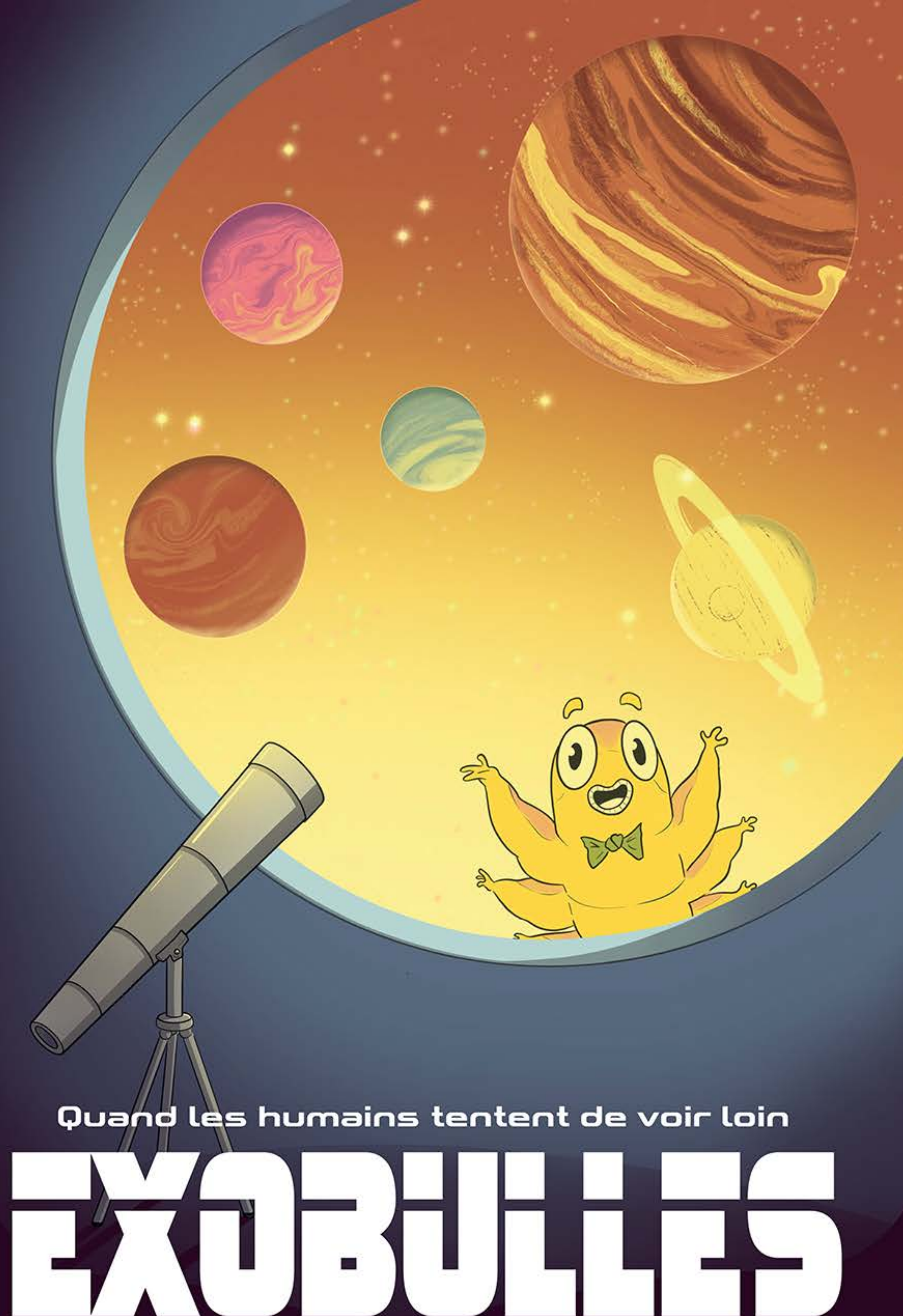




Quand les humains tentent de voir loin

EXOBULLES

UNE PROPOSITION DE L'UAR PYTHÉAS (AMU, CNRS, INRAE, IRD)
RÉALISÉE PAR MACHA BELLINGHERY
CONSEIL SCIENTIFIQUE DE
MAGALI DELEUIL, PROFESSEUR AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE MARSEILLE (LAM - OSU INSTITUT PYTHÉAS / AMU-CNRS-CNES)

EXOBULLES EST UNE EXPO BANDE DESSINÉE QUI PRÉSENTE, DE MANIÈRE ORIGINALE, LES MÉTHODES IMAGINÉES PAR LES ASTRONOMES POUR DÉTECTER ET ÉTUDIER LES PLANÈTES EN ORBITE AUTOUR D'AUTRES ÉTOILES QUE LE SOLEIL ; LES EXOPLANÈTES OU PLANÈTES EXTRASOLAIRES. CHACUNE DES PROBLÉMATIQUES SCIENTIFIQUES ABORDÉES ICI EST PRÉSENTÉE DE LA MÊME MANIÈRE - UNE PREMIÈRE PAGE AVEC UNE ILLUSTRATION GRAND FORMAT TELLE UNE PUBLICITÉ ANNONÇANT LA PROBLÉMATIQUE SCIENTIFIQUE DE MANIÈRE ATTRACTIVE ET ÉVOCATRICE, ET UNE SECONDE PAGE DE STYLE BD EXPLIQUANT SES PRINCIPES.

CETTE HISTOIRE, MAGNIFIQUEMENT CONÇUE ET ILLUSTRÉE PAR MACHA BELLINGHERY, REPOSE SUR UNE COLLABORATION ENTRE L'ÉQUIPE COMMUNICATION - PARTAGE DES CONNAISSANCES DE L'OBSERVATOIRE DES SCIENCES DE L'UNIVERS INSTITUT PYTHÉAS ET MAGALI DELEUIL, CHERCHEUSE, SPÉCIALISTE DES EXOPLANÈTES AU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE MARSEILLE.

BANDE DESSINÉE ACCESSIBLE DÈS 10 ANS.

