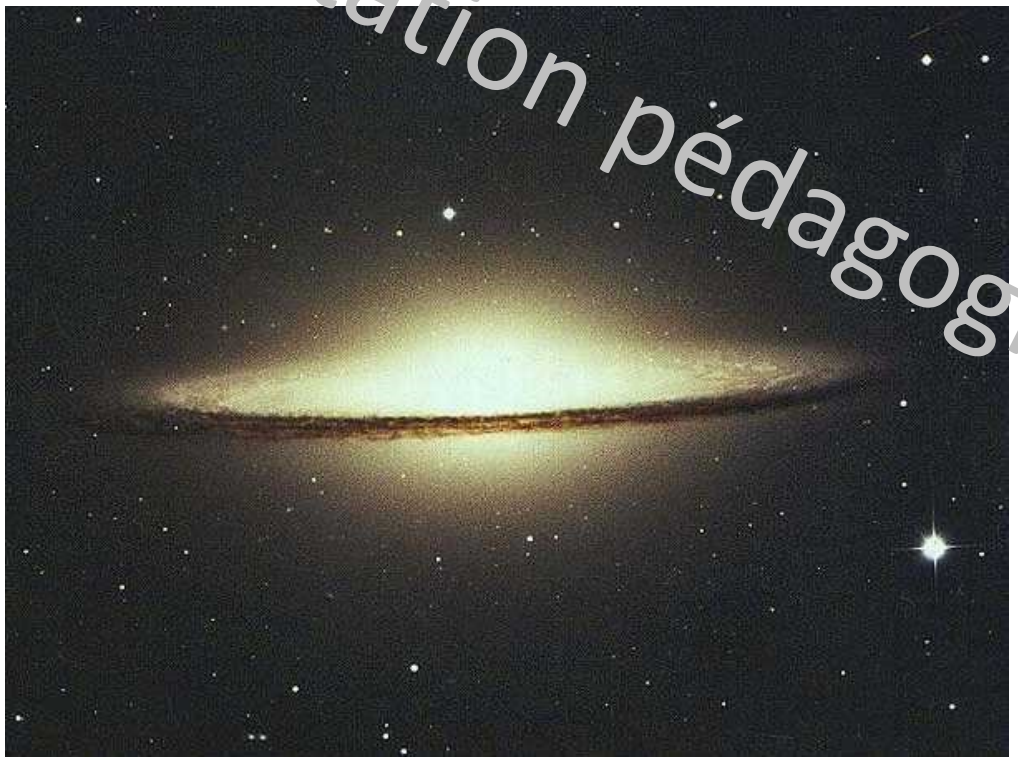
UE « Géosciences 1 »

Emmanuel Tertre –
Département Géosciences
emmanuel.tertre@univ-poitiers.fr

documentation pédagogique



Les métiers en « Géosciences »

Inspiré d'informations issues du site web de la société géologique de France : http://geosoc.fr/

Métiers dans :

- **Environnement et Patrimoine** (décontamination des sols, gestion des déchets, remédiation de sites miniers, génie civil, restauration de monuments) :
  ingénieur des procédés, géotechnicien, géochimiste, géophysicien, hydrogéologue, pédologue, paléontologue, technicien et ingénieur matériaux

- **L'énergie** (ressources et exploitation du pétrole, gaz, charbon, nucléaire, énergies renouvelables) :
  géologue de prospection et/ou d'exploitation, hydrogéologue

- **L'eau** (inventorier et estimer les ressources, protéger et surveiller les nappes souterraines) :
  hydrogéologue, géochimiste des eaux naturelles, pédologue

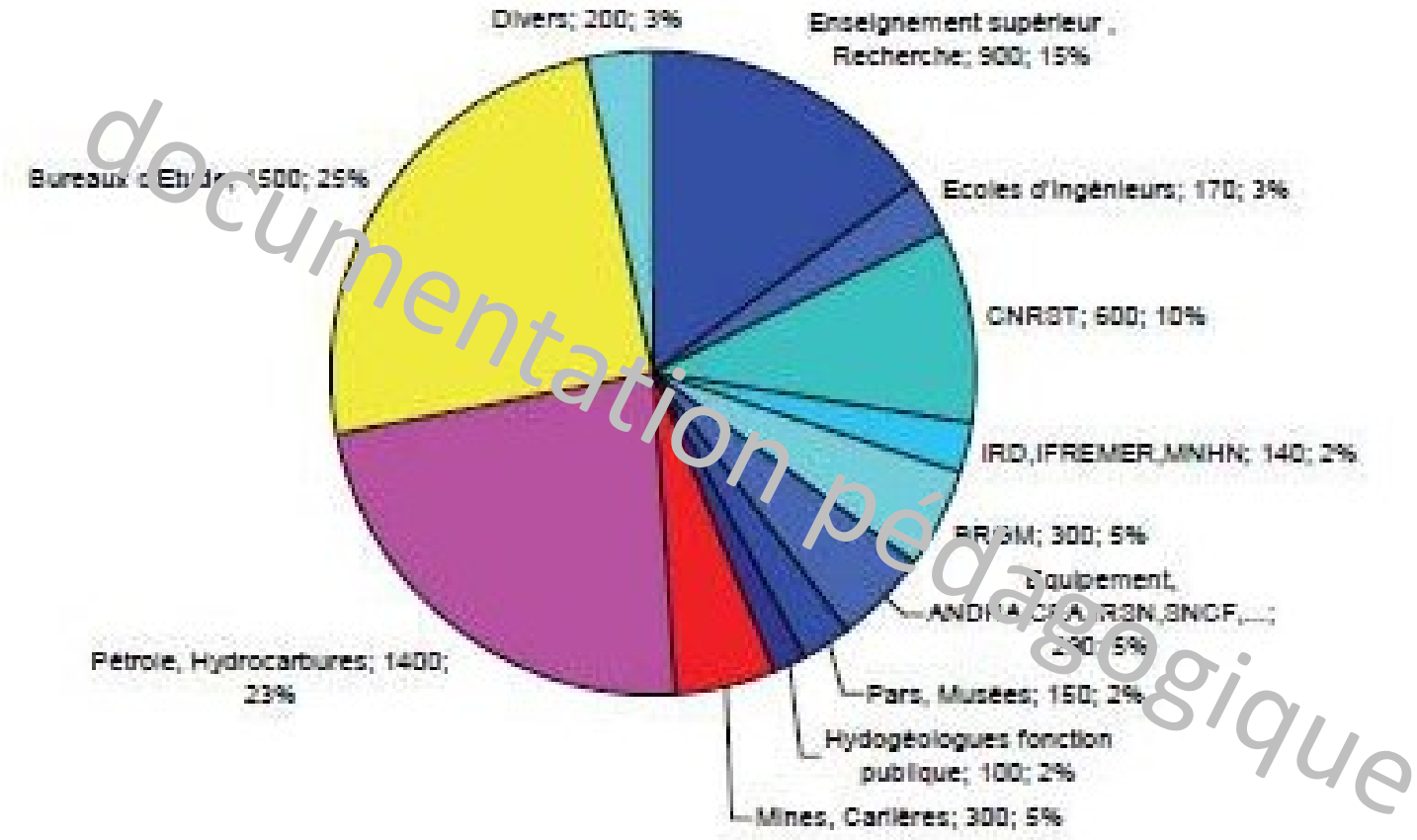
- **Aménagement du territoire** (travaux publics, collectivités territoriales, estimation des risques) : géotechnicien, pédologue, écologue, géophysicien

- **Ressources minérales** (prospection, exploitation et remédiation de sites miniers) :
  géologue de terrain, minéralogiste, ingénieur matériaux, géochimiste, sédimentologue

- **Enseignement** (primaire, secondaire, universitaire) et **Recherche**

documentation pédagogique

Répartition des étudiants ayant suivi une formation « Géosciences » par secteur professionnel en France

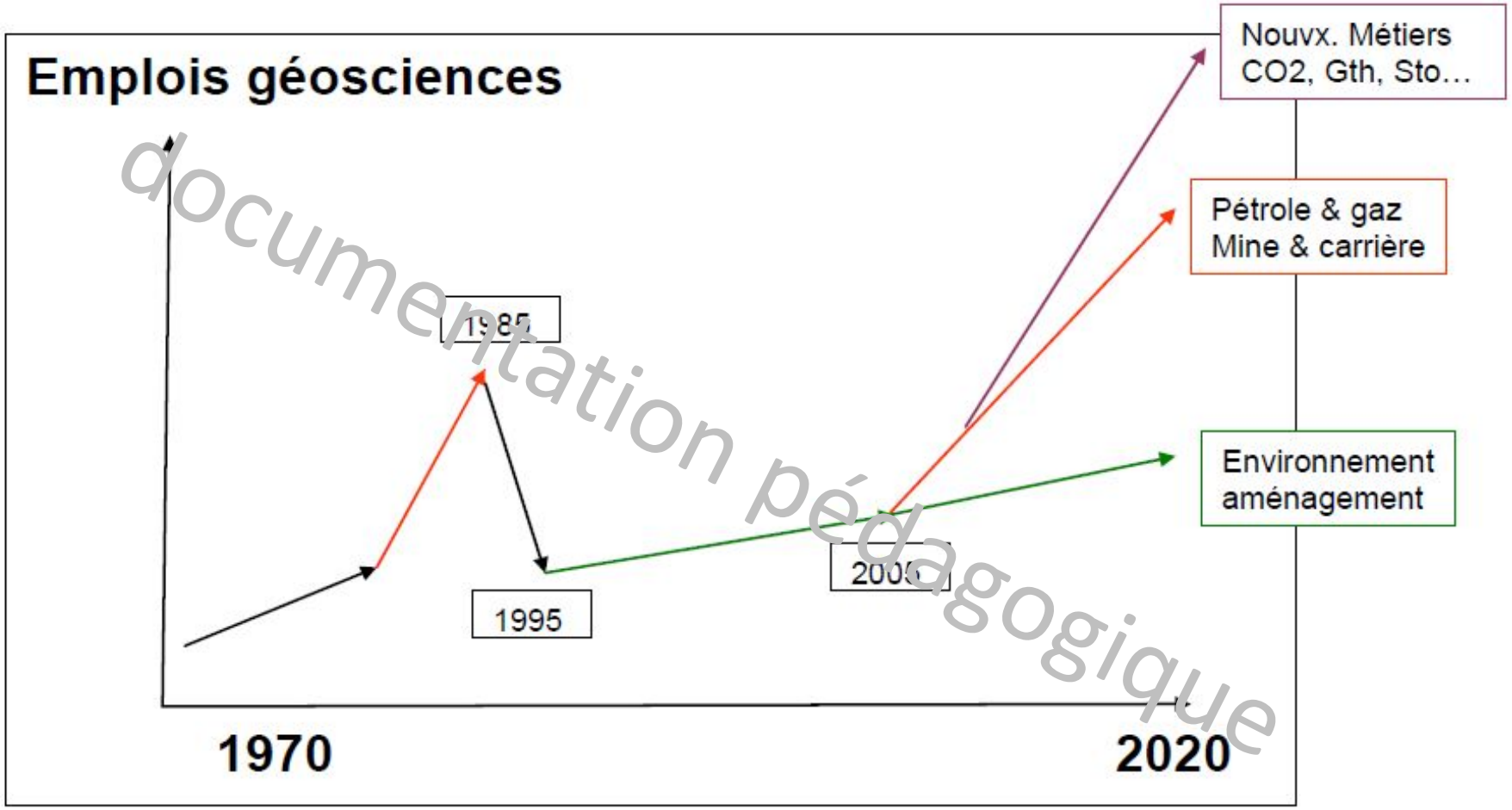


documentation pédagogique

Tiré de Varet (2009) – Emploi et formation en Géosciences par an.

Les étudiants enseignant les « Géosciences » en primaire et en secondaire n'apparaissent pas dans ce graphique : 250 postes d'enseignants en SVT en 2015/2016 + environ 100 étudiants ayant suivi une formation « Géosciences » reçus au professorat des écoles (par an).

Emploi en Géosciences



documentation pédagogique

Évolution quantitative et qualitative des métiers des Géosciences entre 1970 et 2020 (d'après J. Varet, 2008. Prospectives de l'emploi dans les Géosciences à l'horizon 2020, rapport BRGM, 153 p.)

Plan des cours et TD/TP associés:

14 cours :

Intervenant : Emmanuel Tertre
Cours n° 1 : Formation de l'Univers et des éléments chimiques constitutifs de la Terre
Cours n°2 : Structure et Formation du système solaire
Cours n°3 : Initiation aux minéraux et roches de la Terre
Cours n°4 : Formes et visages de la Terre : initiation à la géodésie et isostasie
Cours n°5 : Initiation à la sismologie : tremblements de terre et structure interne du globe
Cours n°6 : Tectonique des plaques (1) : dérive des continents et initiation au paléomagnétisme
Cours n°7 : Tectonique des plaques (2) : dynamique de la lithosphère océanique
Cours n°8 : Tectonique des plaques (3) : dynamique de la lithosphère continentale et formation des chaines de montages.

Intervenant : Roberto Macchiarelli
Cours n°9 : Le temps dans l'histoire de la terre et de la biosphère
Cours n°10 : La Terre et la vie primitive : de l'archéen au protérozoïque
Cours n°11 : Histoire de la Terre : le dernier milliard d'années
Cours n°12 : Paléobiodiversité et extinctions en masse
Cours n°13 : Tectonique, climat et environnements au Cénozoïque
Cours n°14 : Du Quaternaire à l'Anthropocène

12 TD :

TD1 = univers
TD2 = planéto
TD3 = miné/roches
TD4 = pesanteur
TD5 = séisme
TD6 = tectonique1
TD7 = tectonique2
TD8 = roches

TD9 = fossilisation
TD10 = paléobiodiversité
TD11 = paléoenvironnement
TD12 = pleistocène

4 TP:

TP1 = minéralogie

TP2 = roches magmatiques

TP3 = roches métamorphiques

TP4 = paléontologie

documentation pédagogique

Fonctionnement de l'UE (1) :

Cours :

- Principales figures de chaque cours distribuées par voie électronique sur le bureau virtuel (BV) avant le cours :
  Répertoires sur le BV : 2016-2017/Semestre1/UE Géosciences 1

- Cours complet de la semaine disponible en version électronique le vendredi soir (après les cours donc) sur le bureau virtuel et sur : http://sfa.univ-poitiers.fr/geosciences/ressources-pedagogiques/cours-et-documents-pedagogiques-en-telechargement/

documentation pédagogique

Intervenants en TD en fonction des groupes (12 groupes) :

- groupes 11 et 12 : Emmanuel Tertre / Guillaume Daver
- groupe 13 et 14 : Laurent Caner / Guillaume Daver
- groupe 15 :
- groupe 16 : Emmanuel Tertre / Géraldine Garcia
- groupe 17 : Olga Otero / Géraldine Garcia
- groupe 18 : Olivier Chavasseau / XXX
- groupe 19 : Emmanuel Tertre / Géraldine Garcia
- groupes 20 et 21 : Patricia Patrier / Vincent Lazzari
- groupe 22 : Olivier Chavasseau / XXX
- groupe 23 : Patricia Patrier / Vincent Lazzari

Règle et calculatrice (pas de portable!) à chaque TD

+ Charly Delayre / Emilie Berlioz (remplaçants occasionnels)

Fonctionnement de l'UE (2) : contrôle des connaissances

- 4 notes de contrôles continus (CC) :

