

MODELISATION ET ASTRONOMIE

Marie-Anne Pierrard

L'astronomie est un domaine privilégié pour la modélisation. A quel type de modèles les enfants de l'école élémentaire peuvent-ils parvenir ? Une série d'activités dans des classes de Cours Moyen, dont nous présentons ici quelques éléments d'analyse, est l'occasion d'évaluer en quoi et jusqu'à quel point les enfants sont parvenus à modéliser.

Nous allons décrire une situation qui a servi de point de départ à une activité dans une classe de Cours Moyen, et analyser cette situation pour savoir si sa compréhension nécessite l'utilisation de modèles, et quelles sont les caractéristiques de ces modèles.

Puis nous présenterons trois exemples d'utilisations différentes de modèles par des élèves au cours d'activités de classe.

1. SITUATION DE DEPART

Il s'agit d'un relevé, sur un plan horizontal, de l'ombre d'une vis verticale, au cours d'une journée : les élèves ont fait eux-mêmes le relevé, en pointant l'extrémité de l'ombre toutes les demi-heures ; la feuille horizontale a toujours été placée de la même façon, son orientation ayant été repérée avec une boussole.

2. ANALYSE DE LA SITUATION

2.1. Description de l'activité en classe

Les objectifs de l'activité en classe étaient les suivants :

- faire des constatations à partir des relevés ;
- les interpréter et confronter ces interprétations à une manipulation sur maquette ;
- comprendre qu'un même phénomène peut avoir des interprétations différentes.

une observation
peut avoir des in-
terprétations diffé-
rentes...

L'une des interprétations, dans l'esprit de l'enseignant, et à partir du "savoir savant", est considérée comme plus performante que les autres et peut s'exprimer ainsi : le Soleil se déplace apparemment dans le ciel, d'Est en Ouest, au cours d'une journée ; il culmine au Sud, où il passe vers midi ; ce

déplacement apparent est dû à la rotation de la Terre sur elle-même, d'Ouest en Est, en un jour.

La trace écrite ¹, élaborée à mesure que l'activité se déroulait, rend bien compte des différentes étapes.

On a d'abord un inventaire des constatations faites sur les modifications de l'ombre, puis une recherche d'explications possibles. Les élèves en proposent quatre :

proposées par les
élèves

- 1) le Soleil se déplace d'Est en Ouest
- 2) la Terre tourne sur elle-même
- 3) la Terre tourne autour du Soleil
- 4) la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil.

Pour tester ces explications, l'utilisation d'une maquette (balle, épingles, lampe) intervient.

La conclusion est la suivante : toutes les hypothèses sont vérifiées, il n'est pas possible de trancher. C'est pourquoi le besoin s'est fait sentir de faire appel à la "science des savants" : les modifications de l'ombre sont dues à la rotation de la Terre sur elle-même, autour de l'axe des pôles, d'Ouest en Est, en un jour.

2.2. A-t-on affaire à des modèles ?

Pour le savoir, il apparaît nécessaire d'analyser l'activité en adoptant un point de vue de scientifique. Les constatations sur la modifications de l'ombre étant faites, le problème à résoudre est le suivant : pourquoi l'ombre subit-elle ces modifications au cours de la journée ? Il s'agit de chercher une explication à ce phénomène observé.

ces explications
sont des hypo-
thèses que les
élèves testent en
utilisant une ma-
quette

Les quatre propositions faites par les élèves sont des explications possibles, qui relèvent de deux catégories différentes :

- a) la feuille est immobile (et son support, la Terre, aussi), le soleil se déplace dans le ciel, de l'Est vers l'Ouest, en culminant au Sud en milieu de journée. Si on admet connue la sphéricité de la Terre, ce mouvement du Soleil par rapport à la feuille, c'est-à-dire par rapport à l'horizon du lieu, peut être un mouvement de révolution du Soleil autour de la Terre, en un jour.
- b) le Soleil est immobile et la Terre se déplace. Différents mouvements de la Terre sont possibles :
 - . rotation autour de l'axe des pôles en un jour,
 - . révolution autour du Soleil en un jour,
 - . combinaisons des deux mouvements précédents.

(1) Marie-Anne PIERRARD. Document interne INRP, 1986.