UNE BANDE-DESSINÉE PROPOSÉE PAR :



RÉALISATION ET ILLUSTRATION :

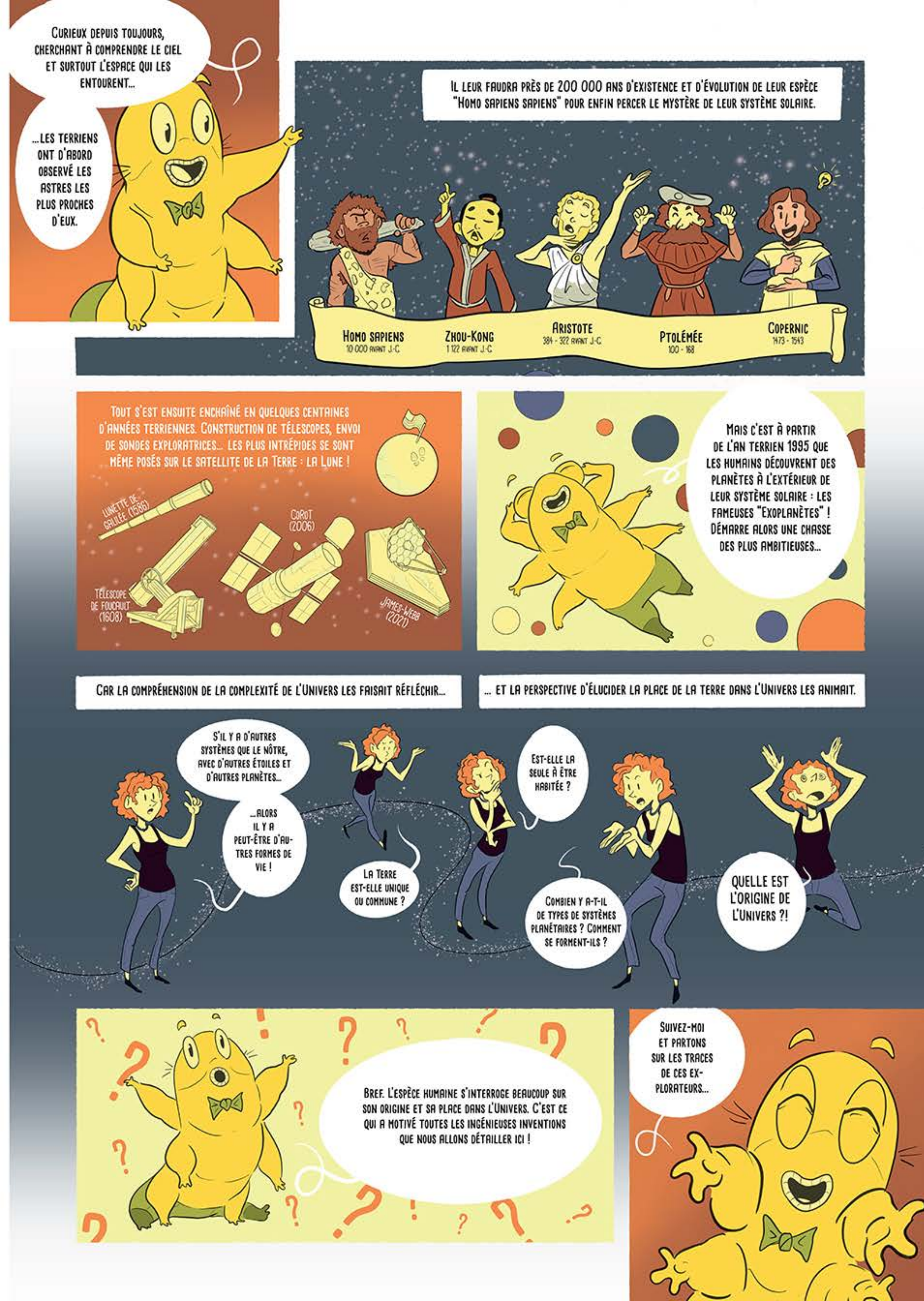
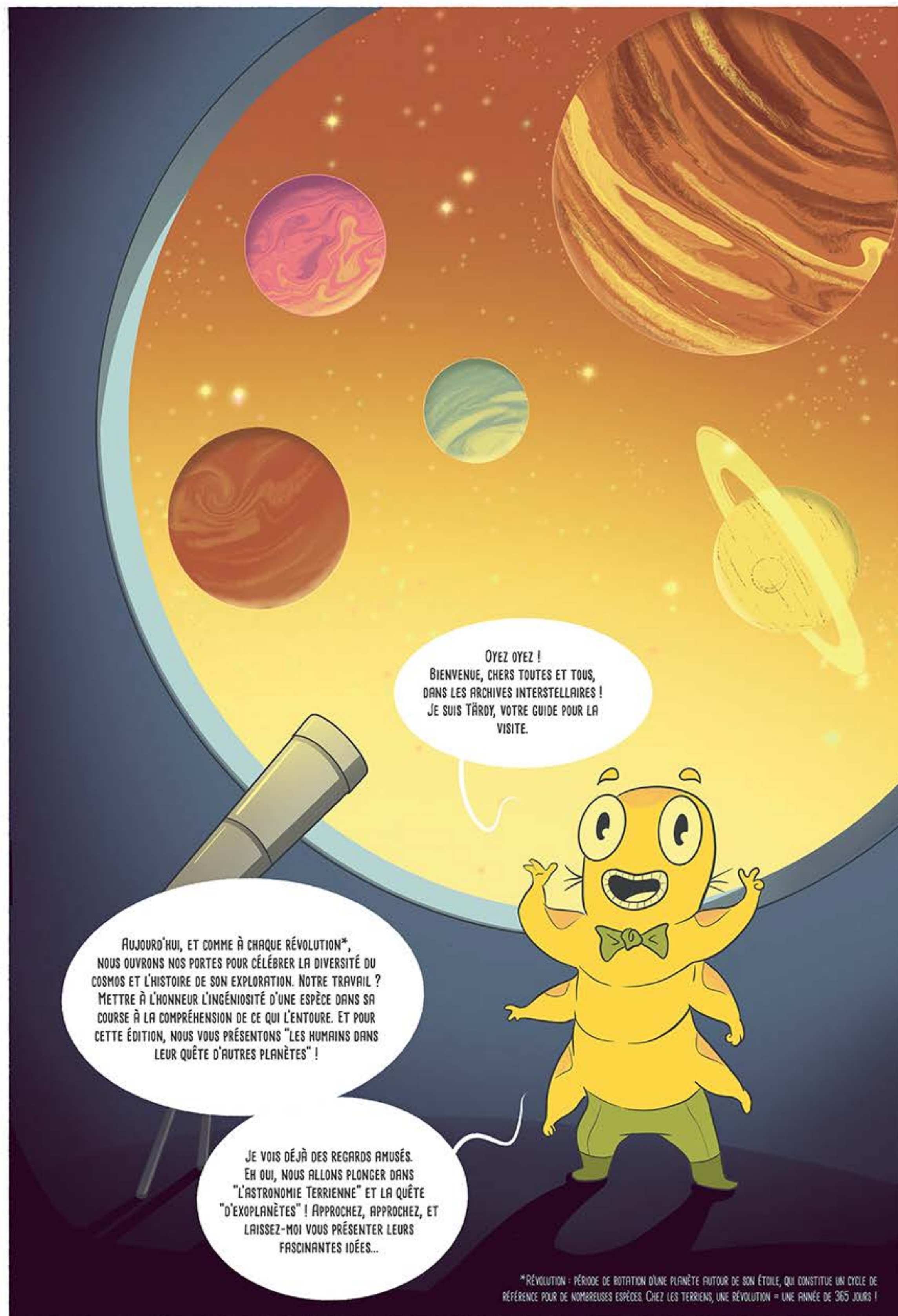


CULTURE
SCIENCE
PACA

AVEC LE SOUTIEN DE :



TOUS DROITS RÉSERVÉS - SEPTEMBRE 2022



1, 2, 3... SOLEIL !

