

## Calcul de l'accélération de l'expansion de l'univers

Claude Mercier ing., 4 août 2017  
Rév. 1 juillet 2018

claud.mercier@gctda.com

---

*En 1929, grâce à ses observations astronomiques, Hubble fut le premier à découvrir que l'univers est en expansion [3]. Plus récemment, les astrophysiciens ont constaté que la vitesse d'expansion de l'univers n'était pas uniforme au cours du temps et que l'expansion semblait être en accélération au cours du temps [15, 16].*

*L'univers prend de l'expansion, ce qui fait ralentir la vitesse de rotation angulaire de l'univers. De plus, à chaque fois qu'il y a transformation d'énergie dans l'univers, l'entropie (mesure de la quantité de désordre) augmente au cours du temps (comme un effet de friction qui ralentit une roue). Nous pourrions être enclins à croire que l'augmentation de l'entropie de l'univers cause l'expansion de l'univers, cependant, ce n'est pas le cas. L'augmentation de l'entropie dans l'univers n'est pas la cause de l'expansion de l'univers, mais la conséquence du fait que les forces n'existent pas et que l'univers est en expansion.*

*En supposant simplement que la force gravitationnelle n'existe pas (ce n'est qu'un concept mathématique pratique) et qu'elle peut être expliquée par un concept de pression de radiation [14], il est possible d'expliquer pourquoi l'univers est en expansion. Notre hypothèse permet d'expliquer pourquoi l'expansion de l'univers accélère et de calculer la valeur de cette accélération. Elle permet aussi de savoir que l'accélération de l'expansion de l'univers diminue au cours du temps pour éventuellement tendre vers zéro. Lorsque la limite du rayon de courbure apparent de l'univers tendra vers l'infini, plus aucune interaction entre les différents photons contenus dans l'univers n'aura lieu. L'univers continuera alors son expansion à une vitesse constante que nous nommons arbitrairement «  $k$  » (faisant référence à notre premier article [8]) et qui est supérieure à la vitesse de la lumière dans le vide «  $c$  » actuelle.*

*La « force d'attraction gravitationnelle » telle que vue par Newton et la « déformation d'espace-temps » d'Einstein expliquent le même phénomène d'accélération d'un objet vers un autre associé à la gravitation. Ce phénomène de gravitation n'est pas vraiment un phénomène fondamental lié à l'expansion de l'univers. Il n'est qu'un effet secondaire qui apparaît en raison du fait que nous sommes habitants de l'univers et que nous baignons dans un énorme bain de photons de différentes longueurs d'ondes.*

*Tout comme pour l'entropie, la flèche du temps est causée par le fait que les forces n'existent pas et que l'univers est dans un processus d'expansion à l'infini. Il n'y aura jamais de « big crunch » et le cours du temps ne pourra pas s'inverser. Le désordre de l'univers, c'est-à-dire son entropie, ainsi que le temps ne peuvent qu'augmenter parce que les forces n'existent pas.*

---

**MOTS CLÉS :** Accélération, expansion, univers, constante de Hubble

## 1. INTRODUCTION

Lorsque les astronomes et astrophysiciens affirment que l'univers est en expansion (tel que suggéré par Hubble [3]), il est suggéré au lecteur que le rayon de courbure apparent de la sphère visible de l'univers augmente au cours du temps. Lorsqu'ils affirment que l'expansion de l'univers s'accélère, il est alors suggéré au lecteur que les variations du rayon de courbure apparent de l'univers sont de plus en plus grandes au fur et à mesure que le temps avance.

Dans cet article, nous voulons montrer que du fait même que les forces n'existent pas, l'univers est en expansion et permet à l'entropie d'augmenter au cours du temps. Comme les forces n'existent pas, l'entropie ne peut qu'augmenter au cours du temps et implique une flèche du temps qui ne peut reculer en arrière.

Les équations mathématiques permettent de décrire notre monde réel. C'est un outil puissant qui permet certaines prédictions. Mais sans plus.

Newton et Einstein ont réussi à décrire les accélérations des objets les uns vers les autres à l'échelle macroscopique. Leurs équations fonctionnent bien dans un cadre bien défini. Des équations mathématiques décrivent les trajectoires des objets, mais ces équations ne constituent pas en soit des explications des causes sous-jacentes. Les « forces » sont des concepts mathématiques utiles et l'énoncé de leurs existences semble naturel à tout le monde. Mais elles n'existent tout simplement pas. L'apparence de leur existence est simplement due au fait que nous baignons dans un bain de photon et que nous faisons partie de l'univers qui contient ces photons.

## 2. DÉVELOPPEMENT

### 2.1. L'accélération de l'univers en expansion

Il faut faire attention aux interprétations. S'il a été possible aux astronomes de constater, à l'aide d'observations, que l'univers est en expansion [3] (première dérivée de la distance par rapport au temps) et l'expansion de l'univers s'accélère [15, 16] (deuxième dérivée de la distance par rapport au temps), rien n'a été mesuré ou constaté par rapport à la troisième dérivée par rapport au temps. Cela veut dire que les observations faites présentement par les astronomes ne permettent pas de savoir si cette accélération va en augmentant ou en diminuant au cours du temps. Pour statuer sur ce fait, cela nécessite un niveau de précision

sans précédent sur les mesures qui sont faites ou une méthode révolutionnaire qui ne nécessite pas de mesures précises.

Il faut déjà considérer les mesures et observations qui ont été faites jusqu'ici comme étant un exploit en soit. Il est peu probable (mais pas irréalisable) qu'il soit possible un jour de pouvoir vraiment mesurer la troisième dérivée par rapport au temps. Ceci ne veut pas dire qu'il ne sera pas possible de savoir si l'accélération augmente ou diminue au cours du temps, sans savoir de combien.

Afin de comprendre le niveau de difficulté de mesurer adéquatement une troisième dérivée de la distance par rapport au temps, commençons par constater que la constante de Hubble  $H_0$ , qui nous a permis de constater que l'univers est en expansion, est présentement très mal connue. Elle représente une dérivée d'une distance par rapport au temps, par MParsec (qui est une unité de mesure de distance astronomique où 1 Parsec =  $96\,939\,420\,213\,600\,000/\pi$  mètres [25], ce qui correspond à environ  $3,085677581 \times 10^{16}$  m). En définitive, lorsque les unités de distance sont choisies pour s'annuler, nous obtenons une constante qui représente l'inverse de l'âge apparent de l'univers. Malgré toutes les mesures précises qui ont été faites jusqu'à maintenant, nous pouvons constater que la valeur de la constante de Hubble se situe entre environ 67 et 76 km/(s.MParsec). Cette variation représente presque une variation d'une décade.

Pour constater une accélération au cours du temps, cela nécessite un degré de précision qui nous permettra de discriminer si la mesure qui est faite est une erreur ou une véritable accélération. Cela nécessite un écart entre les mesures qui est au moins 10 à 100 fois moins grand pour constater une variation au cours du temps. De même, pour constater si cette variation au cours du temps s'amplifie ou diminue, il faut avoir un autre facteur de 10 à 100, ce qui veut dire qu'il faudrait connaître la constante de Hubble de manière 100 à 10000 fois plus précisément que maintenant. Nous voulons cependant pas nier qu'il puisse y avoir d'autres moyens de constater que l'expansion de l'univers est en accélération et que cette accélération va en augmentant ou en diminuant au cours du temps.