29/09/86
Landrine

Relevé d'ombres

ombre

1. Constatations sur la modification de l'ombre
 - sur la longueur
 - l'ombre est la plus courte en milieu de journée.
 - sur sa direction elle est plus longue le matin et le soir.
 - sur sa direction
 - elle se déplace d'ouest en est
 - elle passe au nord en milieu de journée.
2. Pourquoi ces modifications d'ombres? (hypothèses)
 - la Terre tourne sur elle-même et le Soleil est immobile?
 - le Soleil se déplace au cours d'une journée? d'est en ouest?
 - la Terre tourne autour du Soleil?
 - la Terre tourne sur elle-même et autour du soleil? Soleil

Soleil

3 Expériences.

1. Le soleil se déplace-t-il d'est en ouest au cours d'une journée?

A l'aide d'une ampoule, nous avons vérifié que le soleil se déplace bien d'est en ouest et culmine au sud en milieu de journée.

Terre

2. La terre tourne-t-elle sur elle-même?

En remplaçant la Terre, nous nous sommes aperçus que la rotation de la terre d'ouest en est peut expliquer les modifications de l'ombre.

Terre

Terre Soleil

3. La terre tourne-t-elle autour du soleil?

La révolution de la Terre autour du Soleil en un jour, peut expliquer les modifications de l'ombre.

4 Conclusion:

Nos expériences ne nous permettent pas de choisir entre les différentes hypothèses.

Ce que disent les scientifiques

Les modifications d'ombres au cours de la journée sont dues à la rotation de la Terre sur elle-même autour de l'axe des pôles, d'ouest en est, en un jour.



Quel est le statut de ces explications possibles ?

Dans un premier temps, ce sont des hypothèses qui demandent à être vérifiées. La vérification en "grandeur nature" de ces hypothèses est impossible. Il faut opérer un changement d'échelle et les tester, non sur les objets réels, mais sur des substituts (schémas, maquettes,...). On remplace le système des objets réels : feuille-Soleil ou Terre-Soleil par un système de substitution : une maquette balle/lampe.

Ici apparaît une des caractéristiques des modèles en sciences : objets de substitution utilisés pour tester des hypothèses.

Si le modèle est un substitut du réel, la manipulation, par les élèves, de la lampe et de la balle peut être considérée comme une aide à la modélisation.

l'analogie maquette-système des objets Terre-Soleil fonctionne dans les deux sens

Quelles différences y-a-t-il entre le système des objets réels Terre-Soleil et la maquette balle-lampe ? De toute évidence, il y a changement d'échelle. De plus, nous qui sommes "posés" sur Terre, pouvons grâce à la maquette nous décentrer, et observer plus facilement le système de l'extérieur. Enfin, nous avons choisi de ne retenir que quelques caractéristiques de ce système : les relations topologiques entre ses deux éléments, et le fait que le Soleil est une source de lumière.

Quelles conclusions peut-on tirer de la vérification de ces hypothèses ? Une manipulation de la maquette permet de vérifier que, pour tous les cas évoqués plus haut, on retrouve bien des modifications de l'ombre analogues à celles du relevé. A-t-on pour autant le droit d'en conclure que ces hypothèses sont validées ? Une conclusion tirée de l'étude d'un système balle-lampe peut-elle être étendue au système Terre-Soleil ?

La question mérite d'être posée. En effet, quand on veut savoir si la vitesse d'évaporation de l'eau dépend de la température, on expérimente avec de l'eau, et pas avec un sac de billes ! Sur quelle opération mentale s'appuie-t-on pour appliquer la conclusion au système Terre-Soleil ? Nous avons fait fonctionner une analogie (réductrice) pour passer du système Terre-Soleil au système balle-lampe, et nous la faisons fonctionner en sens inverse, de façon réversible, pour étendre des propriétés du système balle-lampe au système Terre-Soleil.

la maquette avec ses mouvements possibles, substitut du réel, est un modèle

La prise de conscience de l'écart entre les deux systèmes, celui des objets réels et celui de la maquette, permet de renforcer l'idée selon laquelle le modèle-maquette n'est pas la réalité, mais est seulement un objet de substitution, donc de prendre acte de la différence maquette-réalité.

