

# Emergences

Une vision naturaliste du monde

# L'émergence

- Une propriété d'un système est *émergente* quand sa description n'est pas réductible à la somme des comportements de ses parties (le réductionnisme)
- Par exemple, il faut accepter la notion d'émergence pour comprendre la relation entre les atomes dont nous sommes faits et la *conscience* qui nous habite
- Ou pour tenter de comprendre la vie à partir des seules particules élémentaires

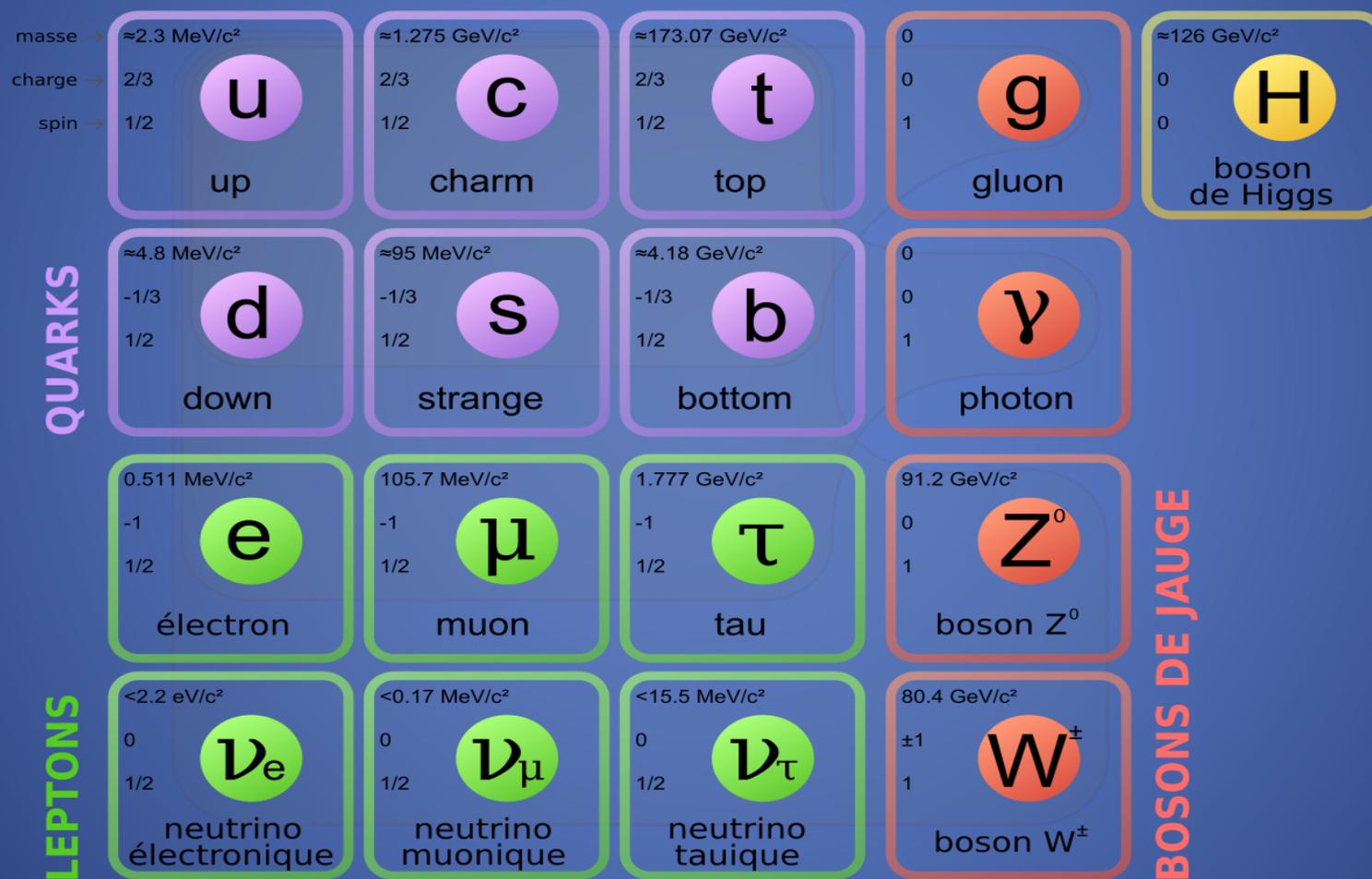
# Nos grandes interrogations

- Notre univers: sa naissance ?, sa mort ?, un monde anthropique ? multivers ?
- L'émergence de la vie
- L'émergence de la conscience

# Naturalisme

- L'ontologie associée à l'athéisme est le *naturalisme*
- Il n'existe qu'un monde, le monde naturel, ni surnaturel, ni divin
- La vie et la conscience ne sont pas distinctes de la matière, elles sont des phénomènes qui émergent de l'interaction de systèmes biologiques complexes
- Les composantes élémentaires de ces systèmes obéissent toutes aux lois de la physique gouvernant le *quotidien*: modèle standard, théorie quantique des champs

# Le modèle standard



# Théorie quantique des champs

- Première et seconde quantification
- Le modèle: en tout point de l'univers est attaché un petit oscillateur d'énergie quantifiée: champ quantique
- Toutes les particules dans l'univers sont simplement des excitations de champs quantiques qui s'étendent dans tout l'espace-temps
- A un instant donné nous ne sommes donc que des configurations de tous ces champs possédant chacun leur propre probabilité