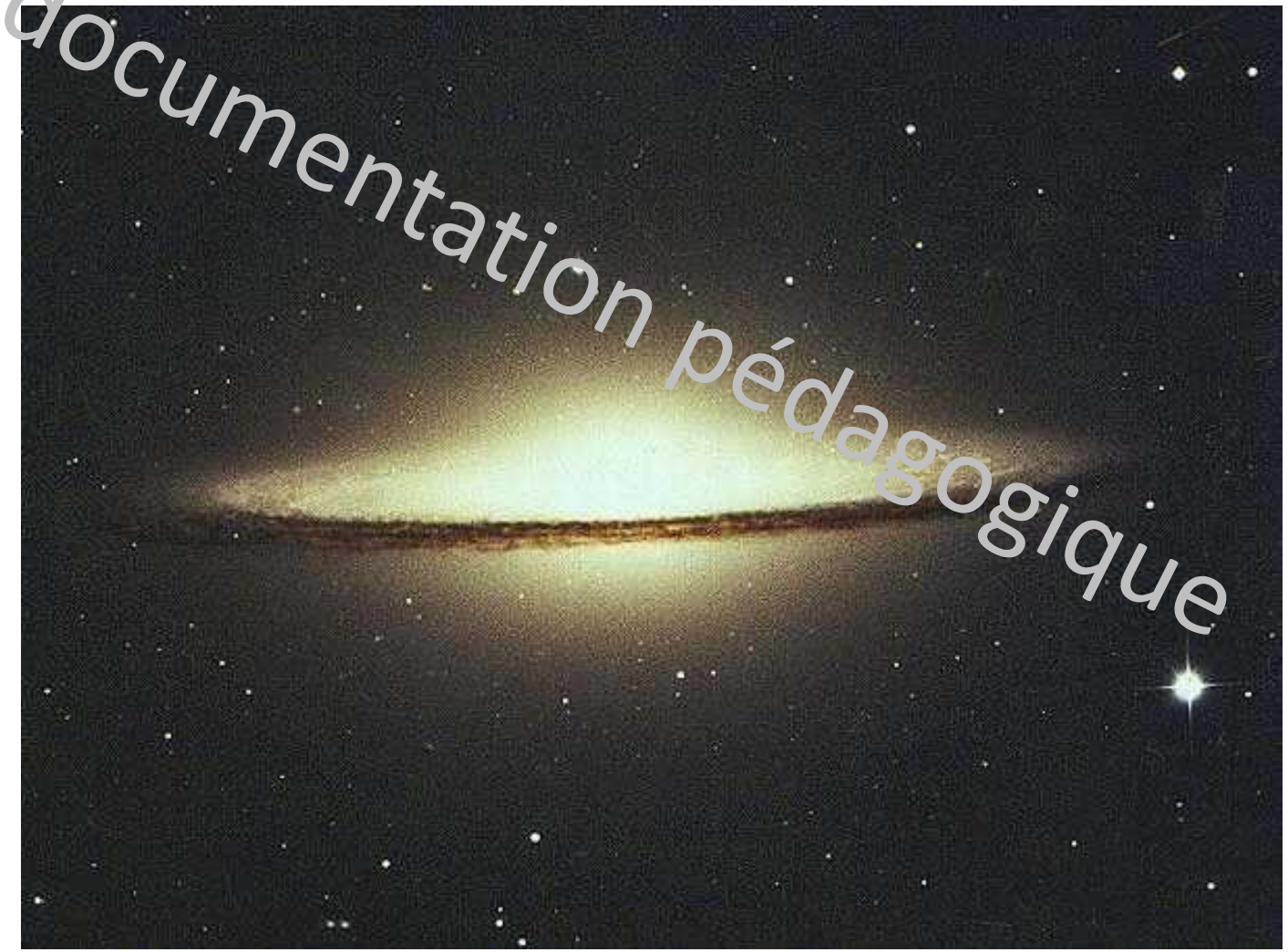
  - CC1 : fin septembre / début octobre sur les cours et TD réalisés à la date du CC
  - CC2 : fin octobre / début novembre sur les cours, TD et TP réalisés à la date du CC
  - CC3 : sur les TP réalisés à la date du CC
  - CC4 : en décembre sur l'ensemble des notions vues dans l'UE

- En cas d'absence à un CC, apportez un justificatif médical ou autre... sinon votre absence sera considérée comme « injustifiée » et vous ne pourrez valider cette UE (quelles que soit les notes obtenues aux CC où vous étiez présents)

documentation pédagogique

Chapitre 1 :

Formation de l'Univers et des éléments chimiques constitutifs de la Terre



documentation pédagogique

Chap. 1: Formation de l'Univers et des éléments chimiques constitutifs de la Terre

Questions :

- Quelle est la structure de l'Univers, dès premiers temps jusqu'à aujourd'hui
- Comment se sont formés les éléments chimiques qui sont désormais constitutif des matériaux de la Terre
- Quels sont les distances entre objets dans l'Univers et leurs durées de formation et de vie

Plan :

1.1. Structure et évolution de l'Univers :

1.1.1 Généralités (unités de mesures en astronomie, spectre électromagnétique)

1.1.2 Structure

(a) Les galaxies et leurs répartitions (amas)

(b) Expansion et histoire de l'Univers

- Loi de Hubble
- Histoire de l'Univers: du Big-Bang à « l'ère » de la matière
- Fond cosmologique: rayonnement fossile

1.2. La nucléosynthèse : fabrication des éléments chimiques

(a) phase cosmique : nucléosynthèse primordiale (formation des éléments légers)

(b) phase stellaire : différentes types d'étoile et leurs évolutions (formation des éléments lourds)

(c) phase interstellaire

(d) récapitulatif

Ce qu'il faut connaitre

documentation pédagogique

1.1. Structure et évolution de l'Univers :

1.1.1 Généralités

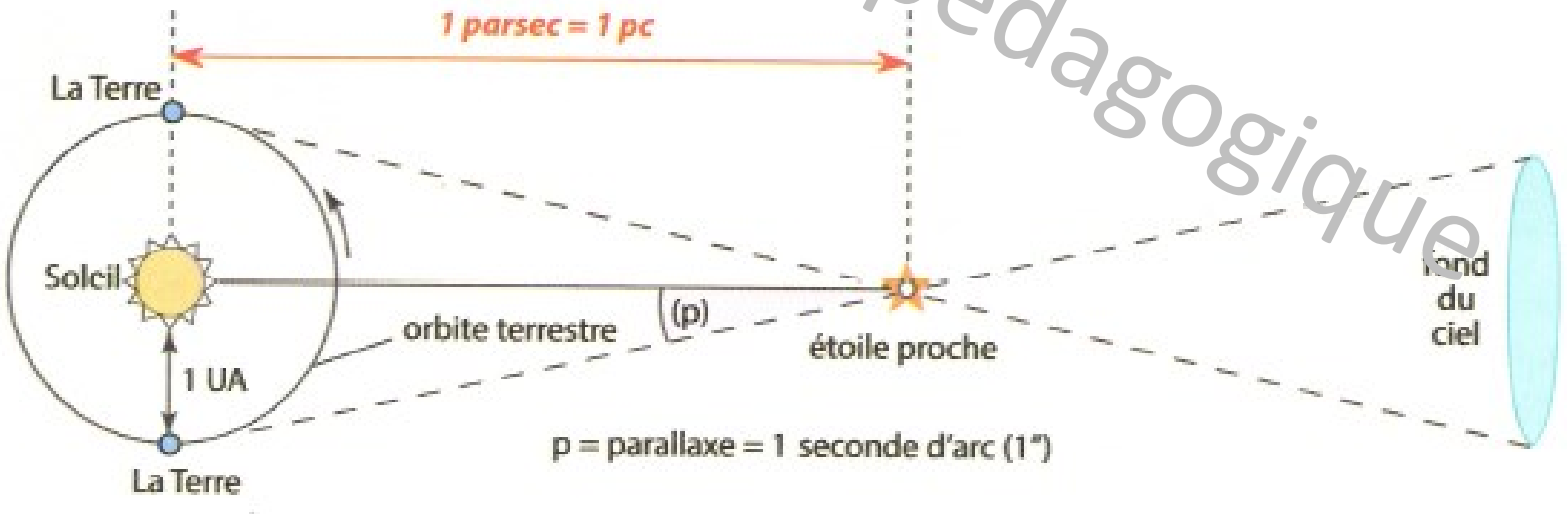
Trois types d'unité de mesure classiquement utilisés :

- l'année lumière (a.l.) : distance parcourue par la lumière en un an (à la vitesse donc de 300 000 km/s), soit $9{,}46.10^{12}$km) – Utilisé pour les objets très lointains (ex: galaxies)

- l'unité astronomique (U.A.) : correspond à la distance Terre-Soleil, soit 150.10^{6} km) – Utilisé pour les objets proches (ex : objets dans le système solaire)

- le parsec (pc) : correspond à la distance à laquelle il faut aller pour « voir » la distance Terre-Soleil (soit une U.A.) sous un angle de 1° (méthode dite de la parallaxe) – utilisé pour les objets intermédiaires (ex : étoile dans la voie lactée)

documentation pédagogique

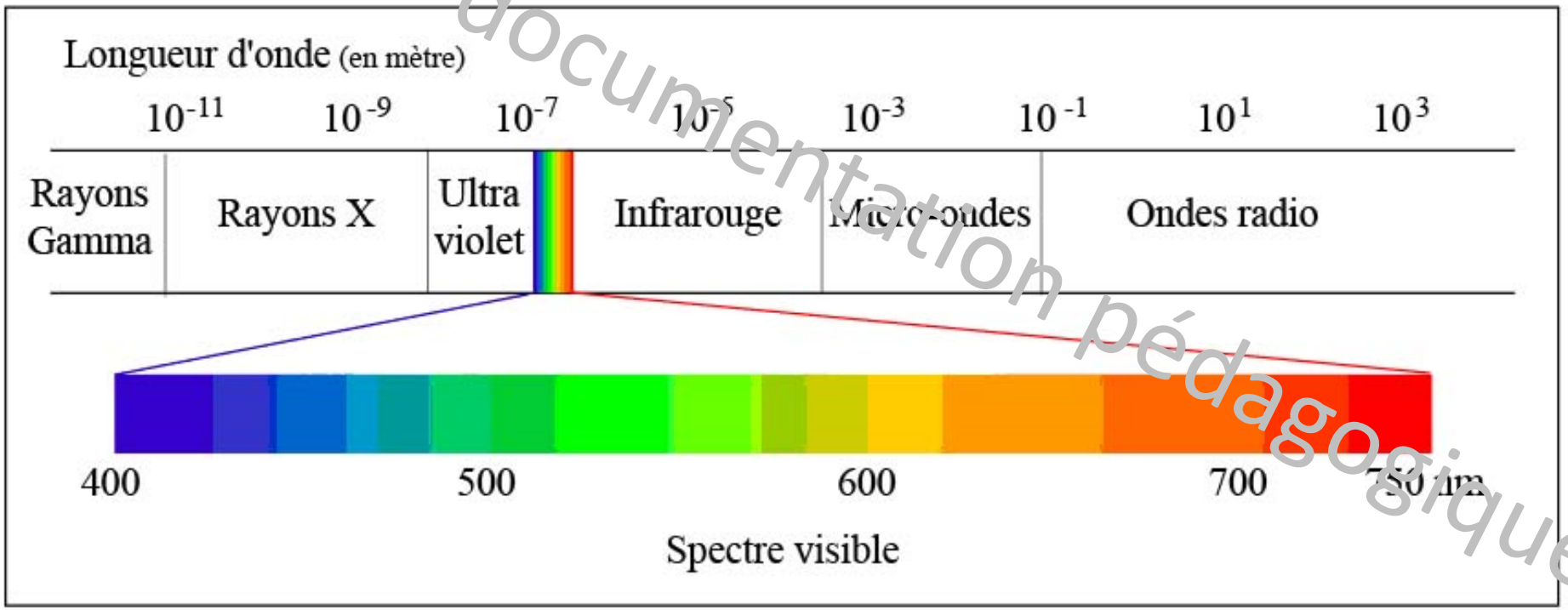


Voir TD n°1

Fig. 1.1 : Le parsec : mesure de la distance des étoiles proches par estimation de l'angle de parallaxe.
(Elément de géologie; Renard et al., Dunod)

1.1. Structure et évolution de l'Univers :

1.1.1 Généralités



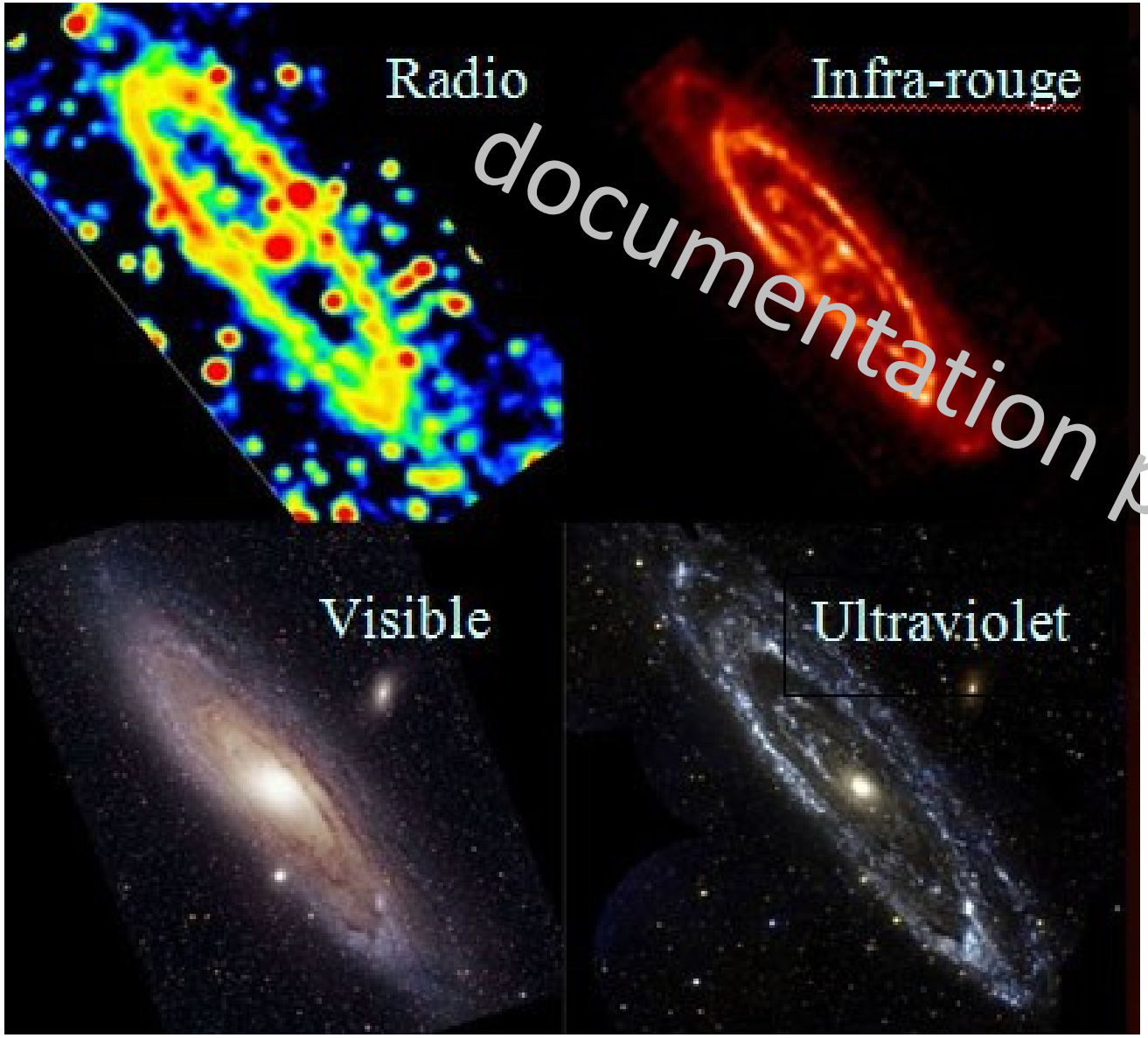
documentation pédagogique

Exemples de rayonnement remarquables :