Dans la classe, l'analogie entre modèle et réalité a bien fonctionné dans les deux sens, pour concevoir et admettre l'utilisation de la maquette d'une part, pour étendre les conclusions tirées de l'observation de la maquette au système Terre-Soleil d'autre part.

les descriptions du système Terre-Soleil, contradictoires, sont elles aussi des modèles

Les choses sont sans ambiguïté quand on décrit le système balle-lampe. Quand on décrit le système Terre-Soleil, décrit-on la réalité, ou en propose-t-on un modèle ? Cette fois, il n'y a plus de changement d'échelle, les relations topologiques et métriques sont respectées, mais on fait toujours abstraction de nombreuses autres caractéristiques du système (par exemple l'existence des forces d'attraction gravitationnelle). C'est légitime et courant en sciences : on sélectionne toujours quelques propriétés d'un système. Dans l'exemple de l'évaporation de l'eau déjà cité, on ne prend pas en compte la viscosité de l'eau, sa conductivité électrique...

Un indice cependant nous permet de dire que, même si les relations géométriques sont respectées, nous avons affaire à un modèle, c'est-à-dire à un substitut de la réalité. En effet, toutes les hypothèses ont été validées, et elle sont contradictoires. Nous rencontrons là une autre caractéristique des modèles en sciences : des modèles différents peuvent expliquer un même phénomène.

La conclusion donnée par les élèves (on ne peut pas choisir) tend à conférer aux quatre explications le statut de modèle.

Trois caractéristiques des modèles en science apparaissent ainsi dans l'activité de classe :

- ce sont des substituts du réel ;
- il y a analogie (réversible) entre le modèle et la réalité ;
- différents modèles peuvent expliquer un même phénomène.

En revanche, les aspects concernant le domaine de validité et la modification du modèle n'apparaissent pas ici.

Il semblerait bien que, dans cette activité de classe, on ait affaire à des modèles. Pourtant, deux éléments importants pourraient susciter des objections à une telle affirmation.

Il n'y a modèle que s'il y a prise de conscience qu'il s'agit de modèle

La première objection consisterait à considérer qu'on ne peut affirmer qu'il y a des modèles que si on pense que les élèves savent qu'il s'agit de modèles. En d'autres termes, l'activité de modélisation suppose la construction et/ou l'utilisation de modèles avec la prise de conscience qu'il s'agit de modèles.

La seconde objection reposerait sur le fait qu'il a été fait référence aux connaissances véhiculées par la science pour choisir le "bon" modèle. Les élèves se sont alors retrouvés (avec satisfaction d'ailleurs) dans une situation qu'ils connaissent. Quand on a des hypothèses contradictoires, l'expérience permet de trancher.

Ici, ce n'était pas possible à partir des moyens expérimentaux et d'observation dont ils disposaient, mais les scientifiques, avec d'autres moyens dont les élèves n'ont pas eu connaissance, ont pu trancher. Les élèves retrouvent alors le schéma

expérimental, mais à travers les données de la science officielle.

2.3. Modèles ou représentations ?

Les explications que donnent les élèves sont-elles des modèles, ou simplement des représentations qu'ils mobilisent devant telle ou telle situation ?

Il est intéressant de comparer les explications données par les élèves d'une autre classe de CM dans une situation différente mais voisine. La question qu'ils se posent est de savoir comment expliquer la succession des jours et des nuits. Les enfants donnent plusieurs explications²:

- *la Terre tourne sur elle-même. Quand elle va vers le Soleil, il l'éclaire. Quand elle se tourne vers la Lune, la nuit, elle l'éclaire un tout petit peu.*
- *la Terre est immobile, le Soleil tourne autour de la Terre.*
- *le Soleil est immobile, la Terre tourne autour du Soleil.*
- *le Soleil est immobile, la Terre tourne sur elle-même.*
- *le Soleil est immobile, la Terre tourne autour du Soleil et sur elle-même.*

On retrouve bien les mêmes explications. Ce constat n'apporte pas de réponse définitive à la question de savoir s'il s'agit vraiment de modélisation. Pourtant de telles explications semblent avoir un statut de représentation plutôt que de modèle.

Une question demeure néanmoins : ces représentations pourraient-elles fonctionner comme des modèles, et comment ? Pour pouvoir répondre, il faudrait repérer des opérations mentales liées à l'activité de modélisation, comme par exemple la mise en relation réciproque de ces représentations et des phénomènes observés, ou comme l'utilisation de ces représentations pour prévoir un autre phénomène.

Dans l'activité de la classe, la mise en relation représentation/phénomène observé intervient largement, et dans la suite de l'activité, les élèves ont utilisé l'explication retenue par la science pour expliquer et prévoir le déplacement des étoiles autour de l'étoile polaire au cours d'une nuit.³

Ils ont donc utilisé l'explication comme un modèle, pour faire une prévision que l'on peut confronter à l'observation, ou aux indications données par un document (planiciel par exemple).