Une étoile a bougé ? Alors elle n'est pas seule...

ICI, NOUS ALLONS PARLER DE LA MÉTHODE QUI A PERMIS AUX HUMAINS, ET EN PARTICULIER À CES DEUX-LÀ, MICHEL MAYOR ET DIDIER QUELOZ, DE DÉTECTER LEUR TOUTE PREMIÈRE EXOPLANÈTE : 51 PEGASI B ! DRÔLE DE FAÇON DE NOMMER DES PLANÈTES, HEIN ?

ET LE NOM DE LEUR MÉTHODE ?
LA MÉTHODE DES VITESSES RADIALES.
ANALYSONS CELA ENSEMBLE.

OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE (OHP)
ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE, FRANCE

POUR COMPRENDRE CETTE TECHNIQUE, REVENONS SUR UN PRINCIPE DE BASE...

LA GRAVITATION !

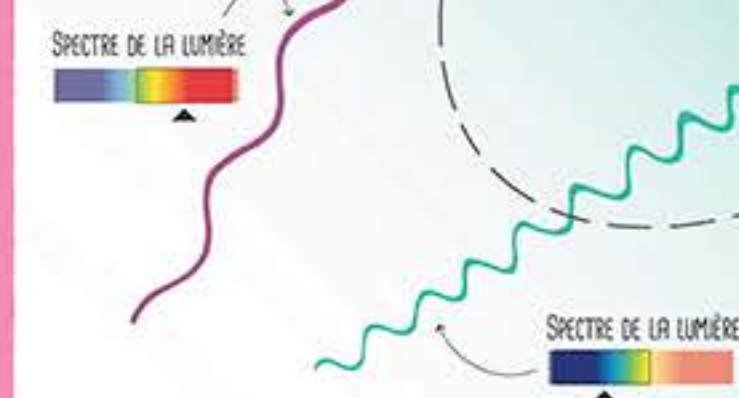
QUAND UNE PLANÈTE TOURNE AUTOUR D'UNE ÉTOILE...

... SA MASSE ENTRAÎNE L'ÉTOILE DANS UNE PETITE OSCILLATION AUTOUR DE LEUR CENTRE DE GRAVITÉ COMMUN (G).

PAR "EFFET DOPPLER", LES TERRIENS PEUVENT DÉTECTER CETTE OSCILLATION EN ANALYSANT LA LUMIÈRE REÇUE DE L'ÉTOILE.

SI ELLE S'ÉLOIGNE DE SON OBSERVATEUR, SA LUMIÈRE SE DÉCALE VERS LE ROUGE...

SI ELLE SE RAPPROCHE, SA LUMIÈRE SE DÉCALE VERS LE BLEU !



ET SI CETTE ALTERNANCE ENTRE ROUGE ET BLEU SE RÉPÈTE, ALORS C'EST CERTAIN : SANS LA VOIR RÉELLEMENT, ON PEUT AFFIRMER QU'UNE PLANÈTE RÔDE DANS LES PARAGES ET FAIT OSCILLER L'ÉTOILE ! FASCINANT NON ?

DOCTEUR, J'OSCILLE BEAUCOUP EN CE MOMENT...

HA ÇA, C'EST CERTAINEMENT PARCE QUE TROP DE PLANÈTES VOUS TOURNENT AUTOUR !

PLUS LA PLANÈTE QUI ORBITE AUTOUR DE L'ÉTOILE OBSERVÉE EST GROSSE ET PROCHE D'ELLE, PLUS ELLE ENTRAÎNERA L'ÉTOILE DANS UNE OSCILLATION DE GRANDE AMPLITUDE.

TU ME FAIS TOURNER LA TÊTE
MON MANÈGE À MOI
C'EST TOI !

DONC, SI LA MASSE DE L'ÉTOILE EST CONNUE, L'ANALYSE DE L'AMPLITUDE DE SON OSCILLATION...



... PERMET DE DÉTERMINER LA MASSE DE LA PLANÈTE !

C'EST D'AILLEURS CETTE TECHNIQUE DE DÉTECTION QUI A FOURNI AUX TERRIENS LE PREMIER RÉSULTAT, EN 1995. PEUT-ÊTRE MÊME QU'ILS NOUS OBSERVENT ACTUELLEMENT DE CETTE FAÇON...

Coucouuuuuu !

DEPUIS, LEURS PROGRÈS INSTRUMENTAUX SONT IMPRESSIONNANTS POUR LEUR ESPÈCE : ILS ARRIVENT À OBSERVER L'AMPLITUDE D'OSCILLATION D'UNE ÉTOILE À 20 CM/S PRÈS.



