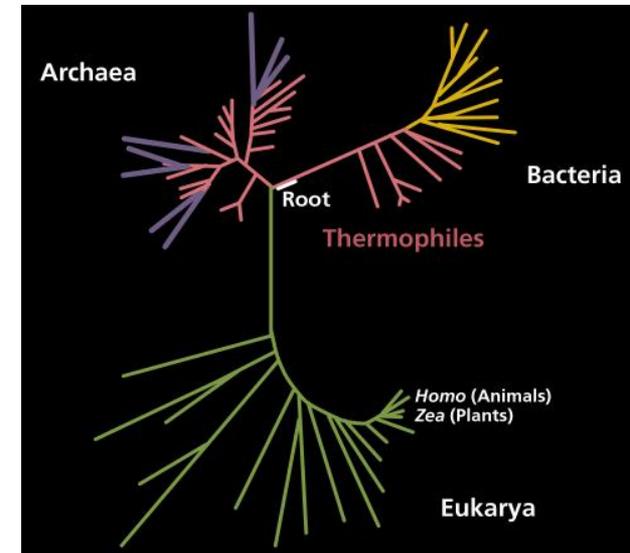




Exobiologie



Sébastien Rodriguez
Université Paris 7 / A.I.M.
sebastien.rodriquez@cea.fr



De l'inerte au vivant ?

Un peu d'histoire

Vie

Systeme complexe, comprenant une grande quantité d'**informations**, capable de **duplication** et d'**évolution** par mutation, et caractérisé par sa **reproduction**, son **métabolisme**, son homéostasie et sa **lutte contre l'équilibre** thermodynamique.

Carbone, Eau, Energie !!

Transition de l'inerte vers le vivant ?

Apparition de la vie : une interrogation universelle, vieille comme le monde !!!

- **Assyro-Babyloniens** (II^e mill. av. J.C. – VI^e siècle ap. J.C.) : union de l'Apsou (divinité de l'océan abyssal) et de Tiamat (divinité de l'océan d'eau salée)
- **Grecs** (IX^e siècle av. J.C. – II^e siècle av. J.C.) : Gaia fécondée par Eros engendre le ciel étoilé (Ouranus), puis le reste du monde
- **Celtes** (VIII^e siècle av. J.C. – III^e siècle ap. J.C.) : eaux divines et les divinités des éléments
- **Chinois** (II^e mill. av. J.C.) : les rois-dragons ⇒ pouvoir de vie et de mort

Transition de l'inerte vers le vivant ?

Génération spontanée

- Vieille idée : la vie pouvait émerger du monde inerte (Aristote). Antiquité : pucerons naissent de la boue, ...
- **17^{ème} siècle.** van Helmont et sa chemise : seau de blé + chemise imprégnée de sueur ⇒ souris en 21 jours
- **1668.** F. Redi : l'apparition d'asticots sur un morceau de viande en putréfaction n'a pas lieu si l'on prend soin de recouvrir les bocaux d'une fine mousseline. **La génération spontanée est mise à mal.**
- Découverte des micro-organismes par Antony Van Leeuwenhoek (**fin 17^{ème} siècle**) : la génération spontanée se restreint au monde microscopique



Transition de l'inerte vers le vivant ?

De la génération spontanée et du vitalisme vers l'évolution biologique

- **1745.** Buffon/Needham : les microbes pullulent même quand on chauffe une fiole
- **1770.** Spallanzani : augmente temp. et le tps d'ébullition et surtout fait bouillir en vase clos (≠ Buffon/Needham). Plus aucun micro-organisme ne se développe dans les fioles scellées.
- **1862.** Pasteur et la biogénèse : Pasteur donnera enfin le coup de grâce à cette théorie en montrant que le développement d'organismes dans un milieu préalablement stérilisé est uniquement dû à une contamination par des microbes contenus dans l'air ambiant.
- **Fin XVIII^e siècle.** Vitalisme : la différence entre le vivant et le minéral tient à l'action d'une émanation mystérieuse ⇒ la force vitale (et donc aucun comp. org. ne devrait être issu d'un comp. min.). Mais la synthèse de l'urée (**1828**) par Wöhler mit un terme au vitalisme.
- **Darwin**

Transition de l'inerte vers le vivant ?

Darwin et l'origine des espèces : le triomphe de l'évolution biologique

- **1859** : l'évolution des organismes est rendue possible par l'apparition d'un grand nombre de variations au sein d'un groupe, les variations présentant un avantage étant valorisées par sélection naturelle.

- Darwin restera très prudent sur le sujet de l'origine de la vie, mais dans une lettre : *"On dit souvent que toutes les conditions pour la première production d'un organisme vivant qui sont maintenant réunies, pourraient ne l'avoir jamais été. Mais si (et oh !, quel grand si) nous pouvions concevoir, dans **quelque petite mare chaude**, en présence de toutes sortes de sels d'ammoniac et d'acide phosphorique, de lumière, de chaleur, d'électricité, etc ..., qu'un composé de protéine fût chimiquement formé, prêt à subir des changements encore plus complexes, au jour d'aujourd'hui une telle matière serait instantanément dévorée ou absorbée, ce qui n'aurait pas été le cas avant l'apparition des créatures vivantes"* .



Transition de l'inerte vers le vivant ?

Evolution biologique et évolution chimique : origine terrestre ou panspermie ?

- **1865.** Richter : la vie viendrait des profondeurs de l'espace (météorites) : **cosmozoaires**
 - **1903.** Arrhenius : spores vagabondant dans l'espace, poussés par le rayonnement des étoiles
 - Repose le problème de l'origine de la vie sur Terre dans l'espace. Panspermie toujours d'actualité.
 - **1924.** Oparin : l'évolution biologique aurait été précédée d'une évolution chimique ⇒ **Chimie pré-biotique**
-

Origine du vivant – évolution chimique ?

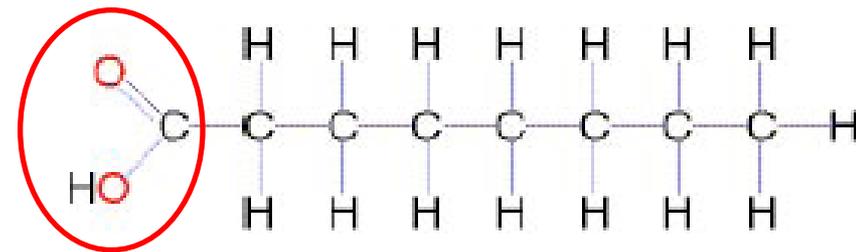
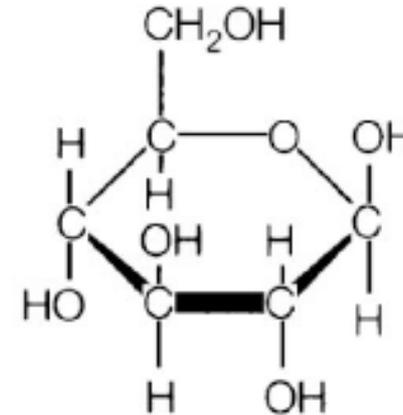
Les bases chimiques de la vie

- Cellule = 70% eau + 4 grosses molécules (ou macromolécules) :
 - Protéines
 - Acides nucléiques
 - Lipides
 - Les hydrates de carbone : sucres (stockage de l'énergie)
 - Fondamental pour la vie : protéines et acides nucléiques
 - Des monomères aux polymères ?
-

Les macromolécules

- **Protéines** : construites à partir d'un échantillon de 20 acides aminés différents.
Construction cellules + enzymes. H, C, N, O, (S)
- **Acide nucléiques** : ensemble de nucléotides (sucre + base + phosphate). H, C, N, O, (P)
- **Lipides**: hydrocarbure + carboxyle : membranes + énergie. H, C (O)
- Sucres : H, C, O

Sucre : glucose



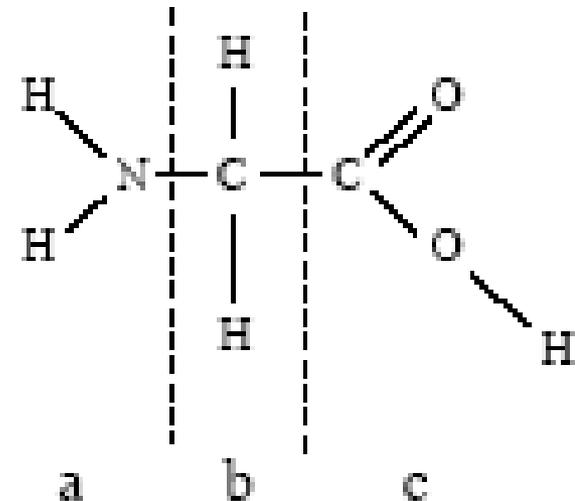
groupe carboxyle

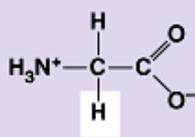
Lipides

Les acides aminés

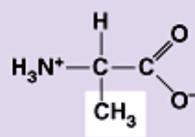
- Composé avec un groupement amine (NH_2) et un groupement carboxyle (COOH).
- 20 acides aminés différents pour la construction des protéines :

Glycine

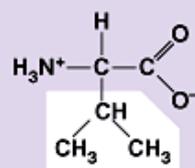




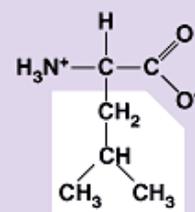
Glycine (Gly)



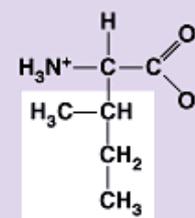
Alanine (Ala)



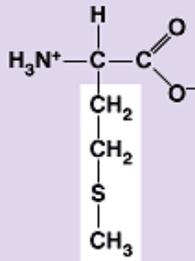
Valine (Val)



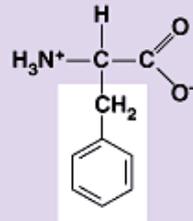
Leucine (Leu)



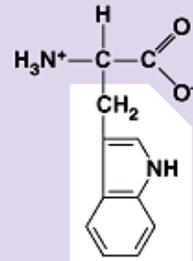
Isoleucine (Ile)



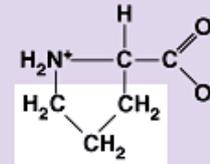
Methionine (Met)



Phenylalanine (Phe)



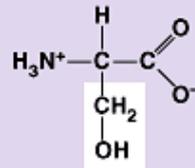
Tryptophan (Trp)



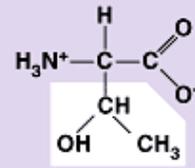
Proline (Pro)

Nonpolar

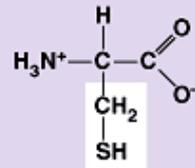
Polar



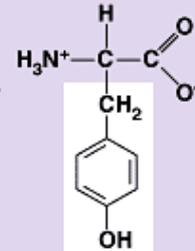
Serine (Ser)



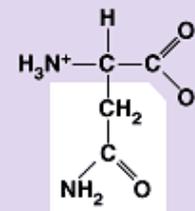
Threonine (Thr)



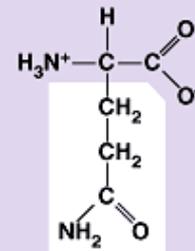
Cysteine (Cys)



Tyrosine (Tyr)



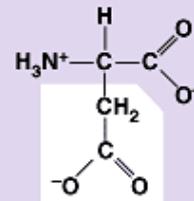
Asparagine (Asn)



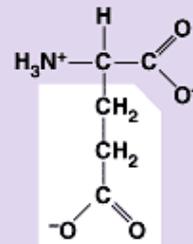
Glutamine (Gln)

Electrically charged

Acidic

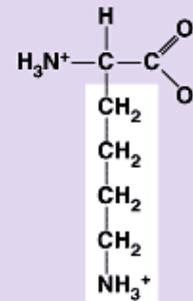


Aspartic acid (Asp)

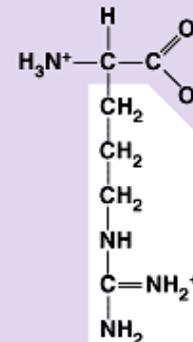


Glutamic acid (Glu)

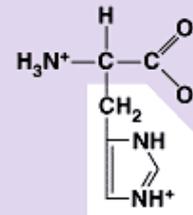
Basic



Lysine (Lys)



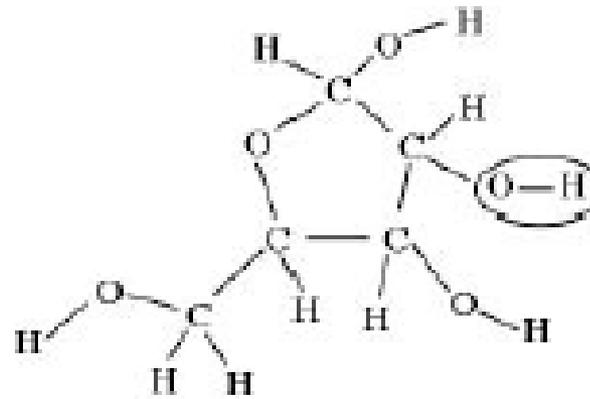
Arginine (Arg)



