

Matériel pédagogique pour les écoles

Huit unités d'enseignement pour différents niveaux scolaires

Le matériel pédagogique vient compléter l'animation du planétarium de l'ASE «des milliards de soleils – sur la route des étoiles» ; celui-ci a été conçu en collaboration avec WIS [le savoir à l'école !] et rendu possible grâce au soutien financier généreux d'AIRBUS Défense et Espace (anciennement Astrium). Nous remercions les auteurs pour le traitement riche des thèmes et le sponsor pour son aimable soutien.



Introduction à la mission de Gaia

Exigences quant à l'architecture de Gaia

Par Vincent Poinsignoin, chef de projet de Gaia chez Airbus Défence et Espace

Gaia, le télescope spatial le plus avancé jamais construit en Europe, établira la carte la plus détaillée de notre galaxie, la Voie Lactée, et révélera des régions non connues à ce jour. La mission de Gaia répond à un objectif encore plus profond : comprendre les origines et l'évolution de l'Univers.

Gaia va cartographier un milliard d'étoiles situées au cœur de notre galaxie, en les observant environ 70 fois sur une durée de 5 ans que durera la mission, enregistrant les vitesses et les positions, dont leur distance depuis la Terre ainsi que leur luminosité.

En combinant toutes ces observations selon un traitement au sol très complexe, Gaia fournira enfin des mesures extrêmement précises : depuis la Lune, ce serait comme mesurer l'angle d'un pouce d'une personne sur la Terre!

En utilisant de nouveau le concept d'astronomie mondiale démontrée avec succès par l'engin spatial Hipparcos construit par Astrium et lancé en 1989, la charge utile de Gaia comporte deux grands télescopes qui observent simultanément deux directions séparées par « l'angle de base » de 106.5° . Ce concept optique, breveté par Astrium, permet de combiner les deux directions optiques vers un seul plan focal où les champs observés se superposent tout en étant capable de distinguer la direction de chaque cliché stellaire.

Pour traiter ces faisceaux optiques imbriqués, les premiers défis opto-mécaniques ont été de définir un panneau repliable capable de contenir le diamètre du véhicule spatial tout entier dans le carénage du lanceur Soyuz, et de concevoir une structure permettant d'éviter les faisceaux optiques. Cela a été accompli grâce à un concept original de banc d'optique, où 10 miroirs de l'agencement optique et le plan focal commun sont suspendus à une structure torique. Les instruments de Gaia bénéficient d'une expertise unique en interne dans le domaine de la technologie du carbure de silicium utilisée sur tous les télescopes ou les instruments développés et construits par Astrium. Tous les miroirs, la structure de plan focal, les supports des détecteurs et la structure principale primaire sont faits de carbure de silicium, la seule condition pour assurer la stabilité optique très contraignante. Un dispositif interférométrique est monté sur les télescopes pour surveiller en permanence tout au long de la mission la stabilité de l'angle de base avec une précision d'environ une microseconde de degré.

En mêlant les trois différents types de mesure en astrométrie, photométrie et spectrométrie pour les besoins scientifiques de Gaia, le plan focal est un capteur gigantesque d'un milliard de pixels, avec 106 détecteurs CCD de 9 millions de pixels chacun, distribués sur un plan focal d' 1 m^2 . Gaia détectera des étoiles de façon autonome avec une capacité de 10 000 étoiles par seconde, grâce à un processus d'intégration mêlant un matériel informatique et un logiciel d'une puissance de 7 000 Mips.

La conception du télescope Gaia répond également à deux exigences :

La première est de maintenir la température des détecteurs à -110°C , qui conduit à un refroidissement de la charge utile à -150°C . Cette contrainte est imposée pour minimiser les effets produits par les radiations spatiales sur les détecteurs, qui sont préjudiciables à la précision astrométrique.

La seconde exigence est de maintenir la stabilité de l'angle entre les deux lignes de vue, « l'angle de base » en une microseconde de degré.

Pour réaliser une telle performance, la charge utile de Gaia a besoin d'être extrêmement stable d'un point de vue thermique et mécanique, puis d'être isolée le plus possible des perturbations externes environnementales.

Une isolation ultime contre les rayons solaires est obtenue par l'effet cumulé d'un pare-soleil déplorable, qui maintient la charge utile dans l'ombre solaire, une structure en fibre de carbone recouvrant la charge utile et enfin plusieurs couches d'isolation sur l'ossature de la charge utile. La température est de +70°C du côté ensoleillé du pare-soleil, la température ambiante de la charge utile est de -150°C et est extrêmement stable à +/-5 micro° C. Puis, grâce à la combinaison d'une conductivité thermique élevée et une faible dilatation thermique du carbure de silicium, la stabilité mécanique de l'ensemble opto-mécanique se situe dans une échelle de quelques picomètres, permettant d'obtenir la stabilité angulaire requise dans une échelle de quelques pico-radians !

Par ailleurs, la charge utile est mise à distance des perturbations mécaniques et thermiques des autres parties du véhicule spatial grâce à une fibre de verre isostatique très souple qui est liée à des bipodes en fibre de verre. Etant donné que celles-ci ne peuvent supporter les charges de lancement, elles sont renforcées par des bipodes en fibre de verre plus rigides qui sont libérés une fois en orbite.

Enfin, dernier élément non des moindres : une autre nécessité est de contrôler la vitesse de balayage de la ligne de vision avec une précision d'une milliseconde de degré/seconde, afin de ne pas brouiller les images stellaires sur les détecteurs.

Non accessible aux systèmes de propulsion classiques, le véhicule spatial Gaia se lance dans un dispositif de contrôle « micro-propulsion » à faible perturbations pour le mode opérationnel, basé sur des propulseurs à gaz froid qui permettent une précision en micronewton. Toute partie mobile dans le véhicule spatial Gaia a été également interdite, ce qui impose l'utilisation d'une antenne active orientant électroniquement le flux de communication vers la Terre, décrivant un cône de 45 degrés au-delà de l'axe de rotation de Gaia. Les données scientifiques transmises aux stations terrestres à une vitesse moyenne journalière de 100 Go, vont cumuler jusqu'à 1 Peta-octet (1000 To) après 5 ans de mission. [Janvier 2014]

.....

Vincent Poinsignon est le chef de projet chez AIRBUS Défense et Espace (anciennement Astrium). Astrium était chargé auprès de l'Agence Spatiale Européenne ASE du développement et de la conception du satellite Gaia. En tant que responsable du système, Astrium a coordonné environ 50 fournisseurs dans toute l'Europe et un budget d'environ 500 millions d'euros. Le satellite Gaia a été principalement fabriqué à Toulouse puis testé à de nombreux endroits, avant d'être lancé le 19 décembre 2013 à 9:12 UTC du Centre Spatial Européen de Kourou (Guyane française).

Astrium a été rebaptisé dans le cadre d'une restructuration d'entreprise le 1er janvier 2014 sous le nom d'AIRBUS Défense et Espace

Gaia – La carte révolutionnaire de la Voie Lactée

Relativement au court communiqué d'un article en ligne de SuW 1/2014 et par ailleurs en référence à des articles 5/2013, SuW 6/2013 et SuW 10/2013 et s'inspirant du programme planétaire pour la mission Gaia

Par Cecilia Scorza, Dirk Brockmann-Behnsen, Olaf Hofschulz, Olaf Fischer

Si l'on compare les cartes du monde du Moyen-Âge avec celles d'aujourd'hui, on constate alors de fortes différences. La précision des cartes a augmenté brusquement avec les nouvelles possibilités de la détermination des positions. On entend par là le bond de la précision, qui a été rendu possible grâce à la détermination de la longitude en utilisant une plus longue période de temps continu. Il en est de même avec la cartographie du système de la Voie Lactée. Actuellement, nous sommes sur le point de révolutionner la carte de notre Voie Lactée. Les observatoires spatiaux tels que Gaia rendent cela possible. L'objectif de WIS est de lier certains aspects de la mission Gaia avec des contenus scolaires et de les rendre chacun compréhensibles grâce à de nombreuses activités pour les étudiants.

Aperçus des références des apports de WIS		
Physique	Mécanique, optique, physique quantique	Champ de gravitation, force centrale , force de gravitation, addition de forces, points de Lagrange, mouvement rectiligne uniforme d'un objet, trajet de la lumière sur le miroir , addition de couleur, appareil photo numérique
Astronomie	Histoire de l'astronomie, astronomie de position, système solaire, étoiles, aérospatiale, pratique de l'astronomie	coordonnées astronomiques, constellations , étoiles (distances , couleurs, types spectraux), amas d'étoiles, évolution des étoiles, système de la Voie Lactée (structure , éléments constitutifs), détermination de la distance trigonométrique, chandelles standards, parallaxe annuelle, astrométrie, caméra CCD astronomique, direction de la lumière dans le télescope, téléscopes spatiaux et leurs positions
Disciplines connexes	Astromathématique Astrotechnique Histoire de l'astronomie	coordonnées , calcul de la surface, fonctions quadratiques inverses, intersection des fonctions, trigonométrie , relation entre la longueur de l'arc et l'angle, parallaxe (relative et absolue), caméra CCD, lien entre le développement technologique, les réflexions et les connaissances scientifiques.
Connaissances générales	Compétences (Savoir et acquisition des connaissances), matériel d'enseignement	Évaluation des photos, estimation des grandeurs, conversion à l'échelle, méthodes de recherche astronomiques, travail avec les logiciels pour simuler l'apparence du ciel et de la zone imagée par la caméra CCD, potentiel des missions des satellites pour l'acquisition des connaissances, tâche de tri, analogies, textes à trous, feuille de découpage, manuel de construction, sources pour les exposés des élèves



Figure 1: La carte de l'Europe Mercator de 1589 diffère de manière significative dans les régions éloignées des cartes de l'Europe d'aujourd'hui. De même, Gaia modifiera la carte existante du système de la Voie Lactée (images : carte :

Gaia

La carte révolutionnaire de la Voie Lactée

1. Histoire: [image de la Voie Lactée au cours du temps](#)
2. Astronomie: [distance de la Voie Lactée jusqu'aux étoiles](#)
3. Astronautique: [Lagrange 2 – adresse de Gaia dans l'univers](#)
4. Technique: [l'apparence de Gaia dans le modèle](#)
5. Technique: [système télescopique de Gaia](#)
6. Technique/Informatique: [caméra gigapixel](#)
7. Mathématiques: [Détermination de la distance – parallaxes relatives et absolues](#)
8. Astronomie: [Gaia et nos connaissances des étoiles](#)

[\(→retour au début\)](#)

1. Vision du monde de la Voie Lactée à travers les époques

(Olaf Fischer)

Pour la plupart d'entre nous, nous avons perçu des dimensions fausses de notre environnement dans notre enfance. L'environnement apparaît souvent beaucoup plus grand pour les capacités de perception de l'enfant. C'est ce qui s'est produit pour les astronomes lors de l'observation du système de la Voie Lactée – notre environnement cosmique. Ce changement est lié au développement des possibilités d'observation (techniques de mesure), des modes de pensée (paradigmes) et de la rupture des « blocages de pensée » de l'époque. Ci-dessous nous présenterons dans une section historique quelques étapes importantes de la connaissance de la taille et de la construction de notre « Voie Lactée » (**tâche de tri**). Une autre section présentera, selon une analogie, les difficultés des astronomes à décrire le système de la Voie Lactée qu'ils peuvent observer seulement de l'intérieur (**analogie**).

Tâche de tri

Ordonne les différents blocs de données ci-après (époque, personnes, évolution ; voir la figure ci-dessous) dans leur ordre chronologique et selon leur appartenance (à gauche : le temps ; au milieu : les personnes si elles sont présentes ; à droite : les progrès des technologies, l'évolution de la pensée et de la science). Puis dessine sur une page A4 vierge à gauche de haut en bas la ligne du temps qui s'écoule de haut en bas (voir la figure ci-dessous à droite). Découpe maintenant tous les blocs de données (page suivante) pour la tâche de tri. Colle les blocs de données sur les indications de temps dans le bon ordre. Puis vient la partie difficile. Ordonne sur les indications de temps les événements et les évolutions (ne colle pas encore). Recherche ce qui correspond aux personnes concernées par ces évolutions. Vérifie l'ordre avant de tout coller. Réfléchis dans quel contexte (dans quelle logique) de grandes découvertes et de pensées, les nouvelles connaissances ont donné naissance à la Voie Lactée. Tes connaissances du **programme d'histoire** te seront demandées.

Figure suivante : voir annexe 1

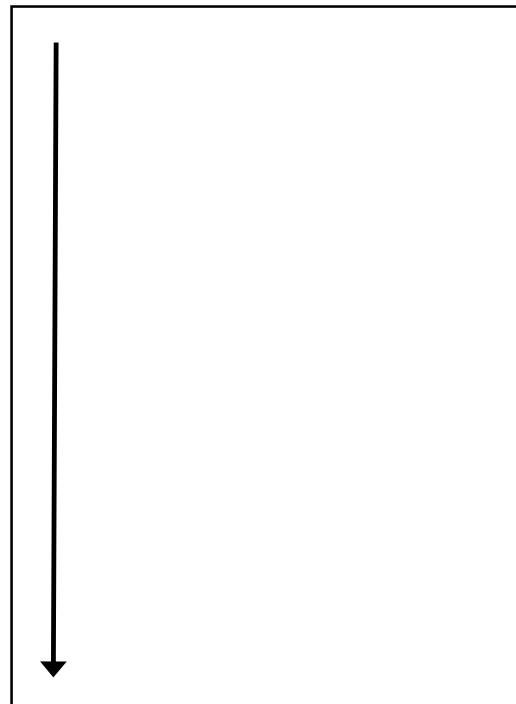
Faktenblätter für Sortieraufgabe

1838	ab 1450	2006	1608	1728	1960er	1684	1712	1939
Mitte 15. Jh.	1920	1609	1618 - 1648	1543	1950er	ab 1990er	1785	2010
ab 1992								

Personen: Giordano Bruno, James Bradley, Friedrich Wilhelm Bessel, Wilhelm Herschel, Harlow Shapley, Heber Curtis, Nikolaus Kopernikus, Galileo Galilei

Erfindungen und Technologien: Der holländische Brillenmacher Hans Lippershey baut das erste Fernrohr (holländisches Fernrohr), Verwendung von beweglichen Lettern aus Metall für den Buchdruck, Mit Hilfe der Weltraumteleskope Fern werden im Sonnensystembereich zwei neue „Berge“ (Mars: Olympus Mons, der als der Höhe des Mount Everest gemessen wird; Venus und Venusberg) entdeckt (Dag Friborg, Hektor G. Linderholm, Center for Astrobiology).

Wissenschaftliche Erkenntnisse: Anfänge der industriellen Revolution in Großbritannien, erste verwendbare Dampfmaschine (Thomas Newcomen), viele Erfindungen, Erste Fernrohrbeobachtung zeigt, dass die Milchstraße aus Sternen besteht, Entwicklung von Funkortungsanlagen (RADAR) zu Kriegszwecken (2. Weltkrieg), Erste Entdeckung der Galaxien (1924) (von der 19. bis zur 20. Jh.), am 1. April 1924: erste Entdeckung einer anderen Galaxie (die Andromeda-Galaxie), Erste malige Herstellung von angeblähtem, klar durchsichtigem Glas in Europa (Idee: Angelo Barovier), Verifizierung der Idee vom heliozentrischen Weltbild, Heutige größte Teleskope (mit Hilfe von adaptiver Optik) von Weltraum nahem galaktischen Zentrum in nahen Infrarot (Naher: einer supermassiven Schwarzen Loch im Zentrum des Milchstraßensystems), Bau und Nutzung großer Spiegelteleskope: Mit Hilfe der Spiegelteleskope die Spiegelform der Sonne im Zentrum, Radiobeaobachtungen zeigen die Spiralstruktur des Milchstraßensystems, Anzeichen von Infrarotstrahlung der Weltraumteleskope (1968) durch Astronomen der Universität von Michigan zeigen, dass das Milchstraßensystem eine leuchtende Scheibe (galaktische Scheibe) hat, Die Entwicklung von Sensoren für Infrarotstrahlung (seit den 50-ern für das Militär) führt zur Entdeckung der Infrarotstrahlung, Bestätigung der Rotationsgeschwindigkeit des inneren endlichen Geschwindigen ausstrahlen Licht der Sterne von der sich bewegenden Seite (Abstand) auf der Seite nach der Entdeckung, Infrarot-Mikroskopie hat große Bedeutung für die Astronomie, Spektralanalyse (Spektralanalyse) hat große Bedeutung für die Astronomie, Spektralanalyse (Spektralanalyse) hat große Bedeutung für die Astronomie.



Blocs de faits pour la tâche de tri

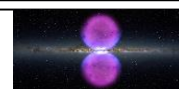
1838	Après 1450	A p. 2005	1608	1728	À partir de 1960	1584	1712	1939 - 1945
Milieu du 15 ^e s.	1920	1609	1618 - 1648	1543	A partir de 1950	A p. de	1785	2010
A partir de 1992							Galileo Galilei	

Giordano Bruno 	James Bradley	Friedrich Wilhelm Bessel 
Wilhelm Herschel 	Harlow Shapley Heber Curtis  	Nicolas Copernic 

Le lunetier hollandais Hans Lippershey fabrique le premier télescope (télescope hollandais)

Utilisation de caractères mobiles en métal pour l'impression typographique.

A l'aide du télescope spatial Fermi, deux énormes boules d'énergie sont découvertes dans la région des rayons gamma qui se dressent au centre de la Voie Lactée au nord et au sud (Doug Finkbeiner, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics).



Début de la révolution industrielle en GB, première machine à vapeur (Thomas Newcomen), nombreuses découvertes

Guerre années 30

La première observation au télescope montre que la Voie Lactée est composée d'étoiles



Développement de dispositifs de radio-tracking (RADAR) pour la guerre (2^e guerre mondiale)

Le développement de l'optique adaptative (depuis les années 70 pour l'armée) permet des observations iques

Détermination initiale d'une parallaxe stellaire fixe de l'étoile 61 Cygni

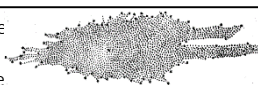
Première fabrication de verres transparents clairs en Europe (idée : Angelo Barovier)

Publication de l'idée d'une carte du monde héliocentrique

Observations à haute résolution (à l'aide d'une optique adaptative) des étoiles près du centre galactique dans le proche infrarouge : preuve d'un trou noir gigantesque au centre de la Voie Lactée



Fabrication et utilisation de grands télescope réflecteurs : la Voie Lactée telle un amas d'étoiles lenticulaires avec le Soleil au centre



Les observations radios montrent une structure de la Voie Lactée en spirale



L'analyse des images infrarouges du télescope spatial Spitzer par les astronomes de l'Université de Wisconsin-Madison, montre que la Voie Lactée est une galaxie en forme de spirale à deux bras (et non une galaxie en spirale régulière).



