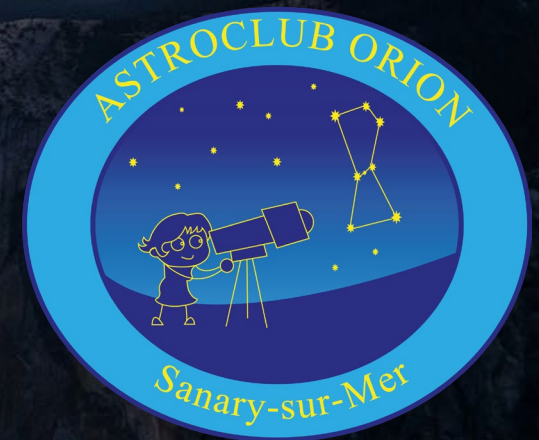


COMMENT MESURER LES DISTANCES DANS L'UNIVERS ?

- Parallaxe, Céphéides, Supernovas
- Trois méthodes, trois portées différentes
- Une échelle construite pas à pas
- De notre voisinage aux confins du cosmos



COMMENT MESURER SANS MÈTRE RUBAN ?

- Pas de mesure directe possible dans l'espace
- La lumière : seul messenger disponible
- Des méthodes indirectes et complémentaires
- Reasonner comme un détective cosmique