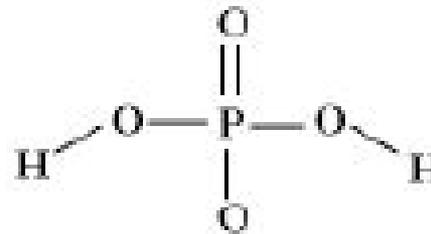
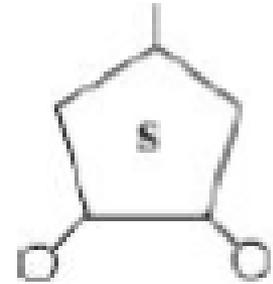
Histidine (His)

Les acides nucléiques

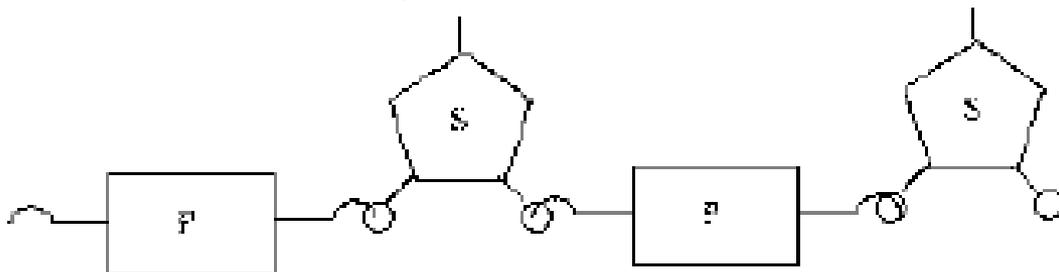
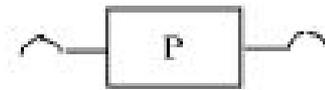
- Transmission de l'information (construction des protéines)
- Plus gros que les protéines
- Acides nucléiques (ADN, ARN) :
 - sucres à 5 C
 - groupements phosphates
 - bases azotées :
 - purines : Adénine et Guanine
 - pyrimidines : Thymine (ADN), Uracile (ARN) et Cytosine



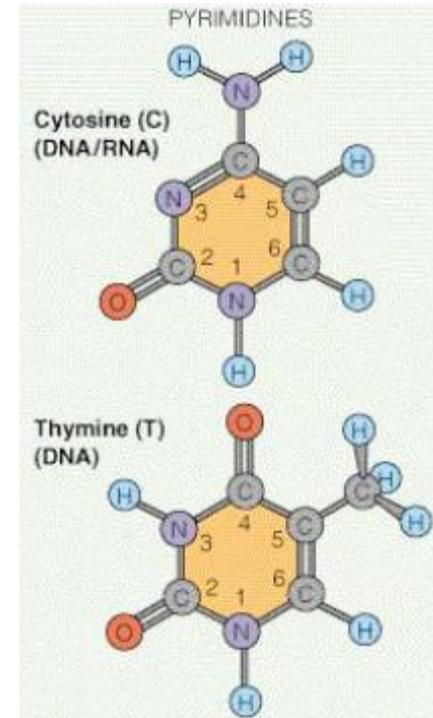
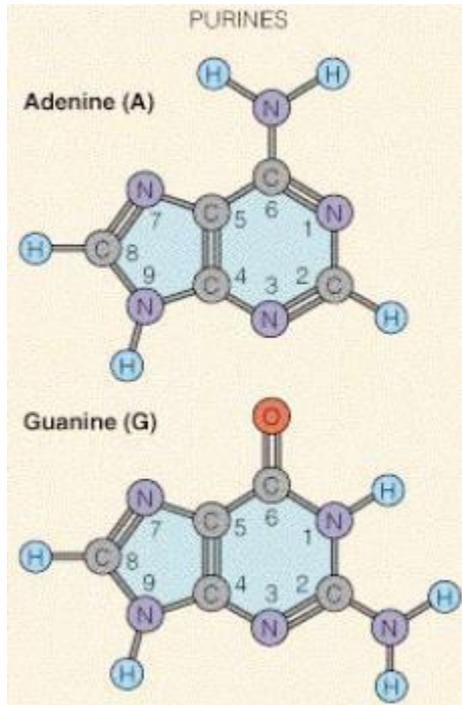
Sucre : ribose (ARN)



Phosphates



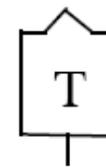
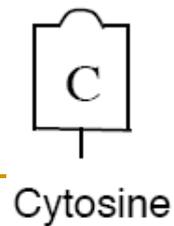
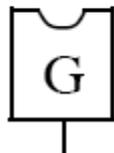
Les bases azotées



Adenine



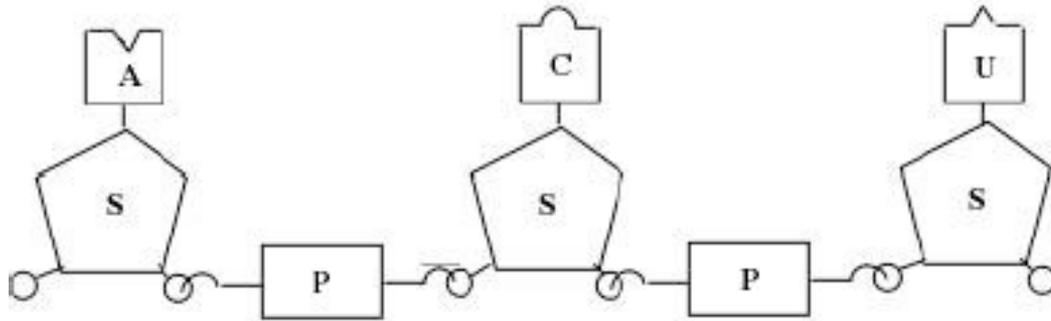
Guanine



Uracil / Thymine

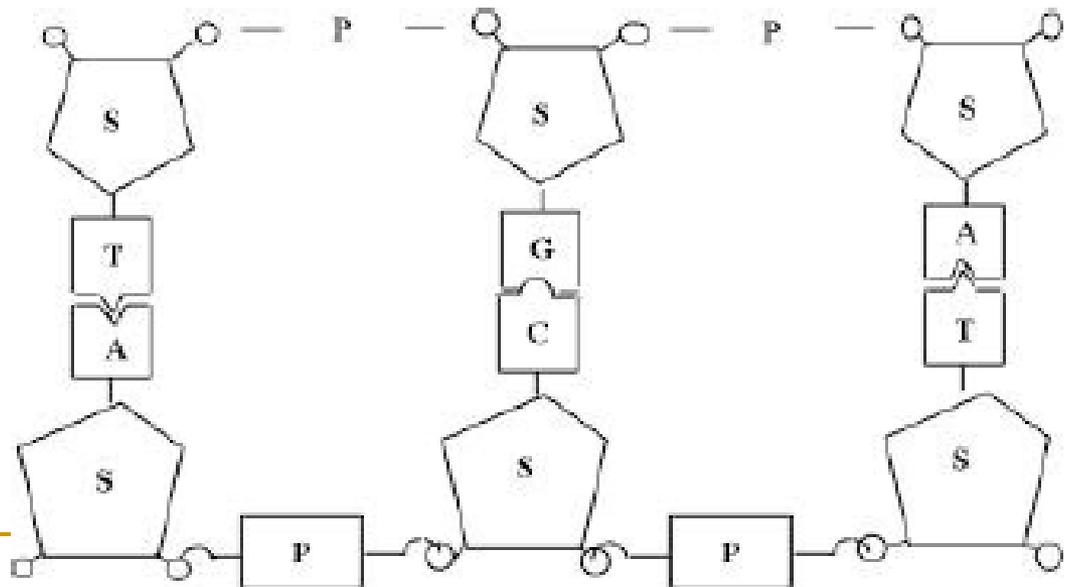
RNA / DNA

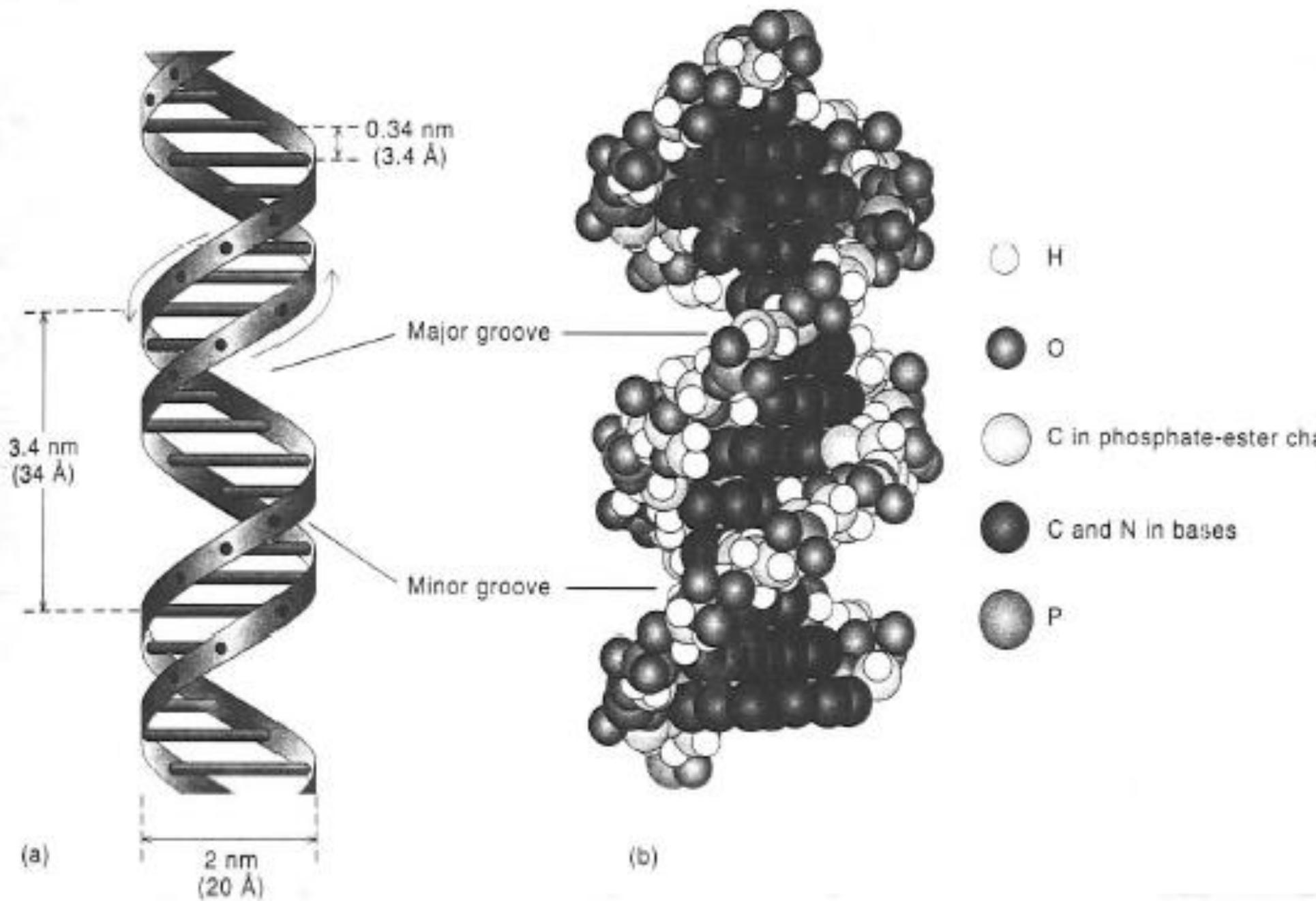
L'ADN/ARN



Segment d'ARN

Segment d'ADN





Résumé

- Atomes nécessaires : H, C, O, N et un peu de P et S
 - Bases de la vie : protéines et acides nucléiques, qui sont tous les deux des polymères
 - Monomères, mais information (plan) nécessaire
 - Protéines et acides nucléiques liés au niveau fondamental (code génétique). Ce code a du existé très tôt dans l'évolution de la vie.
 - Acides nucléides dirigent la production des protéines, mais nécessitent des enzymes (protéines !!!). Pb de l'œuf et de la poule. 😊
-

I: Origine des monomères



QUICK & EASY DIRECTIONS

MIX SOUP + 1 OCEAN WATER

RADIATION : HEAT, UNCOVERED IN MICROWAVABLE OCEAN ON HIGH ABOUT 100 MILLION YEARS. CAREFULLY LEAVE IN OCEAN FOR 3 BILLION YEARS, ALLOWING OXYGEN TO ACCUMULATE.

SMOKER: HEAT, CIRCULATING OCCASIONALLY

REG. U.S. PAT. & TM. OFF.