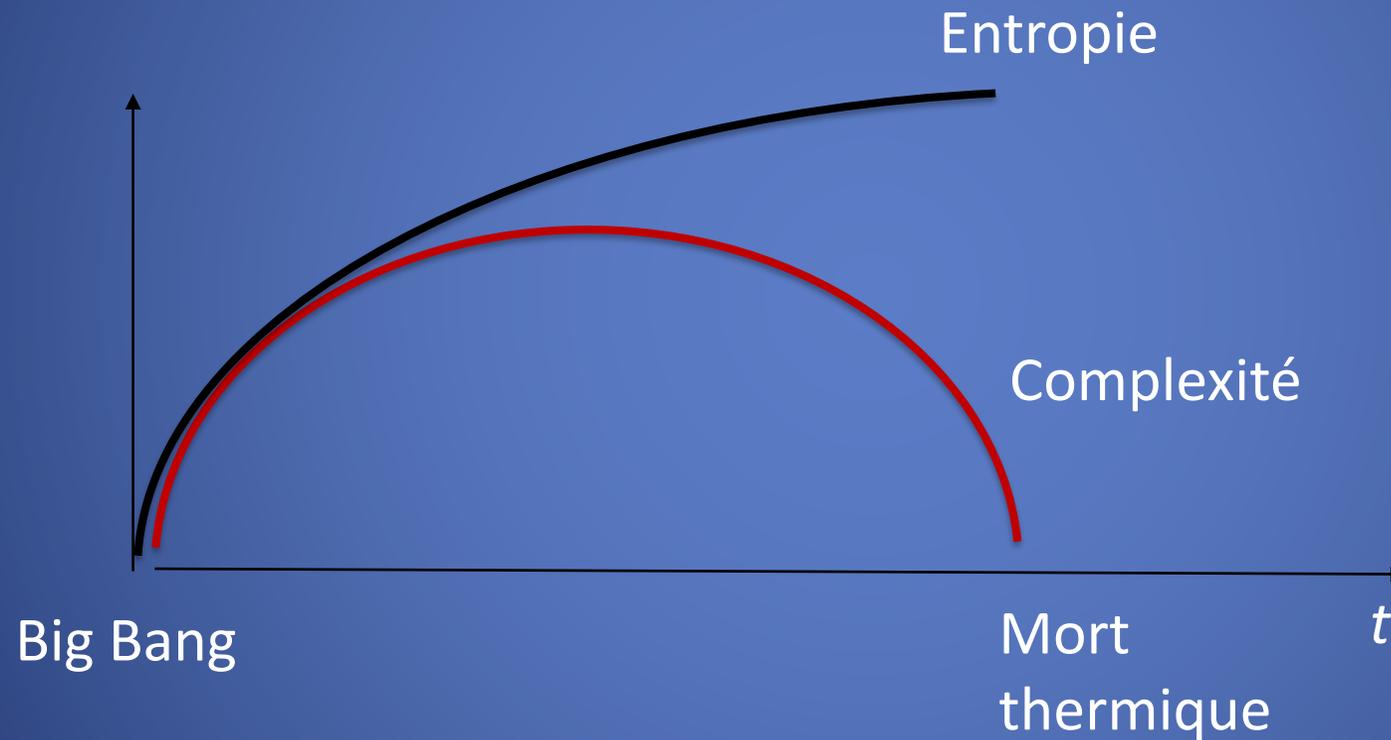
# Abiogenèse

Apparition de la vie à partir de la matière inerte

# Première étape: la complexité

- Comment un système aussi complexe qu'un être vivant a-t-il pu advenir?
- Réponse courte: entropie et complexité
- Entropie: mesure de la tendance naturelle à l'augmentation globale du désordre (seconde loi de la thermodynamique)
- Mais par apport d'*énergie libre* (utile) il est possible de diminuer localement l'entropie en recréant de l'ordre donc de la complexité
- Aucune loi ne stipule que la complexité se développe nécessairement du fait de l'entropie croissante mais *elle le peut*

# Entropie de l'univers et complexité



# Energie libre

- Dans un système isolé, l'énergie totale est constante. On peut la décomposer en:
  - Énergie libre (utile) disponible pour exercer un certain travail, dite à faible entropie
  - Une énergie dégradée (chaleur) dite énergie à forte entropie
- Au fil du temps, l'entropie augmente, l'énergie dégradée aussi, tandis que l'énergie libre diminue
- Mécanisme général: les organismes biologiques utilisent l'énergie libre (photons par exemple) et renvoient à l'univers l'énergie dégradée (chaleur) à forte entropie

# Une organisation spontanée

- Trois caractéristiques essentielles de la vie
  - *Compartimentation*: les cellules, briques élémentaires des organismes vivants sont délimitées par des membranes qui séparent leur structure interne du monde extérieur
  - *Métabolisme*: les organismes vivants récupèrent l'énergie libre et l'emploient pour accomplir leurs actions et se régénérer
  - *Réplication avec variations*: les êtres vivants se multiplient et transmettent des informations sur leur structure parfois avec des variations permettant la sélection naturelle *darwinienne*