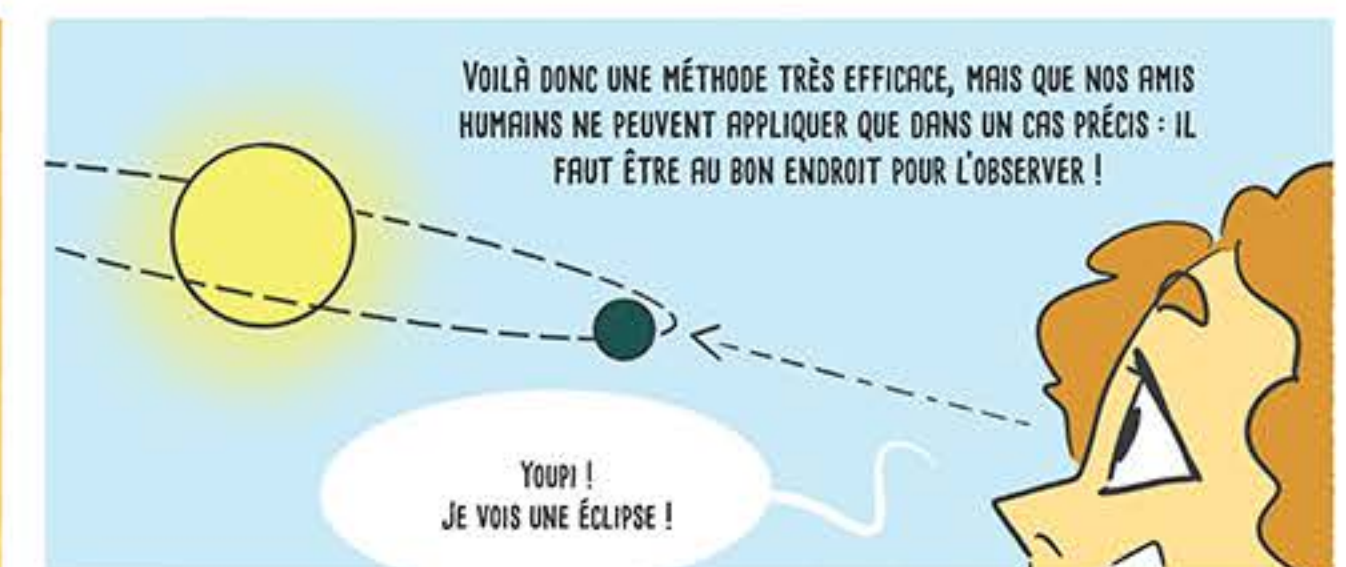
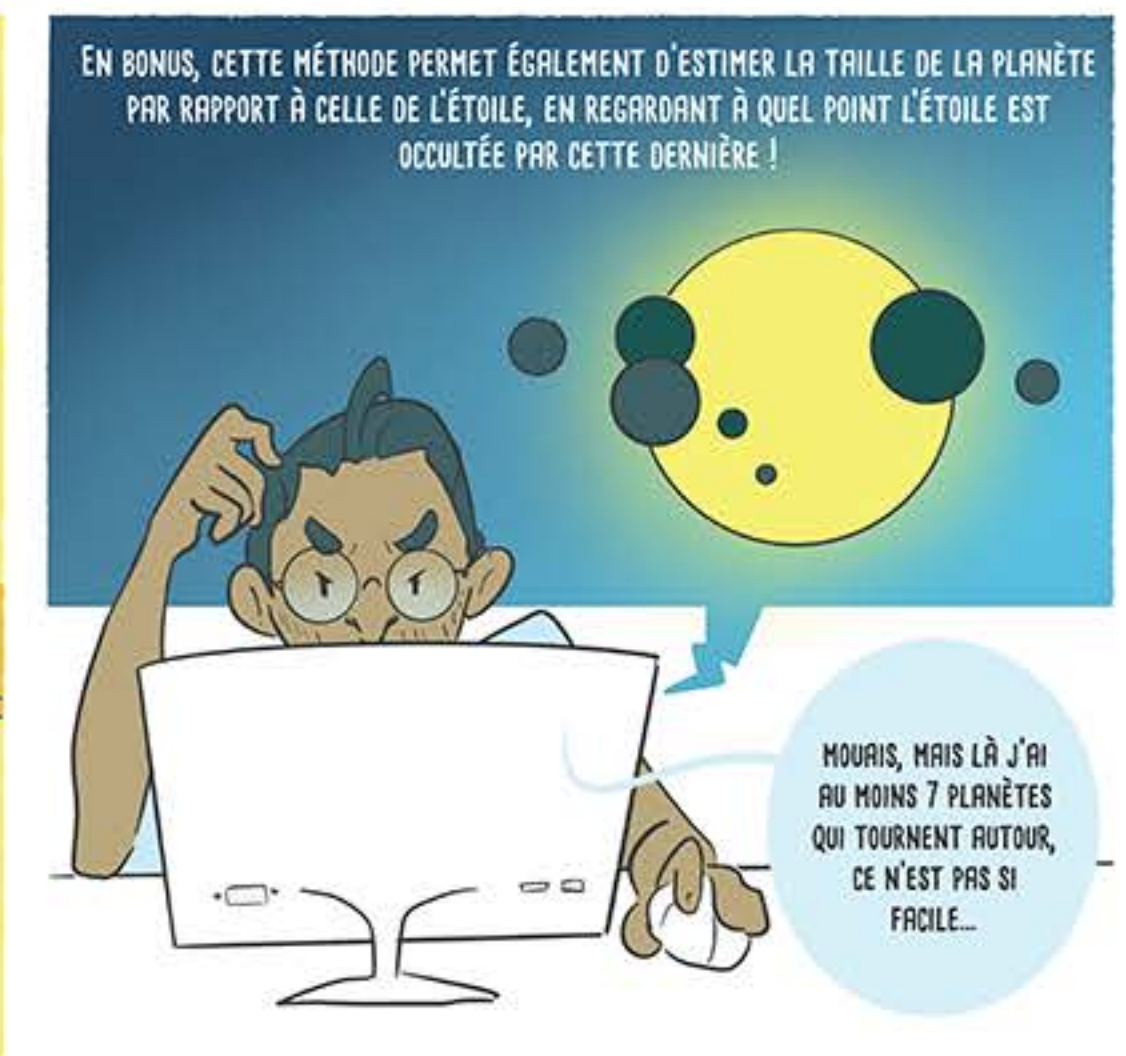
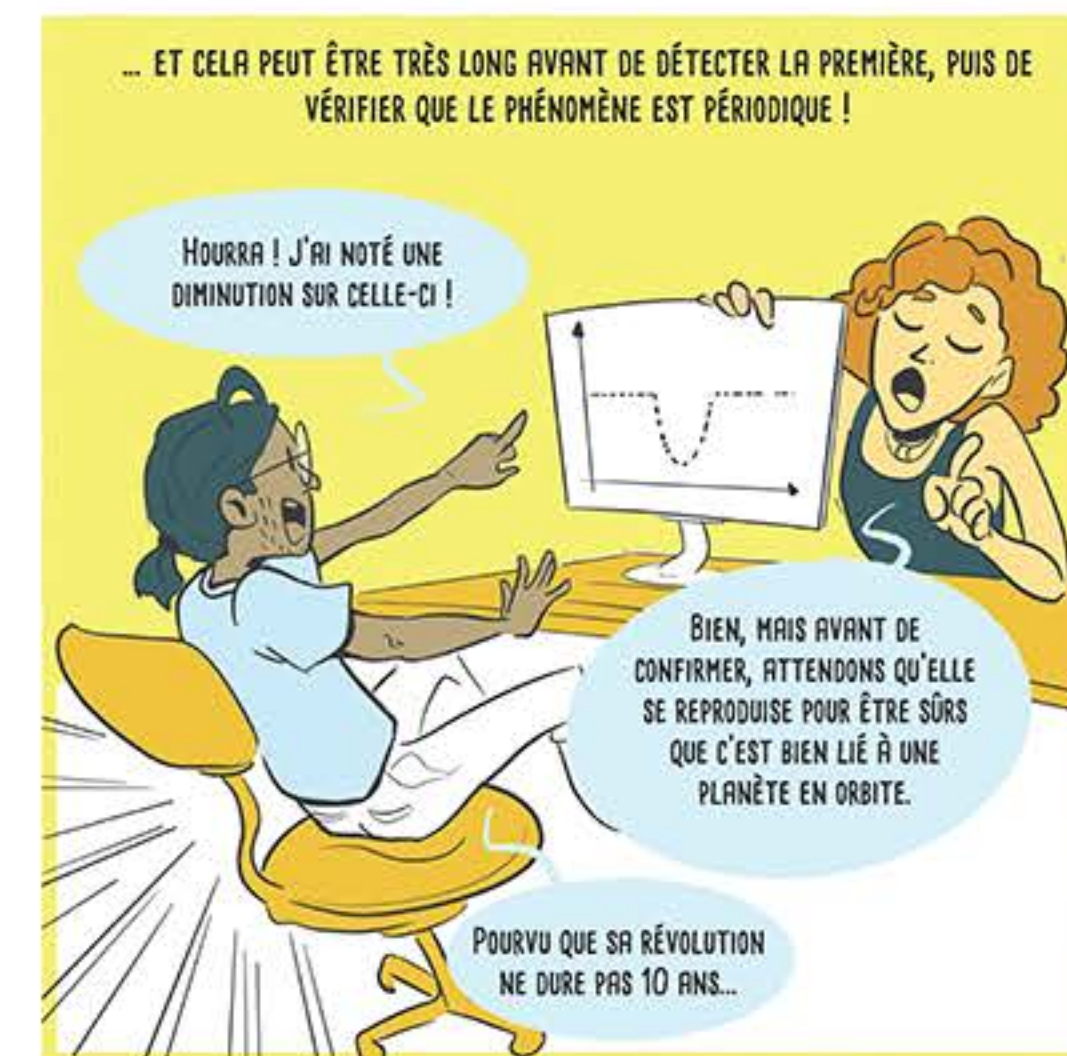
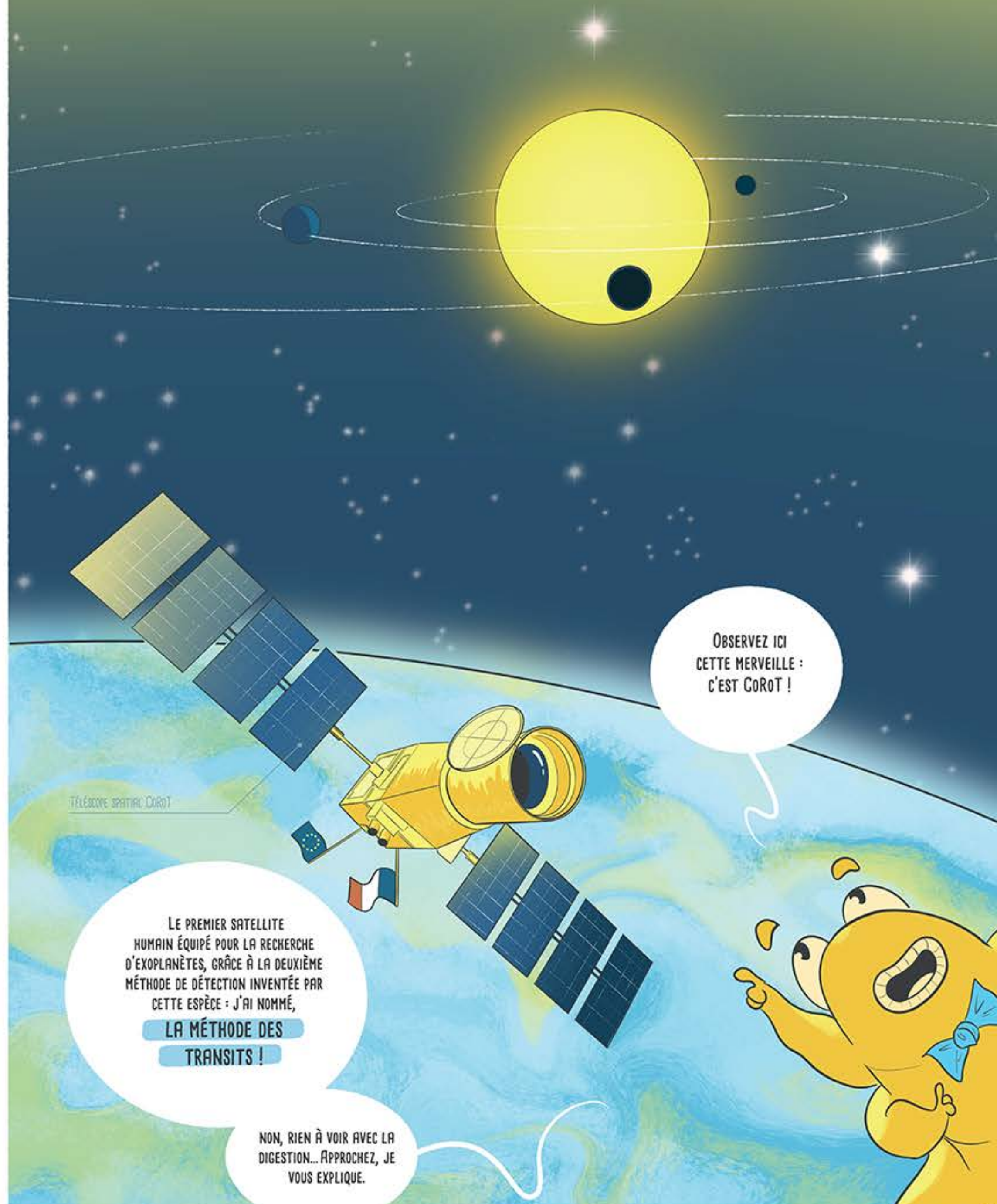
PAR COMPARAISON, LEUR SOLEIL VARIE DE 11 M/S, PRINCIPALEMENT SOUS L'INFLUENCE DE JUPITER, ET LA TERRE SEULE FAIT BOUGER LE SOLEIL DE 8 CM/S.