Donnons maintenant un exemple montrant qu'il n'est pas réellement nécessaire de faire des mesures précises pour savoir dans quel sens l'accélération de l'univers évolue. Supposons que le plancher d'une maison est infiniment droit et au niveau en tous points. Supposons aussi la présence d'une table déposée sur ce plancher. Bien sûr, pour les esprits plus alertes, pour qu'une table ne puisse pas subir les courbures de la terre, cela implique que la table soit de petite dimension par rapport à la Terre. Pour savoir si la table est au niveau, il est possible de

mesurer précisément, à la règle, la hauteur de ses quatre pattes. En théorie, si la surface de la table est droite et que les quatre pattes sont de la même longueur, il pourra être considéré que la table est au niveau. Mais cela nécessite une grande précision dans les mesures des longueurs de pattes de la table. Pourtant, il suffit de déposer une simple bille sur le milieu de la table pour constater si la table est au niveau ou non. Si elle reste en place en étant libre de se mouvoir, la table est incontestablement au niveau. Si elle se déplace, il sera facile de constater que la table n'est pas au niveau. Ce qui est merveilleux, c'est que l'utilisation de la bille ne nécessite aucun instrument précis. En utilisant la bille, nous ne pouvons cependant pas savoir quelle est la hauteur de la table, mais nous savons de manière certaine que la table est au niveau ou non et que les quatre pattes de la table ont la même longueur.

Par cet exemple, nous voulions montrer que l'expansion de l'univers a été constatée grâce à la constante de Hubble  $H_0$ . Mais il n'est pas nécessaire d'utiliser une mesure précise de la constante de Hubble pour constater l'accélération de l'expansion de l'univers. Dans le futur, une méthode précise, pour constater si l'accélération de l'expansion de l'univers va en augmentant ou en diminuant, peut être découverte.

## 2.2. L'inexistence des forces

Contrairement à ce qu'évoquent les quatre grandes forces de l'univers (la force gravitationnelle, la force électrostatique, la force nucléaire forte et la force nucléaire faible), celles-ci ne sont que des concepts mathématiques pratiques. Il faut l'avouer, le concept de force est très intuitif et semble naturel. Dans les faits, **les forces n'existent pas.**

Le vide interstellaire est un vide de matière, mais il foisonne de photons de différentes longueurs d'ondes qui ne cessent de percuter la matière dans tous les sens. Pour le moment, il nous est déjà possible d'expliquer la force gravitationnelle et la force électrostatique avec le même principe en utilisant uniquement le principe de pression de radiation (impacts de photons sur la matière).

Le principe de pression de radiation sous-entend que nous soyons « immergés » dans un bain de photons de différentes longueurs d'ondes. Pour qu'une expansion de l'univers soit possible, il faut que la pression de radiation externe à l'univers soit moindre que celle de l'univers ou nulle. L'existence potentielle de multivers est probable et possible. Mais elle n'est qu'une spéculation car elle ne pourra

jamais être prouvée puisque notre champ de vision est limité à notre univers. Pour cette raison, nous sommes obligés de supposer que l'univers s'étend dans un néant qui est vide de matière et de photons (sinon, nous pourrions recevoir des images d'événements extérieurs à l'univers). Ce néant est un vide quantique où il n'y a absolument rien.

### 2.3. Valeur des paramètres physiques utilisés

Énonçons tous les paramètres fondamentaux de physique que nous avons l'intention d'utiliser dans cet article. Ces valeurs sont toutes disponibles dans le CODATA 2014 [1].

- Constante gravitationnelle universelle  $G \approx 6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$
- Constante de structure fine  $\alpha \approx 7,2973525664(17) \times 10^{-3}$
- Masse de l'électron  $m_e \approx 9,10938356(11) \times 10^{-31} \text{ m}$
- Rayon classique de l'électron  $r_e \approx 2,8179403227(19) \times 10^{-15} \text{ m}$
- Temps de Planck  $t_p \approx 5,39116(13) \times 10^{-44} \text{ s}$
- Vitesse de la lumière dans le vide  $c \approx 299792458 \text{ m/s}$

### 2.4. L'univers est en expansion parce les forces n'existent pas

Commençons par établir le fait que l'univers est en rotation tout comme les particules qui le constitue. Nous avons déjà montré par le passé [21] qu'un univers en expansion, sans rotation, aurait une température du fond diffus (CMB) voisine à 31,9 °K. Cependant, un univers ayant une vitesse de rotation proche de la vitesse de la lumière (liée à la constante de structure fine), aurait, selon nos calculs, une température avoisinant les 2,73 °K. Présentement, la température moyenne du fond diffus est connue assez précisément grâce à la sonde Cobra qui l'établit à 2,736(17) °K [17]. Ce fait indéniable nous permet de conclure que l'univers est bel et bien en rotation et ne peut pas être statique.

Lorsque nous observons une patineuse artistique qui fait des rotations sur elle-même, nous constatons bien qu'en étendant les bras, sa vitesse de rotation diminue. Elle a cependant le loisir, selon son bon vouloir, de rétracter ses bras sur sa poitrine pour se remettre à tourner plus vite. La vitesse angulaire de rotation de l'univers diminue donc lors qu'il prend de l'expansion. Mais contrairement à la patineuse qui est douée d'une volonté propre, l'univers ne peut pas se contracter et ne peut pas revenir en arrière en diminuant son rayon apparent. Pour que cela soit possible, il faudrait que la « force d'attraction gravitationnelle » puisse contraindre l'univers à s'effondrer sur lui-même en un « big crunch ». Nous

faisons intervenir ici uniquement la force gravitationnelle car c'est la seule qui peut interagir à longue distance. Alors, la question à élucider est la suivante : « Est-ce que la force gravitationnelle existe et peut-elle permettre une contraction de l'univers? »

La force gravitationnelle a déjà été quantifiée par Newton grâce à son équation de la gravitation générale. Cette équation est considérée exacte pour les cas précis où les vitesses des masses en jeux sont relativement basses, que le système impliqué a une taille relativement petite par rapport à l'univers et que les masses impliquées sont relativement petites. Dès que nous sortons de ce cadre, nous constatons une divergence avec la réalité. Nous devons alors nous tourner vers les équations de la relativité générale d'Einstein. Celle-ci permet de mettre en évidence des phénomènes relativistes qui ne sont pas apparents dans les limites d'utilisation de l'équation de gravitation générale de Newton.

Einstein, dans un concept plus général, qui inclut le cas particulier de la théorie de Newton, explique la gravitation comme étant une manifestation de déformations d'espace-temps. Dans un tel système, la ligne droite n'est pas la plus courte distance entre deux points, mais plutôt une courbe. Les trajectoires des objets et de la lumière seraient donc courbées.

Quelque soit la théorie utilisée entre celle de Newton ou d'Einstein, aucune ne permet de connaître vraiment la nature de la gravitation. L'équation de Newton ne peut prédire l'évolution de l'univers. Les équations d'Einstein prédisaient que l'univers était nécessairement soit en contraction ou en expansion, et que l'option statique n'existait pas. En ne croyant pas son équation, Einstein a falsifié celle-ci en y introduisant une constante qu'il a baptisé la « constante cosmologique » pour forcer l'univers à être « statique ». En 1929, grâce à ses observations, que Hubble a constaté que l'univers était expansion [3].

N'en demeure pas moins que l'équation de la relativité générale d'Einstein prévoit une possibilité d'un univers en contraction. Mais, comme nous l'avons dit, les mathématiques ne sont qu'un outil puissant qui ne tient pas compte des réalités physiques. Il faut en savoir plus sur la nature des forces pour savoir ce qui est possible ou non. La question qui demeure est : « Qu'est-ce qui cause le phénomène de gravitation? »

Dans un concept utilisant la pression de radiation causée par la transmission de quantités de mouvements de photons, nous avons déjà montré que les concepts de « force gravitationnelle et force électrostatique » n'existent pas vraiment. Ce sont malgré tout des concepts mathématiques utiles et relativement faciles à quantifier.

Pour initier le lecteur à notre concept, commençons par mentionner que le vide interstellaire est un vide de matière. La terminologie utilisée de « vide » pourrait méprendre le lecteur en laissant croire que celui-ci représente un vide absolu. Mais ce n'est pas le cas car le vide n'est pas le néant. C'est uniquement un vide de matière. Il est cependant rempli de photons (ondes électromagnétiques) de différentes longueurs d'ondes. Ces photons sont capables de transmettre des quantités de mouvements par impacts.