# Autoassemblage des membranes

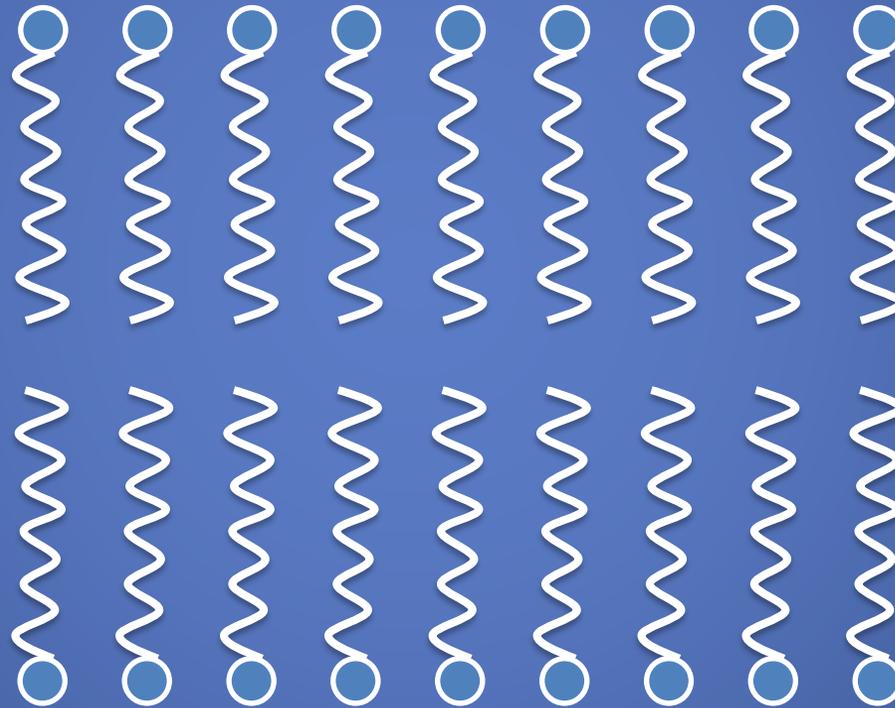
- Les membranes des *cellules* sont des bicouches *lipidiques* de *phospholipides* qui s'organisent spontanément de sorte que les queues hydrophobes soient isolées du milieu aqueux tandis que les têtes hydrophiles s'orientent toutes vers les milieux aqueux intra et extracellulaire
- Les acides gras constituant les lipides sont des molécules simples (chaînes de C, liés à des H, terminées par un groupe acide COOH) en abondance sur la Terre prébiotique
- Ces membranes sont indispensables aux cellules pour leur permettre de réguler leurs échanges avec l'extérieur, utiliser l'énergie libre disponible



