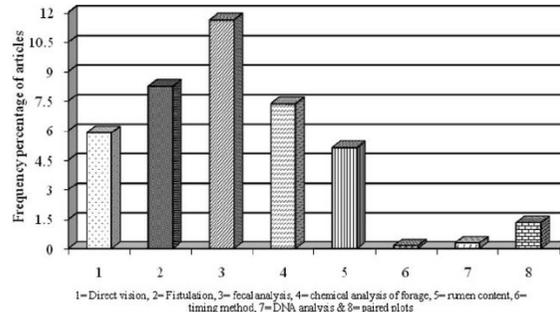


Réseau trophique simplifié dans l'Atlantique-Nord

COMMENT ÉTABLIR LA STRUCTURE DU RÉSEAU TROPHIQUE ?

Méthodes

- Observation directe de la prédation
- Contenu stomacal
- Analyse des fécès
- Pelote de réjection
- e-DNA
- Isotopes stables



Askarizadeh, D., Heshmati, G.A., Pessarakli, M. & Jouri, M.H. (2011) Survey of evaluation techniques for studying rangeland grass species nutritional values. *Journal of Plant Nutrition*, **34**, 2172-2182.

OBSERVATION DE LA PRÉDATION

Observation de la prédation

- Méthode qui peut sembler au premier abord la plus simple:



Observation de la prédation

- Mais comment quantifier ce qui est prélevé ?
- Comment être sûr de ne rien rater, de nuit par exemple ?

CONTENU STOMACAL

Dissection pour obtenir le contenu stomacal

■ Dissection d'un lapin



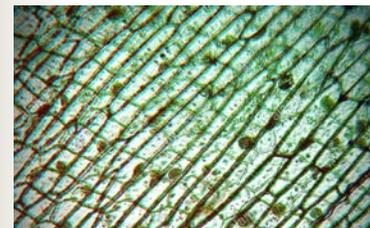
Contenu stomacal



Contenu stomacal

■ Identification du contenu stomacal

- Os
- Ecailles
- Plumes
- Epiderme des plantes



Épiderme d'oignon

On doit d'abord constituer un catalogue de ce qui est présent dans l'environnement.

Analyse du contenu stomacal de tortues de Floride

Table 1. Items found in the stomach of Slider turtles captured in Seine-Saint-Denis department (North of Paris). Crosses indicate presence of item. Sex: M = Male, F = Female; Origin: L.C. = "La Courneuve", S = "Sausset"; Fiches: C = Cyprinidae, P = Percormorphidae; Other: Pl = Plastic, S = Stone, Pa = Paper.

Sex	Origin	Carapace length (mm)	Plants				Invertebrates		Fishes	Others
			Unknown	Juncaceae	Cyperaceae	Poaceae	Insects	Crustaceans		
F	L.C.	111.0	+				+		C	
F	L.C.	133.8	+	+	+			+	C	
F	L.C.	138.2	+				+			
F	L.C.	141.4						+		
F	L.C.	143.8	+		+			+		
F	L.C.	148.8	+				+	+		
F	L.C.	160.3	+						S	
F	L.C.	162.3	+				+		Pl	
F	L.C.	162.4	+						Fishbone	
F	L.C.	172.9	+						C	
F	L.C.	174.0	+				+		Pl, S	
F	L.C.	190.4	+							
F	L.C.	203.3	+						P, C	
F	S.	127.3	+				+	+	P, C	
F	S.	210.8	+						Pl, Pa	
M	L.C.	147.2	+				+	+	C	
M	L.C.	162.3	+							
M	L.C.	179.1	+				+			
M	L.C.	200.6	+							
M	S.	164.4	+	+	+		+	+	P, C	
M	S.	170.0	+		+		+		S	
M	S.	195.0	+				+		Pl	



Prévot-Julliard, A.-C., Gousset, E., Archinard, C., Cadi, A. & Girondot, M. (2007) Pets and invasion risks: is Slider turtle strictly carnivorous? *Amphibia-Reptilia*, **28**, 139-143.

Le plastique...



Vidange stomacale

- Peut être fait chez les tortues marines, par exemple.
 - Cette méthode est maintenant très peu utilisée en ce qu'elle provoque une souffrance chez l'animal.