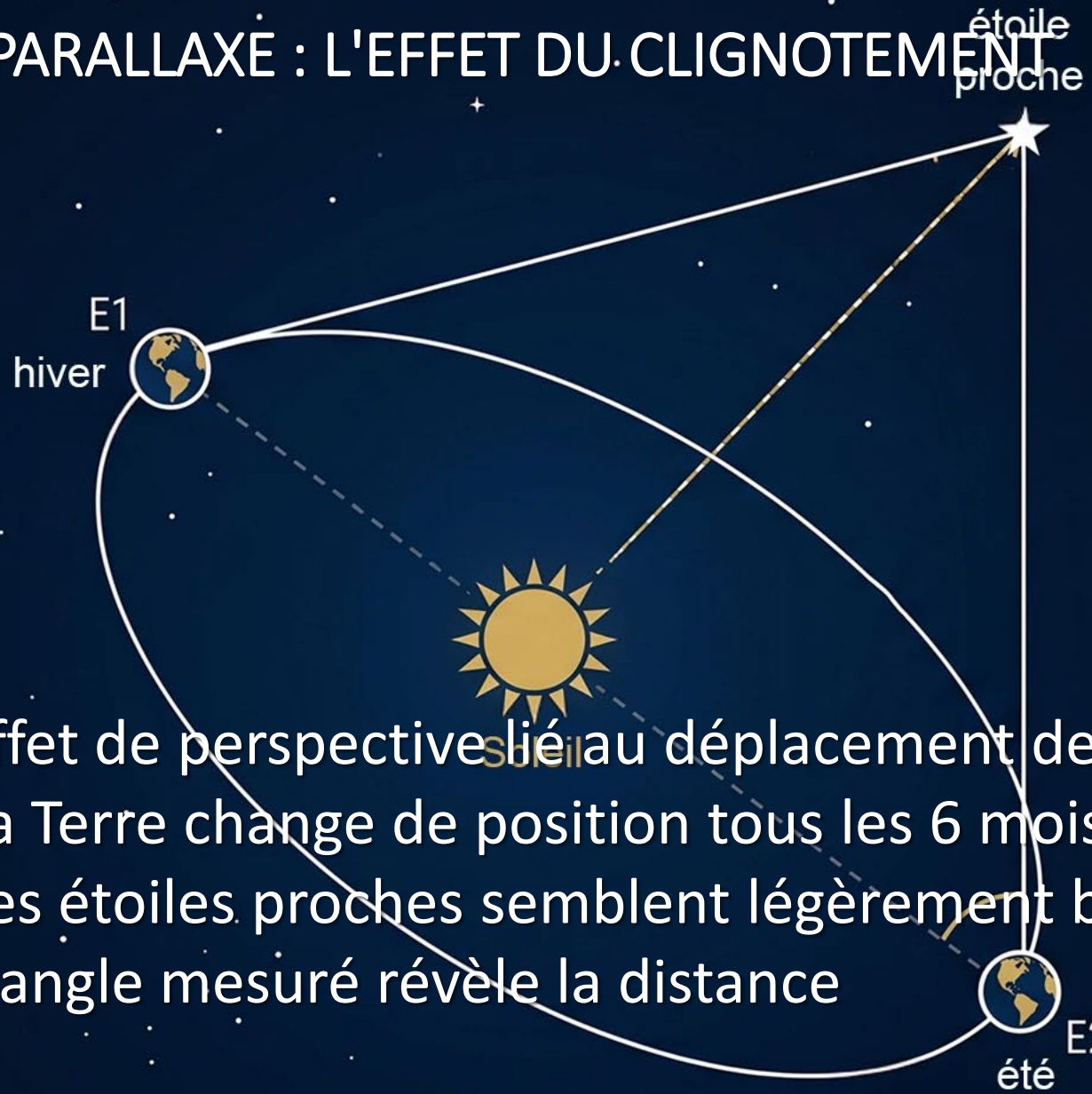
The background of the slide is a deep space image of a galaxy, possibly the Andromeda Galaxy, with a golden grid overlaying it. The grid consists of concentric circles and radial lines, creating a spherical coordinate system. The galaxy is filled with stars and spiral arms, with a bright blue core. The overall color palette is dark blue and black, with golden highlights from the grid and stars.