Campbell's®

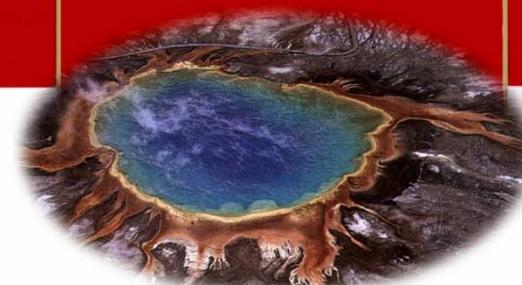
CONDENSED



A QUICK MEAL IN 4.5 BILLION YEARS!

PRIMORDIAL SOUP; FOR THE PRIMITIVE... AND THE PRIMITIVE AT HEART!

A SIMPLE, SELF-ORGANIZING MEAL WITH EVERYTHING YOU NEED TO GET YOUR LIFE STARTED BEFORE THE ARCHAEOAN PASSES BY. GREAT FOR ALL WATERY PLANETS, SERVE HOT WITH LOTS OF REDUCING POWER AND A GOOD DOSE OF IONIZING RADIATION FOR THAT UNIQUE MICROBIAL FLAVOR!



PROMPTLY REFRIGERATE UNUSED PORTION ON A SEPARATE PLANET. RECOMMEND USE BY DATE ON END OF CAN. STORE UNOPENED CAN IN INTERSTELLAR SPACE.

Nutrition Facts	Amount/serving	%DV	Amount/serving	%DV
Protein	0%		Metal sulfides	100%
Fat	0%		Hydrogen	100%
Serv. Size 1 mole serves one planet	Carbohydrate	0%	Ammonia	100%
Calories 0.0	Fiber	0%	Methane	100%
Fat Calories 0.0	Vitamins	0%	Carbon monoxide	100%
Serving size based on a 99% chance of a successful Origin of Life.	L-amino acids	1%	Formaldehyde	100%
	D-amino acids	1%	High MW PAHs	100%
	Nucleic acid	0%	NP-40	100%

Rich in reducing power, low in toxic oxygen and reactive oxygen products. High in heavy and transition metals. Great for the hottest, most radioactive watery planets!

Satisfaction guaranteed. For questions or comments, please email arthur_dent@z9.plural.z.alpha Allow 5-6 x 10²⁴ years for refund or reply.

Primordial

SOUP

NET WT.
10 3/4 OZ.
(305g)

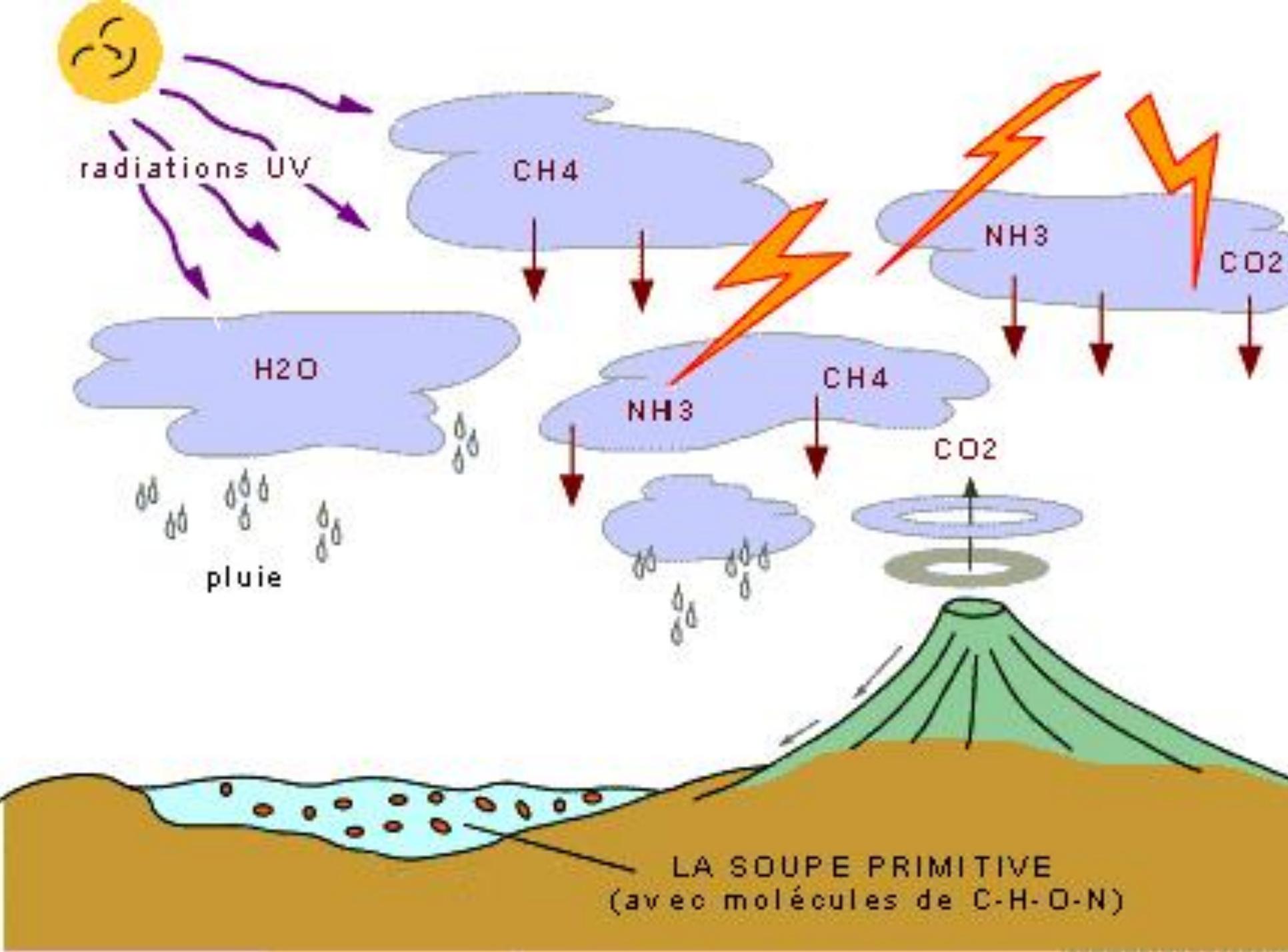
INGREDIENTS: WATER, SILICA, IRON SULFIDE, HYDROGEN SULFIDE, CARBON DIOXIDE, HYDROGEN, POTASSIUM CYANIDE, POTASSIUM ACETATE, FORMALDEHYDE, ADENINE, PROLINE, ALANINE, METHANE, CARBON MONOXIDE, AMMONIA, SODIUM ARSENITE, GLYCEROL PHOSPHATE, ACETYLENE, ACETALDEHYDE, HIGH MOLECULAR-WEIGHT PAH'S, PYRENE, MAGNETITE, PHOSPHORIC ACID, WOLF'S TRACE MINERALS. AND NP-40.

JWB MOCK SOUP COMPANY, RALEIGH, NORTH CAROLINA JAMES_W_BROWN@EARTHLINK.NET



1251-108-10





radiations UV

CH₄

NH₃

CO₂

H₂O

NH₃

CH₄

CO₂

pluie

LA SOUPE PRIMITIVE
(avec molécules de C-H-O-N)

Synthèse des monomères (selon exp Mil.)

- La vie apparaît très tôt (environ $t_0 + 700$ M. ans), juste après la fin du bombardement intense
- Conditions nécessaires :
 - Eau liquide
 - Atmosphère réductrice (elts capables de perdre e^- , cf. H) ou neutre :
 - Originellement: NH_3 (ammoniac), CH_4 (méthane), H_2O , H_2 : Expérience de Miller-Urey
 - Maintenant on pense plutôt: CO_2 , H_2O , N_2
 - Source(s) d'énergie :
 - Ultraviolet (Soleil): pas de couche d'ozone
 - Éclairs
 - Sources géothermiques: laves, sources chaudes, sources hydrothermales sous marines

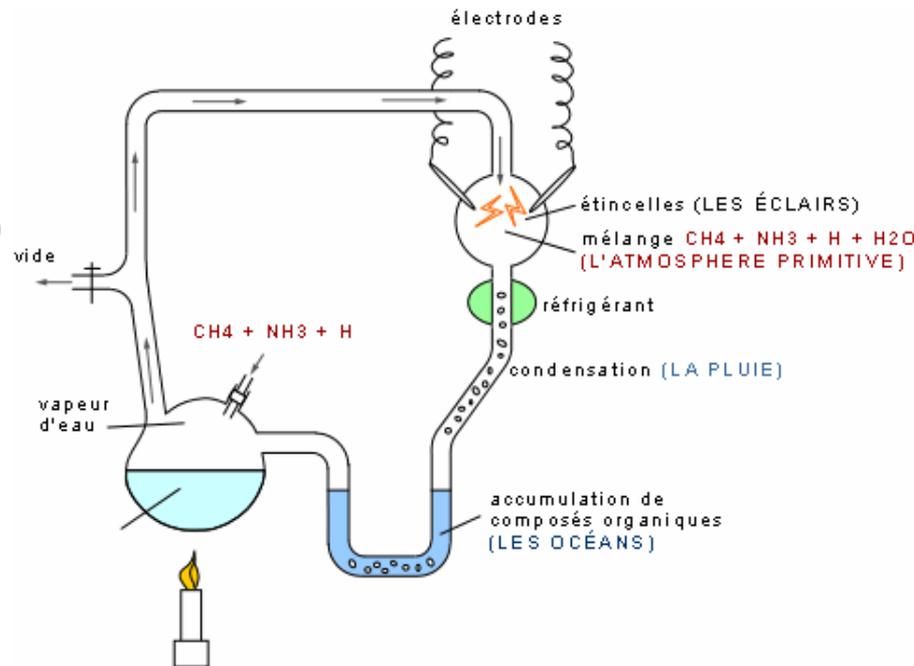
Expérience de Miller-Urey (1953)

- NH_3 , CH_4 , H_2 dans un flacon pour atm (très réductrice) et eau dans flacon «océan chaud» + éclairs

- Au bout d'une semaine :

- Différentes molécules organiques
- 4 acides aminés (glycine, alanine,...)
- Gde qté acide formique, acide cyanhydrique (HCN), formaldéhyde (H_2CO) \Rightarrow important pr brique de la vie

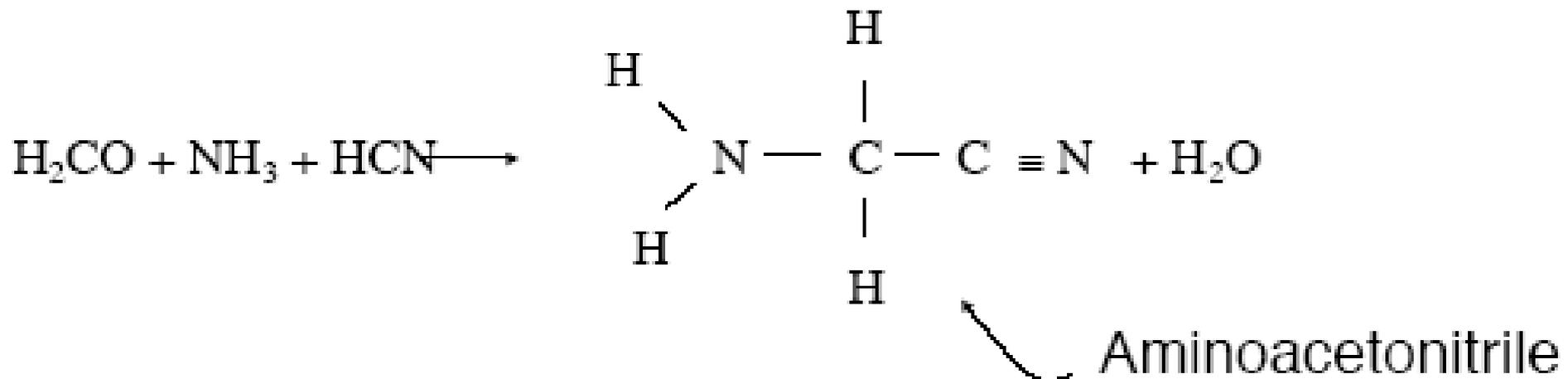
- Concl. : la synthèse d'acides aminés se fait dans une solution aqueuse à partir de composés organiques gazeux