FÉCÈS

Analyse des fécès

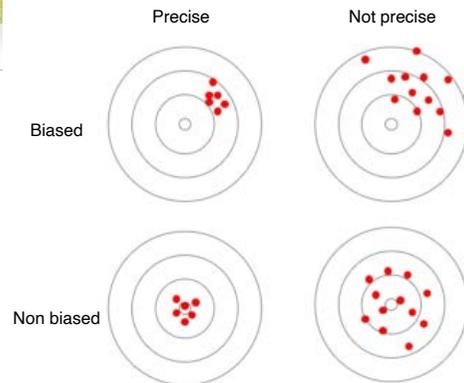


- Les fécès recueillent ce qui ne peut être digéré par l'animal. L'état de conservation est souvent moins bon que ce qui peut être trouvé dans un contenu stomacal.

Analyse des fécès

- Biais de digestibilité

Toujours bien de se rappeler...



- Il est difficile de déterminer qu'un estimateur n'est pas précis ou biaisé car cela implique de connaître la vraie valeur;
- Il y a souvent un compromis entre précision et biais. On ne sait pas forcément ce qui devrait être privilégié: estimateur précis ou non biaisé?



PELOTES DE RÉJECTION

Analyse des pelotes de réjection

- Les pelotes de réjection ou boulettes de régurgitation sont des boules rejetées par les oiseaux rapaces comme la chouette effraie ainsi que les corvidés, les laridés et beaucoup d'autres oiseaux (limicoles, etc.). Elles contiennent les éléments durs et non digérés des proies qu'ils avalent en entier, comme les poils, les os, les coquilles d'œuf, ou même les arêtes des poissons ingérées en ce qui concerne les Martins-pêcheurs. Elles sont rejetées par le bec environ 2 heures après ingestion des proies.

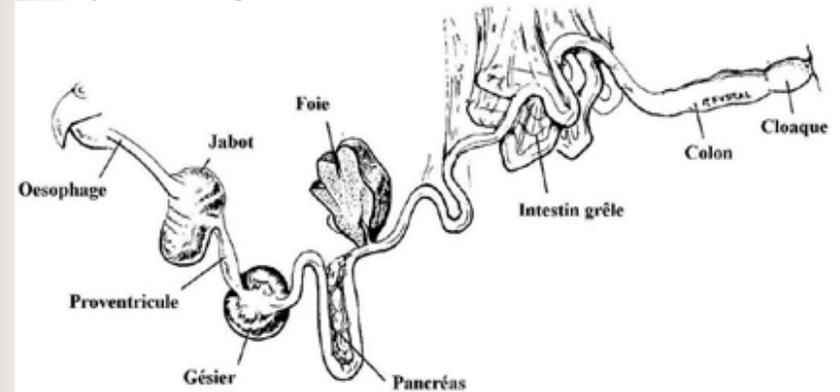


L'effraie des clochers (*Tyto alba*) est une chouette aussi couramment appelée chouette effraie.



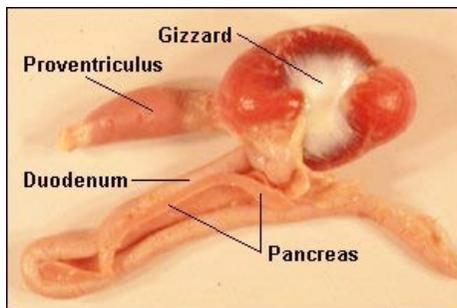
Pelote de réjection

Le système digestif



Le gésier (*gizzard* en anglais)

Différenciation glandulaire de l'œsophage permettant une mastication grâce à la présence de pierres stockées par l'animal. Compense l'absence de dents.



Le gésier

Exemple de contenu de gésier chez un canard: présence de plomb de pêche en plus de gastrolithes !