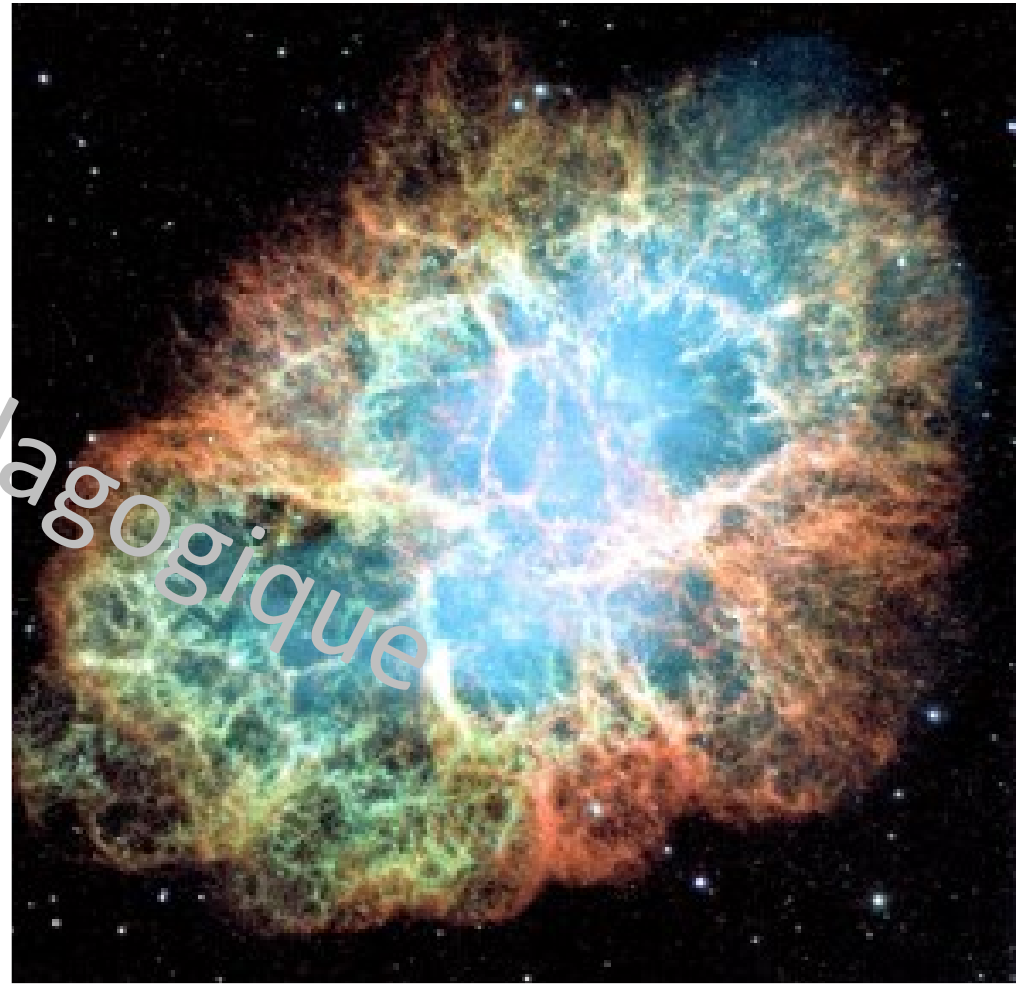
- 21 cm (micro-onde) : hydrogène atomique
- mm : molécules de CO et H_2 (nuages interstellaires)
- IR : poussières interstellaires chauffées par les étoiles notamment en formation
- Rayons UV et X: champ électromagnétique d'un objet céleste

Fig. 1.2 : Les différents domaines de longueurs d'ondes : un outil d'observation de l'Univers

La même galaxie vue à différentes longueurs d'ondes



La nébuleuse du Crabe résulte de l'explosion d'une étoile massive en supernovæ. La couleur rouge est due à la fusion de l'hydrogène



documentation pédagogique

1.1.2 Structure :

(a) les galaxies et leur répartition :

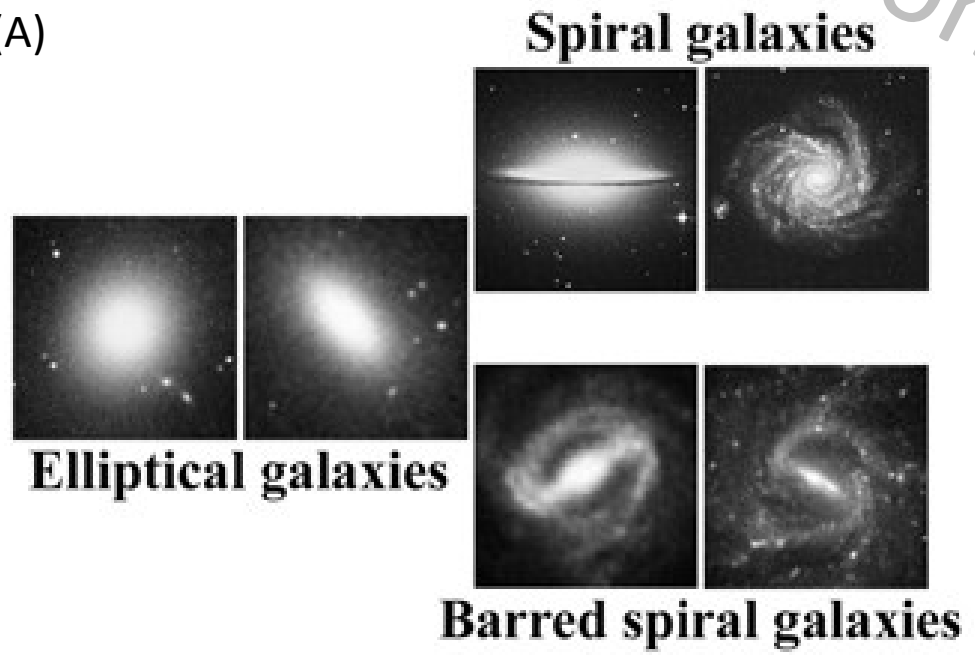
- définition : une galaxie est constituée d'étoiles (10^9-10^{11} étoiles), de gaz interstellaires (+/-1 atome de gaz par cm^3), de poussières (1 % en masse) et de vide.

- Les étoiles y sont très éloignées les unes des autres – Ex : l'étoile la plus proche du Soleil dans notre galaxie est environ à 3 a.l. du Soleil.

- Les galaxies sont en mouvement les unes par rapport aux autres, et les objets qu'elles contiennent sont en mouvement à l'intérieur - Ex : généralement, les galaxies s'éloignent les unes des autres ; les bras spiraux de notre galaxie sont en rotation à une vitesse d'environ 250 km/s, et le soleil en fait le tour en 240 Ma environ.

- les différents types de galaxie et notre voie lactée :

(A)



(B)

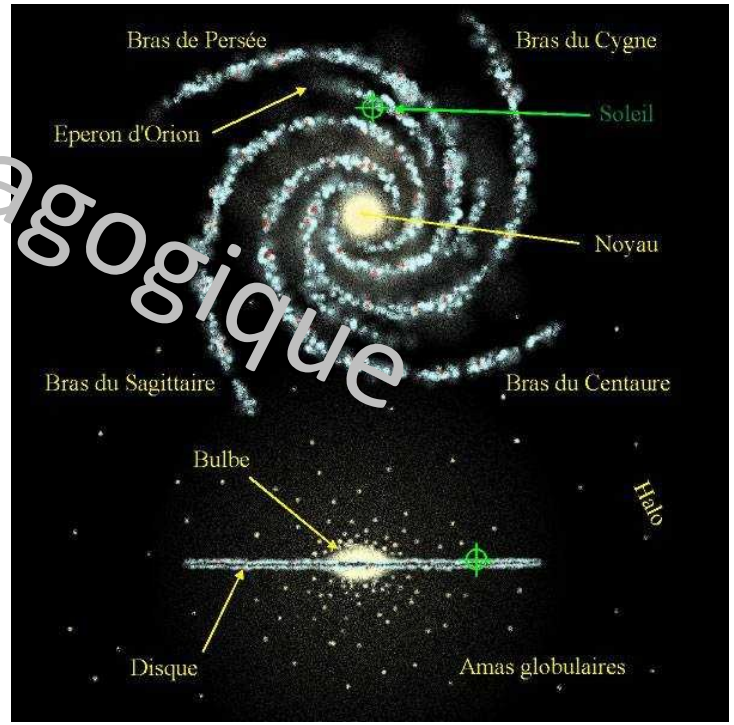
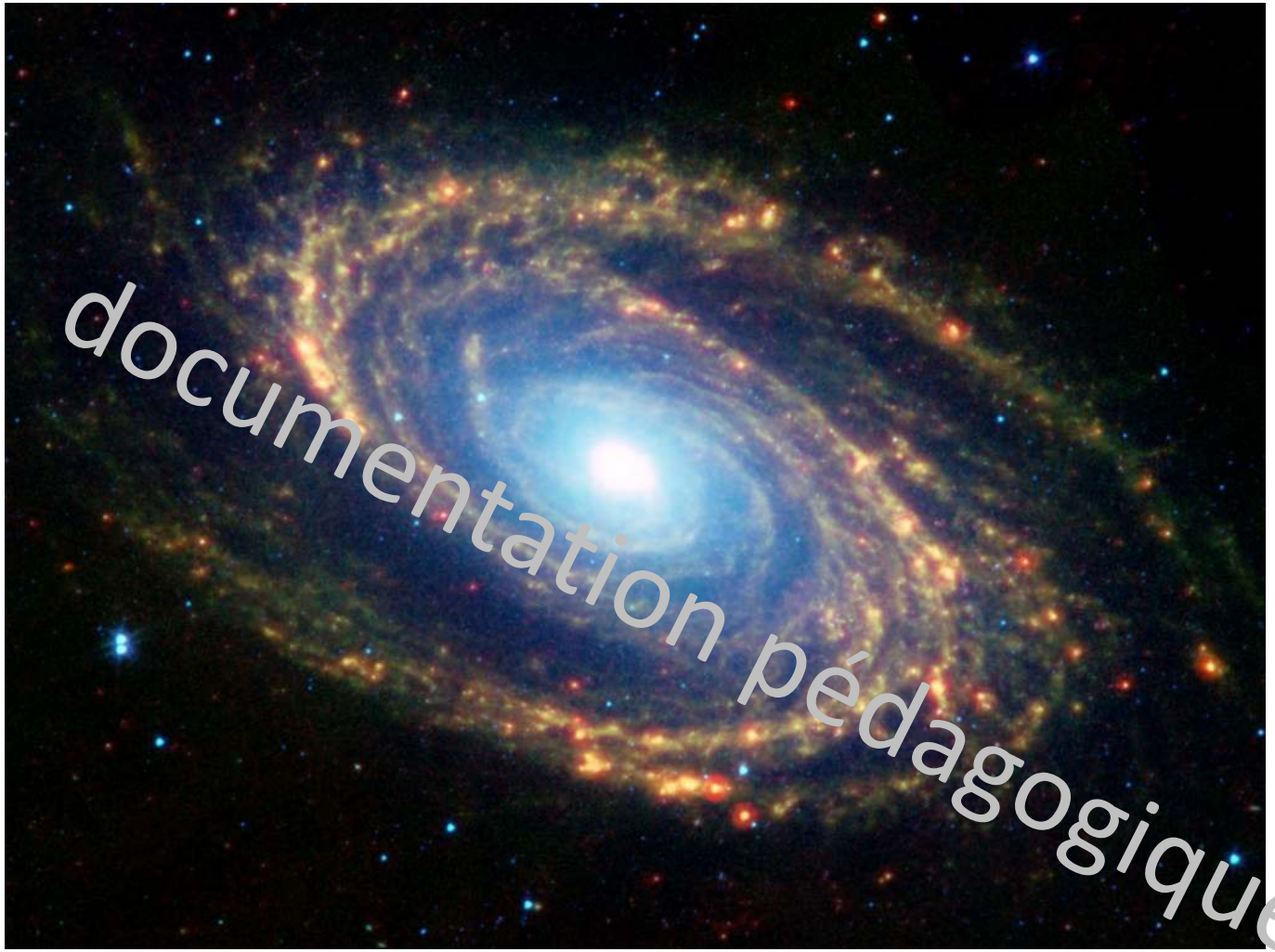


Fig. 1.3 : Les galaxies (A) et notre galaxie : la voie lactée (B).

documentation pédagogique



La galaxie spirale proche Messier 81 est localisée au nord de la constellation de la Grande Ourse à 12 Ma d'a.l.

Dans le bulbe : étoiles âgées. Dans les bras spiralés : émission infrarouge dûe à la poussière interstellaire chauffée par l'activité des étoiles en formation (NASA/JPL/Caltech).

- les amas de galaxies:

les galaxies ne se répartissent pas par hasard, elles ont tendance à se regrouper en amas.
Ex : la Voie lactée fait partie de l'amas local (avec la nébuleuse d'Andromède (M31) et le grand nuage de Magellan)

des superamas existeraient (Ex : le superamas de la Virgo, qui contiendrait l'amas local, avec au centre la galaxie spirale Messier 81)

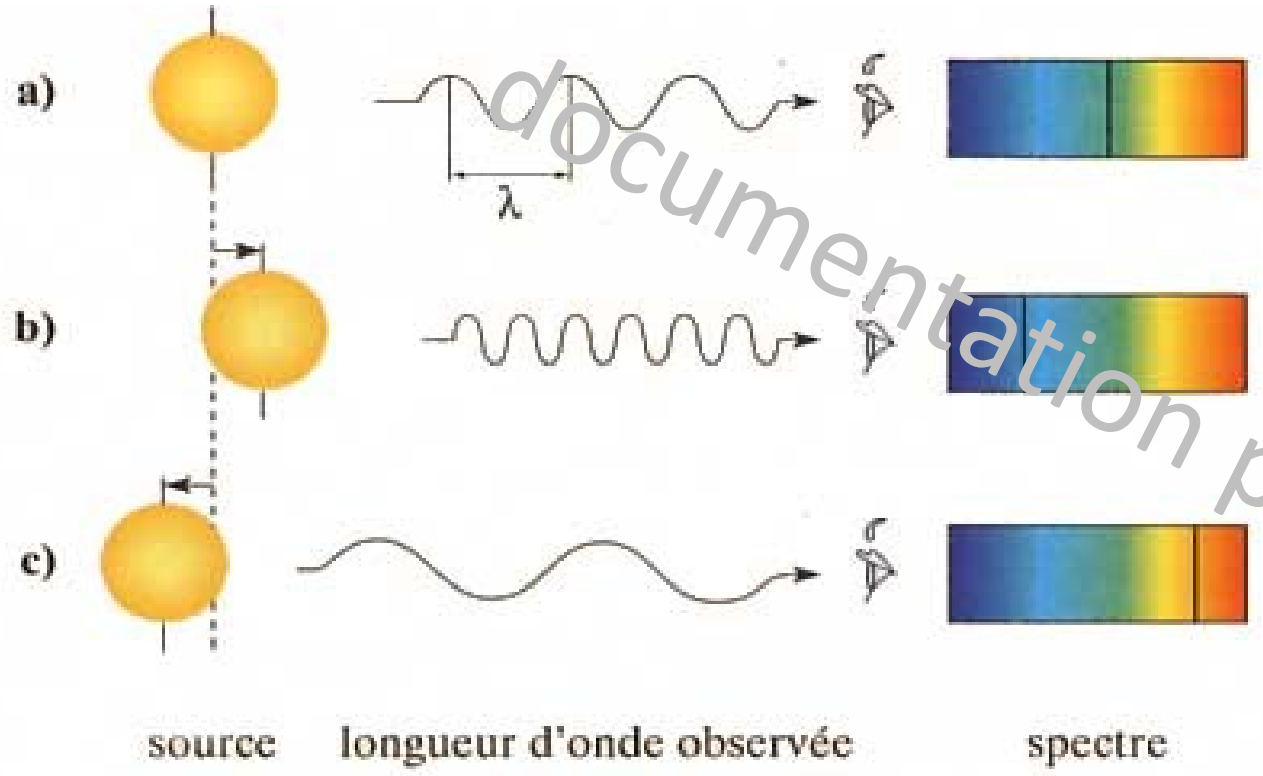
documentation pédagogique

L'amas de de galaxie Abell 383 (riche en matière noire, fort effet de lentille gravitationnelle visible sur cette image).