Le développement de capteurs pour le rayonnement infrarouge (depuis 50 pour l'armée) mène à la naissance de l'astronomie infrarouge

Découverte de la déviation de la direction de la lumière des étoiles qui, avec une vitesse infinie, s'écarte de celle de la terre en mouvement (aberration) à la recherche d'une parallaxe stellaire fixe

Affirmation: l'espace est infiniment grand et d'une durée illimitée et non géocentrique. Le soleil n'est pas unique parmi les étoiles

Shapley: Voie Lactée beaucoup plus grande que présumée, Soleil pas au centre, les nébuleuses spirales sont des nuages de gaz dans cette galaxie géante, Curtis : la Voie Lactée beaucoup plus petite, les nébuleuses spirales sont des objets lointains comme la Voie Lactée

[\(→retour au début\)](#)

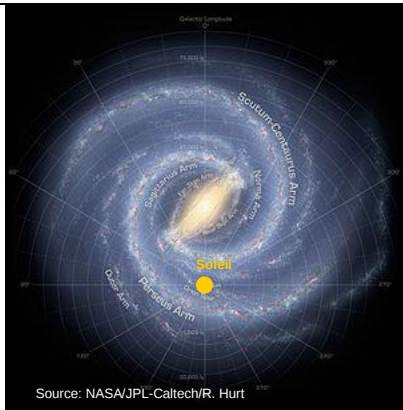
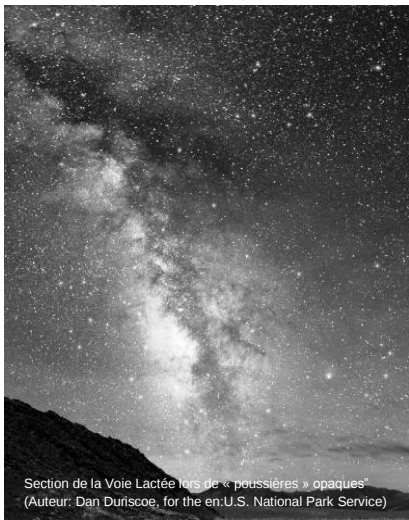
Exploration de la Voie Lactée - analogie

L'exploration du système de la Voie Lactée est freinée par la difficulté selon laquelle elle doit parvenir d'un point fixe (l'emplacement du Soleil) à partir de l'intérieur vers l'extérieur. Cela peut être comparé grâce à un dessin de la carte du lieu d'origine sans avoir à parcourir la ville ou même sans être regardée du point de vue d'un oiseau. Dans le paragraphe suivant, nous procéderons à une analogie qui s'efforce de montrer comment les astronomes, à partir d'indices, à la manière des détectives, réalisent une photo. De la même manière, l'analogie permet un accès compréhensible et réaliste, qui simplifie la mémorisation (remarque).

Exercice: texte à trous

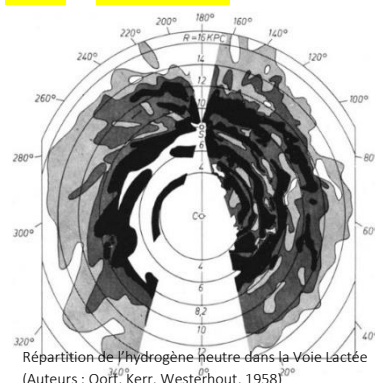
Remplis les trous dans l'analogie suivante, en te basant sur ta propre expérience de manière logique en t'informant à partir de diverses sources (livres, revues, internet).

Exercice supplémentaire: dessine d'après ton école un plan de la ville en spécifiant la taille, afin d'indiquer à des élèves invités le chemin vers différents lieux de la ville.

Planificateur du lieu de résidence	Astronome à l'emplacement du Soleil
Centre Nous supposons ici que la densité des lampes (dans les maisons et à l'extérieur) devient plus lumineuse en centre-ville. Si l'on recense dans la nuit avec une vue à 360° (pas davantage) les lampes par plage directionnelle, alors on peut en conclure la direction pour aller en centre-ville. Vue Les jours de brouillard, nous pouvons perdre de vue l'environnement éloigné et peut-être même le centre-ville. Grâce à l'infrarouge proche, la vue est meilleure.	Les astronomes partent du fait que l'amas vers le centre de la Voie Lactée est plus important. En les étoiles (étoiles par région du ciel), on obtient les premières indications de l'endroit excentré du Sonne et de la direction vers le centre galactique de la constellation du La poussière interstellaire (poussière entre les) empêche d'observer directement vers le centre de la galaxie. Pour pouvoir examiner plus à l'intérieur la galaxie, les astronomes observent dans du spectre magnétique.
	 Source: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt  Section de la Voie Lactée lors de « poussières » opaques (Auteur: Dan Duriscoe, for the en:U.S. National Park Service)

[\(→retour au début\)](#)

Planificateur du lieu de résidence	Astronome à l'emplacement du Soleil
Distances (avec les angles) Pour déterminer les distances des différents lieux de la ville, sans avoir à nous déplacer là-bas, nous avons besoin de nos connaissances en trigonométrie. Par exemple, nous cherchons la pointe du paratonnerre de la maison voisine à gauche et à droite de notre maison et l'observons dans des directions légèrement différentes. De cet angle, entre les deux directions et la distance de notre point d'observation, nous déterminons alors la distance. Distances (avec des sources lumineuses) Une ampoule (lampe à incandescence, lampe fluorescente, entre autres) avec une puissance de rayonnement donnée (en watts) apparaît avec l'augmentation de la distance de moins en moins lumineuse. Si l'on connaît la luminosité pour une distance connue, alors on peut identifier n'importe quelle distance à partir de la mesure de la luminosité. Dans la ville, il y a de nombreux lampadaires. Nous pouvons en déduire, que toutes ces ampoules standards contiennent une émission de lumière définie. La puissance de rayonnement est également révélée par le type de lumière - par exemple, par sa couleur rouge. Vue large avec le rayonnement radio Presque chacun d'entre nous possède un téléphone mobile ou un ordinateur portable avec une connexion Wi-Fi gratuite. Ce qui représente pour chacun d'entre nous une source radio, qui pourrait être « mise sur écoute » afin d'obtenir le lieu et les déplacements de l'émetteur. (Nous savons du rayonnement radio qu'il passe à travers des choses que la lumière ne permet pas).	Afin de trouver la distance jusqu'aux étoiles, on détermine dans chaque cas l'angle entre deux directions du lieu d'observation que l'on a de la Terre dans sa trajectoire autour du Pour savoir comment l'on procède, voir plus loin (« mesure de la distance par la mesure des angles »). Si l'angle a une valeur de 1" (la partie d'un degré et si les deux endroits sur ont une distance de 1 UA (environ 150 millions de kms) à l'autre, alors la distance jusqu'aux étoiles est de 1 parsec (pc). Même dans la Voie Lactée (et au-delà) il existe des émetteurs « normalisés par la nature ». Les astronomes les appellent chandelles standards. L'aptitude des étoiles à être des dépend de ce que nous pouvons déterminer avec précision leur luminosité (capacité de rayonnement). Certains types d'étoiles, par ex. les étoiles Delta Cephei sont d'excellentes chandelles standards. Les étoiles de type spectral O et B ne sont pas aussi scintillantes, mais sont toutefois très utiles, car elles sont très lumineuses et ainsi sont visibles à une grande Grâce à elles, on peut prouver l'existence et l'emplacement des bras spiraux de la Voie Lactée. Comment est-ce possible? On connaissait la luminosité approximative des étoiles O et B ; et l'on connaissait au moins pour un objet sa Maintenant on serait capable de déterminer à partir de la mesure de la les inconnues des étoiles. Entre les étoiles de la Voie Lactée, se trouvent du gaz et de la poussière. Le gaz est constitué en majeure partie d'hydrogène neutre qui émet des ondes avec une longueur d'onde de 21 cm qui est capable de la interstellaire de la galaxie. Cet hydrogène interstellaire est « capté » par les astronomes de la radio. À partir de ces observations, ils ont pu reconstituer la structure en spirale de la galaxie, où repose la matière interstellaire agglomérée.

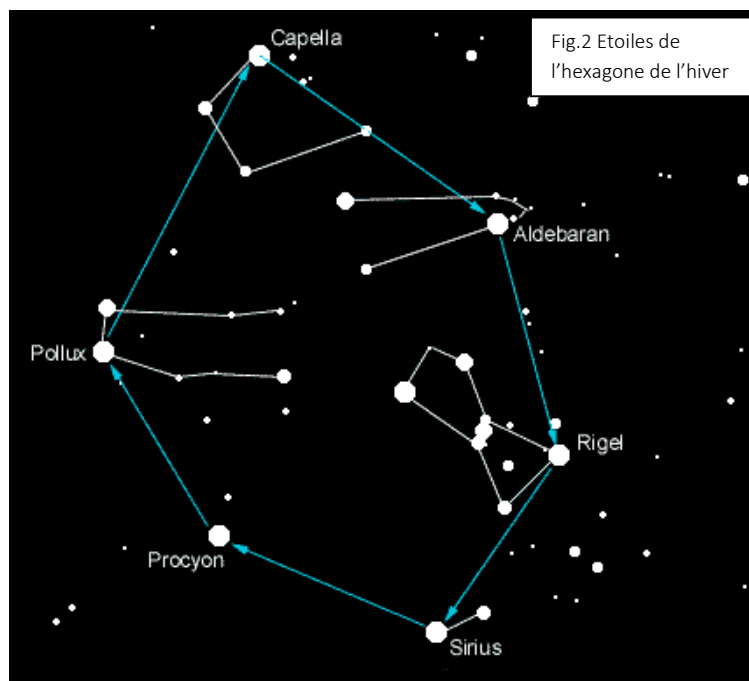


[\(→retour au début\)](#)

2. Distances cosmiques entre la Voie Lactée et les étoiles

(Cecilia Scorza)

Aperçu du ciel en hiver



A aucun autre moment de l'année, le ciel est si riche en étoiles brillantes qu'en hiver et offre ainsi sa plus belle vue. Si l'on regarde (en Allemagne) vers 22h à la verticale vers le haut, on découvre une étoile brillante jaune. C'est l'étoile Capella, l'étoile la plus brillante de la constellation du Cocher. Avec Aldebaran dans la constellation du Taureau, Rigel dans la constellation d'Orion, Sirius dans la constellation du Grand Chien et Procyon dans la constellation du Petit Chien et Pollux dans la constellation des Gémeaux, Capella forme ce qu'on appelle l'hexagone d'hiver (Fig.2). Si l'on pouvait voler vers l'hexagone d'hiver à la vitesse de la lumière, nous rencontrerions en premier Sirius, après un voyage de 8 années. Puis ce serait le tour de Procyon après 11,2 années. Une année-lumière est la distance que la

lumière parcourt en une année (vitesse de la lumière : environ 300 000 km/s !). Cela correspond à 1 000 milliards de kms !

Lorsque les étoiles majeures des constellations de l'hexagone peuvent être observées plus en détail, on peut distinguer leurs différentes couleurs. Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel étoilé, a une couleur blanc bleue, tandis qu'Aldebaran dans la constellation du Taureau apparaît rouge. Ces diverses couleurs proviennent des différentes températures à la surface des étoiles. On peut très bien illustrer ceci par comparaison avec une tige de fer rouge. Si celle-ci est mise dans le feu, alors elle prend une couleur rouge. Après un instant, elle prend une couleur orange, jaune, blanc, puis juste avant qu'elle ne fonde, une couleur bleue.

Les astronomes classent les étoiles en fonction de leur température à la surface selon leur « type de luminosité » (le terme technique s'appelle « **type spectral** » qui sont désignées par les lettres suivantes : O, B, A, F, G, K, M. Un moyen mnémotechnique amusant est de dire : „Oh Be A Fine Girl, Kiss Me„ oder „Oh Be A Fine Guy, Kiss Me“! (Sois une fille sympa, embrasse-moi, ou, sois un mec sympa, embrasse-moi).

Dans le tableau 1, sont répertoriées les différentes températures, selon l'échelle de Kelvin, et les couleurs des étoiles, qui correspondent aux types spectraux respectifs (OBAFGKM).

Type spectral	Température de surface [K]	Couleur des étoiles	Couleur
O	30000 – 60000	bleu	
B	10000 – 30000	Blanc bleu	
A	7500 – 10000	blanc	
F	6000 – 7500	Blanc jaune	
G	5000 – 6000	jaune	
K	3500 – 5000	Jaune orange	
M	< 3500	rouge	

Tableau 1:
Température et
couleur des étoiles et
leurs différents types
spectraux.

[\(→retour au début\)](#)
Exercice - étoiles de l'hexagone d'hiver

1. Qu'est-ce qu'une année-lumière? Est-ce une unité de temps ou bien une unité de distance ?
2. Inscris selon les couleurs des étoiles de la figure 2 et des données du tableau 1, les températures des principales étoiles de l'hexagone d'hiver et leurs types spectraux dans le tableau 2. Laquelle a la température la plus froide, quelle est celle dont la température est la plus chaude ?
3. Inscris les noms des étoiles de l'hexagone dans la figure 3. Remplis selon les valeurs du tableau 2 l'échelle de distance sur le côté droit de la figure 3 et inscris à cet endroit les étoiles selon la distance de chaque ligne de vue (en pointillés). Compare les vrais rapports de distance avec ceux que tu pensais être et discute de la différence.

Etoile	Distance [Année-lumière]	Température	Type spectral	Rayon [rayon solaire]
Capella	42,2			12
Aldebaran	70			25
Rigel	650			78
Sirius	8,6			1,7
Procyon	11,2			1,8
Pollux	33,7			8

Tableau 2 :
données des
étoiles de
l'hexagone
d'hiver

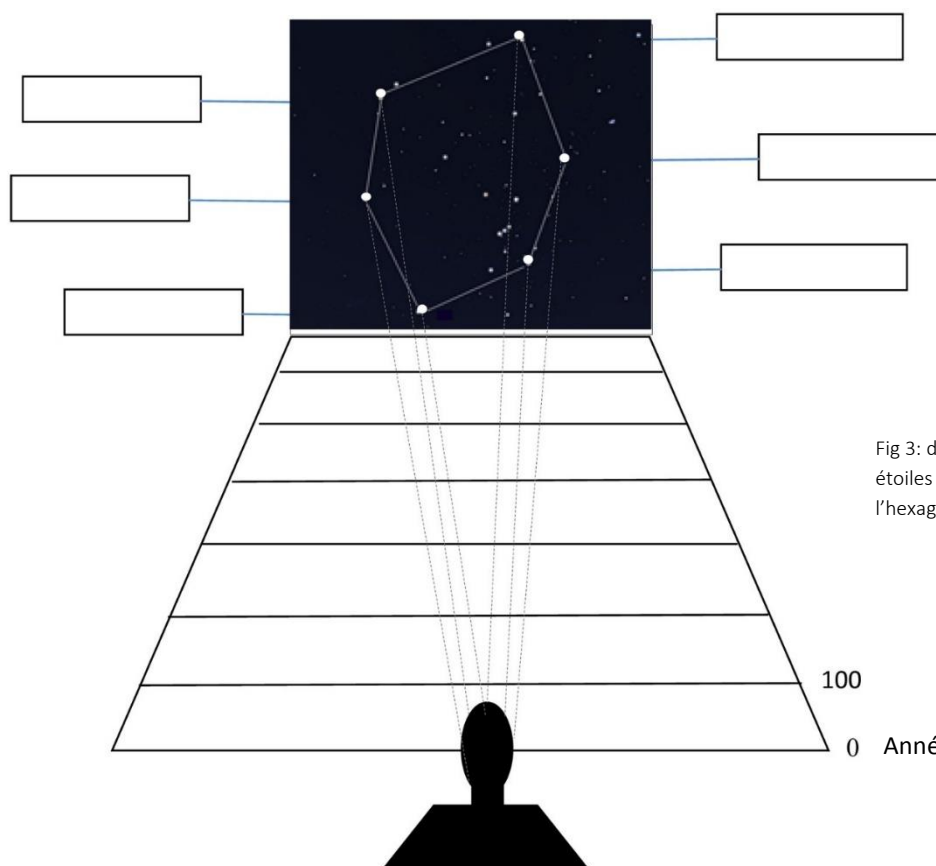


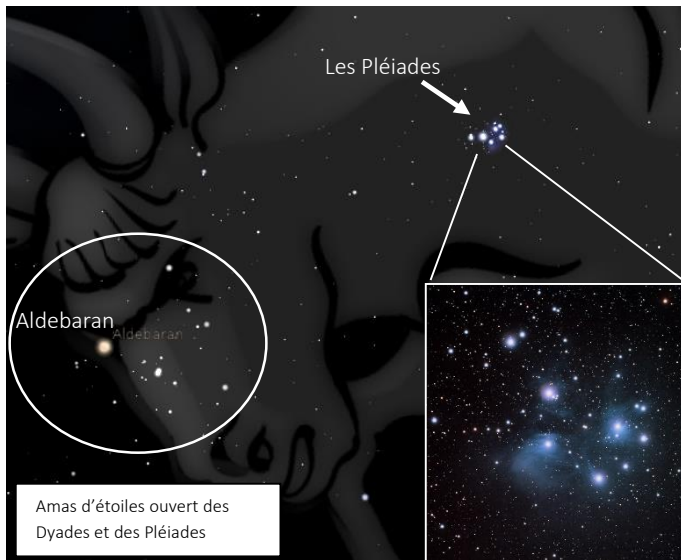
Fig 3: distance des
étoiles de
l'hexagone d'hiver

4. Dessine à l'aide des valeurs des rayons stellaires du tableau 2, les étoiles en cercle. Utilise pour cela aussi loin que tu le peux l'échelle 1:700.000.000.000 (le rayon du Soleil (700 000 kms) correspond à 1 mm). Évalue combien de fois le globe terrestre passe dans le Soleil.

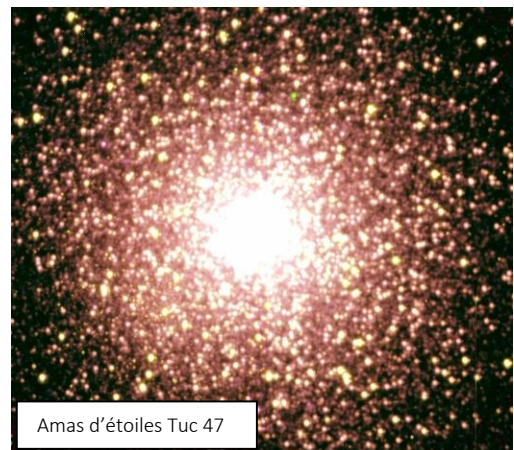
[\(→retour au début\)](#)

Aperçu de deux amas d'étoiles ouverts

Si nous regardons la constellation du Taureau en détail, on voit, au nord-ouest, un amas d'étoiles bleues – les Pléiades. Ces beaux amas d'étoiles ne sont pas rares dans le ciel et peuvent facilement être observés à l'aide de jumelles. Un second amas d'étoiles, les Hyades, forment un V juste à côté de l'étoile majeure du Taureau, Aldebaran. Mais Aldebaran n'appartient pas aux Hyades. Les étoiles de cet amas sont principalement reliées, c'est-à-dire, qu'elles sont liées par la force d'attraction de leurs étoiles, autrement dit, elles sont juxtaposées dans un espace compact et elles ne simulent pas ceci par une simple projection du ciel.