CHOISIR LA BONNE UNITÉ DE MESURE

- Unité Astronomique (UA) : distance Terre–Soleil
- Année-lumière \approx 9 500 milliards de kilomètres
- Parsec \approx 3,26 années-lumière
- Plus on va loin, plus l'unité grandit



LA PARALLAXE : L'EFFET DU CLIGNOTEMENT



- Effet de perspective lié au déplacement de l'observateur
- La Terre change de position tous les 6 mois
- Les étoiles proches semblent légèrement bouger
- L'angle mesuré révèle la distance





GAIA : CARTOGRAPHIER UN MILLIARD D'ÉTOILES



- Distance (parsecs) = $1 / \text{angle (secondes d'arc)}$
- Mission Gaia (ESA, 2013) : 1,5 milliard d'étoiles
- Précision inégalée pour les étoiles proches
- Portée fiable : jusqu'à $\sim 10\,000$ années-lumière

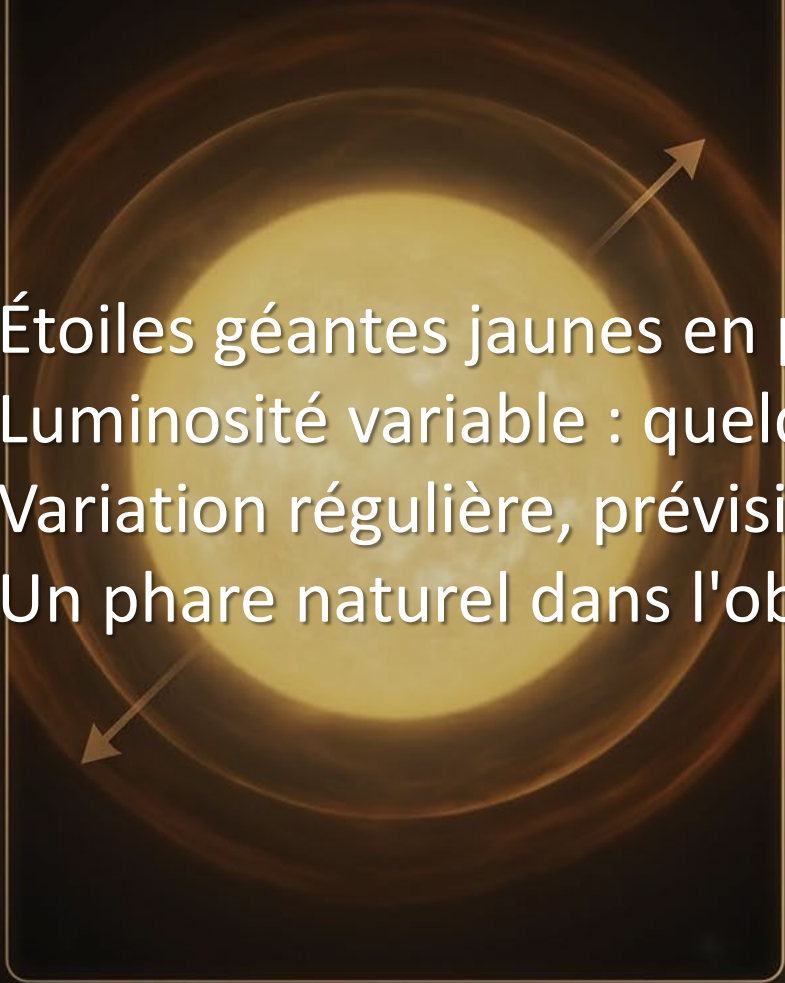
QUAND L'ANGLE DEVIENT TROP PETIT

- Au-delà de $\sim 10\,000$ al : angle trop petit
- Précision instrumentale atteignant ses limites
- Méthode exacte mais de portée insuffisante
- Relais indispensable : les étoiles variables



DÉS ÉTOILES QUI GONFLENT ET DÉGONFLENT

- Étoiles géantes jaunes en pulsation cyclique
- Luminosité variable : quelques jours à quelques mois
- Variation régulière, prévisible, mesurable
- Un phare naturel dans l'obscurité du cosmos



HENRIETTA LEAVITT : UNE RÈGLE POUR L'UNIVERS

- Henrietta Leavitt, 1912 : relation période–luminosité
- Période lente = étoile intrinsèquement très lumineuse
- Luminosité absolue connue \rightarrow distance calculable
- Valable pour toutes les Céphéides de l'Univers