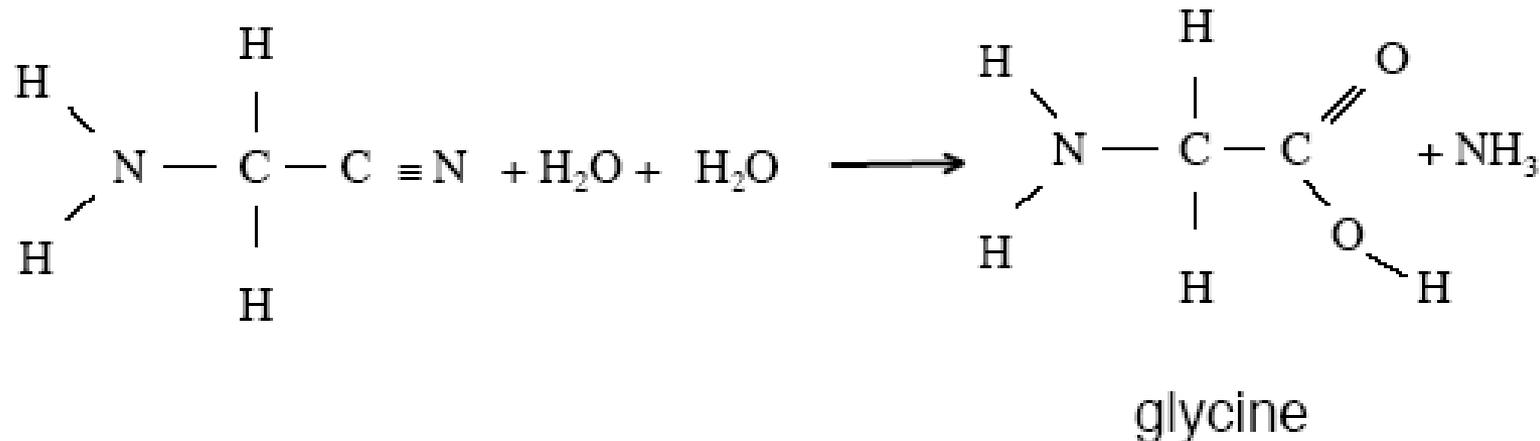
Formation des acides aminés dans l'expérience de Miller-Urey : synthèse Strecker (1850)

série de réactions chimiques permettant la synthèse d'un acide aminé à partir d'un aldéhyde (ou d'une cétone)

- Exple: synthèse de la glycine
- $\text{CH}_4, \text{H}_2, \text{NH}_3 + \text{énergie} \Rightarrow \text{H}_2\text{CO}, \text{HCN}, \text{HC}_3\text{N}, \text{urée} (\text{H}_2\text{NCONH}_2) : \text{très réactif}$



Formation des acides aminés dans l'expérience de Miller-Urey : synthèse Strecker (1850) - suite



- Si on remplace H_2CO par un aldéhyde + complexe \Rightarrow acides am. plus complexes
- Autres exp. type Miller \Rightarrow 17 des 20 acid. am.

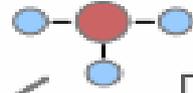
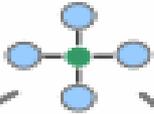
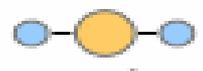
Production des acides nucléiques ?

- Les monomères des acides nucléiques ne sont pas produits directement dans l'expérience de Miller, uniquement des intermédiaires :
 - ❑ Ribose: $5 \text{ H}_2\text{CO} + \text{chaleur} \Rightarrow \text{H}_{10}\text{C}_5\text{O}_5$ (mais nécessite un catalyseur, comme l'argile). Pb sucre instable : se décompose en – de 100 ans.
 - ❑ Stabilisation avec une base purines ou pyrimidines : réaction difficile non démontrée en cond. prébiotiques :
 - Purines : $5 \text{ HCN} \Rightarrow \text{H}_5\text{C}_5\text{N}_5$ (adénine)
 - Pyrimidine : $\text{HC}_3\text{N} + \text{urée} \Rightarrow \text{H}_5\text{C}_4\text{N}_3\text{O}$ (cytosine)
 - 1995 : Miller & Robertson: cyano-acétaldéhyde + urée \Rightarrow formation cytosine et uracile
 - ❑ Bases phosphorées : Phosphore ? érosion de roche ?

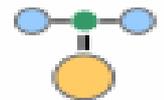
EAU
(H₂O)

MÉTHANE
(CH₄)

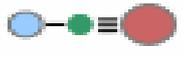
AMONIAQUE
(NH₃)



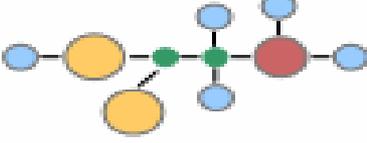
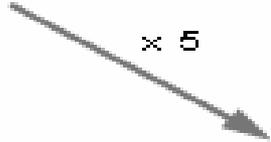
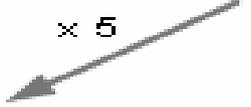
● carbone
● hydrogène
● azote
● oxygène



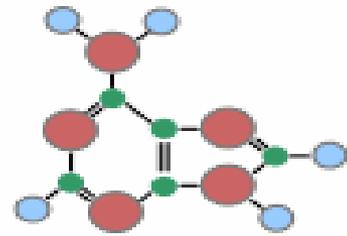
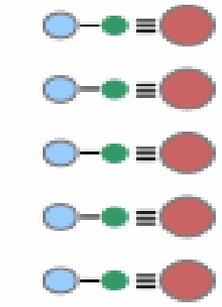
FORMALDÉHYDE



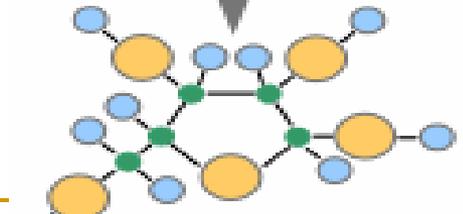
ACIDE
CYANHYDRIQUE



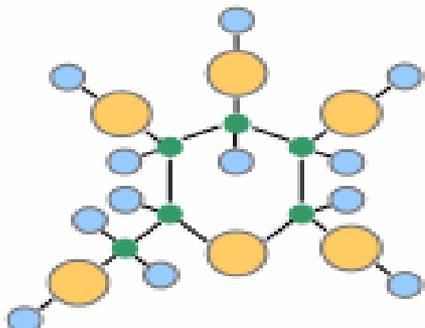
ACIDE AMINÉ
(GLYCINE)



ADÉNINE



RIBOSE
(sucre à 5 carbones)



GLUCOSE
(sucre à 6 carbones)

Problème avec les exp. type Miller

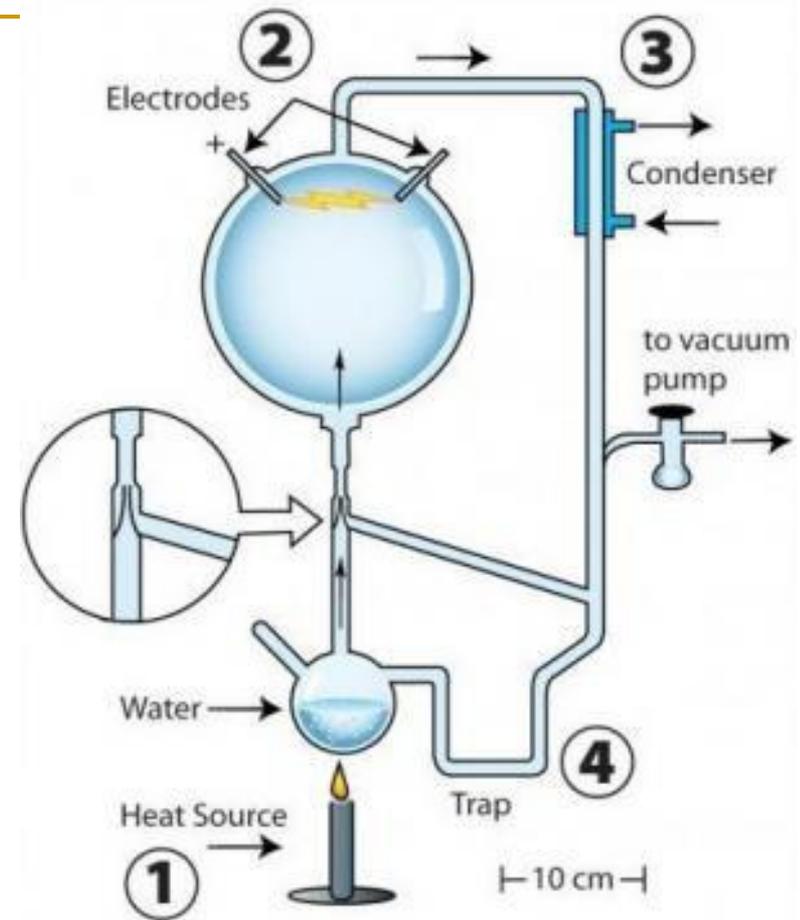
- ❑ Ballons \neq atm : entraîne nombreuses réactions, y compris réactions parasites consommant des molécules importantes (ex.: hydrolyse)
- ❑ Eclairs \Rightarrow destruction des polymères
- ❑ L'atmosphère la plus propice à la synthèse de comp. organiques est une atmosphère réductrice avec CH_4 , N_2 et H_2O
- ❑ Or atmosphère Terre primitive plutôt similaire à Mars et Vénus : riche en CO_2 \Rightarrow production bcp + faible d'acides aminés (besoin CH_4 pour former acide am. complexes)

Hypothèses alternatives

- Milieux très localisés :
 - Sources hydrothermales : milieu très réducteur riche en CH_4 et NH_3 et molécules très énergétiques comme Hydrogène sulfuré (H_2S). **Mais**, écosystème reposant sur énergie chimique (pas la photosynthèse). $\text{H}_2\text{S} \Rightarrow$ bactéries \Rightarrow moules, vers,.... Chimie prébiotique non démontrée. Durée de vie courte et milieu chaud.
 - Sources chaudes terrestres
 - Dans la Terre : des bactéries très anciennes vivent sous plusieurs km de profondeur dans la Terre (Réservoir de pétrole).



2008 : retour sur l'exp de Miller



22 (au lieu de 14) acides aminés + 5 amines dans l'expérience type "volcanique", dont certains n'avaient pas été identifiés par Miller. + abondance plus élevée

Présence du radical OH dans vapeur d'eau \Rightarrow augmentation de la production hydroxyle. Donc même si atm. pas aussi réductrice, on aurait pu avoir un milieu réducteur dans les fumées volcaniques

Et que peut-on dire au sujet d'une
origine extraterrestre des
monomères ?

Molécules identifiées dans l'espace

Table 10.2 *Identified interstellar and circumstellar molecules*

Simple hydrides, oxides, sulfides, halogens

H ₂ (IR,UV)	CO	NH ₃	CS	NaCl*
HCl	SiO	SiH ₄ * (IR)	SiS	AlCl*
H ₂ O	SO ₂	C ₂ (IR)	H ₂ S	KCl*
N ₂ O	OCS	CH ₄ (IR)	PN	AlF*
HF				

Nitriles and acetylene derivatives

C ₃ (IR,UV)	HCN	CH ₃ CN	HNC	C ₂ H ₄ * (IR)
C ₅ * (IR)	HC ₃ N	CH ₃ C ₃ N	HNCO	C ₂ H ₂ (IR)
C ₃ O	HC ₅ N	CH ₃ C ₅ N ?	HNCS	
C ₃ S	HC ₇ N	CH ₃ C ₂ H	HNCCC	
C ₄ Si*	HC ₉ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ NC	
	HC ₁₁ N	CH ₃ CH ₂ CN	HCCNC	
	HC ₂ CHO	CH ₂ CHCN		

Aldehydes, alcohols, ethers, ketones, amides

H ₂ CO	CH ₃ OH	HCOOH	CH ₂ NH	CH ₂ CC
H ₂ CS	CH ₃ CH ₂ OH	HCOOCH ₃	CH ₃ NH ₂	CH ₂ CCC
CH ₃ CHO	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ O	NH ₂ CN	
NH ₂ CHO	(CH ₃) ₂ CO	H ₂ CCO	CH ₃ COOH	

Cyclic molecules

C ₃ H ₂	SiC ₂	c-C ₃ H	CH ₂ OCH ₂	
-------------------------------	------------------	--------------------	----------------------------------	--

Molecular ions

CH ⁺ (VIS)	HCO ⁺	HCNH ⁺	H ₃ O ⁺	N ₂ H ⁺
HCS ⁺	HOCO ⁺	HC ₃ NH ⁺	HOC ⁺	H ₃ ⁺ (IR)
CO ⁺	H ₂ COH ⁺	SO ⁺		

Radicals

OH	C ₂ H	CN	C ₂ O	C ₂ S
CH	C ₃ H	C ₃ N	NO	NS
CH ₂	C ₄ H	HCCN*	SO	SiC*
NH (UV)	C ₅ H	CH ₂ CN	HCO	SiN*
NH ₂	C ₆ H	CH ₂ N	MgNC	CP*
HNO	C ₇ H	NaCN	MgCN	
C ₆ H ₂	C ₈ H	C ₅ N*		

Une origine interstellaire ?