Le concept d'éther anciennement utilisé serait plus juste à nos yeux et le mot éther ne ferait pas référence à une absence de quelque chose, cependant, nous ne pouvons pas refaire l'histoire et la terminologie de vide interstellaire demeurera.

Les équations mathématiques reliées aux différents types de forces (gravitationnelle, électromagnétique, nucléaire forte et nucléaire faible) ne permettent pas de comprendre vraiment les causes sous-jacentes aux « forces ».

À grande distance, seule la « force gravitationnelle » joue un rôle. Elle se manifeste lorsque nous sommes à l'intérieur de l'univers et que nous subissons les impacts provenant des photons de différentes longueurs d'ondes qui nous entourent. Sans cette pression de radiation, la force gravitationnelle telle que nous la connaissons n'existerait pas. En fait, les objets ne sont pas « attirés » les uns vers les autres. Ils sont plutôt « poussés » les uns vers les autres. Considérant que l'équation fini par être la même, la nuance peut sembler inutile. Cependant, elle a toute son importance. En effet, si la force « d'attraction » gravitationnelle existait vraiment, l'univers pourrait théoriquement revenir sur ses pas et entrer en contraction tel un « big crunch ». Cependant, ce n'est pas le cas.

Même dans la relativité générale d'Einstein, la gravitation n'est pas une force, mais une courbure de l'espace-temps. L'équation de la relativité générale originale (sans la constante cosmologique d'Einstein), prévoyait un univers en expansion ou en contraction (même si Einstein lui-même ni a pas cru). Mais il faut se rappeler que l'équation de la relativité a pour origine l'analyse mathématique de petites déviations d'espace-temps et postule que la vitesse de la lumière est constante et représente la vitesse limite.

Nous avons déjà montrée que la vitesse de la lumière dans le vide n'est pas vraiment la vitesse limite [18], mais qu'elle est à un  $\varepsilon_v \approx 2,34 \times 10^{-14}$  m/s (que nous avons baptisé « quantum de vitesse ») de la vitesse limite  $c$ , soit  $c - \varepsilon_v$ . Bien que cette différence semble négligeable, elle est suffisante pour limiter l'énergie que l'on peut transférer à une masse. En effet, il est impossible de transmettre à

une masse plus d'énergie qu'il y en a dans l'univers lui-même. De plus, il est impossible de transmettre à chaque particule d'un objet plus que l'énergie nécessaire pour que chaque particule ait la masse de Planck. La masse de Planck multipliée par le carré de la vitesse de la lumière représente le niveau d'énergie le plus élevé qu'il est possible d'atteindre pour une particule élémentaire donnée.

Nous avons déjà montré que la lumière accélère au cours du temps [8]. Cette accélération dépend où nous nous situons dans l'univers. En périphérie de l'univers lumineux, c'est-à-dire lorsque le rayon apparent de l'univers est  $R_u$ , cette accélération est d'environ  $a_L \approx c \cdot H_0 \approx 7,00 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ . Alors, bien que les équations d'Einstein soient tout à fait en accord avec les expériences de courtes durées sur terre et même dans notre galaxie, le postulat de constance de la vitesse de la lumière ( $c$  qui représente la vitesse limite dans le vide) serait à revoir pour des expériences de longue durée. En effet, les équations d'Einstein n'expliquent pas l'Effet Pioneer. L'effet Doppler, tel que nous le connaissons, prend pour acquis que la vitesse de la lumière est constante et mène à la conclusion que les sondes Pioneer ralentissent dans le temps. Cependant, en considérant que la lumière accélère au cours du temps, nous constatons que l'effet Pioneer n'est qu'une illusion due à la prétention que la vitesse de la lumière est constante.

En fait, pour arriver exactement aux équations de la relativité d'Einstein, il aurait été plus juste de postuler :

*Pour des expériences de courtes durées par rapport à l'âge de l'univers, il est possible de faire l'approximation que la vitesse de la lumière dans le vide, **hors gravitation**, est constante pour tous les systèmes de références. De plus, bien que la vitesse de la lumière dans le vide ne soit pas nécessairement égale à la vitesse limite, elle est suffisamment proche pour que nous considérions la vitesse de la lumière égale à la vitesse limite pour tout déplacement d'objet, d'une quelconque source d'énergie ou d'information.*

Cela a pour implication que la vitesse de la lumière que nous mesurons ici, sur terre, dans le vide, ne peut pas être la vitesse limite  $c$ . L'influence du Soleil a un impact d'environ  $-6 \text{ m/s}$  et l'influence de la Terre a un impact d'environ  $-0,26 \text{ m/s}$ . Pour mesurer la vitesse de la lumière hors gravitation, nous sommes obligés de mesurer la vitesse de la lumière dans le vide, ici, sur Terre, et ensuite faire les corrections nécessaires pour tenir compte des effets gravitationnels qui nous entourent (Soleil, Terre, la lune, etc.). Il vient un point où, dans les mesures, même une grosse vague dans l'océan, une marée ou un animal quelconque qui vient flâner sur le terrain peut influencer les mesures. De plus, malgré



l'accélération de la lumière au cours du temps que nous avons prédite, celle-ci demeure tellement petite, qu'à défaut d'avoir un meilleur étalon, la vitesse de la lumière est sans contredit la meilleure référence que nous avons présentement.

Même si nous avons fait le calcul des variations annuelles des différentes constantes au cours du temps [19], il est préférable, d'un point de vue métrologie (étude des unités de mesure), de dire que la vitesse de la lumière est constante et de référencer autant d'unités de mesure qu'il est possible par rapport à la vitesse de la lumière. Pour le moment, même si ce n'est pas vrai, ça demeure tout de même la meilleure option car la vitesse de la lumière varie tellement lentement à notre échelle de temps que nous avons de la misère à mesurer la différence au cours du temps, au cours d'une vie humaine.

En imposant la constance de la vitesse de la lumière, cela a pour conséquence de donner l'impression que la plupart des paramètres en physique sont constants car lorsque la vitesse de la lumière variera, les autres paramètres physiques varieront d'autant. Cependant, il n'en sera pas le cas pour les paramètres qui ne variaient vraiment pas, telle que la constante de structure fine  $\alpha$  et  $N$ . Ces dernières sont nécessairement constantes dans le temps car ils représentent des rapports. S'il y a une variation à leur numérateur, leur dénominateur variera dans les mêmes proportions et cancellera les variations. Même si dans les faits, tous paramètres de physique qui a une unité de mesure varie dans le temps, le lecteur comprendra qu'en décidant d'imposer que la vitesse de la lumière est constante, les seules paramètres physiques qui sembleront varier seront les véritables constantes... et elles ne sont pas nombreuses.

Si Einstein avait à refaire ses équations de la relativité générale en tenant compte de l'expansion de l'univers et de la variation de la vitesse de la lumière au cours du temps, les équations seraient totalement différentes et verraient leur niveau de complexité augmenter d'une manière phénoménale et totalement indésirable. Il y a déjà une nette différence de complexité entre les équations de Newton et celles de la relativité générale d'Einstein. C'est au point où les équations de Newton sont montrées à presque tous les étudiants alors que seule une élite universitaire est en mesure de comprendre et d'utiliser les équations de la relativité générale d'Einstein.

Comme les forces en général n'existent pas, et que tout particulièrement la force gravitationnelle n'existe pas [14], les impacts entre les photons ne peuvent que faire prendre de l'expansion à l'univers. Lorsque les photons cessent de subir des impacts venant d'autres photons, les photons contenus dans l'univers cherchent à progresser en ligne droite. Quelque soit leur point et leur direction d'origine, ils

sont appelés éventuellement à suivre une trajectoire qui les dirigera vers le néant entourant l'univers. Les parties du néant qui se font remplir de photons (ou de matière), font maintenant partie de notre univers. Les photons qui semblent « quitter » notre univers auront nécessairement pour effet d'occuper une plus grande partie du néant (qui est infini) et de faire croître le rayon apparent de l'univers.