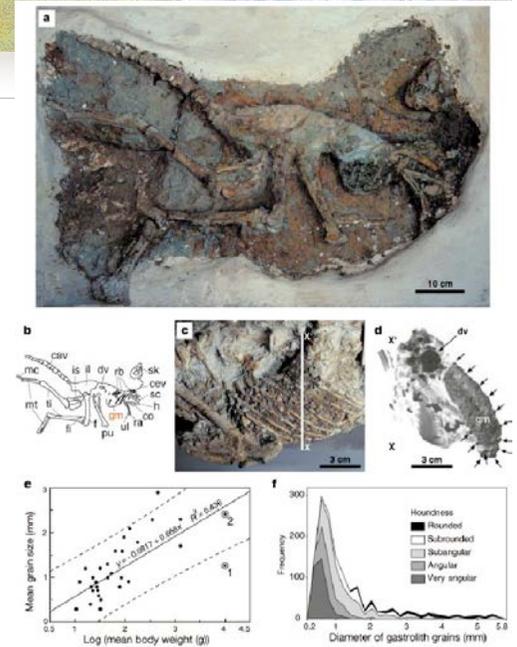
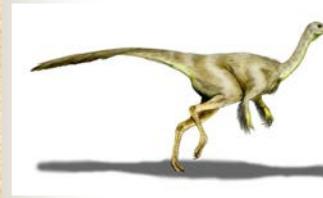
Analyse d'une pelote de rejection



Gastrolithes chez un Ornithomimid

Nature 1999

Saurischien, Théropode



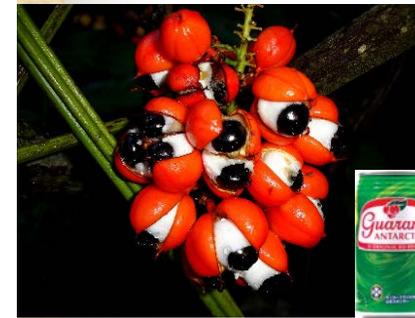
Utilisation particulière du gésier chez des amazones du Pérou



Pourquoi manger de l'argile ?

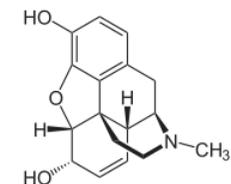
Un certain nombre de fruits possèdent une enveloppe charnue comestible mais des graines toxiques. Ainsi la plante s'assure une dispersion efficace car ses fruits sont mangés et les graines dispersées intactes. En effet, si un prédateur digère les graines, il s'intoxique.

Or les graines possèdent des éléments nutritifs très riches et les perroquets les brisent avec leur bec pour les manger. Comment résistent-ils alors aux alcaloïdes présents dans la graine ?



Fruit du guarana

Les alcaloïdes sont des molécules organiques hétérocycliques azotées ayant souvent des actions pharmacologiques très puissantes (morphine ci-contre, strychnine).



Pourquoi manger de l'argile ?



James Gilardi a proposé que l'argile soit un chélatant pour ces alcaloïdes.

Une pilule contenant un alcaloïde faiblement toxique (quinidine) a été donnée à huit perroquets captifs.

Huit autres oiseaux ont été nourris de la même pilule avec une petite cuillerée d'argile. Ensuite, des échantillons de sang de tous les perroquets ont été analysés afin de voir comment la quinidine a été absorbée par les perroquets.

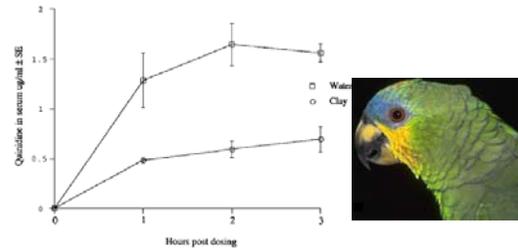


FIG. 7. Effect of clay ingestion on the bioavailability of quinidine in orange-winged Amazon parrots (*Amazona amazonica*).

La réponse fut très claire, ceux ayant ingurgité aussi de l'argile n'avaient qu'un tiers de quinidine dans le sang en comparaison de ceux n'en ayant pas reçu.

Transmission culturelle de l'habitude ?

Chez des aras d'Amazonie



Où convergence ?

Chez des cacatoès d'Australie



Géophagie chez des populations humaines



Mais cette pratique peut conduire à des occlusions intestinales ainsi qu'à une chélation du fer d'où une adsorption moindre de celui-ci et à des carences.