Phospholipide



Milieu aqueux externe



Tête hydrophile

Queue hydrophobe

Bicouche

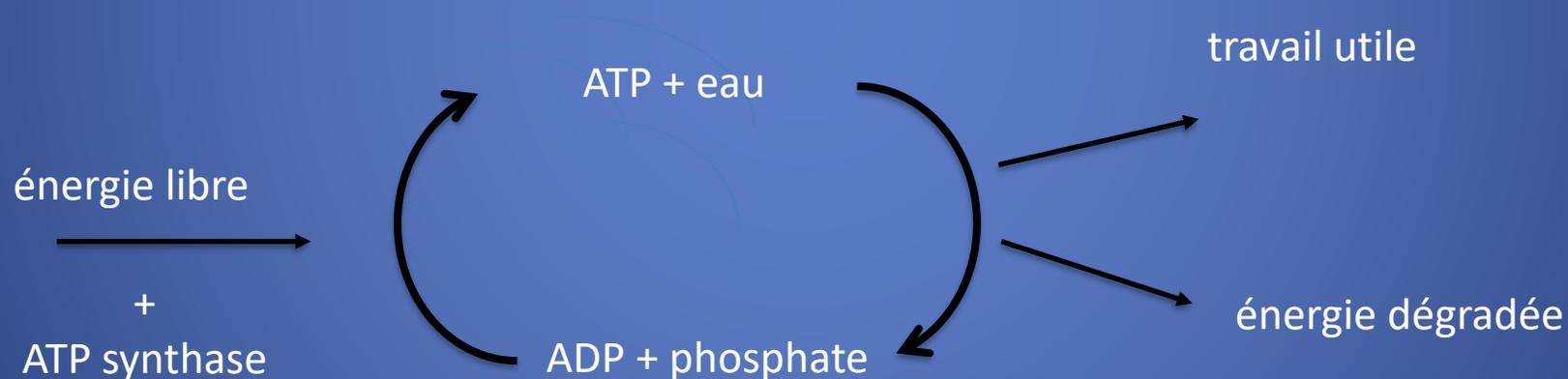
Milieu aqueux interne

# Métabolisme: canalisation de l'énergie

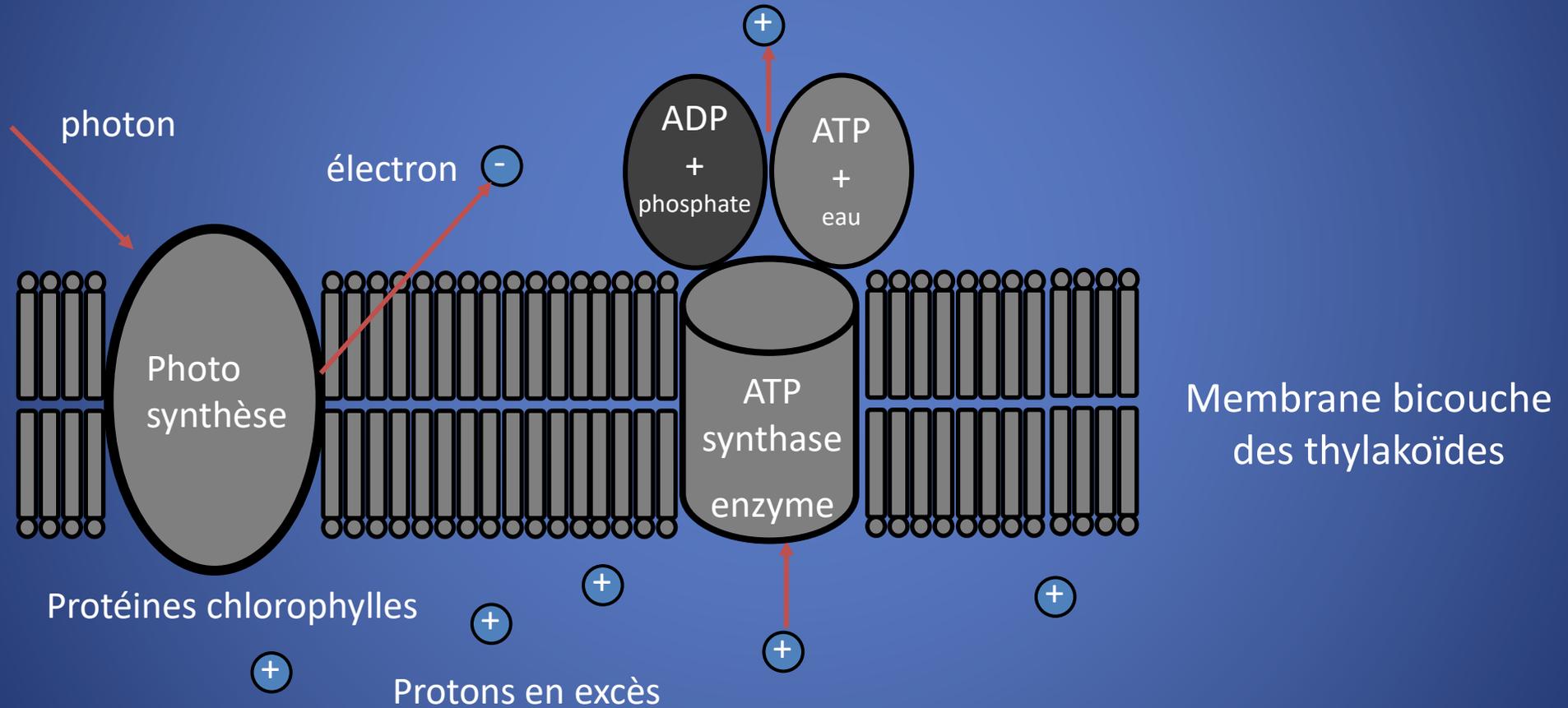
- Accumulateur d'énergie de la vie: la molécule *d'adénosine triphosphate* (ATP). Elle stocke l'énergie libre pour utilisation ultérieure (contraction musculaire, synthèse ADN, etc.)
- L'ATP est produit dans toutes les cellules par les *mitochondries*
- En présence d'eau, l'un des phosphates se sépare de l'ATP qui se transforme en adénosine diphosphate (ADP).
- L'énergie finale est inférieure à celle de la molécule ATP initiale. Ce processus dégage donc une énergie libre apte à faire un travail biochimique

# L'ATP est « rechargeable »

Les organismes vivants utilisent des sources d'énergie libre extérieures - photons (énergie solaire), sucres, acides gras – pour reconvertir l'ADP en ATP + eau, grâce à une enzyme, l'ATP synthase



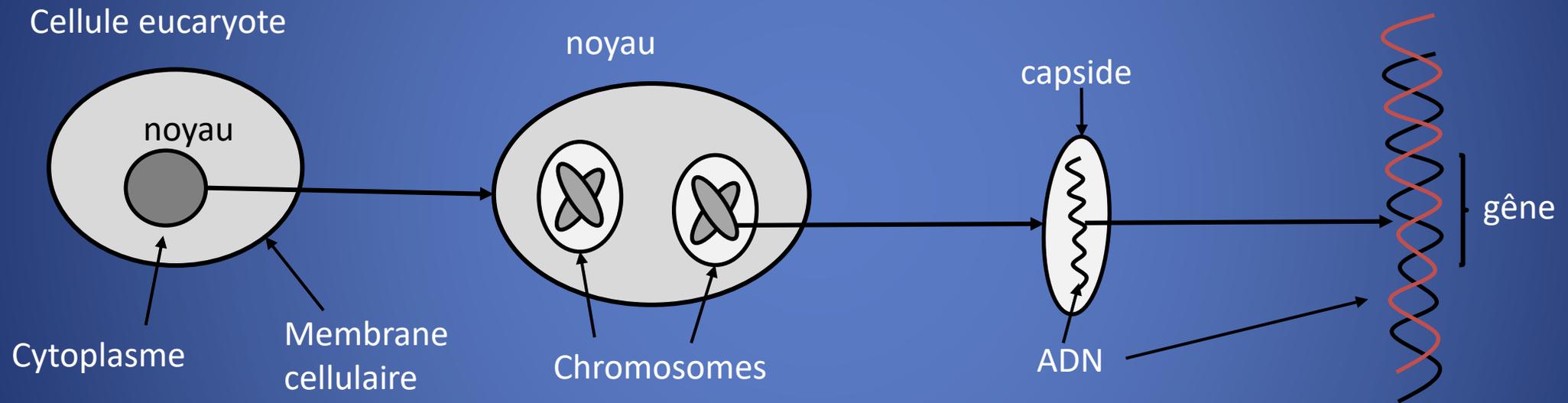
# Exemple de chimiosmose par photosynthèse



# Force proton-motrice

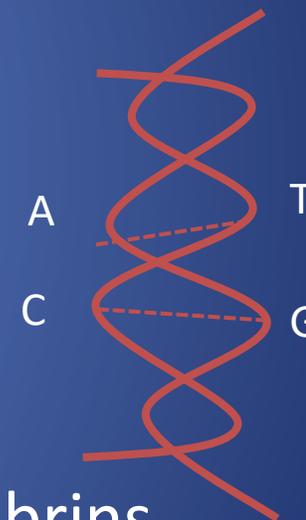
- En définitive, tout vient de la photosynthèse donc du soleil...
- Un photon arrache un électron à une molécule de chlorophylle
- Il est canalisé par une membrane
- Un déséquilibre en charges positives se crée d'un côté poussant par répulsion un proton à s'échapper au travers de l'ATP synthase en lui apportant l'énergie pour synthétiser l'ATP à partir de l'ADP
- Ce processus dit « force proton-motrice » est universel pour la vie sur Terre
- Découvert par les biochimistes britanniques Peter Mitchell et Jennifer Moyle dans les années 60