Notons qu'Einstein a déjà montré que les masses ne peuvent pas se déplacer à la vitesse de la lumière [12] car cela impliquerait une quantité d'énergie infinie qui est non disponible dans l'univers entier. Au moment où l'univers a commencé son expansion, après le big bang, les photons ont pris de l'avance sur la matière. Maintenant, lorsque nous observons l'univers, nous observons les objets célestes et perdons de vue que l'univers n'est pas seulement constitué de matière, mais aussi (et principalement) de photons (d'ondes électromagnétiques) de différentes longueurs d'ondes. Le rayon apparent de l'univers lumineux est beaucoup plus grand que le rayon apparent de l'univers matériel.

Ce que les physiciens appellent « l'énergie noire » n'est pas autre chose que des ondes électromagnétiques (photons) de longueurs d'ondes telles qu'il nous est impossible de les détecter. Pour qu'une onde électromagnétique soit détectable, il faut obligatoirement avoir une antenne de l'ordre du quart de longueur d'onde, autrement, il est impossible de percevoir sa présence. Bien entendu, étant donné que nos capacités physiques de concevoir des antennes de différentes longueurs d'ondes sont très limitées par la petitesse de la Terre par rapport à l'univers, il y a tout une plage de longueurs d'ondes inaccessibles aux mesures. Cependant, ces ondes électromagnétiques ont un impact sur le monde qui nous entoure et il ne faut pas les ignorer seulement par notre incapacité à les percevoir.

### **2.5. Est-ce l'expansion de l'univers est causée par le fait que les forces n'existent pas ou parce que l'entropie de l'univers ne fait qu'augmenter au cours du temps?**

L'entropie de l'univers s'est mise à augmenter au fur et à mesure que l'univers a commencé à prendre de l'expansion. Mais est-ce que l'expansion de l'univers est due à l'augmentation de l'entropie ou en raison du fait que les forces n'existent pas? Cette question ressemble à « Est-ce la poule ou l'œuf qui est arrivé en premier? » Elle est difficile à trancher et demande une certaine analyse.

D'un point de vue technique, le niveau d'entropie le plus bas qui ait jamais existé dans toute l'histoire de l'univers a existé au moment juste avant le big bang. En effet, tout l'univers tenait dans une sphère compacte et rien ne pouvait bouger.

À chaque fois qu'il y a transformation d'énergie dans l'univers, l'entropie augmente au cours du temps et permet un ralentissement de la vitesse angulaire de rotation (comme un effet de friction qui ralentit une roue). L'augmentation de la vitesse angulaire de rotation de l'univers permet à son rayon apparent d'augmenter au cours du temps. Nous pouvons alors croire que l'augmentation de l'entropie de l'univers cause l'expansion de l'univers, cependant, ce n'est pas vraiment le cas.

Lorsque nous regardons le cadran de vitesse d'une automobile, nous notons que la vitesse affichée augmente au fur et à mesure que l'automobile prend de la vitesse. L'aiguille de l'afficheur est donc liée d'une certaine manière à la vitesse de l'automobile. Mais si nous forçons manuellement l'aiguille pour qu'elle affiche une vitesse supérieure, est-ce que cela fera augmenter la vitesse réelle de l'automobile? Bien sûr que non car l'augmentation de la vitesse affichée n'est pas la cause, mais la conséquence du déplacement de la voiture. Il en va de même avec l'augmentation de l'entropie de l'univers. Elle est la conséquence des événements qui se passent dans l'univers.

Donnons un exemple qui montre bien que l'entropie est une conséquence et non une cause. Supposons un verre positionné sur le coin d'une table et supposons qu'il est prêt à tomber pour se casser en mille morceaux. L'entropie n'augmentera pas tant et aussi longtemps qu'un événement extérieur ne forcera pas le verre à tomber. S'il tombe, l'entropie augmentera de manière irrémédiable. Il faudra alors plus d'énergie pour reconstituer le verre dans son état original qu'il en a fallu pour faire tomber le verre.

Comme l'entropie est une conséquence et non une cause, l'expansion de l'univers n'est pas causée par l'augmentation de l'entropie. L'augmentation de l'entropie n'est qu'une mesure de l'augmentation du désordre dans l'univers.

## **2.6. L'univers est en expansion en raison de la nature de la force gravitationnelle**

Afin de montrer que l'univers ne peut pas être retenu par aucune force, commençons par donner une explication plausible de la « force gravitationnelle »

tout en montrant qu'il n'est pas nécessaire de faire intervenir le concept de force pour expliquer les interactions gravitationnelles [14].

Newton a été capable, grâce à son concept de gravitation universelle, de quantifier et prévoir les événements mettant en cause différentes masses dans l'espace. Cependant, bien qu'étant une très bonne approximation à basse vitesse pour les systèmes faisant intervenir de faibles dimensions et des masses relativement faibles, l'équation de la gravitation universelle n'est pas une explication en soit. C'est uniquement une équation mathématique.

Bien sûr, les équations de la relativité générale d'Einstein se révèlent être plus précises que l'équation de la gravitation universelle de Newton. En raison de l'arsenal mathématique lourd qui accompagne les équations de la relativité générale, il est plutôt difficile de constater ce qui cause la gravitation. Einstein décrivait l'univers comme étant un espace-temps en quatre dimensions. Les masses contenues dans l'espace créent des distorsions dans cet espace-temps et les objets sont obligés de suivre les distorsions. La plus courte distance entre deux points n'est plus la ligne droite, mais des équipotentielles qui font des courbes.

Ceci dit, il y a parfois plusieurs manières de voir la même réalité et de la décrire. Certaines peuvent être plus faciles à se représenter au niveau de l'esprit.

Faisons l'hypothèse que tout l'univers est en quelque sorte fait entièrement de photons. Ces photons peuvent être en mouvement rectiligne uniforme ou être confinés dans la matière d'une manière quelconque. En effet, même si les accélérateurs de particules actuels ne nous permettent pas encore d'en faire la preuve, il n'en demeure pas moins que l'annihilation de matière fini toujours par donner des photons de différentes longueurs d'onde. D'ailleurs, la fameuse équation d'Einstein  $E = m \cdot c^2$  sous-entend qu'il est possible de transformer de la matière en énergie pure (photons) et vice et versa. Cette hypothèse semble donc plausible.

Faisons ensuite l'hypothèse que le vide intersidéral est un immense bain de photons de longueurs d'ondes diverses allant de  $\lambda = 2\pi l_p$  (où  $l_p \approx 1,62 \times 10^{-35}$  m est la longueur de Planck) jusqu'à  $\lambda = 2\pi R_u$  (où  $R_u \approx 1,28 \times 10^{26}$  m est le rayon de courbure apparent de l'univers).

Considérant que pour capter une longueur d'onde en particulier, il faut avoir une antenne du quart de longueur d'onde, il est facile de constater les limitations physiques que nous avons sur Terre. Même si nous étions capables de faire des antennes de l'infiniment petit jusqu'à la dimension de la circonférence de la

Terre, de telles antennes ne représenteraient tout de même qu'une bande de longueurs d'onde très limitée par rapport à ce qui peut exister dans l'univers. Bien sûr, ne pouvant pas capter les longueurs d'onde supérieures à la circonférence de la Terre, notre tendance est de nier l'existence de ces ondes. Nous avons d'ailleurs longtemps cru que les ondes électromagnétiques n'existaient pas jusqu'à ce qu'elles soient prédites théoriquement par James Clerk Maxwell en 1865 [22] et mises en évidence de manière expérimentale le 15 mars 1888 par Heinrich Hertz [23].

