

Syllabus de Biologie

Le vivant : de la cellule aux écosystèmes

Programme couvert :

A. La cellule, unité fonctionnelle du vivant · **B.** La génétique et l'hérédité
C. Diversité, évolution, adaptabilité · **D.** L'écologie

Cours de révision structuré · Explications, exemples et points clés · D'après Campbell & Reece, *Biologie*

Sommaire

Avant-propos & méthode de travail

A — La cellule : l'unité fonctionnelle du vivant

A.1	Le vivant et le non-vivant	propriétés émergentes
A.2	Les niveaux d'organisation	molécule → système
A.3	La cellule comme tout fonctionnel : structures et rôles	organites
A.4	Le métabolisme cellulaire	énergie, respiration, photosynthèse
A.5	La reproduction cellulaire	cycle, mitose
A.6	Cellule animale vs cellule végétale	comparaison
A.7	Monères (procaryotes) et virus	le monde microbien
A.8	Fonctions vitales & homéostasie	survie
A.9	Procaryotes/eucaryotes & endosymbiose	comparaison
A.10	Métabolisme énergétique (respiration, redox)	glycolyse → ATP
A.11	Transports membranaires	endo/exocytose
A.12	Compléments cellule végétale	plastides
A.13	Les molécules du vivant	CHON, glucides, lipides...
A.14	Théorie cellulaire, organites & tonicité	osmose, pièges

B — La génétique et l'hérédité

B.1	Les supports de l'information : ADN, chromosomes	double hélice
B.2	De l'ADN à la protéine : transcription et traduction	ARNm, ribosomes
B.3	Espèce et variations intraspécifiques	diversité
B.4	Les lois de Mendel et la résolution de problèmes	croisements
B.5	Groupes sanguins & autres modes de transmission	allélie multiple
B.6	Caryotype et hérédité chromosomique	sexe, anomalies
B.7	Arbres généalogiques	méthode d'analyse
B.8	Des caractères non exclusivement génétiques	gènes × milieu
B.9	Nucléotides & acides nucléiques	ADN/ARN
B.10	Synthèse des protéines en détail	épissage, codons
B.11	Mitose et méiose & crossing-over	divisions
B.12	Punnett, Mendel, sauvage/mutant, parthénogenèse	méthode

B.13	Génétique moléculaire (Chargaff, code, mutations)	64 codons
B.14	Hérédité & reproduction (liés, Rhésus, gamétogenèse)	9:3:3:1

C — Diversité, évolution, adaptabilité

C.1	Classer le vivant : les grands groupes	3 domaines
C.2	Les grands embranchements animaux et végétaux	classification
C.3	La clef dichotomique	outil d'identification
C.4	L'origine de la vie	Miller-Urey
C.5	Les théories de l'évolution	Lamarck → néodarwinisme
C.6	Les arguments en faveur de l'évolution	preuves
C.7	L'évolution de la lignée humaine	hominisation
C.8	Espèce, race, variété & adaptabilité	survie
C.9	Classification : domaines, règnes, RECOFGE	3 domaines / 6 règnes
C.10	Miller-Urey en détail & LUCA	origine de la vie
C.11	Les mécanismes de l'évolution	dérive, fondateur, étranglement
C.12	Évolution humaine & fossiles vivants	hominisation
C.13	Sélection, Hardy-Weinberg, spéciation, phylogénie	clades, ¹⁴ C

D — L'écologie

D.1	Concepts : de l'individu à la biosphère	niveaux
D.2	Facteurs écologiques et niche	équilibre
D.3	Relations entre êtres vivants	inter/intraspcifiques
D.4	Flux d'énergie et chaînes alimentaires	pyramides
D.5	Les cycles biogéochimiques	C, N, eau
D.6	Un écosystème détaillé : l'étang	étude de cas
D.7	Dynamique des écosystèmes	succession
D.8	Activités humaines, pollution & biodiversité	enjeux
D.9	Empreinte écologique & extinctions de masse	6 ^e extinction
D.10	Compléments : biome, espèces clés, bioamplification	ozone

Annexe — Récapitulatif des pièges fréquents

Avant-propos & méthode de travail

Ce syllabus reprend, point par point, l'ensemble des compétences et des savoirs disciplinaires du programme de biologie. Il est conçu pour la révision : chaque notion est expliquée le plus précisément possible, illustrée d'exemples concrets et refermée par un encadré de points clés à mémoriser.

Le fil conducteur est celui du Campbell : on part de la **cellule**, brique fonctionnelle de tout être vivant ; on descend ensuite dans son **information génétique** et la façon dont elle se transmet ; on prend de la hauteur avec la **diversité du vivant et son évolution** ; enfin on relie tous les organismes à leur milieu à travers l'**écologie**. Les quatre parties se répondent : un gène (B) code une protéine qui fait fonctionner une cellule (A) ; la sélection agit sur des variants génétiques (B) pour produire de la diversité (C) ; et cette diversité s'organise en écosystèmes (D).

Comment utiliser les encadrés :

DÉFINITION

précise un terme du vocabulaire scientifique à connaître exactement.

EXEMPLE

ancrer la notion dans un cas concret, souvent tombable à l'examen.

MÉTHODE

donne la marche à suivre pour un type d'exercice (croisement, arbre généalogique, clef...).

ATTENTION

signale une erreur classique ou une confusion fréquente.

POINTS CLÉS

- résume l'essentiel à retenir d'une section — c'est le minimum vital pour l'examen.

PARTIE A

La cellule

L'unité fonctionnelle du monde vivant — structures, métabolisme et reproduction

A.1 — Le vivant et le non-vivant

La biologie est la science du vivant. Mais qu'est-ce qui distingue une bactérie d'un cristal, une cellule d'une goutte d'eau ? Un objet est considéré comme **vivant** lorsqu'il réunit un ensemble de propriétés que l'on ne retrouve jamais toutes réunies dans la matière inerte.

DÉFINITION — ÊTRE VIVANT

Système organisé, délimité par une membrane, capable de se nourrir et d'échanger de la matière et de l'énergie avec son milieu (métabolisme), de croître, de réagir à des stimulus, de se reproduire et d'évoluer. L'unité de base de tout être vivant est la **cellule**.

Les caractéristiques du vivant

- **Organisation** : la matière vivante est ordonnée en structures hiérarchisées (des molécules aux organites, à la cellule...). Cet ordre est maintenu en permanence contre la tendance naturelle au désordre.
- **Métabolisme** : l'ensemble des réactions chimiques qui prélèvent de l'énergie et de la matière dans le milieu pour construire et entretenir l'organisme (nutrition, respiration...).
- **Croissance et développement** : augmentation de taille et différenciation, pilotées par l'information génétique.
- **Homéostasie** : maintien d'un milieu intérieur stable (température, pH, teneurs) malgré les variations extérieures.
- **Réponse à l'environnement** : l'être vivant perçoit des stimulus et y réagit (une plante s'oriente vers la lumière, une paramécie fuit un obstacle).
- **Reproduction** : tout vivant provient d'un autre vivant ; il transmet à sa descendance son information héréditaire (ADN).
- **Évolution / adaptation** : les populations se modifient au fil des générations et s'adaptent à leur milieu.

ATTENTION

Aucun de ces critères pris *isolément* ne définit le vivant : une flamme « se nourrit », croît et réagit, un cristal « croît », un robot « réagit ». C'est la **réunion de tous ces critères**, et en particulier la présence d'une organisation cellulaire dotée d'ADN et d'un métabolisme, qui caractérise le vivant. Les *virus*, dépourvus de métabolisme propre et de structure cellulaire, occupent une position frontière (voir A.7).

La notion de propriété émergente

À chaque niveau d'organisation apparaissent des propriétés nouvelles, absentes des niveaux inférieurs : ce sont les **propriétés émergentes**, qui naissent des interactions entre les éléments. Des atomes assemblés en molécule d'eau acquièrent des propriétés (solvant, cohésion) qu'aucun atome d'hydrogène ou d'oxygène ne possède seul. De même, la **vie** elle-même est une propriété émergente : elle apparaît au niveau de la cellule et n'existe pas au niveau des molécules isolées qui la composent.

EXEMPLE

Isolés, les organites d'une cellule (mitochondries, ribosomes, noyau) ne « vivent » pas. C'est leur intégration et leur coopération à l'intérieur de la membrane plasmique qui font émerger la vie. Broyez une cellule : vous en avez tous les composants, mais plus aucune vie.

POINTS CLÉS — A.1

- Le vivant se reconnaît à la **réunion** de critères : organisation, métabolisme, croissance, homéostasie, réponse aux stimulus, reproduction, évolution.
- La **cellule** est l'unité structurale et fonctionnelle de tout être vivant (théorie cellulaire).
- Une **propriété émergente** apparaît d'un niveau d'organisation à l'autre : le tout est plus que la somme des parties.

A.2 — Les niveaux d'organisation du vivant

Les êtres vivants pluricellulaires sont organisés selon une **hiérarchie emboîtée** : chaque niveau est constitué d'éléments du niveau inférieur et constitue lui-même un élément du niveau supérieur. Savoir décrire et articuler ces niveaux est une compétence de base.

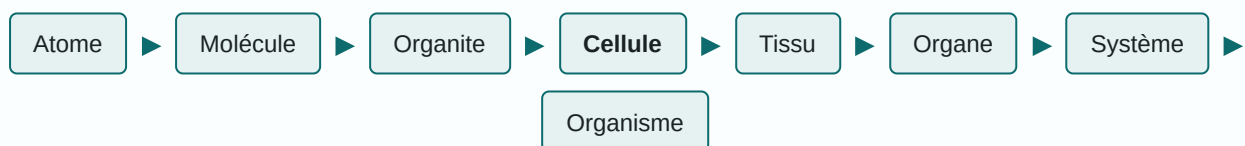


Fig. A.1 — La hiérarchie du vivant, de l'atome à l'organisme (chaque niveau intègre le précédent).

Niveau	Définition	Exemple (chez l'humain)
Molécule	Assemblage d'atomes liés (biomolécules : glucides, lipides, protéines, acides nucléiques).	Une molécule d'hémoglobine, une molécule d'ADN.
Organite	Structure spécialisée à l'intérieur de la cellule, assurant une fonction précise.	Une mitochondrie, un ribosome, le noyau.
Cellule	Plus petite unité capable de vie autonome ; unité de structure et de fonction.	Un globule rouge, un neurone, une cellule musculaire.
Tissu	Ensemble de cellules semblables assurant ensemble une même fonction.	Le tissu musculaire, le tissu épithélial, le tissu nerveux.
Organe	Association de plusieurs tissus coopérant à une fonction.	Le cœur (muscle + tissu conjonctif + nerveux + épithélium).
Système (appareil)	Ensemble d'organes concourant à une grande fonction.	Le système circulatoire (cœur + vaisseaux + sang).
Organisme	L'individu complet, résultat de l'intégration de tous ses systèmes.	Un être humain.

Tableau A.1 — Les grands niveaux d'organisation d'un pluricellulaire.

EXEMPLE — LA MÊME LOGIQUE DANS LE CŒUR

Atome de fer → molécule d'hémoglobine → cytoplasme du globule rouge (cellule) → tissu musculaire cardiaque (myocarde) → organe cœur → système cardiovasculaire → organisme. À chaque étage, une propriété nouvelle : une molécule d'hémoglobine transporte l'O₂, mais seul le *système* assure sa distribution à tout le corps.

ATTENTION

Ne pas confondre **organite** (dans la cellule) et **organe** (dans l'organisme). De même, chez les êtres **unicellulaires**, une seule cellule assure toutes les fonctions vitales : les niveaux « tissu », « organe » et « système » n'existent pas.

POINTS CLÉS — A.2

- Ordre à connaître par cœur : **molécule** → **organite** → **cellule** → **tissu** → **organe** → **système** → **organisme**.
- Chaque niveau intègre le précédent et fait émerger de nouvelles propriétés.
- La cellule est le pivot : le premier niveau réellement *vivant*.

A.3 — La cellule comme tout fonctionnel : structures et rôles

Construire un **modèle dynamique** de la cellule, c'est comprendre qu'elle n'est pas un sac de composants, mais une usine intégrée où chaque organite a un rôle et coopère avec les autres. On distingue d'abord deux grands types cellulaires.

DÉFINITION — PROCARYOTE / EUCARYOTE

Cellule procaryote (bactéries, archées) : petite (1–10 μm), sans noyau ni organites délimités par une membrane ; l'ADN, circulaire, baigne librement dans le cytoplasme (nucléoïde). **Cellule eucaryote** (protistes, champignons, végétaux, animaux) : plus grande (10–100 μm), pourvue d'un *noyau* vrai entouré d'une enveloppe et de nombreux *organites* membranaires spécialisés.

La membrane plasmique : la frontière vivante

Toute cellule est délimitée par une **membrane plasmique**, formée d'une *double couche de phospholipides* dans laquelle sont enchâssées des protéines. Elle est **semi-perméable** : elle contrôle sélectivement les entrées et les sorties (nutriments, déchets, ions), assure la communication et la reconnaissance cellulaire. C'est le modèle de la *mosaïque fluide* (Singer et Nicolson).

- **Diffusion** : passage spontané d'une substance du milieu concentré vers le milieu dilué, sans dépense d'énergie.
- **Osmose** : diffusion de l'eau à travers une membrane, du milieu le moins concentré en soluté vers le plus concentré.
- **Transport actif** : passage contre le gradient, avec consommation d'ATP (ex. pompe Na^+/K^+).

Les organites et leurs rôles

Structure	Rôle principal
Noyau	Centre de commande : contient l'ADN (chromatine) porteur de l'information génétique ; siège de la réplication et de la transcription.
Nucléole	Région du noyau où sont fabriqués les ARN ribosomiques et assemblés les ribosomes.
Ribosomes	Sites de la <i>synthèse des protéines</i> (traduction de l'ARNm). Libres dans le cytoplasme ou fixés au RE.
Réticulum endoplasmique rugueux (REG)	Couvert de ribosomes ; synthèse et maturation des protéines destinées à l'exportation ou aux membranes.
Réticulum endoplasmique lisse (REL)	Synthèse des lipides, détoxification, stockage du calcium.
Appareil de Golgi	« Centre de tri et d'expédition » : modifie, trie et emballe les protéines et lipides en vésicules.
Mitochondrie	« Centrale énergétique » : siège de la <i>respiration cellulaire</i> , produit l'ATP à partir des nutriments et de l'O ₂ .
Lysosome	Sac d'enzymes digestives ; dégrade les déchets, les organites usés et les particules ingérées (surtout cellule animale).
Vacuole	Réserve d'eau, de sels et de déchets ; très développée (vacuole centrale) chez les végétaux, où elle assure la turgescence.
Cytosquelette	Réseau de filaments protéiques ; charpente de la cellule, mouvements internes, forme et division.
Chloroplaste (végétaux)	Siège de la <i>photosynthèse</i> ; capte la lumière (chlorophylle) et fabrique du glucose.
Paroi cellulaire (végétaux)	Enveloppe rigide de cellulose autour de la membrane ; soutien et protection.

Tableau A.2 — Principaux organites de la cellule eucaryote et leur fonction.

EXEMPLE — LA CHAÎNE DE FABRICATION D'UNE PROTÉINE SÉCRÉTÉE

Le gène est lu dans le **noyau** → l'ARNm sort et est traduit par les **ribosomes** du **REG** → la protéine est modifiée dans le **Golgi** → elle est emballée dans une **vésicule** → celle-ci fusionne avec la **membrane** et libère la protéine (exocytose). C'est le cas d'une enzyme digestive ou d'un anticorps : plusieurs organites coopèrent comme les postes d'une même usine.

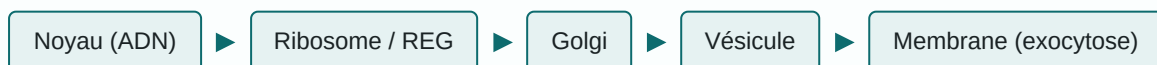


Fig. A.2 — La voie de sécrétion : un exemple d'intégration fonctionnelle des organites.

POINTS CLÉS — A.3

- Deux types cellulaires : **procaryote** (sans noyau ni organites membranaires) et **eucaryote** (noyau + organites).
- La **membrane plasmique** (mosaïque fluide) est semi-perméable et contrôle les échanges (diffusion, osmose, transport actif).
- Chaque organite a une fonction : noyau = commande, ribosome = protéines, mitochondrie = énergie, Golgi = tri, chloroplaste = photosynthèse, vacuole/paroi = spécificités végétales.
- La cellule est un **tout fonctionnel** : les organites coopèrent (ex. voie de sécrétion).

A.4 — Le métabolisme cellulaire

Le **métabolisme** est l'ensemble des réactions chimiques de la cellule. Il se divise en deux versants complémentaires.

DÉFINITION — ANABOLISME / CATABOLISME

Anabolisme : réactions de **construction** qui assemblent des molécules simples en molécules complexes, avec **consommation** d'énergie (ex. photosynthèse, synthèse des protéines). **Catabolisme** : réactions de **dégradation** qui libèrent de l'énergie en cassant des molécules complexes (ex. respiration cellulaire, digestion).

L'ATP, la monnaie énergétique

L'énergie libérée par le catabolisme n'est pas utilisée directement : elle est stockée dans une molécule relais, l'**ATP** (adénosine triphosphate). En perdant un groupe phosphate ($\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi}$), l'ATP fournit l'énergie aux réactions cellulaires (contraction, transport actif, synthèses). L'ATP est sans cesse recyclé.