NASA/ESA/J. Richard (CRAL) – J.P Kneil (LAM).

(b) Expansion et histoire de l'Univers

- Comment peut-on connaitre les mouvement des galaxies entre elles ?



Généralité sur l'effet Doppler-Fizeau

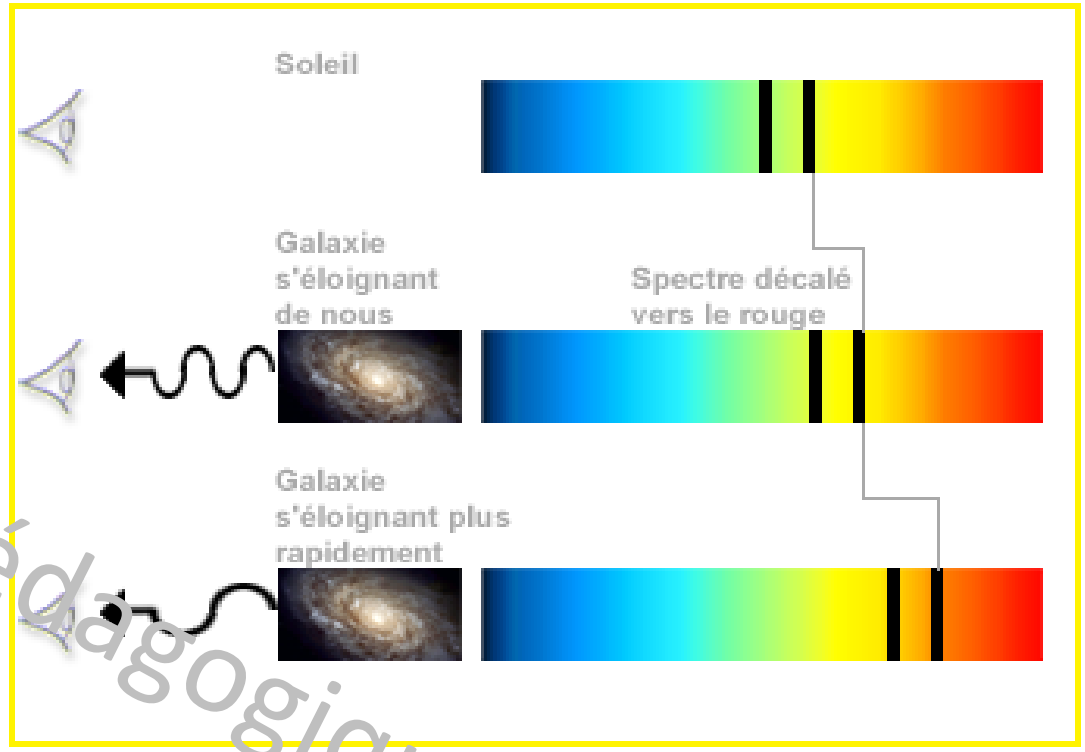


Fig. 1.4 : Effet Doppler appliqué à la vitesse d'éloignement des galaxies : le décalage vers l'infrarouge est d'autant plus fort que la galaxie est éloignée

A partir de ce décalage, on peut remonter à une vitesse.

documentation pédagogique

(b) Expansion et histoire de l'Univers

- Loi de Hubble : les galaxies s'éloignent de nous d'autant plus rapidement qu'elles sont lointaines :

$v = H * d$

avec v la vitesse de récession (km/s), calculée en utilisant le décalage spectral de H ou He (effet Doppler)

d la distance en Mpc

H la constante de Hubble (s^{-1}); donc 1/H est homogène à un temps et peut donc donner une estimation de l'âge de l'Univers : 15 Ga environ = Age du Big Bang)

documentation pédagogique

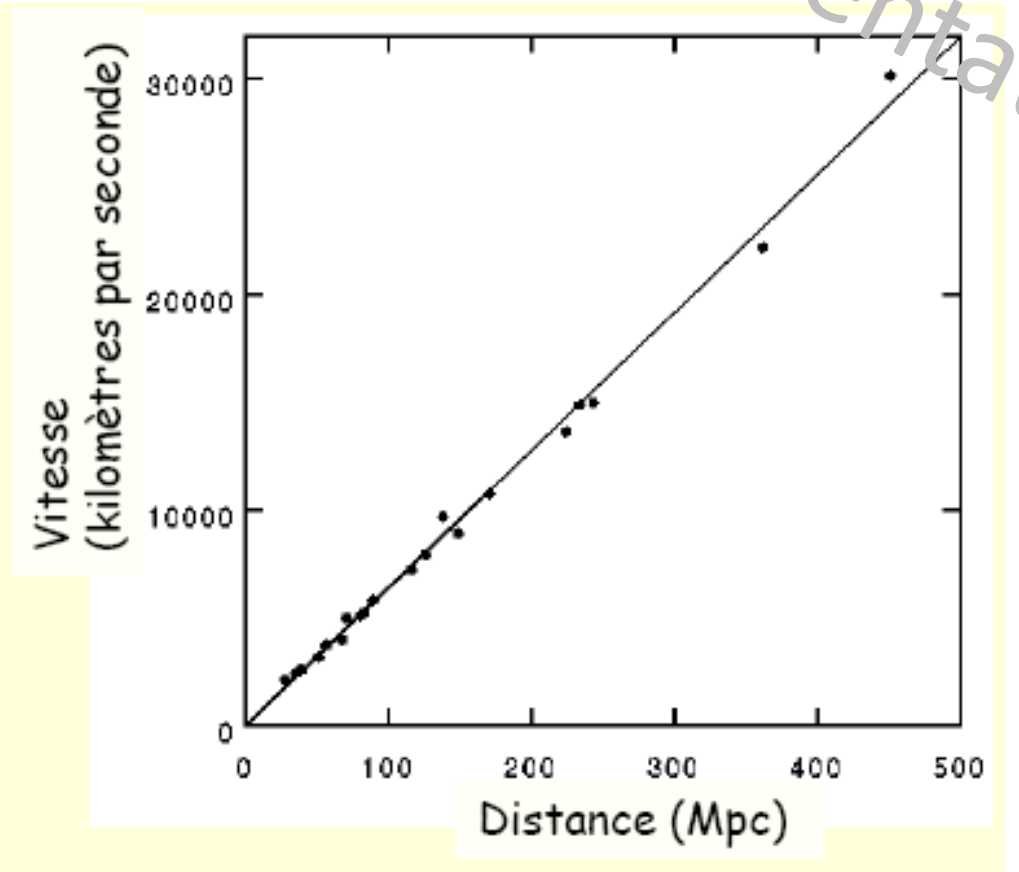


Fig. 1.5 : Vitesse de récessions et distance des galaxies : la loi de Hubble

Voir TD n°1

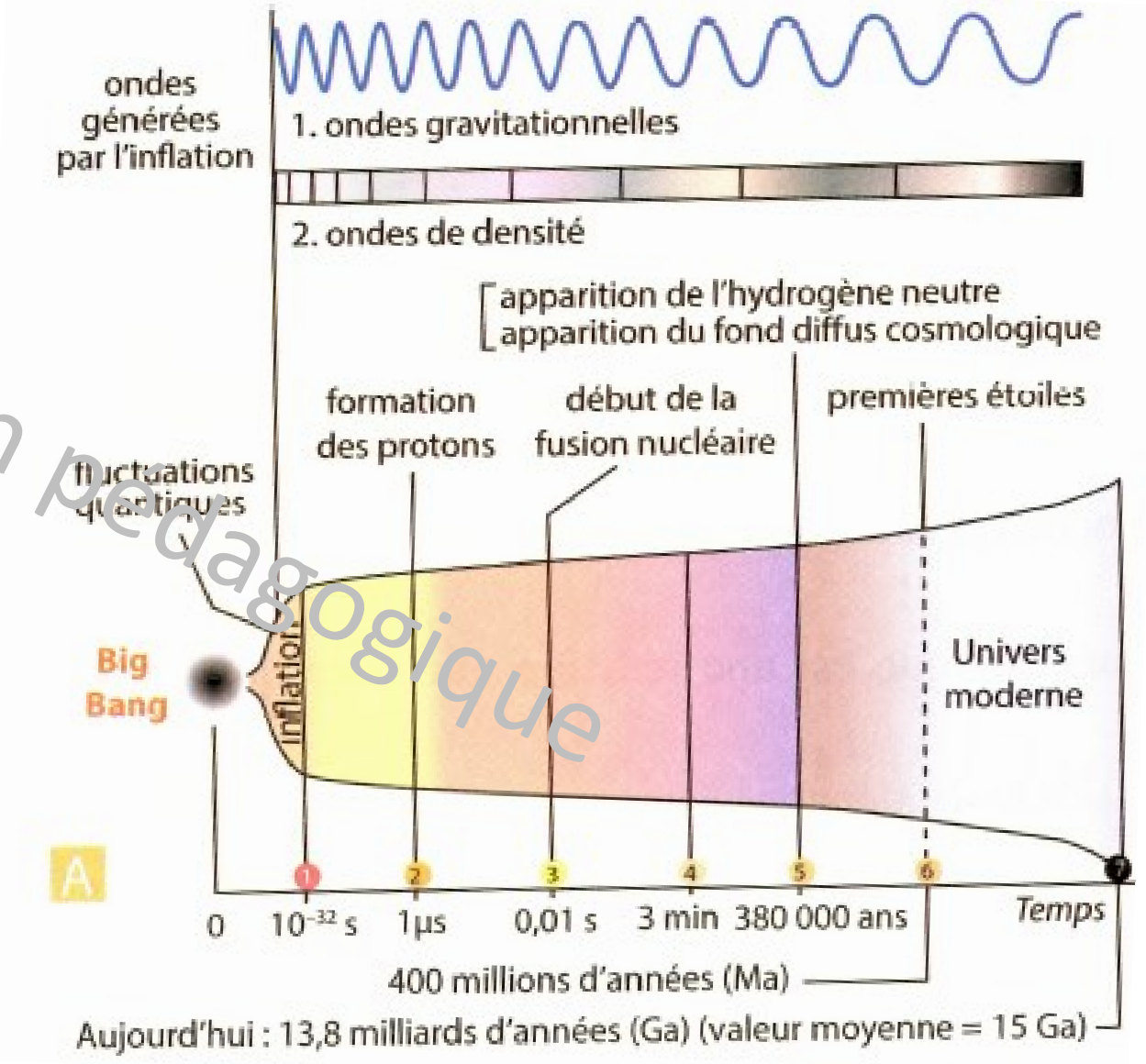
Que s'est t'il passé avant ?...on ne sait que très peu de choses!

- Histoire de l'Univers: du Big-Bang à « l'ère » de la matière

documentation pédagogique

Fig. 1.6 : Représentation simplifiée de l'évolution de l'Univers
(Elément de géologie; Renard et al., Dunod)**.**

On met en évidence l'inflation à 10^{-32} s et l'apparition du fond diffus cosmologique à 380 000 ans après le Big-Bang. Avant cette date, l'Univers est opaque à cause des interactions constantes entre la matière et la lumière.



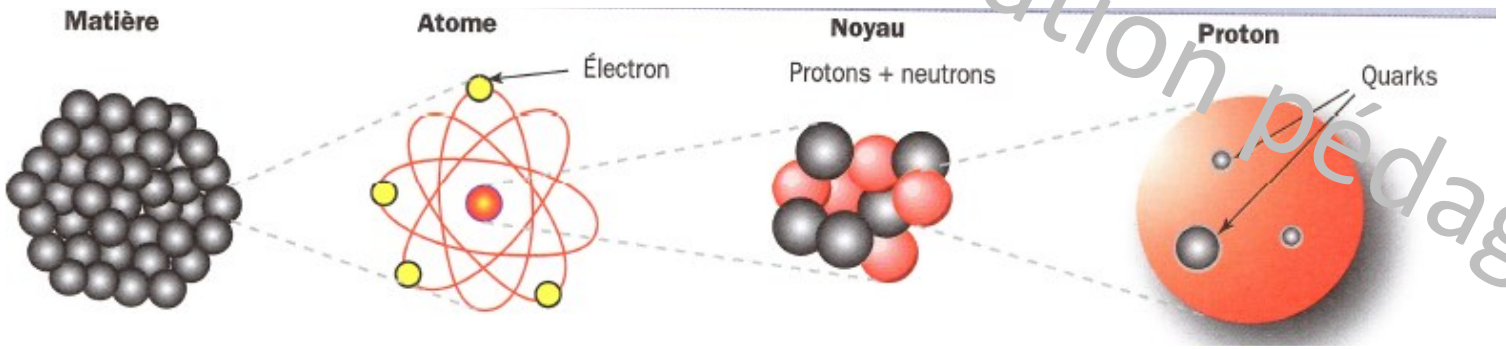
Rappel pour comprendre l'histoire de l'Univers :

- Fermion: matière ordinaire : leptons si se déplacent librement (comme e- et neutrino) et quarks si pas de déplacement libre (constituants des nucléons ; ne sont jamais observés isolés)

- Bosons: particules assurant la transmission des forces (comme le photon)

documentation pédagogique

FERMIONS	LEPTONS	QUARKS
	Se dépacent librement	Ne sont pas observés isolés Constituants des nucléons



BOSONS	Photon	Gluons	Bosons vecteurs	Graviton
Particules de rayonnement qui assurent la transmission des forces	Particule fondamentale de la lumière Porteur de la force électromagnétique	Bosons porteurs de l'interaction forte liant les quarks entre eux	Bosons W^+ W^- et Z^0 Porteurs de l'interaction faible	Hypothétique boson d'interaction supposé véhiculer la force de gravité

Fig. 1.7 A: Matière et particules (simplifié) – les quatre interactions fondamentales
(Géosciences, Robert et Bousquet, Belin)

Rappel pour comprendre l'histoire de l'Univers:

Interaction	Intensité	Portée	Fermions	Bosons	Phénomènes physiques
Gravitationnelle	10^{-40}	Infinie	Toutes les particules	Graviton ?	– Attraction universelle – Évolution de l'Univers – Trajectoire des planètes – Phénomène des marées
Électromagnétique	10^{-2}	Infinie	Leptons chargés et quarks	Photon	– Phénomènes lumineux et électromagnétiques – Cohésion des atomes – Réactions chimiques
Nucléaire forte	1	10^{-13} cm	Quarks	Gluons	– Cohésion des noyaux atomiques – Réactions nucléaires
Nucléaire faible	10^{-13}	10^{-16} cm	Leptons et quarks	Bosons W^+, W^-, Z^0	– Radioactivité ß – Activité solaire

documentation pédagogique

Fig. 1.7 B: Matière et particules (simplifié) – Les quatre interactions fondamentales
(Géosciences, Robert et Bousquet, Belin)

Histoire de l'Univers: du Big-Bang à « l'ère » de la matière

- Pour $t<10^{-43}$ s : Univers très dense et très chaud (10^{32}K): Ere de la grande Unification des 4 forces (GUT: Theory de la Grande Unification)