LES ISOTOPES STABLES

Autre méthode: les isotopes stables chez les animaux

- Les atomes dans la matière sont présents sous la forme de plusieurs isotopes différents par la quantité de neutrons:
ex ^{12}C (6 neutrons, 6 protons), ^{13}C et ^{14}C
- Certains de ces isotopes sont instables, ex. ^{14}C , d'autres sont stables, ex. ^{12}C et ^{13}C ou ^{14}N et ^{15}N ou ^{16}O et ^{18}O

- *La richesse relative en ^{12}C et ^{13}C ou ^{14}N et ^{15}N ou ^{16}O et ^{18}O dépend de façon complexe de l'origine du tissu en question.*



Ratio isotopique

- On représente classiquement le contenu isotopique d'un atome X d'un échantillon sous la forme d'un ratio isotopique δX :

$$\delta X = \left[\frac{R_{\text{échantillon}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 10^3$$

- R représente le rapport de l'isotope d'intérêt (^{13}C ou ^{15}N) et de sa forme la plus commune (par exemple, $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$).
- Des valeurs δ plus élevées (ou moins négatives) indiquent des augmentations de l'isotope d'intérêt (^{13}C ou ^{15}N) d'un échantillon et des valeurs inférieures (ou plus négatives) indiquent des diminutions.



Signification du $\delta^{15}\text{N}$

- L'abondance en ^{15}N d'un organisme par rapport au ^{14}N augmente de 3 à 5 ‰ par rapport à sa nourriture.
 - \Rightarrow Reconstitution d'un réseau trophique



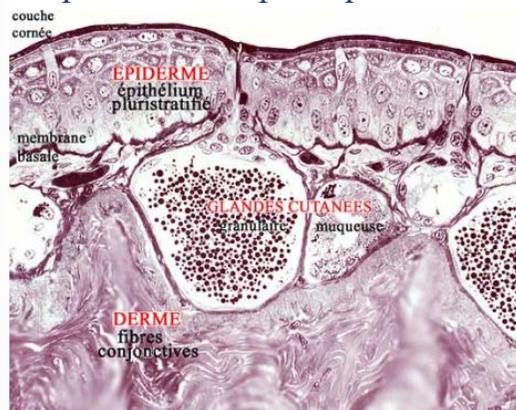
Pourquoi ?

- Les amines légères (contenant du ^{14}N) sont excrétées préférentiellement lors des déaminations et transaminations des acides aminés.
 - L'azote excrété dans l'ammoniaque, l'urée et l'acide urique est donc plus léger que l'azote de l'organisme dont il provient et donc aussi des proies.
- En conséquence, les protéines des prédateurs ont un ratio $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ plus élevé que celles de leurs proies
- Donc, comme l'azote des prédateurs est plus lourd que celui de sa proie, plus un organisme est haut dans une chaîne trophique plus sa valeur $\delta^{15}\text{N}$ est forte.



E-DNA

Exemple d'une coupe de peau

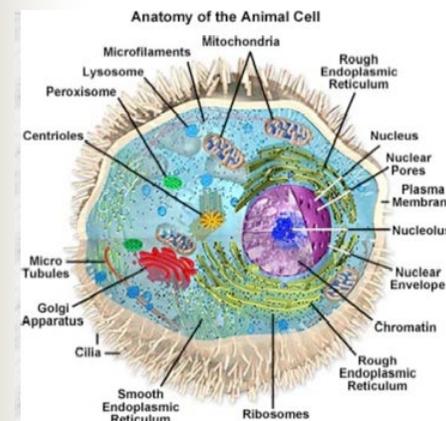


500 μm = 0,5 mm

PEAU de GRENOUILLE (coupe semi-fine)

L'unité de base de construction de l'organisme est la cellule. Elles peuvent être jointives ou bien localisées dans une matrice extracellulaire.