Les enzymes, catalyseurs du vivant

DÉFINITION — ENZYME

Protéine **catalyseur** qui accélère une réaction chimique en abaissant son énergie d'activation, sans être consommée. Chaque enzyme est **spécifique** d'un substrat (modèle clé-serrure) et sensible aux conditions (température, pH).

Les deux grandes voies énergétiques

	Respiration cellulaire	Photosynthèse
Où ?	Mitochondrie (toutes les cellules)	Chloroplaste (végétaux, algues)
Type	Catabolisme (libère de l'énergie)	Anabolisme (stocke de l'énergie)
Entrées	Glucose + O_2	CO_2 + H_2O + lumière
Sorties	CO_2 + H_2O + ATP	Glucose + O_2
Bilan	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{énergie}$	$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{lumière} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$

Tableau A.3 — Respiration cellulaire et photosynthèse : deux processus inverses et complémentaires.

EXEMPLE — LE COUPLAGE À L'ÉCHELLE DE LA PLANÈTE

Les végétaux fabriquent du glucose et rejettent de l'O₂ (photosynthèse) ; animaux *et* végétaux consomment ce glucose et cet O₂ pour produire de l'ATP (respiration), en rejetant du CO₂ que les plantes réutilisent. Les deux équations sont l'inverse l'une de l'autre : c'est le moteur du cycle du carbone (voir Partie D).

ATTENTION

Les végétaux *respirent aussi*, en permanence, dans leurs mitochondries. La photosynthèse ne remplace pas la respiration : elle s'y ajoute, le jour, dans les cellules chlorophylliennes.

POINTS CLÉS — A.4

- **Anabolisme** = construire (consomme l'énergie) ; **catabolisme** = dégrader (libère l'énergie).
- L'**ATP** est la monnaie énergétique universelle ; les **enzymes** catalysent les réactions (spécificité, sensibilité au pH et à la température).
- **Respiration** (mitochondrie) et **photosynthèse** (chloroplaste) sont deux processus inverses et couplés.

A.5 — La reproduction cellulaire

Toute cellule provient d'une cellule préexistante. La reproduction cellulaire assure la **croissance**, le **renouvellement** des tissus et la **reproduction** des organismes. Elle repose sur le cycle cellulaire.

Le cycle cellulaire

DÉFINITION — CYCLE CELLULAIRE

Suite ordonnée d'événements de la vie d'une cellule, de sa formation à sa division. Il comprend l'**interphase** (longue période de croissance et de duplication de l'ADN, subdivisée en G1 – S – G2) et la **phase M** (mitose + division du cytoplasme).

En phase **S**, chaque chromosome est *répliqué* : il passe d'une à deux chromatides sœurs identiques, réunies par un centromère.

La mitose : une division conforme

La **mitose** répartit également le matériel génétique entre deux cellules filles génétiquement *identiques* à la cellule mère. Elle se déroule en quatre phases.

Phase	Événement principal
Prophase	La chromatine se condense en chromosomes visibles (2 chromatides) ; l'enveloppe nucléaire disparaît ; le fuseau de division se forme.
Métaphase	Les chromosomes s'alignent au centre de la cellule (plaque équatoriale).
Anaphase	Les deux chromatides de chaque chromosome se séparent et migrent vers les pôles opposés.
Télophase	Deux noyaux se reforment ; les chromosomes se décondensent. Suit la <i>cytocinèse</i> (division du cytoplasme).

Tableau A.4 — Les quatre phases de la mitose (moyen mnémotechnique : « Pro-Méta-Ana-Télo »).

ATTENTION — MITOSE ≠ MÉIOSE

La **mitose** donne 2 cellules identiques à $2n$ chromosomes (croissance, réparation). La **méiose** (voir Partie B) donne 4 cellules à n chromosomes (gamètes) et brasse l'information génétique. Ne pas les confondre : la mitose *conserve*, la méiose *réduit et mélange*.

EXEMPLE

La cicatrisation d'une plaie, la croissance d'un enfant, le renouvellement des cellules de la peau ou de l'intestin reposent sur des millions de mitoses. À l'inverse, une mitose qui échappe au contrôle du cycle cellulaire est à l'origine des *cancers* (prolifération anarchique).

POINTS CLÉS — A.5

- Le **cycle cellulaire** = interphase (G1–S–G2, avec réplication de l'ADN en S) + phase M.
- La **mitose** (Prophase–Métaphase–Anaphase–Télophase) produit 2 cellules filles *identiques* à $2n$.
- Elle assure croissance, renouvellement et réparation ; sa dérégulation mène au cancer.

A.6 — Cellule animale et cellule végétale

Toutes deux sont des cellules **eucaryotes** : elles partagent noyau, membrane, cytoplasme, mitochondries, ribosomes, RE, Golgi. Elles se distinguent par quelques structures caractéristiques.

Structure	Cellule animale	Cellule végétale
Membrane plasmique	Oui	Oui
Noyau, mitochondries, RE, Golgi, ribosomes	Oui	Oui
Paroi de cellulose	Non	Oui (rigidité, soutien, forme fixe)
Chloroplastes	Non	Oui (photosynthèse)
Grande vacuole centrale	Non (petites vacuoles éventuelles)	Oui (turgescence, réserves)
Lysosomes	Oui (nombreux)	Rares
Centrioles	Oui	Généralement absents
Forme générale	Souple, variable, arrondie	Fixe, souvent polyédrique (à cause de la paroi)

Tableau A.5 — Comparaison cellule animale / cellule végétale.

EXEMPLE — LA TURGESCEANCE

Quand une plante est bien arrosée, l'eau remplit la vacuole centrale qui plaque le cytoplasme contre la paroi rigide : la cellule est *turgescence* et la plante se tient droite. En cas de manque d'eau, la vacuole se vide, la cellule devient *plasmolysée* et la plante flétrit. C'est la paroi et la vacuole — absentes de la cellule animale — qui expliquent ce comportement.

POINTS CLÉS — A.6

- Les trois structures **propres à la cellule végétale** : **paroi de cellulose**, **chloroplastes**, **grande vacuole centrale**.
- La cellule animale possède des **centrioles** et de nombreux **lysosomes**, et n'a ni paroi ni chloroplaste.

A.7 — Les monères (procaryotes) et les virus

Les monères : le monde procaryote

DÉFINITION — MONÈRES

Ancien règne regroupant les êtres **procaryotes unicellulaires** : les *bactéries* et les *archées*. Ce sont les organismes les plus anciens (−3,5 milliards d'années) et les plus abondants de la planète. La classification moderne les répartit en deux domaines (Bactéries, Archées).

Caractéristiques générales d'une bactérie :

- Cellule **procaryote** : pas de noyau ni d'organites membranaires. L'ADN est une molécule *circulaire* unique, dans le nucléoïde ; s'y ajoutent parfois de petits ADN, les *plasmides*.

- Une **paroi** (souvent de peptidoglycane) entoure la membrane ; certaines ont une capsule et un ou plusieurs flagelles.
- Reproduction par **scissiparité** (division simple, asexuée) : une bactérie donne deux bactéries identiques, très rapidement (~20 min).
- **Métabolisme** très varié : certaines sont autotrophes (photosynthèse, chimiosynthèse), d'autres hétérotrophes ; aérobies ou anaérobies.

EXEMPLE

Escherichia coli (intestin), les bactéries lactiques du yaourt, les cyanobactéries (photosynthèse, à l'origine de l'O₂ atmosphérique), les bactéries fixatrices d'azote des racines de légumineuses (voir cycle de l'azote, Partie D). Beaucoup sont utiles ; certaines sont pathogènes (tuberculose, tétanos).

Les virus : à la frontière du vivant

DÉFINITION — VIRUS

Particule infectieuse **acellulaire**, extrêmement petite (20–300 nm), constituée d'un **matériel génétique** (ADN *ou* ARN) enfermé dans une coque de protéines, la **capside** (parfois entourée d'une enveloppe). Le virus est un **parasite intracellulaire obligatoire**.

Pourquoi les virus sont-ils à la limite du vivant ?

- Ils **n'ont pas de cellule**, pas de métabolisme propre, pas d'organites : hors d'une cellule hôte, ils sont inertes (on peut même les cristalliser).
- Ils ne peuvent **pas se reproduire seuls** : ils détournent la machinerie de la cellule infectée pour se multiplier.
- Mais ils possèdent de l'**information génétique** et **évoluent** (mutations, sélection) — d'où leur position ambiguë.

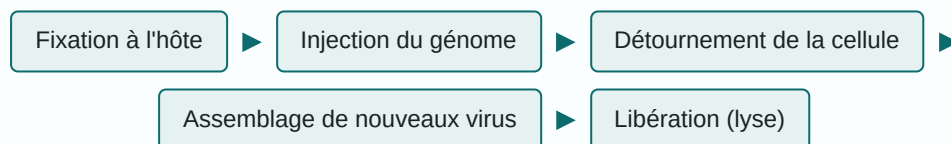


Fig. A.3 — Cycle de multiplication d'un virus : il ne se reproduit qu'à l'intérieur d'une cellule hôte.

EXEMPLE

Le virus de la grippe (ARN), le VIH (rétrovirus à ARN), le SARS-CoV-2, les bactériophages (virus qui infectent les bactéries). Les virus n'étant pas des cellules, les **antibiotiques** (qui ciblent les bactéries) sont sans effet sur eux : d'où l'inutilité des antibiotiques contre un rhume.

	Bactérie (procaryote)	Virus
Nature	Cellule vivante	Particule acellulaire
Taille	1–10 µm	20–300 nm (100× plus petit)
Matériel génétique	ADN (circulaire)	ADN <i>ou</i> ARN
Métabolisme propre	Oui	Non
Reproduction	Autonome (scissiparité)	Uniquement dans une cellule hôte
Sensible aux antibiotiques	Oui	Non

Tableau A.6 — Bactérie (monère) vs virus.

POINTS CLÉS — A.7

- Les **monères** (bactéries, archées) sont des **procaryotes unicellulaires** : ADN circulaire, paroi, division par scissiparité, métabolisme varié.
- Les **virus** sont **acellulaires** : génome (ADN ou ARN) + capsid, sans métabolisme, parasites intracellulaires obligatoires → à la *frontière* du vivant.
- Antibiotiques : efficaces contre les bactéries, **inefficaces** contre les virus.

A.8 — Les trois fonctions vitales & l'homéostasie

Un organisme peut survivre un temps même si sa croissance, sa reproduction ou son évolution sont altérées. En revanche, **trois fonctions** sont strictement indispensables à sa survie immédiate.

Fonction	Rôle	Précisions
Nutrition	Acquérir la matière organique et l'énergie.	Chez les plantes : photosynthèse + absorption d'eau/sels et transpiration par les <i>stomates</i> .
Respiration	Transformer l'énergie chimique (glucose) en énergie utilisable (ATP).	Même les organismes anaérobies produisent de l'ATP (par fermentation).
Excrétion	Éliminer les déchets du métabolisme.	Urine, CO ₂ , déchets azotés. Une insuffisance rénale grave menace directement la vie.

Tableau A.7 — Les trois fonctions indispensables à la survie.

À l'échelle cellulaire, l'ATP produit permet le **travail mécanique**, le **transport actif** et la **synthèse des macromolécules**.

DÉFINITION — HOMÉOSTASIE

Capacité d'un être vivant à *maintenir stables ses paramètres internes* (température, glycémie, pH, teneur en ions) malgré les variations du milieu extérieur.

EXEMPLE

Le lièvre de Californie dissipe la chaleur par ses grandes oreilles très vascularisées pour garder une température interne constante. À l'échelle d'un écosystème, l'équilibre entre facteurs physiques, chimiques et biologiques constitue aussi une forme d'homéostasie.

POINTS CLÉS — A.8

- Trois fonctions vitales : **nutrition, respiration, excrétion**.
- L'**homéostasie** maintient le milieu intérieur stable (température, glycémie, pH...).

A.9 — Procaryotes et eucaryotes : comparaison détaillée

Caractéristique	Procaryote	Eucaryote
Noyau	Absent (<i>nucléoïde</i>)	Présent, avec enveloppe nucléaire
ADN	Circulaire unique + plasmides	Linéaire, multiple (chromosomes)
Organites membraneux	Absents (seuls les ribosomes)	Présents (mitochondries, RE, Golgi...)
Taille	1–10 µm	10–100 µm
Division	Scissiparité	Mitose et méiose
Organisation	Unicellulaire	Uni- ou pluricellulaire
Paroi	Souvent peptidoglycane	Absente (animaux) ; cellulose (végétaux) ; chitine (champignons)

Tableau A.8 — Cellule procaryote vs cellule eucaryote.

L'hypothèse endosymbiotique

DÉFINITION — ENDOSYMBIOSE

Théorie expliquant l'origine des **mitochondries** et des **chloroplastes** : une cellule eucaryote primitive aurait *englobé* (endocytose) une bactérie qui, au lieu d'être digérée, serait devenue un organite en établissant une symbiose durable. Pour les mitochondries : une bactérie *aérobie* ; pour les chloroplastes : une *cyanobactérie* photosynthétique.

Trois preuves soutiennent cette origine bactérienne des mitochondries et chloroplastes : ils possèdent leur propre **ADN circulaire**, leurs propres **ribosomes**, et sont entourés d'une **double membrane** (vestige de l'ingestion).

Bactéries et archées : deux domaines de procaryotes

	Bactéries	Archées
Paroi	Peptidoglycane (le plus souvent)	Sans peptidoglycane
Habitat	Milieus variés	Souvent <i>extrêmophiles</i> (chaud, salé, sans O ₂)
Pathogénicité	Certaines pathogènes	Aucune connue chez l'humain
Parenté	—	Métabolisme plus proche des eucaryotes (classées par C. Woese via l'ARN ribosomique)

Tableau A.9 — Différences bactéries / archées.

POINTS CLÉS — A.9

- Procaryote = **sans noyau**, ADN circulaire, pas d'organites, scissiparité ; eucaryote = noyau + organites, mitose/méiose.
- **Endosymbiose** : mitochondries et chloroplastes = anciennes bactéries (double membrane, ADN circulaire, ribosomes propres).
- **Bactéries** (peptidoglycane) et **archées** (souvent extrêmophiles) sont deux domaines de procaryotes.

A.10 — Le métabolisme énergétique en détail

Réactions d'oxydoréduction (redox)

DÉFINITION — OXYDATION / RÉDUCTION

Une molécule est **oxydée** si elle *perd* des électrons (souvent en perdant des atomes d'hydrogène) ; elle est **réduite** si elle en *gagne*. Ces transferts d'électrons sont au cœur de la production d'énergie. Les coenzymes **NAD⁺** et **FAD** servent de *transporteurs d'électrons* (ils deviennent NADH et FADH₂).

La respiration cellulaire : la dégradation complète du glucose

La respiration cellulaire oxyde totalement le glucose en présence d'O₂ pour produire de l'ATP. Elle se déroule en **trois étapes**, à des *localisations précises* dans la cellule.

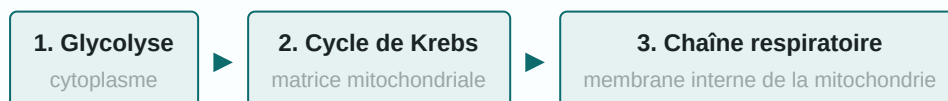


Fig. A.4 — Les trois étapes de la respiration cellulaire et leur localisation.

Étape	Lieu	Transformations	Bilan énergétique
Glycolyse	Cytoplasme	1 glucose (6C) → 2 pyruvates (3C)	2 ATP + 2 NADH
Cycle de Krebs	Matrice mitochondriale	Pyruvate → acétyl-CoA, puis oxydation complète en CO ₂	2 ATP + NADH + FADH ₂
Phosphorylation oxydative	Membrane interne de la mitochondrie	Les électrons du NADH/FADH ₂ passent jusqu'à l'O ₂ (accepteur final) → formation d'H ₂ O ; l'ATP synthase produit l'ATP	≈ 32–34 ATP

Tableau A.10 — Bilan des étapes de la respiration cellulaire.

Bilan global : $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{énergie} (\approx 36 \text{ ATP})$.

ATTENTION — LA FERMENTATION

En *absence d'O₂*, la cellule ne réalise que la glycolyse suivie d'une **fermentation** (lactique ou alcoolique) dans le *cytoplasme* : elle ne produit alors que **2 ATP** par glucose (bien moins que les ~36 de la respiration). Ex. : fermentation lactique dans le muscle à l'effort, fermentation alcoolique par la levure.

POINTS CLÉS — A.10

- **Redox** : oxydé = perd des électrons, réduit = en gagne ; NAD⁺/FAD = transporteurs d'électrons.
- Respiration : **glycolyse** (cytoplasme) → **Krebs** (matrice mito) → **chaîne respiratoire** (membrane interne mito) ; O₂ = accepteur final ; ≈ 36 ATP.
- Sans O₂ : **fermentation** (cytoplasme), seulement 2 ATP.

A.11 — Les transports membranaires : endocytose et exocytose

Les grosses molécules ne traversent pas directement la membrane : la cellule utilise des **vésicules** et déforme sa membrane, avec dépense d'**ATP**.

	Endocytose (entrée)	Exocytose (sortie)
Sens	Le milieu extérieur → intérieur	Intérieur → milieu extérieur
Mécanisme	La membrane s'invagine et forme une vésicule	Une vésicule fusionne avec la membrane et libère son contenu
Types / exemples	Phagocytose (grosses particules), pinocytose (liquides), endocytose par récepteur	Sécrétion de neurotransmetteurs, d'insuline, d'enzymes

Tableau A.11 — Endocytose vs exocytose.