# Cellule à noyau (eucaryote)



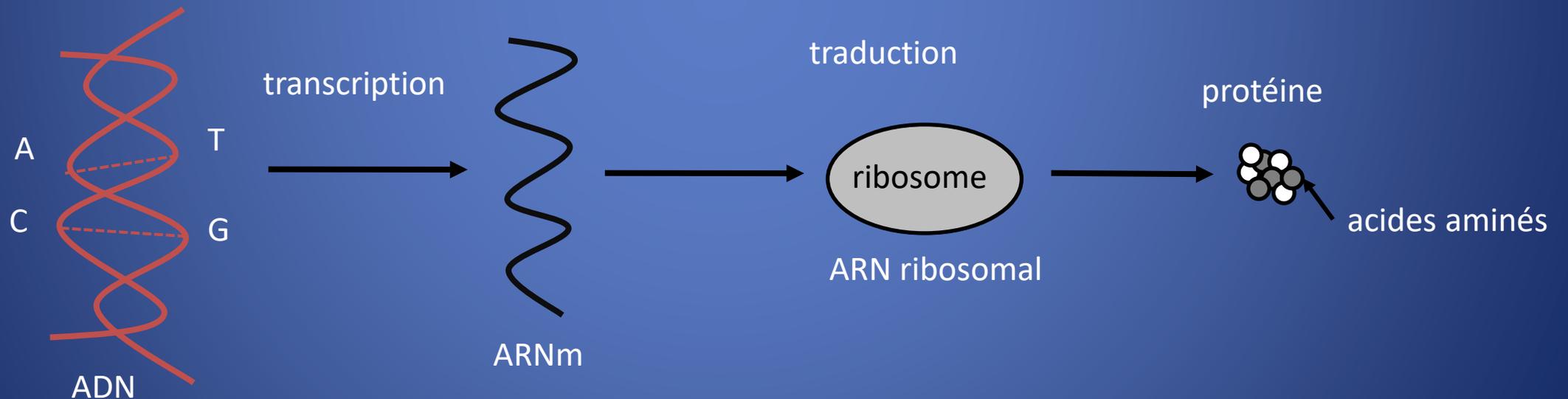
# Acide désoxyribonucléique (ADN)

- Molécule qui porte l'information génétique chez les êtres vivants
- Composée de 4 sortes de *nucléotides* assemblés en deux longs brins en double hélice
- adénine (A); guanine (G); thymine (T); cytosine (C)
- Chaque nucléotide d'un brin est associé à son complémentaire de l'autre brin
- Réplication: les 2 brins se désolidarisent, les nucléotides dispersés dans le noyau sont catalysés pour reconstituer les brins complémentaires donnant ainsi 2 doubles hélices identiques



# Acide ribonucléique (ARN)

- L'information encodée dans l'ADN contrôle les mécanismes biologiques dans les cellules via l'ARN (dit messenger) qui porte l'information extraite de l'ADN sur un seul brin
- Mêmes nucléotides mais l'uracile (U) remplace la thymine (T)



# Réplication: un monde à ARN

- Il faut des protéines pour construire l'ADN, il faut de l'ADN pour synthétiser les protéines, impasse?
- Il faut donc au départ une molécule porteuse de l'information génétique et capable de se reproduire elle-même
- La réponse favorite est l'ARN capable de catalyser sa propre synthèse. En 2009 Tracey Lincoln et Gerald Joyce ont créé en labo un système à 2 molécules d'ARN catalytique (ribosomes) qui ensemble sont capables de répliquations auto-entretenu
- L'ARN aurait pu apparaître avant l'ADN pour provoquer une forme de vie primitive