Structure d'une cellule

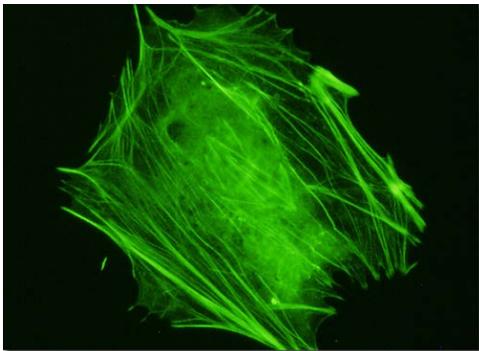


Les différents organites sont constitués de:

- lipides: les membranes
- protéines
- de structure
- enzymes

Exemple d'une protéine de structure

- L'actine est une protéine servant de "squelette" à la cellule. L'actine est visualisée ici en vert.



Exemple d'une protéine ayant une activité enzymatique

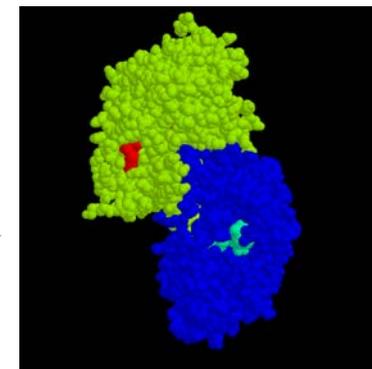
- L'alcool déshydrogénase

Chez l'homme, cette enzyme est contenue dans l'estomac et dans le foie. Elle catalyse l'oxydation de l'éthanol en acétaldéhyde:



Un certain nombre de personnes asiatiques possèdent une déficience de cette enzyme; ils ne dégradent que très lentement l'éthanol...

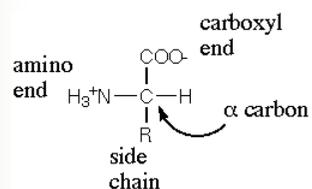
La même enzyme peut catalyser l'oxydation du méthanol en formaldéhyde, produit extrêmement toxique.



Structure d'une protéine

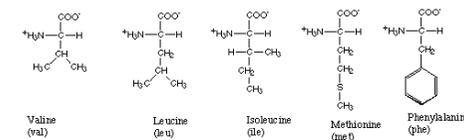
- Les protéines sont constituées d'une chaîne d'acides aminés. La longueur de la chaîne va d'une dizaine d'acides aminés à plus de 1000.
- Il y a seulement 20 acides aminés différents disponibles... ce qui fait une combinatoire énorme

Structure générique des acides aminés
Seul "R" change entre les 20 acides aminés.

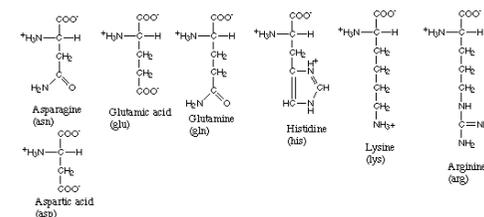


Les acides aminés

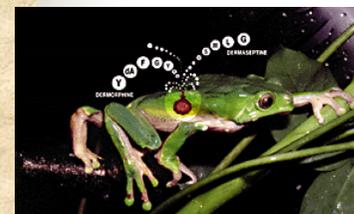
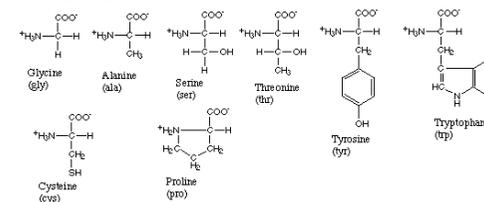
Amino acids with hydrophobic side groups