POINTS CLÉS — A.11

- **Endocytose** = faire entrer (invagination, vésicule) ; **exocytose** = expulser/sécréter (fusion vésicule-membrane).
- Les deux consomment de l'**ATP** ; phagocytose vs pinocytose selon la nature de ce qui entre.

A.12 — Compléments sur la cellule végétale

La diversité des plastes

Le chloroplaste n'est qu'un type de **plaste**. Les cellules végétales en possèdent d'autres :

Plaste	Rôle	Exemple
Chloroplaste	Photosynthèse (pigment vert : chlorophylle)	Feuilles
Chromoplaste	Pigments colorés (rouge, orange, jaune)	Couleur de la tomate, de la carotte
Amyloplaste	Stockage de l'amidon (réserve)	Tubercule de pomme de terre

Tableau A.12 — Les principaux plastes végétaux.

STRUCTURE DU CHLOROPLASTE

Organite à **double membrane** renfermant le **stroma** (liquide contenant l'ADN circulaire, des ribosomes et les enzymes du cycle de Calvin). Le stroma baigne des sacs aplatis, les **thylakoïdes** (dont la membrane porte la chlorophylle), empilés en **grana**.

La division sans centrioles : les calottes polaires

Contrairement à la cellule animale (qui a un centrosome à deux centrioles), la cellule végétale en est dépourvue. Elle organise le fuseau de division grâce à des condensations du cytoplasme aux pôles, les **calottes polaires**, centres organisateurs des microtubules.

POINTS CLÉS — A.12

- Plastés : **chloroplaste** (photosynthèse), **chromoplaste** (couleur), **amyloplaste** (réserve d'amidon).
- Chloroplaste : double membrane, stroma (ADN, ribosomes, cycle de Calvin), thylakoïdes empilés en grana (chlorophylle).
- La cellule végétale divise *sans centrioles*, via les **calottes polaires**.

A.13 — Les molécules du vivant

DÉFINITION — CHON

Les quatre éléments chimiques les plus abondants du vivant sont le **Carbone, l'Hydrogène, l'Oxygène et l'Azote (CHON)**. Le constituant *majoritaire* du corps humain est l'**eau**.

Molécule organique ou minérale ?

- **Molécule organique** : contient toujours au moins un atome de **carbone ET d'hydrogène** (liaisons C–H, carbone à l'état réduit). Ex. : glucose ($C_6H_{12}O_6$), protéines, ADN, hydrocarbures.
- **Molécule minérale** : eau, sels minéraux, CO_2 , carbonate de calcium ($CaCO_3$), NaCl, NH_3 (ammoniac).

ATTENTION — PIÈGES CLASSIQUES

Une molécule contenant un **carbonate** (comme le CO_2 ou le $CaCO_3$) est *minérale*, pas organique. Le glucose est organique *parce qu'il contient des carbones réduits / des liaisons C–H* — et non « parce qu'il est produit par un être vivant » ni « parce qu'il intervient dans la respiration ». Les molécules organiques ne sont pas toutes solubles dans l'eau.

Les 4 grandes familles de molécules organiques

Famille	Éléments	Points essentiels
Glucides (sucres)	C, H, O	Rôle énergétique. Monosaccharides (glucose, fructose), polysaccharides : <i>amidon</i> = réserve végétale , <i>glycogène</i> = réserve animale , <i>cellulose</i> = paroi végétale.
Lipides	C, H, peu d'O	Insolubles dans l'eau , solubles dans les solvants organiques. Réserve d'énergie à long terme. Triglycérides, <i>phospholipides</i> (membranes), stéroïdes (cholestérol). NE sont PAS des polymères.
Protides / protéines	C, H, O, N	Chaînes d' <i>acides aminés</i> (20 différents) reliés par des liaisons peptidiques , dans une <i>séquence caractéristique</i> . 1 ^{er} acide aminé = extrémité N-terminale . Rôles : enzymatique, structural, immunitaire, transport, hormonal.
Acides nucléiques	C, H, O, N, P	ADN et ARN : polymères de <i>nucléotides</i> (voir B.9).

Tableau A.13 — Les quatre familles de biomolécules.

ATTENTION — POLYMÈRES OU NON ?

Sont des **polymères** : acides nucléiques, glucides (polysaccharides), protéines. **Ne sont PAS des polymères** : les *lipides*. Autre piège : une protéine n'est *pas* le support de l'information génétique (c'est l'ADN) ; et toutes les protéines ne sont pas des enzymes.

L'ATP, la monnaie énergétique (rappel & détail)

L'**ATP** (adénosine triphosphate) fournit l'énergie aux réactions. L'énergie est libérée par l'**hydrolyse de la liaison entre le 2^e et le 3^e phosphate** ($ATP \rightarrow ADP + P_i + \text{énergie}$) ; la recharge fait l'inverse ($ADP + P_i + \text{énergie} \rightarrow ATP$). Lors d'un effort intense, l'organisme puise rapidement dans les *glucides*.

Les ordres de grandeur (tailles croissantes)

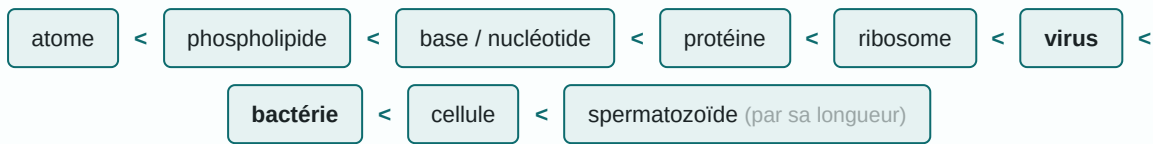


Fig. A.5 — Ordres de grandeur à mémoriser. Repère clé : **virus < bactérie** (nm pour le virus, ≈ quelques μm pour la bactérie).

POINTS CLÉS — A.13

- Vivant = surtout **CHON** ; eau = constituant majoritaire.
- **Organique** = contient C *et* H (liaisons C–H) ; carbonate = minéral.
- 4 familles : glucides (amidon/glycogène/cellulose), lipides (*non-polymères*, insolubles), protéines (acides aminés, liaisons peptidiques, N-terminale), acides nucléiques.
- Tailles : atome < ... < **virus** < **bactérie** < cellule.

A.14 — Compléments : théorie cellulaire, organites & tonicité

La théorie cellulaire (3 points)

LES 3 POSTULATS

1. Tout être vivant est formé d'**une ou plusieurs cellules**.
2. La **cellule est la plus petite entité vivante** (unité de structure et de fonction).
3. Toute cellule provient d'une **cellule préexistante**.

Compléments sur les organites

- **Peroxisome** (membrane simple) : organite de *détoxification*.
- Classement par membranes : **2 membranes** = noyau, mitochondrie, chloroplaste ; **1 membrane** = RE, Golgi, lysosome, vacuole, peroxysome ; **sans membrane** = ribosome, centrosome/centriole.
- Le **cyanure** bloque la production d'ATP : il agit donc sur les *mitochondries* (chaîne respiratoire).

Le cytosquelette (du plus fin au plus épais)

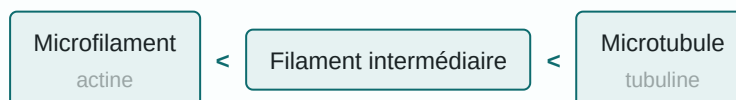


Fig. A.6 — Les trois types de filaments du cytosquelette (les microtubules forment le fuseau, les cils et flagelles ; ils ne forment PAS les ribosomes).

Transports membranaires : diffusion facilitée & tonicité

En complément de A.11 : la **diffusion facilitée** fait passer une substance dans le sens du gradient *via une protéine/canal* spécifique, *sans* énergie. L'osmose dépend de la **tonicité** du milieu :

Milieu externe	Mouvement de l'eau	Effet sur la cellule
Hypotonique (moins concentré)	L'eau <i>entre</i>	La cellule gonfle et peut éclater (<i>hémolyse</i> du globule rouge)
Hypertonique (plus concentré)	L'eau <i>sort</i>	La cellule se rétracte (plasmolyse) ; ex. le poisson d'eau de mer perd de l'eau et boit pour compenser (miction réduite)
Isotonique	Équilibre	Pas de variation nette

Tableau A.14 — Effets de la tonicité sur une cellule.

EXEMPLE — POMPE Na^+/K^+

La pompe Na^+/K^+ est un *transport actif* : elle a besoin d'ATP fourni par le métabolisme du glucose. Sans glucose, la sortie du Na^+ ne peut plus se faire.

Où se déroule la fécondation ?

Chez l'humain, la **fécondation** a normalement lieu dans les **trompes utérines** (oviductes), et non dans l'utérus.

POINTS CLÉS — A.14

- Théorie cellulaire : 1 ou plusieurs cellules ; cellule = plus petite entité vivante ; toute cellule vient d'une cellule.
- **Peroxisome** = détoxification ; **cyanure** → mitochondrie ; cytosquelette : microfilament (actine) < filament intermédiaire < microtubule (tubuline).
- Milieu **hypotonique** → la cellule gonfle (hémolyse) ; **hypertonique** → elle se rétracte.
- Fécondation humaine = dans les **trompes utérines**.

PARTIE B

La génétique & l'hérédité

De la molécule d'ADN aux lois de la transmission des caractères

B.1 — Les supports de l'information génétique

L'hérédité est la transmission des caractères des parents aux descendants. Son support matériel est une molécule : l'**ADN**, logée dans les chromosomes du noyau.

Du chromosome au gène

DÉFINITIONS À CONNAÎTRE

Chromosome : structure formée d'ADN très condensé (associé à des protéines), visible lors de la division. **Gène** : segment d'ADN codant une information précise (souvent une protéine). **Allèle** : version particulière d'un gène. **Génome** : ensemble de l'information génétique d'un individu.

La structure de l'ADN : la double hélice

L'ADN (acide désoxyribonucléique) est un **acide nucléique**, polymère de **nucléotides**. Chaque nucléotide comprend trois parties : un sucre (le désoxyribose), un groupe phosphate et une **base azotée**. Il existe quatre bases : **Adénine**, **Thymine**, **Guanine**, **Cytosine**.

Watson et Crick (1953) ont établi que l'ADN forme une **double hélice** : deux brins enroulés, reliés par les bases selon des règles strictes de **complémentarité** :



Fig. B.1 — Appariement complémentaire des bases : A avec T (2 liaisons H), G avec C (3 liaisons H).

ATTENTION — LA RÈGLE D'OR

A s'apparie toujours avec T, G toujours avec C. Donc si un brin est A-T-G-C-C, le brin complémentaire est T-A-C-G-G. Cette complémentarité explique à la fois la stabilité de l'ADN et sa capacité à se copier.

La réplication : copier l'information

Avant chaque division (phase S), l'ADN se **réplique**. Les deux brins se séparent et chacun sert de **modèle** pour construire un brin complémentaire neuf. On obtient deux doubles hélices identiques, chacune formée d'un brin ancien et d'un brin neuf : la réplication est dite **semi-conservative**.

EXEMPLE — POURQUOI LA COMPLÉMENTARITÉ EST GÉNIALE

Il suffit d'un seul brin pour reconstituer l'autre. C'est ce principe qui garantit que chaque cellule fille reçoit une copie fidèle du message génétique, et c'est aussi la base des tests ADN et du séquençage.

POINTS CLÉS — B.1

- Hiérarchie : **ADN** → **gène** → **chromosome** ; un gène existe en plusieurs versions, les **allèles**.
- L'ADN est une **double hélice** de nucléotides ; bases complémentaires : **A–T** et **G–C**.
- La **réplication semi-conservative** copie fidèlement l'information avant chaque division.

B.2 — De l'ADN à la protéine : l'expression des gènes

Un gène ne « fait » rien directement : il commande la fabrication d'une **protéine**, molécule qui réalise le caractère. Le passage du gène à la protéine se fait en deux étapes : **transcription** puis **traduction**. C'est le « dogme central » de la biologie moléculaire.

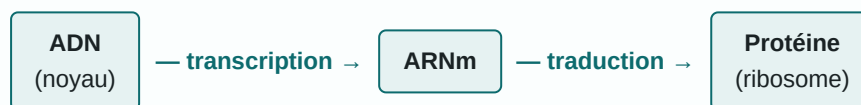


Fig. B.2 — Le dogme central : ADN → ARN messager → protéine.

Étape 1 — La transcription

DÉFINITION — TRANSCRIPTION

Copie d'un gène de l'ADN en une molécule d'**ARN messager (ARNm)**, dans le noyau. L'ARN est un acide nucléique proche de l'ADN mais à un seul brin, avec un sucre ribose et une base **Uracile** qui remplace la thymine (U s'apparie avec A).

L'enzyme **ARN polymérase** lit un brin de l'ADN et fabrique un ARNm complémentaire. L'ARNm quitte ensuite le noyau et gagne le cytoplasme.

Étape 2 — La traduction

DÉFINITION — TRADUCTION & CODE GÉNÉTIQUE

Lecture de l'ARNm par les **ribosomes** pour assembler une chaîne d'**acides aminés** (la protéine). Le message est lu par groupes de trois bases, les **codons** ; chaque codon correspond à un acide aminé selon le **code génétique**. Les ARN de transfert (ARNt) apportent les acides aminés correspondants.

EXEMPLE — DÉCODER UN MESSAGE

Brin d'ADN : T - A - C → ARNm transcrit : A - U - G (codon « start », acide aminé méthionine). Une suite de codons donne une suite d'acides aminés, donc une protéine précise. Ainsi le gène de l'insuline commande l'assemblage, acide aminé par acide aminé, de l'hormone insuline.

ATTENTION — MUTATIONS

Une modification d'une seule base de l'ADN (mutation) peut changer un codon, donc un acide aminé, donc la protéine. C'est le mécanisme de la *drépanocytose* : un seul nucléotide modifié dans le gène de l'hémoglobine suffit à déformer les globules rouges.

POINTS CLÉS — B.2

- Dogme central : **ADN** → **ARNm** → **protéine** (transcription dans le noyau, traduction sur les ribosomes).
- L'**ARNm** est simple brin, avec l'uracile (U) à la place de la thymine.
- Le **code génétique** lit l'ARNm par **codons** (3 bases = 1 acide aminé).
- Une **mutation** de l'ADN peut modifier la protéine et donc le caractère.

B.3 — Espèce et variations intraspécifiques

DÉFINITION — ESPÈCE

Ensemble d'êtres vivants *interféconds*, capables de se reproduire entre eux et de donner une descendance elle-même féconde. Deux individus d'espèces différentes ne peuvent normalement pas avoir de descendance fertile (le mulet, croisement âne × jument, est stérile).

Au sein d'une même espèce, les individus ne sont pas identiques : ce sont les **variations intraspécifiques**. Elles ont deux origines :

- **Génétique** : chaque individu possède une combinaison unique d'allèles (issue de la reproduction sexuée et des mutations). D'où la couleur des yeux, le groupe sanguin, la taille...
- **Environnementale** : le milieu module l'expression des gènes (alimentation, exposition au soleil, entraînement...).

EXEMPLE

Tous les humains appartiennent à une même espèce (*Homo sapiens*), pourtant chacun est unique : c'est la variation intraspécifique. Cette diversité est le « carburant » sur lequel agit la sélection naturelle (Partie C).

POINTS CLÉS — B.3

- L'**espèce** se définit par l'**interfécondité** (descendance fertile).
- Les **variations intraspécifiques** ont une origine **génétique** et **environnementale** ; elles nourrissent l'évolution.

B.4 — Les lois de Mendel et la résolution de problèmes

Gregor Mendel (1865), en croisant des pois, a découvert les lois de la transmission des caractères, bien avant la connaissance de l'ADN. Elles restent l'outil de base pour résoudre un problème d'hérédité.

Le vocabulaire indispensable

Terme	Signification
Gène	Facteur héréditaire déterminant un caractère (ex. la couleur de la fleur).
Allèle	Version d'un gène (ex. allèle « rouge » ou « blanc »).
Dominant (A)	Allèle qui s'exprime même à un seul exemplaire ; noté par une majuscule.
Récessif (a)	Allèle qui ne s'exprime que s'il est en double ; noté par une minuscule.
Homozygote	Deux allèles identiques (AA ou aa).
Hétérozygote	Deux allèles différents (Aa).
Génotype	Ensemble des allèles portés (ex. Aa).
Phénotype	Caractère observé, résultant du génotype (ex. « fleur rouge »).

Tableau B.1 — Vocabulaire de la génétique mendélienne.

Les trois lois de Mendel

- **1^{re} loi — Uniformité des hybrides (F1)** : le croisement de deux lignées pures ($AA \times aa$) donne une descendance F1 toute identique et hétérozygote (Aa), présentant le caractère dominant.
- **2^e loi — Ségrégation des allèles** : lors de la formation des gamètes (méiose), les deux allèles d'un gène se séparent ; chaque gamète n'en reçoit qu'un. Le croisement F1 $\times$ F1 ($Aa \times Aa$) fait réapparaître le caractère récessif dans un rapport **3 : 1**.
- **3^e loi — Ségrégation indépendante** : les allèles de gènes différents se distribuent indépendamment les uns des autres (pour des gènes situés sur des chromosomes différents).

MÉTHODE — RÉSOUDRE UN CROISEMENT (MONOHYBRIDISME)

1. Repérer le caractère et noter les allèles (majuscule = dominant, minuscule = récessif).
2. Écrire les **génotypes** des parents.
3. Déterminer les **gamètes** possibles de chacun (un allèle par gamète).
4. Croiser dans un **échiquier de croisement** (tableau de Punnett).
5. Lire les génotypes obtenus, en déduire les **phénotypes** et leurs **proportions**.