Toutes les forces n'existent pas réellement. Elles sont des concepts utiles pour des fins de calculs seulement. Nous avons déjà montré que pour expliquer les forces gravitationnelles [14] et les forces électrostatique [13], qu'il était possible de partir d'un seul concept; le transfert de quantités de mouvement provenant des photons qui nous entourent. Les impacts répétés et aléatoires des photons du milieu ambiant semblent pouvoir expliquer les quatre forces de base : la force gravitationnelle, la force électromagnétique ainsi que les forces nucléaires fortes et faibles. Bien que nous n'ayons pas encore fait de démonstrations au niveau des forces nucléaires fortes et faibles, nos recherches progressent et semblent aller dans ce sens. De toute manière, pour expliquer l'expansion de l'univers, seules les « forces gravitationnelles » (si nous acceptons d'utiliser le concept de force) ont un rayon d'action suffisant pour avoir un quelconque effet.

Le but ici n'est pas de faire les démonstrations mathématiques qui nous ont menées à exprimer la loi de Newton [14] (qui est bien sûr une approximation valable seulement pour des systèmes statiques de faibles dimensions par rapport à l'univers) à partir de notre concept de transmission de quantités de mouvement par les photons ambiants (qui peut être vu comme une pression de radiation). Nous voulons seulement informer le lecteur, en bref, de l'idée maîtresse qui est sous-jacente.

Comme mentionné ultérieurement, supposons que l'univers est un immense bain de photons. Mettons une première masse  $m_1$  dans l'univers. Une pression de photons se fera sentir tout autour de cette masse, assurant la cohésion de celle-ci.

Mettons une deuxième masse  $m_2$  en présence de la première. Lorsque la distance entre les deux masses est faible par rapport aux dimensions de l'univers, il devient évident qu'il y a moins de photons entre les deux masses que venant de l'extérieur. Une plus grande pression de radiation se fera sentir venant de l'extérieur et poussera les deux masses à se rapprocher. En se rapprochant, le nombre de photons entre les masses diminue et les masses accélèrent.

Les masses ne sont donc pas vraiment « attirées » les unes vers les autres, mais elles sont « poussées » les unes vers les autres. Au niveau mathématique, ce concept mène exactement à l'équation de Newton, mais cette réalité nous mène à considérer l'expansion de l'univers d'une toute autre façon.

Selon la valeur promue par le CODATA 2014<sup>1</sup>, la constante gravitationnelle universelle  $G \approx 6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$  [1]. La force « d'attraction »  $F$  obtenue entre une masse  $m_1$  et une masse  $m_2$  espacées d'une distance  $r$  est donnée par l'équation (1). Par convention, la force gravitationnelle est négative pour exprimer une « attraction ».

$$F = \frac{-G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1)$$

Notons que la constante de gravitation universelle de Newton est « valide » pour notre emplacement dans l'univers ainsi qu'aux alentours immédiats. Cependant, selon nos recherches, nous ne pensons pas qu'elle soit valide partout dans l'univers. Elle peut être vue comme une constante pour de petits déplacements, un peu comme nous pourrions dire que la pression d'eau est relativement constante tout autour d'un objet de 1 mm de diamètre à 100 mètre de profondeur dans la mer. Pour de petites variations de distances, la pression peut être approximée comme étant constante, mais nous savons que ce n'est pas le cas. Il en va de même pour la constante gravitationnelle universelle.

En faisant l'hypothèse que notre position actuelle se situe arbitrairement à  $\beta$  fois le rayon apparent de l'univers  $R_u$ , nous pouvons concevoir qu'un léger déplacement autour de cette position n'entraînera pas de grosses variations de pression de radiation.

Faisons maintenant l'hypothèse que nous sommes à la position  $R_u$  du rayon apparent de la sphère d'expansion de l'univers. D'un côté, il y a le néant où la pression de radiation est nulle. De l'autre côté (celui de l'univers), la pression de radiation est non-nulle en raison de la présence de photons qui s'éloignent du centre de masse de l'univers depuis environ 361 108 ans après le moment du big bang [20]. Tout autre photon généré suite à cet événement est nécessairement rendu moins loin. Ce fait implique que la pression de radiation en périphérie de la sphère d'expansion de l'univers est inférieure à la pression de radiation que l'on peut retrouver à une quelconque position à l'intérieur de la sphère d'expansion.

---

<sup>1</sup> Selon nos recherches [9], nous sommes en mesure d'évaluer  $G \approx 6,673229809(74) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$ . Cette valeur est obtenue en utilisant l'équation émanant de nos recherche ainsi que les valeurs des constantes  $c$ ,  $m_e$ ,  $r_e$  et  $\alpha$  du CODATA 2014 [1].

La pression de radiation interne de l'univers pousse donc tous les photons ainsi que la matière vers le néant. L'univers est appelé à grossir à l'infini jusqu'à ce que la distance entre les photons soit telle qu'il ne puisse plus y avoir d'interaction entre eux. À partir de ce moment, l'accélération de l'expansion cessera et l'univers lumineux s'étendra à une vitesse constante que nous nommerons arbitrairement  $k$ .

Il faut comprendre que même la lumière est influencée par les autres photons. Pour mieux comprendre, nous pouvons comparer le photon à une personne qui essaie de courir en ligne « droite » dans une foule de personnes qui courent dans tous les sens. Cette personne finit par se frapper sur d'autres et voit sa course déviée et ralentie. Mais dès qu'elle cesse d'être gênée par la foule, elle court plus vite et à vitesse constante (sa vitesse maximale). Pour l'instant, à notre emplacement dans l'univers, la pression de radiation est telle que la vitesse de la lumière est  $c$ . Cependant, au fur et à mesure que l'univers prend de l'expansion, la densité de photons présents dans le vide interstellaire (vide de matière) diminue et permet une légère accélération de la lumière.

Certains peuvent penser qu'il revient au même de dire que les masses sont « attirées » les unes vers les autres ou qu'elles sont « poussées » les unes vers les autres, tant que l'équation de Newton s'écrit de la même manière. Mais ce n'est pas vraiment le cas. En effet, tant que les masses sont contenues à l'intérieur de l'univers, l'équation de Newton peut être considérée comme une bonne approximation lorsque les vitesses mises en cause sont faibles et que les distances sont faibles par rapport aux dimensions de l'univers. Mais c'est au niveau de l'univers lui-même qu'il devient possible de voir l'importance de la subtilité de notre concept. En effet, l'univers inclus la matière et les ondes électromagnétiques (photons). Tant que nous pouvons détecter des photons ou de la matière, nous sommes encore dans l'univers. En dehors de l'univers, c'est le néant total. Le « vide » intersidéral n'est qu'une absence de matière mais pas une absence de tout. C'est au contraire un réel bain de photons de différentes longueurs d'onde. Le néant, c'est un vide quantique où il y a une absence de matière et de photons. Il n'y a plus de pression de radiation venant des photons puisque ceux-ci sont absents.

L'univers s'étend en remplissant le néant de ses photons et de sa matière. Il n'y a aucune pression de radiation dans le néant car il y a absence totale de photons. Selon notre concept, l'univers ne peut donc pas revenir sur lui-même dans un « big crunch ». À la limite, lorsque chaque photon sera parvenu à une distance infinie par rapport à l'origine du big bang de l'univers, plus aucune contrainte

n'affectera ces photons. Ils continueront dans un mouvement rectiligne uniforme sans être affectés par quoi que ce soit. Leur vitesse sera constante et représentera une limite de vitesse infranchissable. Cette limite, nous la nommons arbitrairement «  $k$  ».

Le fait que l'univers ne puisse être qu'en expansion impose une flèche du temps qui ne fait qu'avancer. L'univers ne peut qu'aller vers un plus grand désordre en continuant son expansion. Telle qu'un bidon d'huile répandue sur un plancher, la tache d'huile ne peut que prendre de l'expansion avec le temps sans jamais revenir dans le bidon. Et si nous nettoyons la tache d'huile de telle sorte à faire revenir l'huile dans le bidon en empruntant de l'énergie fournie par l'huile pour faire le ménage, le bidon ne pourra pas être complètement rempli. Il en va de même pour l'univers. Si nous cherchons à rétablir l'ordre d'origine de l'univers, nous devons emprunter de l'énergie à l'univers et cela fait en sorte qu'on ne peut pas finir ce qu'on a commencé. Il est donc impossible de revenir à l'état initial dans un « big crunch ».