Des interviews d'élèves peuvent donner des indications venant compléter les observations qui ont été faites en classe. Ces interviews ont été faites avant et après l'activité de la classe (le

ces modèles sont peut-être seulement des représentations...

mais ces représentations peuvent fonctionner comme des modèles si on les met en relation avec les phénomènes observés, ou si on les utilise pour faire des prévisions

(2) Jean-Claude GENZLING. "La modélisation à l'école élémentaire". Document interne INRP, 1988.

(3) Marie-Anne PIERRARD. Document interne INRP, 1986.

relevé d'ombre a eu lieu avant la première interview). Elles portent sur six élèves.

Les questions ne sont pas normalisées. Les premières consistent à faire relater aux élèves la façon dont ils ont procédé pour faire le relevé, ceci pour vérifier qu'ils savent bien de quoi il s'agit. Un des relevés faits en classe est sous les yeux. On leur demande ensuite pourquoi l'ombre varie au cours de la journée. S'ils ne le font pas d'eux-mêmes, on essaie de leur faire préciser la position du Soleil au moment où telle ou telle ombre a été obtenue. Puis on prend le cas de la Lune et on leur demande de prévoir soit son déplacement, soit ce que devient l'ombre d'une vis éclairée par la Lune, au cours de la journée ou de la nuit.

Ces mêmes questions sont posées au cours de la deuxième interview. Il s'y ajoute une question sur le déplacement des étoiles.

De l'examen de ces interviews, il ressort qu'avant l'activité en classe, un seul des six élèves met en relation une explication faisant intervenir le système Terre-Soleil et les observations faites sur l'ombre. Les autres ne font pas référence au système Terre-Soleil, ou, s'ils le font, ne reviennent pas aux observations. Après l'activité en classe, on observe cette mise en relation chez tous les élèves interrogés dans le cas du relevé d'ombre, seulement chez quelques-uns pour les questions se rapportant à la Lune et aux étoiles.

Nous ne pouvons à ce moment de notre travail tirer de conclusions définitives. Tout au plus avons-nous pu repérer quelques caractéristiques d'une activité de modélisation, liées au contenu scientifique, à la démarche suivie en classe, et au mode de raisonnement que les élèves peuvent mettre en oeuvre.

3. REMODELAGE D'UN MODELE

Nous avons cité cette possibilité de modification comme une des caractéristiques d'un modèle. Nous allons l'examiner sur deux exemples pris dans deux classes de Cours Moyen.

3.1. Activité sur les fuseaux horaires

Pour expliquer les fuseaux horaires ⁴, les élèves ont fabriqué une maquette en carton sur laquelle la Terre est représentée en projection sur un disque centré sur le pôle Nord : le disque, fixé sur une feuille, peut tourner autour de son centre. Le Soleil est représenté par des rayons sur la feuille. La maquette

(4) Jean-Loup CANAL. "Les modèles". Document interne INRP, 1987.

la confrontation
d'un modèle à de
nouvelles observa-
tions peut
conduire à le mo-
difier

utilisée est différente de la précédente, mais reprend ses caractéristiques essentielles : Soleil immobile et Terre en rotation sur elle-même. Une observation approfondie de cette maquette conduit à affirmer l'égalité des jours et des nuits. Or une observation de son propre vécu ou une écoute aux informations des heures de lever et coucher du Soleil infirme ce résultat. Le modèle est-il faux ? Ou doit-on le modifier ? La prise en compte de ces observations conduit à modifier le modèle précédent en y ajoutant, pour construire un nouveau modèle, deux propriétés : la Terre gravite autour du Soleil ; son axe garde la même direction et est incliné par rapport au plan de la trajectoire terrestre.

Provisoirement, la maquette, "fausse", a permis de donner une bonne explication des fuseaux horaires. Une utilisation plus poussée a montré ses limites, soulevé un nouveau problème et conduit à envisager un modèle plus complexe.

3.2. La succession jour-nuit

elle peut aussi
conduire à le rejeter
pour en retenir
un autre

Dans une autre classe, les élèves ont travaillé sur la succession jour-nuit, et ont donné et testé des explications différentes à l'aide d'une maquette (lampe torche et ballon). L'observation d'un nouveau phénomène, les résultats de l'expérience de Foucault⁵ va les amener à éliminer certaines explications, comme le montre l'extrait suivant⁶:

Maitre : On a pour un même problème quatre explications possibles [...] Je vais vous donner une information... Il y a longtemps, à peu près au 19ème siècle, un physicien nommé Foucault a réalisé une expérience et le résultat de l'expérience dit clairement que la terre tourne autour d'un axe... Qu'est-ce que tu veux dire, Camille ?