EXEMPLE RÉSOLU — COULEUR DES FLEURS (ROUGE R DOMINANT, BLANC R RÉCESSIF)

Croisement F1 × F1 : **Rr × Rr**. Gamètes possibles : R ou r pour chacun. Échiquier :

	R	r
R	RR (rouge)	Rr (rouge)
r	Rr (rouge)	rr (blanc)

Génotypes : 1 RR : 2 Rr : 1 rr. **Phénotypes** : 3 fleurs rouges pour 1 blanche → rapport **3 : 1**. Le caractère blanc, disparu en F1, réapparaît en F2.

ATTENTION

Un individu de phénotype dominant peut être *homozygote* (AA) ou *hétérozygote* (Aa) : on ne peut pas trancher sur le seul phénotype. Le **croisement-test** (avec un homozygote récessif aa) permet de le déterminer.

POINTS CLÉS — B.4

- Distinguer **génotype** (allèles) et **phénotype** (caractère observé), **dominant/récessif**, **homo/hétérozygote**.
- Méthode : génotypes des parents → gamètes → échiquier de Punnett → proportions.
- Croisement d'hétérozygotes (Aa × Aa) → rapport phénotypique **3 : 1** ; croisement-test → révèle le génotype.

B.5 — Groupes sanguins et autres modes de transmission

La génétique mendélienne « simple » (un gène, deux allèles, dominance nette) n'est qu'un cas particulier. Plusieurs situations plus riches sont au programme.

Les groupes sanguins ABO : allélie multiple et codominance

Le système ABO est déterminé par un seul gène possédant **trois allèles** : I^A , I^B et i .

- I^A et I^B sont **dominants** sur i , mais **codominants** entre eux (ils s'expriment tous les deux).
- i est **récessif**.

Groupe sanguin (phénotype)	Génotype(s) possible(s)
Groupe A	$I^A I^A$ ou $I^A i$
Groupe B	$I^B I^B$ ou $I^B i$
Groupe AB	$I^A I^B$ (codominance)
Groupe O	ii uniquement

Tableau B.2 — Génotypes et phénotypes du système ABO.

EXEMPLE RÉSOLU

Un père de groupe **AB** ($I^A I^B$) et une mère de groupe **O** (ii). Gamètes du père : I^A ou I^B ; gamètes de la mère : i. Enfants possibles : $I^A i$ (groupe A) ou $I^B i$ (groupe B), à 50 % chacun. **Aucun** enfant ne peut être AB ni O : un résultat utile en génétique médicale et en recherche de paternité.

Autres cas à connaître

- **Dominance incomplète** : l'hétérozygote a un phénotype *intermédiaire* (fleur rouge × fleur blanche → fleurs roses ; rapport F2 : 1 rouge : 2 roses : 1 blanc).
- **Codominance** : les deux allèles s'expriment pleinement et simultanément (groupe AB).
- **Hérédité liée au sexe** : gène porté par le chromosome X (voir B.6).
- **Polygénie** : un caractère déterminé par plusieurs gènes (taille, couleur de la peau) → variation continue.

POINTS CLÉS — B.5

- Le système **ABO** illustre l'**allélie multiple** (3 allèles) et la **codominance** (AB).
- Génotypes : A = $I^A I^A / I^A i$; B = $I^B I^B / I^B i$; AB = $I^A I^B$; O = ii.
- Existent aussi : **dominance incomplète** (phénotype intermédiaire) et **polygénie** (variation continue).

B.6 — Caryotype et hérédité chromosomique**DÉFINITION — CARYOTYPE**

Photographie ordonnée de l'ensemble des chromosomes d'une cellule, classés par paires et par taille. Chez l'être humain : **46 chromosomes**, soit **23 paires** — 22 paires d'*autosomes* (identiques chez les deux sexes) et 1 paire de *chromosomes sexuels* (gonosomes).

La détermination du sexe

La 23^e paire détermine le sexe :

- **Femme : XX** (produit uniquement des gamètes X).
- **Homme : XY** (produit 50 % de gamètes X, 50 % de gamètes Y).

C'est donc le **spermatozoïde** (X ou Y) qui détermine le sexe de l'enfant : X → fille, Y → garçon, avec une probabilité de 50 % à chaque conception.

DÉFINITION — DIPLOÏDE / HAPLOÏDE & MÉIOSE

Les cellules du corps sont **diploïdes** ($2n = 46$, chromosomes par paires). Les gamètes (spermatozoïdes, ovules) sont **haploïdes** ($n = 23$), produits par **méiose**, une division qui *réduit de moitié* le nombre de chromosomes. À la fécondation, deux gamètes haploïdes ($n + n$) reconstituent une cellule-œuf diploïde ($2n$).

Les anomalies chromosomiques

Une répartition anormale des chromosomes lors de la méiose peut donner un gamète avec un chromosome en trop ou en moins.

EXEMPLE — LA TRISOMIE 21

Présence de **trois** chromosomes 21 au lieu de deux (47 chromosomes au total). Elle résulte d'une mauvaise séparation des chromosomes lors de la méiose (non-disjonction). Le caryotype permet de la diagnostiquer.

POINTS CLÉS — B.6

- Caryotype humain : **46 chromosomes = 23 paires** (22 autosomes + 1 paire sexuelle).
- Sexe : **XX = femme, XY = homme** ; le **père** (gamète X ou Y) détermine le sexe.
- Cellules diploïdes ($2n$) → gamètes haploïdes (n) par **méiose** ; fécondation : $n + n \rightarrow 2n$.
- Une **non-disjonction** peut causer une anomalie (ex. **trisomie 21**).

B.7 — Interpréter un arbre généalogique

Un **arbre généalogique** (ou pedigree) représente la transmission d'un caractère sur plusieurs générations. Savoir l'analyser permet de retrouver le mode de transmission d'un caractère.

CONVENTIONS DE LECTURE

Un **carré** = un homme ; un **rond** = une femme ; un symbole **rempli** = individu atteint (qui présente le caractère) ; un trait horizontal = union ; les traits verticaux relient aux enfants ; les générations sont numérotées en chiffres romains (I, II, III...).

MÉTHODE — DÉTERMINER LE MODE DE TRANSMISSION

1. **Dominant ou récessif ?** Si deux parents **non atteints** ont un enfant **atteint**, le caractère est **récessif** (les parents sont porteurs sains Aa). Si tout individu atteint a au moins un parent atteint, il est plutôt **dominant**.
2. **Autosomique ou lié au sexe ?** Si le caractère touche autant les hommes que les femmes → plutôt **autosomique**. S'il touche surtout les hommes (transmis par les mères) → plutôt **lié au chromosome X récessif**.
3. **Vérifier** en attribuant les génotypes à chaque individu, sans contradiction sur tout l'arbre.

EXEMPLE — UNE MALADIE RÉCESSIVE

Deux parents sains ont un enfant malade. Puisque la maladie « saute » une génération et naît de parents sains, l'allèle est **récessif** : les deux parents sont **hétérozygotes porteurs** ($Aa \times Aa$), et l'enfant atteint est aa . Chaque enfant du couple a alors 1 chance sur 4 d'être atteint. C'est le schéma de la mucoviscidose ou de l'albinisme.

ATTENTION — HÉRÉDITÉ LIÉE À L'X

Pour une maladie récessive liée à l'X (daltonisme, hémophilie) : un garçon (XY) n'a qu'un seul X → un seul allèle récessif suffit à le rendre atteint. Une fille (XX) doit avoir les deux X atteints, ce qui est plus rare. D'où une nette prédominance masculine, la maladie étant transmise par les mères conductrices.

POINTS CLÉS — B.7

- Symboles : carré = homme, rond = femme, rempli = atteint.
- Deux parents sains → enfant atteint = caractère **récessif** (parents porteurs Aa).
- Prédominance masculine + transmission maternelle = maladie **récessive liée à l'X**.
- Toujours valider en attribuant les génotypes sans contradiction.

B.8 — Des caractères non exclusivement déterminés par les gènes

Une idée essentielle : le phénotype n'est pas seulement dicté par les gènes. Il résulte de l'**interaction entre le génotype et le milieu** : **Phénotype = Génotype + Environnement**.

- **L'alimentation** : deux vrais jumeaux (même génotype) peuvent avoir des tailles ou des poids différents selon leur nutrition.
- **Le mode de vie et l'entraînement** : la masse musculaire, la capacité pulmonaire dépendent de l'activité.
- **L'exposition au milieu** : le bronzage (soleil), la couleur des fleurs d'hortensia (selon le pH du sol), la couleur du pelage de certains animaux (selon la température).
- **Les facteurs épigénétiques** : le milieu peut modifier l'**expression** des gènes sans changer la séquence d'ADN.
- **Les caractères acquis** : la langue parlée, les savoir-faire, la culture — non inscrits dans les gènes, non héréditaires.

EXEMPLE — LES VRAIS JUMEAUX

Deux jumeaux monozygotes ont un ADN identique. Pourtant, avec l'âge, ils diffèrent : cicatrices, tonus, parfois maladies. La preuve que le milieu et l'histoire de vie modèlent le phénotype par-delà les gènes.

ATTENTION

Distinguer les caractères **héréditaires** (inscrits dans l'ADN, transmis à la descendance) des caractères **acquis** (dus au milieu ou à l'apprentissage, non transmis génétiquement). C'est un point clé pour comprendre le débat évolutionniste Lamarck / Darwin (Partie C).

POINTS CLÉS — B.8

- **Phénotype = Génotype + Environnement** : les gènes fixent un potentiel, le milieu le module.
- Facteurs non génétiques : alimentation, mode de vie, exposition, épigénétique, apprentissage.
- Ne pas confondre caractère **héréditaire** (transmis) et caractère **acquis** (non transmis).

B.9 — Nucléotides et acides nucléiques : précisions

DÉFINITION — NUCLÉOSIDE / NUCLÉOTIDE

Un **nucléoside** = une *base azotée* + un *sucré* (pentose). Un **nucléotide** = un nucléoside + un *groupe phosphate*.
Autrement dit : **nucléotide** = **nucléoside** + **phosphate**. Les nucléotides sont les briques de l'ADN et de l'ARN.

	ADN	ARN
Brins	Double (double hélice)	Simple (le plus souvent)
Sucré	Désoxyribose	Ribose
Bases	A, T, G, C	A, U , G, C (uracile remplace la thymine)
Rôle	Support de l'information génétique	Synthèse des protéines (messenger, transfert, ribosomique)

Tableau B.3 — ADN vs ARN.

ATTENTION — ADN/ARN CHEZ BACTÉRIES ET VIRUS

Une **bactérie** possède un ADN circulaire (+ plasmides) et de l'ARN, comme toute cellule. Un **virus** ne contient *qu'un seul* type d'acide nucléique : soit de l'ADN, soit de l'ARN, jamais les deux — enfermé dans sa capsid.

POINTS CLÉS — B.9

- **Nucléotide** = **nucléoside** + **phosphate** (nucléoside = base + sucre).
- ADN : double brin, désoxyribose, A-T-G-C ; ARN : simple brin, ribose, A-U-G-C.
- Bactérie = ADN + ARN ; virus = ADN *ou* ARN (jamais les deux).

B.10 — La synthèse des protéines en détail

Reprenons le dogme central (ADN → ARNm → protéine) en détaillant chaque étape.

La transcription (dans le noyau)

Copie d'un gène en ARN messenger par l'enzyme **ARN polymérase**, en trois temps :

- **Initiation** : l'ARN polymérase se fixe sur une région spécifique de l'ADN, le **promoteur**, et déroule la double hélice.
- **Élongation** : elle lit le *brin transcrit* (dans le sens 3' → 5') et fabrique l'ARNm (dans le sens 5' → 3') par complémentarité, en remplaçant chaque **T par U** (U face à A).
- **Maturation (eucaryotes)** : l'ARN pré-messenger reçoit une *coiffe* et une *queue poly-A*, et subit l'**épissage** avant de sortir du noyau.

DÉFINITION — ÉPISSAGE & ÉPISSAGE ALTERNATIF

Un gène eucaryote alterne des **exons** (parties codantes, « utiles ») et des **introns** (parties non codantes). L'**épissage** (réalisé par le *splicéosome*) *retire les introns* et *raboute les exons* pour former l'ARNm mature. L'**épissage alternatif** combine les exons de différentes façons : un *même gène* peut ainsi coder *plusieurs protéines* (isoformes) → grande diversité protéique.

La traduction (dans le cytoplasme, sur les ribosomes)

- **Initiation** : le ribosome s'assemble sur l'ARNm ; la lecture commence au codon **AUG** (codon « start » = méthionine).
- **Élongation** : les **ARN de transfert (ARNt)** apportent chacun un acide aminé ; leur *anticodon* s'apparie au codon de l'ARNm. Les acides aminés se lient par des *liaisons peptidiques*.
- **Terminaison** : la lecture s'arrête à un **codon stop** (UAA, UAG ou UGA) ; la protéine est libérée.

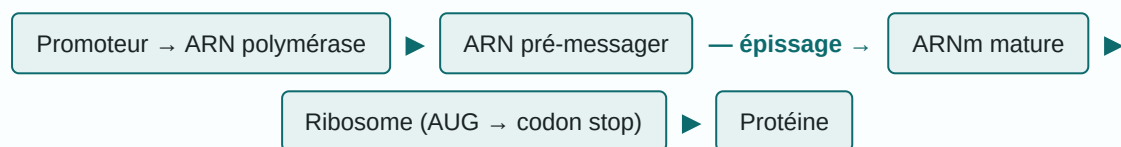


Fig. B.3 — De la transcription (noyau) à la traduction (cytoplasme).

POINTS CLÉS — B.10

- Transcription : **ARN polymérase** se fixe au **promoteur**, lit 3' → 5', écrit 5' → 3', T → U.
- Maturation : coiffe + queue poly-A + **épissage** (retrait des introns) ; l'**épissage alternatif** = plusieurs protéines par gène.
- Traduction : début au codon **AUG** (méthionine), ARNt/anticodon, fin au **codon stop**.

B.11 — Mitose et méiose : les deux divisions

La reproduction cellulaire (A.5) se décline en deux divisions bien distinctes.

	Mitose	Méiose
Résultat	2 cellules filles	4 cellules filles (gamètes)
Chromosomes	Identiques à la mère (2n → 2n)	Réduits de moitié (2n → n)
Diversité génétique	Aucune (clones)	Grande (brassages)
Rôle	Croissance, réparation, renouvellement	Formation des gamètes (reproduction sexuée)

Tableau B.4 — Mitose vs méiose.

Le déroulement de la méiose

La méiose enchaîne **deux divisions** après une seule réplication de l'ADN :

- **Méiose I (réductionnelle)** — Prophase I : les chromosomes homologues s'apparient en **tétrades** ; c'est là qu'a lieu le **crossing-over**. Métaphase I : les paires s'alignent au hasard (**brassage interchromosomique**). Anaphase I : les chromosomes **homologues** se séparent. → 2 cellules haploïdes à chromosomes doubles.
- **Méiose II (équationnelle)** — semblable à une mitose : cette fois, ce sont les **chromatides sœurs** qui se séparent. → 4 cellules haploïdes à chromosomes simples.

DÉFINITION — CROSSING-OVER (ENJAMBEMENT)

Échange réciproque de segments entre chromatides de deux chromosomes **homologues**, durant la **prophase I** de méiose. Les points de croisement visibles sont les **chiasmata**. Il crée des chromosomes **recombinés** (**brassage intrachromosomique**) et augmente fortement la diversité des gamètes.

ATTENTION

Deux brassages créent la diversité en méiose : le brassage **intrachromosomique** (crossing-over, prophase I) et le brassage **interchromosomique** (répartition aléatoire des paires, métaphase I). C'est pourquoi frères et sœurs (mêmes parents) sont différents.

POINTS CLÉS — B.11

- **Mitose** : 2 cellules identiques (2n) ; **méiose** : 4 gamètes (n), diversifiés.
- Méiose I sépare les **homologues** ; méiose II sépare les **chromatides sœurs**.
- **Crossing-over** (prophase I, chiasmata) + répartition aléatoire = source de diversité génétique.

B.12 — Résoudre les problèmes : Punnett, Mendel et notations

Organiser un carré de Punnett

MÉTHODE — LE CARRÉ (ÉCHIQUIER) DE PUNNETT

1. Déterminer les **gamètes** de chaque parent et les placer sur les deux axes de la grille (un parent en haut, l'autre à gauche).
2. Remplir chaque case en combinant le gamète de la colonne et celui de la ligne → **génotype** du descendant.
3. Compter les génotypes puis en déduire les **proportions phénotypiques**.

Grille **2×2** pour un caractère (monohybridisme) ; grille **4×4** pour deux caractères indépendants (dihybridisme, 16 combinaisons) ; axes avec X et Y pour l'hérédité **liée au sexe**.

Les lois de Mendel illustrées (pois)

- **1^{re} loi (uniformité F1)** : pois jaune pur (JJ) × pois vert pur (jj) → 100 % de F1 jaunes (Jj).
- **2^e loi (ségrégation)** : F1 × F1 (Jj × Jj) → F2 = $\frac{3}{4}$ jaunes, $\frac{1}{4}$ verts (ratio **3 : 1**) ; le caractère vert réapparaît.

- **3^e loi (indépendance)** : en suivant deux caractères (couleur *et* forme), les gènes situés sur des chromosomes différents se transmettent indépendamment (dihybridisme).

Phénotype sauvage et phénotype mutant

DÉFINITION — SAUVAGE / MUTANT

Le **phénotype sauvage** (wild-type, noté « + ») est la forme la plus courante dans la population (ex. drosophile aux yeux rouges : w^+). Le **phénotype mutant** est une forme plus rare issue d'une mutation (ex. drosophile aux yeux blancs : w).