Le deuxième principe de la thermodynamique prédit qu'un système évolue dans le temps en se transformant de manière irréversible de telle sorte à ce que l'entropie (le désordre) ne puisse qu'augmenter au cours du temps. Il est possible d'associer des qualités aux différentes formes d'énergie. La meilleure forme d'énergie étant l'énergie électrique et la forme d'énergie de plus basse qualité étant la chaleur. Lors d'une transformation quelconque, l'énergie se transforme toujours en d'autres formes d'énergie de « moindre qualité ». Même si la quantité d'énergie est conservée, pour revenir à la forme d'énergie initiale, il faut consommer encore plus d'énergie que ce que nous avions initialement.

En final, nous constatons que l'univers est en expansion en raison du fait que la force gravitationnelle, telle que nous la concevons, n'existe pas réellement [14].

## 2.7. Calcul de l'accélération de l'expansion de l'univers au cours du temps

Au fur et à mesure que l'univers prend de l'expansion, la vitesse de la lumière augmente [8]. En effet, Einstein a déjà montré qu'une masse imposante était capable de changer l'indice de réfraction du vide et de faire ralentir les ondes électromagnétiques. Basé sur les équations de la relativité générale, Schwarzschild [10, 11] est arrivé à quantifier la vitesse de la lumière  $v_L$  en fonction d'une distance  $r$  du centre de masse  $m$  à l'aide de l'équation suivante :



$$v_L(r) = \frac{c}{\sqrt{\frac{1 + \frac{2G \cdot m}{c^2 \cdot r}}{1 - \frac{2G \cdot m}{c^2 \cdot r}}}} \quad (2)$$

Cette équation utilise la constante gravitationnelle universelle  $G$  et la vitesse de la lumière dans le vide  $c$ .

En 1929, Hubble a montré que l'univers est en expansion [3]. Suite à ses recherches, il fit ressortir un paramètre de l'univers qu'il nomma « constante de Hubble  $H_0$  ». Nous devrions plutôt parler d'une pseudo-constante puisque son inverse représente l'âge apparent de l'univers. La valeur de  $H_0$  est donc appelée à évoluer et diminuer en valeur au cours du temps. Cependant, pour une courte période de temps par rapport à l'âge de l'univers, ce paramètre peut sembler constant.

La valeur de la constante de Hubble est difficile à mesurer et malgré bien des efforts, les astrophysiciens trouvent encore des valeurs situées entre 67 à 76 km/(s·MParsec). Cependant, la valeur la plus réaliste, selon nous<sup>2</sup>, a été trouvée par l'équipe de Xiaofeng Wang [4] avec une valeur de  $H_0 \approx 72,1(9)$  km/(s·MParsec).

La valeur de la constante de Hubble  $H_0$  correspond à l'inverse de l'âge apparent de l'univers  $T$  (qui se situe autour de 13,56 milliards d'années [24]) :

$$H_0 = \frac{1}{T} \quad (3)$$

La constante de Hubble permet de calculer le rayon de courbure apparent de l'univers lumineux  $R_u$  (peut porter plusieurs noms différents [5, 6 and 7]) :

$$R_u = \frac{c}{H_0} \quad (4)$$

Ce rayon de courbure correspond au rayon de courbure qu'aurait une sphère en expansion, si cette dernière se faisait à la vitesse de la lumière  $c$  à partir d'un point d'origine, durant un laps de temps égal à  $1/H_0$ . Attention, cela ne veut pas dire que l'expansion de l'univers s'est faite à vitesse constante. En effet, en

<sup>2</sup> Grâce à nos recherches, nous avons pu calculer de manière théorique la valeur précise de la constante de Hubble [9] pour obtenir  $H_0 \approx 72,09548580(32)$  km/(s·MParsec) en utilisant les valeurs de  $c$ ,  $r_e$  et  $\alpha$  provenant du CODATA 2014 [1].

utilisant la vitesse de la lumière actuelle et l'âge « apparent » de l'univers (qui est l'inverse de la constante de Hubble  $H_0$ ), c'est comme si nous faisons une sorte de moyenne des vitesses d'expansion dans le temps pour obtenir le chemin total parcouru.

Lors de l'événement du big bang, la lumière a commencé à envahir le néant pour constituer ce que nous appelons l'univers lumineux. Pris dans son ensemble, l'univers lumineux est en expansion à la vitesse de la lumière. Bien que la lumière composant l'univers (que nous avons baptisé univers lumineux) puisse s'étendre à la vitesse de la lumière, le mouvement d'expansion de l'univers matériel ne peut pas se réaliser à la même vitesse.

Grâce à ses équations de la relativité restreinte de 1905, Einstein a pu nous montrer qu'il est impossible pour un objet quelconque d'atteindre la vitesse de la lumière [12].

Considérant le fait que les objets matériels ne peuvent pas se déplacer à la vitesse de la lumière, nous avons émis l'hypothèse que l'univers matériel prend de l'expansion à une fraction de la vitesse de la lumière, soit  $\beta \cdot c$ . Le facteur arbitraire  $\beta$  représente le rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel versus la vitesse de la lumière  $c$ .

Si nous cherchons à savoir où nous nous trouvons par rapport à la périphérie grandissante de l'univers lumineux, nous pouvons calculer le rayon de courbure apparent  $r_u$  par rapport au centre de masse de l'univers en faisant :

$$r_u = \beta \cdot R_u \quad (5)$$

Notons que la constante de Hubble  $H_0$  correspond aussi à la fréquence de rotation  $\omega$  de l'univers matériel (visible) sur lui-même (considérant un rayon de courbure apparent de l'univers matériel égal à  $r_u$ ). De même,  $H_0$  correspond à la fréquence de rotation  $\omega$  de l'univers lumineux sur lui-même (considérant un rayon de courbure apparent de l'univers lumineux égal à  $R_u$ ).

$$H_0 = \omega = \frac{\beta \cdot c}{r_u} = \frac{c}{R_u} \quad (6)$$

Toujours à l'aide de la constante de Hubble  $H_0$  ainsi que de la constante de gravitation universelle  $G$  et de la vitesse de la lumière dans le vide  $c$ , Carvalho [2] montre qu'il est possible d'évaluer la masse apparente de l'univers à l'aide de l'équation suivante :

Calcul de l'accélération de l'expansion de l'univers

19

$$m_u = \frac{c^3}{G \cdot H_0} \quad (7)$$

Sachant que l'univers est en expansion, il est réaliste de penser que toute la matière de l'univers s'éloigne d'un quelconque centre de masse. Il peut y avoir localement des mouvements de rapprochement entre certains objets tels que des galaxies. Cependant, de manière globale, les galaxies s'éloignent les unes des autres au cours du temps.

Ce mouvement d'expansion au cours du temps fait prendre conscience qu'en s'éloignant d'un centre de masse, l'indice de réfraction du vide de l'univers en expansion doit obligatoirement diminuer au cours du temps. Cette diminution dans l'indice de réfraction globale de l'univers permettrait à la lumière d'accélérer au cours du temps.

La vitesse de la lumière actuelle serait alors une photo instantanée dans le temps d'une lente progression. Nous pouvons alors faire l'hypothèse que cette progression prendra la même forme que l'équation (2), mais avec une vitesse limite autre que  $c$ . Prenons arbitrairement la constante  $k$  pour représenter cette nouvelle limite. En prenant une expansion de dimension infinie, la vitesse de la lumière tendra donc vers la valeur  $k$  pour un âge apparent de l'univers qui tend vers l'infini.