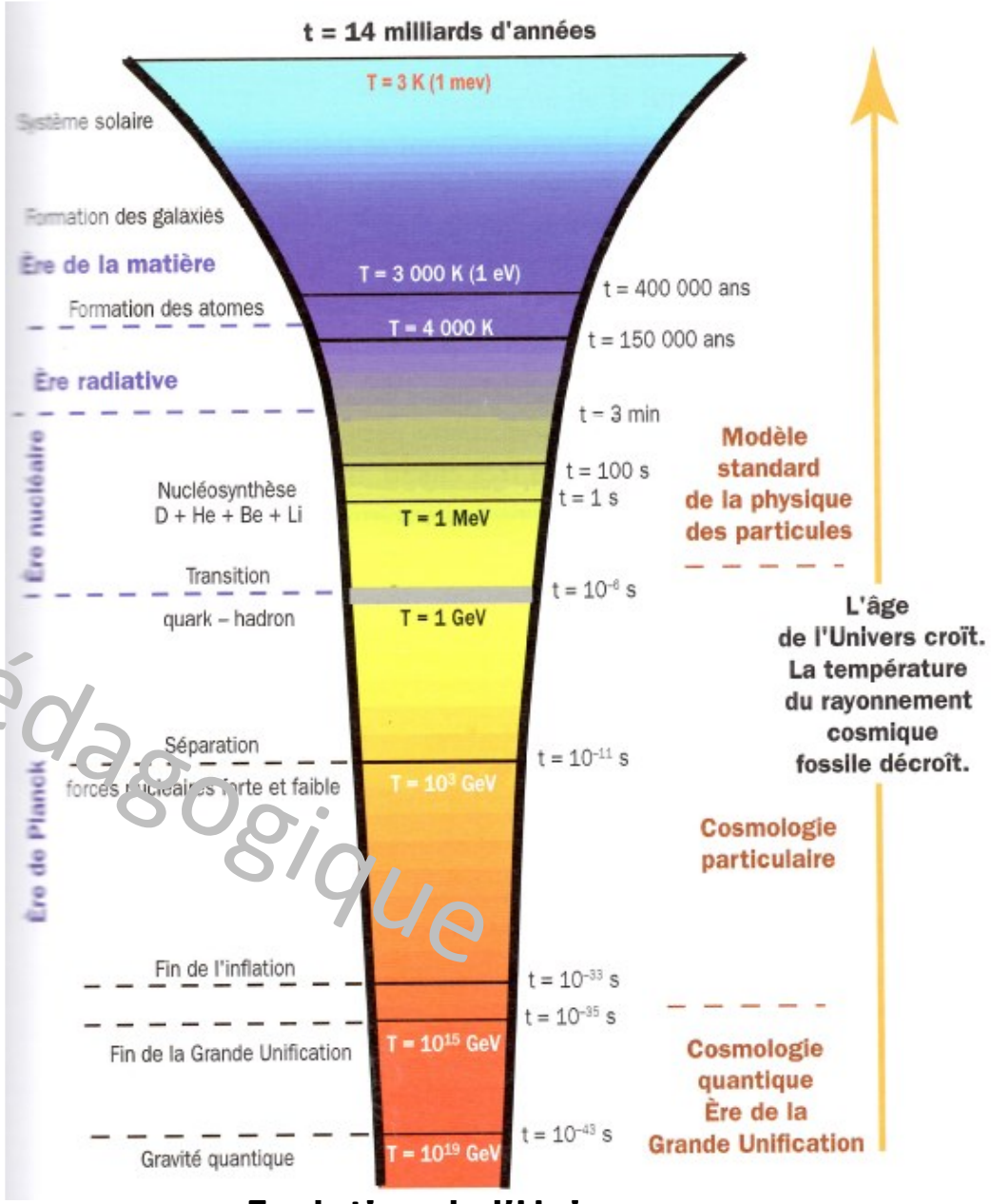
- La gravité et l'interaction nucléaire forte se séparent respectivement de la GUT entre $t=10^{-43}$ et 10^{-35} s. A cette époque ($t=10^{-35}$ s) : Energie brutale libérée, correspondant à une inflation d'un facteur 10^{50} (de la taille d'un atome au delà de celle d'une galaxie)

- Entre 10^{-33} et 10^{-6} s : particules et antiparticules s'annihilent, mais les particules étant légèrement plus abondantes que les antiparticules, protons et neutrons subsistent et forment l'Univers - A 10^{-11} s : séparation de la force nucléaire faible

- A 10^{-6} s : quarks se combinent pour former les nucléons (proton, neutron)

  A cette époque: l'Univers est donc constitué des premiers nucléons en équilibre avec les électrons, photons et neutrinos

documentation pédagogique



Evolution de l'Univers
(Géosciences, Robert et Bousquet, Belin)

- Entre 10^{-6} s et 3 mn : <u>ère nucléaire</u> :

  Créations des éléments légers (mais sans électron): deutérium, hélium et lithium 7

- Entre 3 mn et 150 000 ans : <u>ère radiative</u>

  Température décroit de 10^9K à 3000 K. L'Univers est dominé par le rayonnement électromagnétique. L'univers est un plasma chaud, dense, opaque à son rayonnement.

  Vers 4000 K : les électrons se combinent aux noyaux pour former des atomes, et laissent passer le rayonnement. C'est celui-ci que l'on observe encore aujourd'hui et qu'on appelle le « fond cosmologique ou « rayonnement fossile ».

- De 150 000 ans après le Big-Bang à aujourd'hui : <u>ère de la matière ou ère stellaire</u>

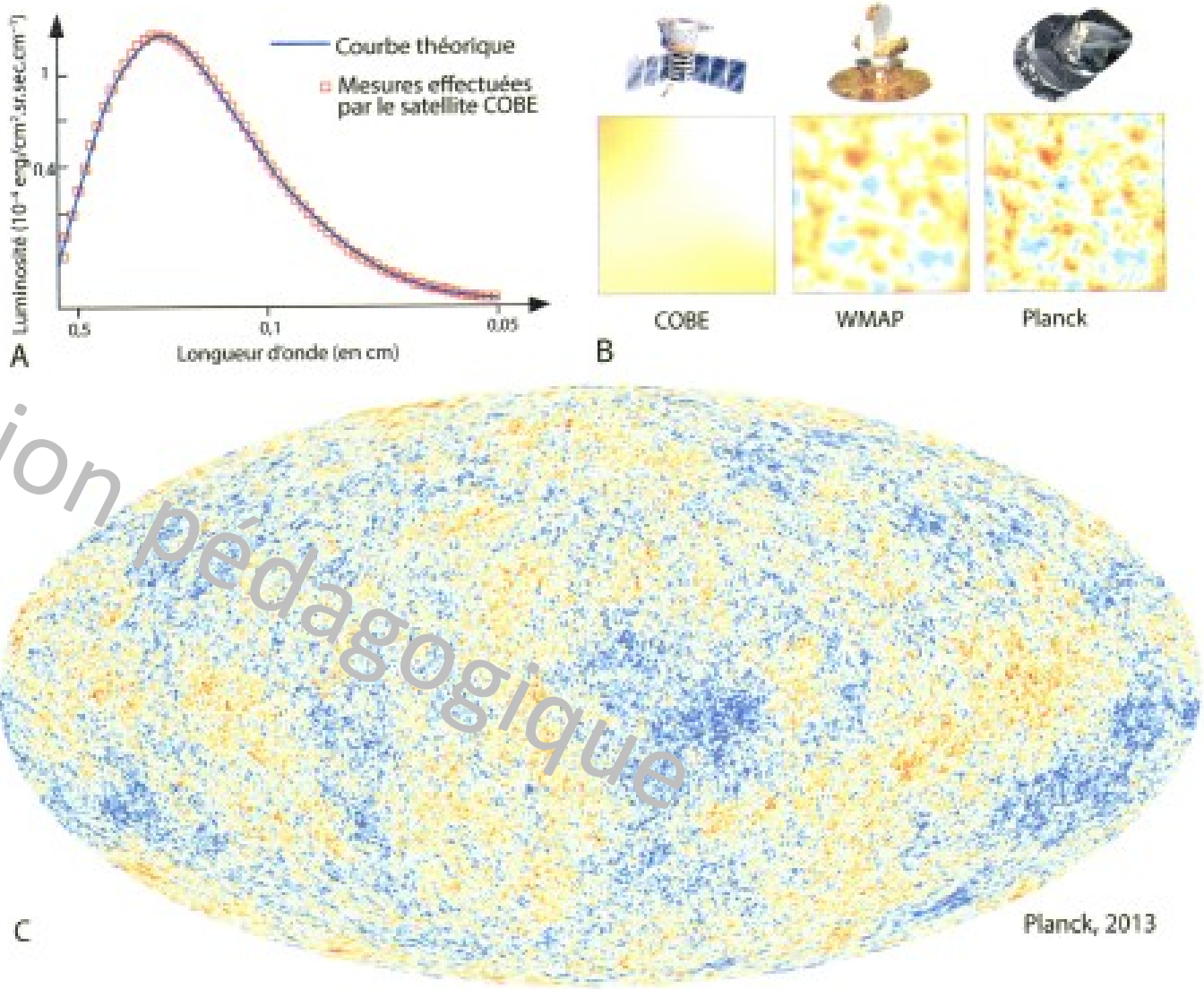
documentation pédagogique

- Fond cosmologique : rayonnement fossile

Fig. 1.8 : Le fond diffus cosmologique (rayonnement fossile)

- A: spectre électromagnétique enregistré par le satellite COBE
- B: comparaison du fond diffus enregistré par trois satellites
- C: carte du fond diffus (2013)

(Elément de géologie; Renard et al., Dunod)



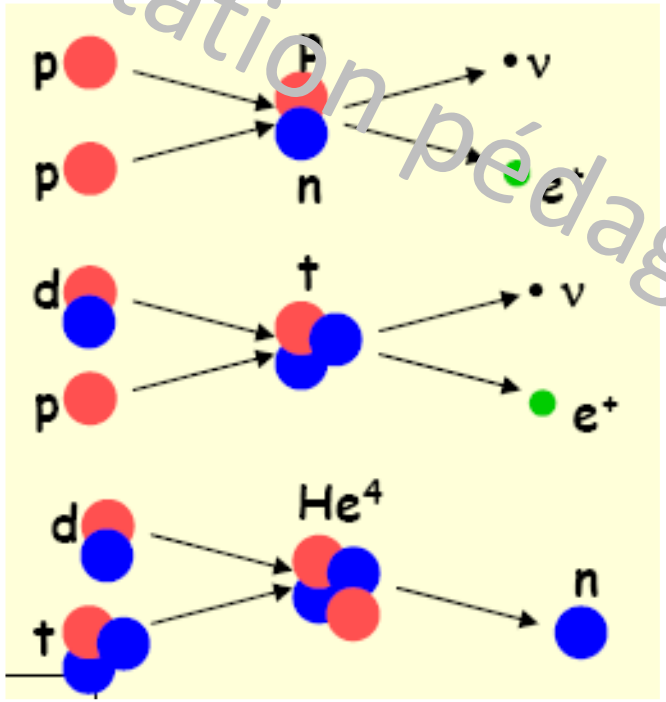
documentation pédagogique

1.2. La nucléosynthèse : fabrication des éléments chimiques

(a) phase cosmique : nucléosynthèse primordiale (formation des éléments légers)

- Rappel : après une seconde environ après le Big-Bang : les quarks se combinent 3 par 3 pour former les premiers nucléons (protons, neutron) – La température est tombée aux environs du Ma de degré, et l'énergie des particules devient comparable à celle qui lie les nucléons (donc ils ne sont pas détruits).

- On forme alors des noyaux de 1 à 4 nucléons (H, Deutérium (^{2}H), Hélium (^{3}He, ^{4}He) …) qui lorsque la température chute à 3 000K capturent des électrons, pour former des atomes.



$p + p \rightarrow d + e^+ + n$

$p + d \rightarrow t + e^+ + n$

$d + t \rightarrow He^4 + n$

Exemple de séquence de formation de noyau lors de la nucléosynthèse primordiale.

documentation pédagogique

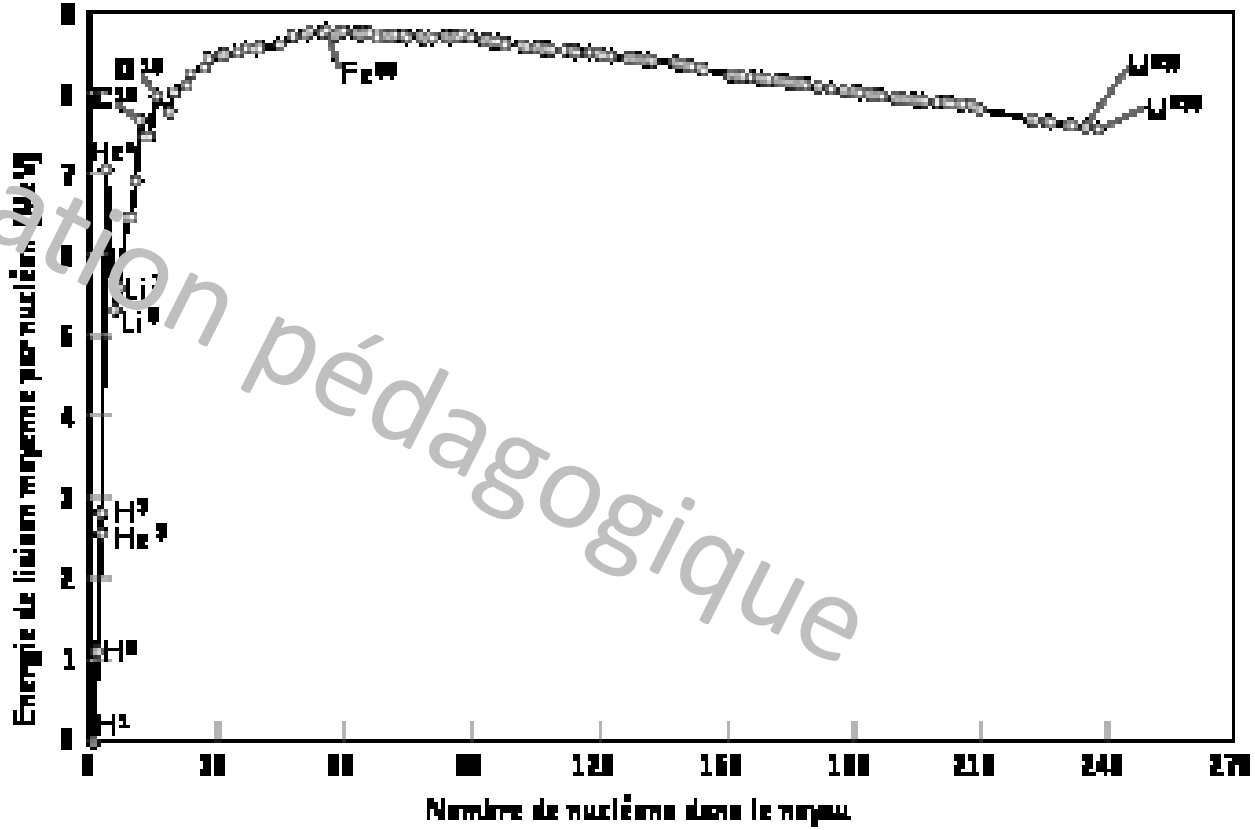
1.2. La nucléosynthèse : fabrication des éléments chimiques

(a) suite nucléosynthèse primordiale (formation des éléments légers)

- La nucléosynthèse s'arrête à ^{4}He car c'est un noyau très stable (grande énergie de liaison) et la température continue de décroitre ne favorisant pas ainsi la formation de noyau plus lourds (fusion s'arrête)

documentation pédagogique

Fig. 1.8 : Energie de liaison des nucléons en fonction du nombre de nucléons



- A 3000 K (400 000 ans après le Big-Bang), l'Univers est formé d'atomes de H, H_2 et He. C'est la fin de la nucléosynthèse primordiale

(b) phase stellaire : différentes types d'étoile et leurs évolutions (formation des éléments lourds)

- Une fois les électrons « capturés » pour former des atomes H, H_2 et He, l'Univers devient « transparent ». Ceci permet à la gravitation de vaincre la pression de la matière et du rayonnement. Les premières agrégations « gravitationnelles » apparaissent pour donner naissance aux galaxies.