ILS ESPÈRENT DONC BIENTÔT DÉTECTER DES JUMELLES DE LA TERRE !



ECLIPSE EN VUE

Quand la lumière disparaît... c'est une planète qui apparaît !



^ SOUSRIEZ VOUS ÊTES FILMÉES

On vous verra à des années-lumières !

LES TERRIENS ADORENT
PRENDRE CE QU'ILS APPELLENT
DES "PHOTOS", ET OBTENIR DE
BELLES IMAGES QU'ILS
COLLECTIONNENT...

"VERY LARGE TELESCOPE" (VLT)
DÉSERT D'ATACAMA, CHILI

ALORS FORCÉMENT, ILS ONT VOULU
PHOTOGRAPHIER LES EXOPLANÈTES QU'ILS
RECHERCHENT. MAIS AVEC LA DISTANCE, CE
QU'ILS ARRIVENT À OBSERVER RÉELLEMENT
N'EST PAS FORCÉMENT "PHOTOGÉNIQUE"...
VOYONS CELA DE PLUS PRÈS, AVEC LEUR

**MÉTHODE PAR IMAGERIE
DIRECTE.**

SI CETTE MÉTHODE-CI
EST BAPTISÉE "IMAGERIE
DIRECTE"...

... C'EST PARCE
QU'ELLE EST LA
SEULE QUI PERMETTE
D'OBSERVER
DIRECTEMENT DES
EXOPLANÈTES, ET
D'EN OBTENIR UNE
IMAGE.

OR, LES ÉTOILES SONT 1 À 10 MILLIARDS DE
FOIS PLUS BRILLANTES QUE LES PLANÈTES.
DIFFICILE DONC DE DÉTECTER DIRECTEMENT
CES DERNIÈRES AVEC DES INSTRUMENTS
TERRIENS CLASSIQUES...

C'EST UN PEU
COMME SI, DEPUIS PARIS,
J'ESSAYAIS D'OBSERVER UNE
LUCIOLE QUI SE POSE SUR UN
PHARE À MARSEILLE... C'EST
PAS GAGNÉ !

ALORS, POUR AVOIR UNE CHANCE
D'OBSERVER DES EXOPLANÈTES DE
CETTE MANIÈRE, IL FAUT OCCULTER
L'ÉTOILE QUI ÉMET TROP DE LUMIÈRE
ET REND INVISIBLE CE QUI PASSE À
SES CÔTÉS.

CE PETIT CACHE
LÀ, C'EST UN
CORONAGRAPHE !

C'EST UN TRAVAIL DE PRÉCISION :
ATTENTION À NE CACHER QUE L'ÉTOILE,
ET PAS LES EXOPLANÈTES... PAS FACILE
À CETTE DISTANCE !

ET CE
N'EST PAS
TOUT !

IL FAUT AUSSI
CORRIGER LE "BROUILLAGE"
DE L'IMAGE, CRÉÉ PAR
L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE,
POUR OBTENIR DES IMAGES
PLUS NETTES.

POUR CELA, DES
TECHNIQUES DE CORRECTION
INSTANTANÉE EXISTENT
SUR TERRE, POUR RÉDUIRE
CET EFFET DE TURBULENCE
ATMOSPHÉRIQUE.

CERTAINS TÉLESCOPES COMME LE VLT SONT
CONSTRUITS SUR DES HAUTS PLATEAUX DÉSERTIQUES
OÙ L'ATMOSPHÈRE EST PLUS FINE ET MOINS GÊNANTE.

D'AUTRES SONT CARRÉMENT PLACÉS EN ORBITE, HORS
DE L'ATMOSPHÈRE, COMME HUBBLE OU JAMES WEBB !

ET QU'EST-CE QUE
DONNENT LES CLICHÉS
APRÈS TOUT CE TRAVAIL ?
EH BIEN... ÇA !

MAGNIFIQUE, MAIS IL
Y A ENCORE DU BOULOT
AVANT DE NOUS TIRER
LE PORTRAIT !

IMAGE DE LA PROTOPLANÈTE PROTO 708
ACQUISE PAR SPHERE, VLT
CRÉDIT : ESCOFFIER ET AL.

PREMIÈRE IMAGE D'UN SYSTÈME MULTI-PLANÉTAIRE :
2 EXOPLANÈTES GÉANTES AUTOUR D'UNE ÉTOILE DE TYPE
SOLEIL, CAPTURÉES PAR SPHERE, VLT
CRÉDIT : ESCOFFIER ET AL.

Rien ne vaut le travail d'équipe !

UN POUR TOUS ET TOUS POUR UN

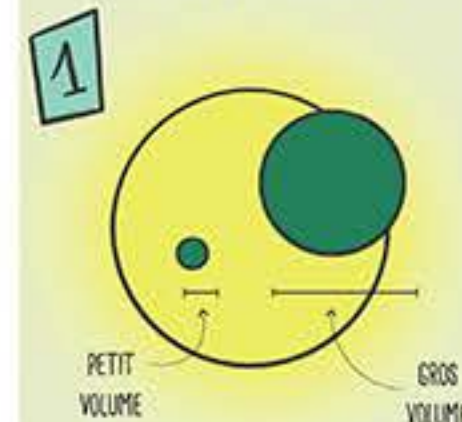


HAAA CES
TERRIENS...

AVEC LEURS
3 MÉTHODES PRINCIPALES
DE DÉTECTION D'EXOPLANÈTES, ILS ARRIVENT À
EN APPRENDRE, DES CHOSSES ! VOYONS UN PEU
JUSQU'OU VA LEUR INGÉNUIOSITÉ QUAND ILS
COMBINENT TOUT CELA...

D'ABORD, AVEC LES DEUX
PREMIÈRES MÉTHODES, ILS
OBTIENNENT DEUX
CARACTÉRISTIQUES :

CELLE DES TRANSITS INFORME
SUR LE DIAMÈTRE, DONC LE
VOLUME DE L'EXOPLANÈTE...



... ET CELLE DES
VITESSES RADIALES,
SUR LA MASSE.