- Nuages moléculaires : milieu très réducteur contenant bcp de molécules utilisées ds l'exp de Miller (H_2 , NH_3 , H_2O , CH_4) et intermédiaires (HCN , H_2CO , HC_3N) et peut-être la glycine
- Pb : n'auraient pas survécu qd le disque proto-planétaire s'est formé.
- Mais glaces interstellaires \Rightarrow comètes : indication de molécules similaires (préservation)



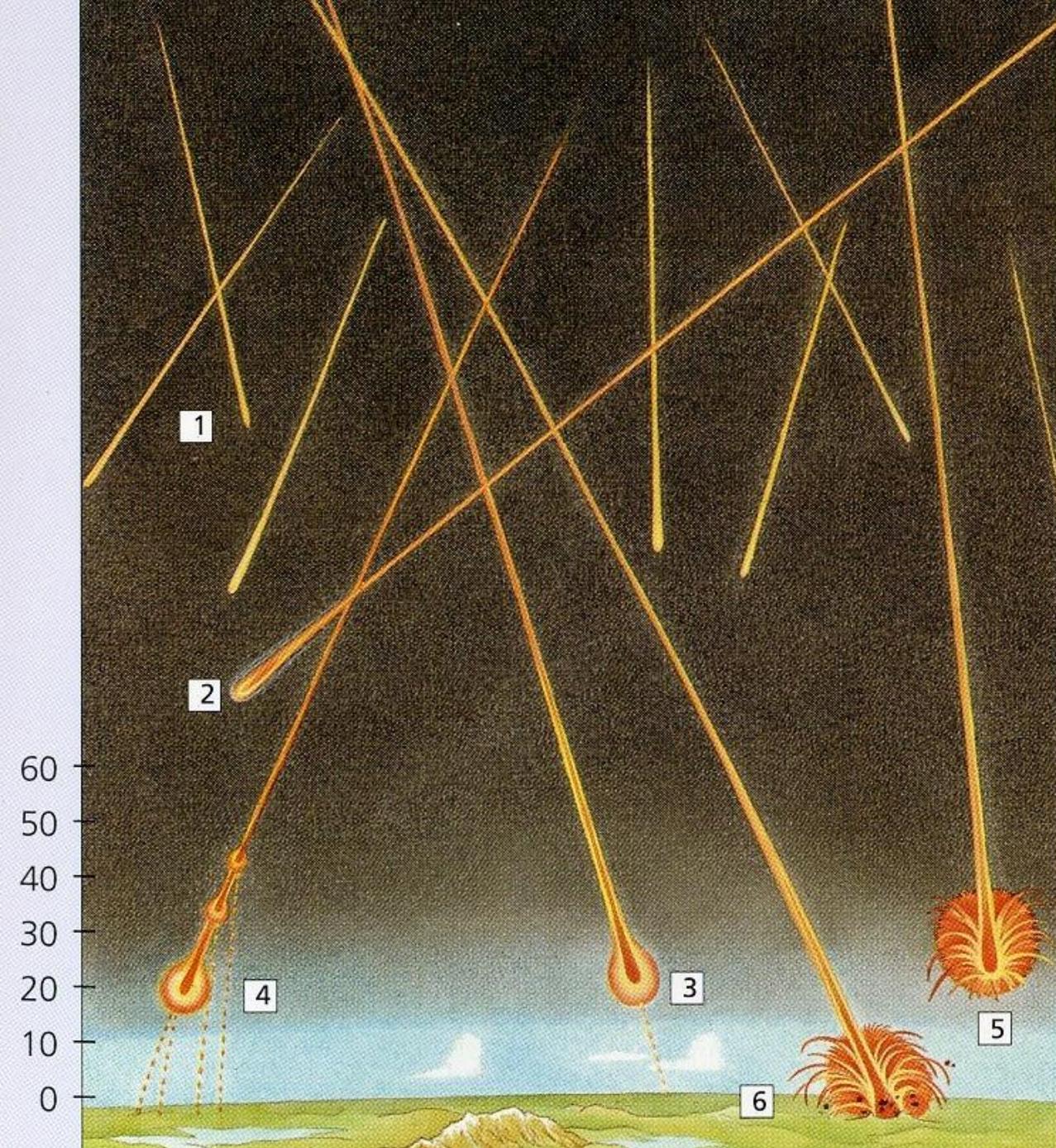
Table 1 Cometary parent molecules observed in comet Hale-Bopp with their abundances

molecule	relative abundance	observational technique
H ₂ O	100	IR
CO	20	radio, IR, UV
CO ₂	6	IR ^a
CH ₄	<i>ca.</i> 1	IR
C ₂ H ₂	<i>ca.</i> 0.5	IR
C ₂ H ₆	<i>ca.</i> 0.5	IR
CH ₃ OH	2	radio, IR
H ₂ CO	<i>ca.</i> 1	radio
HCOOH	0.05	radio
HCOOCH ₃	0.05	radio
NH ₃	0.6	radio
HCN	0.2	radio, IR
HNC	0.03	radio
CH ₃ CN	0.02	radio
HC ₃ N	0.02	radio
HNCO	0.1	radio
NH ₂ CHO	0.01	radio
H ₂ S	1.6	radio
SO	0.6	radio
SO ₂	0.15	radio
OCS	0.5	radio, IR
CS ₂	0.2	UV, radio ^b
H ₂ CS	0.02	radio
S ₂	0.005	UV ^c

Abundances are given by number, relative to water. Table adapted from ref. 4. ^a Observed by ISO at 4.6 and 3 AU. The CO₂/CO ratio was assumed to be the same at 1 AU. ^b Assuming that CS is coming from CS₂. ^c Not observed in comet Hale-Bopp. The listed abundance pertains to comet Hyakutake.

Les comètes





Schematic representation of the atmospheric passage of different meteorites.

In order of increasing masses:

1 shooting stars.

2 fireball; the object is entirely destroyed by ablation in the atmosphere.

3 the object is mostly destroyed in the atmosphere and a meteorite reaches the ground.

4 fragmentation of a meteorite whose pieces spread over a fall ellipse.

5 stony meteorite of about 10 metres in diameter exploding in the atmosphere.

6 very big meteorite forming an impact crater on reaching the ground.

Comparaison: exp. de Miller/météorite

Amino acid	Abundance of amino acids		Found in proteins on Earth
	synthesized in the Miller–Urey experiment	Found in the Murchison meteorite	
glycine	●●●●	●●●●	yes
alanine	●●●●	●●●●	yes
α -amino- <i>N</i> -butyric acid	●●●	●●●●	no
α -aminoisobutyric acid	●●●●	●●	no
valine	●●●	●●	yes
norvaline	●●●	●●●	no
isovaline	●●	●●	no
proline	●●●	●	yes
pipecolic acid	●	●	no
aspartic acid	●●●	●●●	yes
glutamic acid	●●●	●●●	yes
β -alanine	●●	●●	no
β -amino- <i>N</i> -butyric acid	●●	●●	no
β -aminoisobutyric acid	●	●	no
γ -aminobutyric acid	●	●●	no
sarcosine	●●	●●●	no
<i>N</i> -ethylglycine	●●	●●	no
<i>N</i> -methylalanine	●●	●●	no

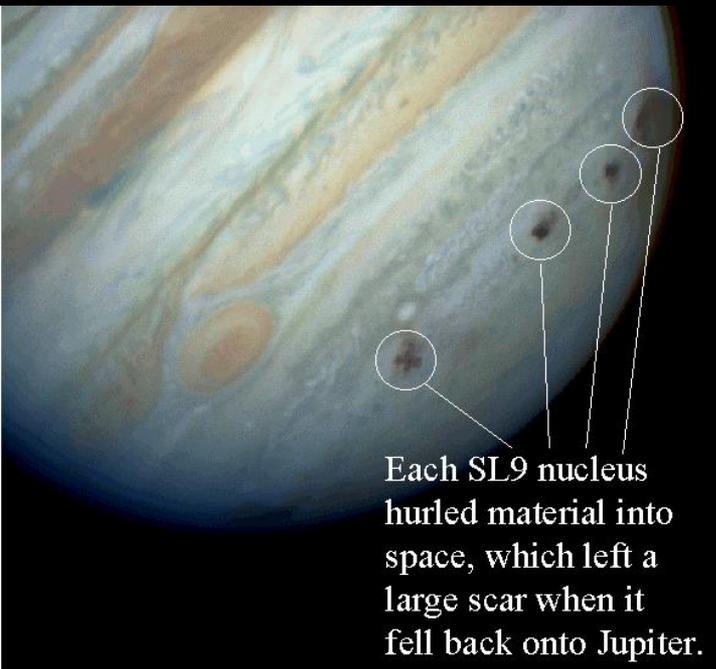
Retour à l'origine des monomères terrestres

- Glaces interstellaires (et donc les grosses molécules) survivent à grande distance du Soleil
 - Comètes et météorites frappent la Terre. Très fréquent dans le passé (regardez la Lune 😊 !!)
 - 5% des météorites sont des chondrites carbonées, qui contiennent ≈ 1 à 2% de leur masse en composé organique (y compris acide aminé). **Des monomères ont été apportés de l'espace** (Murchison). Et de l'eau également !!!
-

Impact de SL9 sur Jupiter en 1994

Comet P/Shoemaker-Levy 9 (1993e) • May 1994

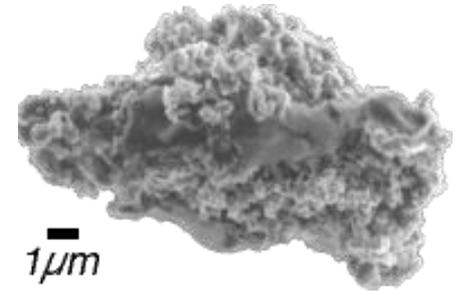
A B C D E F G H K L N P Q R S U V W



Each SL9 nucleus
hurled material into
space, which left a
large scar when it
fell back onto Jupiter.

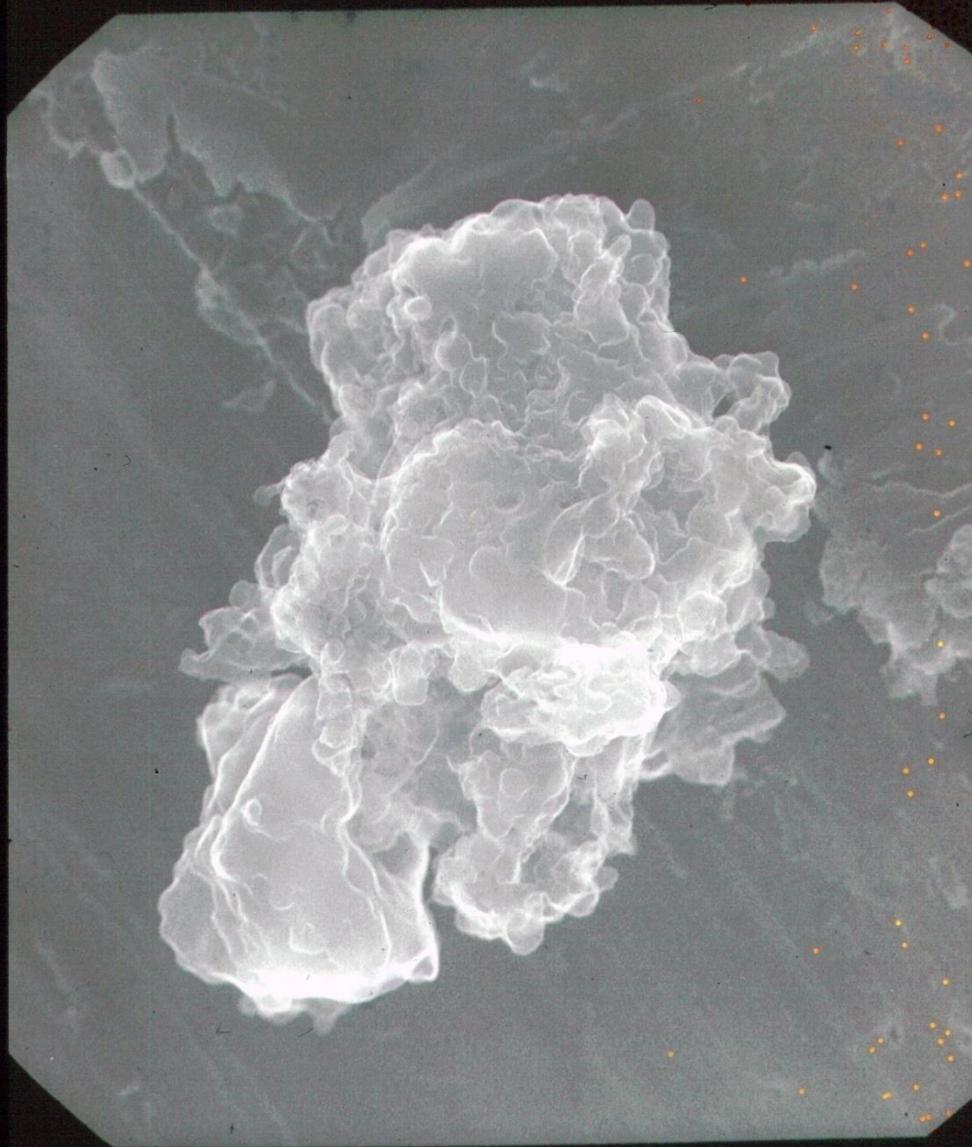
IDPs = source des molécules organiques ?