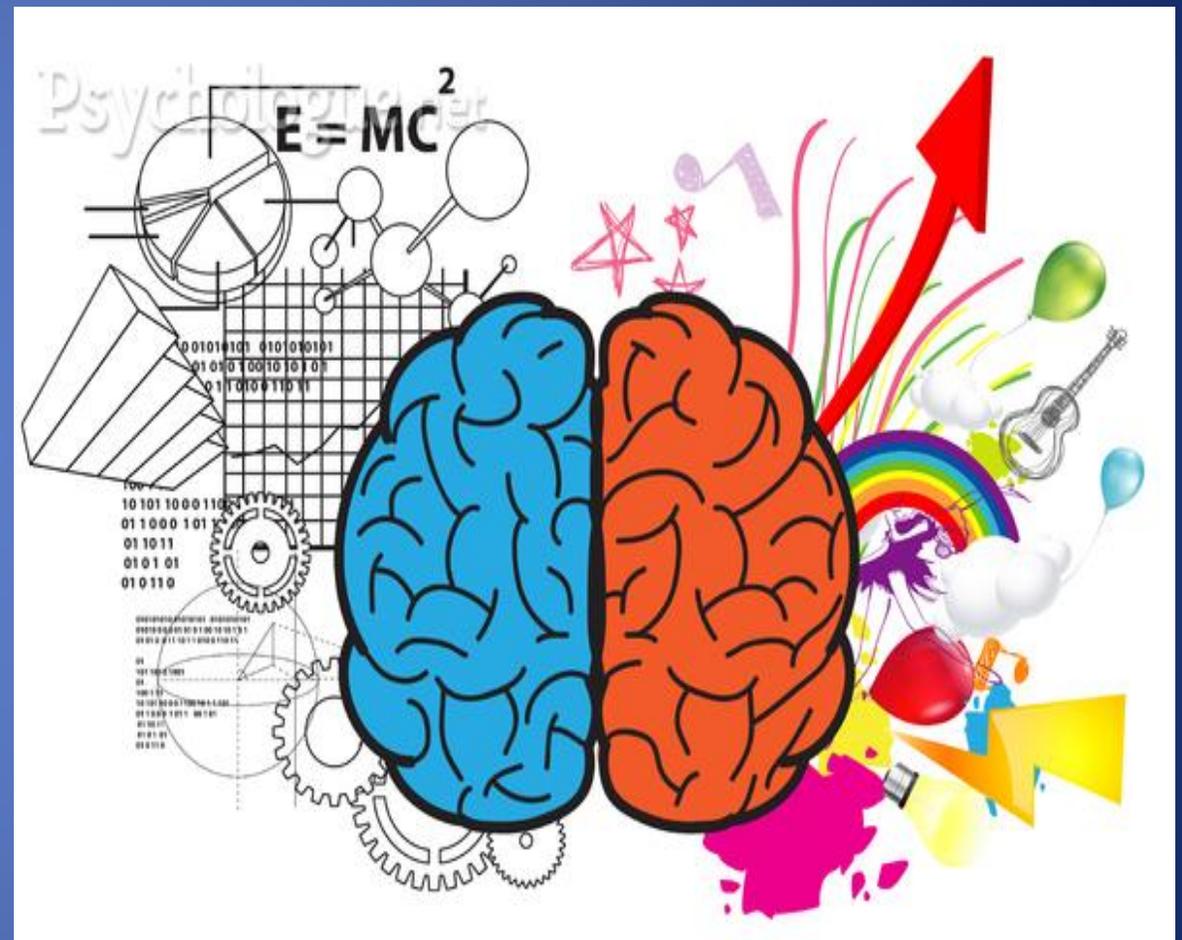
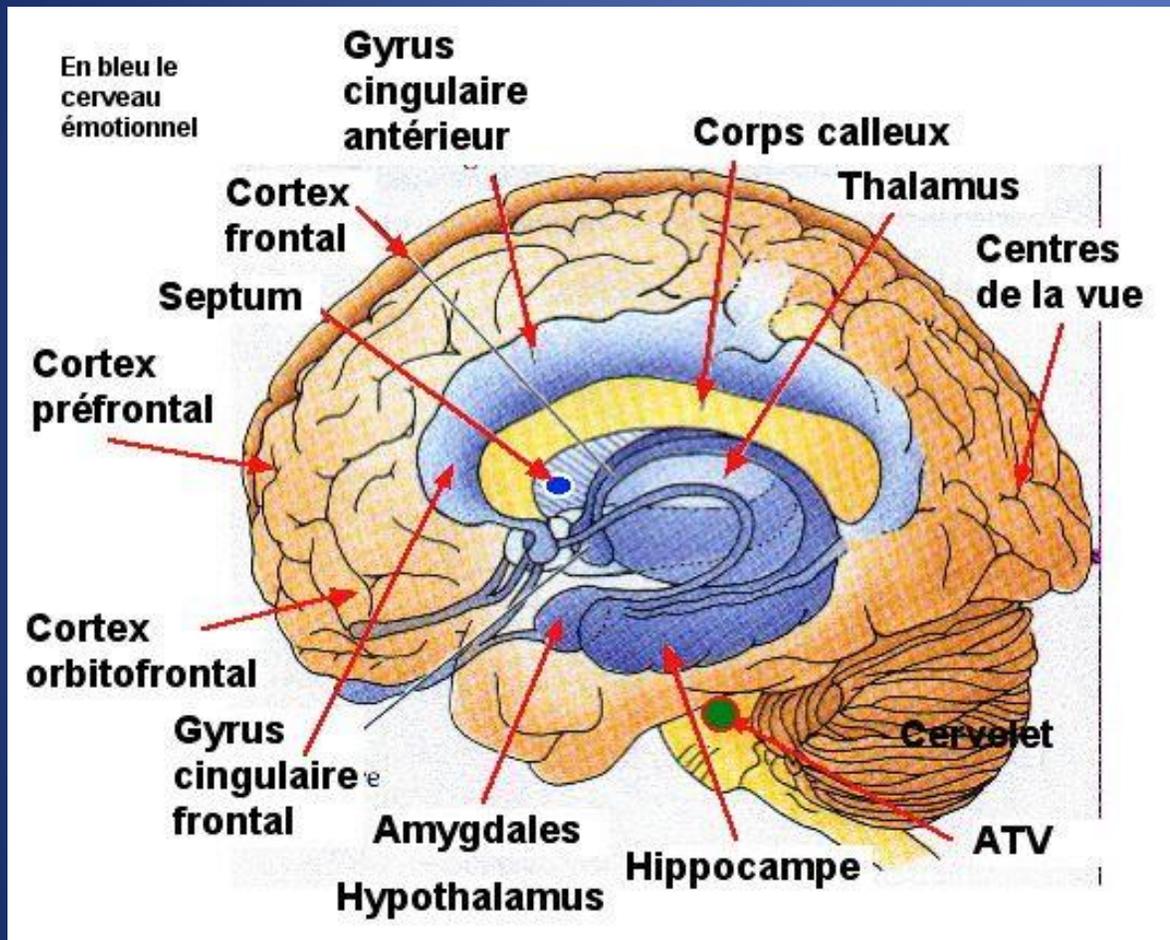
# Mais finalement, la vie?