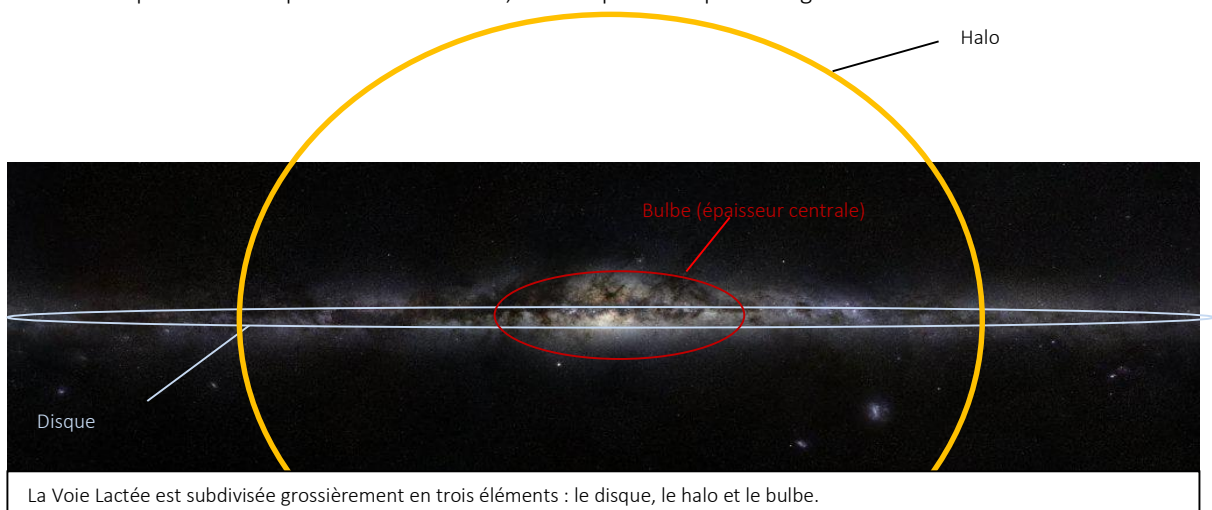


De tels amas d'étoiles possèdent entre 50 et 1000 jeunes étoiles, qui sont nées d'un nuage de gaz et de poussière il y a des millions d'années. Étant donné que les étoiles d'un amas sont nées au même endroit et en même temps, les étoiles ont toutes le même âge ce qui les rend très adaptées pour l'étude de l'évolution stellaire et les rend rapidement reconnaissables entre les étoiles de masses différentes.



Les étoiles des **amas ouverts** sont réparties de façon plus libre que les étoiles des **amas globulaires**. Ces dernières se trouvent dans le halo de la galaxie et sont constituées de beaucoup plus d'étoiles (jusqu'à 100 000), qui sont essentiellement plus âgées et sont liées de façon plus compacte que les étoiles des amas ouverts (voir en comparaison l'amas globulaire Tuc 47 à droite).

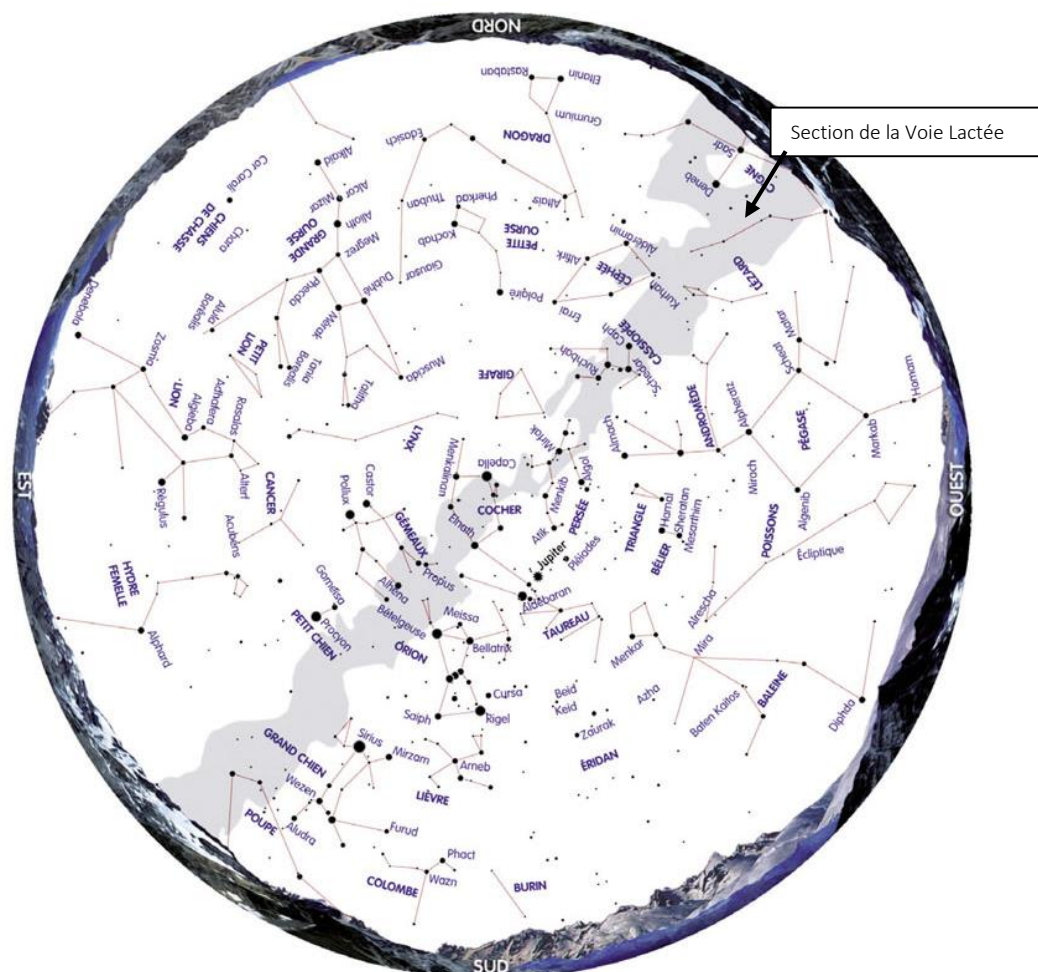
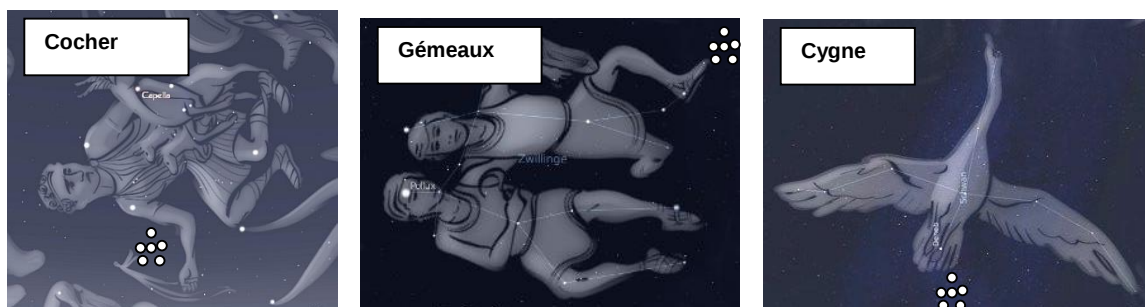
Aujourd'hui, les astronomes sont d'avis que les amas ouverts constituent **l'élément fondateur du système de notre Voie Lactée**. Il a été reconnu que ces amas se décomposent avec le temps dans le disque de la Voie Lactée, si bien que le disque de la galaxie est en constante croissance !



(→ retour au début)

Exercice – amas d'étoiles

1. Mets les Dyades (distance : 153 années-lumière) et les Pléiades (distance : 380 années-lumière) sous forme de petits points sur le diagramme des distances de la figure 3 et compare leurs distances avec celles des étoiles de l'hexagone d'hiver. Observe sur l'image les couleurs des étoiles de ces amas. Quelle température ont-elles ?
2. Marque à l'aide d'un stylo bleu sur la carte des étoiles de la figure 4, sur laquelle le disque de la Voie Lactée en coupe apparaît comme une bande sombre, l'emplacement des Pléiades, des Hyades et des amas suivants : M37 (le Cocher), M35 (les Gémeaux), M39 (le Cygne). Que peux-tu dire de leur place par rapport au disque de la Voie Lactée ? Pourquoi ces jeunes amas d'étoiles ouverts se sont-ils formés dans le disque et ne se trouvent pas à distance de celui-ci ? Fais des recherches.



[\(→retour au début\)](#)

3. Lagrange 2 – Localisation de Gaia dans l'univers

(Dirk Brockmann-Behnsen)

Cette section décrit comment, avec le matériel scolaire, on peut saisir le concept de potentiel effectif : dans un système à deux corps, dont l'un domine par la gravitation ; il existe cinq endroits où un véhicule spatial peut s'arrêter afin de maintenir une position stable des deux corps sans propulsion notable. Trois de ces endroits se trouvent le long des droites des deux corps et peuvent être également dégagées quantitativement avec un matériel didactique (mathématique et physique). Pour les deux autres, on peut se baser sur la géométrie vectorielle. L'exposé de cette section peut servir de base littéraire, par exemple pour les exposés des élèves.

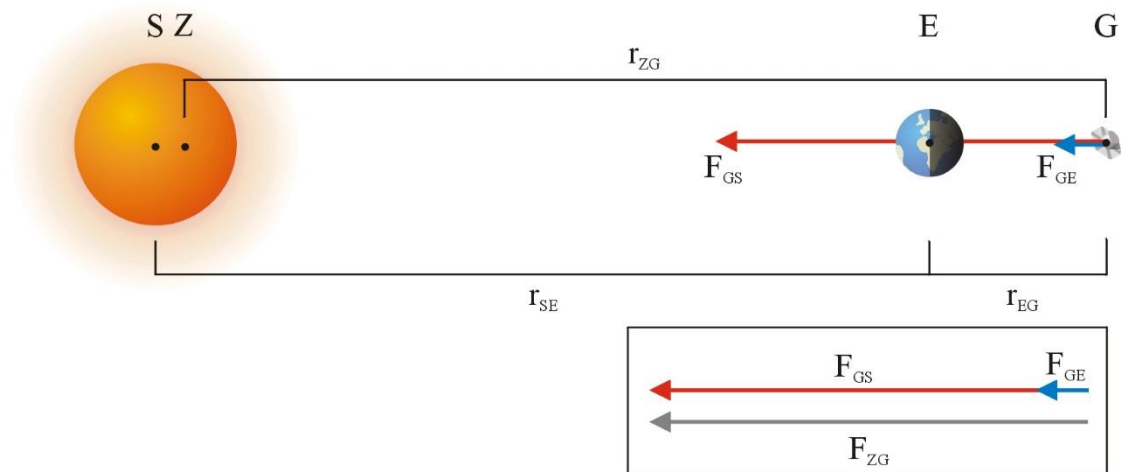
Contexte

Si l'on souhaite positionner un véhicule spatial dans l'espace, afin qu'il ait une position stable par rapport à la Terre et au Soleil, on doit utiliser le concept du potentiel effectif (voir [6], section 14f.) dans lequel non seulement les **forces de gravitation** des corps célestes impliqués servent de base au calcul de l'énergie, mais aussi la **force centripète** nécessaire pour la vitesse angulaire correspondant à la Terre,.

Les considérations suivantes s'appuient sur le concept de la force¹. Sur le véhicule spatial Gaia, deux forces exercent leur activité, à savoir les forces gravitationnelles du Soleil (FGS) et celle de la Terre (FGT).

Vectoriellement parlant, **la somme de ces deux forces (FGC)** doit entraîner une accélération du véhicule spatial qui peut tourner avec la vitesse angulaire de la Terre autour du centre de gravité commun de la Terre et du Soleil. Si l'on se limite dans un premier temps aux positions possibles le long de la ligne droite reliant la Terre et le Soleil, alors on doit distinguer trois cas différents possibles :

Cas 1: La Terre se trouve entre le véhicule spatial et le Soleil : point de Lagrange L2



SZ : SC (soleil- centre de gravité)
r_ZG : r_CG (rayon centre de gravité- satellite Gaia)
E : T (Terre)
G : G (satellite Gaia)
FGS : FGS (force d'attraction de Gaia vers le Soleil)
FGE : FGT (force d'attraction de Gaia vers la Terre)
r_SE : r_ST (rayon Soleil-Terre)
r_EG : r_TG (rayon Terre-Gaia)
FGS : FGS (force d'attraction de Gaia vers le Soleil)
FGE : FGT (force d'attraction de Gaia vers la Terre)
F_ZG : FGC (force d'attraction de Gaia vers le centre de gravité)

Selon la troisième loi de Kepler, le véhicule spatial aurait une durée orbitale plus grande autour du Soleil que de la Terre, c'est-à-dire une vitesse angulaire inférieure. La force centrifuge et la vitesse angulaire sont augmentées par une force de gravitation supplémentaire de la Terre. Pour les forces, voir l'équation suivante :

$$m \cdot r_{CG} \cdot \omega_T^2 = G \cdot \frac{m \cdot M_S}{(r_{ST} + r_{TG})^2} + G \cdot \frac{m \cdot M_T}{r_{TG}^2}$$

On peut rapprocher r_{CG} avec $r_{ST} + r_{TG}$ et r_{CT} de r_{ST}^2 . Concernant la vitesse angulaire, qui doit correspondre à celle de la Terre autour du centre de gravité du Soleil et de la Terre, on utilise l'équation suivante :

$$m \cdot r_{ST} \cdot \omega_T^2 \approx m \cdot r_{CT} \cdot \omega_T^2 = G \cdot \frac{M_S \cdot m}{r_{ST}^2} \Rightarrow \omega_E \approx \sqrt{\frac{G \cdot M_S}{r_{ST}^3}}$$

Le résultat est le suivant:

$$m \cdot (r_{ST} + r_{TG}) \cdot \frac{G \cdot M_S}{r_{ST}^3} \approx G \cdot \frac{m \cdot M_S}{(r_{ST} + r_{TG})^2} + G \cdot \frac{m \cdot M_T}{r_{TG}^2}$$

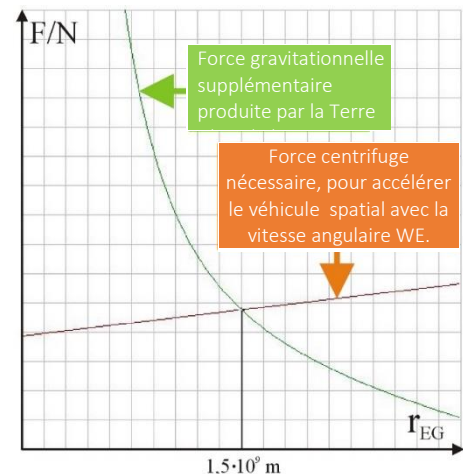
Si l'on réduit l'équation à m et G et en inscrivant toutes les variables connues, on obtient :

$$(149,6 \cdot 10^9 \text{ m} + r_{TG}) \cdot \frac{1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{(149,6 \cdot 10^9 \text{ m})^3} \approx \frac{1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{(149,6 \cdot 10^9 \text{ m} + r_{TG})^2} + \frac{5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{r_{TG}^2}$$

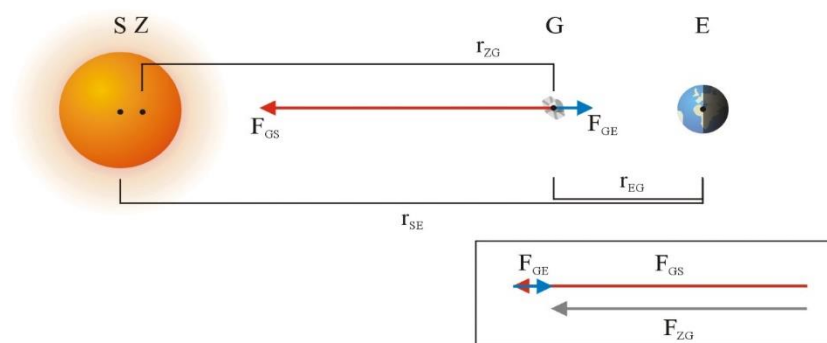
Si l'on souhaite maintenant trouver la distance r_{EG} , la distance entre la Terre et Gaia, alors il nous faut résoudre l'équation ci-dessous.

Le résultat de $r_{TG} = 1,48 \cdot 10^9 \text{ m}$.

Alternativement, on peut également entrer à droite de l'équation comme **fonction** des forces respectives de la distance r_{TG} dans une calculatrice graphique compatible ou un programme d'ordinateur et rechercher un point d'intersection commun. La figure ci-contre montre une vue, qui a été prise avec le programme « dérive 5 ». Le point 0 de l'abscisse correspond à l'emplacement de la Terre. Sur les données du point d'intersection, la distance r_{TG} serait établie à environ $1,5 \cdot 10^9 \text{ m}$. Le point de Lagrange L2 est de quatre fois la distance entre la Lune et la Terre.



Cas 2: Le véhicule spatial se trouve entre la Terre et le Soleil: Point de Lagrange L1



² Le centre de gravité Z du Soleil et de la Terre est à peine à 500 kms au-delà du centre du Soleil S.

Selon la troisième loi de Kepler, le véhicule spatial effectuerait un temps orbital plus court autour du Soleil que de la Terre, c'est-à-dire une plus grande vitesse angulaire. Mais la force centrifuge et la vitesse angulaire sont diminuées par les forces gravitationnelles opposées du Soleil et de la Terre. L'équation des forces est la suivante :

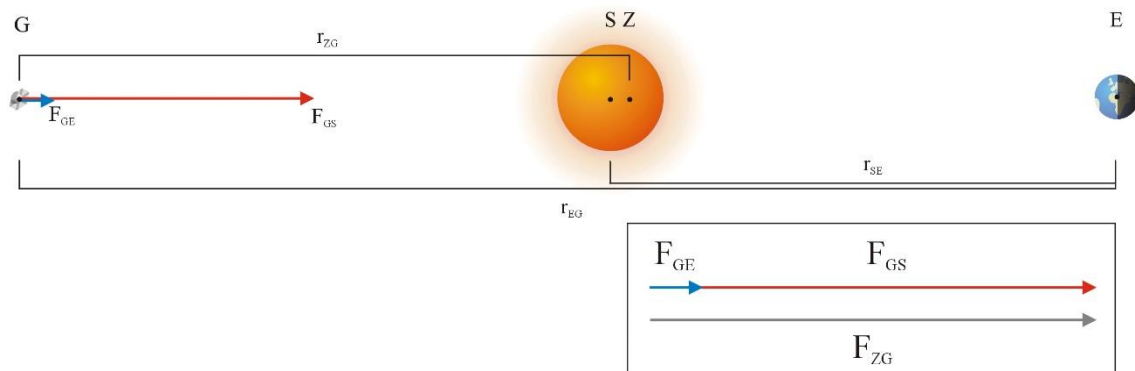
$$m \cdot r_{CG} \cdot \omega_T^2 = G \cdot \frac{m \cdot M_S}{(r_{ST} - r_{TG})^2} - G \cdot \frac{m \cdot M_T}{r_{TG}^2}$$

On peut rapprocher le r_{CG} du r_{ST} et le r_{TG} du r_{TG} . Comme le cas 1, le résultat est :

$$m \cdot (r_{ST} - r_{TG}) \cdot \frac{G \cdot M_S}{r_{ST}^3} \approx G \cdot \frac{m \cdot M_S}{(r_{ST} - r_{TG})^2} - G \cdot \frac{m \cdot M_T}{r_{TG}^2}$$

Le résultat dans le cas présenté est le suivant : $r_{TG} = 1,51 \cdot 10^9$ m, un engin spatial se situerait au point Lagrange L1, c'est-à-dire à une distance de $149,60 \cdot 10^9$ m – $1,48 \cdot 10^9$ m = $148,12 \cdot 10^9$ m du Soleil.