- Actuellement, la Terre accrète
 - IDPs $\approx 3.2 \times 10^6 \text{ kg an}^{-1}$
 - $\approx 10\%$ carbone organique $\rightarrow 3.2 \times 10^5 \text{ kg an}^{-1}$
 - Comètes $\approx 10^3 \text{ kg an}^{-1}$
 - Météorites $\approx 10 \text{ kg an}^{-1}$
- $\approx 10^3$ fois plus il y a $4.5 \times 10^9 \text{ an}$ (?) (cf. histoire des cratères lunaires)
- IDPs pourraient être la source dominante des molécules organiques (hypothèse alternative/complémentaire dans le cas d'une atmosphère non réductrice – exp. Miller).
- Chondrites carbonées = 2 à 4% des météorites \Rightarrow rares



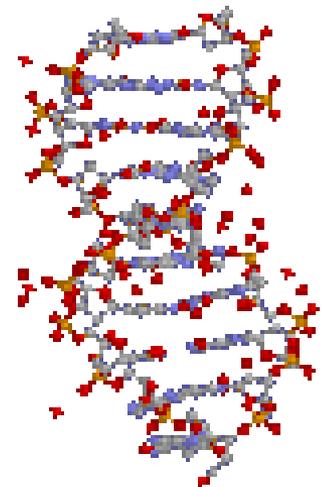
IDP

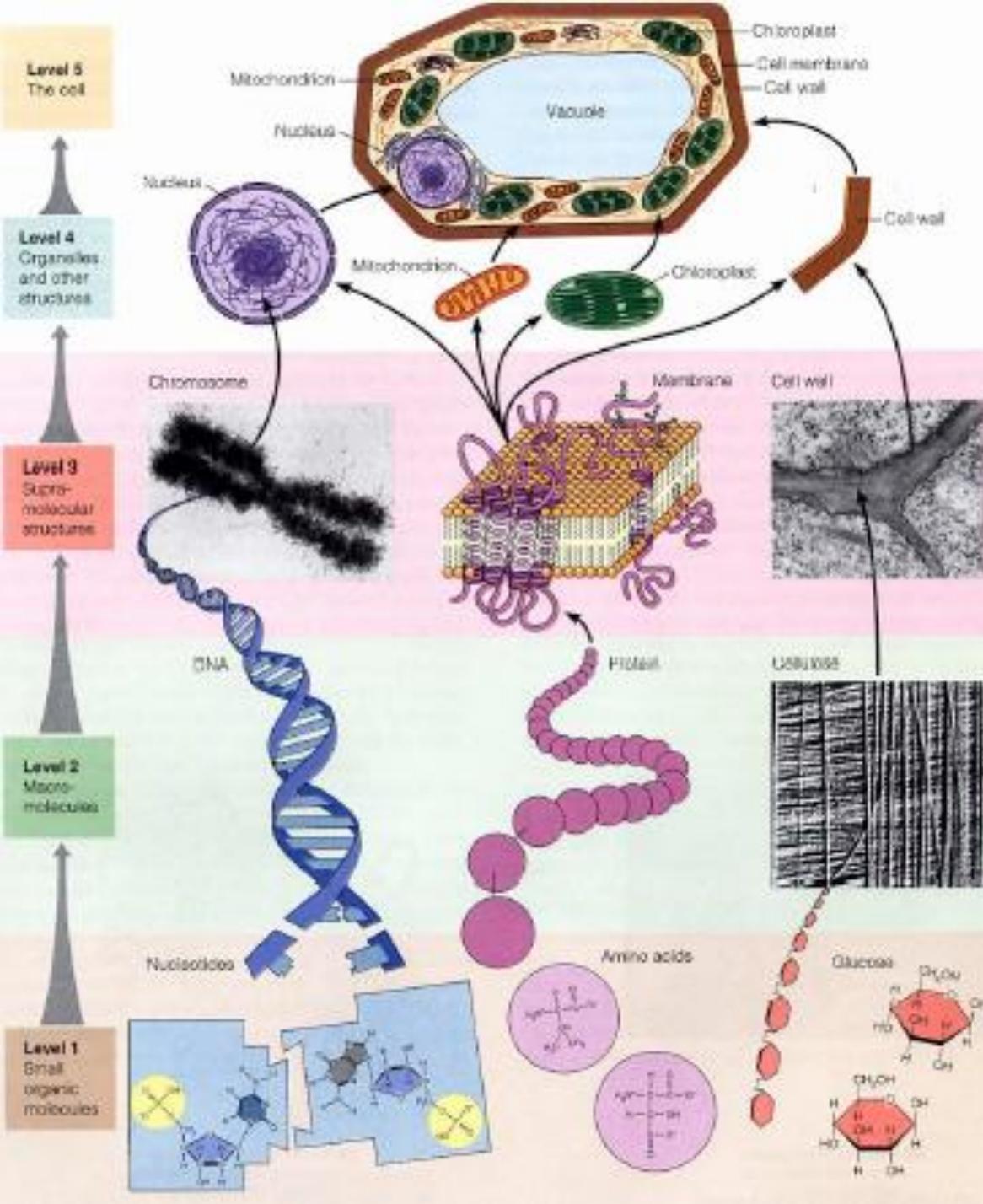
3 micromètres



W7013D12

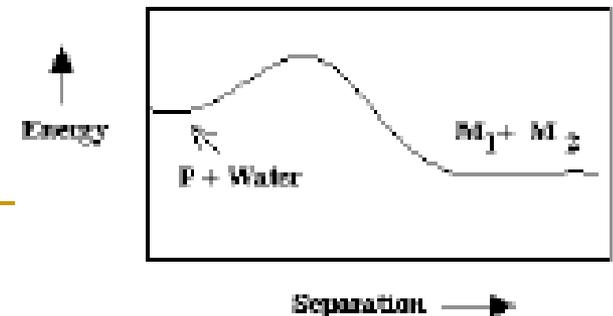
II: Formation des polymères et transition vers la vie





- Grande diversité de la vie, mais mêmes bases chimiques
- Des monomères aux structures plus complexes

- Une fois obtenu les monomères (ac. am, base azotée, gpt phos., sucre), comment (et où) les polymériser ?
- Processus : $M_1 + M_2 \Rightarrow P + H_2O$: enlever de l'eau !
- Océan \Rightarrow pb car favorise réaction inverse !!!
- Solution : se débarrasser de l'eau : mares chaudes peu profondes soumises aux marées \Rightarrow évaporation de l'eau.
 - Fox : exp type M-U à + de 100 °C avec ac. am : P désordonnées : les **protéinoïdes** (>200 atomes – mais aucune connue pour le vivant). Cond. exp. peu réalistes.
- De plus $E(M_1) + E(M_2) < E(P)$: favorise réac inv : besoin d'énergie : sources géothermiques ?



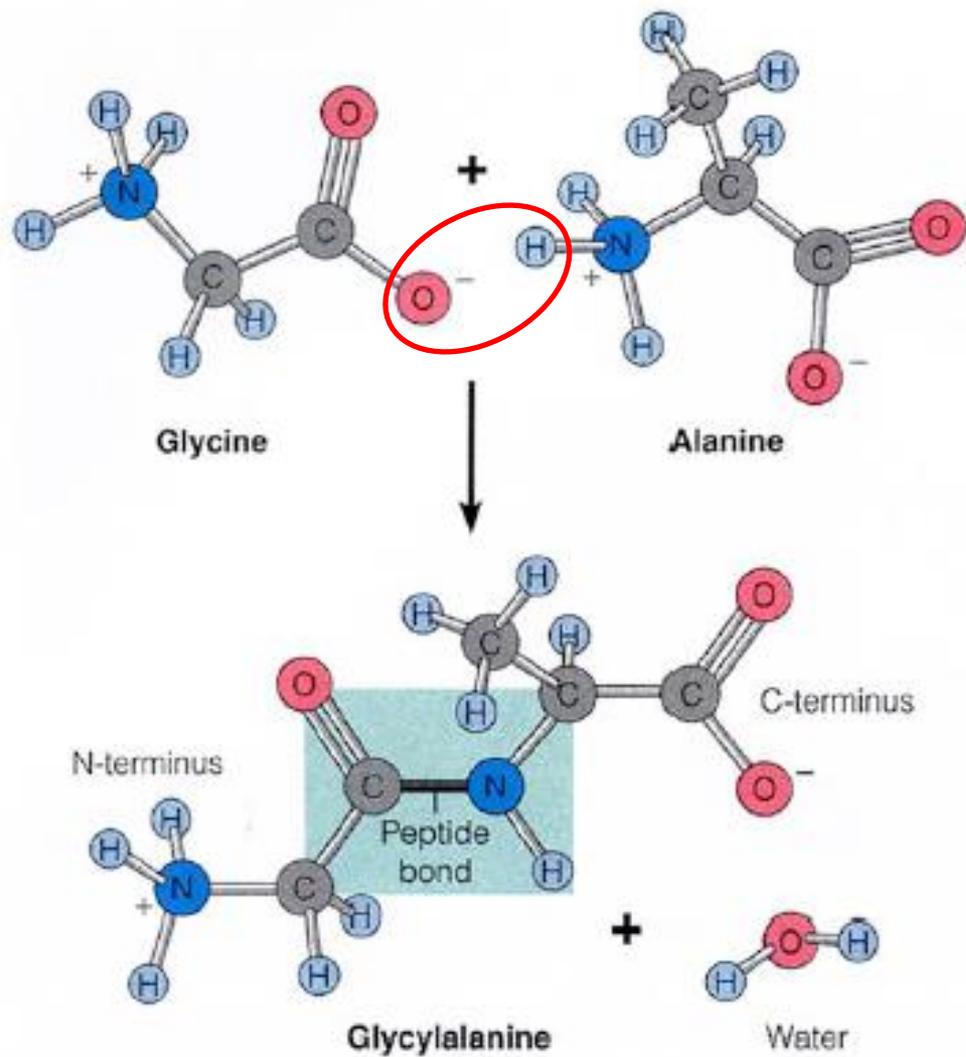


Figure 3-3 Peptide Bond Formation. Successive amino acids in a polypeptide are linked to one another by peptide bonds between the carboxyl group of one amino acid and the amino group of the next. Shown here is the formation of a peptide bond between the amino acids glycine and alanine.

-
- Autre sol. : trouver de l'énergie !!
 - Actuellement, être vivant utilise ATP (= adénine + ribose + phosphate), trop compliqué pr avoir existé ds le passé (enzyme doit casser liaison P)
 - Intermédiaires : cyanamide (H_2NCN), cyano-acétylène (HC_3N) : liaison triple C-N très riche en E
 - Autres intermédiaires pouvant être très utiles : les feuillets d'argiles ou surface de roches sous-marines (cf. ionisé attire gpt carboxyle COOH^-)
 - **Acides aminés \Rightarrow Protéines : le débat reste très ouvert !**
-

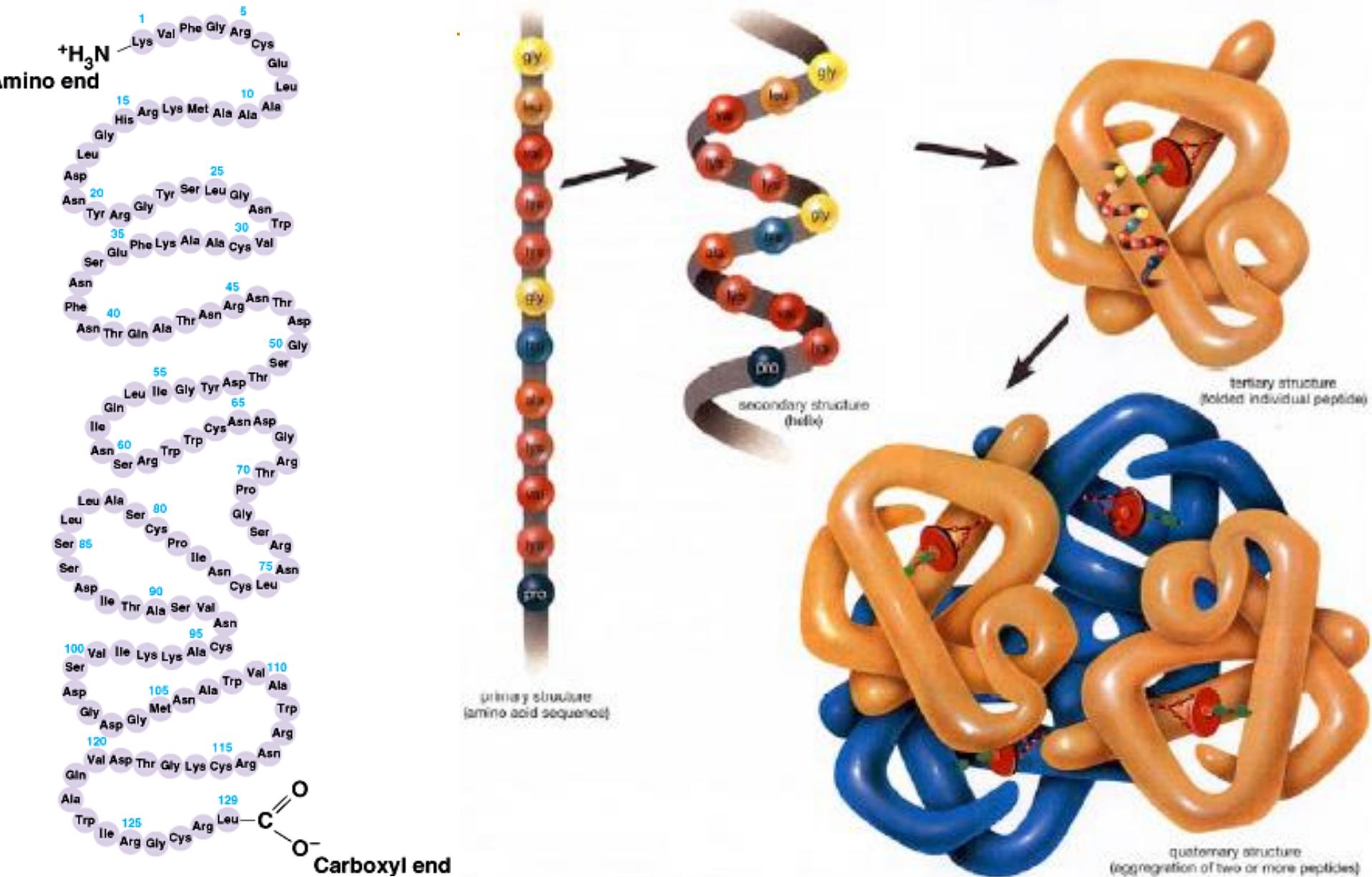


Figure 3-14 The four levels of protein structure

Levels of protein structure are represented here by hemoglobin, the oxygen-carrying protein in red blood cells. All levels of protein structure are determined by the amino acid sequence of the protein, interactions among the R groups of the amino acids (primarily hydrogen bonds and disulfide bridges between cysteines), and interactions between the R groups and their surroundings (usually water or lipids).