Amino acids with hydrophilic side groups

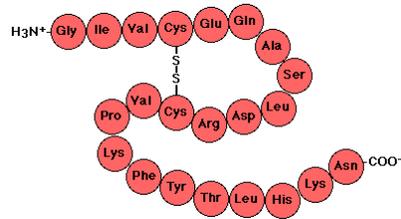


Amino acids that are in between



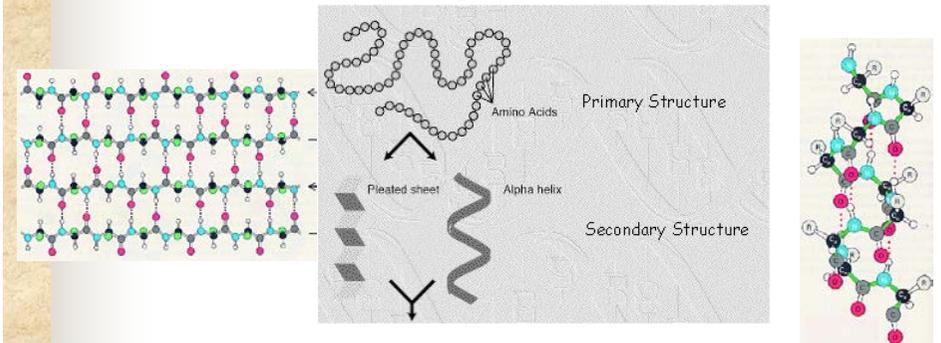
La structure primaire d'une protéine

C'est simplement la suite des acides aminés.



De la structure primaire découle la structure secondaire

- Une suite d'acides aminés peut s'organiser soit en hélice (dite alpha) soit en feuillet (dit bêta).



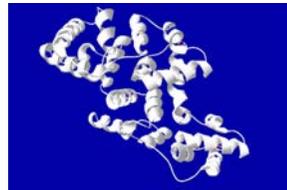
De la structure secondaire découle la structure tertiaire

- Les hélices et les feuillets s'organisent dans l'espace pour former la structure tertiaire.

Viral coat and capsid proteins



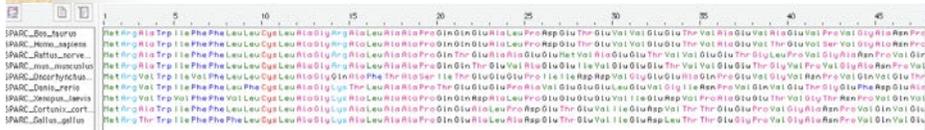
Annexin V



Ce sera la structure fonctionnelle de la plupart des protéines.

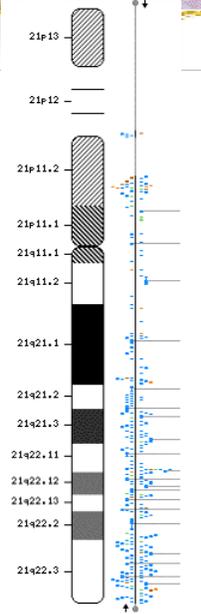
En résumé

- Une protéine est une suite d'acides aminés qui prend une conformation dans l'espace lui permettant d'avoir une activité chimique.
- Une protéine ayant la même fonction chez deux espèces n'aura pas exactement la même structure primaire mais aura en général la même structure secondaire et tertiaire.



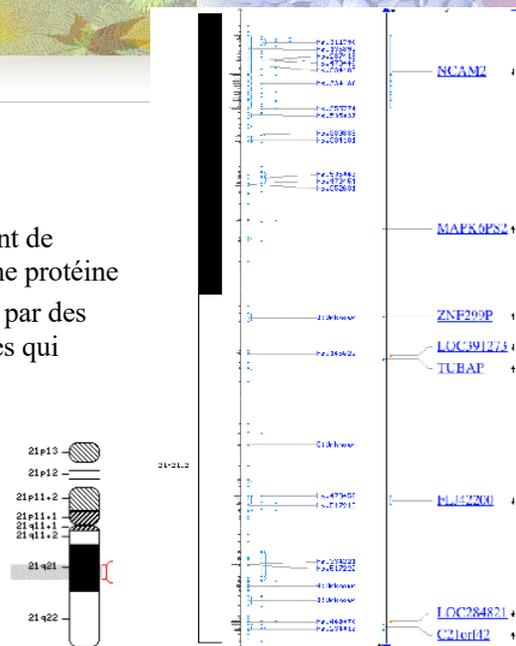
D'où provient l'information de la structure primaire des protéines ?

- L'information est localisée dans les gènes, eux-mêmes situés sur les chromosomes.