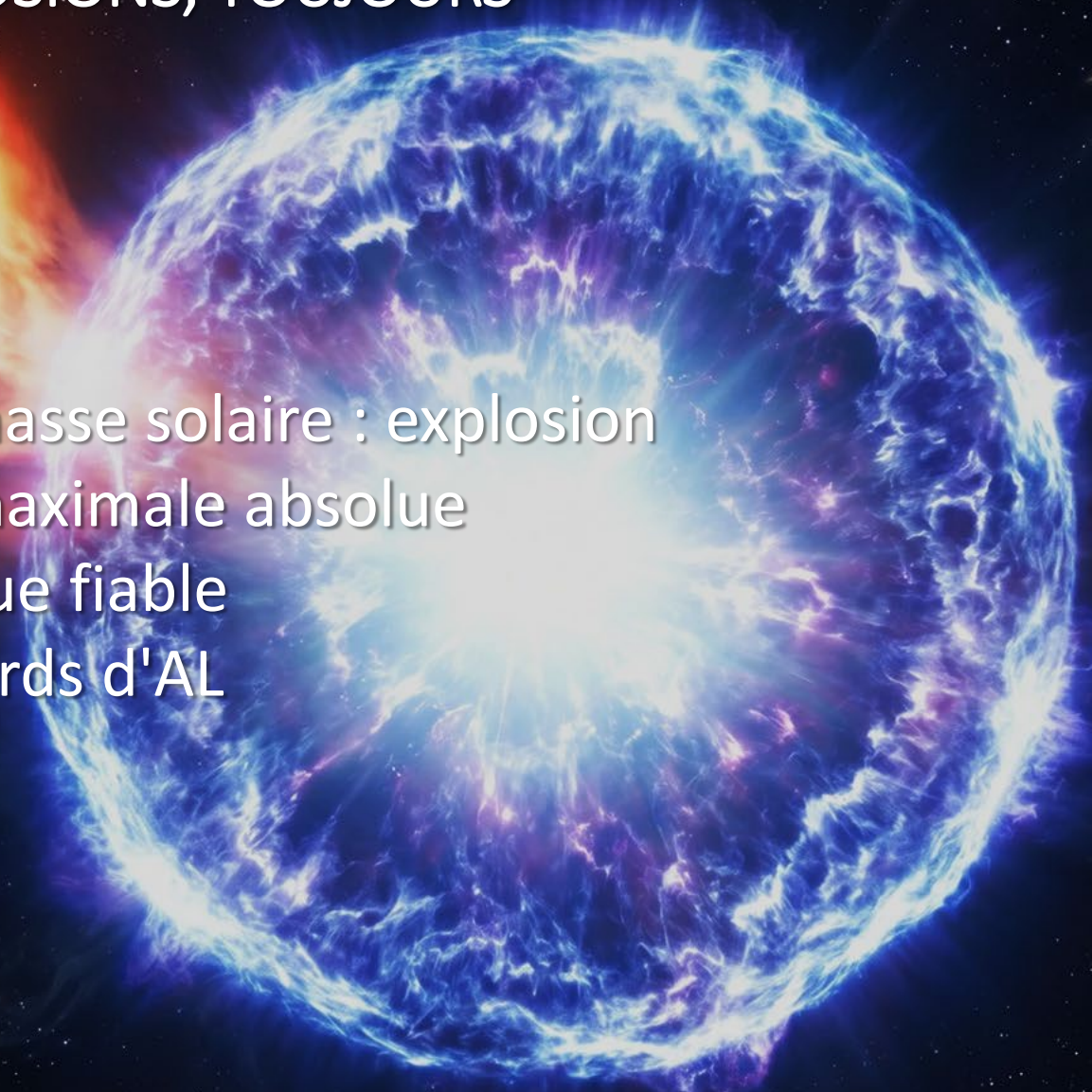
HUBBLE ET LA RÉVOLUTION DES GALAXIES

- Hubble, 1924 : Céphéides détectées dans Andromède
- Andromède = galaxie à part entière, 2,5 millions d'AL
- L'Univers contient des milliards de galaxies
- Portée des Céphéides : jusqu'à ~100 millions d'AL



LES SUPERNOVAS : MÊMES EXPLOSIONS, TOUJOURS

- Naine blanche atteignant 1,4 masse solaire : explosion
- Toujours la même luminosité maximale absolue
- Une "bougie standard" cosmique fiable
- Portée : jusqu'à plusieurs milliards d'AL