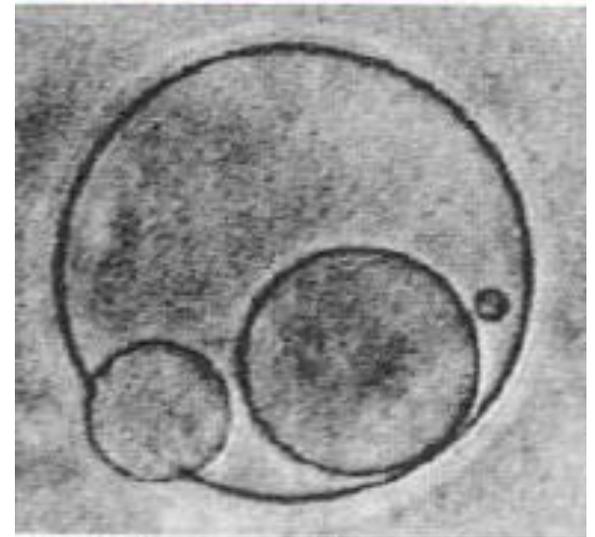
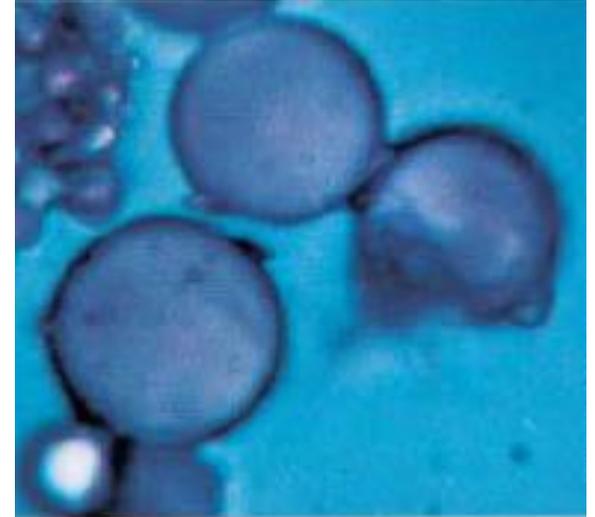
Origine vie = protéinoïde ?

■ Dissolution (ds eau chaude) des protéinoïdes de Fox + refroidissement \Rightarrow formation microsphère :

- apparence de cellule
- catalyse réaction chimique
- sensible à la lumière
- production signaux elect.
- « prolifération » (fission)

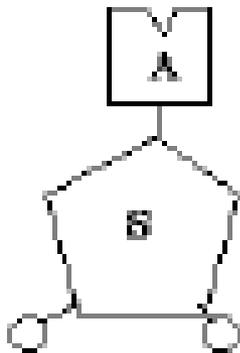
■ Mais problèmes :

- similaire avec poussière inorganique
- pas de repro, croissance ou évolution
- Passage protéine \Rightarrow code génétique ?

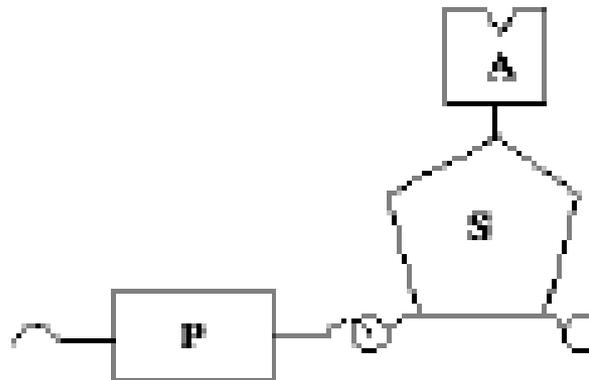


Et les acides nucléiques ?

- Pb + complexe : on peut identifier 2 étapes
 - Sucre + base + Energie \Rightarrow nucléoside
 - Attacher un gpt P au nucléoside \Rightarrow nucléotide = monomère des acides nucléiques.

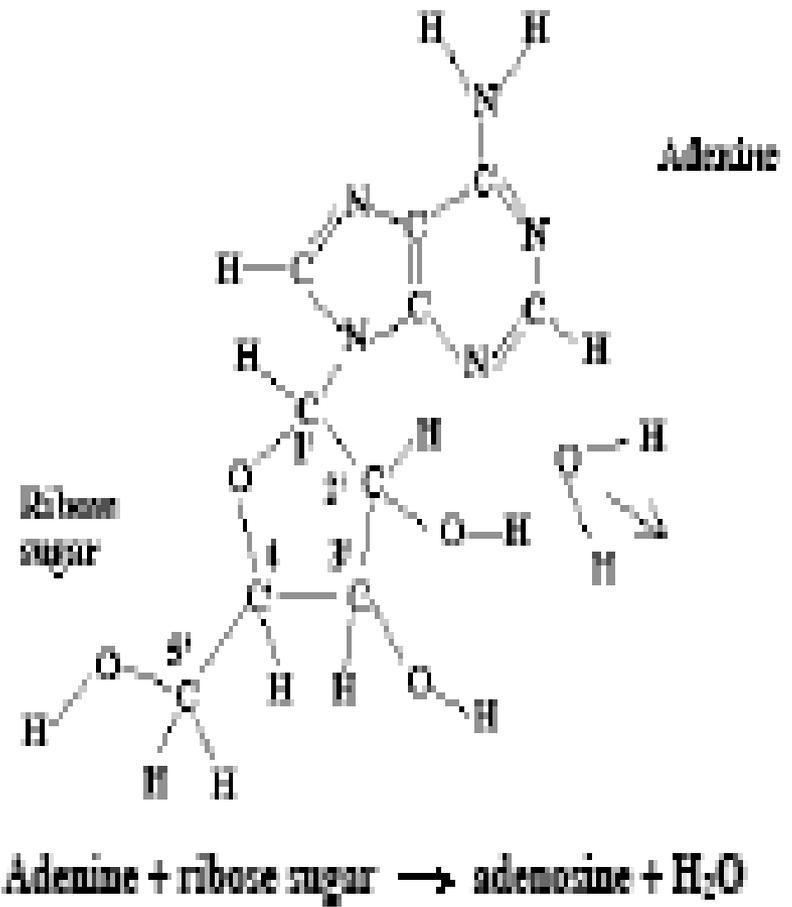


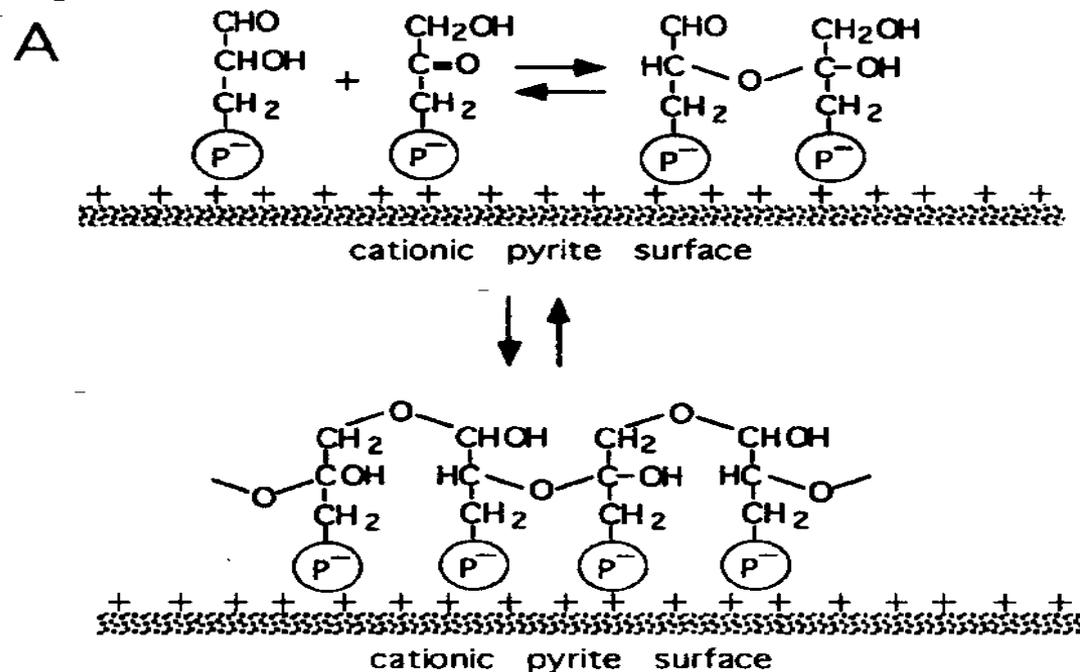
nucleoside



nucleotide

- Divers pb : attacher la base à la bonne place sur le sucre (carbone 1')
- Idem pour gpt P : attacher au carbone 3' ou 5'.
- Processus de polymérisation peu efficace : nécessité argile, glace, Zn^{2+} (surface cationique)
- **Monde ARN ???**
- Ou un précurseur simple type ARN





B

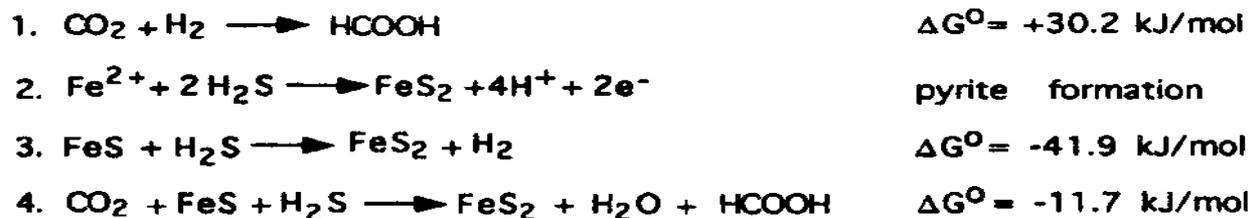


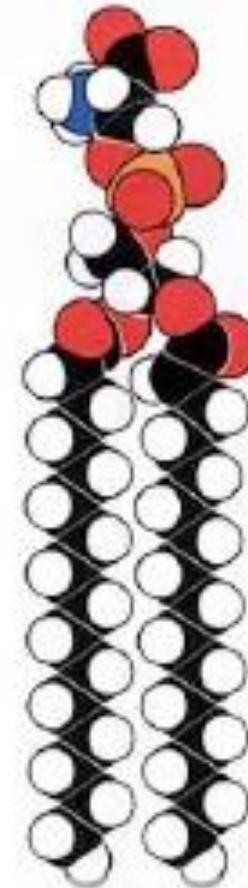
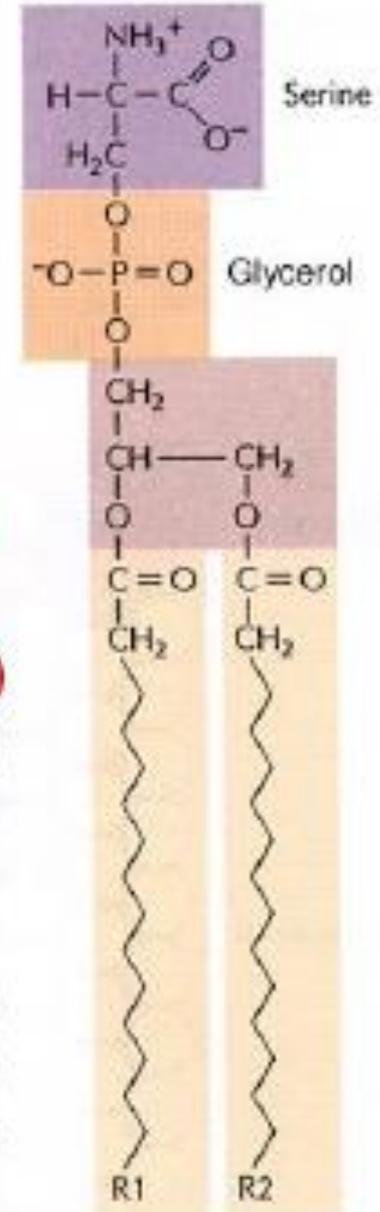
FIG. 6. Examples of possible reactions involving pyrite (152). (A) Assuming that pyrite has a cationic surface, a variety of anionic reactants would be adsorbed to the surface and potentially undergo reactions. The example shown here is the adsorption of glyceraldehyde-3-phosphate to the surface, followed by polymerization. (B) Participation of pyrite in a reaction can drive an otherwise energetically unfavorable reaction. For instance, reduction of carbon dioxide by hydrogen has a positive Gibbs free energy (reaction 1). However, pyrite formation from ferrous iron and hydrogen sulfide is energetically favorable and can make reducing power available (reaction 2). If carbon dioxide reduction is linked to this reaction (reactions 3 and 4), the synthesis of formic acid (a reduced form of carbon dioxide) is energetically favorable.