Cas 3 : le Soleil se trouve entre la Terre et le véhicule spatial: point de Lagrange L3



Les forces gravitationnelles du Soleil et de la Terre s'exercent dans ce cas de façon colinéaire. Ainsi, le véhicule spatial connaît ainsi une force centrifuge accrue. Si Gaia devait tourner autour du Soleil simplement avec la vitesse angulaire de la Terre, alors le véhicule spatial doit se trouver du côté ensoleillé au-delà du rayon terrestre :

$$m \cdot r_{CG} \cdot \omega_T^2 = G \cdot \frac{m \cdot M_S}{(r_{TG} - r_{ST})^2} + G \cdot \frac{m \cdot M_T}{r_{TG}^2}$$

On peut rapprocher r_{CG} avec le $r_{TG} - r_{ST}$ et le r_{CT} avec le r_{ST} . Comme pour le cas 1 et 2, le résultat est le suivant :

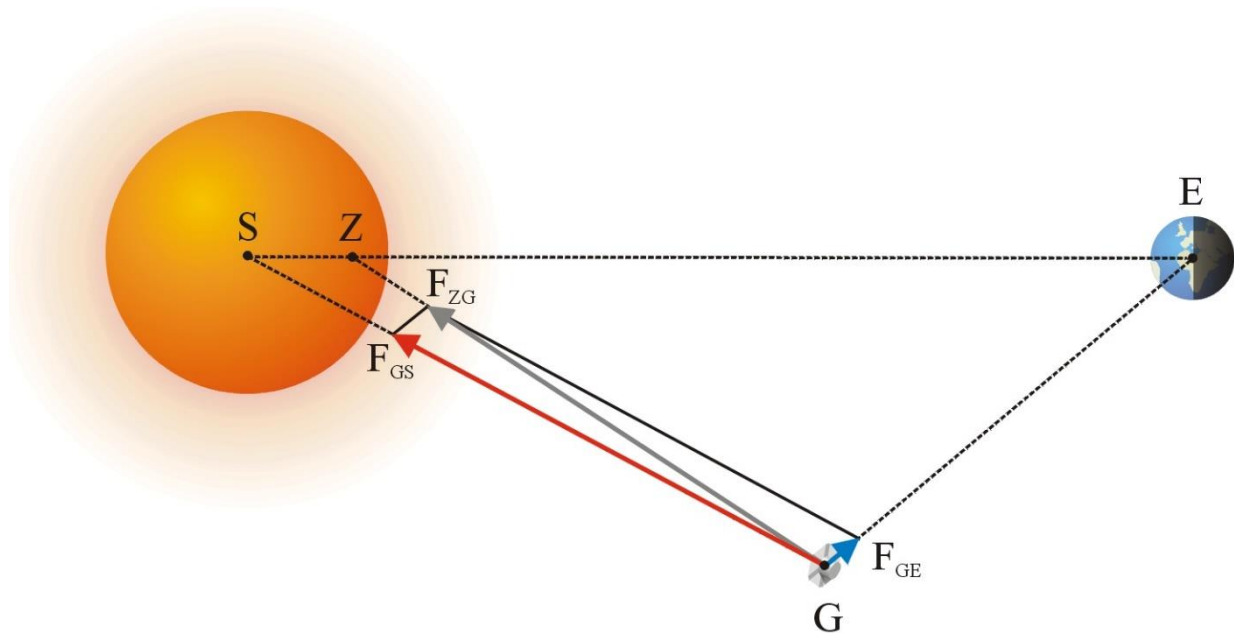
$$m \cdot (r_{TG} - r_{ST}) \cdot \frac{G \cdot M_S}{r_{ST}^3} \approx G \cdot \frac{m \cdot M_S}{(r_{TG} - r_{ST})^2} + G \cdot \frac{m \cdot M_T}{r_{TG}^2}$$

Le résultat pour le cas présenté est : $r_{TG} = 2,99 \cdot 10^{11}$ m, un véhicule spatial se situerait au point Lagrange L3, c'est-à-dire du côté opposé au Soleil autrement dit à une distance de celui-ci de $299,13 \cdot 10^9$ m – $149,60 \cdot 10^9$ m = $149,53 \cdot 10^9$ m. La Terre et le véhicule spatial sont par rapport au Soleil, à la même distance, opposés.

[\(→retour au début\)](#)

Au-delà de la ligne de contact entre le Soleil et la Terre, il existe encore deux autres endroits où un véhicule spatial inerte peut graviter avec la vitesse angulaire de la Terre autour du Soleil (plus exactement autour du centre de gravité commun du Soleil et de la Terre) :

Cas 4 et 5 : Le Soleil, la Terre et le trajet forment un triangle : Lagrange 4 et 5.



L'image ci-dessus décrit le point de Lagrange L4 ; les considérations s'appliquent au point L5 mais selon l'image renvoyée par le miroir. Ces deux cas doivent cependant être discutés qualitativement. Le Soleil, la Terre et le trajet effectuent une rotation autour du centre de gravité commun C du Soleil et de la Terre avec la vitesse de gravité de la Terre³.

E :	T (Terre)
FGE :	FGT (force d'attraction de Gaia vers la Terre)
FGS :	FGS (force d'attraction de Gaia vers le Soleil)
FZG :	FGC (force d'attraction de Gaia vers le centre de gravité)
G :	G (satellite Gaia)
r _{EG} :	r _{TG} (rayon Terre-Gaia)
r _{SE} :	r _{ST} (rayon Soleil-Terre)
r _{ZG} :	r _{CG} (rayon centre de gravité- satellite Gaia)
S :	Soleil
SZ :	SC (soleil- centre de gravité)
Z :	C (centre de gravité)

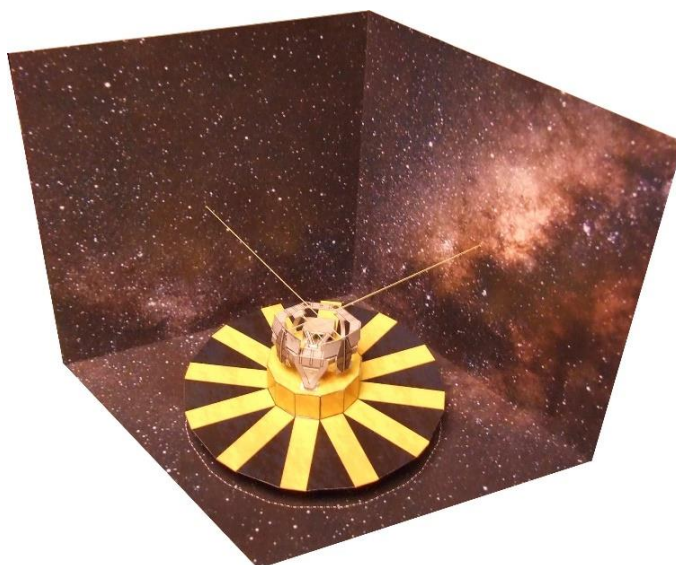
[\(→retour au début\)](#)

³ Il devient clair ici que la réduction à un problème à deux corps (la masse de Gaia peut être mise de côté) est assez grossière, étant donné que deux autres planètes se trouvent déjà dans les esquisses seules autour de la Terre et du Soleil, dont l'une a la même masse que la Terre.

4. Vue de Gaia dans le modèle

(Dirk Brockmann-Behnsen)

Dans l'article suivant, on apprendra la construction du modèle du trajet du télescope spatial Gaia, qui illustre notamment le trajet du faisceau dans son télescope double. Dans l'article se trouvent une **planche d'assemblage** et **des instructions** contenant des propositions incluses pour construire le modèle. Le tracé de deux rayons représentatifs à travers un système de miroir complexe des deux télescopes est représenté par des cordes, qui peuvent être intégrées dans le modèle en carton.



Contexte

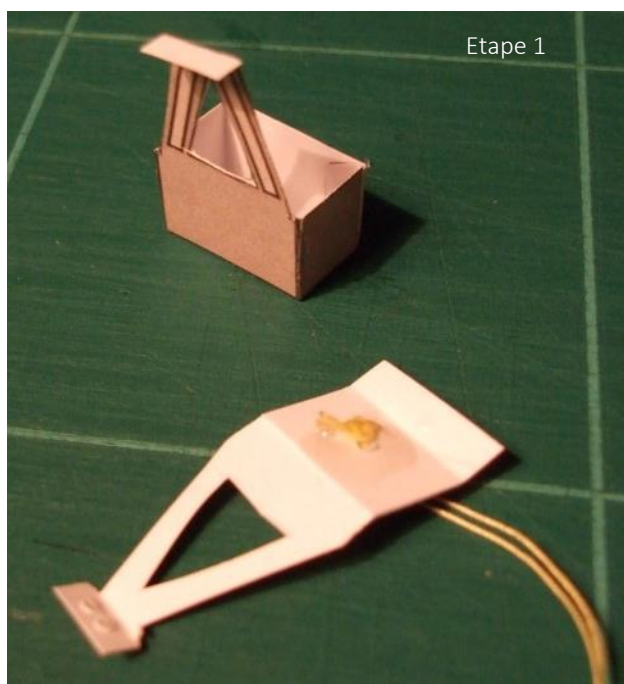
Lorsque fin 2013, le télescope spatial Gaia sera acheminé dans l'espace à l'aide d'un porteur russe Soyuz-Fregat, alors débutera l'un des projets de mesure les plus ambitieux de l'histoire de la cartographie des étoiles. L'objectif de la mission est de déterminer la position d'au moins 1% des étoiles de notre galaxie (c'est-à-dire de 10^9 étoiles !) avec une précision de moins 24 microsecondes, ainsi que les vecteurs de mouvement des 150 millions d'étoiles les plus brillantes. Outre une analyse photométrique à large bande dans l'étendue de longueur d'onde comprise entre 300 et 1000 nm et des spectres à haute résolution dans l'étendue comprise entre 847 et 874 nm, Gaia gravera dans notre mémoire l'image de la formation de notre galaxie de manière décisive.

Les autres objectifs de la mission sont la découverte et l'analyse des trajectoires des systèmes de planètes extrasolaires, la recherche d'autres petits corps de notre système solaire et de quasars éloignés. En outre, avec sa technique, Gaia offre la possibilité d'effectuer de nombreux tests de la théorie générale de la relativité et d'hypothèses cosmologiques.

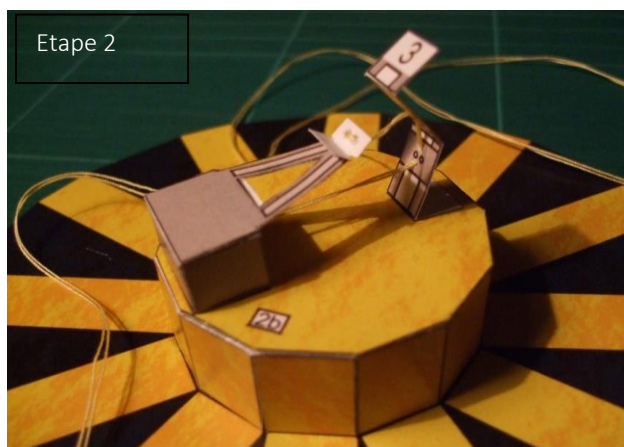
Le prérequis pour des objectifs aussi ambitieux que celui-ci est un instrument optique excellent. Gaia est constitué de deux télescopes identiques, qui sont disposés à un angle de base de $106,5^\circ$ l'un par rapport à l'autre. Il s'agit d'anastigmats à trois miroirs (TMA). Trois miroirs suffisent pour avoir à disposition de nombreux paramètres, pour effectuer des corrections de champ d'image appropriées. Par ailleurs, le système des trois miroirs permet l'utilisation d'un champ spectral plus étendu (cf. [7], p 96).

Exercice: Construction d'un modèle avec la trajectoire du faisceau – instructions

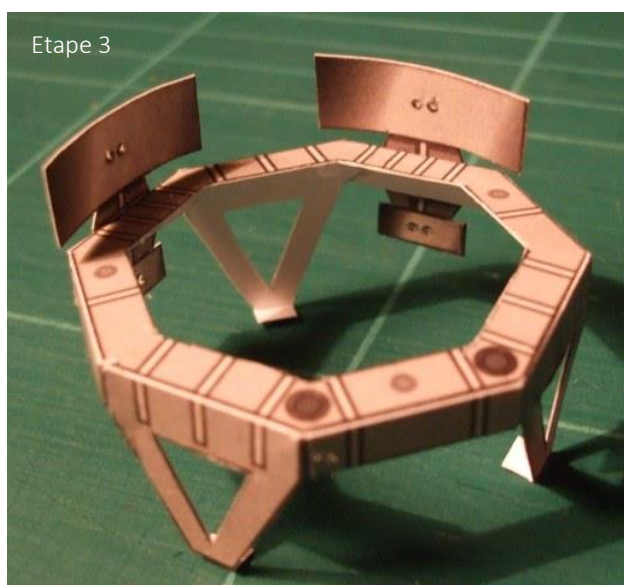
Le kit se compose de quatre feuilles (voir fichier supplémentaire « feuille de construction Gaia »). Sur les trois premières feuilles, on construit un châssis-support avec les étoiles à l'arrière-plan, sur lequel le modèle du télescope Gaia peut être présenté (partie « Base 1 » à « Base 3 »). La quatrième feuille contient des éléments de construction du télescope spatial (partie 1 à 7) et le socle qui lie le châssis avec le télescope spatial (partie 8). Dans le modèle, on peut introduire des fils (jaunes) pour représenter la trajectoire du faisceau dans le télescope Gaia. Cela suppose toutefois des exigences élevées concernant les capacités de construction et la patience du bricoleur, mais donne un résultat très clair et très esthétique. On devrait bien réfléchir auparavant, si l'on souhaite construire le modèle avec ou sans la trajectoire du faisceau. Si l'on choisit cette option, les trous, qui apparaissent à la base (partie « Base 1 » et « Base 2 »), sur la surface du miroir (partie 3, 4, 6b et 7) et sur le détecteur scientifique (également partie 6b) doivent être percés avant de les couper avec une aiguille et du fil de laine. On peut également décider, si le modèle doit être présenté ou non sur le socle devant le fond étoilé. Dans ce dernier cas, on imprime seulement la feuille 4 et on laisse de côté la partie 8. Si l'on souhaite bricoler le cadre, les feuilles 1 à 3 doivent être imprimées sur du carton 300 grammes, la feuille 4 au contraire doit être imprimée sur un carton mince (par ex. 160g).



Etape 1



Etape 2



Etape 3

Les instructions de montage suivantes impliquent l'étirage des fils de laine ; si l'on souhaite ne pas le faire, les passages correspondants n'ont pas besoin d'être lus.

Tout d'abord, les parties 6a et 6b (instrumentation scientifique) sont à construire. Le fil est pris deux fois, noué à la fin, tiré de l'arrière dans la partie 6b et collé (voir figure à l'étape 1). Puis cette partie est insérée dans la pièce terminée 6a. Il faut faire attention à ce que le petit rabat ne soit pas collé avec le miroir M4 de la partie 6b ni avec celle de la face arrière de la partie 6a, étant donné que le fil doit être passé à travers par la suite (voir photo pour l'étape 2).

La partie 1 et 1R (écran solaire) sont collées ensemble. Puis le panneau des modules de service sont assemblés avec la partie 2 et collés sur l'écran solaire. Le système à deux miroirs est également collé contre le panneau du module de service (rabat avec le 2 vers le bas). Maintenant, le fil double passe tout d'abord à travers le miroir inférieur (M6), puis par le miroir supérieur (M5). Pour chaque miroir, le fil double doit passer en dessous des deux trous et doivent être enfilés vers le haut. Puis le fil double doit passer par le miroir double M4 sur le module 6a/b, le miroir M4 et sa face arrière ne sont pas encore collés, étant donné que le fil double doit repasser plus tard. A partir de là, le fil double se sépare.

Ensuite, on construit le cadre octogonal portant les paires de miroirs M1A/B, M2A/B et M3A/B. La photo de l'étape 3 montre le résultat. Les deux systèmes de miroirs M1A et M3A respectivement M1B et M3B (deux modules 4 identiques) avec leur face arrière, les deux modules identiques 5 sont déjà collés. Les miroirs M2A et M2B sont déjà liés selon le plan technique de construction avec la partie 2.

Le cadre avec les miroirs est maintenant collé sur le panneau du module de service. Puis un des deux fils individuels passe à travers le miroir M3A, M2A et M1A, tandis que l'autre passe à travers les miroirs M3B, M2B et M1B. La photo de l'étape 4 fournit un aperçu.

Enfin, le télescope spatial peut être monté avec le socle (partie 8) sur le châssis. Lors de cette étape, il est important de veiller à ce que l'instrument (partie 6a/b) rentre précisément dans le châssis.

[\(→retour au début\)](#)

Enfin, les deux fils dominants des miroirs M1A et M1B sont enfilés dans les trous des côtés opposés du cadre de montage à l'opposé des miroirs et fixés sur la partie arrière après que le système de fils ait été

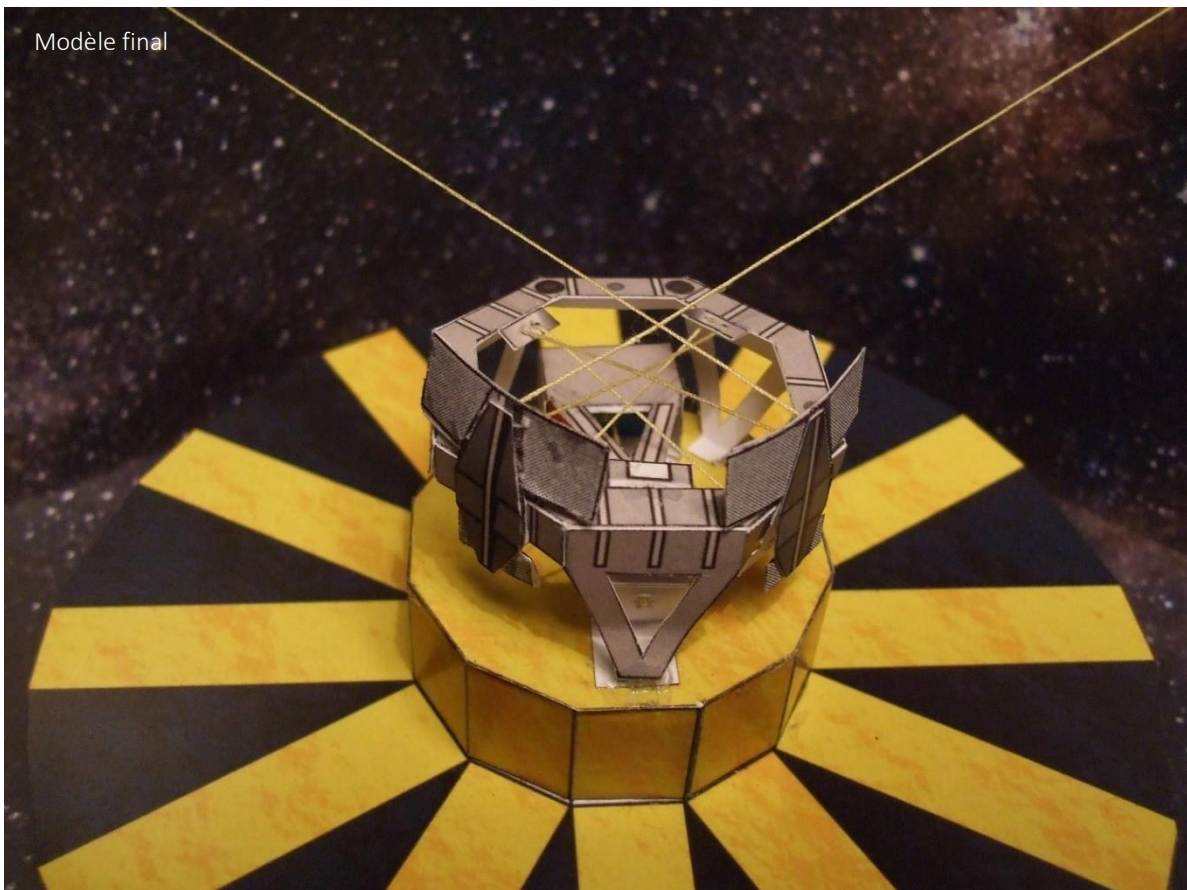
précautionneusement serré, le cas échéant, avec une pince. C'est seulement alors que le miroir M4 de la partie 6b et la partie arrière 6a peuvent être collés ensemble. Le dos du cadre peut être encore renforcé à l'aide d'un carton noir.