Réécrivons l'équation (2) en utilisant la valeur de  $k$  au lieu de  $c$  :

$$v_L(r) = \frac{k}{\sqrt{1 + \frac{2G \cdot m}{k^2 \cdot r}} \sqrt{1 - \frac{2G \cdot m}{k^2 \cdot r}}} \quad (8)$$

Dans cette équation, pour une valeur  $r = r_u$  (c'est-à-dire qui correspond à notre emplacement dans l'univers par rapport au centre de masse de l'univers) et pour une masse égale à la masse apparente de l'univers  $m_u$ , nous obtenons nécessairement la vitesse de la lumière dans le vide actuelle qui est  $c$ .

$$v_L(r_u) = \frac{k}{\sqrt{\frac{1 + \frac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r_u}}{1 - \frac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r_u}}}} = c \quad (9)$$

La vitesse  $c$  représente la dérivée de la distance par rapport au temps. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les objets matériels de l'univers ne peuvent pas se déplacer à la vitesse de la lumière et auront toujours un retard par rapport à la lumière, d'où le facteur  $\beta$  que nous avons introduit précédemment. Les objets de l'univers se déplacent donc à la vitesse  $v_m$ .

Pour obtenir une équation plus générale, tout en étant dans un univers de masse  $m_u$ , remplaçons la distance  $r_u$  par une distance quelconque  $r$ .

$$v_m(r) = \frac{\beta \cdot k}{\sqrt{\frac{1 + \frac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r}}{1 - \frac{2G \cdot m_u}{k^2 \cdot r}}}} \quad (10)$$

En dérivant la vitesse  $v_m$  de l'équation (10) par rapport à la distance  $r$  et en l'évaluant à la distance  $r_u$ , nous obtenons exactement la constante de Hubble  $H_0$ . En effet, la constante de Hubble est la dérivée de la vitesse d'expansion de l'univers matériel (puisque Hubble a utilisé les objets vus au télescope, ici sur Terre, pour mesurer la valeur de sa « constante ») par rapport à la distance  $r$ .

$$H_0 = \left. \frac{dv_m(r)}{dr} \right|_{r=r_u} = \frac{\beta \cdot y \cdot k}{r_u} \cdot \left( \frac{1}{(1+y) \cdot \sqrt{1-y^2}} \right) \quad \text{où } y = \frac{2 \cdot G \cdot m_u}{k^2 \cdot r_u} \quad (11)$$

Jusqu'ici, les paramètres connus de l'univers que nous avons utilisés sont uniquement la vitesse de la lumière  $c$ , la constante de gravitation universelle  $G$  et la constante de Hubble  $H_0$ . Nous sommes à la recherche de cinq paramètres inconnus, soient le rayon de courbure apparent de l'univers  $R_u$ , le rayon de courbure apparent de l'univers  $r_u$  à notre emplacement, la masse apparente de l'univers  $m_u$ , la vitesse ultime de la lumière  $k$  lorsque le rayon de courbure apparent l'univers tendra vers l'infini et  $\beta$  qui représente le rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel et la vitesse d'expansion de l'univers

lumineux (qui est présentement égale à la vitesse de la lumière dans le vide  $c$ ). En ayant cinq inconnus, il nous faut cinq équations pour résoudre. Utilisons les équations (4), (5), (7), (9) et (11) pour obtenir les résultats suivants :

$$R_u \approx 1,28 \times 10^{26} \text{ m} \quad (12)$$

$$r_u \approx 9,80 \times 10^{25} \text{ m} \quad (13)$$

$$m_u \approx 1,73 \times 10^{53} \text{ kg} \quad (14)$$

$$k = c\sqrt{2 + \sqrt{5}} \approx 6,17 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (15)$$

$$\beta = 3 - \sqrt{5} \approx 0,76 \quad (16)$$

Intéressons-nous à l'accélération de la matière  $a_m$  au cours du temps évaluée au point  $r = r_u$ . L'accélération de la matière  $a_m$  à notre emplacement est la dérivée de la vitesse de la matière  $v_m(r)$  par rapport au temps évaluée à  $r = r_u$ .

La vitesse de la matière  $v_m(r)$  est obtenue en multipliant par  $\beta$  la vitesse de la lumière  $v_L(r)$  de l'équation (8).

$$v_m(r) = \frac{\beta \cdot k}{\sqrt{1 + \frac{2G \cdot m}{k^2 \cdot r}} \sqrt{1 - \frac{2G \cdot m}{k^2 \cdot r}}} \quad (17)$$

Mais l'équation (8) ne renferme pas la variable de temps, mais plutôt de distance  $r$ . Par conséquent, pour obtenir l'accélération  $a_m$ , il faut utiliser la dérivée de la vitesse par rapport à la distance  $r$  et multiplier celle-ci par la dérivée de la distance  $r$  par rapport au temps évaluée ici même à  $r = r_u$ .

$$a_m \Big|_{r=r_u} = \frac{dv_m}{dt} \Big|_{r=r_u} = \left( \frac{dr}{dt} \cdot \frac{dv_m}{dr} \right) \Big|_{r=r_u} \quad (18)$$

La dérivée de la distance  $r$  par rapport au temps évaluée à  $r = r_u$  est égale à la vitesse de la lumière dans le vide actuelle  $c$ . Faisons le remplacement dans (18) :

$$a_m \Big|_{r=r_u} = \left( c \cdot \frac{dv_m}{dr} \right) \Big|_{r=r_u} \quad (19)$$

Nous pouvons évaluer la dérivée de la vitesse de l'univers matériel  $v_m$  par rapport à la distance  $r$  à l'aide de l'équation (17) et de l'équation (20), nous obtenons une équation qui nous permet d'évaluer  $a_m$  à notre emplacement (pour  $r = r_u$ ) :

$$a_m \Big|_{r=r_u} = \frac{\beta \cdot w \cdot c \cdot k^3}{\sqrt{(x-w) \cdot (x+w)^3}} = c \cdot H_0 \approx 7,00 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2 \quad (20)$$

où  $x = r_u \cdot k^2$   
et  $w = 2G \cdot m_u$

Comme nous l'avions mentionné plus tôt, **Hubble a mesuré l'accélération de l'expansion de l'univers matériel à notre emplacement et pour des objets matériel seulement.** Par conséquent, au lieu de mesurer l'accélération de la lumière  $a_L$ , il a mesuré l'accélération  $a_m$  de l'univers matériel évaluée à  $r = r_u$ .

### 2.8. Est-ce que l'accélération de l'expansion de l'univers augmente ou diminue au cours du temps?

Plusieurs astrophysiciens sont d'accord pour dire que l'univers est en expansion et que cette expansion accélère au cours du temps [15,16]. Mais qu'en est-il de la deuxième dérivée par rapport au temps? Est-ce que l'accélération augmente ou diminue au cours du temps? Pour répondre à cette question, il suffit de trouver le signe de la dérivée de  $a_m$  évaluée à  $r = R_u$  par rapport au temps.