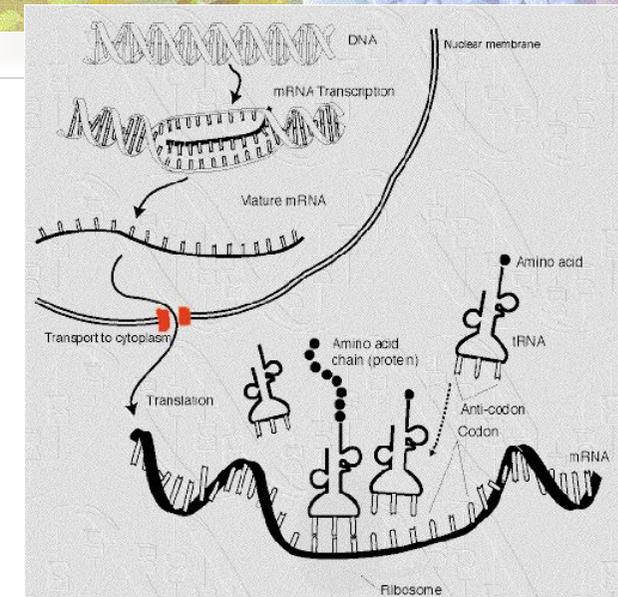


Les gènes

- Un gène est un fragment de chromosome codant une protéine
- Les gènes sont séparés par des séquences intergéniques qui composent 99% des chromosomes.



Fabrication d'une protéine

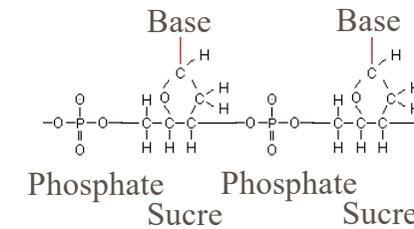


En résumé

- L'information sur la structure primaire des protéines est contenue dans les gènes.
- La molécule qui constitue les chromosomes est l'Acide Désoxyribo-Nucléique (ADN).

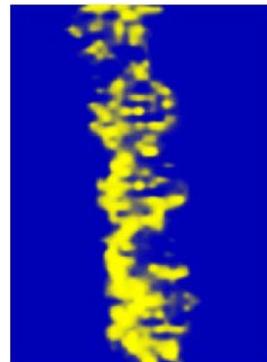
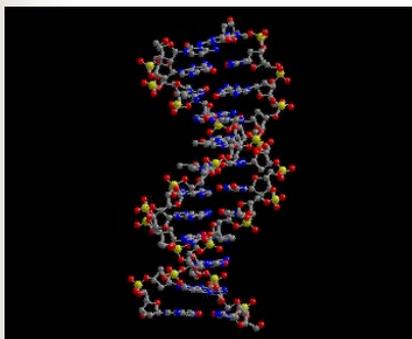
L'ADN

L'information génétique est présente sous la forme d'une chaîne de phosphate et sucre sur lequel sont attachés des bases A, T, G ou C.



La double-hélice

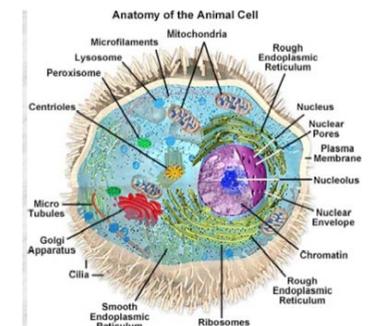
La double-hélice correspond à la présence de deux brins par molécule.



Localisation des chromosomes

- Les chromosomes sont localisés dans le noyau des cellules eucaryotes. Toutes les cellules ont un noyau.

Toutes les cellules d'un organisme possèdent le même contenu en ADN grâce au mécanisme de réplication précédant la division cellulaire.



Méthode de détection de l'e-DNA

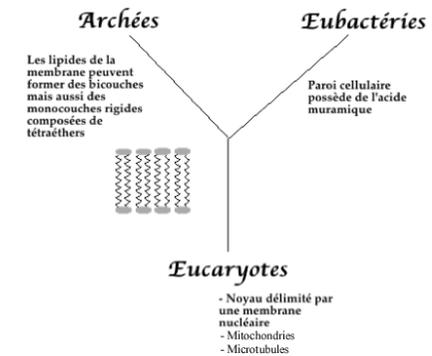
- L'ADN de l'environnement est détecté par une technique appelé PCR pour Réaction de Polymérisation en Chaîne