Un monde ARN ?

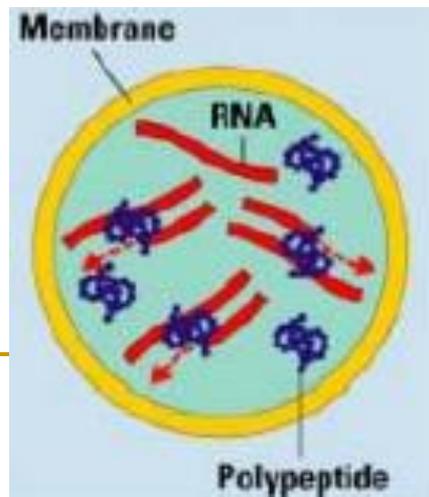
- Pdt longtps, barrière entre les acides nucléiques (stockage + transfert de l'info génétique) et les protéines capables de catalyser des réactions chimiques indispensables au fctmt d'une cellule.
- Années 80 : découverte des ribozymes \Rightarrow ARN capable d'assurer des activités catalytiques
- Une seule et même molécule : contrôle de «l'usine chimique» et de la «bibliothèque»
- Présence d'ARN dans les ribosomes laisse penser que les ARN primitifs auraient pu intervenir très tôt dans la synthèse des protéines
- Évolution ARN (plutôt instable) \Rightarrow ADN
- Pb ? \Rightarrow Construction + Fragilité (protection ds membranes)

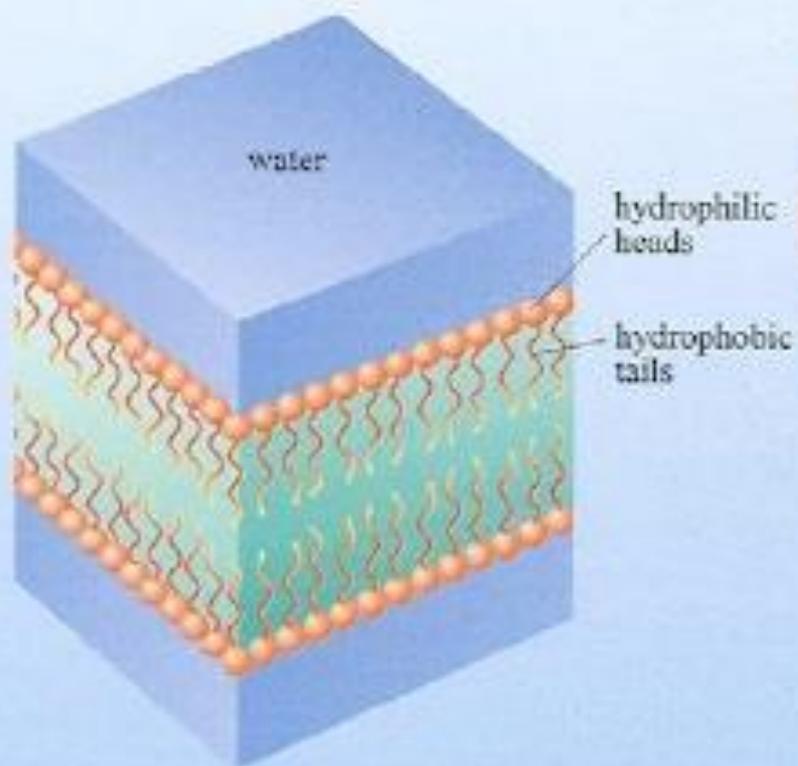
Les membranes ?

Phosphatidylserine

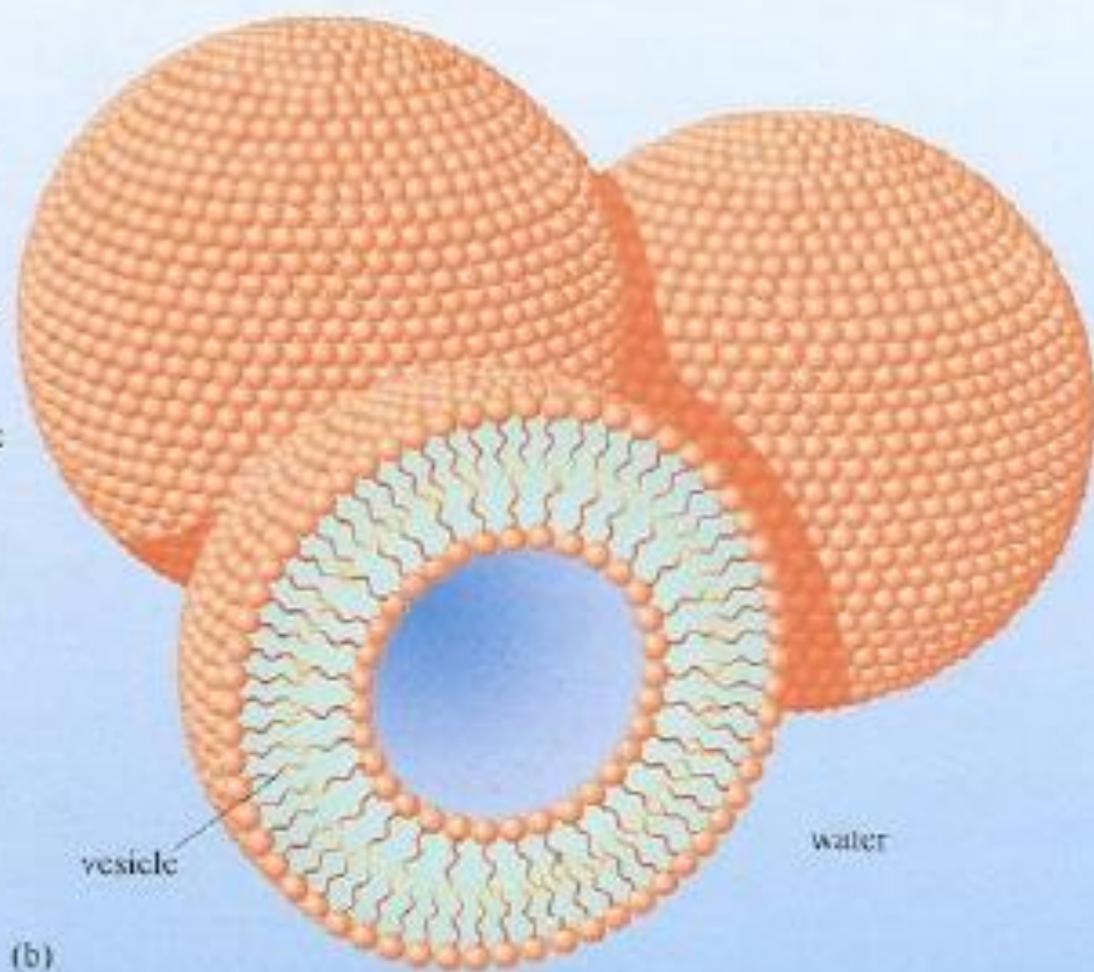


- Lipides: pas de dissolution dans l'eau
 - Phospholipides: queue hydrophobe + tête hydrophile. → bicouche en solution aqueuse.
- Important, cf. réaction chimique bcp + efficace à l'intérieur de membrane

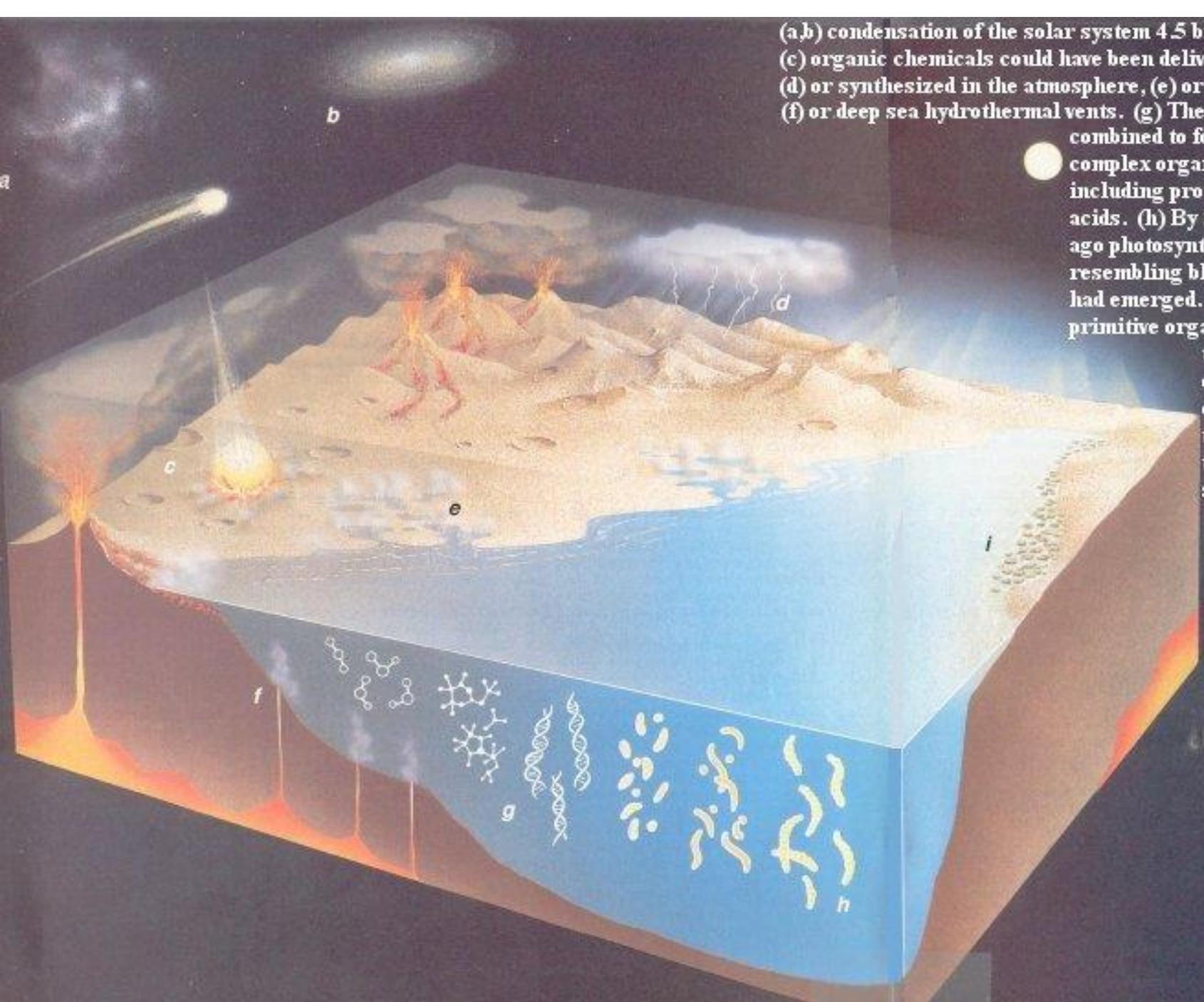




(a)



(b)



(a,b) condensation of the solar system 4.5 billion years ago. (c) organic chemicals could have been delivered by impacts, (d) or synthesized in the atmosphere, (e) or tidal pools, (f) or deep sea hydrothermal vents. (g) These chemicals

combined to form more complex organic compounds, including proteins and nucleic acids. (h) By 3.5 billion years ago photosynthetic microbes resembling blue-green algae had emerged. (i) These primitive organisms sometimes formed dense mounds, called stromatolites, along the shores of shallow seas.