SESP

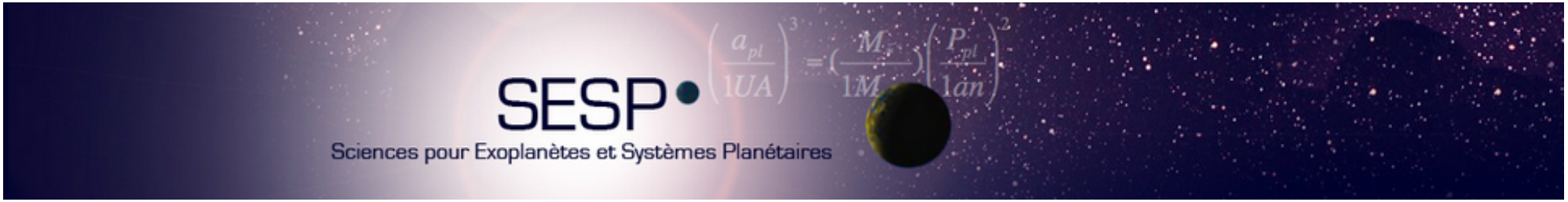
Sciences pour Exoplanètes et Systèmes Planétaires

$$\left(\frac{a_{pl}}{1UA}\right)^3 = \left(\frac{M_*}{1M_{sun}}\right)\left(\frac{P_{pl}}{1an}\right)^2$$

(Exo)planètes : comment les chercheurs les découvrent, les comptent, les étudient, les comprennent

ESEP

Françoise Roques
(LESIA, Observatoire de Paris)



Exoplanètes et systèmes planétaires :

Partager avec le public
Enseigner
les connaissances et les méthodes de recherche

Livre numérique :
25 chapitres (L3) :

Site grand public
miroir de exoplanet.eu

L'enseignement à distance à l'Observatoire de Paris

- **10 ans de formations en ligne**

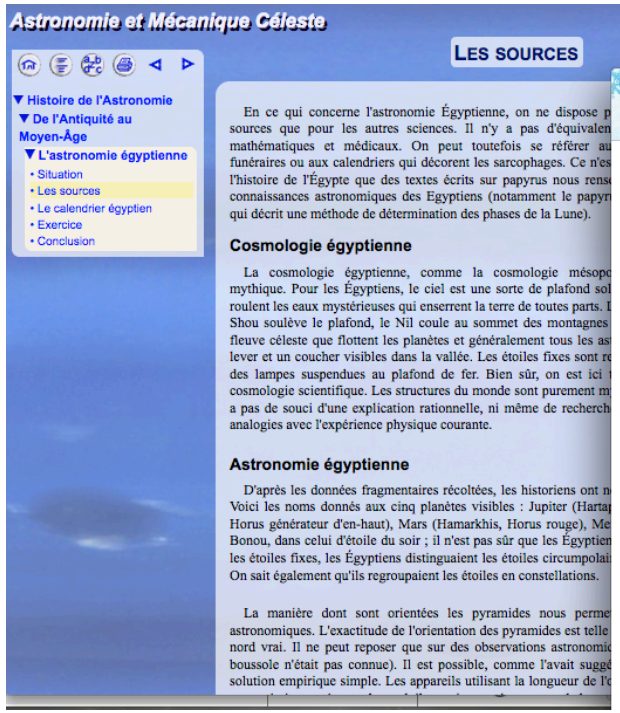
Formations sélectives, tutorées et diplômantes

- **Mooc**

  Peser l'Univers, Physique de base de l'astronomie, Le Soleil,…

- **Ressources en libre accès** (60 000 visites par mois)

  TP pour les enseignants de primaire/secondaire, Laboratoire Numérique, Mathématiques, Astronomie, Mécanique Céleste, Instrumentation, Cosmologie, …



Astronomie et Mécanique Céleste

LES SOURCES

- Histoire de l'Astronomie
  - De l'Antiquité au Moyen-Âge
    - L'astronomie égyptienne
      - Situation
      - Les sources
      - Le calendrier égyptien
      - Exercice
      - Conclusion

En ce qui concerne l'astronomie Égyptienne, on ne dispose p
sources que pour les autres sciences. Il n'y a pas d'équivalen
mathématiques et médicaux. On peut toutefois se référer au
funéraires ou aux calendriers qui décorent les sarcophages. Ce n'es
l'histoire de l'Égypte que des textes écrits sur papyrus nous rens
connaissances astronomiques des Egyptiens (notamment le papyr
qui décrit une méthode de détermination des phases de la Lune).

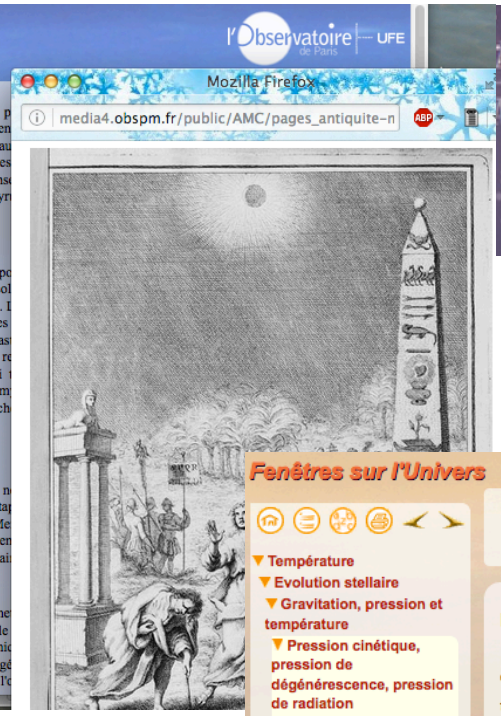
Cosmologie égyptienne

La cosmologie égyptienne, comme la cosmologie mésop
mythique. Pour les Égyptiens, le ciel est une sorte de plafond sol
roulent les eaux mystérieuses qui enserrent la terre de toutes parts. I
Shou soulève le plafond, le Nil coule au sommet des montagnes
fleuve céleste que flottent les planètes et généralement tous les as
lever et un coucher visibles dans la vallée. Les étoiles fixes sont re
des lampes suspendues au plafond de fer. Bien sûr, on est ici
cosmologie scientifique. Les structures du monde sont purement m
a pas de souci d'une explication rationnelle, ni même de recherch
analogies avec l'expérience physique courante.