La parthénogenèse

DÉFINITION — PARTHÉNOGÈSE

Reproduction *asexuée* chez certains animaux : un nouvel individu se développe à partir d'un **ovocyte non fécondé**, sans spermatozoïde. La descendance provient donc uniquement du patrimoine génétique de la mère.

POINTS CLÉS — B.12

- Punnett : gamètes sur les axes → génotypes en cases → proportions. 2×2 (mono), 4×4 (dihybridisme).
- Mendel (pois) : uniformité F1 → réapparition 3:1 en F2 → indépendance des caractères.
- **Sauvage** (forme majoritaire, « + ») vs **mutant** (forme rare) ; **parthénogenèse** = reproduction sans fécondation.

B.13 — Génétique moléculaire : compléments

Purines et pyrimidines ; règle de Chargaff

- **Purines** (2 cycles) : Adénine (A) et Guanine (G). **Pyrimidines** (1 cycle) : Cytosine (C), Thymine (T), Uracile (U). Une purine s'apparie toujours avec une pyrimidine.
- Appariement : **A–T** (2 liaisons hydrogène) et **G–C** (3 liaisons hydrogène). Les deux brins sont *antiparallèles* ; les nucléotides d'un même brin sont unis par le sucre (squelette sucre-phosphate), les paires de bases entre brins par des *ponts hydrogène*. Image : « échelle torsadée » (montants = sucres-phosphates, échelons = bases).

RÈGLE DE CHARGAFF (ADN DOUBLE BRIN)

Dans un ADN bicaténaire : $\%A = \%T$ et $\%G = \%C$, donc $\%A + \%T + \%G + \%C = 100 \%$.

Exemple : si $G + C = 56 \%$, alors $A + T = 44 \%$, donc $\%A = 22 \%$. Le contenu en bases est identique dans toutes les cellules somatiques d'un même individu (foie = cerveau = rein). *Détection d'ADN simple brin / d'ARN* : si $\%A \neq \%T$, la molécule est simple brin ; si elle contient de la thymine → c'est de l'ADN.

Le code génétique

- **Codons** de 3 nucléotides ; $4^3 = 64$ codons pour **20 acides aminés**.

- **Redondant (dégénéré)** : plusieurs codons peuvent coder le même acide aminé (mais un codon ne code jamais deux acides aminés différents).
- **Universel** : quasi identique chez tous les êtres vivants. **Non chevauchant**, lu de 5' vers 3'.
- Codon **initiation** = **AUG** (méthionine) ; codons **STOP** = **UAA, UAG, UGA** (ne codent aucun acide aminé).

MÉTHODE — BRIN CODANT / BRIN MATRICE / ANTICODON

Le brin **matrice** (transcrit) est lu 3' → 5'. L'**ARNm** a la même séquence que le brin **codant** (avec U à la place de T). L'**anticodon** de l'ARNt est complémentaire et antiparallèle au codon.

Exemple : ARNm 5'-AUG UUU ACC UGA-3' → brin codant d'ADN 5'-ATG TTT ACC TGA-3'. Toujours respecter l'antiparallélisme (5' ↔ 3') et la complémentarité (A-T/U, G-C).

Les types de mutations

Mutation	Effet
Silencieuse	Changement de base sans changement d'acide aminé (grâce à la redondance du code).
Faux-sens	Substitution → un acide aminé différent.
Non-sens	Substitution → codon STOP → polypeptide plus court (tronqué).
Décalage du cadre de lecture	Insertion/délétion → tous les acides aminés en aval sont modifiés.

Tableau B.5 — Types de mutations ponctuelles.

Réplication de l'ADN (détail)

Semi-conservative, en phase S. L'ADN polymérase synthétise toujours dans le sens **5' → 3'** et ajoute les nucléotides sur l'extrémité 3'-OH d'une **amorce**. D'où un **brin précoce** (synthèse continue) et un **brin retardé** (synthèse discontinue, en **fragments d'Okazaki**).

POINTS CLÉS — B.13

- Purines (A, G, 2 cycles) / pyrimidines (C, T, U, 1 cycle) ; A-T (2 liaisons H), G-C (3 liaisons H).
- **Chargaff** : %A = %T et %G = %C (ADN double brin).
- Code : **64 codons**, 20 acides aminés, redondant, universel, non chevauchant ; AUG = start, UAA/UAG/UGA = stop.
- Mutations : silencieuse, faux-sens, non-sens, décalage du cadre ; réplication 5' → 3', fragments d'Okazaki.

B.14 — Hérité & reproduction : compléments

Gènes liés ou indépendants

Gènes liés : situés sur un *même chromosome* et proches → transmis souvent ensemble. **Gènes indépendants** : sur des chromosomes différents (ou très éloignés) → 3^e loi de Mendel. La distance entre gènes se mesure en *centimorgans* (cM).

Croisements types (probabilités)

- **Test-cross** : croiser un individu dominant avec un homozygote récessif → révèle son génotype (100 % dominants ⇒ parent homozygote ; 50/50 ⇒ hétérozygote).
- **Aa × Aa** → ¼ AA, 2/4 Aa, ¼ aa → ¾ **dominant**, ¼ **récessif**.
- **Allèle létal à l'état homozygote** : Aa × Aa → les AA meurent → survivants = 2/3 Aa + 1/3 aa, soit **25 % de mortalité** (ex. les chats *Manx*).
- **Dihybridisme** (2 gènes indépendants, F2) → rapport **9 : 3 : 3 : 1**.

Groupes sanguins : Rhésus & transfusion

- **Rhésus** : Rh+ (dominant), Rh- (récessif).
- Système ABO : **O** = **donneur universel** ; **AB** = **receveur universel**. Rappel : AB et O ont chacun un *génotype certain* (I^AI^B et ii).

Hérédités liées aux chromosomes sexuels

- **Récessive liée à l'X** (daltonisme, hémophilie) : surtout les garçons (XY) ; la mère est souvent conductrice saine (X^AX^a) ; pas de transmission père → fils.
- **Dominante liée à l'X** : toutes les filles d'un père atteint sont atteintes ; ses fils sont sains.
- **Liée à l'Y (holandrique)** : transmise de père en fils, uniquement chez les hommes.

La gamétogenèse

Spermatogenèse	Ovogenèse
Spermatogonie (2n) → spermatocyte I (2n) → <i>méiose I</i> → 2 spermatocytes II (n) → <i>méiose II</i> → 4 spermatides → 4 spermatozoïdes.	Ovogonie → ovocyte I → <i>méiose I</i> → ovocyte II + 1 ^{er} globule polaire → <i>méiose II</i> → 1 ovule + 2 ^e globule polaire.
1 spermatocyte I → 4 spermatides .	1 ovocyte I → 1 seul ovule (+ globules polaires).

Tableau B.6 — Spermatogenèse et ovogenèse.

Reproduction sexuée vs asexuée & anomalies

Asexuée (mitose, scissiparité) : descendants identiques, rapide, mais *pas de brassage*. **Sexuée** (méiose + fécondation) : maintien/augmentation de la *diversité génétique* — c'est son avantage principal.

Anomalies du nombre de chromosomes : **aneuploïdie** — *trisomie* (2n+1, ex. trisomie 21) ou *monosomie* (2n-1) ; **polyploïdie** (3n, 4n...), fréquente chez les végétaux.

POINTS CLÉS — B.14

- Gènes **liés** (même chromosome) vs **indépendants** (loi 3) ; distance en cM.
- $Aa \times Aa \rightarrow \frac{3}{4} : \frac{1}{4}$; allèle **léta**l homozygote $\rightarrow$ 25 % de mortalité (Manx) ; dihybridisme $\rightarrow$ **9:3:3:1**.
- O = donneur universel, AB = receveur universel ; Rh+ dominant.
- Liée à l'X récessive $\rightarrow$ surtout les garçons ; liée à l'**Y** = holandrique (père $\rightarrow$ fils).
- 1 spermatocyte I $\rightarrow$ 4 spermatozoïdes ; 1 ovocyte I $\rightarrow$ 1 ovule ; **aneuploïdie** (tri/monosomie), **polyploïdie**.

PARTIE C

Diversité, évolution & adaptabilité

Classer le vivant, comprendre son origine et les mécanismes de son évolution

C.1 — Classer le vivant : les grands groupes

La biodiversité compte des millions d'espèces. Pour s'y retrouver, les biologistes les **classent** selon leurs ressemblances et leurs liens de parenté. La classification moderne répartit le vivant en **trois domaines** : Bactéries, Archées et Eucaryotes. On retient traditionnellement de grands groupes aux caractères essentiels.

Groupe	Type cellulaire	Caractères essentiels	Exemples
Virus	Acellulaire	Génome (ADN ou ARN) + capside ; pas de métabolisme ; parasites obligatoires. À la frontière du vivant.	Grippe, VIH, bactériophage
Procaryotes (bactéries, archées)	Procaryote	Unicellulaires, sans noyau ni organites ; ADN circulaire ; scissiparité ; très divers métaboliquement.	<i>E. coli</i> , cyanobactéries
Protistes	Eucaryote	Le plus souvent unicellulaires ; groupe hétérogène « fourre-tout » ; autotrophes ou hétérotrophes.	Amibe, paramécie, algues unicellulaires
Champignons (mycètes)	Eucaryote	Pluri- ou unicellulaires ; paroi de <i>chitine</i> ; hétérotrophes par absorption ; décomposeurs.	Levure, moisissure, champignon de bois
Végétaux	Eucaryote	Pluricellulaires ; paroi de <i>cellulose</i> ; autotrophes (photosynthèse, chloroplastes) ; fixés.	Mousse, fougère, chêne
Animaux	Eucaryote	Pluricellulaires ; hétérotrophes par ingestion ; le plus souvent mobiles ; pas de paroi.	Ver, insecte, poisson, humain

Tableau C.1 — Caractères essentiels des grands groupes du vivant.

DÉFINITION — AUTOTROPHE / HÉTÉROTROPHE

Autotrophe : organisme capable de fabriquer sa propre matière organique à partir de matière minérale (les végétaux, par photosynthèse) → **producteurs**. **Hétérotrophe** : organisme qui doit consommer de la matière organique déjà formée (animaux, champignons) → **consommateurs** / **décomposeurs**.

ATTENTION — COMMENT DISTINGUER LES 3 RÈGNES EUCARYOTES PLURICELLULAIRES

Végétaux = paroi de **cellulose** + autotrophes (chloroplastes). Champignons = paroi de **chitine** + hétérotrophes par **absorption**. Animaux = **pas de paroi** + hétérotrophes par **ingestion**. Trois critères qui suffisent à trancher.

POINTS CLÉS — C.1

- Trois domaines : **Bactéries**, **Archées**, **Eucaryotes**.
- Caractères clés : virus = acellulaires ; procaryotes = sans noyau ; protistes = eucaryotes surtout unicellulaires ; champignons = chitine, hétérotrophes ; végétaux = cellulose, autotrophes ; animaux = pas de paroi, hétérotrophes.
- **Autotrophes** (producteurs) vs **hétérotrophes** (consommateurs).

C.2 — Les grands embranchements animaux et végétaux

Les grandes classes d'animaux

On distingue d'abord les **invertébrés** (sans colonne vertébrale, ~95 % des espèces animales) et les **vertébrés** (avec squelette osseux et colonne vertébrale). Les vertébrés se répartissent en cinq grandes classes.

Classe	Peau / téguments	Respiration	Reproduction	Température	Exemples
Poissons	Écailles	Branchies	Ovipares, œufs dans l'eau	Variable (ectotherme)	Truite, requin
Amphibiens	Peau nue humide	Branchies puis poumons	Ovipares (métamorphose)	Variable	Grenouille, salamandre
Reptiles	Écailles cornées	Poumons	Ovipares, œufs à coquille	Variable	Serpent, lézard, tortue
Oiseaux	Plumes	Poumons	Ovipares, œufs à coquille	Constante (endotherme)	Moineau, aigle
Mammifères	Poils	Poumons	Vivipares, allaitement	Constante	Chien, baleine, humain

Tableau C.2 — Les cinq classes de vertébrés.

Parmi les **invertébrés**, les principaux embranchements : spongiaires (éponges), cnidaires (méduses, coraux), vers (plats, ronds, annelés), mollusques (escargot, poulpe), arthropodes (le plus vaste : insectes, arachnides, crustacés),

échinodermes (étoile de mer).

Les principaux embranchements des végétaux

Les végétaux se classent selon l'acquisition progressive de trois grandes « inventions » : les **vaisseaux** conducteurs, les **graines**, puis les **fleurs**.

Groupe	Vaisseaux ?	Graines / fleurs ?	Exemples
Mousses (bryophytes)	Non	Ni graines ni fleurs (spores) ; dépendent de l'eau	Mousse des sous-bois
Fougères (ptéridophytes)	Oui	Pas de graines (spores)	Fougère, prêles
Conifères (gymnospermes)	Oui	Graines « nues » (cônes), pas de vraie fleur ni fruit	Pin, sapin, épicéa
Plantes à fleurs (angiospermes)	Oui	Fleurs + graines protégées dans un fruit	Rosier, blé, chêne, pommier

Tableau C.3 — Les grands groupes de végétaux (du plus simple au plus évolué).

EXEMPLE — LIRE UNE PROGRESSION ÉVOLUTIVE

Les mousses, sans vaisseaux, restent petites et près de l'eau ; les fougères, vascularisées, se dressent mais dépendent encore de l'eau pour se reproduire (spores) ; les conifères inventent la graine, résistante ; les plantes à fleurs ajoutent la fleur et le fruit, clés de leur succès. Chaque « invention » lève une contrainte du milieu terrestre.

POINTS CLÉS — C.2

- Animaux : **invertébrés** (majorité, dont les arthropodes) et **vertébrés** = 5 classes (poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères).
- Critères de tri des vertébrés : téguments, respiration, reproduction, température (ecto/endotherme).
- Végétaux : **mousses** → **fougères** → **conifères** → **plantes à fleurs**, selon l'apparition des vaisseaux, des graines puis des fleurs/fruits.

C.3 — La clef dichotomique

DÉFINITION — CLEF DICHOTOMIQUE

Outil d'identification qui procède par une suite de **choix binaires** (deux propositions opposées à chaque étape). À chaque nœud, on choisit la proposition qui correspond à l'organisme observé, ce qui renvoie à l'étape suivante, jusqu'à aboutir au nom de l'espèce ou du groupe.

MÉTHODE — UTILISER UNE CLEF

1. Observer attentivement le spécimen (forme, membres, téguments...).
2. Lire le premier couple de propositions et choisir celle qui convient.
3. Suivre le renvoi indiqué (numéro d'étape).
4. Répéter jusqu'à obtenir un nom.

EXEMPLE — MINI-CLEF DES VERTÉBRÉS

1.	Corps couvert de poils, allaitement Mammifère ; sinon → 2
2.	Corps couvert de plumes Oiseau ; sinon → 3
3.	Peau nue et humide, vit près de l'eau Amphibien ; sinon → 4
4.	Écailles cornées, respiration pulmonaire Reptile ; écailles + branchies Poisson

Un animal à plumes ? On s'arrête à l'étape 2 : c'est un oiseau.

POINTS CLÉS — C.3

- Une clef dichotomique enchaîne des **choix à deux branches** jusqu'à l'identification.
- Elle repose sur des **critères observables** et discriminants.

C.4 — L'origine de la vie sur Terre

Comment la matière inerte a-t-elle pu donner naissance au vivant, il y a environ 3,8 milliards d'années ? Aucune certitude, mais des **hypothèses** étayées par l'expérience.

Les conditions d'émergence

La Terre primitive présentait un milieu très différent d'aujourd'hui : atmosphère **sans dioxygène** (réductrice), riche en gaz volcaniques (méthane, ammoniac, vapeur d'eau, hydrogène), une intense activité volcanique, des éclairs et un fort rayonnement UV. Ces conditions auraient permis la formation de **molécules organiques** simples à partir de molécules minérales.

L'expérience de Miller et Urey (1953)

EXEMPLE — L'EXPÉRIENCE FONDATRICE

Miller et Urey ont reconstitué en laboratoire l'atmosphère primitive supposée (eau, méthane, ammoniac, hydrogène) dans un ballon, soumise à des **décharges électriques** simulant les éclairs. Au bout de quelques jours, ils ont obtenu des **acides aminés** — les briques des protéines. **Conclusion** : des molécules organiques peuvent se former spontanément à partir de matière minérale, dans les conditions de la Terre primitive.

Molécules minérales
(CH₄, NH₃, H₂O, H₂)

— énergie (éclairs, UV) →

Molécules organiques
(acides aminés...)



Assemblages,
premières cellules

Fig. C.1 — Étapes hypothétiques de l'apparition de la vie (chimie prébiotique).

Les étapes suivantes (non reproduites en labo) : polymérisation en macromolécules, apparition de molécules capables de se **répliquer** (hypothèse du « monde à ARN »), puis isolement dans des membranes formant les premières cellules (protocellules).

POINTS CLÉS — C.4

- La Terre primitive : atmosphère **sans O₂**, riche en gaz volcaniques, forte énergie (éclairs, UV, volcanisme).
- **Miller-Urey** : en simulant ces conditions, on obtient des **acides aminés** → la matière organique peut naître du minéral.
- Suite hypothétique : macromolécules → molécules autorépliquatives (ARN) → protocellules.

C.5 — Les théories de l'évolution

DÉFINITION — ÉVOLUTION

Transformation des espèces au cours du temps, les espèces actuelles descendant d'espèces antérieures différentes (« descendance avec modification »). Toutes partagent une origine commune. La question a longtemps opposé le **fixisme** (les espèces sont immuables) à l'**évolutionnisme** (les espèces se transforment).