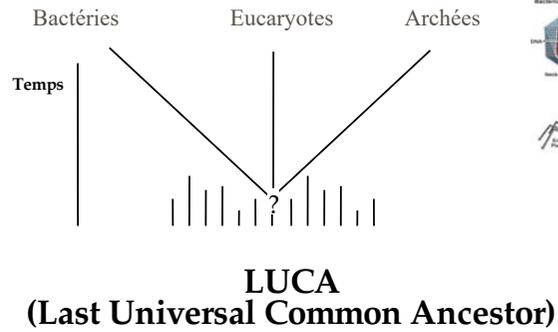
Amplification de tout le e-DNA

- Pour cela on utilise des amorces (primers) dites-universelles c'est-à-dire qu'elles vont reconnaître l'ADN de quasiment tous les organismes vivant:
 - On pourra utiliser par exemple des amorces d'ADN ribosomique
 - C'est rendu possible car il y a eu un LUCA !

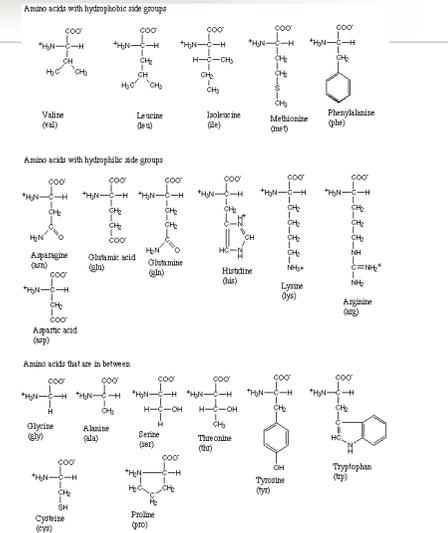
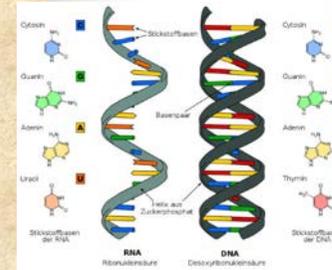
Le monde vivant *Qu'est-ce que le vivant ?*



A la recherche de LUCA...



Les briques du vivant



Y-a-t'il eu un LUCA ?

- La quasi-universalité du code génétique est un bon argument pour prouver l'existence de LUCA (vers -3,8 GA ?)

Le code génétique

		deuxième base				
		U	C	A	G	
extrémité 5'	U	UUU } Phe UUC } UUA } UUG } -Leu	UCU } -Ser UCC } UCA } UAG } Stop	UAU } -Tyr UAC } UAA } Stop UAG } Stop	UGU } -Cys UGC } UGA } Stop UGG } Trp	U > U C
	C	CUU } -Leu CUC } CUA } CUG }	CCU } -Pro CCC } CCA } CCG }	CAU } -His CAC } CAA } -Gln CAG }	CGU } -Arg CGC } CGA } CGG }	C > U C
	A	AUU } -Ile AUC } AUA } AUG } Met	ACU } -Thr ACC } ACA } ACG }	AAU } -Asn AAC } AAA } -Lys AAG }	AGU } -Ser AGC } AGA } -Arg AGG }	A > U C
extrémité 3'	G	GUU } -Val GUC } GUA } GUG }	GCU } -Ala GCC } GCA } GCG }	GAU } -Asp GAC } GAA } GAG }	GGU } -Gly GGC } GGA } GGG }	G > U C

Amplification de tout le e-DNA

- Pour cela on utilise des amorces (primers) dites-universelles c'est-à-dire qu'elles vont reconnaître l'ADN de quasiment tous les organismes vivant:
 - On pourra utiliser par exemple des amorces d'ADN ribosomique
 - C'est rendu possible car il y a eu un LUCA !
- En analysant les fragments obtenus après PCR, on aura une information sur l'ensemble des espèces présentes dans le milieu.
- La quantification des différentes espèces présentes est possible mais une marge d'erreur importante est à prévoir.



Amplification d'un e-DNA spécifique

- Pour cela on utilise des amorces (primers) spécifique à une espèce
- Dans ce cas, la réponse sera de type présence/absence
- On peut dénombrer les faux positifs ou négatifs par rapport à une connaissance préalable de la composition du milieu