Partons de l'équation (18) et dérivons chaque côté de l'équation par rapport au temps  $t$ . Comme l'équation donnant  $v_m(r)$  ne peut être dérivée que par rapport à la distance  $r$ , nous utilisons encore la même astuce que tantôt, c'est-à-dire que nous multiplions une fois de plus par  $dr/dt$  et nous dérivons une fois de plus  $dv_m$  par rapport à la distance  $r$  pour obtenir  $dv_m/d^2r$ .

$$\frac{da_m}{dt} \Big|_{r=R_u} = \left( \frac{dv_m}{d^2t} \right) \Big|_{r=R_u} = \left( \frac{dr}{dt} \cdot \frac{dr}{dt} \cdot \frac{dv_m}{d^2r} \right) \Big|_{r=R_u} \quad (21)$$

À notre emplacement dans l'univers, la valeur de  $dr/dt = c$ . Réécrivons l'équation (21) en tenant compte de ce fait :

$$\frac{da_m}{dt} \Big|_{r=R_u} = \left( c^2 \cdot \frac{dv_m}{d^2r} \right) \Big|_{r=R_u} \quad (22)$$

En utilisant les équations (11), (17) et (22), cette dérivée peut être évaluée comme ceci :

$$\left. \frac{da_m}{dt} \right|_{r=r_u} = \frac{-\beta \cdot w \cdot c^2 \cdot k^5 \cdot (2x-w)}{\sqrt{(x+w)^5 \cdot (x-w)^3}} = \frac{-c \cdot H_0^2}{\beta} \cdot \sqrt{5} \approx -4,79 \times 10^{-27} \text{ m/s}^3 \quad (23)$$

$$\text{où } x = r_u \cdot k^2$$

$$\text{et } w = 2G \cdot m_u$$

Nous constatons que la dérivée  $da_m/dt$  évaluée à  $r = r_u$  est négative. Nous en concluons que malgré le fait que l'univers est en expansion de plus en plus vite, l'accélération de l'expansion de l'univers diminue au cours du temps. Tel que notre modèle de l'univers nous le prédit, la vitesse d'expansion tendra vers  $k$  lorsque le rayon de courbure de l'univers tendra vers l'infini. À ce moment, plus aucun photon ne pourra créer de pression de radiation sur quoi que ce soit et la matière se désagrègera pour finir en photons. En effet, comme les forces n'existent pas, chaque morceau de matière deviendra une partie de l'univers en expansion jusqu'à ce que tous les photons de l'univers soient à une distance infinie des autres photons. Le rayon de courbure apparent de l'univers sera infini et plus aucune matière n'existera.

### 3. CONCLUSION

L'univers est en expansion car la force gravitationnelle n'existe pas et ne peut pas « retenir » son contenu.

L'expansion se fait en accélérant au cours du temps, mais du même coup, cette accélération diminue aussi au cours du temps.

Il nous a été possible d'associer la constante de Hubble  $H_0$  à la dérivée par rapport au temps (vitesse), pour une distance de 1 MParsec.

Ensuite, nous avons évalué l'accélération de l'expansion de l'univers matériel telle qu'elle peut être constatée par différentes techniques associées à l'évaluation de la constante de Hubble  $H_0$ . Notons que la valeur de l'accélération de l'expansion de l'univers matériel est liée à la valeur de l'accélération de l'expansion de l'univers lumineux multipliée par  $\beta$  (que nous avons associé au

rapport entre la vitesse d'expansion de l'univers matériel et la vitesse de la lumière  $c$ ).

Grâce à l'évaluation de la deuxième dérivée de la vitesse d'expansion de l'univers matériel par rapport au temps, nous avons été en mesure de constater que malgré que la vitesse d'expansion augmente au cours du temps, l'accélération de l'expansion de l'univers diminue au cours du temps. L'univers ne peut pas revenir en arrière et il n'y aura jamais de « big crunch ». En conséquence du fait que les forces n'existent pas et que l'univers sera en éternelle expansion, la mesure de l'entropie ne pourra qu'augmenter au cours du temps. Tout comme l'augmentation de l'entropie au cours du temps, la flèche du temps qui ne fait qu'avancer vers le futur est aussi une conséquence du fait que les forces n'existent pas. Grâce aux effets relativistes, il est possible de ralentir l'écoulement du temps ou de l'arrêter, mais il ne sera jamais possible de l'inverser.

La vitesse d'expansion de l'univers lumineux tendra vers une valeur que nous avons baptisé  $k$ . Lorsque le rayon de courbure de l'univers lumineux tendra vers l'infini, la pression de radiation tendra vers zéro et la matière se réduira peu à peu en photons libres de circuler en ligne droite sans jamais être influencé par quoi que ce soit. À ce moment, la mesure de l'entropie tendra vers l'infinie.

#### 4. RÉFÉRENCES

- [1] "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014", Cornell University Library, juillet 2015, article Internet à : <http://arxiv.org/pdf/1507.07956v1.pdf>
- [2] Carvalho, Joel C., "Derivation of the Mass of the Observable Universe", *International Journal of Theoretical Physics*, v. 34, no 12, décembre 1995, p. 2507.
- [3] Hubble, E. et Humason, M. L., "The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae", *The Astrophysical Journal*, v. 74, 1931, p.43.
- [4] Wang, Xiaofeng et al., "Determination of the Hubble Constant, the Intrinsic Scatter of Luminosities of Type Ia SNe, and Evidence for Non-Standard Dust in Other Galaxies", mars 2011, pp. 1-40, arXiv:astro-ph/0603392v3
- [5] Vargas, J. G. et D.G. Torr, "Gravitation and Cosmology: From the Hubble Radius to the Planck Scale", *Springer*, v. 126, 2003, pp. 10.
- [6] Sepulveda, L. Eric, "Can We Already Estimate the Radius of the Universe", *American Astronomical Society*, 1993, p. 796, paragraphe 5.17.
- [7] Silberstein, Ludwik, "The Size of the Universe: Attempt at a Determination of the Curvature Radius of Spacetime", *Science*, v. 72, novembre 1930, p. 479-480.
- [8] Mercier, Claude, "La vitesse de la lumière ne serait pas constante", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 8 octobre 2011, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
- [9] Mercier, Claude, "Calcul de la constante gravitationnelle universelle  $G$ ", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 13 mars 2013, article disponible sur Internet à :



- [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
- [10] Binney, James et Michael Merrifield, "Galactic astronomy", *Princeton University Press*, 1998, p. 733, de l'équation A2.
  - [11] Maneghetti, Massimo, "Introduction to Gravitational Lensing, Lecture scripts", *Institut für Theoretische Astrophysik*, Bologna, Italie, 2006, p. 7, de l'équation 1.19, Web. <<http://www.ita.uni-heidelberg.de/~massimo/sub/Lectures/chapter1.pdf>>
  - [12] Einstein, Albert, "On the Electrodynamics of Moving Bodies", *The Principle of Relativity (Dover Books on Physics)*, New York, publications Dover, 1952 (article original de 1905), pp. 35-65.
  - [13] Mercier, Claude, "Modèle expliquant la force électrostatique", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 19 août 2015, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [14] Mercier, Claude, "Modèle expliquant la force gravitationnelle", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 22 août 2015, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [15] Saul Perlmutter et al., "Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae", *Astrophysical Journal*, juin 1999, vol. 517, p. 565-586.
  - [16] Adam G. Riess et al., "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant", *Astronomical Journal*, septembre 1998, vol. 116, p. 1009-1038.
  - [17] Gush, H.P. et al., "Rocket Measurement of the Submillimeter Cosmic Background Spectrum", *Physical Review Letters*, v. 47, émission 10, 1981, pp. 745-748.
  - [18] Mercier, Claude, "Calcul du quantum de vitesse et de la vitesse limite des objets", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 14 janvier 2013, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [19] Mercier, Claude, "Variations des « constantes de physique » au cours du temps", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 16 mars 2015, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [20] Mercier, Claude, "Calcul du moment de l'apparition de la lumière dans l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 13 août 2016, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [21] Mercier, Claude, "Calculs de la température moyenne du fond diffus de l'univers et de la constante de Hubble", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 9 juillet 2012, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [22] Maxwell, James Clerk, "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field", *The Royal Society Publishing*, Londres, janvier 1865, vol. 155, p. 459-512.
  - [23] Hertz, Heinrich Rudolf, "Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft", J. A. Barth, Londres, 1894, 316 pages.
  - [24] Mercier, Claude, "Calcul de l'âge de l'univers", *Pragtec*, Baie-Comeau, Québec, Canada, 9 avril 2012, article disponible sur Internet à : [www.pragtec.com/physique/](http://www.pragtec.com/physique/)
  - [25] Note 4 de la Résolution B2 adoptée par l'Union astronomique internationale lors de sa 29<sup>e</sup> assemblée générale, 13 août 2015, Honolulu (Hawaï, États-Unis).