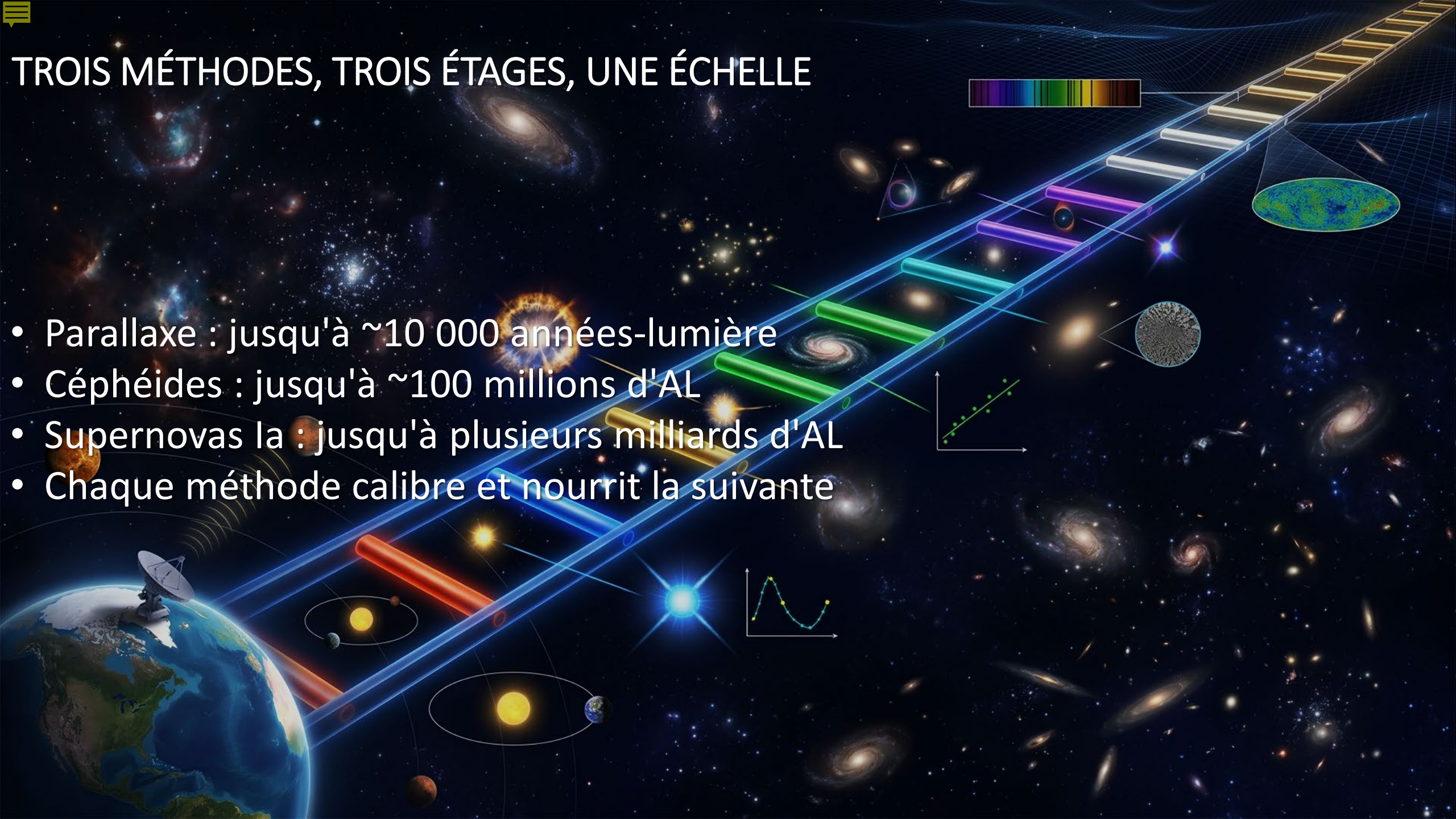
1998 : L'UNIVERS ACCÉLÈRE, CONTRE TOUTE ATTENTE

- Supernovas lointaines : plus faibles qu'attendu
- L'expansion de l'Univers accélère sans freiner
- Cause probable : l'énergie noire (~68 % du cosmos)
- Prix Nobel de physique 2011