AINSI, SANS MÊME VOIR
DIRECTEMENT UNE
EXOPLANÈTE, LES
HUMAINS SAVENT
PRESQUE TOUT D'ELLE :

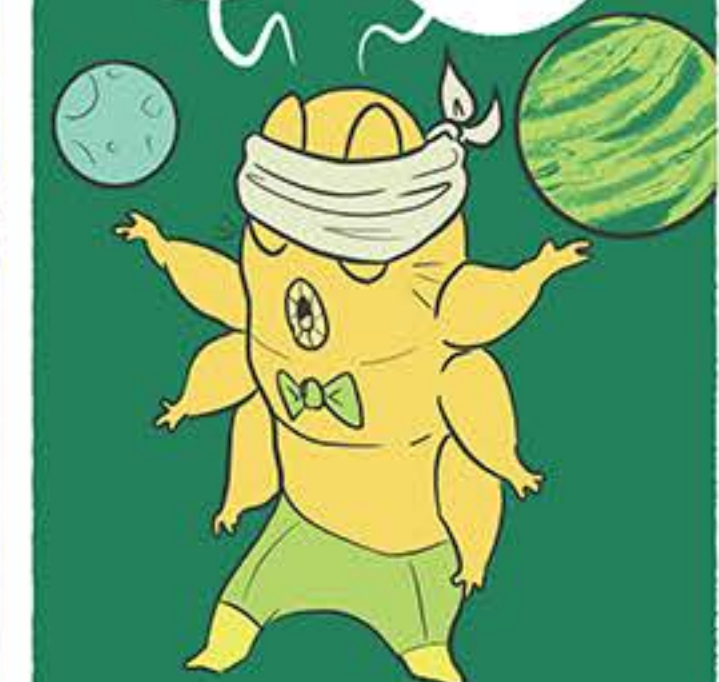
$$\rho = \frac{m}{V}$$

MASSA
DENSITÉ
VOLUME

D'APRÈS LEURS
MÉTHODES DE CALCUL,
MASSA ET VOLUME
DONNENT LA DENSITÉ DE
LA PLANÈTE, DONC, SA
NATURE !

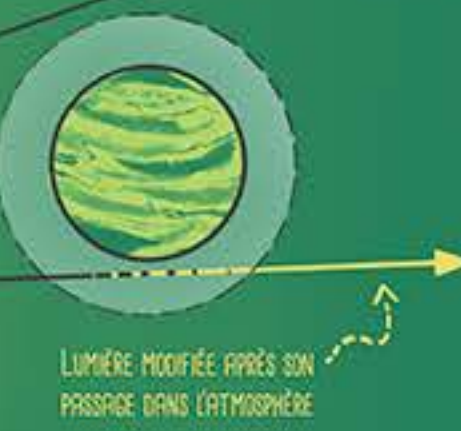
PLUTÔT
TELLURIQUE,
TRÈS DENSE ?

OU PLUTÔT
GAZEUSE, PLUS
LÉGÈRE ?



LA MÉTHODE DES TRANSITS INFORME AUSSI SUR
L'ATMOSPHÈRE DES PLANÈTES DÉTECTÉES :

LUMIÈRE "PURE"
DE L'ÉTOILE



LUMIÈRE MODIFIÉE APRÈS SON
PASSAGE DANS L'ATMOSPHÈRE

LA LUMIÈRE DE L'ÉTOILE, QUI PASSE À TRAVERS
L'ATMOSPHÈRE DE LA PLANÈTE, GARDERA LES
EMPREINTES DES GAZ QU'ELLE A RENCONTRÉS
AVANT D'ARRIVER DANS UN CAPTEUR TERRIEN.

SPECTRE DE LA
LUMIÈRE



TELS DES DÉTECTIVES, LES HUMAINS RECHERCHENT CES EMPREINTES
CACHÉES DANS LA LUMIÈRE DE L'ÉTOILE ET DÉDUISENT AINSI UNE
COMPOSITION CHIMIQUE APPROXIMATIVE DE L'ATMOSPHÈRE DE LA PLANÈTE !

PUIS VIENNT LA QUESTION CRUCIALE : QUELLES
CARACTÉRISTIQUES PERMETTENT DE SUPPOSER
L'EXISTENCE D'UNE FORME DE VIE SUR
L'EXOPLANÈTE SCRUTÉE ?



C'EST ICI QUE LA SCIENCE
TERRIENNE ATTEINT SES
LIMITES...

SELON LES CRITÈRES HUMAINS, LA VIE A BESOIN DE QUATRE CONDITIONS POUR APPARAÎTRE.