Lamarck (1809) : l'hérédité des caractères acquis

Premier à proposer une théorie cohérente de l'évolution. Selon Lamarck :

- L'**usage ou le non-usage** d'un organe le développe ou l'atrophie au cours de la vie.
- Ces caractères acquis seraient **transmis à la descendance** (« hérédité des caractères acquis »).

EXEMPLE LAMARCKIEN — LE COU DE LA GIRAFE

À force de tendre le cou vers les feuilles hautes, la girafe l'allongerait au cours de sa vie, puis transmettrait ce cou allongé à ses petits. **Problème** : on sait aujourd'hui (Partie B) que les caractères acquis ne modifient pas l'ADN et ne sont donc **pas** transmis. La théorie de Lamarck est erronée sur le mécanisme, mais historiquement essentielle.

Darwin (1859) : la sélection naturelle

Dans *L'Origine des espèces*, Darwin propose un mécanisme différent, la **sélection naturelle**, fondé sur trois constats et une conséquence :

1. **Variation** : au sein d'une population, les individus présentent des variations (Partie B).
2. **Hérédité** : certaines de ces variations sont héréditaires.
3. **Surproduction & lutte pour la vie** : il naît plus d'individus que le milieu ne peut en nourrir → compétition.

4. **Conséquence** : les individus porteurs des variations les plus *avantageuses* survivent et se reproduisent davantage (« survie du plus apte ») ; ces caractères se répandent dans la population au fil des générations.

EXEMPLE DARWINIEN — LE COU DE LA GIRAFE

Dans une population, il existait des girafes à cou plus ou moins long (variation). En période de disette, celles au cou plus long atteignaient plus de feuilles, survivaient mieux et laissaient plus de descendants héritant de ce cou long. Génération après génération, le cou long s'est répandu. Ce n'est *pas* l'effort de l'individu, mais le **tri** des variants par le milieu.

Le néodarwinisme (théorie synthétique, XX^e s.)

Darwin ignorait la source des variations. Le **néodarwinisme** intègre la génétique (Mendel, l'ADN) au darwinisme :

- Les variations proviennent des **mutations** de l'ADN et du brassage génétique de la reproduction sexuée (méiose).
- La **sélection naturelle** trie ces variants au niveau des *populations* ; on raisonne sur les *fréquences des allèles*.
- S'y ajoutent d'autres facteurs (dérive génétique, migrations, isolement) menant à la formation de nouvelles espèces (*spéciation*).

	Lamarckisme	Darwinisme	Néodarwinisme
Moteur	Usage / non-usage	Sélection naturelle	Sélection naturelle sur variations génétiques
Origine des variations	Besoin, effort de l'individu	Inconnue (constatée)	Mutations + brassage sexué
Transmission	Caractères acquis (faux)	Caractères héréditaires	Allèles (ADN)
Niveau	Individu	Individu / population	Population (fréquences alléliques)
Validité actuelle	Rejeté	Correct, incomplet	Théorie admise

Tableau C.4 — Comparaison des théories de l'évolution.

ATTENTION — L'ERREUR CLASSIQUE

Ne dites jamais que « les êtres vivants s'adaptent *parce qu'ils en ont besoin* » : c'est du lamarckisme. En darwinisme, la variation **préexiste** (au hasard des mutations) ; le milieu ne fait que **sélectionner** a posteriori les variants les plus aptes. L'adaptation est un résultat, pas une intention.

POINTS CLÉS — C.5

- **Lamarck** : usage/non-usage + hérédité des caractères acquis (mécanisme *faux*).
- **Darwin** : **sélection naturelle** (variation héréditaire + lutte pour la vie → survie du plus apte).
- **Néodarwinisme** : darwinisme + génétique (mutations + brassage = source des variations ; on raisonne sur les populations).
- La variation est **aléatoire et préexistante** ; la sélection **trie**, elle ne crée pas sur commande.

C.6 — Les arguments en faveur de l'évolution

L'évolution n'est pas une simple opinion : elle est étayée par de nombreux faisceaux d'indices convergents, issus de disciplines indépendantes.

Argument	Principe	Exemple
Paléontologique	Les fossiles montrent des espèces disparues et des <i>formes de transition</i> ; ils s'ordonnent chronologiquement dans les couches géologiques.	<i>Archæopteryx</i> , forme intermédiaire entre reptiles et oiseaux ; lignée du cheval.
Anatomique	Des <i>organes homologues</i> ont le même plan d'organisation malgré des fonctions différentes → origine commune. Des <i>organes vestigiaux</i> témoignent d'un passé.	Membre antérieur de l'humain, de la chauve-souris, de la baleine : même squelette. Appendice, coccyx chez l'humain.
Embryologique	Les embryons de vertébrés se ressemblent fortement aux premiers stades (fentes branchiales, queue) → parenté.	Embryon humain présentant transitoirement des ébauches branchiales.
Biogéographique	La répartition des espèces s'explique par l'histoire des continents et des isolements.	Faune particulière (marsupiaux) d'Australie, isolée ; espèces endémiques des Galápagos.
Génétique / moléculaire	Tous les êtres vivants partagent le <i>même ADN</i> et le <i>même code génétique</i> ; plus deux espèces sont proches, plus leurs gènes se ressemblent.	~98–99 % du génome partagé entre l'humain et le chimpanzé.

Tableau C.5 — Les grands types d'arguments de l'évolution.

ATTENTION — HOMOLOGIE ≠ ANALOGIE

Des organes **homologues** ont une *origine commune* (même plan) même si leur fonction diffère : l'aile de chauve-souris et le bras humain (argument d'évolution). Des organes **analogues** ont la *même fonction* mais une origine différente : l'aile d'insecte et l'aile d'oiseau (convergence, pas de parenté proche).

POINTS CLÉS — C.6

- Cinq faisceaux d'arguments : **paléontologiques**, **anatomiques**, **embryologiques**, **biogéographiques**, **génétiques**.
- Les **organes homologues** (même plan, origine commune) sont une preuve forte ; à distinguer des organes **analogues** (même fonction, convergence).
- L'universalité du **code génétique** est l'argument moléculaire majeur d'une origine commune.

C.7 — L'évolution de la lignée humaine

L'espèce humaine (*Homo sapiens*) est le produit d'une longue évolution. L'humain et le chimpanzé partagent un **ancêtre commun** ayant vécu il y a environ 7 millions d'années (l'humain ne descend *pas* du singe actuel : ce sont des

« cousins »).

Grandes étapes de l'**hominisation** (schématiques) :

- **Acquisition de la bipédie** : les premiers hominidés (australopithèques, ex. « Lucy », ~3–4 Ma) marchent debout, libérant les mains.
- **Développement du cerveau** : augmentation progressive du volume crânien au fil des espèces d'*Homo* (*Homo habilis*, *Homo erectus*...).
- **Fabrication d'outils** : *Homo habilis* (« l'homme habile ») taille les premiers outils de pierre.
- **Maîtrise du feu, migrations** : *Homo erectus* maîtrise le feu et sort d'Afrique.
- **Langage, art, culture** : *Homo sapiens* (~300 000 ans) développe langage élaboré, art (peintures), sépultures.

ATTENTION

L'évolution humaine n'est **pas** une ligne droite « du singe à l'homme » : c'est un *buisson* touffu, avec plusieurs espèces ayant parfois coexisté (ex. *Homo sapiens* et *Homo neanderthalensis*). Toutes sauf *sapiens* ont disparu.

POINTS CLÉS — C.7

- Humain et chimpanzé : **ancêtre commun** (pas de descendance de l'un vers l'autre).
- Critères de l'hominisation : **bipédie, développement du cerveau, outils, feu, langage/culture**.
- L'évolution humaine est un **buisson** d'espèces, pas une ligne.

C.8 — Espèce, race, variété & adaptabilité

Espèce, race, variété

Terme	Définition	Exemple
Espèce	Ensemble d'individus interféconds à descendance fertile.	Le chien (<i>Canis lupus familiaris</i>).
Race (chez l'animal)	Sous-groupe d'une espèce partageant des caractères héréditaires communs, souvent obtenu par sélection humaine.	Le labrador, le caniche (même espèce).
Variété (chez le végétal)	Équivalent de la race chez les plantes cultivées.	Différentes variétés de pommes (Golden, Gala...).

Tableau C.6 — Trois niveaux à ne pas confondre.

Toutes les races d'une espèce restent **interfécondes** : un labrador et un caniche peuvent avoir des petits fertiles → même espèce.

Adaptabilité et survie d'une espèce

DÉFINITION — ADAPTATION

Caractère héréditaire qui augmente les chances de survie et de reproduction d'un organisme dans son milieu.
L'**adaptabilité** est la capacité d'une espèce à faire face aux variations de son environnement.

Une espèce survit d'autant mieux qu'elle possède une grande **diversité génétique** : plus il existe de variants, plus il est probable que certains soient adaptés à un nouveau contexte (maladie, changement climatique). À l'inverse, une population génétiquement homogène est vulnérable.

EXEMPLE — LE MÉLANISME DES PHALÈNES

En Angleterre industrielle, la pollution a noirci les troncs d'arbres. Les papillons phalènes clairs, autrefois camouflés, devenaient visibles des oiseaux ; les rares variants **sombres**, mieux camouflés, ont survécu et se sont multipliés. La population a « changé de couleur » en quelques décennies : c'est la sélection naturelle observée en direct, permise par la variabilité génétique préexistante.

ATTENTION — LE RÔLE DE LA BIODIVERSITÉ

La disparition de la diversité génétique (élevages, monocultures, petites populations) réduit l'adaptabilité et le risque d'extinction augmente. C'est le lien direct entre génétique (B), évolution (C) et conservation (D).

POINTS CLÉS — C.8

- **Race** (animal) / **variété** (végétal) = sous-groupes d'une même espèce, restant **interféconds**.
- L'**adaptation** est un caractère héréditaire favorable ; l'**adaptabilité** repose sur la **diversité génétique**.
- Plus la variabilité est grande, meilleures sont les chances de survie face aux changements du milieu.

C.9 — Classification approfondie : domaines, règnes et RECOFGE

La classification moderne (issue des travaux de Carl Woese sur l'ARN ribosomique) répartit le vivant en **3 domaines**, subdivisés en **6 règnes**.

Domaine	Règne	Caractères
Bactéries	Bactéries	Procaryotes, paroi de peptidoglycane
Archées	Archéobactéries	Procaryotes souvent extrêmophiles
Eucaryotes	Protistes	Eucaryotes, souvent unicellulaires
	Végétaux	Autotrophes, paroi de cellulose, pluricellulaires
	Eumycètes (champignons)	Hétérotrophes par absorption, paroi de chitine
	Animaux	Hétérotrophes par ingestion, sans paroi, mobiles

Tableau C.7 — Les 3 domaines et les 6 règnes du vivant.

DÉFINITION — LA HIÉRARCHIE RECOFGE

Ordre des **rangs taxinomiques**, du plus large au plus précis : **Règne** → **Embranchement** → **Classe** → **Ordre** → **Famille** → **Genre** → **Espèce**. Chaque espèce reçoit un nom binominal (genre + espèce), ex. *Homo sapiens*.

Zoom : les eumycètes (champignons)

Nutrition **hétérotrophe par absorption** : le champignon libère des **enzymes** dans le milieu (digestion **externe**), puis **absorbe** les petites molécules à travers sa paroi. Selon la source de nourriture : **saprophytes** (matière morte), **parasites** (aux dépens d'un hôte vivant), **symbiotes** (mutualisme). Certains sont unicellulaires (levures, fermentation alcoolique).

Zoom : les extrêmophiles (archées)

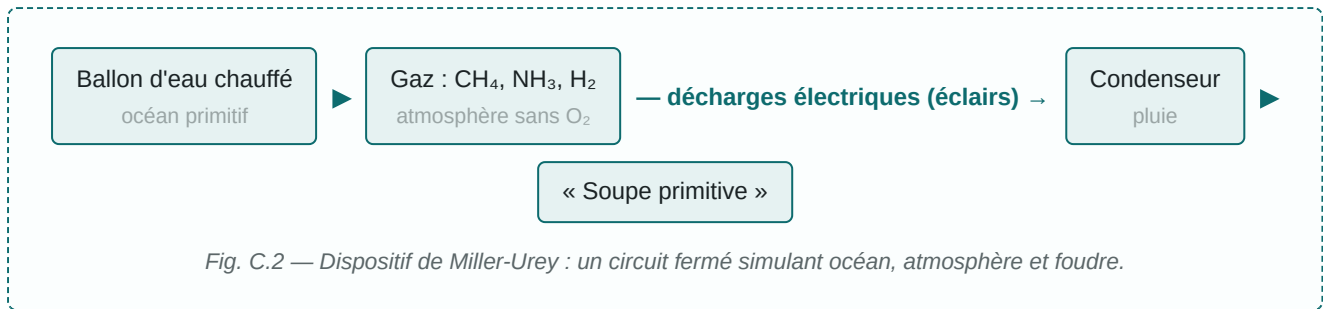
- **Thermo-acidophiles** : sources chaudes et acides, jusqu'à ~75 °C.
- **Méthanogènes** : milieux sans O₂ (marécages, intestins), produisent du méthane.
- **Halophiles strictes** : milieux très salés (marais salants, mer Morte).

POINTS CLÉS — C.9

- **3 domaines** (Bactéries, Archées, Eucaryotes) et **6 règnes** (Bactéries, Archéobactéries, Protistes, Végétaux, Eumycètes, Animaux).
- Rangs : **RECOFGE** (Règne, Embranchement, Classe, Ordre, Famille, Genre, Espèce).
- Eumycètes = hétérotrophes par **absorption** (digestion externe) ; archées souvent **extrêmophiles**.

C.10 — L'expérience de Miller-Urey en détail & LUCA

La Terre s'est formée il y a ~4,6 milliards d'années (Ga) ; la vie serait apparue il y a ~3,8 Ga dans les océans. L'expérience de **Miller et Urey (1953)** a testé l'hypothèse de l'**abiogénèse** (la vie à partir du minéral).



Fonctionnement : de l'eau chauffée simule l'océan ; sa vapeur se mêle aux gaz de l'atmosphère primitive *réductrice* (méthane CH₄, ammoniac NH₃, hydrogène H₂, *sans dioxygène*) ; des **décharges électriques** continues simulent la foudre ; un *condenseur* refroidit et ramène l'eau (la pluie) dans le circuit.

Résultats : après ~1 semaine, on retrouve des molécules organiques simples : des **acides aminés** (glycine, alanine), des *sucres* (dont le ribose), des *bases azotées* (adénine, cytosine) et de l'urée. → La matière organique peut se former spontanément dans les conditions de la Terre primitive.

DÉFINITION — LUCA

Last Universal Common Ancestor : l'**ancêtre commun universel** dont descendraient tous les êtres vivants actuels. Son existence est déduite de l'universalité du code génétique et des mécanismes cellulaires de base. Étapes hypothétiques suivantes : macromolécules → molécules autorépliquatives (*monde à ARN*) → membranes → premières cellules.

POINTS CLÉS — C.10

- Miller-Urey : eau + (CH₄, NH₃, H₂) + **décharges électriques**, atmosphère **sans O₂** → **acides aminés**, sucres, bases.
- Terre ~4,6 Ga, vie ~3,8 Ga ; tous les vivants descendent d'un ancêtre commun, **LUCA**.

C.11 — Les mécanismes de l'évolution

Lois de Mendel et néodarwinisme : deux échelles

	Lois de Mendel (1866)	Néodarwinisme (théorie synthétique, ~1942)
Objet	Transmission des caractères d'un individu à sa descendance	Évolution des espèces au fil du temps
Unité	L' individu et ses allèles	La population
Mesure	Ségrégation et assortiment des allèles	Variation des fréquences alléliques sur de longues périodes
Source des variations	Non expliquée (ADN inconnu de Mendel)	Mutations aléatoires + brassage sexué

Tableau C.8 — Mendel vs néodarwinisme.

Le néodarwinisme *intègre* la génétique (Mendel) à la sélection naturelle (Darwin) : l'évolution y est définie comme la **modification des fréquences alléliques** d'une population.

Mutations et sélection naturelle

Les **mutations** sont des modifications *aléatoires* de l'ADN : elles créent de nouveaux allèles, donc la *variabilité*. La **sélection naturelle** agit ensuite comme un *tri non aléatoire* : les mutations *avantageuses* se répandent (meilleur succès reproducteur), les *délétères* sont éliminées, les *neutres* ne sont pas triées. En bref : **la mutation propose (au hasard), la sélection dispose (selon le milieu)**.

La dérive génétique

DÉFINITION — DÉRIVE GÉNÉTIQUE

Modification *aléatoire* des fréquences alléliques d'une génération à l'autre, par simple effet du hasard (et non de l'adaptation). Les allèles qui se fixent ou disparaissent n'apportent ni avantage ni désavantage. C'est une cause majeure de *microévolution*, d'autant plus forte que la population est **petite**.

	Effet fondateur	Effet d'étranglement (goulot)
Origine	Un petit groupe colonise une nouvelle région isolée	Une catastrophe (famine, épidémie...) réduit brutalement la population
Mécanisme	Les fondateurs ne portent qu'un <i>échantillon</i> du pool génétique d'origine	Seuls quelques survivants transmettent leurs allèles
Conséquence	Certains allèles rares deviennent fréquents ; peut mener à une nouvelle espèce (spéciation)	Perte brutale de diversité génétique

Tableau C.9 — Deux formes de dérive génétique.