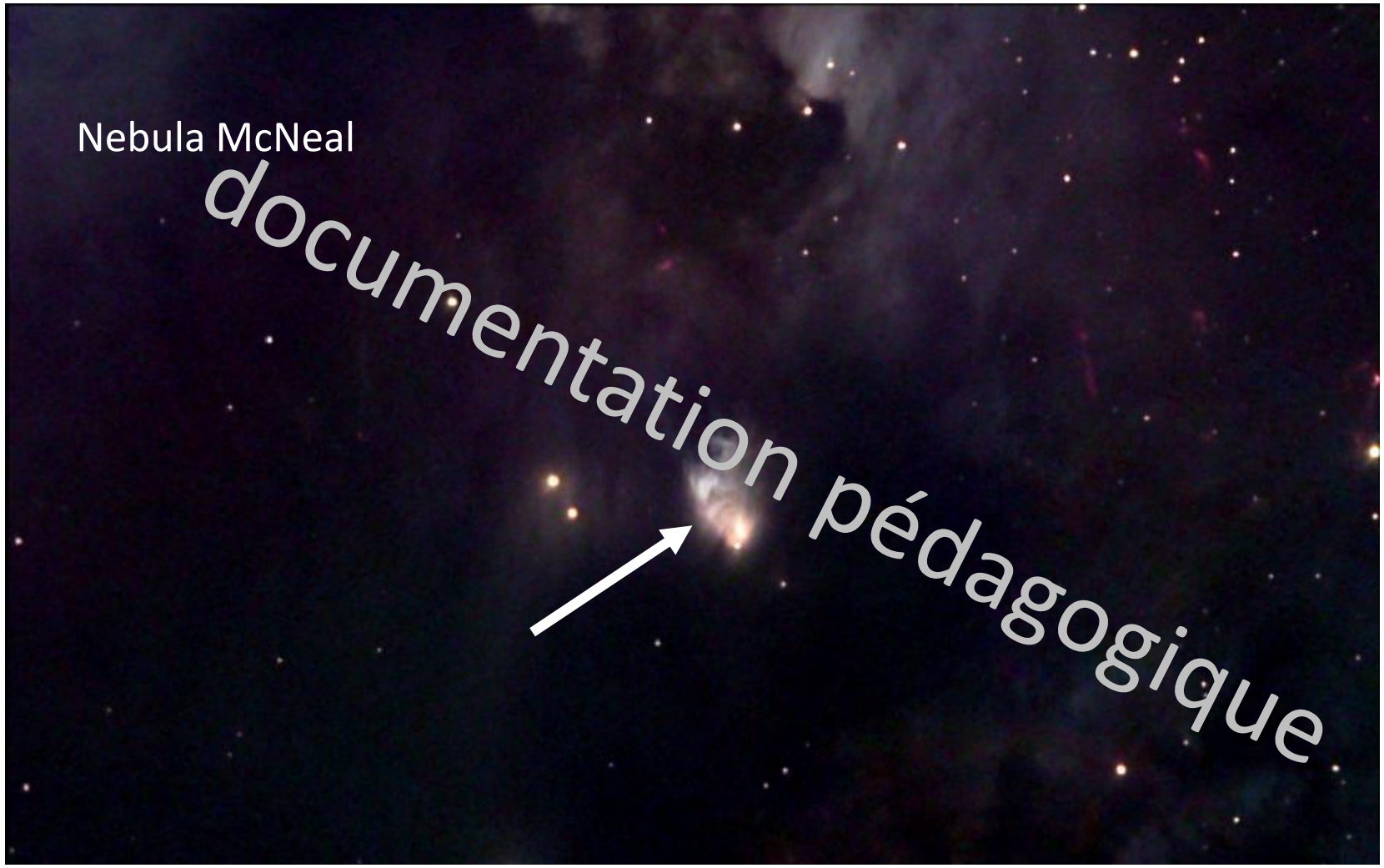
- Puis, dans les galaxies, les étoiles se forment dans des nuages interstellaires très froids donc optiquement opaques. Seuls les télescopes infrarouges permettent d'identifier leur lieu de naissance (points plus chauds que le nuage)

documentation pédagogique

Observation dans l'infr
constellation du Sagitt

(b) phase stellaire :

- croissance de la proto-étoile



- La chute de matière sur la proto-étoile est énergétique : émission de différentes radiations.
- La plupart des radiations observées sont de grande longueur d ’onde (infrarouge) car le nuage est transparent pour ces longueurs d ’onde.

(b) phase stellaire :

- croissance d'une proto-étoile : stade T-Tauri (jet de matière non accrété au pôles) : mêmes formations de noyaux que lors de la nucléosynthèse primordiale (car augmentation de T dûe à la condensation) – Durée de ce stade : assez court. Dans le cas du Soleil : 15 Ma.

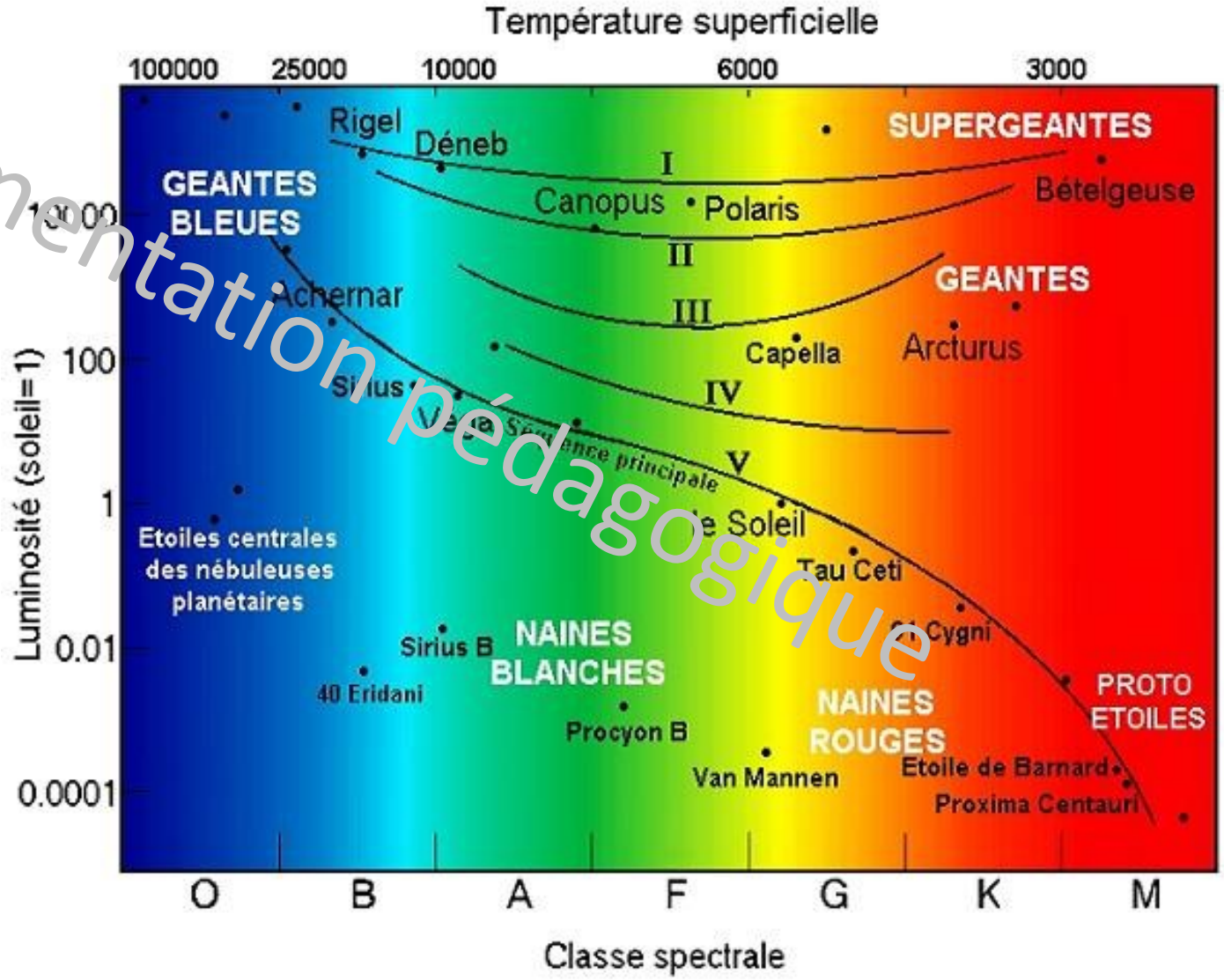
documentation pédagogique

- Une fois que son rayon et sa température (de surface et au cœur) sont stables aussi : l'étoile est à l'équilibre stationnaire de la réaction de fusion de H en He. L'étoile rentre alors sur la séquence principale

(b) phase stellaire : différentes types d'étoile et leurs évolutions (formation des éléments lourds)

- Différents types d'étoiles : classées selon leur luminosité et leur couleur spectrale (associée à une température de surface) : c'est le diagramme de Hertzsprung-Russel (HR)

Diagramme de Hertzsprung-Russel



documentation pédagogique

(b) phase stellaire : exemple de l'histoire et évolution d'une étoile de faible masse, comme le soleil dans le diagramme HR

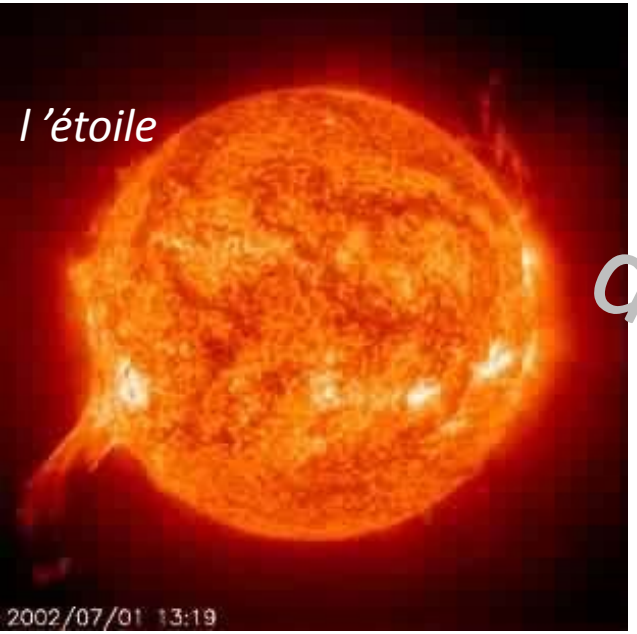
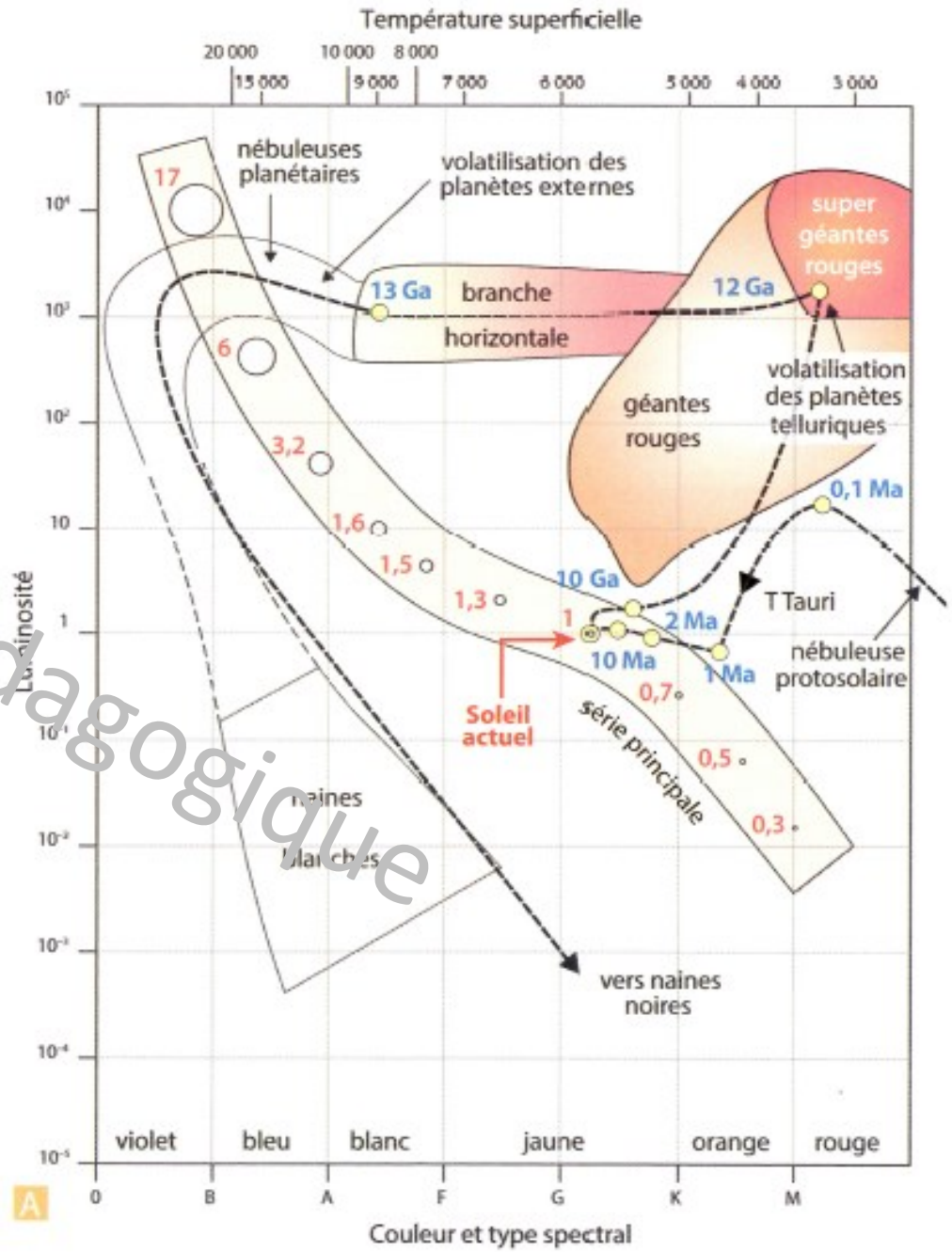


Fig. 1.9 : Trajet de notre étoile (Le soleil) dans le diagramme d'Hertzsprung-Russel

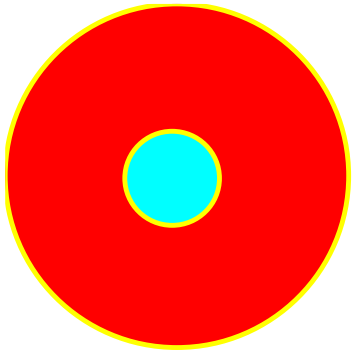
(Elément de géologie; Renard et al., Dunod)

Les nébuleuses planétaires dispersent des éléments légers dans les nuages interstellaires



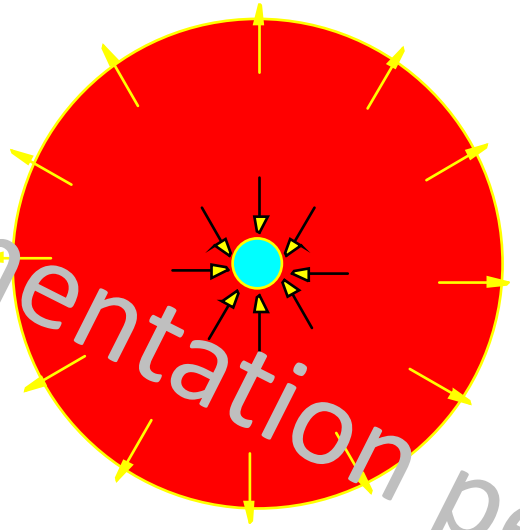
documentation pédagogique

(b) phase stellaire : réaction nucléaires s'opérant pendant la vie d'une étoile de faible masse (ex : le soleil)



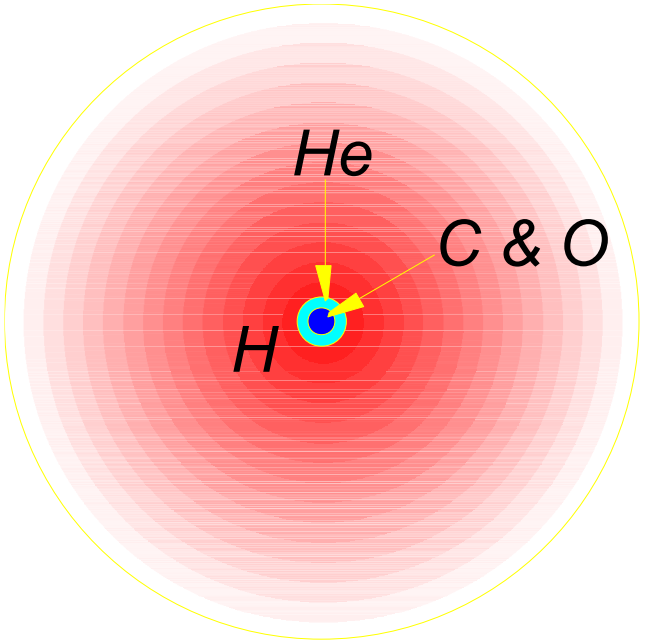
Sur la séquence principale:

- Fusion de H pour donner He
- Equilibre gravitation/pression de rayonnement



Fin de combustion de H :

- Contraction du cœur (augmentation de T et début de fusion de He)
- Combustion de H dans les couches superficielles car augmentation de T
- Inflation de l'étoile en géante rouge

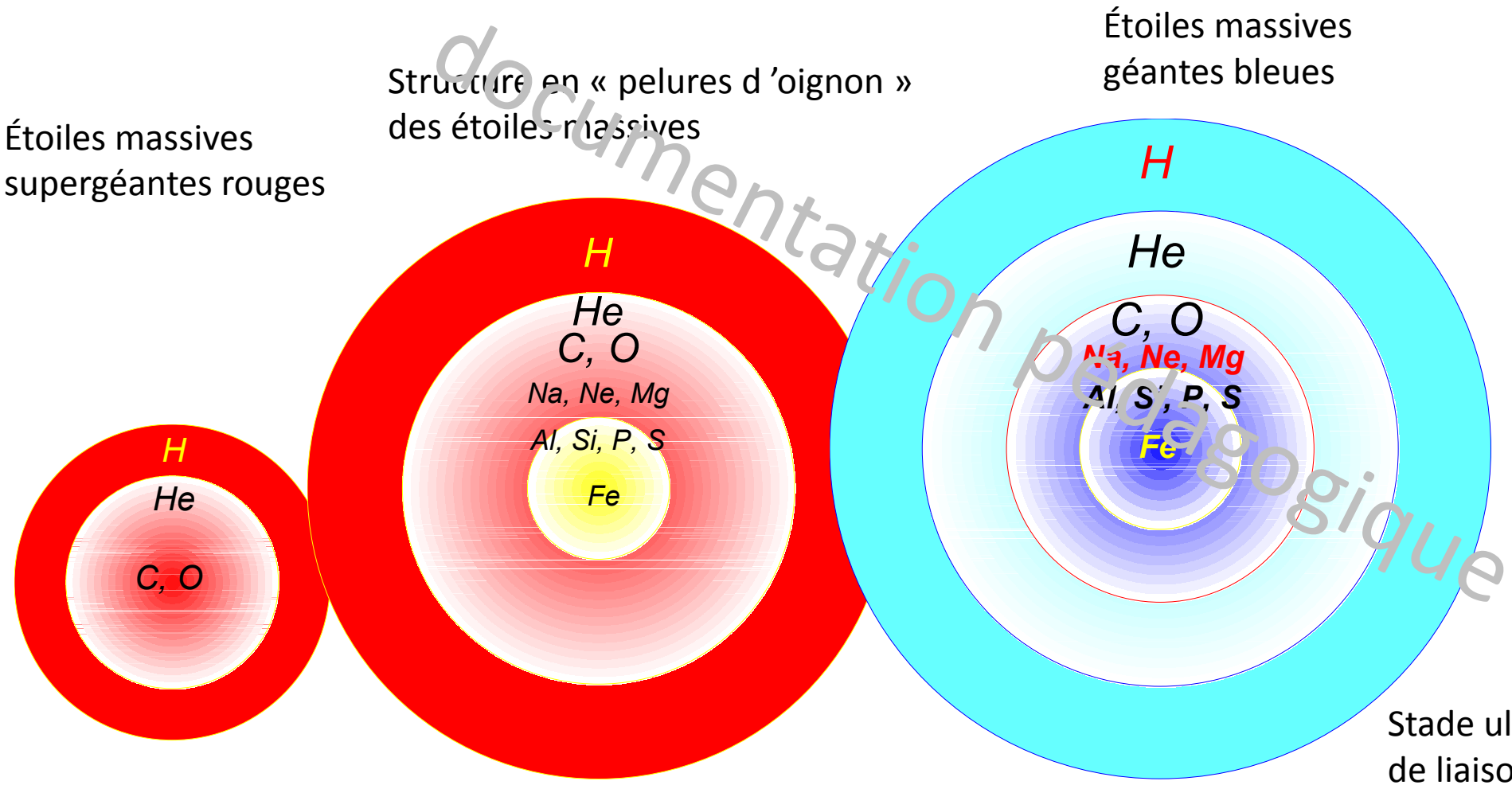


Structure en « pelures » d'oignons d'une géante rouge

Apres une centaine de millions d 'années, la géante rouge évolue vers le stade naine blanche. Elle aura perdu ses enveloppes externes (nébuleuse planétaire)

documentation pédagogique

(b) phase stellaire : réaction nucléaires s'opérant pendant la vie d'une étoile massive (de H à Fe)



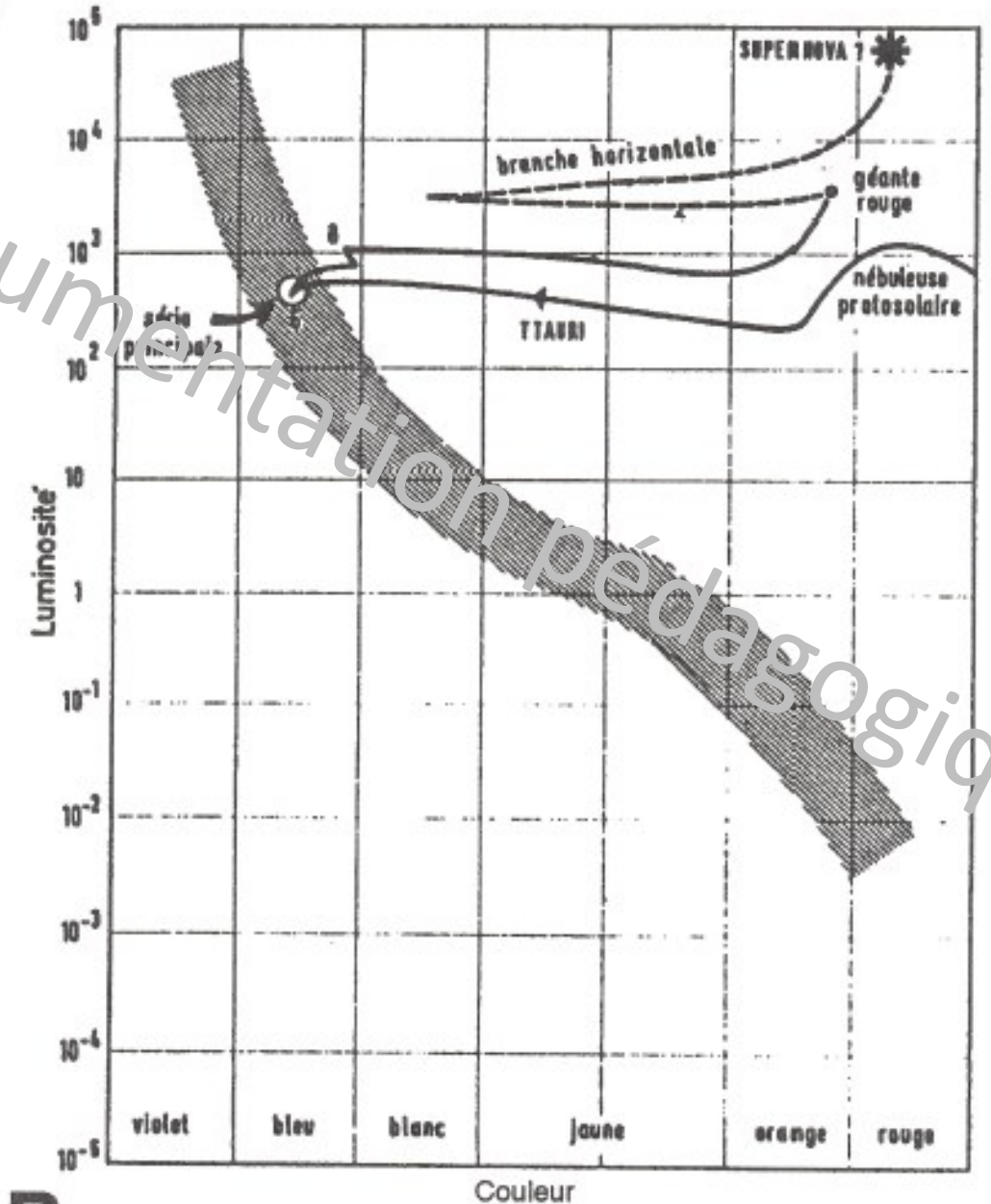
documentation pédagogique

Temps de combustions :
H ~ 10^7 – 10^{10} *ans*
He ~ 10^6 – 10^8 *ans*
C ~ 300 *ans*
Ne ~ 1 *an*
O ~ 8 *mois*
Si ~ 4 *jours*

Stade ultime : Fe (nucléon à l'énergie de liaison la plus élevée ; donc ne peut être détruit ou participer à une réaction de fusion dans une étoile).

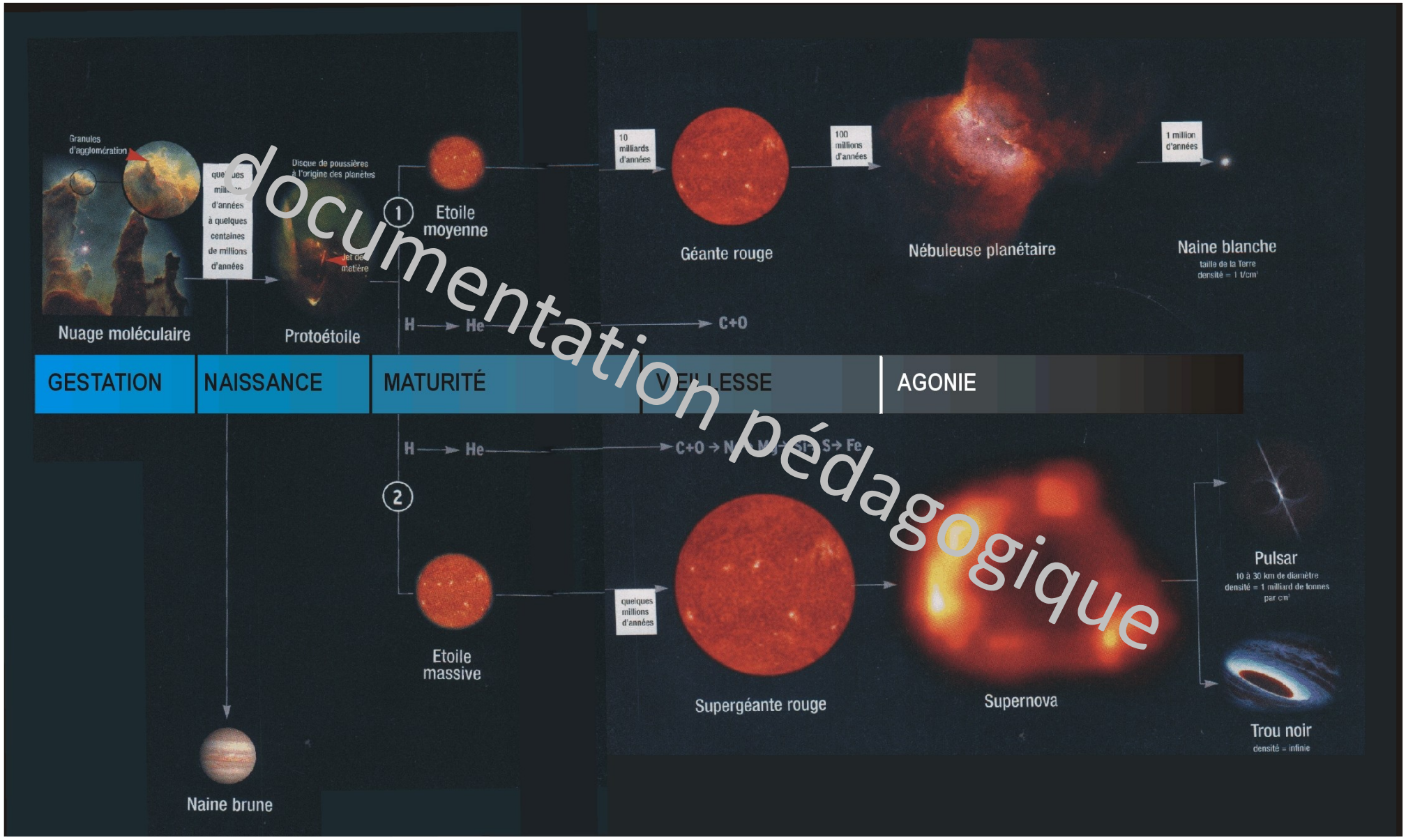
(b) phase stellaire : exemple de l'histoire et évolution d'une étoile massive dans le diagramme HR

Le destin d'une étoile massive



documentation pédagogique

(b) phase stellaire : vie et mort des étoiles



documentation pédagogique

(b) phase stellaire : qu'est ce qu'une supernovæ et les éléments qu'elle permet de fabriquer ?