- Même avec l'ARN au centre de l'origine de la vie, il manque une vue d'ensemble complète, réunissant compartimentation, métabolisme et réplication
- Which came first? Métabolisme ou réplication? Sources alcalines au fond des océans? ARN vers ADN?
- La science a fait de grands progrès dans la compréhension des mécanismes de base. On peut penser que ces progrès vont se poursuivre jusqu'à comprendre comment la vie est apparue
- Le travail qui reste à faire impliquera la chimie, la biologie, la physique et les mathématiques mais aucune magie ni intervention surnaturelle

# Cerveau, esprit et conscience

Physicalisme vs dualisme

# Le cerveau humain



Abstraction, logique

Intuition, émotions

# Quelques fonctions « centrales »

- **Amygdale**

- décode les stimuli et dicte les réactions comportementales appropriées
- c'est la « tour de contrôle » de nos émotions (peur, anxiété)

- **Hippocampe**

- rôle essentiel dans la mémoire à court terme
- gère les traces de mémoire pour constituer des souvenirs

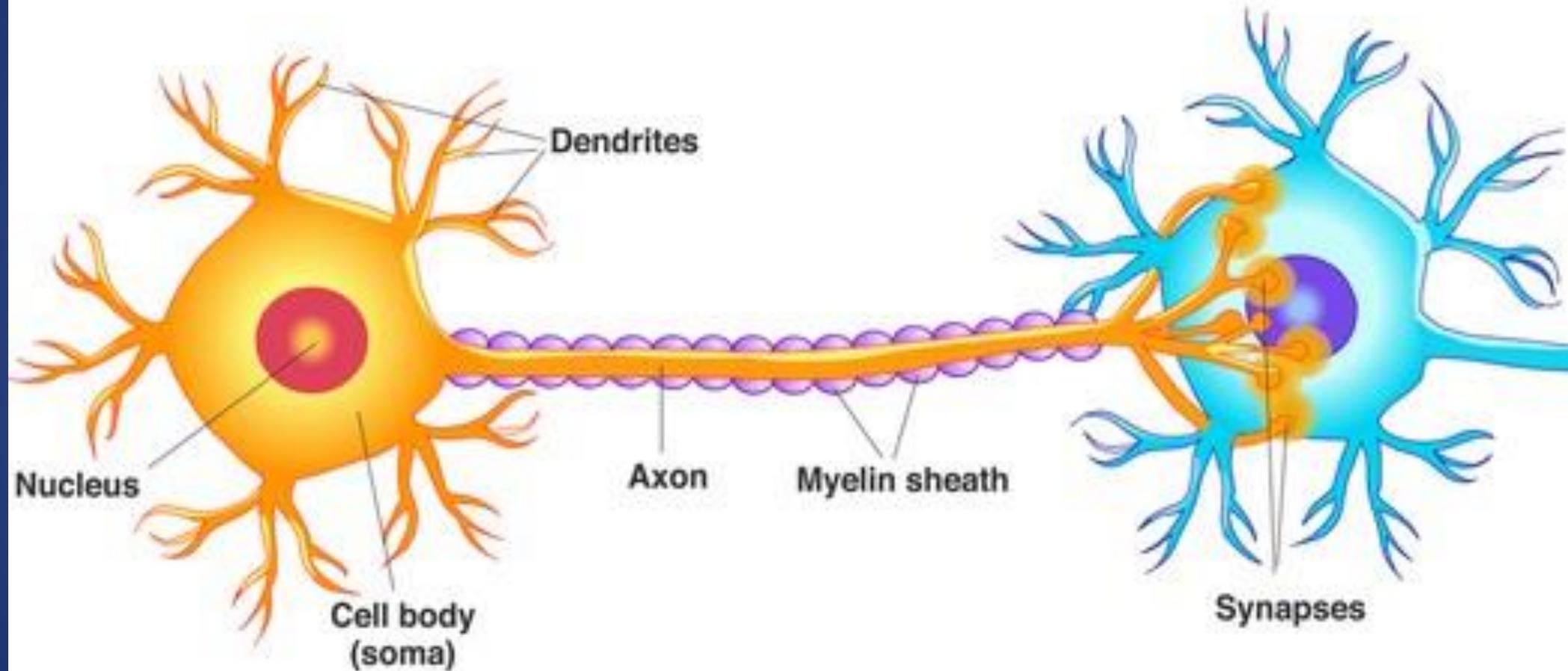
- **Hypothalamus**

- joue un rôle capital dans la régulation des fonctions vitales (sommeil, activité sexuelle)

# Les neurones

- Environ 85 à 100 milliards de *neurones* dans le cerveau humain qui pèse environ 1,3kg et consomme près de 20% de l'énergie produite par le corps
- Nourris et supportés par des *cellules gliales*
- Un neurone est équipé:
  - de *dendrites* qui reçoivent les signaux de l'extérieur
  - d'un *axone* par lequel les signaux sont émis
- Quand un neurone émet un signal il se « dépolarise » en envoyant un signal sous forme de molécules électriquement chargées le long de son axone
- Ce signal est reçu par d'autres neurones en des points de connexion appelés *synapses*

# Neuron Communication



shutterstock.com • 1401058229

# Le connectome

- Chaque neurone est connecté à environ un millier d'autres neurones
- Cette structure du cerveau en réseau est un *connectome*: la liste de tous les neurones et leurs connexions.
- En moyenne, un neurone écoute les signaux entrants pendant 40 ms, le transfert de chaque signal se faisant en 1 ms
- Au vu de ces entrées, le neurone décide ou non de se dépolariser (processus de tout ou rien)
- Connaître le connectome n'est pas suffisant pour savoir comment le cerveau pense: on connaît le réseau mais pas ce qui y circule

# Définir la conscience

- La conscience est une perception de soi, des pensées et de l'environnement, on se sent être une entité distincte du monde extérieur
- Nous existons, nous savons que nous existons et nous réfléchissons à notre situation dans le cosmos
- Nous ressentons des émotions, nous avons des états mentaux, des expériences subjectives (qualias): « quel effet cela fait » de...
- Elle comporte une capacité réflexive: l'esprit réfléchit sur lui-même
- Une capacité à mémoriser mais aussi à faire des plans à l'avance