Etape 4



Le modèle achevé montre dans sa partie supérieure l'optique et l'instrument de Gaia. En réalité, cette partie supérieure du télescope spatial est entourée d'un revêtement thermique, qui a été omise ici pour des raisons didactiques.

Modèle final



[\(→retour au début\)](#)

5. Système télescopique de Gaia

(Olaf Hofschulz)

Gaia est équipée de deux télescopes. Ses deux miroirs rectangulaires principaux ont une surface de 1,45 m x 0,5 m, les axes optiques forment un angle de 106,5°. Ainsi deux objets peuvent être mesurés dans deux directions d'observation différentes. Cela permet d'étudier très précisément les distances angulaires, et l'orientation précise de Gaia dans l'espace. Un système de plusieurs autres miroirs dirige enfin le rayonnement dans un plan focal commun aux deux télescopes, dans lequel se trouve la caméra CCD.

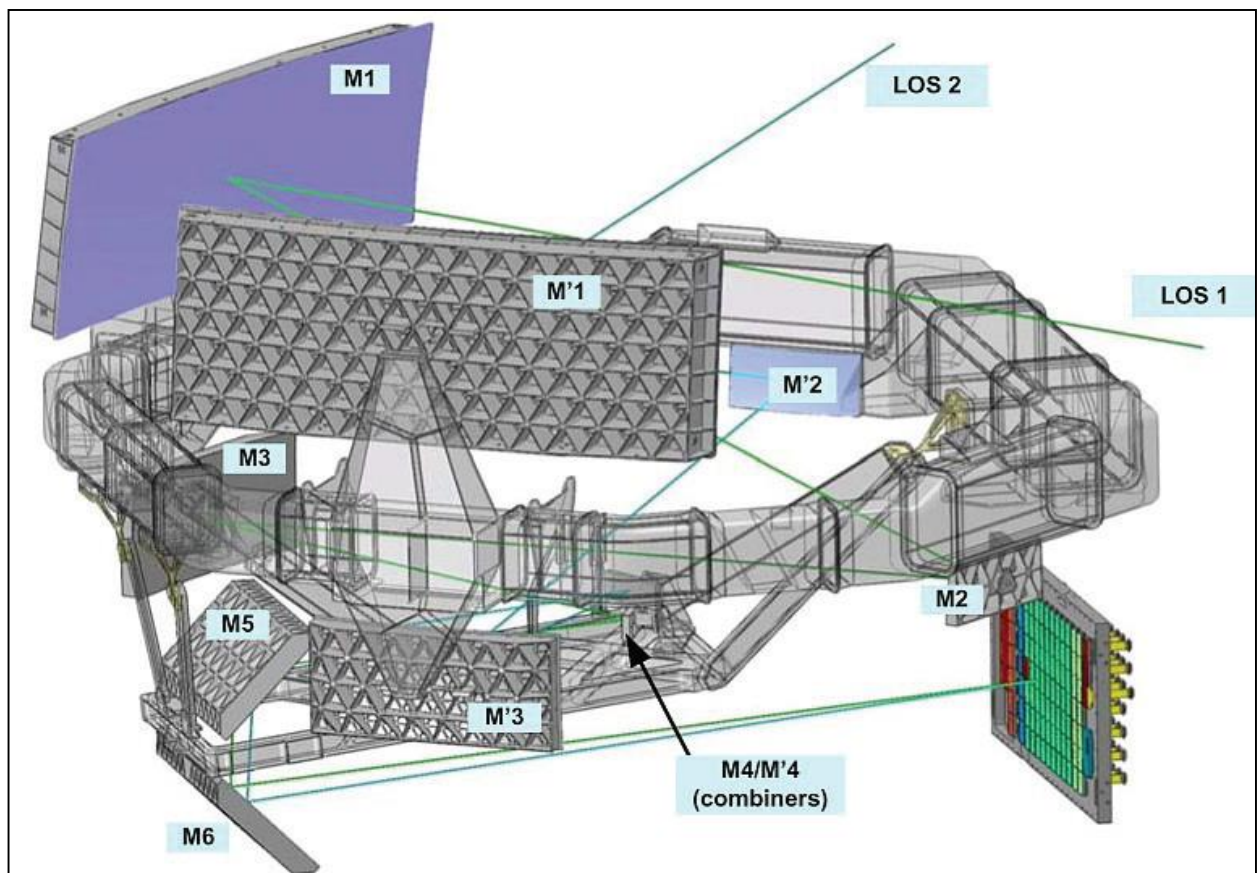


Figure 5: Conception optique de Gaia avec les deux miroirs principaux M1 et M'1.

Source : ESA (http://www.rssd.esa.int/SA/GAIA/docs/flyers/Gaia_flyer_2012_ge.pdf).

Exercice: « le télescope Gaia – plus de précision »

1. Décrivez le trajet de la lumière dans le télescope Gaia à partir de la figure 5 (tu peux t'aider pour cela du modèle décrit dans le chapitre 4 « l'optique de Gaia »).
2. Les dimensions du miroir principal rectangulaire sont de 1,45 m x 0,5 m. Quel devrait être le diamètre d'un miroir de la même superficie qu'un cercle ?

[\(→retour au début\)](#)

3. Définis dans le **programme Stellarium** une nouvelle combinaison à partir du télescope et de la puce de la caméra avec les données de Gaia. (À partir du diamètre du miroir dont la surface ressemble à un cercle, utilise donc [diamètre] $d = 0,96$ m et [distance focale] $Df = 36$ m ainsi que les dimensions de la puce de 104 cm $\times$ 42 cm).

„Voyage“ maintenant avec ton « **simulateur Gaia** » à travers divers objets célestes. Enregistre la « prise de vue » en tant que image et affiche enfin le résultat.

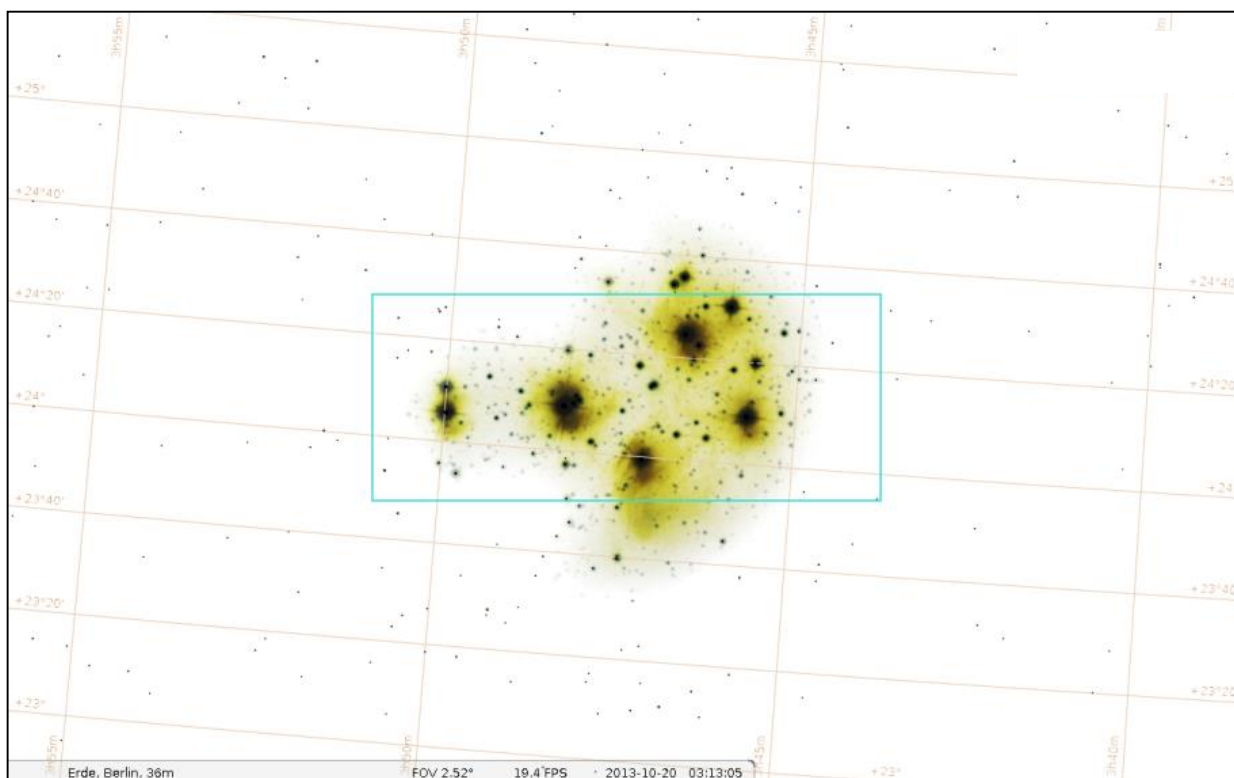


Figure 6: les Pléiades avec la „caméra CCD de Gaia“. Obtenue avec Stellarium.

[\(→retour au début\)](#)

6. Gaia – La caméra giga pixel

(Olaf Hofschulz)

Les caméras CCD sont des outils fondamentaux pour les astronomes. Elles permettent, à partir du rayonnement des objets observés d'enregistrer des informations et de les évaluer.

Gaia contient la plus grande caméra CCD jamais construite à ce jour pour intervenir dans l'espace. Elle compte environ un milliard de pixels. La caméra est constituée de 106 puces CCD individuelles, qui effectuent différentes tâches réparties en groupes. Les étoiles, grâce à la rotation du satellite, se déplacent **en ligne droite de façon homogène** sur la matrice CCD. Ainsi, elles parcourent les différentes zones.

Tout d'abord, les étoiles qui rentrent dans le champ visuel migrent vers le champ CCD « cartographie du ciel ». Ici se produit une pré-sélection, on détermine les informations concernant les positions et la luminosité des objets, de telle sorte qu'enfin les régions de fenêtre peuvent être définies, qui sont lues par les CCD suivantes. Ainsi, l'énorme quantité de données peut être réduite.

Lors du trajet des 62 CCD astrométriques, une lecture retardée des colonnes a lieu dans la région des fenêtres prédéfinies synchronisées exactement avec le mouvement des satellites. Ainsi, on prend la photo pour déterminer les positions ultérieures (astrométrie). Au cours de l'intervention de Gaia, chaque région est observée environ 70 fois. On détermine le plus précisément possible les parallaxes.

Les **photomètres** CCD bleus et rouges suivants servent à déterminer la luminosité. Avec les **spectromètres** RVS, on produit des spectres d'étoiles brillantes à l'aide d'une grille, de manière à opérer à une classification des spectres.

Les CCD restantes sont utilisées à des fins techniques, comme par ex. la focalisation et le contrôle de la position :

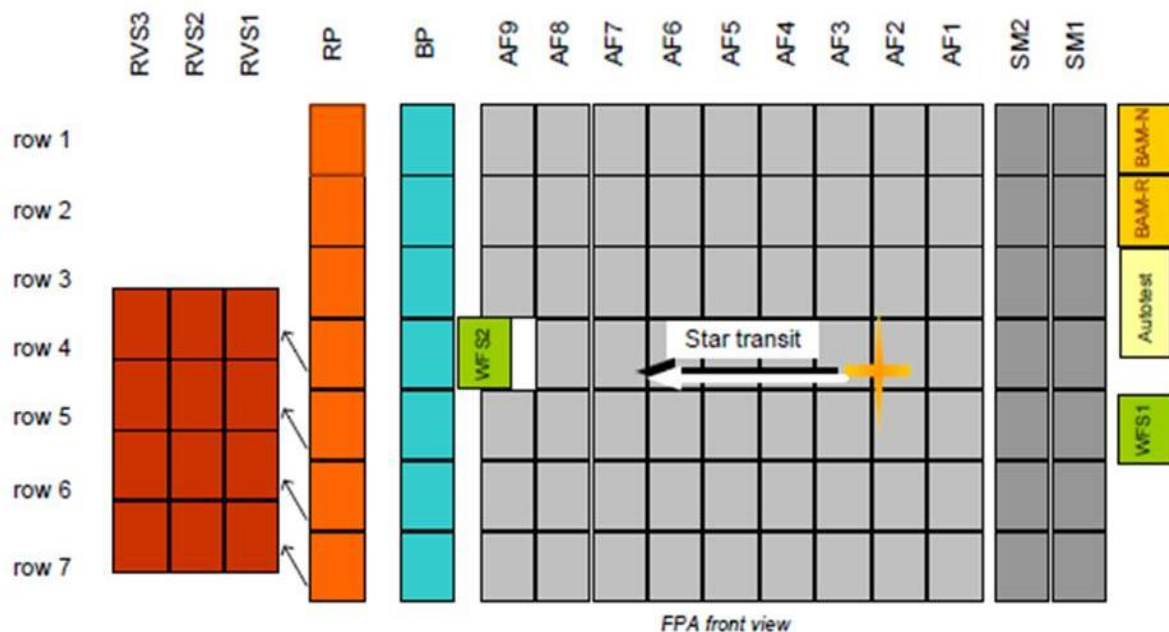
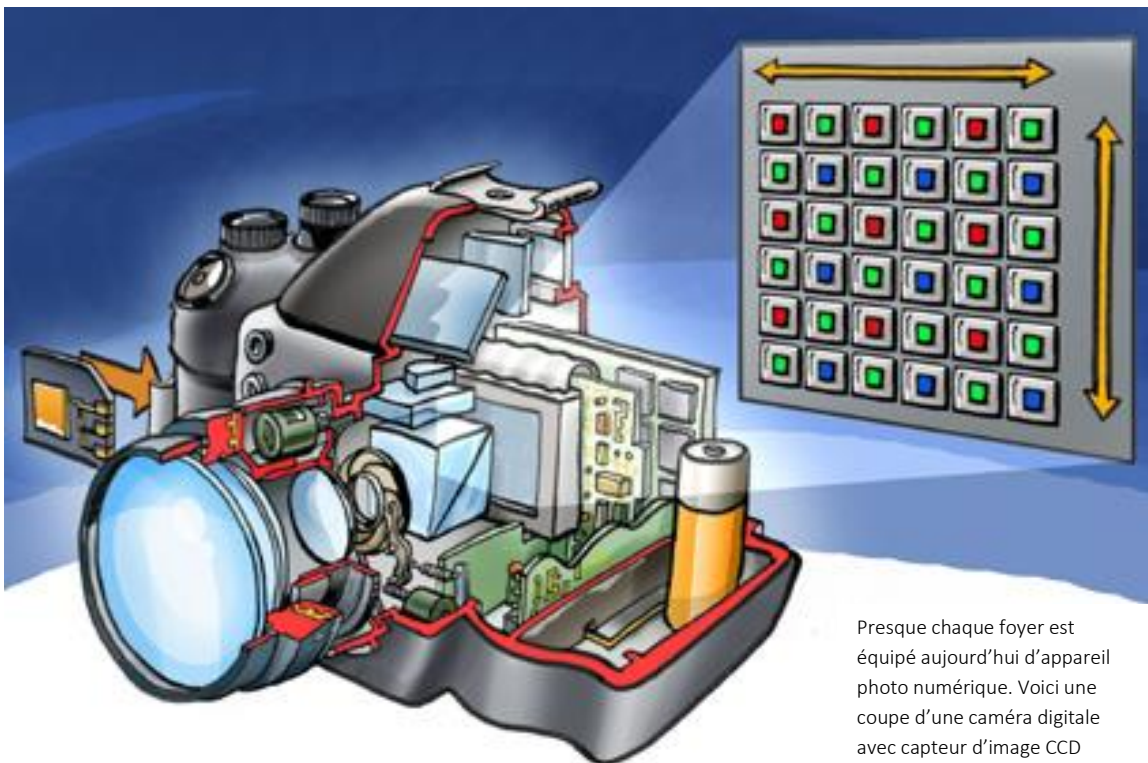


Photo 7: Caméra CCD de Gaia.

[\(→retour au début\)](#)

Exercices : Photos « pixélisées – Caméra CCD de Gaia »

1. La caméra CCD giga pixel de Gaia possède 106 CCD, respectivement 4500×1966 pixels. Calcule le nombre global de pixels.
2. Compare le nombre de pixels avec l'appareil photo numérique utilisé à ce jour.
3. Dans l'astronomie professionnelle, on utilise presque exclusivement les caméras CCD-SW. À des fins scientifiques, la photo en couleur n'est presque pas importante. Si l'on souhaite toutefois prendre des photos en couleur, par exemple, en prenant des photos successivement avec un filtre rouge, vert et bleu (RGB), on les additionne ensuite à un **écran** de photos en couleurs, c'est-à-dire on les mélange.
 - a) Explique le principe, selon lequel on obtient une photo en couleur à partir des trois photos monochromes (RGB).
 - b) Recherche ce que veut dire une matrice de Bayer.
 - c) Quels sont les avantages d'avoir des caméras CCD noir et blanc par rapport à des caméras en couleur.
4. Les étoiles parcourent une distance selon la rotation de la sonde en 30s, qui correspond en haut sur la figure 7 à la longueur de la flèche. Calcule la vitesse, avec laquelle les étoiles se déplacent sur les caméras CCD.
5. Nomme les tâches qu'effectuent chacun des champs des caméras CCD.
6. Le temps d'exposition est déterminé par le temps de parcours d'une étoile en un pixel c'est-à-dire un CCD. Un pixel a une largeur de 10 micromètres. Calcule le temps d'exposition pour un pixel, c'est-à-dire pour une puce CCD.