EXEMPLE

La diversité génétique humaine est maximale en Afrique ; en migrant vers les autres continents, de petits groupes ont subi effets fondateur et d'étranglement, réduisant la diversité. À l'échelle de la planète, les **5 grandes extinctions de masse** (ex. Permien : ~96 % des espèces disparues) sont des « étranglements » qui ont forcé la vie à se reconstruire à partir de quelques survivants.

Le flux génétique

DÉFINITION — FLUX GÉNÉTIQUE

Échange d'allèles entre populations (migration, reproduction). Il *augmente* la variabilité d'une population et *homogénéise* les populations entre elles. Son *interruption* (isolement) favorise au contraire la divergence et la **spéciation**.

ATTENTION — 3 MOTEURS À NE PAS CONFONDRE

La **sélection naturelle** trie selon l'adaptation (non aléatoire) ; la **dérive génétique** agit par hasard (surtout en petite population) ; le **flux génétique** mélange les populations. Les trois font varier les fréquences alléliques.

POINTS CLÉS — C.11

- Mendel = transmission chez l'**individu** ; néodarwinisme = évolution des **fréquences alléliques** d'une **population**.
- Les **mutations** (hasard) créent la variabilité ; la **sélection** trie (non aléatoire).
- **Dérive génétique** = hasard (fort si petite population) : **effet fondateur** (colonisation) et **effet d'étranglement** (catastrophe).
- Le **flux génétique** homogénéise ; son interruption mène à la spéciation.

C.12 — L'évolution humaine détaillée & les fossiles vivants

La lignée humaine s'est séparée de celle des chimpanzés il y a ~7 millions d'années (Ma). Grandes étapes :

Groupe / espèce	Période	Caractères marquants
Premiers hominins (Sahelanthropus « Toumaï », Orrorin, Ardipithecus)	7 – 4 Ma	Mélange de caractères humains et simiens ; début de bipédie
Australopithèques (dont « Lucy »), Paranthropus	4,2 – 2 Ma	Bipèdes mais encore arboricoles ; crâne 400–530 cm ³
Homo habilis	~2,4 Ma	Genre <i>Homo</i> ; crâne > 600 cm ³ ; premiers <i>outils</i> de pierre
Homo erectus / ergaster	~1,8 Ma	Bifaces, maîtrise du <i>feu</i> , sortie d'Afrique
Homo neanderthalensis	jusqu'à ~28 000 ans	Trapu, grand volume crânien ; contemporain de sapiens
Homo sapiens	~315 000 ans	Front haut, langage, pensée symbolique, art

Tableau C.10 — Les grandes étapes de l'hominisation.

Critères de l'hominisation : **bipédie** permanente, **augmentation du volume crânien**, **outils** de plus en plus complexes, **langage** et **culture**.

HYPOTHÈSE « OUT OF AFRICA »

Théorie dominante : une seule espèce d'origine *africaine* (*Homo sapiens*) a ensuite *remplacé* les autres espèces d'*Homo* sur tout le globe. Preuves : ADN mitochondrial et chromosome Y ; diversité génétique maximale en Afrique. Néandertal et sapiens ont toutefois cohabité et se sont *métissés* : 1 à 4 % du génome des humains non-africains est d'origine néandertalienne. Néandertal s'est éteint il y a ~28 000 ans.

DÉFINITION — FOSSILE VIVANT

Espèce actuelle très semblable à des espèces fossiles anciennes, dont l'évolution a été extrêmement lente. Exemples : le *nautilus* (proche des ammonites), le *coelacanth*, la *limule*.

POINTS CLÉS — C.12

- Séparation homme/chimpanzé ~7 Ma ; jalons : Toumaï → Australopithèques (Lucy) → *Homo habilis* (outils) → *erectus* (feu) → *neanderthalensis* → *sapiens*.
- Hominisation : bipédie, cerveau, outils, feu, langage/culture.
- **Out of Africa** : origine africaine + remplacement (avec métissage néandertalien).
- Un **fossile vivant** a très peu évolué (*nautilus*, *coelacanth*, *limule*).

C.13 — Sélection, équilibre, spéciation & phylogénie

Les trois types de sélection naturelle

Type	Ce qui est favorisé	Exemple
Directionnelle	Un <i>extrême</i> du caractère	Phalènes sombres en milieu pollué (C.8)
Stabilisante	La <i>moyenne</i> (élimine les extrêmes)	Poids de naissance moyen chez l'humain
Disruptive	Les <i>deux extrêmes</i> (contre la moyenne)	Deux tailles de becs favorisées, la moyenne défavorisée

Tableau C.11 — Types de sélection selon la partie de la population favorisée.

L'équilibre de Hardy-Weinberg

DÉFINITION — HARDY-WEINBERG

Modèle d'une population *idéale* où les fréquences alléliques restent **constantes** de génération en génération. Conditions : population *grande*, *panmixie* (unions au hasard), *pas* de sélection, de mutation, de dérive ni de migration. C'est un *état de référence* : si les fréquences changent dans la réalité, c'est qu'au moins une force évolutive agit.

La spéciation

Formation de nouvelles espèces, souvent par **isolement géographique** (deux populations séparées) suivi d'un **isolement reproductif** : les populations ne sont alors plus *interfécondes* et divergent définitivement.

Phylogénie et classification

Groupe	Définition
Clade (monophylétique)	Un ancêtre commun <i>et TOUS</i> ses descendants.
Paraphylétique	Un ancêtre + <i>une partie seulement</i> des descendants (ex. « reptiles » en excluant les oiseaux).
Polyphylétique	Des taxons regroupés <i>sans</i> leur ancêtre commun récent.

Tableau C.12 — Types de groupes en classification.

Un **nœud** d'un arbre = un ancêtre commun, défini par des *caractères dérivés* partagés. Construire un arbre = regrouper selon le **maximum de caractères dérivés partagés**.

La datation au carbone 14

DÉFINITION — DATATION ¹⁴C

Méthode de datation des restes organiques fondée sur la *désintégration radioactive* du carbone 14, de **demi-vie** $\approx 5\,730$ ans : après une demi-vie, il reste la moitié ($\frac{1}{2}$) du ¹⁴C initial ; après deux, le quart, etc.

POINTS CLÉS — C.13

- Sélection **directionnelle** (un extrême), **stabilisante** (la moyenne), **disruptive** (les deux extrêmes).
- **Hardy-Weinberg** : population idéale → fréquences alléliques constantes (état de référence).
- Spéciation : isolement **géographique** puis **reproductif**.
- Phylogénie : **clade** = ancêtre + tous ses descendants ; para- / polyphylétique ; datation **^{14}C** (demi-vie 5 730 ans).

PARTIE D

L'écologie

Les êtres vivants et leurs milieux : équilibres, flux, cycles et impacts humains

D.1 — Les concepts de base : de l'individu à la biosphère

DÉFINITION — ÉCOLOGIE

Science qui étudie les *relations* des êtres vivants entre eux et avec leur milieu. Elle articule plusieurs niveaux d'organisation, emboîtés comme ceux de la Partie A, mais à l'échelle du vivant dans son environnement.

Niveau	Définition	Exemple
Individu	Un organisme.	Un chêne.
Population	Ensemble des individus d'une même <i>espèce</i> vivant au même endroit.	Tous les chênes d'une forêt.
Communauté (biocénose)	Ensemble de toutes les populations (espèces) d'un même milieu.	Chênes + insectes + oiseaux + champignons de la forêt.
Écosystème	La communauté (biocénose) + le milieu physique (biotope) et leurs interactions.	La forêt : êtres vivants + sol + climat + eau.
Biosphère	Ensemble de tous les écosystèmes de la planète.	La Terre vivante.

Tableau D.1 — Les niveaux d'organisation en écologie.

DÉFINITION — BIOTOPE & BIOCÉNOSE

Un **écosystème** = **biotope** (milieu physique non vivant : sol, eau, climat, lumière) + **biocénose** (ensemble des êtres vivants) + les *interactions* entre les deux. On distingue les facteurs *abiotiques* (physico-chimiques : température, lumière, eau, pH) et *biotiques* (liés aux êtres vivants).

POINTS CLÉS — D.1

- Emboîtement : **individu** → **population** → **communauté** → **écosystème** → **biosphère**.
- **Écosystème** = **biotope (milieu physique)** + **biocénose (êtres vivants)** + **interactions**.
- Facteurs **abiotiques** (physico-chimiques) et **biotiques** (vivants).

D.2 — Facteurs écologiques et niche

La présence d'une espèce dans un milieu dépend de multiples **facteurs** qui doivent tous être satisfaits. Il ne suffit pas d'avoir de la nourriture : il faut aussi de l'oxygène, un abri, un lieu de reproduction, une température supportable...

- **Facteurs abiotiques** : lumière, température, eau, oxygène, pH, sels minéraux, nature du sol.
- **Facteurs biotiques** : nourriture disponible, prédateurs, concurrents, partenaires.

Ces facteurs interviennent ensemble dans le **maintien de l'équilibre** d'une population : nourriture, oxygène, place pour vivre, endroit pour se reproduire sont autant de ressources limitantes.

DÉFINITION — NICHE ÉCOLOGIQUE

Ensemble des conditions (abiotiques et biotiques) et des ressources qu'une espèce utilise, ainsi que le **rôle** qu'elle joue dans l'écosystème : ce qu'elle mange, où elle vit, quand elle est active, ses relations avec les autres. On la résume comme « le métier » de l'espèce, tandis que l'**habitat** en est « l'adresse ».

EXEMPLE

Deux espèces d'oiseaux peuvent vivre dans le même arbre (même habitat) sans se concurrencer si elles ont des niches différentes : l'une mange des insectes sur l'écorce du tronc, l'autre des graines à la cime. Deux espèces ne peuvent pas occuper durablement **exactement** la même niche : l'une finit par éliminer l'autre (principe d'exclusion compétitive).

DÉFINITION — FACTEUR LIMITANT

Facteur qui, par son insuffisance (ou son excès), restreint le développement d'une population, même si tous les autres facteurs sont favorables. C'est lui qui « fixe le plafond ».

POINTS CLÉS — D.2

- La survie d'une population dépend de **multiples facteurs** (nourriture, O₂, espace, site de reproduction...) qui doivent **tous** être satisfaits.
- La **niche écologique** = le « rôle » complet de l'espèce (à distinguer de l'**habitat**, son « adresse »).
- Le **facteur limitant** fixe la limite de la population.

D.3 — Les relations entre êtres vivants

Les êtres vivants d'un écosystème sont interdépendants. On distingue les relations **intraspécifiques** (au sein d'une même espèce) et **interspécifiques** (entre espèces différentes).

Relations intraspécifiques

Coopération (vie en groupe, meute, colonie : défense, chasse, reproduction) et **compétition** (pour la nourriture, le territoire, les partenaires).

Relations interspécifiques

Relation	Effet	Description	Exemple
Prédation	+ / –	Un prédateur tue et mange une proie.	Renard / lapin
Parasitisme	+ / –	Le parasite vit aux dépens de son hôte sans le tuer aussitôt.	Tique, ténia sur un mammifère
Compétition	– / –	Deux espèces se disputent une même ressource.	Lion et hyène pour une proie
Mutualisme / symbiose	+ / +	Association bénéfique aux deux partenaires.	Abeille / fleur ; lichen (algue + champignon)
Commensalisme	+ / 0	L'un profite, l'autre est indifférent.	Poisson-pilote et requin

Tableau D.2 — Les principales relations entre espèces (+ bénéfice, – préjudice, 0 neutre).

EXEMPLE — L'ÉQUILIBRE PROIE-PRÉDATEUR

Si les lapins abondent, les renards, bien nourris, se multiplient ; l'augmentation des renards fait ensuite chuter les lapins ; faute de proies, les renards déclinent à leur tour, ce qui permet aux lapins de remonter. Les deux populations oscillent en **cycles couplés** : c'est un mécanisme de régulation naturelle.

POINTS CLÉS — D.3

- Relations **intraspécifiques** (coopération, compétition) et **interspécifiques**.
- Interspécifiques à connaître : **prédation, parasitisme, compétition, mutualisme/symbiose, commensalisme**.
- Les relations proie-prédateur assurent une **régulation** (populations qui oscillent).

D.4 — Flux d'énergie et chaînes alimentaires

Dans un écosystème, la **matière** et l'**énergie** circulent d'un être vivant à l'autre. On classe les organismes selon leur position dans ce transfert.

Niveau trophique	Rôle	Exemple
Producteurs (autotrophes)	Fabriquent la matière organique par photosynthèse.	Plantes vertes, algues, phytoplancton
Consommateurs I (herbivores)	Mangent les producteurs.	Lapin, chenille, criquet
Consommateurs II (carnivores)	Mangent les herbivores.	Renard, oiseau insectivore
Consommateurs III (super-prédateurs)	Mangent d'autres carnivores.	Aigle, brochet
Décomposeurs	Dégradent la matière morte et la reminéralisent.	Bactéries, champignons, vers

Tableau D.3 — Les niveaux trophiques.

DÉFINITION — CHAÎNE & RÉSEAU ALIMENTAIRES

Une **chaîne alimentaire** est une suite d'êtres vivants où chacun mange le précédent (« qui mange qui »). Comme une espèce a souvent plusieurs proies et plusieurs prédateurs, les chaînes s'entrecroisent en un **réseau (ou toile) alimentaire**, plus réaliste.

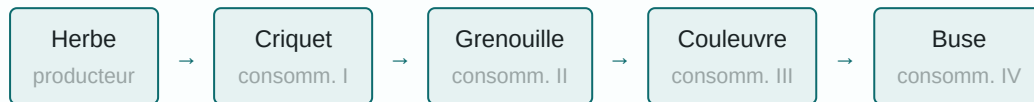


Fig. D.1 — Une chaîne alimentaire. La flèche signifie « est mangé par » (sens du transfert de matière et d'énergie).

La pyramide écologique et la perte d'énergie

À chaque passage d'un niveau au suivant, une grande partie de l'énergie est **perdue** (chaleur, respiration, déchets, parties non consommées) : seulement **~10 %** de l'énergie est transmise au niveau supérieur. D'où une **pyramide** : beaucoup de producteurs à la base, très peu de super-prédateurs au sommet.

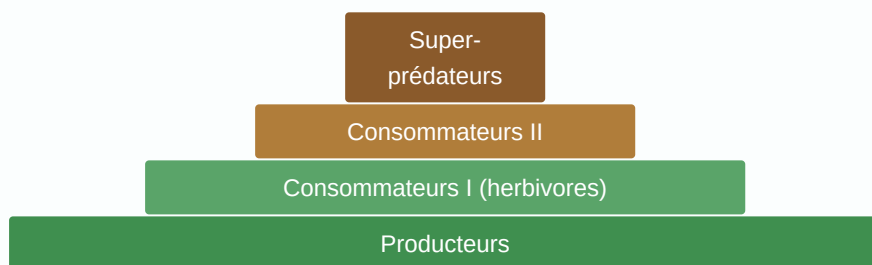


Fig. D.2 — Pyramide écologique : l'énergie disponible diminue ($\sim \times 10$) à chaque niveau, limitant le nombre de maillons.

ATTENTION

Cette perte de $\sim 90\%$ à chaque niveau explique pourquoi une chaîne alimentaire compte rarement plus de 4-5 maillons : au-delà, il ne reste plus assez d'énergie pour nourrir un niveau supplémentaire. Elle explique aussi pourquoi un régime végétarien nourrit davantage de monde qu'un régime carné (moins d'étapes = moins de pertes).

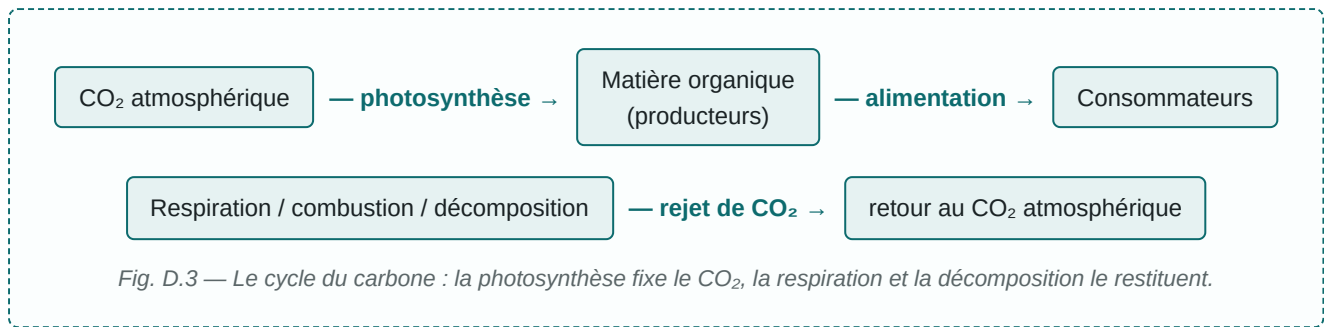
POINTS CLÉS — D.4

- Niveaux trophiques : **producteurs** → **consommateurs I** → **II** → **III** → **décomposeurs**.
- La flèche d'une chaîne signifie « **est mangé par** » ; les chaînes forment un **réseau alimentaire**.
- Environ **10 %** de l'énergie passe d'un niveau au suivant → **pyramide** écologique, chaînes courtes.

D.5 — Les cycles biogéochimiques

Contrairement à l'énergie (qui circule en **flux** et se dissipe), la **matière** (atomes) est **recyclée** en boucle entre le monde vivant et le milieu : ce sont les **cycles biogéochimiques**. Les **décomposeurs** y jouent un rôle central en reminéralisant la matière morte.