Astronomie égyptienne

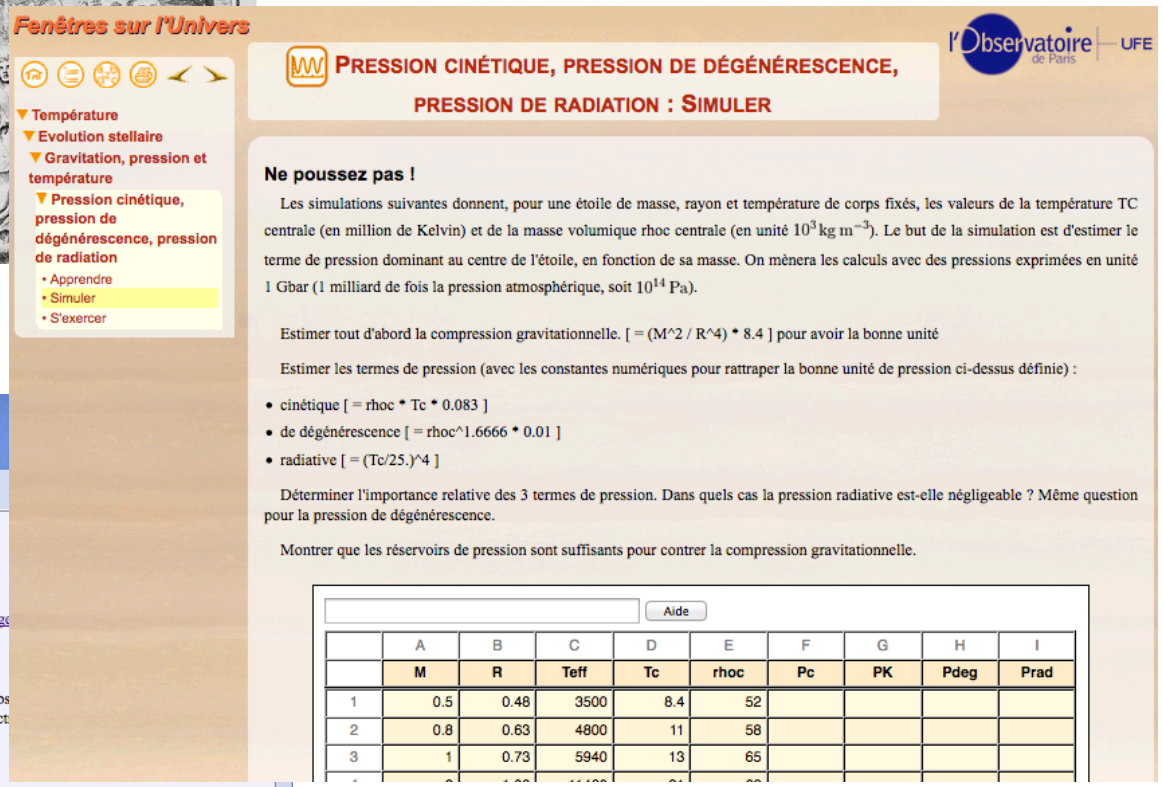
D'après les données fragmentaires récoltées, les historiens ont n
Voici les noms donnés aux cinq planètes visibles : Jupiter (Hartap
Horus générateur d'en-haut), Mars (Hamarkhis, Horus rouge), Me
Bonou, dans celui d'étoile du soir ; il n'est pas sûr que les Égyptien
les étoiles fixes, les Égyptiens distinguaient les étoiles circumpolai
On sait également qu'ils regroupaient les étoiles en constellations.

La manière dont sont orientées les pyramides nous perme
astronomiques. L'exactitude de l'orientation des pyramides est telle
nord vrai. Il ne peut reposer sur des observations astronomi
boussole n'était pas connue). Il est possible, comme l'avait suggé
solution empirique simple. Les appareils utilisant la longueur de l'o



Mozilla Firefox

media4.obspm.fr/public/AMC/pages_antiquite-n



Fenêtres sur l'Univers

- Température
  - Evolution stellaire
    - Gravitation, pression et température
      - Pression cinétique, pression de dégénérescence, pression de radiation
        - Apprendre
        - Simuler
        - S'exercer

PRESSION CINÉTIQUE, PRESSION DE DÉGÉNÉRESCENCE, PRESSION DE RADIATION : SIMULER

Ne poussez pas !

Les simulations suivantes donnent, pour une étoile de masse, rayon et température de corps fixés, les valeurs de la température TC centrale (en million de Kelvin) et de la masse volumique rhoc centrale (en unité $10^3\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$). Le but de la simulation est d'estimer le terme de pression dominant au centre de l'étoile, en fonction de sa masse. On mènera les calculs avec des pressions exprimées en unité 1 Gbar (1 milliard de fois la pression atmosphérique, soit 10^{14} Pa).

Estimer tout d'abord la compression gravitationnelle. [= (M^2 / R^4) * 8.4] pour avoir la bonne unité

Estimer les termes de pression (avec les constantes numériques pour rattraper la bonne unité de pression ci-dessus définie) :

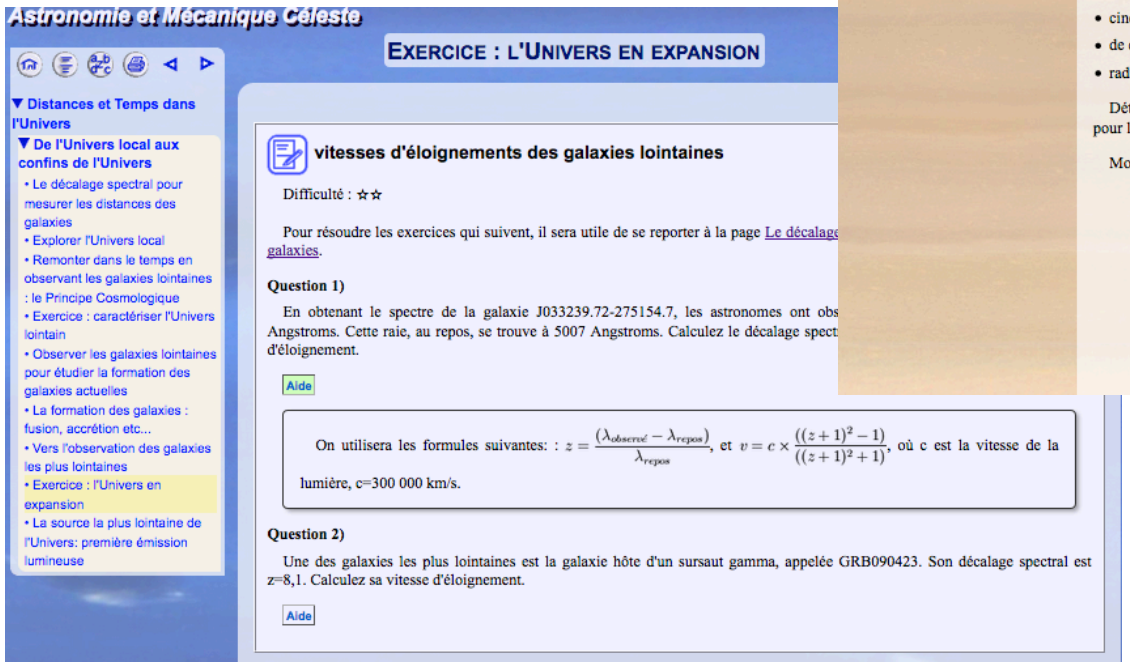
- cinétique [= rhoc * Tc * 0.083]
- de dégénérescence [= rhoc^1.6666 * 0.01]
- radiative [= (Tc/25.)^4]

Déterminer l'importance relative des 3 termes de pression. Dans quels cas la pression radiative est-elle négligeable ? Même question pour la pression de dégénérescence.

Montrer que les réservoirs de pression sont suffisants pour contrer la compression gravitationnelle.

Aide

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	M	R	Teff	Tc	rhoc	Pc	PK	Pdeg	Prad
1	0.5	0.48	3500	8.4	52				
2	0.8	0.63	4800	11	58				
3	1	0.73	5940	13	65				



Astronomie et Mécanique Céleste

EXERCICE : L'UNIVERS EN EXPANSION

- Distances et Temps dans l'Univers
  - De l'Univers local aux confins de l'Univers
    - Le décalage spectral pour mesurer les distances des galaxies
    - Explorer l'Univers local
    - Remonter dans le temps en observant les galaxies lointaines : le Principe Cosmologique
    - Exercice : caractériser l'Univers lointain
    - Observer les galaxies lointaines pour étudier la formation des galaxies actuelles
    - La formation des galaxies : fusion, accrétion etc...
    - Vers l'observation des galaxies les plus lointaines
    - Exercice : l'Univers en expansion
    - La source la plus lointaine de l'Univers: première émission lumineuse

vitesses d'éloignements des galaxies lointaines

Difficulté : ☆☆

Pour résoudre les exercices qui suivent, il sera utile de se reporter à la page Le décalage galaxies.

Question 1)

En obtenant le spectre de la galaxie J033239.72-275154.7, les astronomes ont obs
Angstroms. Cette raie, au repos, se trouve à 5007 Angstroms. Calculez le décalage spect
d'éloignement.

Aide

On utilisera les formules suivantes: : $z = \frac{(\lambda_{observé} - \lambda_{repos})}{\lambda_{repos}}$, et $v = c \times \frac{((z+1)^2 - 1)}{((z+1)^2 + 1)}$, où c est la vitesse de la lumière, c=300 000 km/s.

Question 2)

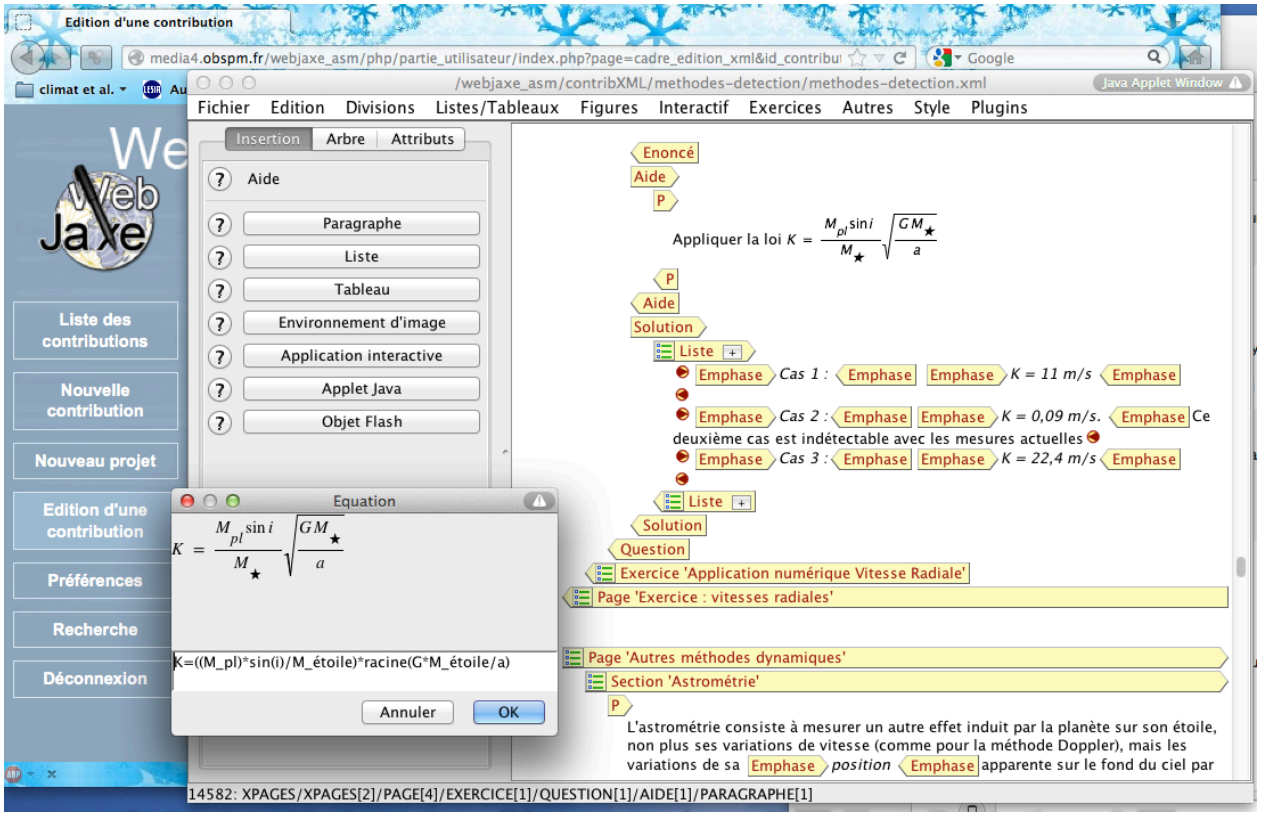
Une des galaxies les plus lointaines est la galaxie hôte d'un sursaut gamma, appelée GRB090423. Son décalage spectral est z=8,1. Calculez sa vitesse d'éloignement.

Aide

Outils propres :
Editeur XML : webjaxe – Plateforme de formation : Paellos

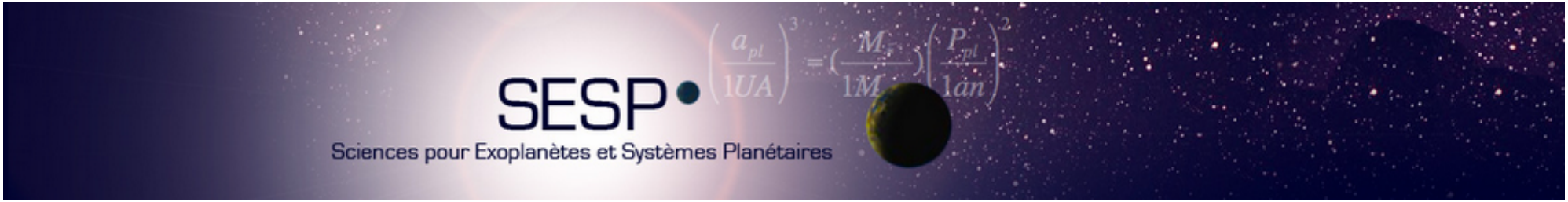
Webjaxe : éditeur XML

- **découplage fond et forme**
- **Granularisation des contenus**
- **=> Permet une actualisation**



Formations Ouvertes et A distance

- **Sélection des étudiants**
- **1 journée de rentrée en présentiel**
- **9 mois**
- **Tutorat fort (50 exercices)**
- **Examen en présentiel (ECTS Licence/Master ou DU)**
- **6 parcours (40-120 heures de travail)**
- **Sites en libre accès (sauf corrections des exercices)**
- **<u>Découplage entre auteurs des cours et tuteurs des formations</u>**



Exoplanètes et systèmes planétaires :

Partager avec le public
Enseigner
les connaissances et les méthodes de recherche

25 chapitres (L3) :
cours + exercices + projets méthodologiques

http://www.esep.pro/Sciences-pour-les-Exoplanetes-et.html

SESP
Sciences pour Exoplanètes et Systèmes Planétaires

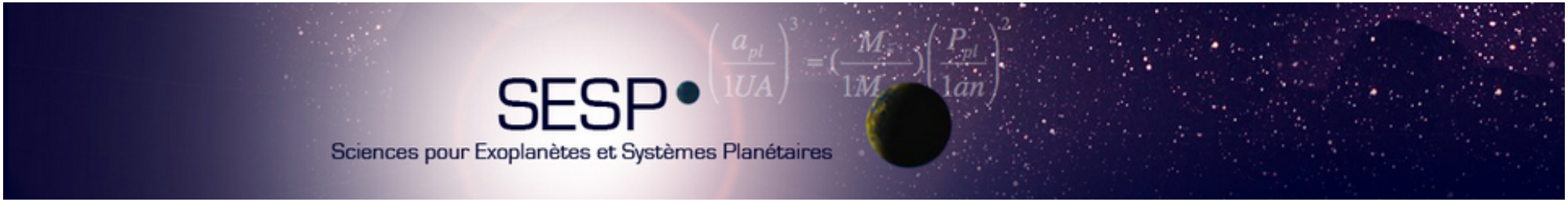
1. Histoire et définitions
2. Formation et évolution des systèmes planétaires

3. Structure thermique des atmosphères planétaires
4. Dynamique atmosphérique
5. Atmosphères : composition ?
6. Surfaces planétaires
7. Structure interne ?
8. Petits corps du système solaire
9. Magnétosphère ?
10. Relations étoile-planètes (en cours)
11. Les orbites planétaires
12. Dynamique (en cours)

13. Flux et spectre
14. Polarisation
15. Plasmas planétaires: mesures in situ
16. Flux U.V.

17. Modèle de circulation générale des atmosphères
18. Exoplanètes : Statistique et probabilités
19. Imagerie directe d'exoplanètes
20. Méthodes de détection d'exoplanètes par vitesse radiale et astrométrie
21. Exoplanètes en transits (en cours)
22. Nanosatellites (en cours)
23. Détection par micro-lentilles gravitaionnelles ?

23. Habitabilité
24. Search for ExtraTerrestrial Intelligence (en cours)
25. Exobiologie (en cours)
26. Origine de la vie sur Terre ?
27. Extrémophiles ?
28. ?
…



Comité éditorial

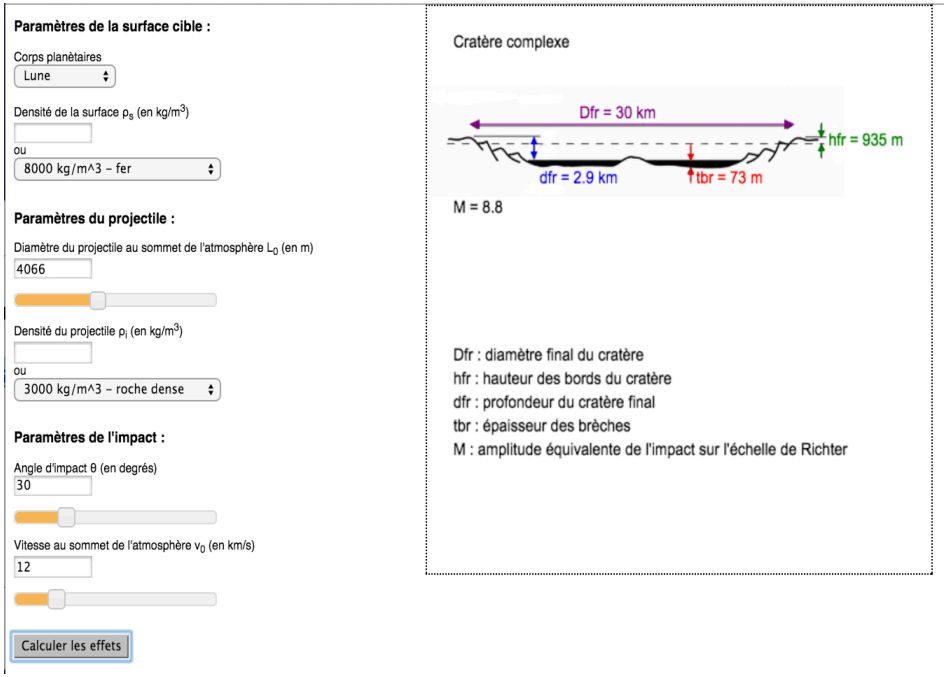
Les auteurs et relecteurs (labex ESEP):

Alain Doressoundiram, **Christian Balança**, Jean-Loup Baudino, **Yves Benilan**, Benjamin Charnay, Jean-Yves Chaufray, Valerie Ciarletti, Thierry Dudok de Wit, Stephane Erard, Sylvain Fouquet, Francois Forget, Thierry Fouchet, Nicolas Fray, **Jean-Mathias Griessmeier**, Anaelle Halle, Nathan Hara, Jacques Laskar, Sebastien Lebonnois, Emmanuel Lellouch, Alice Le Gall, Lucie Maquet, Franck Marchis, **Emmanuel Marcq**, Sophie Masson, Stephane Mazevet, Ronan Modolo, Yael Naze, **Thomas Navarro**, Filippo Pantellini, Didier Pelat, Arianna Piccialli , Gary Quinsac, Francois Raulin, **Stefan Renner**, **Francoise Roques**, Loïc Rossi, Patricia Schippers, **Jean Schneider**, Bruno Sicardy, Philippe Thebault et Martin Turbet.

Relectures : comité éditorial + relecteur thématique

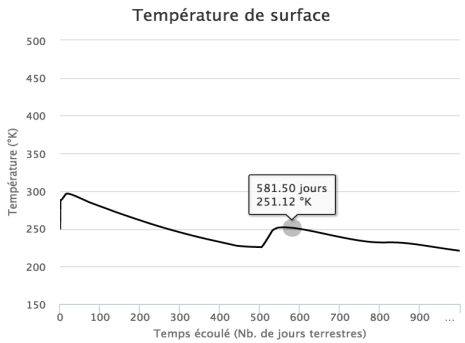
SESP

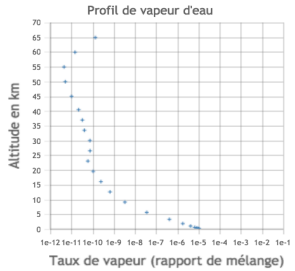
Sciences pour Exoplanètes et Systèmes Planétaires

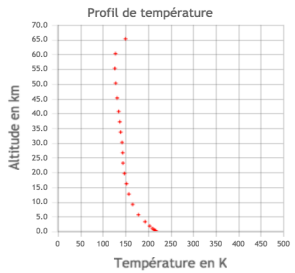


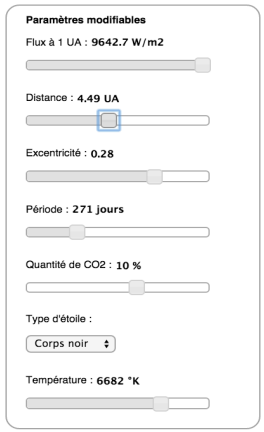
Alice Le Gall, Cédric Schott

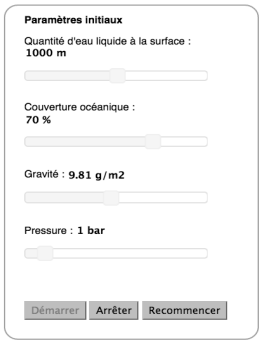
Martin Turbet, François Forget, Cédric Schott



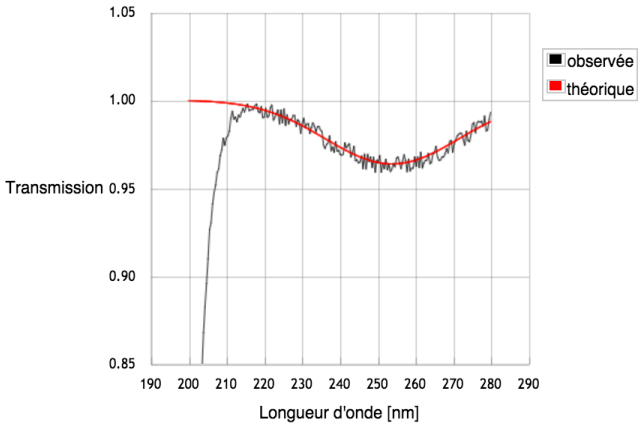


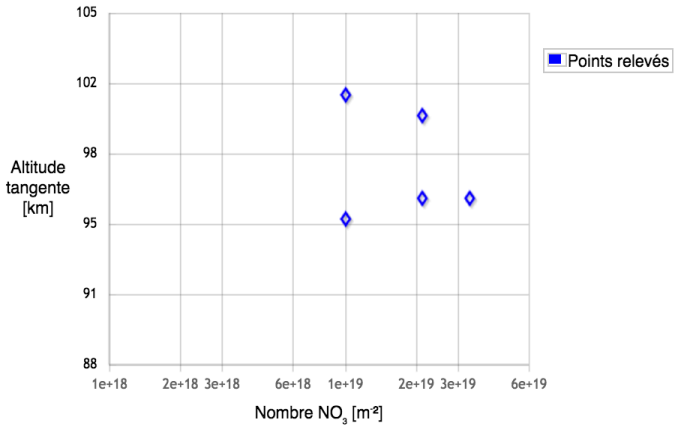






Emmanuel Marcq, Cédric Schott





Altitude tangente du rayon à travers l'atmosphère [km] :

96

Nombre de molécules NO_3 [m^{-2}] :

3.35e+19

Copier ces valeurs dans le tableur

Altitude tangente [km]	Nombre NO_3 [m^{-2}]
96	2.11e+19
100	2.11e+19
95	1.00e+19
101	1.00e+19
96	3.35e+19

Mettre à jour le graphique

MARDI 8 NOVEMBRE 2016

ACCUEIL | BASE DE DONNÉES | CARTES | COURS | QUELQUES QUESTIONS | GLOSSAIRE | CRÉDITS

ACCUEIL

Vous trouverez ici des chemins de traverse pour explorer le monde des exoplanètes.

Les exoplanètes sont partout, même autour de l'étoile la plus proche de nous, Proxima du Centaure.

Pour préparer votre voyage, vous avez des cartes du ciel et une carte en 3 dimensions.

Vous pouvez apprendre comment les chercheurs rusent pour débusquer les plus petites ou les plus lointaines planètes, et si ces planètes exotiques ressemblent à notre Terre.

Un compteur et un tableau vous permettent de suivre en direct le nombre total d'exoplanètes et comment elles se répartissent en fonction de leur taille et de leur température.

Pour explorer les propriétés des exoplanètes, vous disposez du catalogue de toutes les exoplanètes, dont les données sont issues du portail de recherche de l'observatoire de Paris, exoplanet.eu, et d'outils statistiques pour faire des histogrammes et des diagrammes.

Vous pourrez visiter chaque système, tourner autour, vous approcher au plus près des planètes et voir les informations dont nous disposons, et celles qui nous manquent encore.

Mais pour commencer cette visite, venez écouter un chercheur d'exoplanètes vous résumer les grandes étapes de ces fabuleuses découvertes.

Pour toute question sur ce site, écrivez-nous à : contact.exoplanets@obspm.fr

ESEP | l'Observatoire de Paris | PADC | PSL | unisciel

COMPTEUR D'EXOPLANÈTES

MARDI 8 NOVEMBRE 2016

3,540

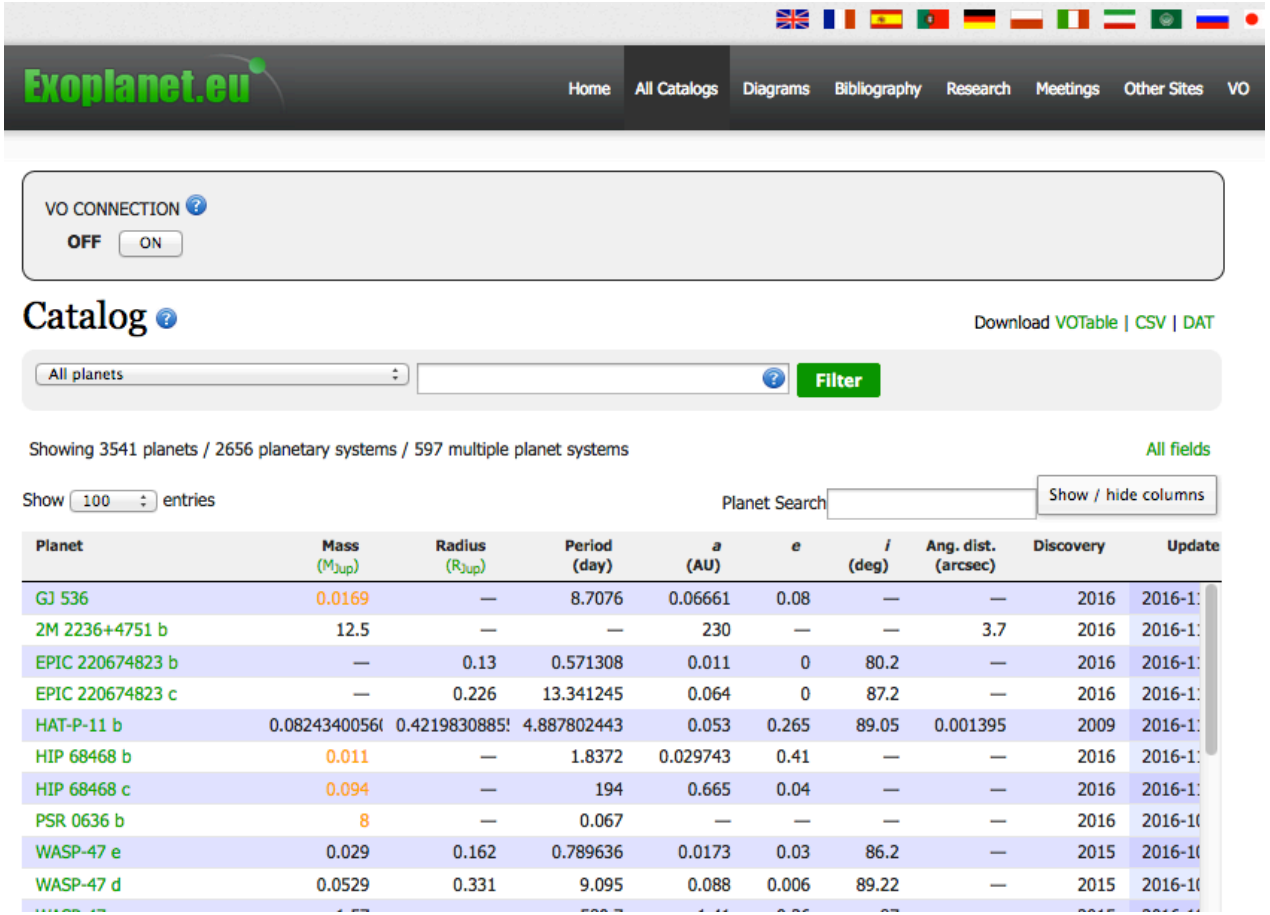
TABLE DES SYSTÈMES

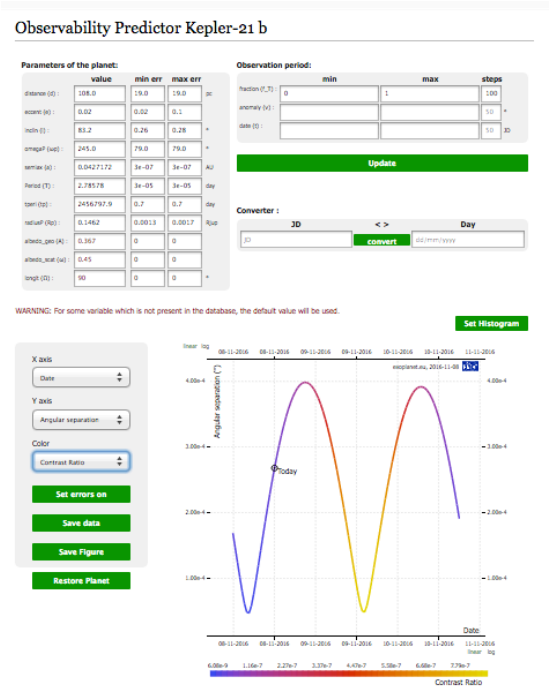
- Systèmes avec 1 planète : 2058
- Systèmes avec 2 planètes : 402
- Systèmes avec 3 planètes : 128
- Systèmes avec 4 planètes : 45
- Systèmes avec 5 planètes : 15
- Systèmes avec 6 planètes : 6
- Systèmes avec 7 planètes : 1

SESP

Sciences pour Exoplanètes et Systèmes Planétaires

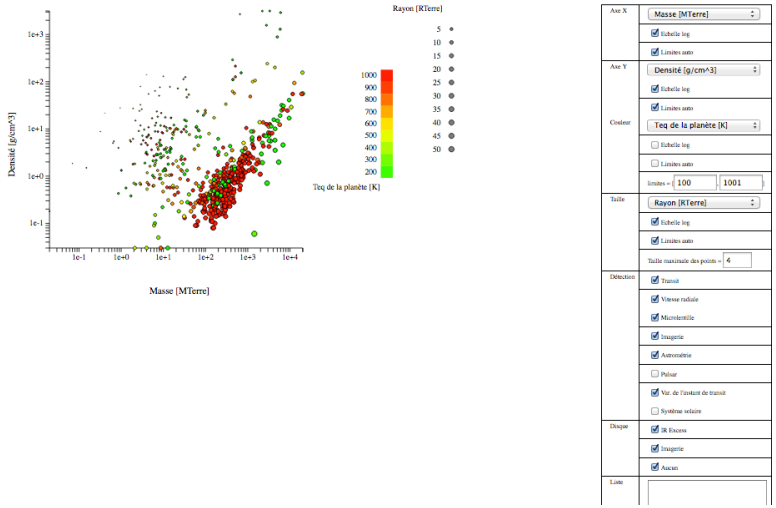
l'encyclopédie **exoplanet.eu**





SESP

Sciences pour Exoplanètes et Systèmes Planétaires



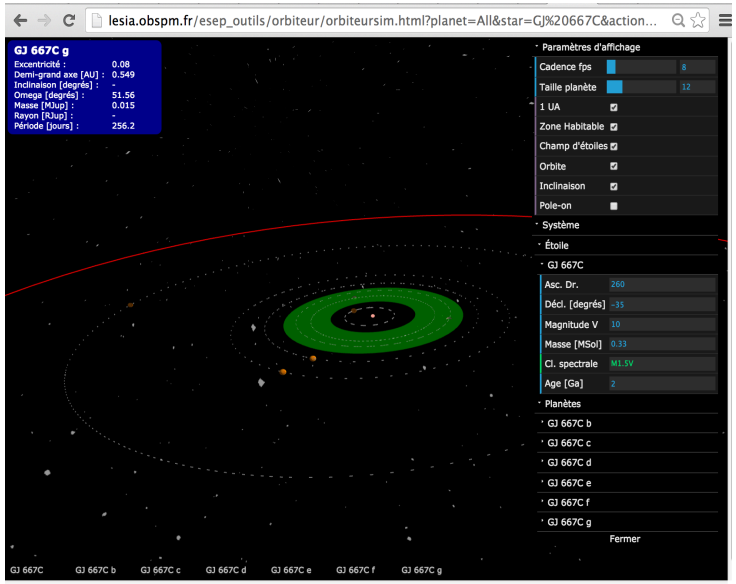
Copier la liste sélectionnée | Enregistrer vers Tableur | Afficher les colonnes

Afficher 10 éléments Rechercher : Corot

	Exoplanète	catégorie	détection	année	période	a	e	i	omega	mol.	M_pl	R_pl	teq	densité	Star	distance	alpha
☐	CoRoT-11 b	jovienne chaude	transit	2010	2.995	0.044	0	81.41	–		2.33	1.43	1564	0.99	CoRoT-11	560	280.688
☐	CoRoT-12 b	jovienne chaude	transit	2010	2.829	0.041	0.07	85.48	105		0.917	1.44	1319	0.38	CoRoT-12	1150	100.767
☐	CoRoT-13 b	jovienne chaude	transit	2010	4.036	0.051	0						1167	2.34	CoRoT-13	1310	102.721
☐	CoRoT-14 b	jovienne chaude	transit	2010	1.513	0.027	0	79.6	–		7.6	1.09	1782	7.28	CoRoT-14	1340	103.425
☐	CoRoT-10 b	jovienne chaude	transit	2010	13.241	0.106	0.53	88.55	218.9		2.75	0.97	612	3.74	CoRoT-10	345	291.063
☐	CoRoT-16 b	jovienne chaude	transit	2010	5.353	0.062	0.33	85.01	168.41		0.535	1.17	1093	0.41	CoRoT-16	840	278.525
☐	CoRoT-17 b	jovienne chaude	transit	2010	3.769	0.047	0	88.34	–		2.43	1.02	1487	2.84	CoRoT-17	920	278.696
☐	CoRoT-18 b	jovienne chaude	transit	2011	1.901	0.03	0.08	86.5	–		3.47	1.31	1397	1.91	CoRoT-18	870	98.171
☐	CoRoT-19 b	jovienne chaude	transit	2011	3.898	0.052	0.047	87.61	86		1.11	1.29	1516	0.64	CoRoT-19	800	97.034
☐	CoRoT-20 b	jovienne chaude	transit	2011	9.243	0.091	0.562	88.21	56.3		4.24	0.84	828	8.87	CoRoT-20	1230	97.731

excentricité de l'orbite de la planète

Affichage de l'élement 11 à 20 sur 32 éléments (filtré de 2,032 éléments au total) Précédent Suivant



LUNDI 28 NOVEMBRE 2016

ACCUEIL | BASE DE DONNÉES | CARTES | COURS | QUELQUES QUESTIONS | GLOSSAIRE | CRÉDITS

Exoplanètes

TABLE DES EXOPLANÈTES

Imprimer

Tableau de classification des exoplanètes en fonction de leur masse et de la température estimée.

Voici comment sont classées les exoplanètes.

		nombre total 3544			non classables : 2137	
	mercuriennes : 0-0.1 M_{Terre}	mini-terres : 0.1-0.5 M_{Terre}	terriennes : 0.5-2 M_{Terre}	superterriennes : 2-10 M_{Terre}	neptuniennes : 10-30 M_{Terre}	joviennes : 30 M_{Terre}-25 M_{Jup}
chaudes	2	1	11	70	53	516
tièdes	0	0	0	4	6	75
froides	2	2	0	83	72	510

Horizontal

- 1. corps céleste constitué dans un disque protoplanétaire ou un disque de débris
- 2. corps de petite taille composé de roches et de glaces
- 3. temps nécessaire pour qu'un astre revienne au même point de son orbite.
- 4. est égale à 3.26 a.l.
- 5. méthode de détection qui consiste à étudier la luminosité de l'étoile cible
- 6. nulle pour une orbite elle correspond à un cercle
- 7. planètes qui se situent en dehors du Système solaire
- 8. détecteur de photons de lumière
- 9. se dit d'un système composé de deux étoiles
- 10. distance moyenne entre la Terre et le Soleil
- 11. Kepler en a écrit plusieurs
- 12. télescope spatial européen
- 13. effet pour la variation de la fréquence des raies émises par l'étoile

Vertical

- 1. grain de lumière
- 14. instrument d'observation astronomique
- 15. chacune comprend quelques millions à quelques milliards d'étoiles
- 16. étoile à neutrons
- 17. elles sont le résultat de l'explosion globale d'une étoile
- 18. planètes ressemblant à Neptune
- 19. se dit d'une planète constituée de roches solides
- 20. 0,000001 m
- 21. Modèle de Circulation Générale (en anglais)

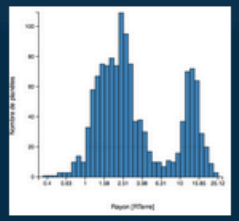
ACCUEIL | BASE DE DONNÉES | CARTES | COURS | QUELQUES QUESTIONS | GLOSSAIRE | CRÉDITS

Exoplanètes

H : RAYONS

Imprimer

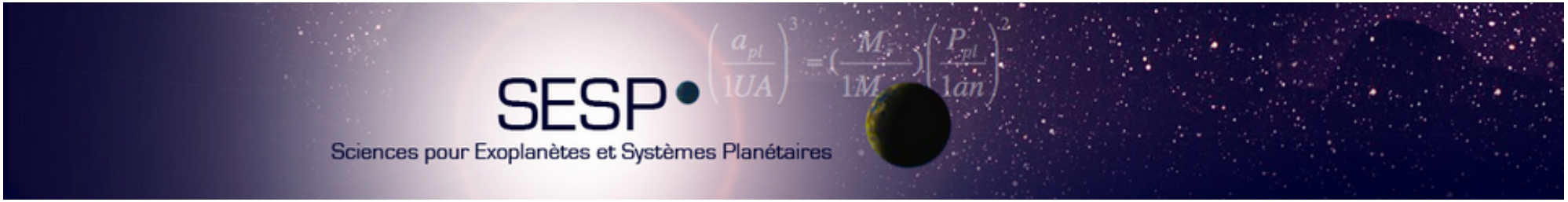
X : Rayon[RTerre] - Echelle log : activée



- La **limite inférieure** (plus petite planète) est un effet instrumental puisque les planètes trop petites ne sont pas détectables. La limite supérieure est la limite du catalogue: Les objets plus gros sont des naines brunes et des étoiles. Il est parfois difficile de définir cette limite, de dire si un objet détecté est une exoplanète ou non.
- En jouant sur les boutons des méthodes de détection, on voit que les planètes de cet histogramme sont essentiellement détectées par la méthode des transits. Les autres méthodes de détection ne donnent pas accès, ou seulement de manière indirecte, au rayon.
- L'histogramme montre que les petites exoplanètes sont beaucoup plus nombreuses que les grosses.
- L'histogramme montre aussi deux populations de planètes, avec un pic vers 2 rayons terrestres (0.2 rayon de Jupiter) et une autour de 12 rayons terrestres (1.2 rayon de Jupiter). Cet effet n'est pas un biais observationnel parcequ'il est toujours visible quand on se limite aux planètes détectées par transit. On peut penser que les petites planètes sont des planètes telluriques et que la population des grosses planètes est constituée de planètes gazeuses comme les planètes géantes du système solaire.
- Si on retire les planètes découvertes par la méthode des transits, il ne reste presque plus de planètes : La méthode des transits est la seule technique qui donne une mesure précise de la taille d'une exoplanète.

DIAGRAMMES ET HISTOGRAMMES [FR]

- D : Masses - Densités
- D : Masses - Rayons
- D : Masses - Années de découverte
- D : Distances - Masses
- D : Demi-grands axes - Rayons
- D : Périodes - Demi-grands axes
- H : Ages
- H : Rayons
- H : Demi-grands axes
- H : Excentricités
- H : Inclinaisons
- H : Masses
- H : Périodes



Exoplanètes et systèmes planétaires :

Partager avec le public
Enseigner
les connaissances et les méthodes de recherche

25 chapitres (L3) :
cours + exercices + projets méthodologiques

site grand public,
(miroir de exoplanet.eu)

Instrumentation,
Corot, SETI
+
Traductions
+
Formations diplômantes
(OP-UVSQ)

http://www.esep.pro/Sciences-pour-les-Exoplanetes-et.html