



## L'effet Sachs-Wolfe intégré ou la traversée des grandes structures

Il existe de nombreuses manières de sonder cette énergie sombre : une des voies explorées pour la caractériser s'appuie sur la structuration de l'Univers à grande échelle à travers un effet observationnel particulier appelé effet Sachs-Wolfe intégré (ISW).

### Un peu d'histoire

La majorité des observations de la cosmologie moderne s'accordent sur l'existence de l'énergie sombre : une constante cosmologique ou une forme d'énergie hypothétique emplissant uniformément tout l'Univers, et responsable entre autres de l'accélération de son expansion. La découverte de ce phénomène a d'ailleurs valu le prix Nobel de physique en 2011 à trois chercheurs : Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt et Adam G. Riess.

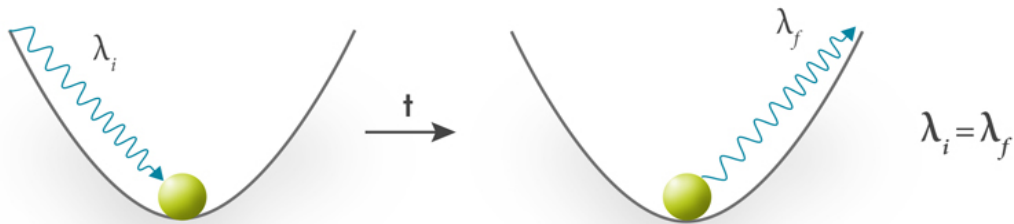
### Qu'est-ce l'effet ISW ?

C'est un effet à grande échelle qui a dû déformer la plus ancienne image de l'univers. Cet effet est en effet théoriquement détectable dans le rayonnement fossile qui traverse, avant de nous parvenir, un certain nombre de grandes structures de l'Univers (galaxies et amas de galaxies, mais aussi des énormes vides). Du fait de leur masse, chacune de ces grandes structures génèrent un "potentiel gravitationnel" susceptible d'exercer une influence sur tout autre corps présent à proximité. En particulier, les photons du rayonnement fossile gagnent de l'énergie en tombant dans ces puits gravitationnels, et en perdent lorsqu'ils s'en extraient.

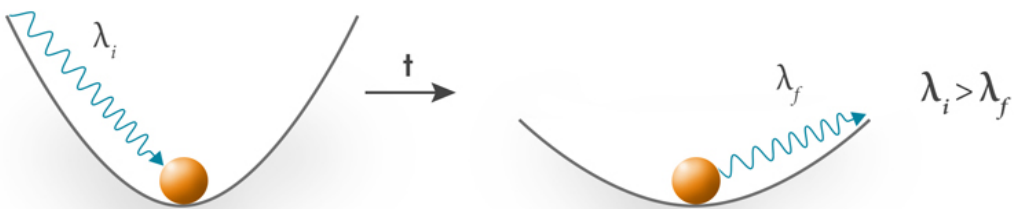
Dans un univers sans énergie sombre, ces deux actions se compensent de telle sorte que l'énergie d'un photon reste inchangée après traversée d'une grande structure. Par contre, l'accélération de l'expansion (et donc l'énergie sombre) a pour effet d'étirer et d'"aplatir" ces potentiels pendant le passage des photons. En effet, même pour de la lumière, il faut des centaines de millions d'années pour les traverser, et donc l'expansion de l'univers a le temps de se faire sentir, du moins un petit peu... Ainsi les photons vont gagner plus d'énergie en tombant dans le puits de potentiel qu'ils ne vont en dépenser pour en sortir. Cela a pour conséquence de fournir une certaine énergie supplémentaire à ces photons du rayonnement fossile, qui va dépendre des caractéristiques de l'énergie sombre : c'est l'effet ISW.



### Potentiel stable



### Potentiel de moins en moins profond



Légende : Si le potentiel gravitationnel est stable (haut), le photon a la même énergie en entrant et en sortant. En revanche, si le potentiel évolue (bas), par exemple sous l'influence de la constante cosmologique qui étire l'espace le temps que le photon traverse le potentiel, le photon gagne un peu d'énergie.

## Comment détecter l'effet ISW ?

Il laisse donc une trace dans la température du rayonnement fossile, mais celle-ci est trop tenue pour être détectée dans la carte directement. Heureusement, cette signature est fortement corrélée avec la distribution de la matière dans l'Univers, dont les potentiels gravitationnels sont justement responsables de l'effet ISW.

Il suffit alors de posséder une carte de cette distribution, même juste une partie du **ciel** (par exemple : un relevé de plusieurs milliers de galaxies), et de réaliser une "corrélation croisée" avec le rayonnement fossile pour mettre en évidence les similitudes entre ces deux cartes. Les caractéristiques de cette corrélation nous renseignent sur la nature et les propriétés de l'énergie sombre, et peuvent même être utilisées pour discriminer les différents modèles envisagés pour celle-ci.