Presque chaque foyer est équipé aujourd'hui d'appareil photo numérique. Voici une coupe d'une caméra digitale avec capteur d'image CCD rouge bleu vert (Source: Wikimedia Commons, Auteur: Welleman)

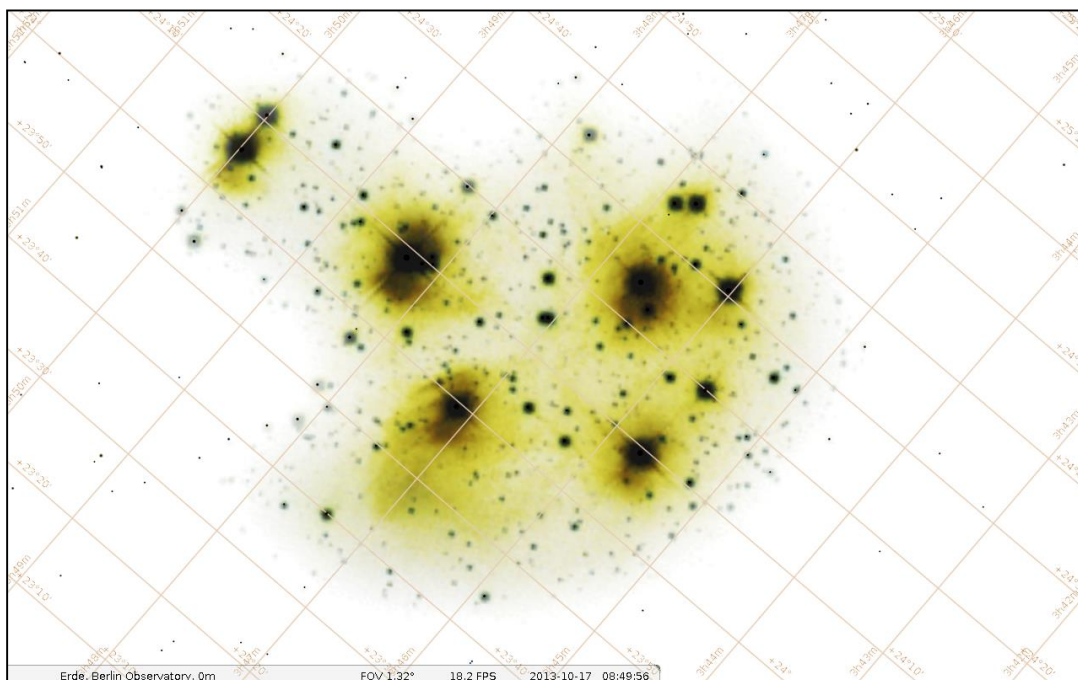
À l'aide de la feuille d'exercice suivante, saisis les données essentielles/étapes de travail afin **d'évaluer** les photos de Gaia...

FEUILLE DE TRAVAIL 1

1. Établis les **coordonnées** (ascension droite et déclinaison) de 6 étoiles brillantes à partir de la photo des Pléiades. Utilise pour cela la coupe de la carte du ciel dans la figure ci-dessous, afin de lire le plus précisément possible les coordonnées. Porte tes résultats dans le tableau ci-dessous.



Pléiades (M45, amas d'étoiles ouverts dans le Taureau). Photo à l'aide d'un réfracteur ($d = 85 \text{ mm}$, $D_f = 450 \text{ mm}$) et Canon 1000D.



Carte du ciel avec les coordonnées des régions des Pléiades. Obtenue avec le logiciel Stellarium.

FEUILLE DE TRAVAIL (Partie 2)

2. Maintenant, lance le programme Stellarium, avec lequel a été créée la carte du ciel. Recherche les Pléiades dans la constellation du Taureau et vérifie les coordonnées des étoiles que tu as choisies à l'aide du programme.
3. Puis identifie à l'aide de Stellarium les noms, c'est-à-dire l'appellation des étoiles et leur luminosité apparente.
4. À quelle distance les Pléiades se trouvent-elles de nous ? Calcule la distance moyenne des étoiles les plus brillantes des Pléiades. (Dans le programme Stellarium, la distance et la parallaxe apparaissent, pour les étoiles les plus brillantes).

Numéro	Appellation/nom	Ascension droite	Déclinaison	Luminosité apparente
1				
2				
3				
4				
5				
6				

5. La photo suivante montre les spectres des étoiles des Pléiades. Donne les raisons pour lesquelles l'amas d'étoiles les plus brillantes apparaît en bleu et ont donc des propriétés très similaires. Comment expliques-tu cela ? Observe les photos des Pléiades déjà présentées précédemment.

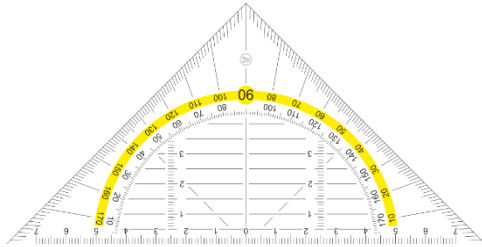


Les Pléiades (à gauche) et leurs spectres. Réfracteur 60/360 avec un réseau blazé et Canon 1000Da, exposé 30s à l'ISO 1600.

[\(→retour au début\)](#)

7. Détermination de la distance – parallaxe relative et absolue

(Olaf Fischer)



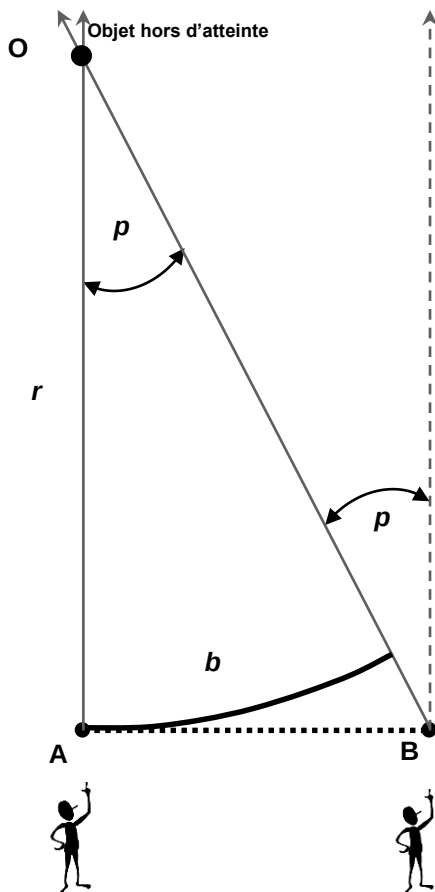
Calcul de la distance par la mesure des angles – parallaxe trigonométrique

La méthode pour déterminer la distance d'un objet non visible (sur l'instant) en

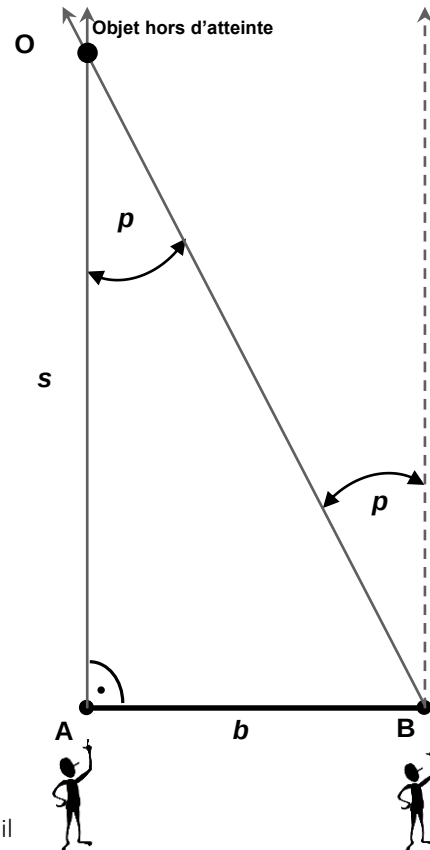
se basant sur un triangle provient des Grecs anciens.

L'idée fondamentale est la suivante: on dessine une ligne de base $AB=b$ perpendiculairement à une ligne de liaison (d'une longueur inconnue s) d'un observateur à l'objet (l'observateur s'assied à l'extrémité de cette droite – sur le dessin, à droite : A).

Maintenant, l'observateur se rend à une autre extrémité de la ligne de base (B) et cible de nouveau l'objet. La direction a changé autour de l'angle p , que l'on appelle **parallaxe**.



La parallaxe p se trouve dans le triangle ABO, avec des angles alternés. Ainsi, la distance s que l'on recherche peut être calculée dans l'angle droit du triangle en s'appuyant sur la distance b et l'angle p . Comment est-il possible que cela puisse être observé et recalculé à l'aide de plusieurs exemples [3] ?



Cela est valable également sans triangles:

Pour de très grandes distances, on peut considérer la ligne de base AB comme faisant partie d'un cercle (la longueur de l'arc b) autour du point O avec le rayon r (la distance recherchée). On peut alors utiliser l'équation simple suivante pour le calcul de r :

$$\frac{c}{a} = \frac{360^\circ}{p} \Rightarrow \frac{2\pi \cdot r}{a} = \frac{360^\circ}{p} \cdot a.$$

D'où l'idée fondamentale simple selon laquelle de très petits angles posent des problèmes (pour des raisons didactiques, ils sont omis). Ils dépendent (voir schéma) de la précision avec laquelle la direction AO (direction de référence pour la mesure de l'angle) peut être déterminée en B. A cet effet, voir le schéma suivant.

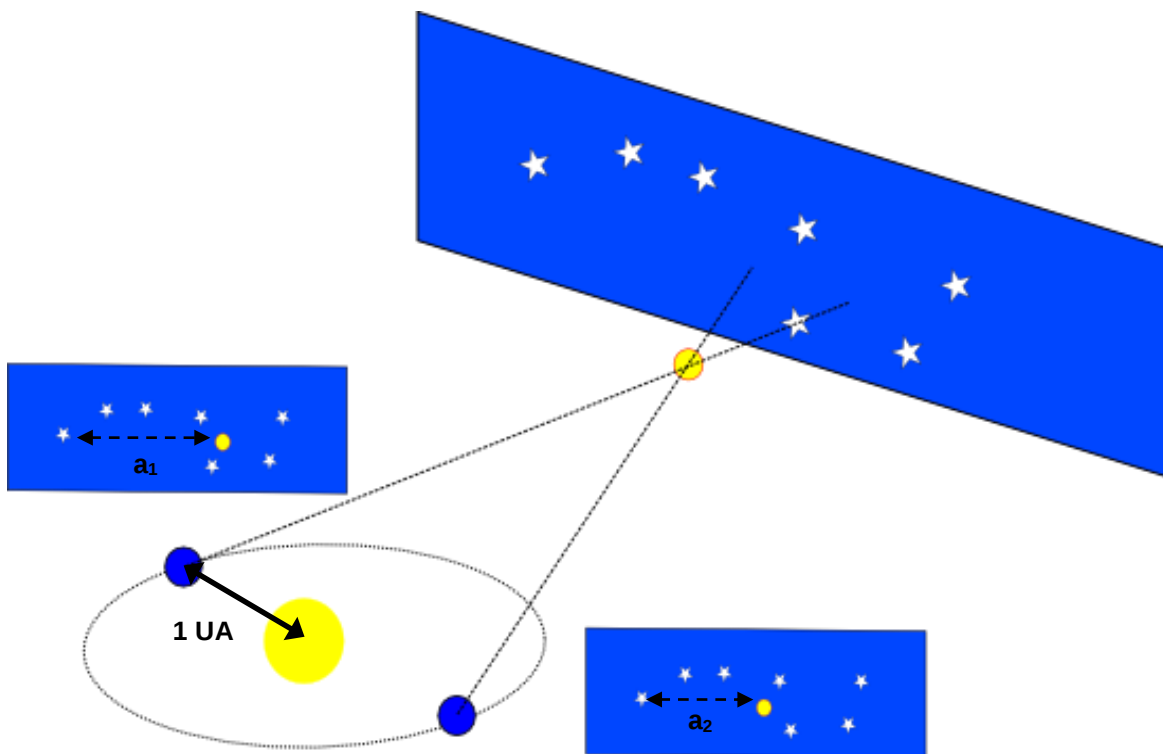
Ndt : c : circonférence, a : arc de cercle ; p : angle de la parallaxe ; b : longueur b ; s : longueur s

[\(→retour au début\)](#)

Parallaxe annuelle— relative et absolue

Lorsque la ligne de base est tendue par le mouvement de la Terre autour du Soleil, on parle alors de **parallaxe annuelle**. Pour des raisons de définition, on se réfère à la distance moyenne de la Terre vers le Soleil (une unité astronomique : 1 année-lumière). On peut se représenter combien il est difficile de retrouver dans l'espace une direction de référence déterminée il y a six mois.

À l'époque d'une seule astronomie terrestre possible, on s'aidait d'une astuce. On cherchait à proximité de l'objet dont la distance devait être déterminée, un objet de référence très éloigné (de préférence un quasar), qui établissait la direction de référence. Dans l'image du télescope, autrement dit sur une photo du ciel réalisée avec un télescope, on pouvait mesurer la parallaxe p par rapport à l'objet de référence. On appelle cela une **parallaxe relative annuelle**.



Parallaxe annuelle (Auteur/Source: WikiStefan, de.wikipedia). La parallaxe p est le résultat de $a_1 - a_2$.

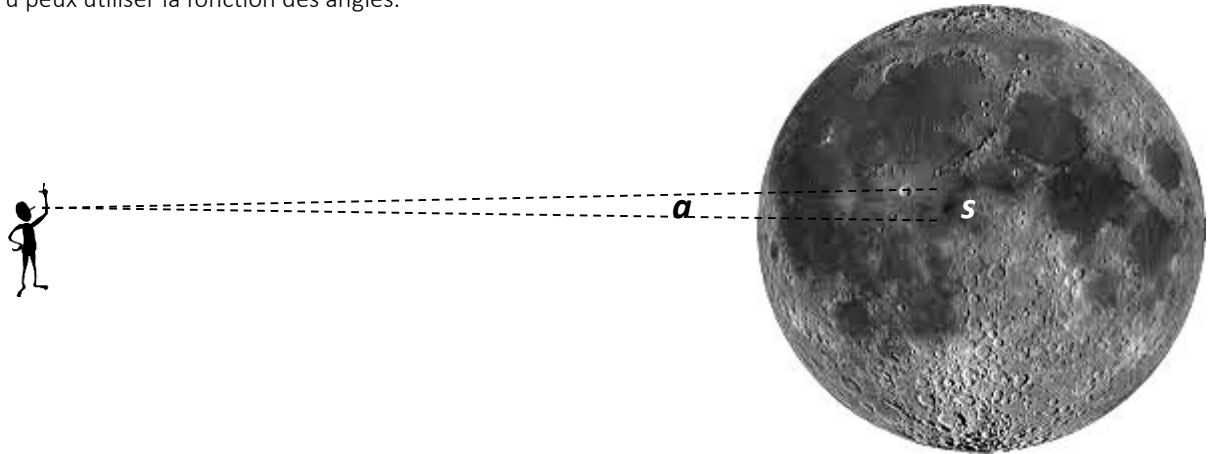
L'observation à partir du sol terrestre permet de définir les limites de la précision des frontières (atmosphère, gravité). L'astronomie spatiale ouvre de nouvelles possibilités pour l'**astrométrie** (l'astronomie mesurant les angles). Les **exercices** suivants **1 et 2** montrent concrètement ces possibilités pour l'observatoire spatial Gaia. Dans l'**exercice 3**, il est évident, que les quasars, avec la précision de Gaia ne suffisent plus comme objets de référence. Ainsi, il faut être conscient que le mouvement annuel de la parallaxe des étoiles dans le ciel (mouvement apparent) interfère avec son propre mouvement (vrai) et celui du Soleil dans la Voie Lactée (une nouvelle parallaxe).

Ainsi, il est nécessaire de trouver une direction de référence fixe dans le ciel, à partir de laquelle on peut mesurer la **parallaxe annuelle absolue**. Cela n'est possible qu'en se basant sur les étoiles mesurées dans le ciel lointain.

Contrairement à l'astrométrie terrestre traditionnelle mesurant le sol, par laquelle on observe seulement une petite partie du ciel, les observatoires spatiaux rotatifs permettent en peu de temps de réaliser des tours complets de la sphère céleste grâce à un procédé de numérisation. D'autre part, on a eu une idée permettant une amélioration de la précision, selon laquelle on observe deux zones du ciel très éloignées l'une de l'autre avec deux télescopes simultanément. **Les exercices 4 et 5** donnent une première idée de cela.

Exercice – Parallaxe et mesure de l'angle

- 1.) Gaia doit être mesurée avec une précision de 20 microsecondes. À quelle partie d'un degré correspond cet angle ? Quelle longueur s sur la surface lunaire s'étend cet angle α ? Tu as deux possibilités de solution :
- a.) Tu peux déterminer la longueur recherchée comme segment d'un arc de cercle, dont le rayon représente la distance recherchée.
- b.) Tu peux utiliser la fonction des angles.

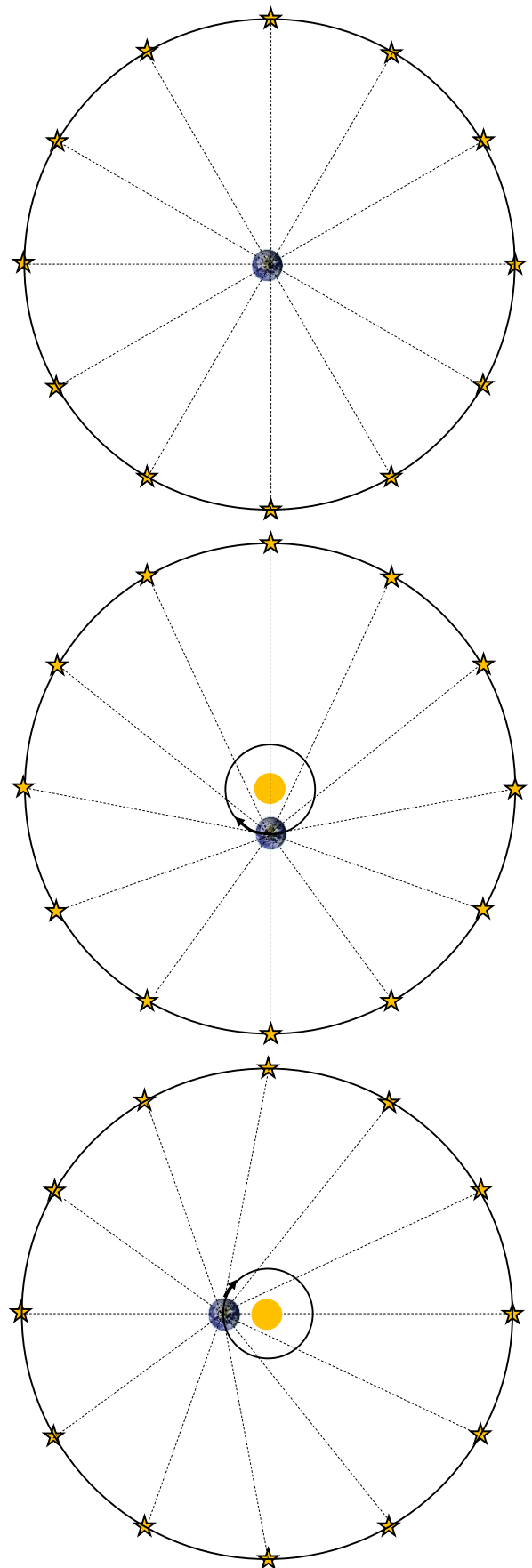


- 2.) À quelle distance (en année-lumière) se trouve une étoile, dont la parallaxe annuelle a une valeur de 100 microsecondes d'arc (5 fois la mesure de Gaia) ? Une année-lumière est d'environ $9,461 \cdot 10^{15}$ m. Réfléchis pour résoudre ce problème : la parallaxe établit la différence de directions dans lesquelles une étoile, pour la distance recherchée, est observée à partir de deux points de l'orbite terrestre. Ces points sont à une distance l'une de l'autre d'une unité astronomique ($1 \text{ UA} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$).
- 3.) a.) Quelle parallaxe annuelle a un quasar comme objet de référence, qui se trouve à une distance de 10 milliards années-lumière ?
- b.) On entend par quasar les noyaux des galaxies qui sont actifs et sont donc extrêmement lumineux. Les noyaux des galaxies ont un diamètre de l'ordre de plusieurs années-lumière. La zone lumineuse des quasars peut migrer de position dans le noyau galactique [5].
En supposant que la zone lumineuse des quasars éloignés de 10 milliards années-lumière migre dans le noyau galactique au cours d'une année vers un endroit à une distance de 5 années-lumière, quel déplacement angulaire cela fait-il dans le ciel ?
- 4.) Quelles possibilités d'augmentation de la précision a-t-on lorsque l'on obtient les données angulaires des angles pour les étoiles sur un cercle complet au lieu d'avoir une toute petite coupe du ciel (photo prise du ciel) ?
Pour répondre à cette question, il faut d'abord réfléchir sur quoi est basée l'appréciation de la parallaxe relative sur une photo prise du ciel. Il faut souligner que les positions absolues des étoiles sont établies en principe avec une précision au dixième de seconde d'un arc.