# Des convictions opposées

- D'où émerge notre capacité à penser, souffrir, créer ou nous émouvoir?
- Certains répondront qu'il est évident que ces formidables capacités résultent de l'activité neuronale de notre cerveau. En clair notre esprit ou notre conscience, c'est le cerveau. C'est la conception *physicaliste* du rapport esprit/cerveau
- D'autres diront que le cerveau physique ne peut expliquer à lui seul l'émergence de nos sentiments ou passions. L'esprit ne serait pas une entité matérielle et ne pourrait donc pas être réduit à la seule activité neuronale. C'est la pensée *dualiste* qui sépare l'esprit entité immatérielle du cerveau entité matérielle

# Les problèmes « faciles »

- Les progrès des neurosciences et de l'imagerie médicale:
  - IRM, images de l'activité du cerveau par le suivi des flux sanguins
  - MEG (magnétoencéphalographie), mesure des champs magnétiques engendrés par les mouvements des molécules chargées électriquement
  - Stimulations directes des neurones (électrodes)
  - Contrôle chimique cérébral (psychotropes)
- Ont permis:
  - d'expliquer comment sont encodés les souvenirs dans le cerveau
  - de déterminer les zones du cerveau qui répondent à des stimuli par exemple sonores ou visuels
  - d'expliquer la différence entre états d'éveil et de sommeil
  - de mieux comprendre comment fonctionne la « machine » cerveau même si l'on est encore loin d'une compréhension exhaustive

# Le problème difficile

- D'un côté des états cérébraux/neuronaux bien compris qui relèvent d'une description objective du fonctionnement du cerveau
- De l'autre côté un état mental ou une expérience phénoménale (joie, tristesse, douleur, émotions,...) qui relève du subjectif
- On ne sait pas relier les états de conscience phénoménaux aux états neuronaux ce qui conduit a priori à un « fossé explicatif » entre nos états subjectifs et leur base matérielle
- Ce fossé est le seul espace qui reste aux dualistes pour soutenir que l'esprit ou la conscience sont quelque chose en plus de la matière

# Mary, une expérience de pensée

- Mary est une excellente physicienne qui vit dans un monde à part où tout est noir, blanc ou gris
- Elle sait tout ce qu'il est possible de savoir sur les couleurs: physique de la lumière, réactions de l'œil, interprétation du cerveau, etc.
- Elle quitte ce monde en noir et blanc et voit des couleurs pour la première fois de sa vie, du rouge par exemple
- Quel effet cela lui fait-il? Apprend-t-elle ou ressent-elle quelque chose de nouveau?
- Vraisemblablement oui. Mais puisqu'elle savait tout de la physique des couleurs et de leur perception neuronale, c'est donc qu'il y a plus que cela et le physicalisme semble être mis à mal

# Mary, retour à la physique

- Quand Mary voit du rouge pour la première fois, cela entraîne la dépolarisation de certains neurones correspondant à la mise en mémoire de la sensation de voir du rouge
- En ce sens Mary a appris quelque chose de nouveau et elle peut désormais reconnaître les objets rouge de visu. Mais ce n'est certainement pas un argument qu'il y a plus dans l'univers que les seuls aspects physiques
- On a simplement et artificiellement introduit ici une distinction entre 2 groupes de connexions synaptiques:
  - un premier induit en se documentant complètement sur les couleurs
  - un second induit en stimulant le cortex visuel quand on voit de la lumière rouge

# Indépendance du substrat?

- Une autre expérience de pensée
- On remplace un seul neurone par un composant artificiel qui se comporte exactement de la même manière, un « neuristor »
- La personne ayant subi cela est-elle encore consciente? La réponse semble être évidemment oui
- Et si l'on remplace tous les neurones, la machine ainsi obtenue est-elle encore consciente?
- On n'a aucun moyen de le démontrer, pas plus que vous ne pouvez démontrer que votre voisin est conscient ou non, seule cette machine peut savoir si elle est consciente.

# La position des neurosciences

- Les neurobiologistes affirment que la conscience n'est le fait d'aucune structure particulière du cerveau
- En effet, un dommage sur n'importe quelle composante du cerveau a des répercussions sur la conscience; des lésions localisées peuvent amoindrir la conscience mais ne la détériorent pas complètement
- Même si l'amygdale en relation avec l'hippocampe a un rôle clé dans le contrôle de nos émotions, le point de vue le plus largement partagé est que le cerveau *en entier* joue un rôle dans l'état de conscience

# Conclusion d'un naturaliste

- Un faux problème ? Pour le *physicaliste*, la conscience c'est tout simplement le cerveau.
- La conscience n'est pas une illusion mais elle ne révèle pas d'entorse aux lois de la physique, pas plus que ne le fait l'émergence de la vie
- Mais les humains sont naturellement dualistes. C'est une conséquence des propriétés de notre système cognitif qui nous donne un accès introspectif à notre propre activité mentale
- Dans le futur nos descendants vivront avec des êtres intelligents artificiels et la séparation entre matière et psychique risque de vraiment s'effriter du fait des capacités grandissantes de ces machines.

# Quelques références

- *La construction de la matière* Jacques Léon
- *The Big Picture* Sean Carroll
- *De l'esprit au cerveau* Thierry Ripoll
- *Les secrets du cerveau* Rémi Pin
- *Something Deeply Hidden* Sean Carroll
- *The Cosmic Landscape* Leonard Susskind
- *A World Beyond Physics* Stuart A. Kauffman
- *The End of Everything* Katie Mack