Le cycle du carbone



Le carbone passe du **CO₂** de l'air à la matière organique (photosynthèse), circule le long des chaînes alimentaires, puis revient à l'atmosphère par la **respiration**, la **décomposition** et la **combustion**. La combustion des **énergies fossiles** (charbon, pétrole) libère massivement du CO₂ longtemps stocké → déséquilibre du cycle et effet de serre (voir D.8).

Le cycle de l'azote

L'azote (N₂) est très abondant dans l'air mais inutilisable directement par la plupart des êtres vivants. Des **bactéries** le transforment : **fixation** (bactéries des racines de légumineuses qui transforment N₂ en composés assimilables), **nitrification**, absorption par les plantes, puis **dénitrification** qui renvoie l'azote à l'atmosphère. Ici encore, les micro-organismes sont indispensables.

Le cycle de l'eau

Évaporation (océans, sols) → condensation (nuages) → précipitations (pluie, neige) → ruissellement et infiltration → retour aux océans. Les êtres vivants y participent (transpiration des plantes, respiration).

EXEMPLE — LE RÔLE CLÉ DES DÉCOMPOSEURS

Sans bactéries et champignons décomposeurs, les cadavres et déchets s'accumuleraient, et les éléments (C, N, minéraux) resteraient bloqués dans la matière morte : les producteurs, privés de sels minéraux, finiraient par disparaître. Les décomposeurs « bouclent » les cycles et rendent la matière réutilisable.

POINTS CLÉS — D.5

- L'**énergie circule et se dissipe** (flux), la **matière est recyclée** (cycles) : deux logiques différentes.
- **Cycle du carbone** : CO₂ ⇌ matière organique via photosynthèse (fixe) et respiration/décomposition/combustion (libère).
- **Cycle de l'azote** : indispensable rôle des **bactéries** (fixation, nitrification, dénitrification).
- Les **décomposeurs** bouclent tous les cycles.

D.6 — Un écosystème détaillé : l'étang

Étude de cas d'un écosystème au choix : l'étang, un milieu d'eau douce facile à observer et complet.

Le biotope (facteurs abiotiques)

Eau douce stagnante, avec des gradients de **lumière** (forte en surface, faible au fond), de **température** (plus stable en profondeur), d'**oxygène dissous** (plus abondant en surface, produit par les plantes) et de nature du fond (vase riche en matière organique).

La biocénose (facteurs biotiques)

Rôle	Organismes
Producteurs	Phytoplancton (algues microscopiques), plantes aquatiques (nénuphars, élodée, roseaux).
Consommateurs I	Zooplancton, têtards, escargots d'eau, insectes herbivores.
Consommateurs II et +	Larves de libellule, petits poissons, grenouilles, puis brochet, héron.
Décomposeurs	Bactéries et champignons de la vase.

Tableau D.4 — Organismes de l'étang par niveau trophique.

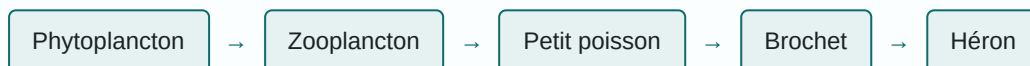


Fig. D.4 — Une chaîne alimentaire aquatique de l'étang.

EXEMPLE — L'INTERDÉPENDANCE EN ACTION

Les plantes aquatiques produisent l'oxygène dissous que respirent poissons et invertébrés ; ceux-ci rejettent du CO_2 que les plantes réutilisent. Les déchets et cadavres tombent dans la vase où les décomposeurs les reminéralisent, libérant les sels minéraux qui nourrissent à nouveau les plantes. Tout est lié : supprimez un maillon, et tout l'équilibre est menacé.

POINTS CLÉS — D.6

- Un écosystème s'analyse en **biotope** (lumière, température, O_2 , fond) + **biocénose** (producteurs, consommateurs, décomposeurs).
- Les êtres vivants sont **interdépendants** entre eux et avec le milieu (échanges O_2/CO_2 , recyclage par la vase).

D.7 — La dynamique des écosystèmes

Un écosystème n'est pas figé : il évolue dans le temps. Livré à lui-même, il tend vers un état stable et diversifié.

DÉFINITION — SUCCESSION ÉCOLOGIQUE

Remplacement progressif des communautés d'un milieu au cours du temps, jusqu'à un état d'équilibre relativement stable appelé **climax**. Une succession **primaire** démarre sur un sol nu (roche, lave) ; une succession **secondaire** reprend après une perturbation (incendie, abandon d'un champ).

EXEMPLE — LA RECONQUÊTE D'UNE FRICHE

Un champ abandonné est d'abord colonisé par des herbes pionnières, puis par des arbustes, puis par des arbres pionniers (bouleaux), enfin par une forêt de feuillus (chênes, hêtres) : le climax. Chaque étape modifie le milieu (sol, ombre) et prépare la suivante.

DÉFINITION — ÉQUILIBRE & RÉSILIENCE

Un écosystème équilibré maintient ses populations dans des limites stables grâce aux régulations (proie-prédateur, recyclage). Sa **résilience** est sa capacité à revenir à l'équilibre après une perturbation. Un écosystème **diversifié** est plus stable et plus résilient qu'un écosystème pauvre.

ATTENTION — MODÉLISER

Modéliser l'évolution d'un écosystème (par un schéma, un graphique de populations, une simulation) suppose de représenter les **relations** (qui mange qui, qui dépend de quoi) et les **rétroactions** : une variation d'un maillon se répercute sur tous les autres.

POINTS CLÉS — D.7

- Un écosystème évolue par **succession écologique** jusqu'au **climax** (état stable).
- Succession **primaire** (sol nu) vs **secondaire** (après perturbation).
- La **biodiversité** renforce la **stabilité** et la **résilience**.

D.8 — Activités humaines, pollution & biodiversité

L'être humain modifie profondément les écosystèmes. Mettre en évidence l'impact de ses activités et adopter des comportements responsables est une compétence centrale.

DÉFINITION — POLLUTION

Introduction dans un milieu de substances (ou d'énergies) nuisibles, les **polluants**, qui perturbent son équilibre. On distingue la pollution de l'air, de l'eau et des sols.

Problème	Cause	Conséquence
Effet de serre / réchauffement	Rejet de CO ₂ (énergies fossiles, déforestation)	Hausse des températures, fonte des glaces, dérèglement climatique
Eutrophisation	Excès de nitrates/phosphates (engrais, eaux usées) dans les eaux	Prolifération d'algues → manque d'O ₂ → mort des poissons
Pollution chimique	Pesticides, métaux lourds, plastiques	Accumulation le long des chaînes (bioaccumulation), toxicité
Destruction des habitats	Déforestation, urbanisation, agriculture intensive	Perte de biodiversité, extinctions
Surexploitation	Surpêche, chasse excessive	Effondrement des populations

Tableau D.5 — Grands déséquilibres d'origine humaine.

EXEMPLE — LA BIOACCUMULATION D'UN POLLUANT (DDT)

Un pesticide déversé en faible dose dans l'eau est absorbé par le phytoplancton, puis se concentre à chaque niveau de la chaîne (car un prédateur mange de nombreuses proies déjà contaminées). Au sommet, l'oiseau prédateur accumule des doses des milliers de fois supérieures, jusqu'à des effets mortels (coquilles d'œufs fragilisées). Un même déséquilibre illustre à la fois pollution, chaîne alimentaire et pyramide.

DÉFINITION — BIODIVERSITÉ

Diversité de toutes les formes de vie, à trois niveaux : diversité *génétique* (au sein des espèces), diversité *spécifique* (nombre d'espèces) et diversité des *écosystèmes*. Elle assure la stabilité, la productivité et les « services » rendus par la nature (pollinisation, épuration de l'eau, fertilité des sols).

Enjeux éthiques et comportements responsables

La protection de l'environnement pose des **questions éthiques** : jusqu'où exploiter les ressources ? Quelle responsabilité envers les générations futures et les autres espèces ? Comment concilier développement et préservation (*développement durable*) ? Les réponses passent par des comportements responsables : réduire, réutiliser, recycler ; économiser l'énergie et l'eau ; limiter les polluants ; protéger les habitats.

Il faut aussi **évaluer l'impact des découvertes scientifiques et des innovations techniques** : elles apportent des bénéfices (rendements agricoles, médecine) mais aussi des risques (pollution, épuisement des ressources) — d'où la nécessité d'un regard critique et nuancé.

POINTS CLÉS — D.8

- Les activités humaines causent : **effet de serre**, **eutrophisation**, **pollution chimique**, **destruction des habitats**, **surexploitation**.
- Un polluant peut se **bioaccumuler** le long des chaînes alimentaires (concentration croissante vers le sommet).
- La **biodiversité** (génétique, spécifique, écosystèmes) garantit stabilité et services écologiques.
- Enjeux **éthiques** : responsabilité envers le vivant et les générations futures → **développement durable** et comportements responsables.

D.9 — Empreinte écologique et extinctions de masse

DÉFINITION — EMPREINTE & DETTE ÉCOLOGIQUES

L'**empreinte écologique** mesure la pression exercée par l'activité humaine sur les ressources de la planète, comparée à la **biocapacité** de la Terre (sa capacité à se régénérer). Quand l'empreinte dépasse la biocapacité, on parle de **dette écologique** : l'humanité consomme plus que ce que la Terre peut renouveler, menaçant la biodiversité.

ATTENTION — LA 6^E EXTINCTION

La Terre a déjà connu **cinq** grandes **extinctions de masse** (la plus sévère, au Permien, a effacé ~96 % des espèces). Beaucoup de scientifiques estiment qu'une **sixième extinction**, cette fois d'origine **humaine** (destruction des habitats, pollution, changement climatique, surexploitation), est en cours.

POINTS CLÉS — D.9

- L'**empreinte écologique** se compare à la **biocapacité** ; son dépassement crée une **dette écologique**.
- **5 extinctions de masse** passées ; une **6^e**, d'origine humaine, serait en cours.

D.10 — Compléments d'écologie

Un niveau supplémentaire : le biome

Entre l'écosystème et la biosphère s'intercale le **biome** : **écosystème** → **biome** → **biosphère**. Un biome est un vaste ensemble d'écosystèmes partageant un même climat et une végétation caractéristique (forêt tropicale, toundra, désert, savane...).

Des espèces au rôle particulier

Type	Définition	Exemple
Espèce clé de voûte	Impact majeur sur l'écosystème malgré une faible abondance.	Castor, loutre de mer
Espèce parapluie	Sa protection protège tout l'écosystème qui l'entoure.	Grands prédateurs, grands migrants
Espèce invasive	Introduite, elle nuit aux espèces autochtones.	Coccinelle asiatique

Tableau D.6 — Statuts écologiques particuliers.

L'**écologie de restauration** vise à réparer les milieux dégradés : réintroduction, renforcement, réhabilitation, restauration.

Précisions sur les pollutions et cycles

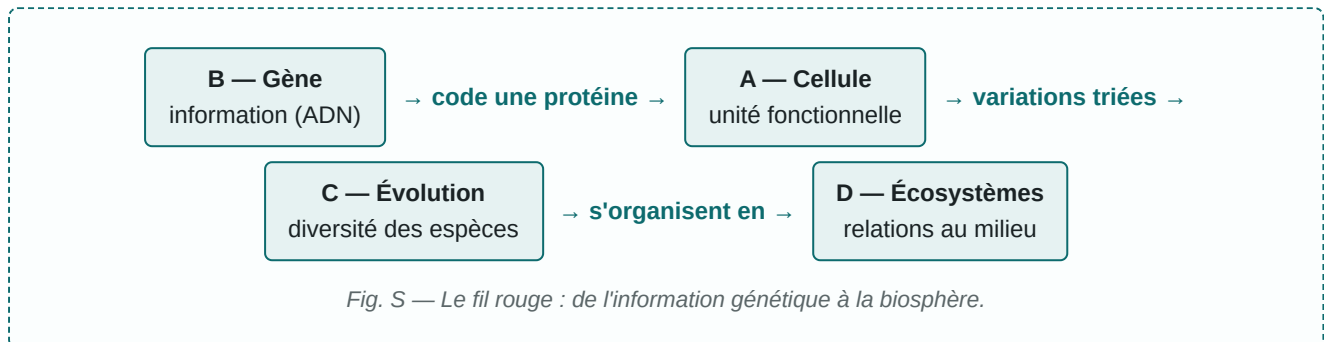
- **Bioaccumulation** : concentration d'un polluant dans *un organisme* au cours de sa vie. **Bioamplification** : concentration *croissante* le long de la chaîne trophique (du producteur au super-prédateur).
- **Ozone** : dans la *stratosphère* il est **protecteur** (filtre les UV) ; dans la *troposphère* (près du sol) c'est un **polluant**.
- **Effet de serre** : gaz principal = CO_2 (combustibles fossiles). La fonte des glaces *amplifie* le réchauffement (baisse d'albédo → réaction positive).
- **Cycle du carbone** : les océans absorbent une partie du CO_2 → *acidification* ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^-$).
- **Cycle de l'azote** : réservoir = atmosphère ($\text{N}_2 \approx 78\%$), fixé par des micro-organismes avant d'être utilisable par les plantes. **Cycle de l'eau** : moteur = le *soleil* (évaporation).

POINTS CLÉS — D.10

- Niveau intercalaire : **biome** (écosystème → biome → biosphère).
- Espèces : **clé de voûte** (fort impact, faible abondance), **parapluie**, **invasive**.
- **Bioaccumulation** (dans un organisme) vs **bioamplification** (le long de la chaîne).
- Ozone : **protecteur** en stratosphère, **polluant** en troposphère.

Synthèse transversale : les quatre parties reliées

Le vivant forme un tout cohérent : les quatre parties du programme s'articulent en une seule grande logique.



Un **gène** (B) commande une **protéine** qui fait fonctionner une **cellule** (A). Les **mutations** génétiques (B) créent des variations sur lesquelles agit la **sélection naturelle** (C), source de la **diversité** du vivant. Cette diversité d'espèces tisse des **relations** au sein des **écosystèmes** (D), où circulent énergie et matière. Comprendre la biologie, c'est saisir ces liens à toutes les échelles, de la molécule à la biosphère.

LA MÉTHODE, AU CŒUR DE LA RÉUSSITE

Au-delà du contenu, deux réflexes font gagner des points à l'examen d'entrée : l'**analyse rigoureuse des énoncés** (repérer le caractère étudié, les allèles, ce qui est demandé) et la **pratique des carrés de Punnett** pour tout problème d'hérédité. Le socle scientifique à maîtriser suit ensuite une logique claire : les **caractéristiques du vivant** (homéostasie, métabolisme, reproduction), la **hiérarchie biologique** (de l'atome à la biosphère), la **taxinomie moderne** (3 domaines et 6 règnes, distingués par le mode de nutrition et la structure cellulaire), puis les grands mécanismes de la **génétique et de l'évolution** (composition moléculaire de l'ADN, dérive génétique, sélection naturelle).

Syllabus de révision rédigé d'après le programme fourni et le manuel de référence **Biologie** de N. A. Campbell & J. B. Reece. Document de travail personnel — MedConcours.

ANNEXE

Récapitulatif des pièges

Les confusions les plus fréquentes à l'examen d'entrée — à relire la veille

Les pièges les plus fréquents

Thème	Le piège / ce qu'il faut retenir
Bases azotées	Uracile → ARN uniquement ; Thymine → ADN uniquement.
Liaisons ADN	A–T = 2 liaisons H , G–C = 3 liaisons H ; %A = %T et %G = %C (double brin).
Organites sans membrane	Ribosome et centriole = sans membrane ; noyau / mitochondrie / chloroplaste = double membrane .
Procaryote	Pas de noyau ni d'organites membranueux, <i>mais</i> possède des ribosomes ; pas forcément autotrophe ni aérobie ; ni animal ni végétal.
Virus	Acellulaire, parasite obligatoire, un seul type d'acide nucléique , pas de ribosome, antibiotiques inefficaces ; ce n'est <i>pas</i> un procaryote ; capsid <i>protéique</i> (pas lipidique).
Divisions	Mitose = 2 cellules diploïdes identiques ; méiose = 4 cellules haploïdes différentes .
Séparation en méiose	Séparation des chromatides sœurs = mitose + méiose II ; séparation des homologues = méiose I uniquement.
Sélection naturelle	Agit sur des variations préexistantes ; l' <i>adaptation</i> est une propriété d'une population (≠ Lamarck).
Homologie / analogie	Homologie = même origine embryonnaire ; analogie = même fonction, origine différente.
Énergie / matière	Flux d' énergie unidirectionnel (perdue en chaleur) ; la matière est recyclée (cycles).
Métabolisme	Photosynthèse = anabolisme ; respiration = catabolisme . Les végétaux font les deux et <i>respirent jour et nuit</i> .
Code génétique	Codon AUG = initiation ; UAA/UAG/UGA = STOP ; code redondant et universel .
Respiration aérobie	L' O₂ est l'accepteur final d'électrons (on forme de l'H ₂ O, pas du CO ₂ à cette étape) ; la glycolyse n'a pas lieu dans la mitochondrie.
Groupes sanguins	AB (I^AI^B) et O (ii) = génotype unique et certain .

Molécules	Carbonate = minéral ; les lipides ne sont pas des polymères ; une protéine n'est pas le support de l'information génétique.
Tailles	Virus < bactérie (nm vs μm).

Tableau P.1 — À vérifier systématiquement dans les QCM.

DERNIER CONSEIL

- Lis chaque énoncé en entier : les pièges portent souvent sur un mot (« uniquement », « toujours », « parce que »).
- Pour tout problème d'hérédité : écris les génotypes, dresse le carré de Punnett, puis conclus sur les proportions.