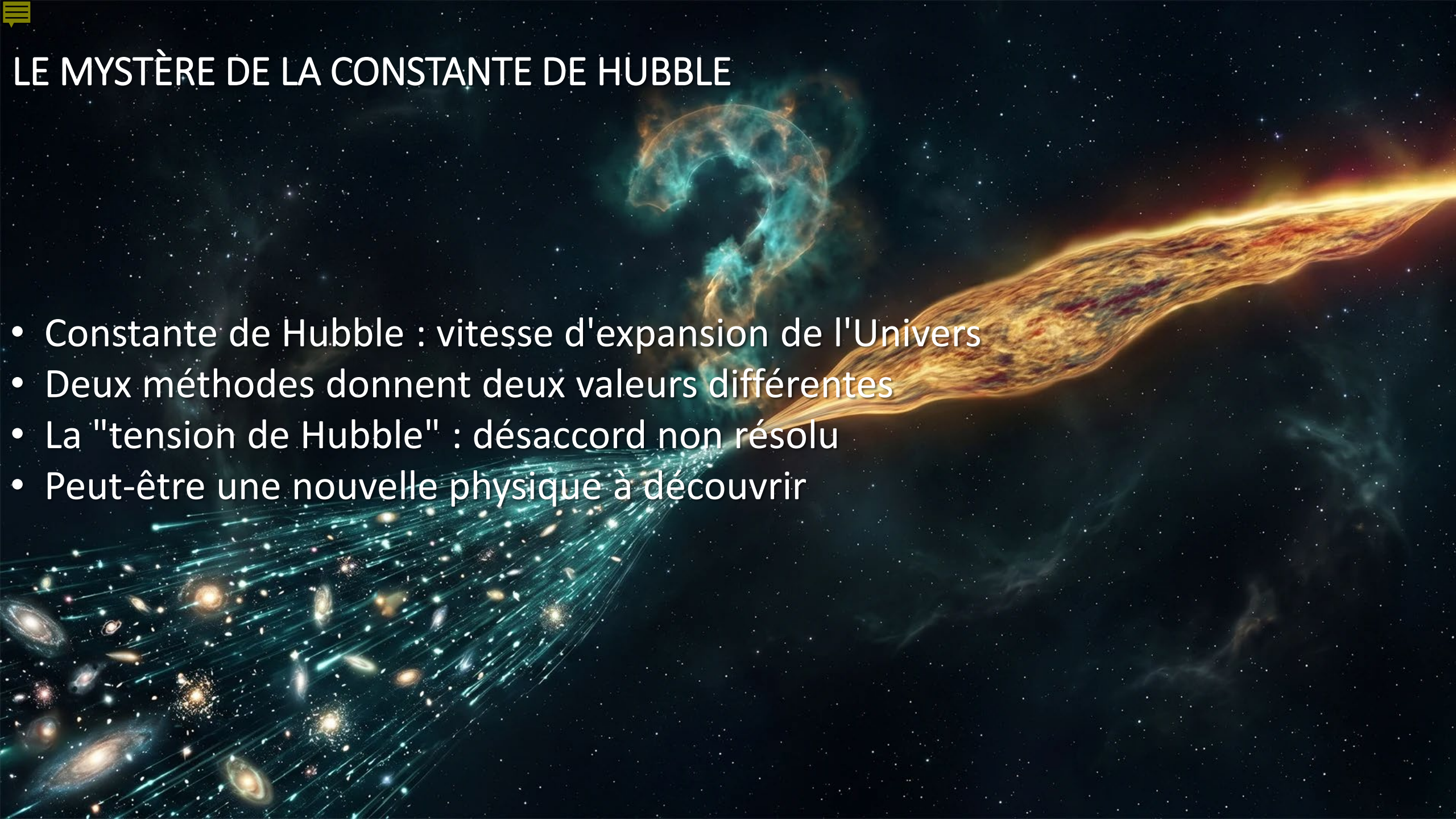
TROIS MÉTHODES, TROIS ÉTAGES, UNE ÉCHELLE

- Parallaxe : jusqu'à $\sim 10\,000$ années-lumière
- Céphéides : jusqu'à ~ 100 millions d'AL
- Supernovas Ia : jusqu'à plusieurs milliards d'AL
- Chaque méthode calibre et nourrit la suivante



LE MYSTÈRE DE LA CONSTANTE DE HUBBLE

- Constante de Hubble : vitesse d'expansion de l'Univers
- Deux méthodes donnent deux valeurs différentes
- La "tension de Hubble" : désaccord non résolu
- Peut-être une nouvelle physique à découvrir





LA LUMIÈRE COMME BOUSSOLE COSMIQUE

- La lumière : seul fil conducteur vers l'Univers lointain
- Trois méthodes : trois façons de lire la lumière
- Une carte du cosmos sans cesse agrandie
- La curiosité humaine face à l'infini



SOURCES

- Texte : Anthropic Claude Sonnet 4.6 Adaptatif
- Illustrations : Google Gemini 3.5 Flash