EAU LIQUIDE, ÉLÉMENT
INDISPENSABLE À LA VIE
SELON LES TERRIENS



CHAMPS MAGNÉTIQUE
PROTECTEUR CONTRE LES
VENTS SOLAIRES



DISTANCE À SON
ÉTOILE QUI PERMET
UNE BONNE
TEMPÉRATURE

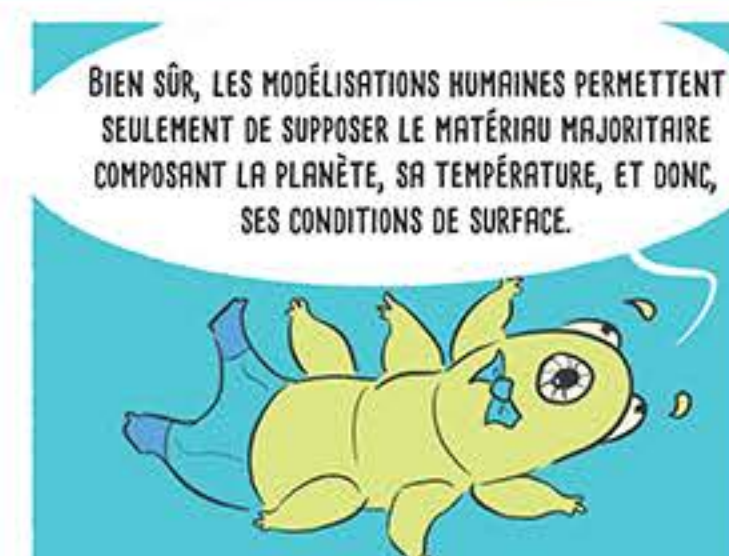
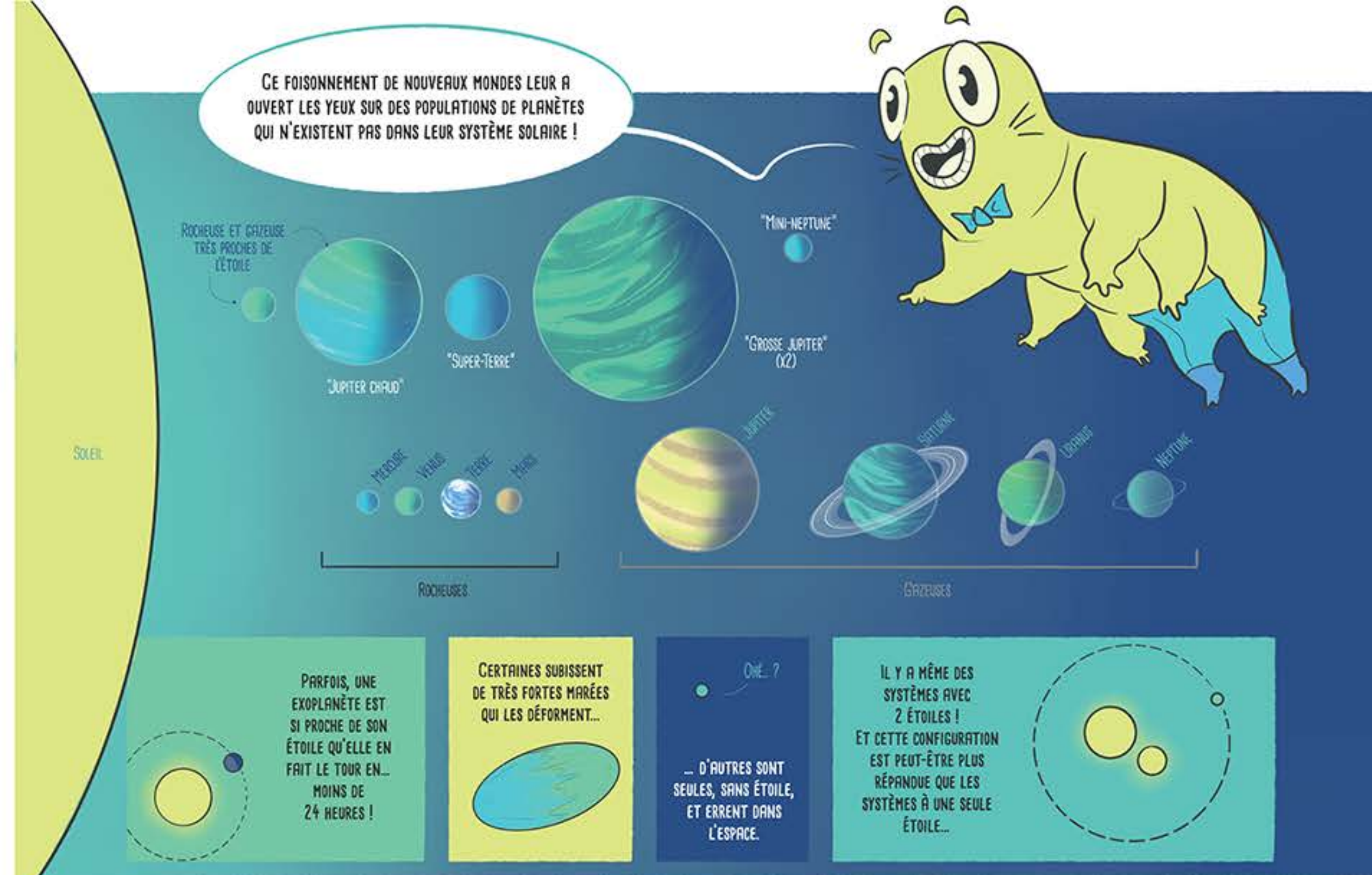


ATMOSPHÈRE
STABLE



MAIS POUR L'INSTANT, AUCUNE
EXOPLANÈTE CONNUE PAR LES
TERRIENS NE SEMBLE CORRESPONDRE À
CES EXIGENCES...

L'Univers regorge de mondes insoupçonnés CABINET DE CURIOSITÉS



LE MOT DE LA FIN



BONJOUR À TOI LECTEUR ! J'ESPÈRE QUE TU AS APPRÉCIÉ CETTE VISITE GUIDÉE EXTRATERRESTRE, ET QU'ELLE T'A DONNÉ ENVIE D'EN SAVOIR PLUS, VOIRE DE REJOINDRE L'AVENTURE SCIENTIFIQUE TERRIENNE DE RECHERCHE D'EXOPLANÈTES !

LE SAVAIS-TU ? AU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE MARSEILLE, LE LAM, NOTRE ÉQUIPE DE CHERCHEUSES ET DE CHERCHEURS PARTICIPE À DE NOMBREUX PROGRAMMES INSTRUMENTAUX ET SCIENTIFIQUES DÉDIÉS À L'ÉTUDE DES EXOPLANÈTES. CELA S'EST AMPLIFIÉ, DEPUIS LA DÉTECTION DE LA PREMIÈRE EXOPLANÈTE "51 PEGASI B" EN 1995, À L'OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE (OHP) !

C'EST D'AILLEURS GRÂCE À LA COLLABORATION DE CHERCHEURS ET D'INGÉNIEURS DE L'OBSERVATOIRE DE MARSEILLE, DE L'OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE ET DE L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE QUE L'INSTRUMENT QUI A PERMIS CETTE PREMIÈRE DÉTECTION A ÉTÉ CONÇU : LE SPECTROGRAPHE ÉLODIE, INSTALLÉ SUR LE TÉLESCOPE DE 193 CENTIMÈTRES DE L'OHP. DE NOUVELLES GÉNÉRATIONS D'INSTRUMENTS ONT ENSUITE ÉTÉ CONÇUES, TOUJOURS PLUS SENSIBLES ET PERFORMANTES POUR LA RECHERCHE ET L'ÉTUDE DES EXOPLANÈTES.

HA ! ENCORE UNE CHOSE. EST-CE QUE TÂRDY T'A FAIT PENSER À UN PETIT ÊTRE CONNU ? HÉ BIEN, C'EST NORMAL ! LA FORME DE NOTRE OBSERVATEUR EXTRATERRESTRE EST INSPIRÉE...

DU TARDIGRADE !
UN CLIN D'ŒIL À CE PETIT ANIMAL INCROYABLE À 8 PATTES, D'ENVIRON 1 MILLIMÈTRE. IL SURVIT DE -273°C , JUSQU'À $+340^{\circ}\text{C}$. IL EST 11 000 FOIS PLUS RÉSISTANT QUE L'HOMME AUX RAYONS X. IL RÉSISTE AUSSI À LA DÉSHYDRATATION, AU MANQUE D'OXYGÈNE, IL EST DONC CAPABLE DE SURVIVRE DANS DES CONDITIONS EXTRÊMES ET NOTAMMENT DANS LE VIDE SPATIAL.

D'AILLEURS, NE SERAIT-IL PAS PLUS PROBABLE QU'UNE FORME DE VIE EXTRATERRESTRE RESSEMBLE À UN MICRO-ORGANISME OU À UNE BACTÉRIE PLUTÔT QU'À UN ÊTRE HUMAIN ?



SOURCE : SCHOKRAIE E. ET AL. (2012).

IMAGE D'UN TARDIGRADE AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE.