



HAL
open science

Enseigner la physique et les mathématiques autrement : EU-HOU, Hands-On Universe EU-HOU, Hands-On Universe

Emmanuel Rollinde, Roger Ferlet, Anne-Laure Melchior, Pacôme Delva, Gilles
Chagnon, Philippe Salomé

► To cite this version:

Emmanuel Rollinde, Roger Ferlet, Anne-Laure Melchior, Pacôme Delva, Gilles Chagnon, et al.. Enseigner la physique et les mathématiques autrement : EU-HOU, Hands-On Universe EU-HOU, Hands-On Universe. Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie, 2016. hal-02303711

HAL Id: hal-02303711

<https://hal.science/hal-02303711>

Submitted on 2 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Enseigner la physique et les mathématiques autrement : EU-HOU, Hands-On Universe

Par **Emmanuel Rollinde**

Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 6 et CNRS, UMR 7095, Institut d'Astrophysique de Paris,
98 bis bd Arago, 75014 Paris, France

rollinde@iap.fr

L'équipe de EU-HOU- France

Roger Ferlet, Anne-Laure Melchior, Pacôme Delva, Gilles Chagnon, Philippe Salomé

EU-HOU, Hands-On Universe

Les réformes successives du collège et du lycée mettent de plus en plus l'accent sur l'interdisciplinarité et la démarche d'investigation ; sur les compétences plus que sur les connaissances. Les premiers retours semblent confirmer les dangers d'un enseignement centré sur des connaissances générales au détriment du raisonnement et des connaissances démontrées. Depuis 2004, notre équipe composée d'enseignants, d'universitaires et de chercheurs en astronomie développe le projet EU-HOU.

Nous mettons en place des outils pédagogiques basés sur la démarche d'investigation, l'analyse d'image, et le lien mathématiques-sciences, et formons les enseignants à leur utilisation. Cette démarche répond aux demandes constructives des réformes tout en évitant l'écueil des compétences sans connaissances. Cet article a pour objectif de faire connaître ce projet, sa démarche et ses outils, à l'ensemble de la communauté des enseignants en France.

1. INTRODUCTION

Le projet EU-HOU (Hands-On Universe – Europe, <http://fr.euhou.net> pour le site français) a pour ambition de promouvoir en Europe une méthode d'apprentissage des sciences au travers de l'astronomie, dont le pouvoir de motivation reste important.

Il s'adresse principalement aux enseignants des sciences et des mathématiques du collège au lycée, afin de leur fournir des outils interactifs et collaboratifs (logiciels, instruments, méthodologie, documents partagés sur internet) qui enrichissent leur éventail d'approches pédagogiques.

Basé sur une pédagogie d'investigation privilégiant l'observation, l'objectif est de développer la curiosité des élèves, d'entretenir leur goût pour les sciences et la technologie, de les conduire à argumenter et raisonner.

Cette approche nécessite l'interaction entre sciences physiques et mathématiques, et peut également être facilement intégrée dans des enseignements pluridisciplinaires (alliant littérature, philosophie, technologie, enseignements linguistiques et sportifs).

Au cœur et à l'origine de nos activités se trouve un logiciel de traitement d'images dédié à l'enseignement, SalsaJ¹, autour duquel nous avons construit des séquences pédagogiques qui sont ensuite testées puis utilisées en classe.

¹ Le logiciel est téléchargeable sur notre site : <http://fr.euhou.net/index.php/le-logiciel-mainmenu-9/tlcharger-mainmenu-10> - Son acronyme SalsaJ signifie *Such A Lovely Software for Astronomy, in Java*

Les thèmes scientifiques développés ont été choisis en fonction des domaines d'expertise des membres de EU-HOU et des caractéristiques du programme du secondaire en physique.

Ainsi, l'importance des notions de déplacement, de vitesse et de forces ainsi que l'arrivée du thème de l'Univers, nous ont amenés à commencer notre projet par l'étude du système solaire et des exoplanètes.

Le président de F-HOU, Roger FERLET, est un des spécialistes dans ce domaine au sein de l'Institut d'Astrophysique de Paris.

Anne-Laure MELCHIOR et Philippe SALOME², spécialistes en radioastronomie et dans l'étude des galaxies, ont impulsé la création d'un réseau d'antennes radio dédiées aux écoles.

Ce domaine permet une réflexion approfondie sur les mouvements de rotation, la spectroscopie et l'effet Doppler ainsi que sur la physique de l'hydrogène.

Il ouvre également une porte vers la notion de « matière noire ».

Enfin, à partir d'une collaboration entre les universités Paris 6 et Paris 4, portée par Emmanuel ROLLINDE, nous développons depuis 2012 une approche pédagogique active et *incarnée*, dans le but de rendre l'élève acteur de son apprentissage.

Les liens avec les programmes du secondaire, et la démarche pédagogique de notre projet sont détaillés dans la section 2, et illustrés par l'exemple caractéristique d'une séquence autour de la détection d'exoplanètes.

Vous trouverez tous les sujets des exercices sur le site français de EU-HOU³ ou en assistant à une de nos formations.

L'ensemble de nos outils est décrit succinctement dans la section 3.

Enfin, le réseau d'enseignants et de chercheurs qui s'est constitué autour du projet EU-HOU est décrit dans la section 4.

Des explications plus complètes sur les procédures utilisées en section 2.3 et 3.1 peuvent être retrouvées sur le manuel de SalsaJ⁴ ainsi qu'à travers plusieurs vidéos⁵.

2. LA DEMARCHE PEDAGOGIQUE PROPOSEE PAR LE PROJET EU-HOU

L'objectif de cette section n'est pas de décrire l'ensemble des séquences proposées par EU-HOU, que vous pourrez retrouver sur notre site.

Au contraire, à travers un exemple caractéristique, la détection d'exoplanètes, nous montrons comment les séquences mises en place permettent d'insister autant sur la démarche d'observation que sur une mise en équation et l'obtention d'un résultat quantitatif, sur la compréhension des données fournies que sur la description du système physique observé.

Vous verrez également que le même sujet d'étude peut être proposé à différents niveaux selon le degré de complexité géré par le logiciel ou par l'élève.

Avant de rentrer dans les détails de cet exemple, nous replaçons l'astronomie et l'analyse d'image dans le cadre des programmes du secondaire.

² Ils travaillent au LERMA, Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères, au sein de l'Observatoire de Paris

³ <http://fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13>

⁴ Experimental SalsaJ Manual : www.euhou.net/index.php/analyse/photometry

⁵ Manuel SalsaJ 2 : <http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9/manual-salsaj-2>

2.1 La place de l'astronomie dans l'enseignement au secondaire

La démarche que nous proposons n'a de sens que si elle s'insère dans les thèmes, connaissances et compétences, abordés dans les programmes.

Malgré les modifications que peuvent connaître ces programmes, les points suivants sont des fondements qui resteront probablement d'actualité dans les années à venir.

La connaissance des objets de l'Univers débute aujourd'hui dès les classes de primaire et se poursuit jusqu'à la fin du collège.

On trouve en premier lieu la Terre (avec l'alternance jour / nuit et les saisons), la Lune et ses phases, les planètes et autres corps du Système Solaire ; puis notre Galaxie, les étoiles, les galaxies et l'évolution globale de l'Univers.

Les caractéristiques des planètes du système solaire et des exoplanètes sont également abordées en Sciences de la Vie et de la Terre.

Ces connaissances plus descriptives ne prennent sens que si elles sont accompagnées par une compréhension scientifique (et donc mathématique) des caractéristiques de ces objets et des moyens pour les observer.

Les mouvements des objets, depuis les planètes jusqu'aux étoiles, sont gouvernés essentiellement par les forces de gravité. Ainsi, la cinématique (vitesse et accélération au collège) et la dynamique (lois de Newton, ou relations de Kepler, au lycée) peuvent être illustrées par des systèmes astronomiques conduisant à des résultats motivants, tels que l'obtention de la masse du trou noir au centre de notre Galaxie⁽¹⁾⁶ !

D'autres types de mouvements ne sont observables que dans le cadre de l'astronomie. On trouve l'éloignement des galaxies dû à l'expansion de l'Univers⁽²⁾ ou les effets cinétiques de la matière noire⁽³⁾.

La compréhension de la nature de la lumière ainsi que les applications liées à la spectroscopie sont des thèmes transversaux du collège au lycée, depuis l'arc-en-ciel jusqu'à l'effet Doppler-Fizeau en passant par les raies spectrales en chimie.

Or l'astronomie observe justement la lumière envoyée par les objets célestes. Aborder ce thème dans ce cadre donne donc du sens et une motivation supplémentaire aux élèves.

Comme toutes sciences, l'astronomie, que ce soit dans un laboratoire ou à l'école, ne peut fournir des résultats que par des prises de mesure, l'estimation d'incertitudes et l'application de modèles (géométrique, analytique, ou numérique) basés sur des lois et des relations mathématiques. Par conséquent, l'ensemble de nos séquences utilisent et permettent d'introduire les notions d'ordres de grandeurs, de fractions, de représentations graphiques, de proportionnalité, de trigonométrie et de projection, de recherche de relations, d'incertitudes, de calcul différentiel, des éléments de géométrie, etc.

2.2 Mathématiques et sciences physiques autour de la modélisation

Notre démarche pédagogique est fondée sur le principe de la modélisation et le lien qui en découle entre mathématiques et sciences physiques.

Nous en donnons ici les principales caractéristiques avant de les retrouver dans une séquence type.

L'importance des activités de modélisation, en recherche et pour l'enseignement, est particulièrement mise en valeur dans le programme « Modeling Method of High School Physics Instruction » développé dans l'université Arizona State University depuis les travaux fondateurs du Pr. HESTENES (1987).

Nous utilisons ici les définitions et explications développés dans ce programme ainsi que dans les articles de G. SENSEVY et al. (2008) et de E. SANCHEZ (2008).

⁶ Les notes entre parenthèse correspondent à des exercices spécifiques et sont reportées à la fin de l'article

Pour aborder et réfléchir sur un problème, un expert ou un élève vont utiliser *deux registres* (illustrés dans la **figure 1**) :

1) *le registre empirique* qui est constitué d'objets, de phénomènes et d'actions sur des objets et des phénomènes. Il s'agit des travaux pratiques, des descriptions factuelles (masses, longueurs, intensité etc.) ;

2) *le registre théorique* qui correspond à une abstraction applicable sur tout objet réel. Dans le cas de l'élève, il correspond à un ensemble d'énoncés que l'élève tient pour vrai et qui permettent de penser le réel et d'agir (VERGNAUX 1994, 2001).

Ces énoncés peuvent être ceux donnés par l'enseignant ou peuvent résulter des relations expérimentées dans la vie quotidienne (appelées des préconceptions).

Ces deux types d'énoncés peuvent être source de confusions. L'exemple le plus frappant en mécanique est l'étude d'un objet avançant à vitesse constante.

Pour les élèves, il faut lui appliquer une force constante car sinon il s'arrêtera (dans la vie réelle, il y a toujours des frottements mais implicites, non-dits).

Pour l'expert, il suffit que les forces s'annulent selon la loi de Newton.

Un modèle peut alors être considéré comme un lien entre ces deux registres.

La construction de ce modèle et le passage régulier d'un registre à un autre via ce modèle sont nécessaires pour intégrer de nouvelles notions dans une vision unificatrice et surtout pour développer la capacité des élèves à construire soi-même un modèle mental (capacité heuristique⁷). Le modèle peut alors être utilisé :

- pour filtrer les phénomènes afin d'en garder l'essentiel (fonction de représentation) ;
- pour exprimer des conceptions et construire des propositions argumentées (fonction de communication).

Il s'agit globalement de construire avec les élèves un outil d'intelligibilité, un intermédiaire entre les deux registres empiriques et théoriques.

En de nombreux points, par les procédures et par les objets étudiés, notre démarche pédagogique fait appel aux apprentissages en mathématiques et en physique mais également en sciences de la Terre.

En mettant en jeu des objets de très grande masse ou énergie et surtout des objets non visibles directement, l'astrophysique se situe souvent aux limites des domaines d'applications des lois de la physique et donc des modèles, créant ainsi une tension entre les deux registres, source de situations didactiques utiles selon BROUSSEAU (1998).

Pour construire une séquence autour de la modélisation, E. SANCHEZ conseille le déroulé suivant :

- appropriation du modèle ;
- maîtrise du registre empirique (dont la prise de mesure) ;
- mise en relation du modèle de référence avec les éléments empiriques, confrontation avec les données recueillies sur le terrain.

Ces différentes étapes ainsi que les fonctions du modèle apparaîtront dans les séquences décrites maintenant.

⁷ *Heuristique (selon le Littré)* : art d'inventer, de faire des découvertes

2.3 Un exemple de séquence pédagogique : la détection des exoplanètes

La séquence pédagogique que nous présentons ici porte sur la détection d'une exoplanète.

L'objectif est de trouver des indices révélant la présence d'une planète en orbite autour d'une étoile à partir d'observations fournies par EU-HOU.

Les élèves ont à leur disposition un registre empirique consistant soit en une série temporelle d'images (observation du transit de la planète devant l'étoile), soit en une série de spectres (mesure de la vitesse radiale de l'étoile).

2.3.1 Méthode du transit

Cette méthode nécessite un travail préliminaire sur les images et les notions de photométrie (le logiciel d'analyse d'image *SalsaJ* peut rendre cette pratique expérimentale très automatique) mais aucune connaissance théorique supplémentaire n'est nécessaire.

Nous détaillons ici et dans le diagramme de la **figure 1**, les étapes de la démarche suivie dans le cas de l'observation du transit de la planète.

L'objectif de la séquence est de favoriser la création de liens et les allers-retours entre registres empirique et théorique.

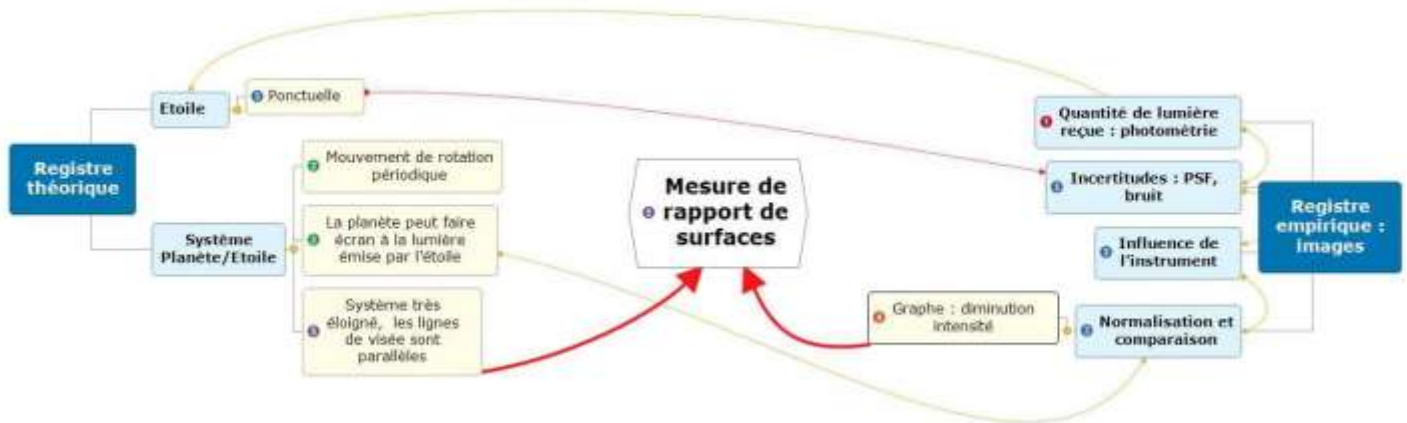


Figure 1: liens entre les différents registres au cours de l'exercice sur la détection d'une exoplanète

(1) Lien entre les données (registre empirique) et l'objet étudié (registre théorique) :

On commence par l'observation des données.

Les élèves ont accès à une série de 20 images représentant le même champ d'étoiles observé pendant 4h toutes les 15 minutes environ (voir **figure 2**).

Toutes ces images paraissent identiques au premier abord.

On observe uniquement la lumière reçue par l'observateur (registre empirique) et émise par des étoiles ponctuelles (registre théorique).

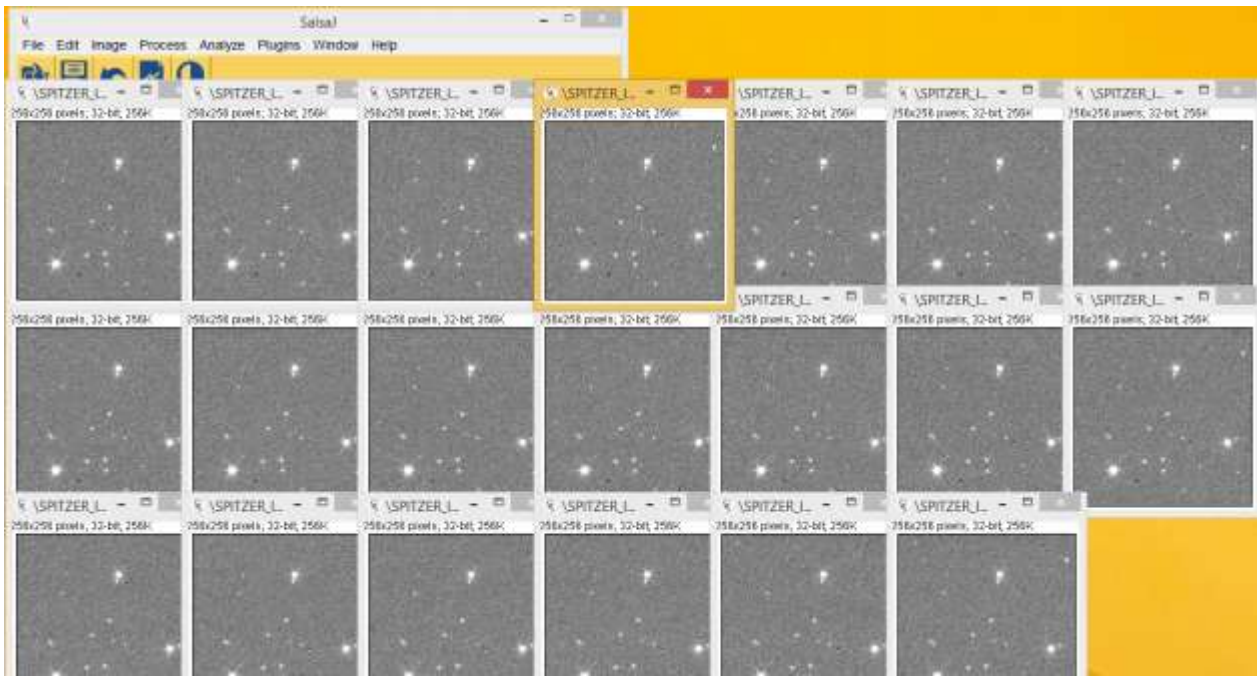


Figure 2 - Série de données utilisées pour l'exercice "Transit d'une exoplanète". Chaque image représente le même champ d'étoiles observées à différentes époques

(2) Que doit-on chercher (de l'ordre du registre théorique) dans les données empiriques ?

La seule quantité observée est l'intensité de la lumière émise par l'étoile et reçue par l'observateur (registre empirique).

Il s'agit au cours de cette étape de préciser la représentation du système planète-étoile en incluant l'observateur et la ligne de visée.

Un travail de géométrie dans l'espace est ainsi nécessaire.

L'élève doit alors concevoir la possibilité que la planète bloque une partie de la lumière lorsqu'elle est située entre l'observateur et la planète (registre théorique).

Cette compréhension peut se faire en amont et justifier le travail de mesure ou en aval, en observant les mesures obtenues.

(3) Travail de mesure sur les données

Pour mesurer la quantité de lumière reçue, en photométrie, il faut intégrer les valeurs des pixels inclus dans le halo de lumière observé autour de chaque étoile (voir **figure 3**) et retirer le fond du ciel.

Ce halo est dû à la réponse de l'instrument (PSF, ou Point Spread Function).

Selon le niveau, cette procédure peut être faite automatiquement ou opérée par l'élève qui peut déterminer lui-même la PSF en analysant différentes coupes autour des étoiles du champ (voir **figure 4**).

La soustraction du fond du ciel est faite automatiquement.

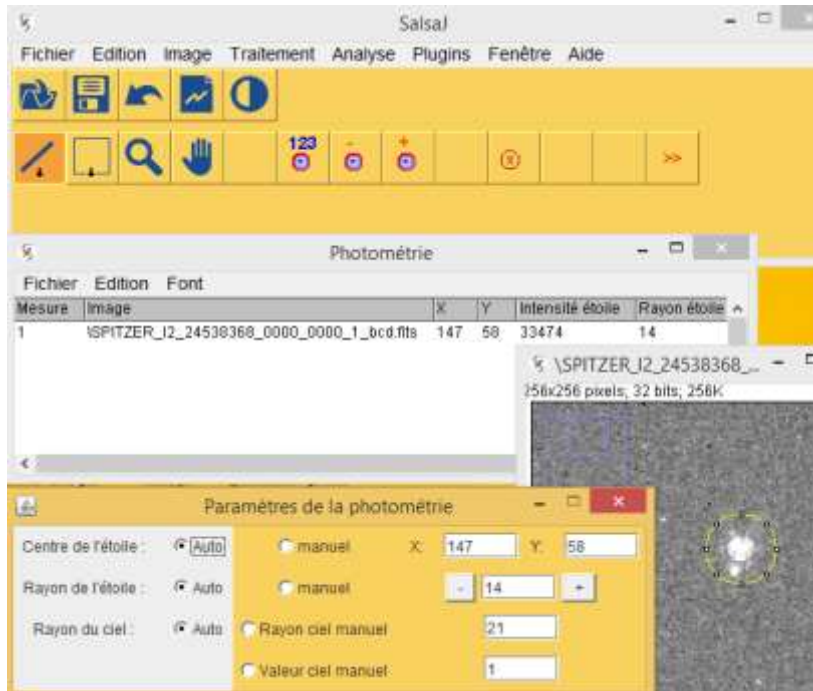


Figure 3 - Photométrie d'une étoile. La mesure de l'intensité de l'étoile se fait sur un cercle dont Salsal détermine le rayon pour inclure l'ensemble des photons émis par l'étoile.

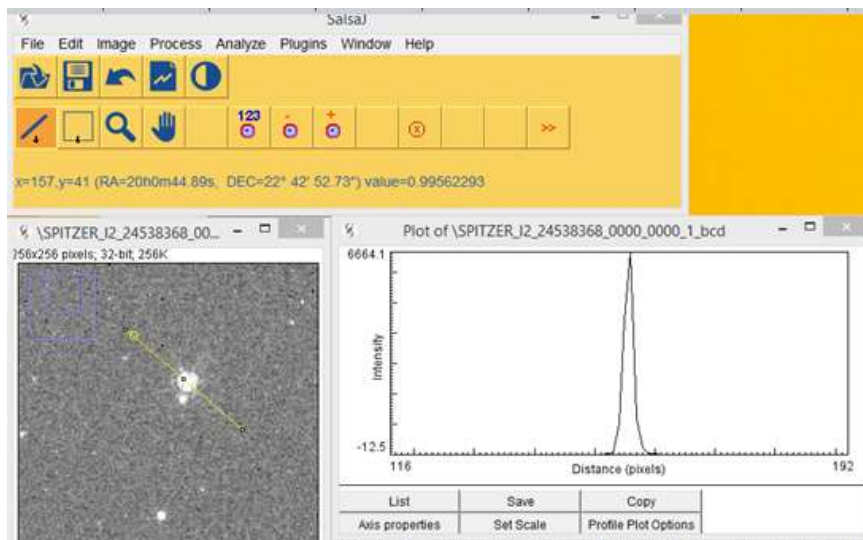


Figure 4 - Pour visualiser la figure de diffraction d'une image, il suffit de créer une ligne passant par une étoile puis de tracer l'évolution de l'intensité le long de cette ligne

Les caractéristiques de l'instrument de mesure ou de l'atmosphère peuvent avoir varié entre les différentes mesures ; il faut donc comparer les valeurs des différentes étoiles (calibration relative) pour voir si une étoile présente une évolution d'intensité avec le temps.

Cette procédure est complexe et nécessite plus de temps ; elle est effectuée automatiquement dans les tableurs fournis par EU-HOU pour les élèves. Mais il est utile de comprendre pourquoi et comment (selon le niveau) on peut effectuer une telle comparaison entre étoiles. Nous expliquons précisément ces différentes procédures lors des formations EU-HOU.

Un travail statistique sur les incertitudes et les barres d'erreur peut être fait au cours de cette étape. La représentation graphique de l'intensité obtenue sur trois étoiles est reproduite sur la **figure 5**.

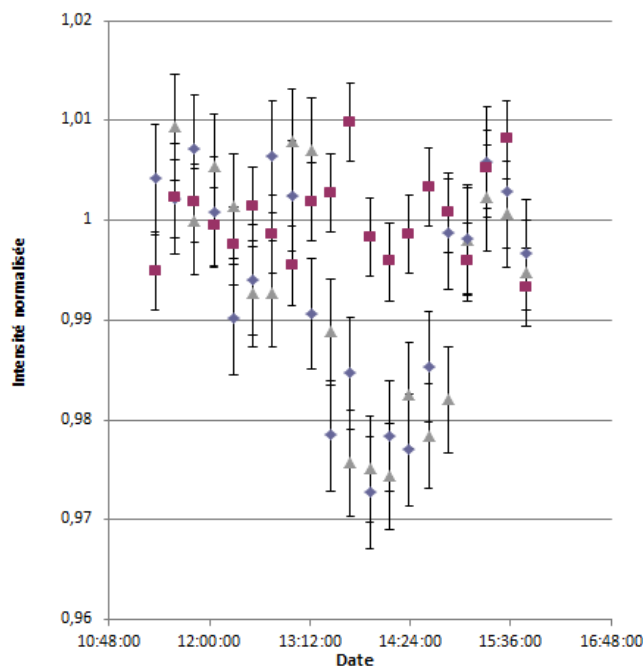


Figure 5 - Évolution de l'intensité normalisée en fonction du temps, pour trois étoiles du champ. Deux séries de données, associée à une étoile, montrent une diminution de la quantité de lumière reçue, caractéristique du transit d'un objet devant l'étoile

(4) Interprétation de la représentation graphique obtenu

Celle-ci montre une diminution de l'intensité pendant une courte durée. Un retour sur le modèle permet de relier cette diminution de lumière reçue à la surface du disque de l'étoile occulté par la planète.

Ceci met en jeu une difficulté conceptuelle puisque l'étoile était considérée comme ponctuelle jusqu'à présent. Par une mise en équation des différentes grandeurs (intensité et surface), on peut alors connaître le rapport des rayons de la planète et de l'étoile.

La détection d'une exoplanète par la méthode du transit ne nécessite donc pas de connaissances théoriques au-delà d'une vision simple d'un système planétaire.

Le travail de mesure nécessite de la rigueur et la construction d'une représentation graphique. Le modèle met en jeu un cas simple de mouvement périodique, observé depuis « l'infini », qui implique une réflexion nécessaire pour s'approprier les méthodes de projection et d'analyse géométrique en 3D.

Le travail d'analyse nécessite de combiner plusieurs relations (puissance reçue, surface, rayon) avec deux cas de proportionnalité (entre intensité et surface, ou entre les intensités des différentes étoiles pour le travail de normalisation).

Il peut être complexifié avec un travail statistique sur les erreurs.

D'autres paramètres du système planète-étoile peuvent être déterminés (tels que distance planète-étoile, angle d'observation) selon la durée de la séquence et le niveau des élèves.

2.3.2 Méthode des vitesses radiales

La détection d'une exoplanète par la mesure de la vitesse radiale de l'étoile correspond à un TP proposé en Terminale car elle utilise des connaissances sur les spectres d'émission et d'absorption, ainsi qu'une assez bonne compréhension des lois de Newton. Les élèves peuvent avoir vu au préalable l'effet Doppler-Fizeau, ou le découvrir grâce à cette séquence.

Nous rentrons moins dans les détails pour cette séquence, qui suit la même progression que pour la détection du transit. Les élèves ont à nouveau à leur disposition une série de 11 spectres d'une étoile, pris à un jour d'intervalle.

(1) Qu'observe-t-on ?

L'observation des raies présentes dans un spectre permet de remonter à la vitesse d'entraînement, projetée sur la ligne de visée observateur-étoile, d'un ensemble d'atomes d'un élément donné présent dans l'atmosphère de l'étoile : c'est la vitesse radiale de l'élément.

On suppose qu'il s'agit également de la vitesse radiale de l'étoile.

En ouvrant les spectres en tant qu'image, l'utilisateur voit les bandes sombres des raies d'absorption (voir **figure 6**).

Deux raies fortes sont présentes dans les spectres correspondant aux transitions du doublet du sodium.

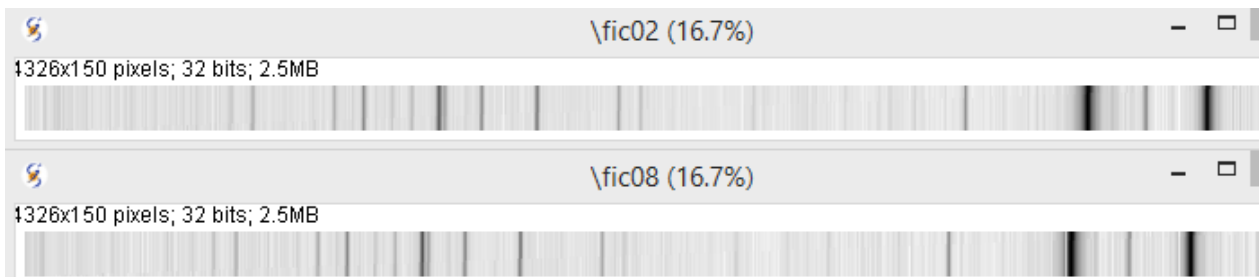


Figure 6 - Deux spectres de la même étoile, prise à deux dates différentes, ouverts sous le format « image ». On voit sur le bord droit le doublet du sodium, et son déplacement au cours du temps.

Les longueurs d'onde du spectre ne sont pas visibles dans ce format mais sont accessibles en utilisant une autre représentation (consulter la **figure 7** et voir l'étape 3).

Le déplacement des raies au cours du temps est cependant très clair sur les spectres dans cette représentation. Donc l'étoile a une vitesse radiale variable !

(2) Comment notre modèle peut-il expliquer ce que l'on observe ?

Le déplacement observé des raies pourrait à priori s'expliquer par un mouvement de rotation de l'étoile sur elle-même (imaginable par les élèves).

Or ce type de rotation ne serait pas observable ici car l'intensité mesurée sur les spectres intègre les photons provenant de l'ensemble de la surface de l'étoile.

Au contraire, on peut donner l'exemple de la rotation d'une galaxie sur elle-même qui peut être observée par spectroscopie. En effet, l'image d'une galaxie proche est résolue ce qui permet d'obtenir les spectres correspondant à différentes positions dans la galaxie.

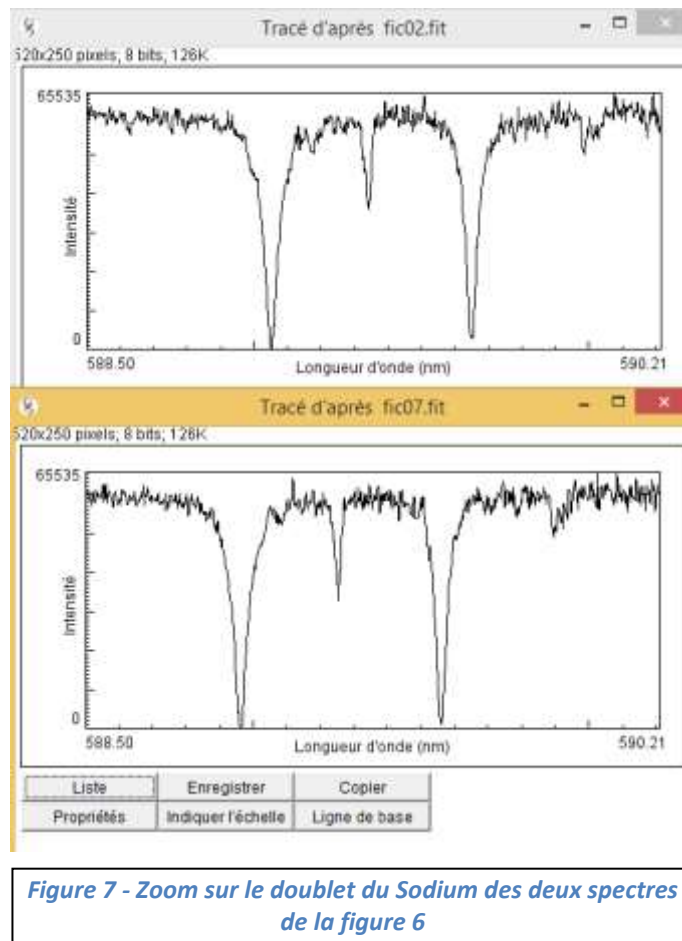
C'est donc la rotation de l'étoile autour du centre de masse planète-étoile qui crée le déplacement des raies.

Or le modèle initial des élèves pour le système planète-étoile ne prend probablement pas en compte un déplacement de l'étoile et ne peut donc pas expliquer ces observations. Pour comprendre que la présence d'une planète en orbite autour de l'étoile implique nécessairement un mouvement de rotation de l'étoile, il faut discuter de la 3ème loi de Newton et de la notion de centre de masse.

On aboutit ainsi à un modèle cohérent avec les données dans lequel l'étoile et la planète tournent autour de ce centre de masse.

(3) Prise de mesure

On peut prendre des mesures plus précises. En ouvrant les images en tant que spectres, l'utilisateur a accès aux longueurs d'onde et peut zoomer sur le doublet (voir **figure 7**).



En mesurant les deux décalages en longueur d'onde et les deux longueurs d'onde au repos, l'apprenant réalise que les décalages sont différents alors que la vitesse de déplacement de l'ensemble des atomes émetteurs est identique pour les deux raies (« aux erreurs près » : leur différence donnera justement une estimation de l'erreur sur la mesure de la vitesse).

Ce travail rigoureux permet une compréhension plus fine de l'effet Doppler.

On obtient alors un graphe montrant une courbe sinusoïdale, de moyenne non nulle (voir **figure 8**).

Les différents points correspondent aux valeurs mesurées sur les différents spectres et à l'amplitude des erreurs.

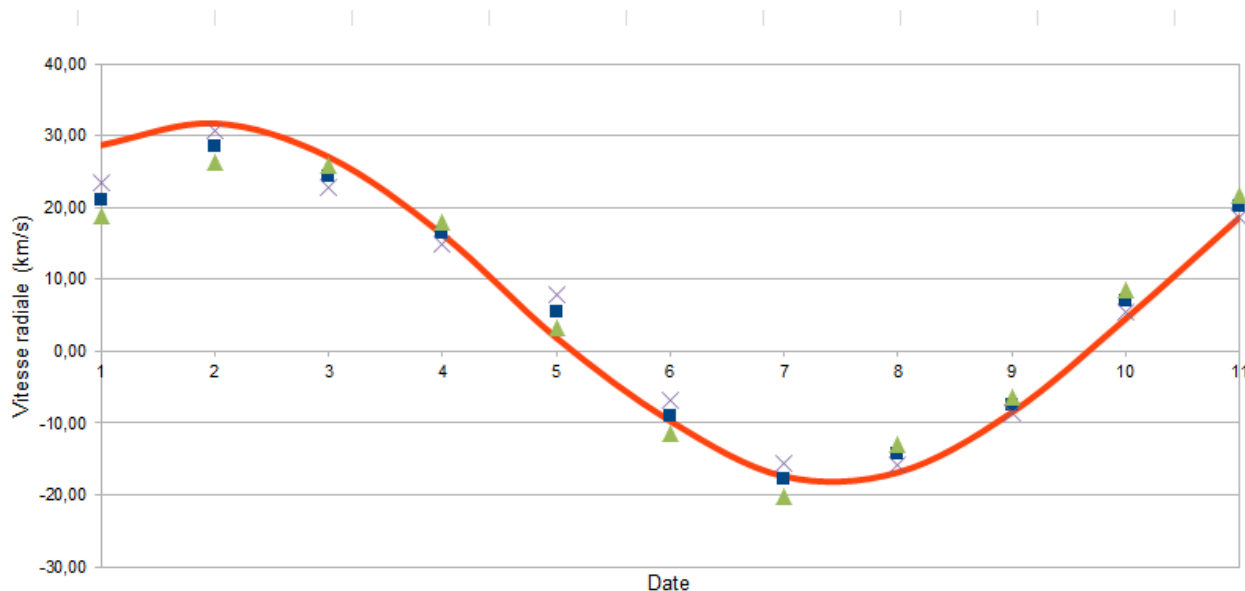


Figure 8 - Évolution de la vitesse radiale de l'étoile au cours du temps. La ligne continue est un ajustement sinusoïdal des données.

(4) Interprétation des mesures

En supposant un mouvement circulaire uniforme, la norme de la vitesse radiale correspond à la projection sur un axe d'un vecteur de norme constante, en rotation autour d'un point. On a ainsi la possibilité de montrer la construction de la fonction sinusoïdale, avec un sens concret immédiat.

Un exemple d'ajustement sinusoïdal est montré sur la **figure 8**.

L'amplitude de la sinusoïde est liée à la vitesse linéaire de l'étoile.

Dans notre cas, on observe de plus que la moyenne de la sinusoïde est non nulle, ce qui correspond à un mouvement d'éloignement global du système étoile-planète.

Enfin, en résolvant le système d'équations décrivant les lois de Newton pour la planète et l'étoile et en considérant la définition du centre de masse, on établit une relation entre, d'une part, la masse de l'étoile ainsi que celle de l'objet gravitant autour de l'étoile et, d'autre part, cette vitesse linéaire.

Ce calcul est probablement trop difficile pour la plupart des élèves. Nous en donnons une démonstration dans le livret fourni lors des formations EU-HOU décrites ci-dessous.

Cette démonstration peut être étudiée en parallèle en classe de mathématiques comme exercice de résolution de systèmes d'équations.

2.3.3 Bilan

Cette séquence permet d'aborder dans un contexte motivant, de nombreux thèmes du lycée : spectroscopie, lois de Newton, effet Doppler-Fizeau, fonctions sinusoïdales et parfois un peu au-delà, avec les notions de centre de masse et de projection orthogonale sur un axe.

En particulier, l'étude de l'effet Doppler dans le cas d'un système très éloigné est cruciale pour montrer que la distance n'intervient pas dans l'amplitude de cet effet.

Enfin, le développement du modèle et les liens entre ce que l'on observe et les concepts abstraits qui s'établissent au cours de la séquence en font un exercice très formateur pour les élèves qui s'inscrit dans le principe du « modeling cycle » (WELLS et al., 1995).

Le prolongement de cet exercice dans le cadre du cours de mathématiques à travers les fonctions trigonométriques ou les résolutions d'équations permettra de donner du sens à l'interdisciplinarité recherchée aujourd'hui.

3. NOS OUTILS

La démarche explicitée dans la section précédente donne autant d'importance aux connaissances théoriques qu'aux observations, en liant les deux à l'aide d'un modèle.

Les outils que nous avons développés pour une utilisation en classe sont basés sur les méthodes d'analyse des observations utilisées par les chercheurs en astronomie.

Il s'agit :

- d'un logiciel, *SalsaJ*, orienté vers l'analyse d'images, en photométrie ou en spectroscopie ;
- des données collectées par un réseau européen de radiotélescopes accessible à toutes les classes.

Nous avons également développé récemment un travail autour d'une pédagogie *incarnée*, dans le but de redonner sa place au corps dans l'apprentissage afin de rendre l'apprenant « acteur ».

3.1 Un logiciel d'analyse d'image : SalsaJ

Pour la manipulation des données et leur mesure dans la classe, un logiciel spécifique, *SalsaJ*, a été développé en Java.

Son acronyme signifie "*Such A Lovely Software for Astronomy in Java*".

Vous avez déjà pu voir des exemples de son utilisation ci-dessus.

La fenêtre principale à partir de laquelle vous accédez à tous les outils est montrée à nouveau ci-dessous (voir **figure 9**).

Il est téléchargeable gratuitement sur le site du projet⁸ et fonctionne sur toutes les plateformes. Les nouvelles versions de Windows nous imposent de procéder à des mises à jour du logiciel, en cours de finalisation.

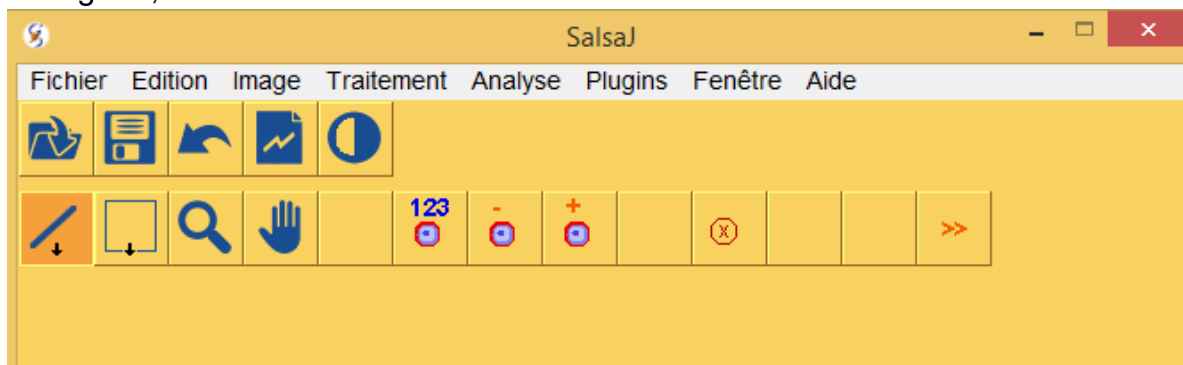


Figure 9 - Fenêtre d'accueil du logiciel SalsaJ 2.3

Ce logiciel peut s'utiliser dans différentes langues européennes ainsi qu'en arabe et en chinois. Ses principales caractéristiques et applications typiques sur des thèmes d'astrophysique sont décrites dans un article de la collaboration EU-HOU (DORAN et al. 2012).

L'utilisation du logiciel est accessible à partir du collège, en tant qu'outil numérique ; il participe au développement des compétences liées au domaine 3 du numérique : créer, produire, traiter, exploiter des données.

- **Comprendre ce qu'est une image**

Toutes les images traitées sont composées d'une grille de pixels. Les premiers outils utilisés dans une séquence donnent les informations standards (contenues dans le fichier de données FITS) sur le nombre de pixels et l'échelle de l'image (voir **figure 10**).

Lorsque l'échelle est fournie, toutes les mesures prises dans SalsaJ seront données dans l'unité de longueur associée.

⁸ <http://fr.euhou.net/index.php/le-logiciel-mainmenu-9/tlcharger-mainmenu-10>

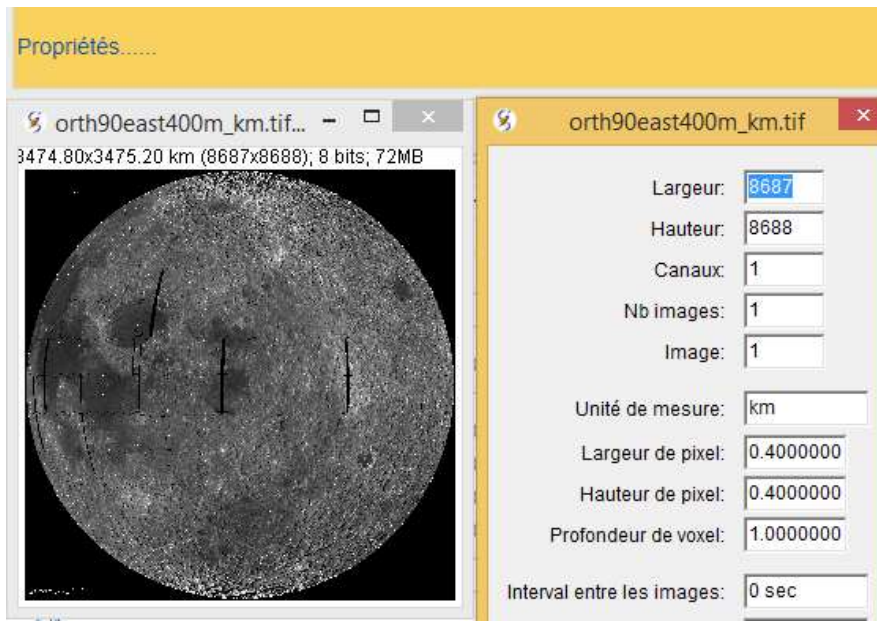


Figure 10 - Lecture des propriétés d'une image de la Lune (Menu Image/Propriétés)

Bien souvent, l'échelle d'une image en astronomie est une échelle angulaire. L'outil « Analyse/Indiquer une échelle » permet de préciser une échelle de longueur, lorsque cela est possible.

Dans l'exemple ci-dessous (voir **figure 11**), le diamètre du Soleil (1 392 000 km) est mis en relation avec le nombre de pixel (ici 403, Analyse / Fenêtre de Mesure) mesuré le long d'un diamètre dessiné sur l'image (Outil Segment, en bas à gauche de la **figure 9**).

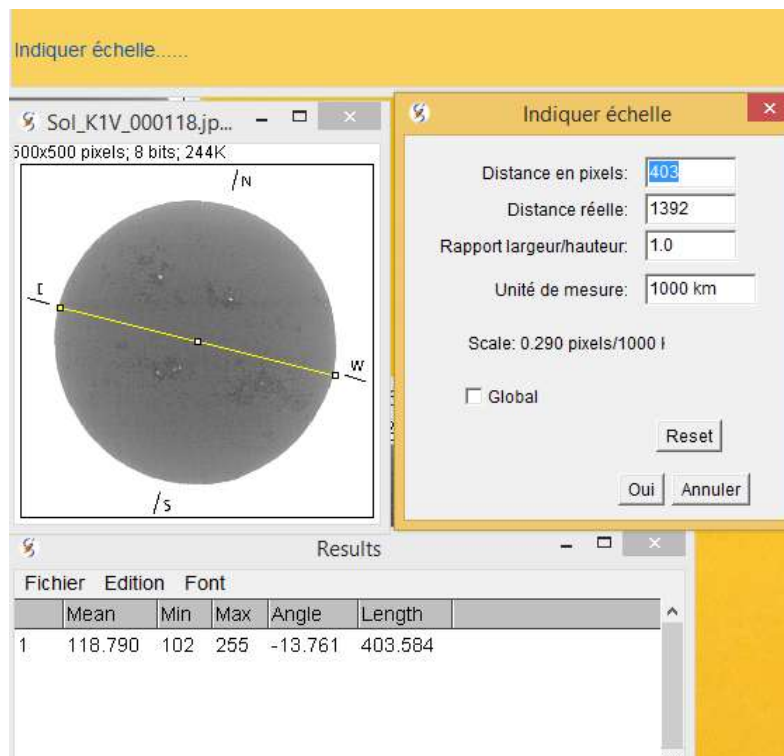


Figure 11 - Définition de l'échelle d'une image du Soleil

Ces premiers outils, classiques, permettent d'insister sur les précautions nécessaires lors de l'analyse d'une image.

- **Des premiers outils qui permettent déjà un travail d'analyse**

Un simple suivi temporel des positions d'un même objet sur une série d'images peut conduire à une étude de la cinématique d'objets du ciel (satellites, étoiles, ...).

Ainsi, le mouvement elliptique d'une étoile dans un champ d'étoile permet de retrouver la masse du trou noir au centre de la voie lactée par une application directe des relations de Kepler. Le suivi des taches solaires au cours du temps permet de calculer la vitesse de rotation du Soleil sur lui-même ainsi que son cycle d'activité.

Une étude plus poussée utilisera des mesures de longueur et de surface, illustrée ici par des mesures des cratères de la Lune.

Pour mesurer une longueur, il faut créer un segment (voir **figure 12**) ; pour une surface, on peut créer un cercle ou une ellipse (voir **figure 13**).

Dans les deux cas, la fenêtre de mesure donne la dimension dans l'unité de l'échelle ou en pixel (longueur ou surface) et les intensités minimum et maximum le long du segment ou à l'intérieur de la surface.

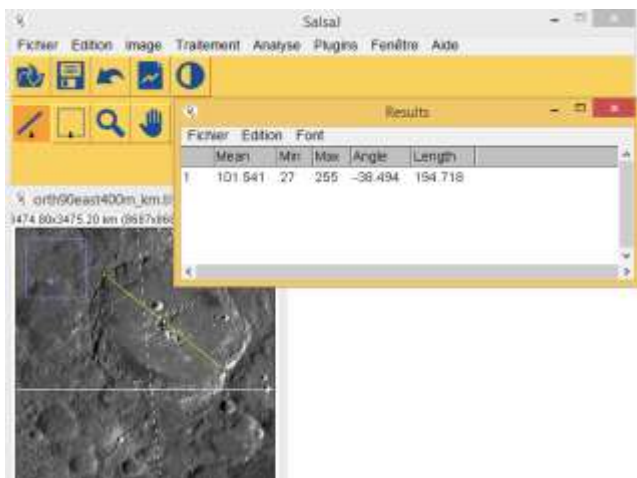


Figure 12 - Mesure de la longueur (length) d'un segment

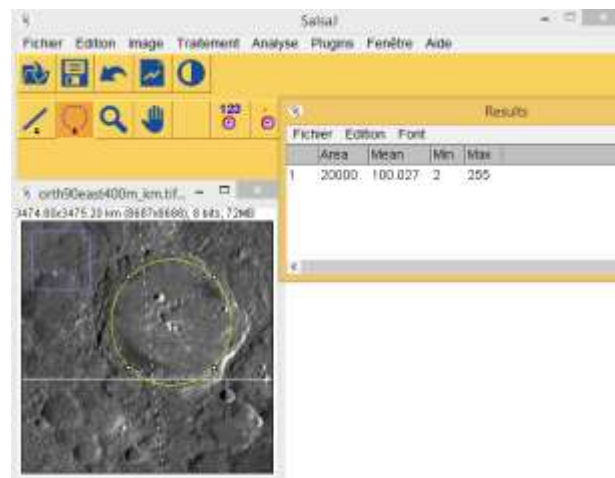


Figure 13 - Mesure de la surface (area) d'un ovale

Ces mesures simples peuvent déjà apporter des réponses à des questions complexes, telle la datation des cratères de la Lune, qui contraint les modèles d'évolution du système solaire.

- **Photométrie**

Lorsqu'on observe un « objet stellaire » en astronomie, une étoile ou une source de lumière très éloignée, sa taille « angulaire » est alors inférieure à la taille d'un pixel.

Le but est dans ce cas de mesurer l'intensité de lumière émise par l'objet et, le cas échéant, observer sa variation dans le temps ou la comparer avec l'intensité de lumière émise par d'autres objets.

Sur l'image cependant, plusieurs pixels vont recevoir de la lumière émise par cet objet.

Le nombre de pixels concernés par cette « diffusion » de la lumière est déterminé par la « fonction de réponse » de l'instrument.

Salsal permet de visualiser cette fonction de réponse en traçant le profil de l'intensité le long d'un segment passant par l'étoile (voir **figure 4** plus haut).

Il peut ainsi y avoir un travail sur l'image numérique en préalable à un travail d'analyse de mesures.

La photométrie peut être appliquée pour connaître l'âge et l'avenir d'un amas d'étoile à travers l'analyse d'image utilisant différents filtres et la construction du diagramme H-R (proposé dans la section « autres exercices » sur notre site).

Elle est utilisée également pour la détection de planètes extrasolaires, décrite ci-dessus.

- **Spectroscopie**

L'analyse de spectres est une partie importante du programme de physique-chimie dans le secondaire. *SalsaJ* vous permet une analyse de spectres qui insiste sur quelques points fondamentaux :

- un spectre n'est pas une image ;
- un spectre a un axe des abscisses et un axe des ordonnées qui ont des interprétations différentes ;
- un spectre correspond à la quantité de lumière reçue par les pixels situés sur une coupe 1D d'une image (en comparant la **figure 6** et la **figure 7**).

La spectroscopie peut être appliquée à l'étude de la composition des étoiles (spectres d'absorption, d'émission...) et à la détermination de vitesses par l'effet Doppler (détection d'une exoplanète, rotation de la Galaxie et preuve indirecte de la présence de matière noire).

3.2 Observation de la Voie Lactée

Dans l'objectif permanent de rendre l'apprenant acteur de son apprentissage, nous avons privilégié les possibilités d'observation en temps réel. EU-HOU est partenaire du dispositif Sciences à l'École qui permet aux écoles de profiter de leur propre outil d'observation.

Dans une logique plus collaborative, nous proposons aux enseignants membres de notre réseau d'utiliser des moyens d'observation à distance qui sont robotisés.

Nous travaillons ainsi avec le réseau de télescopes optiques Faulkes :

<http://www.faulkes-telescope.com/>

Avec les projets internationaux tels que le *Atacama Large Millimetre Array*, inauguré en 2013 et le futur *Sky Kilometer Array*, la radioastronomie est entrée dans un nouvel âge d'or et permet de dévoiler des aspects de l'Univers jusque-là inexplorés.

Les observations radio-astronomiques peuvent être réalisées durant les heures ouvrables et même quand il ne fait pas beau.

Elles sont donc idéales pour enseigner l'astronomie en classe de façon interactive.

Nous avons mis en place un réseau européen d'antennes radio EUHOU-MW (voir **figure 14** ; SALOME et al. 2012a, b), dont deux antennes, de 2 m et 3 m, sont situées à l'observatoire de Paris.



Figure 14 – Les antennes radio du réseau EUHOU-MW. Les deux antennes de 2m et 3m localisées à l'Observatoire de Paris sont en bas à gauche



Figure 15 - Page d'accueil du projet EUHOU-MW <http://euhou.obspm.fr/public/>
 À partir de cette page, vous pouvez vous connecter pour prendre vos propres observations en utilisant les antennes de notre réseau, ou utiliser des spectres pour simuler une observation et l'analyse des spectres

Ces antennes peuvent être pilotées via un site internet (voir **figure 15**), permettant ainsi d'observer la Voie Lactée en direct puis d'analyser les spectres radio pour aboutir à une preuve indirecte de la présence de matière noire !

Après avoir réservé à l'avance un créneau d'observation, les classes ont un accès direct à l'antenne de leur choix.

Une fois la direction d'observation sélectionnée, les élèves lancent l'observation.

Une caméra montre le mouvement de l'antenne lors de la prise de données.

Les spectres obtenus ainsi par les élèves sont visualisés à l'écran (voir **figure 16**) et stockés dans une archive (voir **figure 17**).

Il est possible de récupérer ces spectres par la suite ou d'utiliser les spectres pris par d'autres classes.

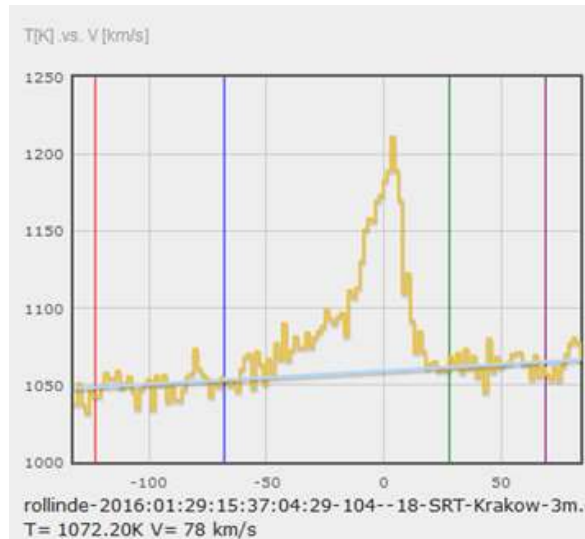


Figure 16 - Exemple de spectre obtenu avec l'antenne radio polonaise de EUHOU-MW

	num	user	l	e	b	radio telescope	Date
<input type="checkbox"/>	906	euhoutraining	-141	0	0	Paris 2m (FR)	2012-04-04 20:20:06
<input type="checkbox"/>	907	euhoutraining	101	0	0	Krakow (PL)	2012-04-04 12:48:55
<input type="checkbox"/>	908	euhoutraining	91	-1	0	Krakow (PL)	2012-04-04 13:18:06

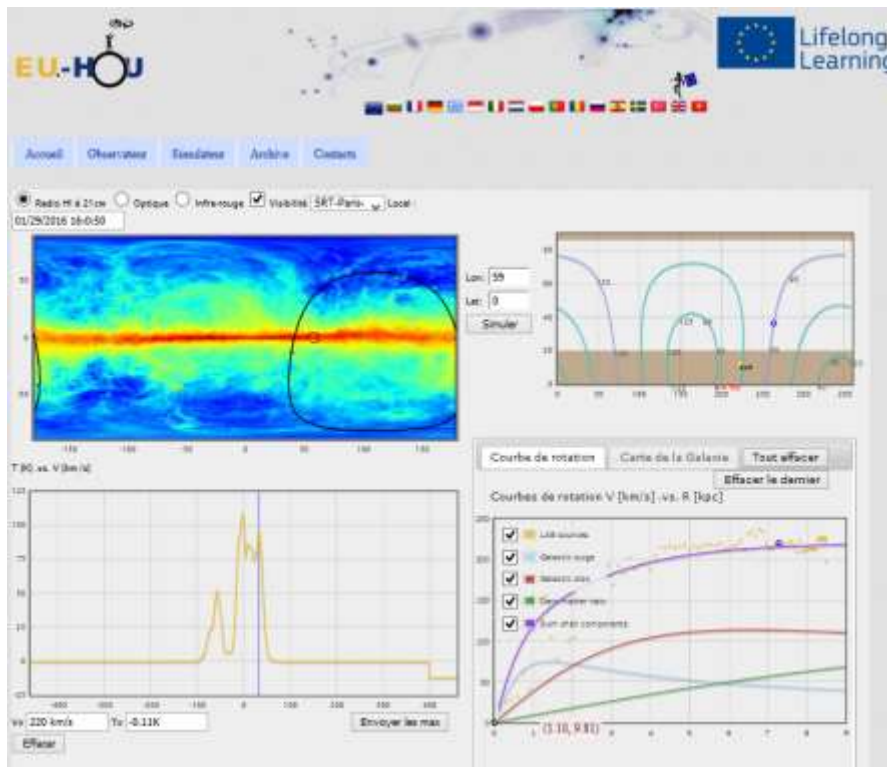
Figure 17 - Archive des spectres de EUHOU-MW. Les spectres observés par tous les utilisateurs de nos antennes radio sont publics et peuvent être téléchargés au format FITS

Ces spectres montrent une ou plusieurs raies d'émission, correspondant à l'émission à 21 cm de l'hydrogène des nuages de gaz présents le long de la ligne de visée. L'utilisation de l'effet Doppler permet alors de remonter aux vitesses radiales de ces nuages de gaz et, après quelques calculs et astuces géométriques, à la courbe de rotation de la Galaxie.

Cette analyse est proposée, en mode automatique, sur les spectres obtenus par le projet « LAB survey »⁹.

La page dite « simulateur » permet ainsi de simuler une observation et son analyse (voir **figure 18**). Les élèves choisissent une direction d'observation sur un des cadrans (référentiel lié à la Galaxie ou à la Terre).

Le spectre associé du LAB est alors affiché à l'écran.



*Figure 18 - Page du "simulateur".
Haut : deux représentations de la Galaxie.
Bas-gauche : Spectre du "LAB survey" selon la direction choisie dans les cadrans.
Bas-droite : Courbe de rotation (point du spectre et modèles)*

La raie d'émission la plus à droite correspond au nuage de gaz le long de la ligne de visée qui a la plus grande vitesse radiale. Une approximation dite « du point tangent » permet de déterminer sa vitesse propre et sa distance au centre de la Galaxie. Ces deux informations sont reportées sur la courbe de rotation de la Galaxie (vitesse en fonction de la distance au centre suivant le cadran de droite de la **figure 18**).

Il est alors possible de visualiser la courbe de rotation obtenue par l'équipe du « LAB survey » (points jaunes) ainsi que différents modèles de courbes de rotation. Les premiers modèles incluent les contributions du noyau et du halo de la Galaxie (courbes rouge et bleu clair) qui ne peuvent pas expliquer l'aspect « plat » des données. Il est nécessaire de rajouter une contribution croissante qui correspond à la présence d'un halo de matière noire plus étendu que celui de la matière visible. Une courbe de rotation similaire peut être obtenue par l'étude spectroscopique d'une galaxie extérieure avec les mêmes conclusions sur la présence de matière noire.

⁹ Kalberla et al. (2005), <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0504140v1>

Pour appréhender cette modélisation complexe des mouvements du gaz dans la Galaxie, nous avons mis en place une séquence complète alliant des exercices de trigonométrie, l'utilisation de l'effet Doppler, la force de gravité et les lois de Newton ainsi que des activités « kinesthésiques » (voir section 3.3).

Au cours de cette séquence, les élèves découvrent différents types de rotation (corps solide, vitesse constante, Képlérienne) qui permettent de comprendre les différents modèles représentés sur la courbe de rotation de la **figure 18**.

Cette séquence fait l'objet d'une formation de 2 jours centrée sur la radioastronomie dont les documents explicatifs sont disponibles sur le site de EU-HOU¹⁰.

Elle est particulièrement bien adaptée au cadre d'un TPE en 1ère.

Par ailleurs, un ensemble de dix panneaux format A0 est disponible pour une exposition dans un établissement ou un centre de diffusion de la culture scientifique¹¹.

Cette exposition peut servir de support aux exercices et observations en classe ou comme introduction à un séminaire destiné à un plus grand public. Vous y trouverez des informations sur les différents types de télescopes utilisés en radio, les différentes techniques d'observation, les sources étudiées et les informations scientifiques que l'on peut déduire des observations ainsi qu'un bref historique de la radioastronomie.

3.3 Kinesthésie

Dans le contexte des sciences cognitives, la kinesthésie consiste à prendre en compte le lien entre la perception et la cognition (VARELA et al. 1983).

Du point de vue de l'apprentissage, les contenus et les relations entre concepts sont ainsi déterminés par des critères pratiques, en lien avec notre perception du monde concret, plutôt que par des critères abstraits ou logiques.

En tant qu'enseignants, il est facile de constater que les étudiants adoptent bien souvent une attitude de spectateur vis-à-vis de l'apprentissage, combinée parfois avec la peur du ridicule lorsqu'il s'agit de s'exposer publiquement en prenant la parole.

Nous avons commencé depuis 2012 à introduire des activités d'apprentissage utilisant la gestuelle ou les sensations du corps (de la kinesthésie) qui permettent :

- de rendre l'apprenant « acteur » ;
- de lutter contre des conceptions associées au sens commun vécu dans notre monde concret à travers nos perceptions ;
- de favoriser ainsi l'acquisition durable de connaissance (JOHNSON-GLENBERG et al 2013).

L'utilisation de la kinesthésie dans notre approche pédagogique a été initiée en 2012 par Alexander RUDOLPH, enseignant américain en « science de l'éducation », à l'occasion d'une formation sur la radioastronomie.

Nous lui avons fait part de nos difficultés à « faire passer » une formule de vitesse radiale aux enseignants de type :

$$V_r = V \cdot \frac{R_0}{R} \sin \ell - V_0 \sin \ell.$$

Cette formule, évoquée dans la section précédente, permet de relier la position et la vitesse d'un nuage de gaz dans la Voie Lactée à sa vitesse radiale observée depuis le Soleil, V_r .

Nous avons l'habitude de la démontrer au tableau, à l'aide d'un dessin et de formules trigonométriques (voir **figure 19**).

¹⁰ <http://www.fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13/materiel-pedagogique> (fin de page)

¹¹ <http://fr.euhou.net/index.php/exposition>

- V_0 Vitesse du Soleil autour du centre Galactique (= 220 km/s)
- R_0 Distance entre le Soleil et le centre Galactique (= 8.5 kpc; 1 pc = 3.09×10^{16} m)
- l La longitude Galactique
- V Vitesse d'un nuage de gaz
- R Distance entre le nuage et le centre Galactique, ou rayon Galactocentrique
- d Distance entre le nuage et le Soleil

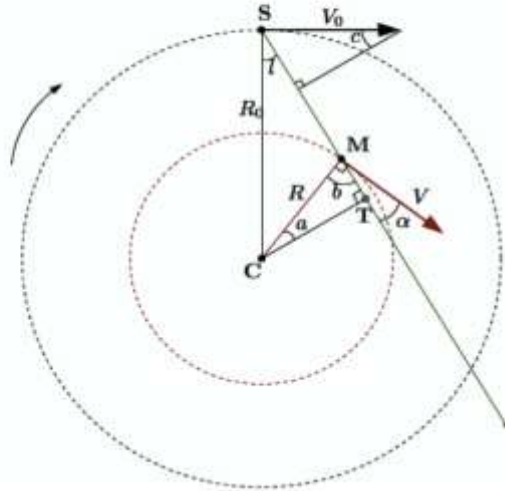


Figure 19 - Schéma représentant la rotation de la Voie Lactée pour une orbite interne (à l'orbite du Soleil) avec $R < R_0$

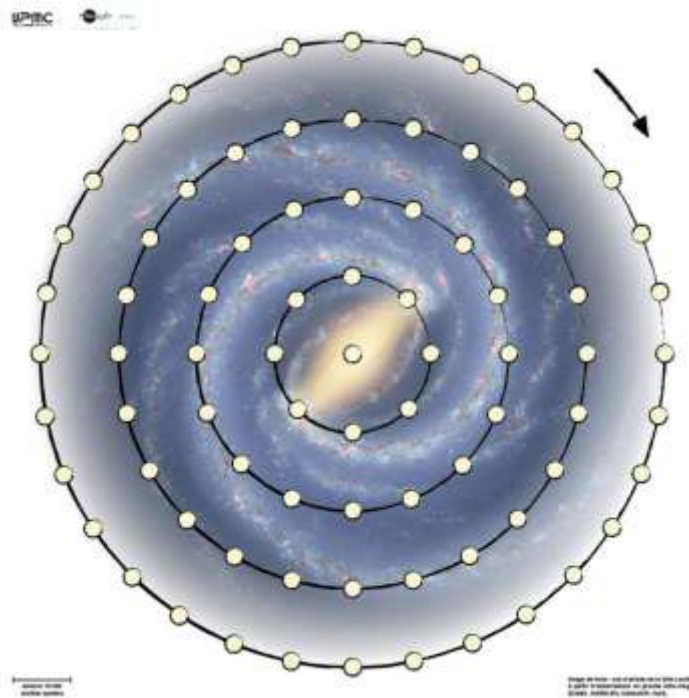


Figure 20 - Représentation du mouvement du gaz dans la Voie Lactée à "échelle humaine". Les élèves se déplacent à vitesse linéaire constante sur les différents cercles en suivant les points.

A. RUDOLPH a alors conçu un tracé au sol qui illustre un mouvement à vitesse linéaire uniforme. Nous avons depuis imprimé une bâche reproduisant ce tracé avec une belle image de notre Galaxie superposée (voir **figure 20**).

Une mise en geste, préparée avec un élastique « détecteur d'effet Doppler » permet ensuite de visualiser l'éloignement ou le rapprochement du gaz et du Soleil (voir **figure 21**) !

Cette approche incarnée facilite ensuite la reprise de calculs plus formels « sans douleur ».



*Figure 21 - Mise en geste des mouvements dans la Galaxie lors d'une formation d'enseignants européens à l'UPMC.
Le soleil (béret jaune) et un nuage de gaz tournent autour du centre de la Voie Lactée (béret noir).
L'élastique entre le Soleil et le nuage visualise un éloignement ou un rapprochement.*

Une approche similaire a été développée autour des mouvements des corps du système solaire, concrétisée par un planétaire à échelle humaine.

Le planétaire est à l'origine un système mécanique qui représente le système solaire.

Il a toujours eu une portée pédagogique forte pour illustrer, décrire et expliquer les orbites des planètes et de leurs satellites.

Les deux premiers planétaires représentés à échelle humaine et non sous une forme mécanique ont été réalisés au Japon (Dynic Astropark) puis à l'observatoire d'Armagh (ASHER et al., 2007 ; <http://star.arm.ac.uk/orrery/>).

Le planétaire que nous utilisons actuellement est imprimé sur une bâche de 12 m sur 12 m, sur laquelle on peut marcher – ou courir – en respectant les variations de vitesse des corps le long de leur orbite (voir **figure 22**).

Tous les enseignants formés par EU-HOU plébiscitent l'utilisation de cet outil.

Ils y voient une possibilité de sortir l'élève de la classe, et de consolider sa connaissance du Système Solaire et sa compréhension de concepts cinématiques et dynamiques autour de la gravité.

Son utilisation permet la mise en place d'activités pluridisciplinaires associant physique, mathématiques mais également éducation physique, technologie, lettres, arts plastiques.

Un article dédié au planétaire et aux résultats des premières utilisations en établissement scolaire est en cours de rédaction.

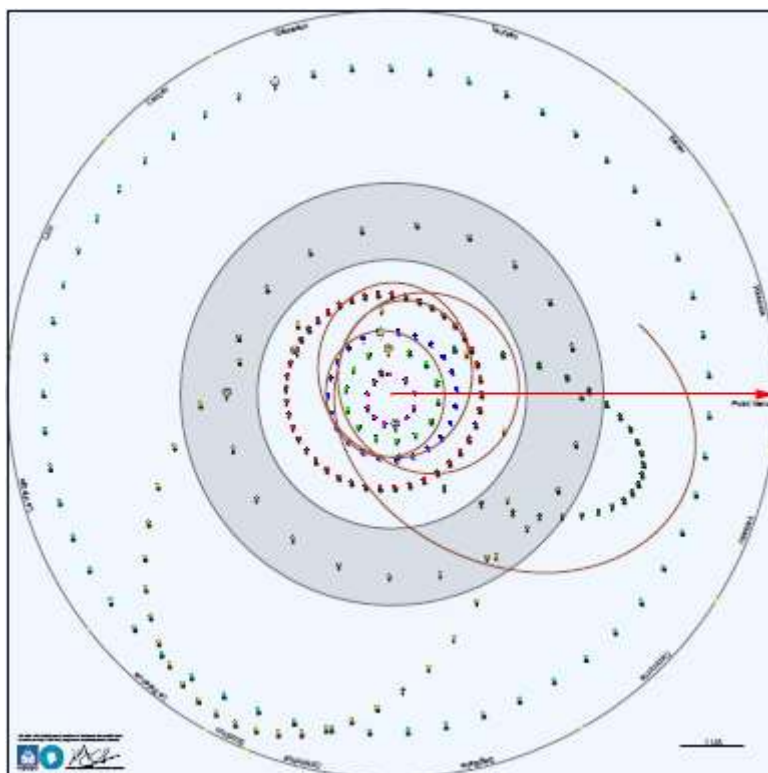


Figure 22 - Dessin du planétaire de Sorbonne Universités

La place de la kinesthésie dans notre projet a progressé jusqu'à la création d'un projet de Sorbonne Université à l'interface entre les sciences (avec l'Université Pierre et Marie Curie), les humanités et la danse (avec l'Université Paris Sorbonne). Cette approche pluridisciplinaire de « l'apprentissage par le mouvement » est illustrée dans un blog (<http://kinesthesie.canalblog.com/>) et fait l'objet d'une série d'articles publiés dans les actes d'un colloque sur l'enseignement universitaire (ROLLINDE et al. 2015).

4. LE RESEAU EU-HOU

Tout ce travail de mise en forme d'exercices et de créations d'outils pédagogiques n'a de sens que dans le cadre de notre réseau, associant chercheurs et enseignants.

«Hands-On-Universe» a démarré en Suède et aux États-Unis dans les années 1990.