- 5.) Dans ce qui suit, nous prendrons en considération pour deux positions de la Terre le déplacement parallactique des étoiles fixes, qui se trouvent sur la sphère céleste dans le plan de l'orbite de la Terre (dans l'elliptique). On obtient pour résultat un comportement de toutes les étoiles, qui peut être utilisé pour déterminer une direction de référence.

Voici 3 images (attention, très simplifiées !). Sur l'image du dessus, on peut voir les étoiles fixes en rotation sur une Terre sans mouvement. Sur l'image du milieu et sur l'image du bas, on voit de nouveau ces étoiles fixes, mais cette fois autour d'une Terre en mouvement autour du Soleil avec deux positions différentes.

- Mesure les distances angulaires entre les étoiles, qui peuvent être calculés à partir de la Terre.
- Quels angles obtient-on, et comment peut-on vérifier le résultat ?
- Que peut-on dire de la variation systématique des distances angulaires entre les étoiles fixes et la position de la Terre ?
- Comment sont réparties, en réalité, les distances angulaires, c'est-à-dire lorsque la distance entre la Terre et le Soleil est beaucoup plus petite que la distance entre la Terre et les étoiles ?



[\(→retour au début\)](#)

8. Gaia et nos connaissances des étoiles

(Cecilia Scorza)

Plus la distance des étoiles est connue précisément, plus il est facile de les décrire d'un point de vue physique. Les contributions de Gaia seront donc de contribuer de manière significative au développement de nos connaissances de l'évolution et de l'extinction des étoiles. Même des considérations liées au mouvement des étoiles (dans les systèmes binaires ou autour du trou noir dans le centre de la Voie Lactée) aboutiront à des résultats plus précis. Ci-après, nous proposerons des exercices pour réfléchir sur **l'évolution des étoiles** et le trou noir au centre de la galaxie.

Pulsars, trous noirs, et matière noire dans la Voie Lactée

Toutes les étoiles sont nées dans des nuages de gaz et de poussière, qui sont réparties dans le disque de la Voie Lactée (voir à droite : photo de la naissance d'une étoile). Dans ces nuages de gaz, la densité du gaz (principalement de l'hydrogène) est beaucoup plus élevée qu'aux alentours. La force d'attraction de sa propre masse augmente la densité des nuages, et de cet « amas de gaz » naissent les étoiles. La masse que possède au départ une étoile détermine son développement futur.



Les étoiles massives telles que Rigel, avec plus de dix masses solaires, ont une durée de vie courte (quelques millions d'années) et « brûlent » leur « matière énergétique » (hydrogène) très rapidement. Lorsqu'elles vieillissent, elles se dilatent et deviennent des supergéantes rouges. Puis elles explosent telles des supernovas (SN) tandis que leur noyau diminue fortement sous l'effet de l'immense force d'attraction. Il ne reste plus d'elles que des neutrons (beaucoup plus durs qu'un diamant !). Toutefois, si une étoile avait à l'origine une masse plus grosse que 30 masses solaires, alors après l'explosion d'une supernova, il en résulte un trou noir !

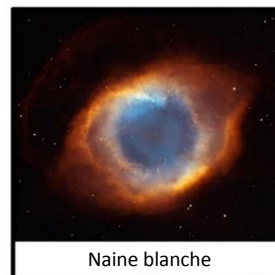
Les étoiles telles que le Soleil ou moins denses ont une durée de vie très longue (jusqu'à 15 milliards d'années !) car elles « brûlent » leur « métabolisme énergétique » plus lentement. Quand elles vieillissent, elles se dilatent, deviennent des géantes rouges et détachent enfin leurs enveloppes externes. Le noyau se rétrécit sous la pression de l'auto-gravité et devient une naine blanche.

Exercice – vie des étoiles

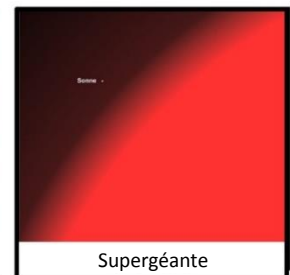
Ordonne les photos ci-contre en deux séquences : le développement des étoiles riches en masse et celles dont la densité est pauvre.



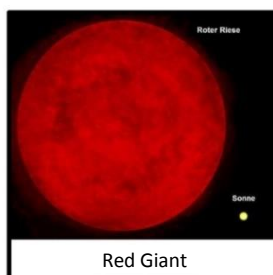
Gaz et de poussière nébuleuse



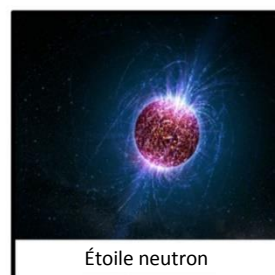
Naine blanche



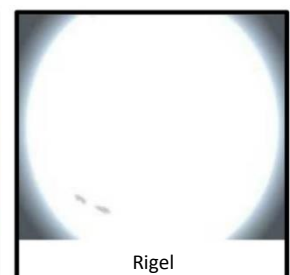
Supergéante



Red Giant



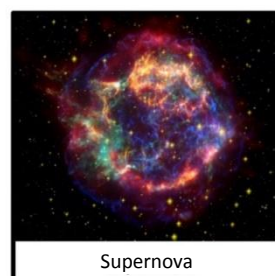
Étoile neutron



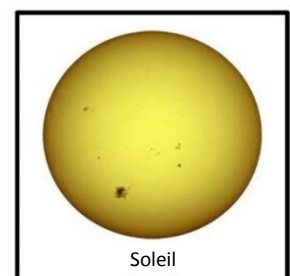
Rigel



Trou noir



Supernova

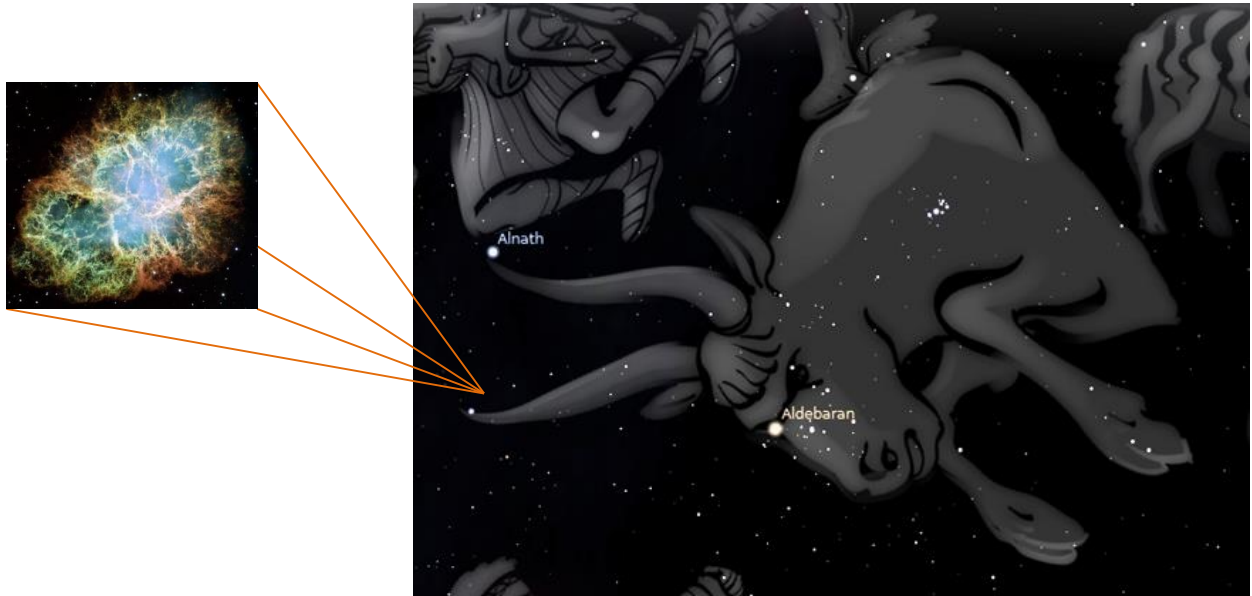


Soleil

[\(→retour au début\)](#)

Une étoile morte dans la constellation du Taureau?

Nous avons déjà trouvé deux pouponnières stellaires dans la constellation du Taureau (les Pléiades et les Hyades). Maintenant, nous allons nous lancer à la recherche d'un résidu de supernova ! Elle se trouve légèrement au-dessus, à droite de la pointe de la corne du Taureau à une distance d'environ 6 300 années-lumière de nous ! Étant donné que sa forme de brouillard a fait penser à celui qui l'a découverte à un crabe, elle est appelée « la nébuleuse du crabe ».



Au centre du résidu de cette supernova, un neutron a été découvert, qui tourne très rapidement : 30 fois par seconde. Il possède un champ magnétique très fort et envoie des ondes radio, qui à l'origine ont été interprétées comme des signaux d'une civilisation intelligente ! De tels neutrons possédant des ondes radio fortes sont appelés pulsars radio.

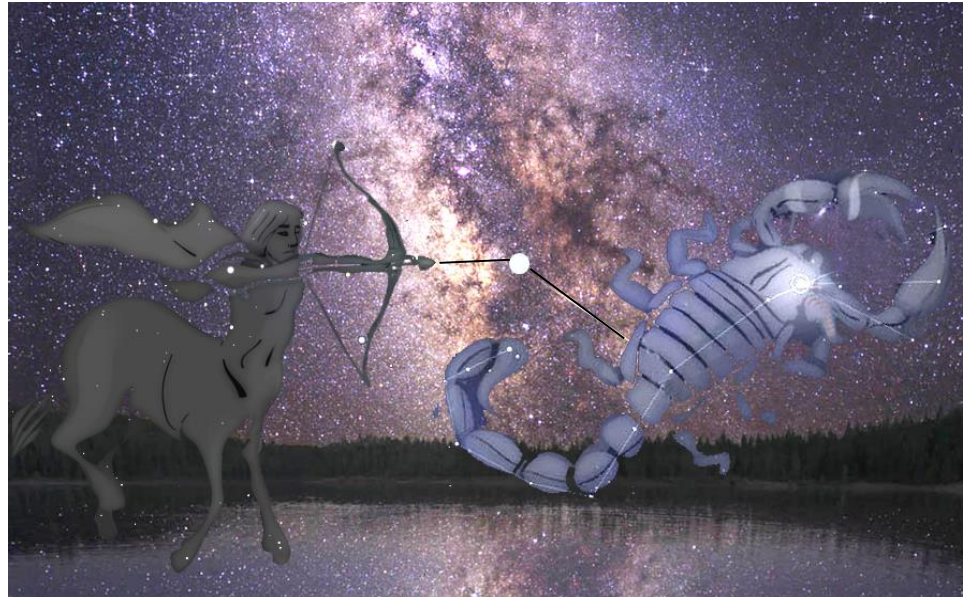
Exercices : „la nébuleuse du crabe et son pulsar“

- 1.) Quelle était la masse à l'origine de l'étoile au centre de la nébuleuse du crabe avant qu'elle n'explose ?
- 2.) Combien de fois par heure le pulsar effectue-t-il une rotation ?
- 3.) Combien de temps un signal radio met-il pour se propager entre la nébuleuse du crabe et la Terre ?

[\(→retour au début\)](#)

Le trou noir géant entre le Sagittaire et le Scorpion

Tout comme le pulsar du crabe, les astronomes ont reçu des signaux radio du centre de la Voie Lactée, qui se trouvent entre les constellations du Sagittaire et du Scorpion. Ces signaux étaient si puissants, que l'on soupçonnait à cet endroit l'existence d'un trou noir depuis de très longues années. Cet endroit de notre galaxie est cependant rempli de nuages de poussière dense – les cendres d'étoiles mortes – qui absorbent la lumière des étoiles centrales.



Pourtant, avec l'astronomie infrarouge, les astronomes sont parvenus à voir à travers les nuages de poussière, étant donné que le rayonnement infrarouge des étoiles pénètre la barrière de poussière. Ainsi, il fut possible de suivre le déplacement d'une étoile sur une période de 12 ans ! L'étoile bouge autour de quelque chose qui n'est pas visible. Sa vitesse de rotation très élevée (18 millions de kms/s) montre qu'elle subit une force d'attraction très élevée (sinon, elle serait partie depuis longtemps !). Et qui peut exercer une force d'attraction aussi forte et être en même temps invisible ? La réponse est simple : un trou noir !

Exercices : « Etoiles véloces au centre de la Voie Lactée »

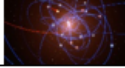
- 1.) Prends une télécommande, l'appareil photo de ton mobile et une bouteille de coca-cola. Invite une amie ou un ami à actionner la télécommande (sur n'importe quel bouton). Observe à l'aide de l'appareil photo de ton mobile. Que vois-tu ? Pose maintenant la bouteille de coca-cola devant la télécommande : que se passe-t-il ? C'est ainsi que les astronomes peuvent voir à travers les nuages de poussière !
- 2.) Prends une boule en bois perforée et fais passer à travers une corde mince. Fais un nœud épais de telle manière à ce qu'il ne bouge pas ! Prends l'autre extrémité et fais bouger rapidement la corde, de telle façon que la boule en bois tourne autour. Maintenant, accélère la rotation et essaie de trouver à quel moment tu dois tirer la corde vers toi, pour que la boule en bois ne s'échappe pas – à un rythme lent ou une rotation rapide ? Peux-tu expliquer cette analogie avec le trou noir ?

[\(→retour au début\)](#)

Sources

- [1] Bastian, Ulrich: Projekt Gaia: Die sechsdimensionale Milchstraße, Teil 1: Warum und wozu Gaia gebaut wird, *Sterne und Weltraum* 5/2013, S. 36-44
Bastian, Ulrich : Projet Gaia : La Voie Lactée en six dimensions, Partie 1 : Pourquoi et dans quel but Gaia a-t-il été créé, les étoiles et l'espace 05/2013, p.36-44
- [2] Bastian, Ulrich: projet Gaia: Die sechsdimensionale Milchstraße, Teil 2: Wo, wann und wie Gaia arbeiten soll, *Sterne und Weltraum* 5/2013, S. 48-55
Bastian, Ulrich : Projet Gaia : La Voie Lactée en six dimensions, Partie2 : Où, quand et comment Gaia fonctionne-t-il, les étoiles et l'espace 05/2013, p. 48-55
- [3] Hennig, Reiner: Sterne sind weit weg – wie weit eigentlich?, Beitrag im Portal „Wissenschaft in die Schulen!“ (WIS 9/2013), <http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/sterne-sind-weit-weg-wie-weit-eigentlich/1156161>
Hennig, Reiner : les étoiles sont éloignées – à quelle distance ?, Apport sur le portail « Connaissances dans les écoles ! » (WIS, 09/2013), <http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/sterne-sind-weit-weg-wie-weit-eigentlich/1156161>
- [4] Reffert, Sabine: Astrometric Measurement Techniques, *New Astronomy Reviews*, March 31, 2009
Reffert, Sabine : Techniques de mesures astrométriques, *Nouvelles revues d'astronomie*, 31mars 2009
- [5] Bastian, Ulrich: Korrespondenz im Juli 2013
Bastian, Ulrich : Correspondance, Juillet 2013
- [6] Brockmann, D. (2008): Ein Modell des Herschelteleskops, in: Staude, J. & Landeau-Constantin, J. (Hrsg.): *Sterne und Weltraum / esa. Die Weltraumobservatorien Herschel und Planck*, S. 16 – 25, Heidelberg
Brockmann, D. (2008): Modèle du télescope Herschel, : Staude, J. & Landeau-Constantin, J. (Editeur) : *Etoiles et espace/ASE. Les observatoires spatiaux Herschel et Planck*, p.16-25, Heidelberg
- [7] Laux, U. (1999): *Astrooptik*, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, Verlag Sterne und Weltraum, Heidelberg
Laux, U. (1999): *Optique astronomique*, 2^{ème} édition actualisée et complétée, éditions Etoiles et espace, Heidelberg
- [8] ESA: http://www.rssd.esa.int/SA/GAIA/docs/flyers/Gaia_flyer_2012_ge.pdf (gesichtet am 27.10.2013)
ASE: http://www.rssd.esa.int/SA/GAIA/docs/flyers/Gaia_flyer_2012_ge.pdf (observé le 27.10.2013)
- [9] Stellarium: <http://www.stellarium.org/de/> (gesichtet am 27.10.2013)
Stellarium: <http://www.stellarium.org/de/> (observé le 27.10.2013)

Solutions

Après 1450		Utilisation de caractères mobiles en métal pour l'impression typographique.
Milieu du 15 ^e s.		Première fabrication de verres transparents clairs en Europe (idée : Angelo Barovier)
1543	Nicolas Copernic 	Publication de l'idée d'une carte du monde héliocentrique
1584	Giordano Bruno 	Affirmation: l'espace est infiniment grand et d'une durée illimitée et non géocentrique. Le soleil n'est pas unique parmi les étoiles
1608		Le lunetier hollandais Hans Lippershey fabrique le premier télescope (télescope hollandais)
1609	Galileo Galilei 	La première observation au télescope montre que la Voie Lactée est composée d'étoiles 
1618 - 1648		Guerre années 30
1712		Début de la révolution industrielle en GB, première machine à vapeur (Thomas Newcomen), nombreuses découvertes
1728	James Bradley	Découverte de la déviation de la direction de la lumière des étoiles qui, avec une vitesse infinie, s'écarte de celle de la terre en mouvement (aberration) à la recherche d'une parallaxe stellaire fixe
1785	Wilhelm Herschel 	Fabrication et utilisation de grands télescopes réflecteurs : la Voie Lactée telle un amas d'étoiles 
1838	Friedrich Wilhelm Bessel 	Détermination initiale d'une parallaxe stellaire fixe de l'étoile 61 Cygni
1920	Harlow Shapley Heber Curtis  	Shapley: Voie Lactée beaucoup plus grande que presuppisée, Soleil pas au centre, les nébuleuses spirales sont des nuages de gaz dans cette galaxie géante, Curtis : la Voie Lactée beaucoup plus petite, les nébuleuses spirales sont des objets lointains comme la Voie Lactée
1939 - 1945		Développement de dispositifs de radio-tracking (RADAR) pour la guerre (2 ^e guerre mondiale)
A partir de 1950		Les observations radios montrent une structure de la Voie Lactée en spirale 
À partir de 1960		Le développement de capteurs pour le rayonnement infrarouge (depuis 50 pour l'armée) mène à la naissance de l'astronomie infrarouge
A p. de 1990		Le développement de l'optique adaptative (depuis les années 70 pour l'armée) permet des observations
A partir de 1992		Observations à haute résolution (à l'aide d'une optique adaptative) des étoiles près du centre galactique dans le proche infrarouge : preuve d'un trou noir gigantesque au centre de la Voie Lactée 
A p. 2005		L'analyse des images infrarouges du télescope spatial Spitzer par les astronomes de l'Université de Wisconsin-Madison, montre que la Voie lactée est une galaxie en forme de spirale à deux bras (et non une galaxie en spirale régulière). 
2010		À l'aide du télescope spatial Fermi, deux énormes boules d'énergie sont découvertes dans la région des rayons gamma qui se dressent au centre de la Voie Lactée au nord et au sud (Doug Finkbeiner, Harvard-Smithsonian 

Solution du texte à trous

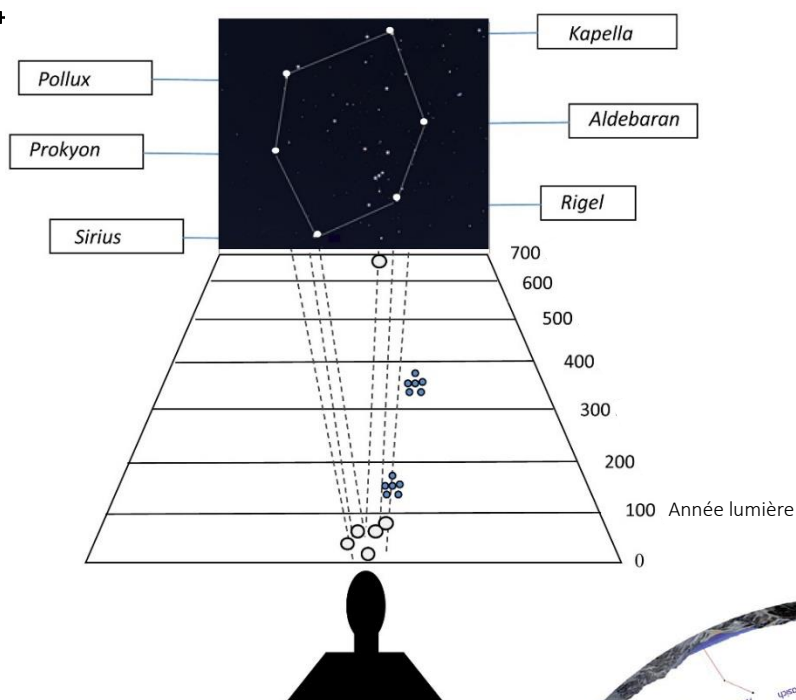
Centre: étoiles, comptage, Soleil, Sagittaire; **Vue:** Etoiles, zone infrarouge; **Distance (avec les triangles):** Soleil, 3600^{ème}, Terre; **distances (avec les chandelles standards):** chandelles standards, distance, distance, luminosité..., distances; **vue avec rayonnement radio:** Radio..., poussière, pénétrer.

Solutions : « étoiles du triangle d'hiver »

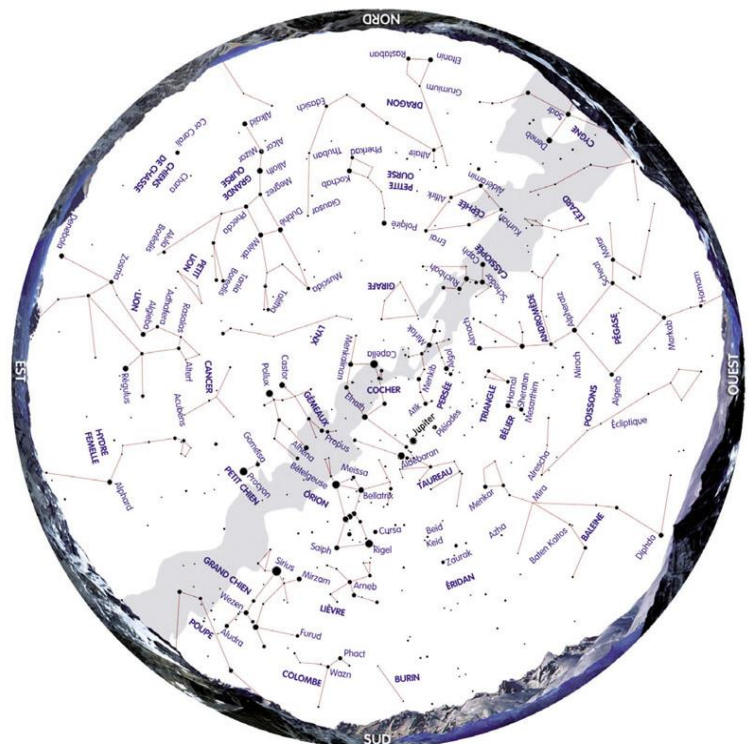
1. Une année-lumière est une unité de distance qui correspond à 1 000 milliards de kms.
2. Les étoiles les plus froides du triangle d'hiver sont Aldebaran et Pollux et l'étoile la plus chaude est Rigel.

Etoile	Distance [Al]	Température	Type d'étoile	Radius [Rayons solaires]
Capella	42,2	5000-6000	G	12
Aldebaran	70	3500-5000	K	25
Rigel	650	10000-30000	B	78
Sirius	8,6	7500-10000	A	1,7
Procyon	11,2	6000-7500	F	1,8
Pollux	33,7	3500-5000	K	8

3.+

**Solutions à « l'amas d'étoiles »**

1. Voir le diagramme ci-dessous avec les distances des Hyades et des Pléiades
2. Hyades: 7500-1000 K,
Pléiades: 10000-30000 K
3. Position des amas d'étoiles ouverts: tous les amas ouverts se trouvent dans le disque de la Voie Lactée. C'est là qu'ils prennent naissance, car dans le disque se trouvent les éléments impliqués dans la formation de ces étoiles (gaz et nuages de poussière).



Solutions : « Télescope Gaia : une plus grande précision »

1. La lumière diffuse sur les deux miroirs rectangulaires principaux M1 et M'1, réfléchit ensuite sur les miroirs respectifs M2 à M5, de façon à ce qu'enfin elle arrive dans le plan focal sur la caméra CCD. Par de nombreuses réflexions, elle parvient à une longueur focale de 36m. Jusqu'aux miroirs M5, tous les miroirs sont dupliqués.

Comme démonstration, on peut utiliser l'animation suivante :

lien: http://www.rssd.esa.int/SA/GAIA/images/image_gallery/290_BANC_02_410x230p.mov

(observé le 27. 10. 2013)

2. $A = 1,45 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,725 \text{ m}^2 \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0,96 \text{ m}.$
3. A l'aide de la combinaison de touches <Alt+O> et de la flèche →, on entre dans le menu correspondant. On peut configurer le télescope ($d = 0,96 \text{ m}$, $Df = 36 \text{ m}$ pour Gaia) et la puce (104 cm × 42 cm). Puis apparaît un champ que forme la puce dans le champ de vision et on peut approcher un objet céleste. On obtient une « photo » de l'instant à l'aide de la combinaison de touches <Ctrl+S>.

Solutions: « images pixélisées- Caméra CCD de Gaia »

1. 937.782.000 Pixel
2. Par exemple, 5 MP → Gaia a environ 188 fois plus de Pixel
3. a) Explique le principe du mélange des couleurs
b) Explique la construction et l'utilisation d'une matrice de Bayer (RGB)
c) plus grande sensibilité, plus haute résolution
4. Les exercices sont classés selon les informations présentées dans le texte d'introduction.
5. D'après les mesures du schéma, on obtient une distance d'environ 32 cm, à laquelle se déplace une constellation en 30s. D'où $v = 1,07 \text{ cm/s}$.
6. $t = \frac{s}{v} = \frac{1 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{0,0107 \text{ m/s}} = 9,35 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ pour un pixel. Étant donné qu'une puce CCD a une largeur de 4500 Pixel, une puce met une durée de. 4,2 s.

Ndt : v : vitesse ; t : temps ; d : diamètre

Solutions/remarque pour la feuille de travail

Les concepts fondamentaux tels que les coordonnées astronomiques et la luminosité apparente doivent être expliqués en premier lieu d'une façon appropriée et être transmises.

1. Les coordonnées sont communiquées approximativement et sont à reporter dans le tableau.
2. Les solutions des exercices 2 et 3 sont consignées dans le tableau, par ex

Numéro	Appellation/nom	Ascension droite	Déclinaison	Luminosité apparente
1	Méropé (23 Tau)	3 h 47 min	+23° 44'	4,1 m
2	Electra (17 Tau)	3 h 45 min	+24° 09'	3,7 m
3	Alcyone (η Tau)	3 h 48 min	+24° 08'	2,85 m
4	Maïa (20 Tau)	3 h 46 min	+24° 24'	3,85 m
...				

4. Les distances spécifiées pour les étoiles figurant dans le tableau sont les suivantes :

380,14 Al, 404,66 Al, 403,16 Al, 383,26 Al → distance moyenne: 392,8 Al
0,00858'' ; 0,00806'' ; 0,00809'' ; 0,00851'' → Parallaxe moyenne: 0,00831''

5. Tous les spectres indiquent un point essentiel de luminosité dans la zone bleue à violette. Comme dans la figure 2, les étoiles apparaissent en bleu. Les étoiles se sont formées ensemble et, en raison de leur formation commune, ont une même composition chimique. L'amas d'étoiles les plus brillantes ont également la même masse et sont ainsi à un stade de développement similaire.

Le programme Stellarium est un logiciel gratuit qui peut être téléchargé à l'adresse suivante :

<http://www.stellarium.org/de/> Avant de travailler aux exercices, on se doit de présenter la fonction de ce programme.

Solutions – parallaxe et mesure de l'angle

1.) 20 microsecondes correspondent à environ 5 milliardième d'un degré :

$$0,000.020'' = 0,0002'' \cdot \frac{1^\circ}{3600''} \approx 5,55 \cdot 10^{-9}^\circ.$$

A la distance moyenne de la Lune (384.400 km) un segment de $a \approx 4$ cm produit cet angle. Sans trigonométrie, cet angle peut être calculé à partir de l'observation du cercle. La distance recherchée représente un segment en arc de cercle avec un rayon r de la distance moyenne de la Lune (et la circonférence $c = 2\pi \cdot r$).

$$\frac{a}{c} = \frac{5,55 \cdot 10^{-9}^\circ}{360^\circ} \Rightarrow a = \frac{5,55 \cdot 10^{-9}}{360} \cdot 2\pi \cdot 384.400 \text{ km} \approx 4 \text{ cm}.$$

A l'aide d'une fonction angulaire, b peut être calculée comme suit :

$$\tan p = \frac{a}{r} \Rightarrow a = \tan 5,55 \cdot 10^{-9}^\circ \cdot 384.400 \text{ km} \approx 4 \text{ cm}.$$

2.) Le solution est un segment d'arc de cercle $b = 1$ UA dans la distance recherchée r où ce segment apparaît avec un angle de 100 microsecondes d'arc.

$$\frac{c}{a} = \frac{360^\circ}{p} \Rightarrow 2\pi \cdot r = \frac{360^\circ}{p} \cdot a \Rightarrow r = \frac{1}{p} \cdot \left(\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot 1 \text{ UA} \right) = \frac{1}{\frac{0,0001''}{3600''/^\circ}} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km} \approx 3,1 \cdot 10^{17} \text{ km}.$$

Avec $1 \text{ Al} \approx 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$, on obtient $r \approx 33.000 \text{ Al}$

3.) a.) Un quasar de 10 milliards Al $\approx 3,07$ milliards pc (1 pc équivaut à 3,26 Al) a une parallaxe annuelle à une distance d'environ 0,000.000.000.326''. Le quasar serait très bien approprié pour mesurer la parallaxe absolue avec Gaia, mais voir b).

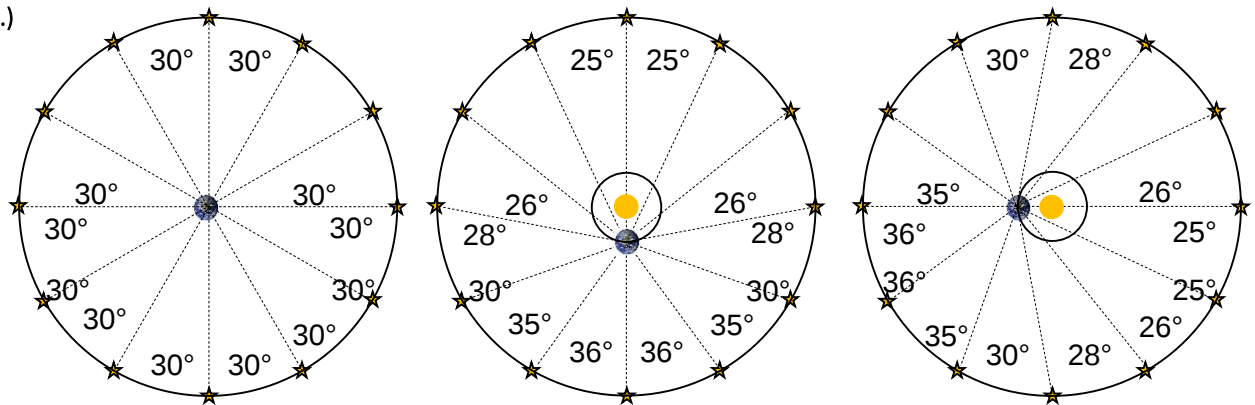
b.) Les quasars ne sont pas des points fixes et peuvent changer de lieu dans le noyau actif de la galaxie: si la région lumineuse du quasar éloigné de 10 milliards Al se déplace de 5 Al, il en résulte dans le ciel un déplacement angulaire d'environ 100 microsecondes d'arc (et Gaia est capable d'effectuer une mesure plus précise).

$$\frac{p}{360^\circ} = \frac{5 \text{ Al}}{2\pi \cdot 10^{10} \text{ Al}} \Rightarrow p = \frac{5}{2\pi \cdot 10^{10}} \cdot 360^\circ \approx 0,0001''.$$

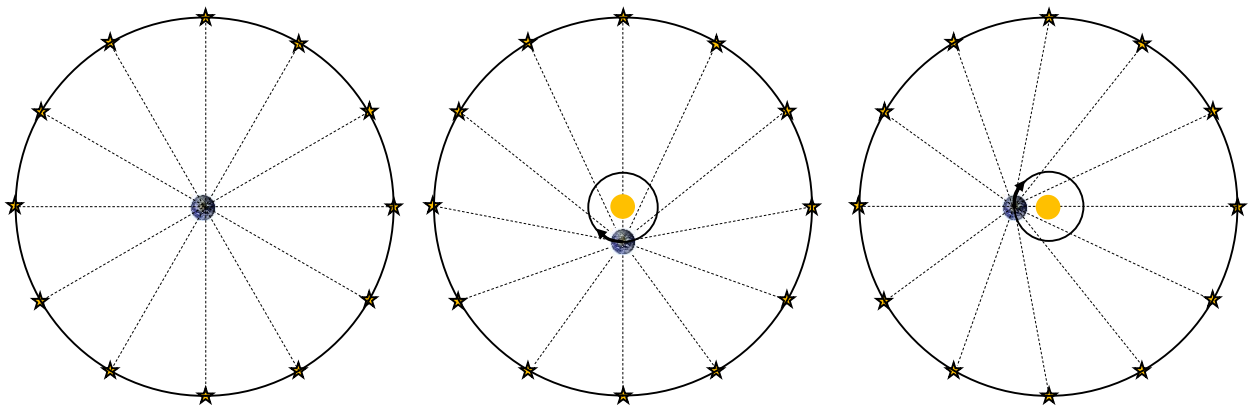
Ndt : a : arc de cercle ; p : angle de la parallaxe ; r : rayon ; c : circonférence ; UA : unité astronomique ; Al : Année-lumière

- 4.) Pour mesurer l'angle sur une unique vue du ciel (c'est-à-dire déterminer la parallaxe relative), il est nécessaire de spécifier la longueur qui correspond à une mesure de l'angle dans le ciel (échelle de grandeur de l'image). Cette information peut être déterminée d'après les distances entre les étoiles sur la prise de vue. L'exactitude des positions des étoiles permet de mieux définir l'échelle de grandeur de l'image et la mesure des parallaxes relatives. Dans le cas de la roue du ciel on a défini les « longueurs d'angle » sur l'image : 360° et ainsi, il est possible de mieux identifier l'échelle de grandeur de l'image.

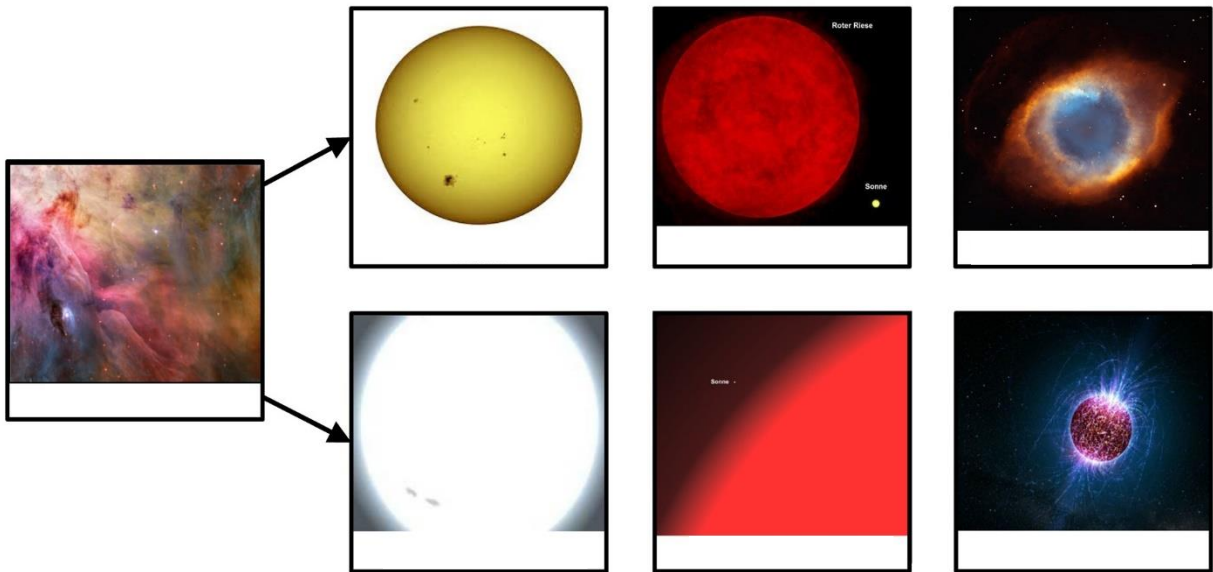
5.)



La précision de l'angle peut être testée par sa somme de 360° . Les distances angulaires (fixées à elles) changent selon différentes positions orbitales visibles de la Terre (déplacement parallactique). En réalité, on observe le plus grand déplacement perpendiculairement à la ligne reliant la Terre au Soleil et aucun déplacement le long de cet axe Terre-Soleil.



Solution: « Vie des étoiles »



Solutions: « la nébuleuse du Crabe et son pulsar »

- 1.) Entre 12 et 30 masses solaires
- 2.) 108 000 fois par heure
- 3.) 6300 années

Solutions: « étoiles hyper véloces au centre de la Voie Lactée »

- 1.) Essai avec la télécommande: on peut voir le signal de la télécommande à travers une bouteille de coca-cola avec un appareil photo numérique.

Par une rotation rapide, on obtient une ligne sous tension. C'est ainsi que les étoiles « glissent » vers la « ligne de tension invisible » en direction du trou noir où la vitesse de rotation est la plus élevée.