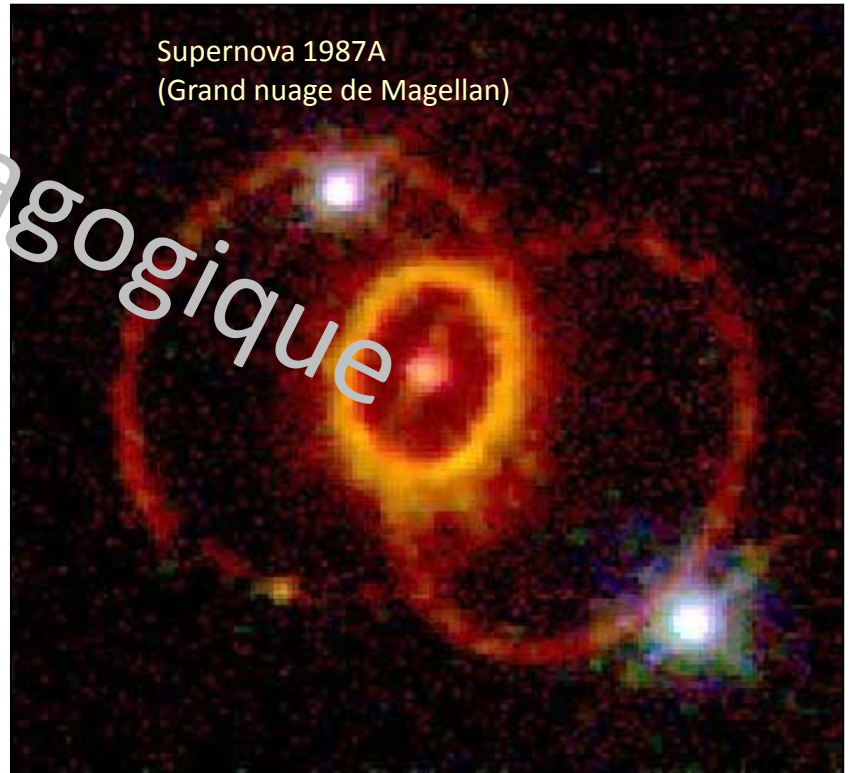
- Une supernovæ est l'explosion d'une étoile massive

- Le cœur en fer de l 'étoile se contracte (T du cœur peut dépasser 15 Ga de °C), protons et électrons fusionnent en donnant des neutrons tandis que l'onde de choc souffle les couches externes

- Si l 'étoile fait plus que 25 masses solaires, les couches externes s'effondrent sur l 'étoile à neutrons qui devient un TROU NOIR.

- Durant les premières 15 minutes, le nombre de neutrons augmente très vite (formés par la destruction des noyaux lourds)

- Certains neutrons se combinent avec le fer et donnent des éléments plus lourds. De nouveaux noyaux atomiques sont formés mais en faibles quantités car ce processus dure peu de temps.



Permet de fabriquer des éléments plus lourds que Fe (Z=26) : ceux qu'on retrouve sur la Terre (Uranium avec Z=92 par exemple).

Notre soleil s'est donc fabriqué à partir des restes d'une supernovæ

documentation pédagogique

(b) phase stellaire : éléments fabriqués dans une supernovae?

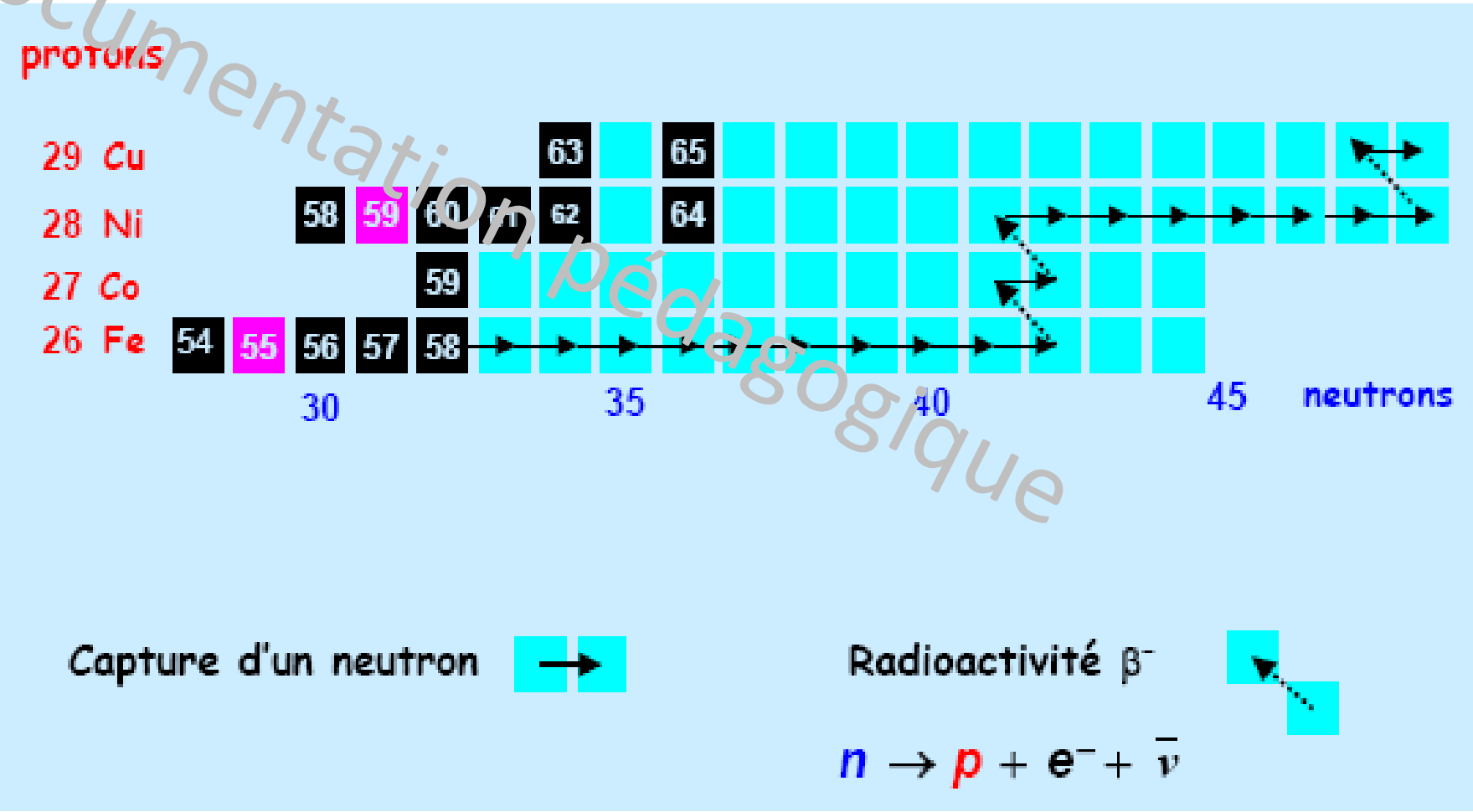
Par capture de neutron et radioactivité β^- : possible de former des noyau beaucoup plus lourds que Fe (Z=26).

Supernova 1987A
(Grand nuage de Magellan)

Quand il y a beaucoup de neutrons, le noyau a le temps d 'en capturer un grand nombre avant que la désintégration β ne le ramène vers la vallée de stabilité: c'est ce qu'on appelle processus rapide (r).

documentation pédagogique

Fig. 1.10 : Schéma de capture de neutron et radioactivité β^- expliquant la formation d'éléments plus lourds que le fer suite à l'explosion d'une étoile très massive en supernovæ.

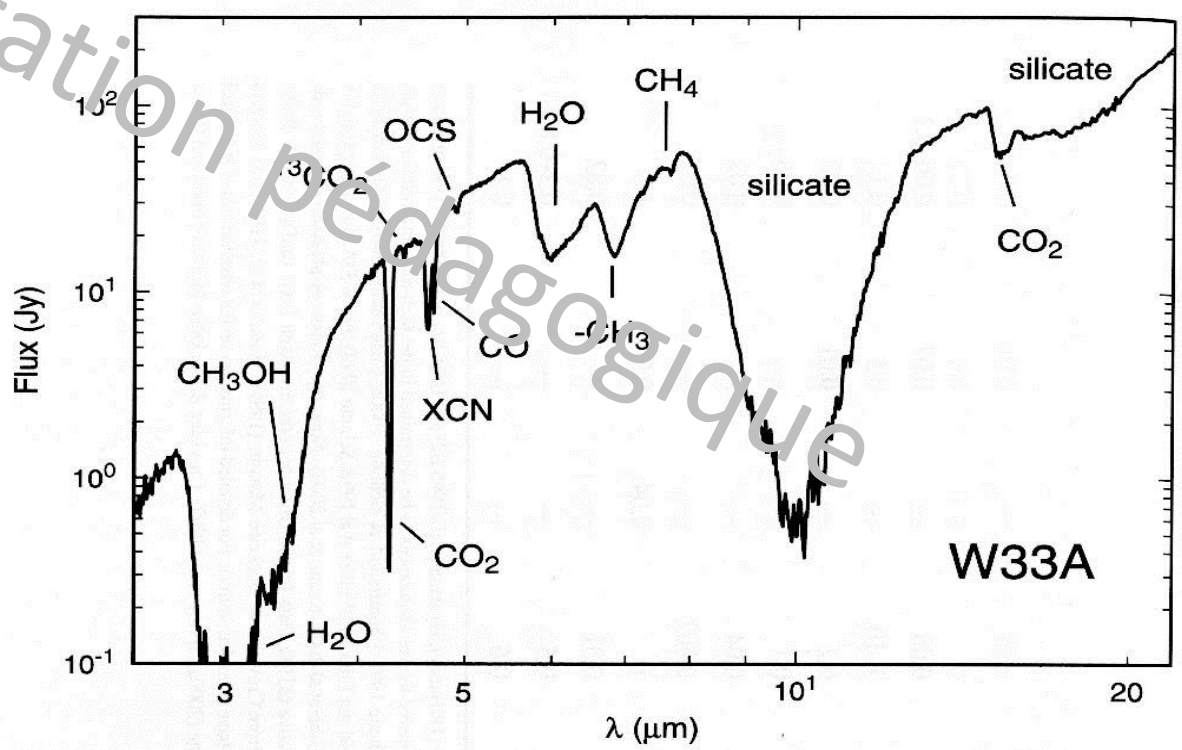


(c) phase interstellaire

- La radioastronomie a mis en évidence des poussières interstellaires (entre les étoiles) : des restes des supernovæ et des nébuleuses planétaires dont la température est tombée à quelque dizaine de degré kelvin (rappel: 0 K=-273 °C)

- Fabrication à partir de H et de noyaux plus lourds (tel que O, C, S, N) de molécules complexes (eau, ammoniac, méthane, hydrocarbures) emprisonnées dans des couches de glaces et de poussières….peut-être les premiers maillons vers l'apparition de la vie.

documentation pédagogique



La synthèse interstellaire à *3K*

(c) phase interstellaire

- Dans le milieu interstellaire, en plus des molécules complexes, fabrication de nouveaux noyaux entre les étoiles.

- Ils le sont sous l'action des rayons cosmiques qui fragmentent les noyaux de C, N et O : c'est le cas de Li (lithium; Z=3), Be (béryllium; Z=4) et le bore (B; Z=5)).

- Ces éléments, même s'ils sont légers, sont 10^8 fois moins abondants que H et He.

- On dit que ces éléments « légers » sont formés par spallation.

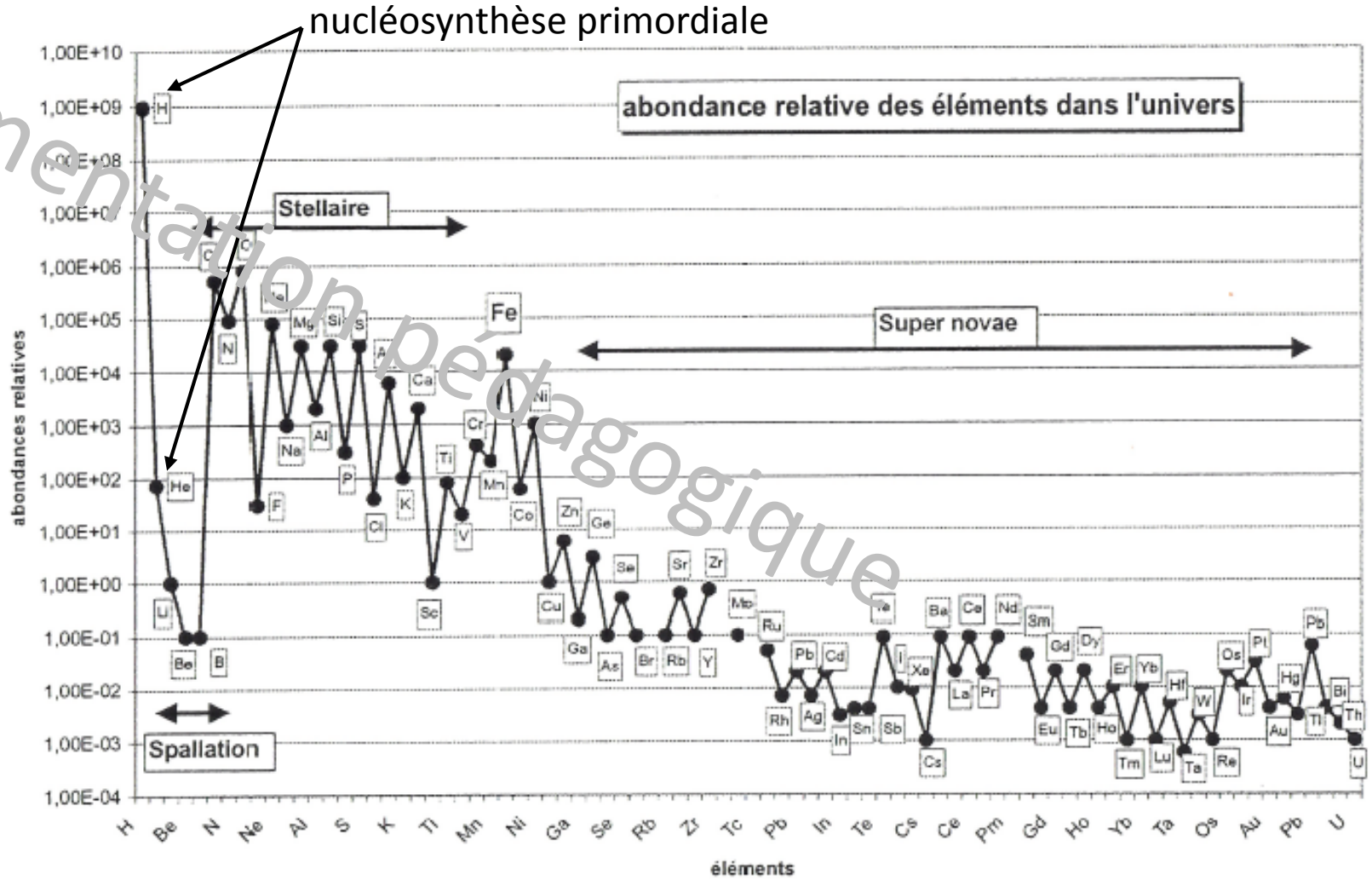
documentation pédagogique

(d) récapitulatif sur la nucléosynthèse

L ’Univers est formé essentiellement de H (l ’atome le plus simple: 1p + 1e) et de He (2p + 2n + 2e).
10 millions de fois moins de Ca que de H.

documentation pédagogique

Fig. 1.11 : Abondance relative des éléments dans l’Univers et leurs modes de formation



CE QU'IL FAUT SAVOIR : questions typiques :

- Définitions des unités de distances dans l'Univers (unité astronomique, année-lumière, parsec).
- Savoir ce qu'est la loi de Hubble et connaitre l'ordre de grandeur de l'âge de l'Univers.

- Savoir ce qu'est un diagramme HR.
- Retracer dans un diagramme HR l'évolution d'une étoile, soit de même masse que le soleil, soit massive, dans un diagramme HR.

- Connaitre les éléments qui se forment pendant la nucléosynthèse primordiale.
- Connaitre les éléments qui se forment dans une étoile, en fonction de sa masse.
- Où se forment les éléments tels que Li, Be et B.

documentation pédagogique

Atomes et molécules sont dispersés dans les nuages
interstellaires. L ’effondrement gravitaire de ces nuages
est à l ’origine de la formation de nouvelles étoiles….

documentation pédagogique

PROCHAIN COURS:

Chapitre 2 : STRUCTURE ET FORMATION DU SYSTÈME SOLAIRE