Si la motivation initiale était d'améliorer l'éducation à l'astronomie à travers la mise à disposition de télescopes, d'images et de logiciels d'analyse d'image, l'objectif de G-HOU (Global HOU) s'est rapidement étendu vers la mise en place de projets scientifiques internationaux et la promotion d'un enseignement interactif des sciences, « No borders or frontiers ».

Au-delà des frontières entre pays, nous pensons que la frontière entre disciplines doit également être prise en compte et dépassée.

Le projet EU-HOU s'est développé dans ce réseau G-HOU grâce à des financements européens depuis 2004 (voir Annexe pour plus de détails).

Dès sa création, il s'est fondé sur une collaboration active entre des enseignants, des chercheurs en astronomie et en sciences de l'éducation en Europe.

Pour sa contrepartie française, l'association F-HOU fédère les enseignants et les chercheurs qui utilisent et développent en collaboration les outils et les séquences pédagogiques. Ce réseau s'étend à travers la mise en place de formations d'enseignants, et se structure autour d'un site internet (<http://fr.euhou.net/>).

Enfin, les outils proposés sont améliorés à travers leur application dans les classes.

4.1 Les enseignants du réseau EU-HOU : des stages de formation

Un aspect fondamental de notre activité consiste dans l'organisation d'ateliers de formation des enseignants. Ils sont destinés aux enseignants du second degré impliqués dans l'enseignement des sciences et des mathématiques, et aux responsables d'associations scientifiques. À travers ces formations, vous entrez dans notre réseau avec l'objectif principal d'enseigner les sciences et les mathématiques autrement, à travers l'astronomie.

Les stages permettent d'acquérir les connaissances nécessaires pour utiliser au mieux les outils de EU-HOU, dans le cadre des programmes de physique et de mathématiques.

Ils privilégient également l'approche pluridisciplinaire, l'utilisation des TICE, l'acquisition et l'analyse de données.

À l'heure actuelle, nous organisons principalement deux stages de deux jours.

Le stage « À la recherche des exoplanètes » se concentre sur notre système solaire et sur les méthodes de détection de planètes extrasolaires ; le stage « Explorons la Voie Lactée » est centré sur l'utilisation de la radioastronomie pour comprendre notre galaxie. Ces deux stages sont organisés selon une structure identique.

Deux cours assurés par des chercheurs de nos instituts présentent les résultats les plus récents dans les domaines concernés.

Une série d'exercices utilisant le logiciel *SalsaJ* permet de s'initier à l'analyse d'image dans le contexte thématique du stage. Une activité kinesthésique dédiée permet de montrer la pratique d'une pédagogie *incarnée*.

Dans le cas de la radioastronomie, l'utilisation des radiotélescopes et du site associé est expliquée.

Enfin, la dernière demi-journée est dédiée à une réflexion commune sur la mise en place d'une séquence au sein de vos classes.

Ces stages vous permettent de rentrer dans un réseau puis de rester en contact à travers notre site et un forum de partage d'expériences. Mais le plus important demeure le suivi en classe après la formation.

Ce suivi peut se faire à travers la mise en place d'une séquence courte sur une séance de travaux pratiques, d'un projet sur un semestre, d'une réflexion sur l'utilisation d'un outil particulier, etc. Dans tous les cas, nous essayons de favoriser l'interaction entre un enseignant et un chercheur (en astronomie et / ou en didactique de la physique).

4.2 Les chercheurs du réseau EU-HOU

Les chercheurs associés à EU-HOU – France sont dans des laboratoires d'astronomie affiliés à une université (en particulier l'UPMC sur Paris) ou au CNRS. Ils sont soit chercheurs CNRS, soit astronomes ou encore enseignants-chercheurs. Leurs domaines d'expertise couvrent de nombreux thèmes d'astrophysique.

Le projet EU-HOU est coordonné par Anne-Laure MELCHIOR (LERMA), Roger FERLET et Emmanuel ROLLINDE (IAP).

Le projet spécifique autour de la radioastronomie, EUHOU-MW, est également emmené par Philippe SALOME (LERMA). Emmanuel ROLLINDE a suivi le master de didactique de la physique du laboratoire LDAR de Paris Diderot et se spécialise aujourd'hui dans des questions de didactique autour de l'astronomie et de la kinesthésie en lien avec l'Université Paris Sorbonne.

Plusieurs chercheurs participent épisodiquement à notre réseau à travers des propositions de thèmes scientifiques ou en présentant les résultats de la recherche au cours des formations.

5. PROLONGEMENT

Nous espérons qu'à travers la lecture de cet article, nous vous avons donné envie de rejoindre notre réseau. Son existence est basée sur cette interaction entre enseignants et chercheurs. Elle permet d'assurer la qualité et la mise à jour des données et des thèmes abordés, tout en maintenant la cohérence avec le programme scolaire et la capacité à s'adapter aux évolutions des élèves.

Notre stage « Exoplanètes » a été inscrit dans le Plan Académique de Formation de l'académie de Paris, pour l'année 2015-2016. Si vous voulez vous inscrire à nos formations ou en organiser une près de chez vous, n'hésitez pas à contacter les auteurs de cet article, et à aller voir notre site <http://www.fr.euhou.net> .

(1) <http://www.fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13/lyce-mainmenu-174/103-un-trou-noir-au-centre-de-notre-galaxie>

(2) <http://www.fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13/lyce-mainmenu-174/104-lunivers-en-expansion-la-preuve-par-limage>

(3) <http://www.fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13/lyce-mainmenu-174/84-peser-une-galaxie>

BIBLIOGRAPHIE

Brousseau, G. (1998). La théorie des situations didactiques (La pensée sauvage).

Doran, R. et al. (2012) ; <http://arxiv.org/pdf/1202.2764v1.pdf>

Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. Am. J. Phys. 55, 440.

Martinand, J. (1994). Introduction à la modélisation. (Cachan), pp. 126–138.

Rollinde, E., et al. (2015), "Un apprentissage en mouvement", 9ème édition du colloque Questions de Pédagogies dans l'Enseignement Supérieur, 17-19 juin 2015, Brest, France, pp. 747-776. <http://www.colloque-pedagogie.org/?q=node/751>

Salomé et al. 2012a, b, Conférences SF2A, pp. 655-661, <http://sf2a.eu/proceedings/2012/>

Sanchez, E. 2008, Éducation et didactique, 2008, vol 2 n°2

Sensevy et al., 2008, Sci. Educ. 92, 424 – 446

Varela, F. J., Thompson, E., Rosch, E. (1983), "L'inscription corporelle de l'esprit", Éditions du Seuil.

Vergnaud, G. (1994). « Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel », in M. Artigue, R. Gras, C. Laborde, P. Tavinot, Vingt ans de didactique des mathématiques en France, Grenoble : La Pensée sauvage.

Vergnaud, G. (2001). « Piaget visité par la didactique », Intellectica, n° 33, p 107-123.

Wells, M., Hestenes, D., Swackhamer, G. (1995), Am. J. Phys. 63 (7), 606-619.

Bouyrie, G. (2013) " Spectres stellaires et fichiers FITS ", BUP n° 956, p 715 – 731.

ANNEXE : HISTORIQUE DU PROJET

Les outils et partenaires de EU-HOU ont été mis en place à l'occasion d'une série de projets européens. De 2004 à 2006, un premier programme, « Minerva », a financé le développement du logiciel d'analyse d'image *SalsaJ*. Pour ce projet, huit pays étaient partenaires par l'intermédiaire le plus souvent d'Universités mais aussi de Centres de recherche ou d'éducation scientifique : Grèce, Italie, Pologne, Portugal, Suède, Espagne, Grande-Bretagne, et France en tant que coordinateur.

Le projet s'est ensuite élargi à six autres pays à l'occasion d'un programme Comenius (2008-2010) : Chypre, Belgique, Roumanie, Autriche, République Tchèque et Irlande. Il a permis la mise en place de plusieurs formations et d'un réseau européen d'enseignants, reliés par le site internet <http://www.euhou.net/>.

Le développement de ce réseau et ses actions ont été reconnus au niveau européen. En 2009, EU-HOU s'est vu attribué la médaille d'argent en tant que projet qui pourra servir d'exemple des meilleures pratiques innovantes dans le domaine de l'Éducation et de la Formation, pour atteindre les objectifs que l'Union Européenne s'est fixée à Lisbonne, à savoir « A Knowledge-based Economy ».

Il a également reçu le 3ème prix d'Excellence dans l'enseignement de l'astronomie et de la diffusion scientifique ("Excellence in Astronomy Education and Public Outreach") de l'Année Mondiale de l'Astronomie (AMA09 – ONU-UNESCO).

Enfin, le projet EU-HOU a connu un grand développement en 2010 avec un troisième programme européen, EUHOU-MW – *Explorons la Voie Lactée* (avec l'ajout de l'Allemagne mais le retrait de l'Autriche, la République Tchèque et l'Irlande).

Il a permis la création d'un réseau de radiotélescopes dédiés à l'enseignement afin de permettre à tous les élèves européens d'observer « directement » la voie lactée.

Ce réseau regroupe 8 antennes radio localisées dans 5 pays : France, Portugal, Pologne, Roumanie, Espagne. Une des antennes en France sera prochainement localisée sur la plate-forme d'observation de l'UPMC.

Le contexte scientifique, l'intérêt pédagogique et les avantages propres à ce réseau ont été en partie présentés dans cet article.

Ces programmes européens ont été coordonnés à l'Université Pierre et Marie Curie par Roger FERLET (IAP) et Anne-Laure MELCHIOR (LERMA, Observatoire de Paris).

Nous n'avons décrit ici que les actions de la composante française de ce réseau, affiliée à la faculté de physique de l'UPMC, que nous appelons également EU-HOU « par abus de langage ».

EU-HOU s'est récemment développé sur l'Île de France grâce à une série de 10 formations proposées entre septembre et décembre 2014.

Seize établissements ont été concernés, avec plus de 80 enseignants de physique-chimie (63%), de mathématiques (34%) et de SVT (3%).

Enfin, notre implication dans l'enseignement au sein de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC) s'étend depuis la licence jusqu'au master, à travers des enseignements de projet ou de méthodologie.

On peut dire que la « boucle est bouclée » depuis 2014, avec un investissement des formateurs de EU-HOU dans les ESPEE, pour la formation des futurs enseignants.

Notre présence auprès du grand public se fait à travers des manifestations ponctuelles annuelles telles que la Fête de la Science ou le Salon de la Culture et des Jeux Mathématiques.