Camille: Alors je dis, s'il a réussi à le prouver, on peut éliminer l'explication 1.

Elève : Et la deux aussi !

Maitre : Explique-toi, Camille !

Camille : Moi je dis que l'explication 1 doit être éliminée, parce qu'il est marqué que la terre est immobile ; si elle est immobile, elle ne peut pas tourner ! [...]

(5) FOUCAULT (1819-1869) a utilisé la propriété d'un pendule pesant d'avoir un plan d'oscillation d'orientation constante pour mettre en évidence la rotation de la Terre sur elle-même. Pour ce faire il a utilisé un pendule de grande longueur. Au bout de quelques heures, l'écart entre le plan d'oscillation du pendule et sa position initiale par rapport au lieu de l'expérience, donc à la Terre, est appréciable. Il a par ailleurs établi la loi donnant le déplacement d'un plan de référence lié à la Terre par rapport au plan d'oscillation du pendule en fonction du temps et de la latitude du lieu.

(6) Marie-Anne PIERRARD. Document interne INRP, 1986.

Cyril : *L'explication 2 n'est pas possible non plus parce que ce n'est pas marqué que la terre tourne autour d'un axe.*

Maitre : *Qu'est ce qu'on dit dans la 2 ?*

Elève : *On dit que la terre tourne autour du soleil*

Maitre : *Autour du soleil et non pas sur elle-même, autour d'un axe [...]*

Karine : *L'explication 3 est possible parce qu'elle dit que la terre tourne autour d'un axe. [...]*

Claire-Marie : *La 4 est également possible parce que c'est comme pour la 3, la terre tourne autour d'un axe.*

Maitre : *Conclusion ?*

Karine : *Les explications 3 et 4 sont toujours possibles.*

Les élèves s'intéressent ensuite à l'inégalité jour-nuit. La constatation de cette inégalité ne va pas les conduire à trancher entre ces deux explications. En effet, aucune ne convient. On peut pourtant en retenir une (rotation), à condition de la modifier un peu, en particulier en faisant intervenir une inclinaison (fixe ou variable au cours de l'année) de l'axe de la Terre par rapport à la ligne Terre-Soleil.

L'activité ici n'est donc pas seulement de validation d'explication, mais d'ajustement, de modification pour assurer la cohérence entre l'observation et le modèle.

4. UNE AUTRE DEMARCHE DE MODELISATION ?

4.1. Analyse de la situation de départ

Les élèves, qui avaient travaillé sur un relevé d'ombre fait au cours d'une journée quelques mois auparavant, disposent de relevés d'ombre faits à des dates différentes. Des constatations peuvent être faites, mettant en évidence points communs et différences.

Des démarches différentes peuvent être adoptées :

- on peut faire appel au modèle expliquant le relevé au cours d'une journée, puis le modifier, le compléter pour l'adapter à la nouvelle situation. Il s'agirait alors, comme au paragraphe précédent, de remodeler un modèle ;
- on peut donner des explications possibles, sans faire référence au modèle retenu lors de l'activité précédente sur le relevé d'ombre. Plusieurs explications peuvent être testées. On suivrait alors la même démarche que pour la première activité.

4.2. Démarche suivie en classe ⁷

Les élèves ont comparé les relevés faits à plusieurs mois d'intervalle, ils ont fait apparaître les points communs (en milieu de journée, les ombres sont vers le Nord ; au cours de la journée, elles se déplacent d'Ouest en Est), et les différences (les relevés sont courbés dans deux sens différents ; à la même heure, l'ombre n'a ni la même longueur, ni la même direction ; le 10 juillet, les ombres sont plus courtes que celle du 27 février, quelle que soit l'heure).

Ils se sont ensuite attachés aux positions du Soleil, déduites des relevés d'ombre, et sont arrivés aux résultats suivants.

	10 JUILLET	27 FEVRIER	22 SEPTEMBRE
Le soleil se lève plutôt vers :			
- EST			X
- NORD-EST	X		
- SUD-EST		X	
Le soleil se couche plutôt vers :			
- OUEST			X
- NORD-OUEST	X		
- SUD-OUEST		X	

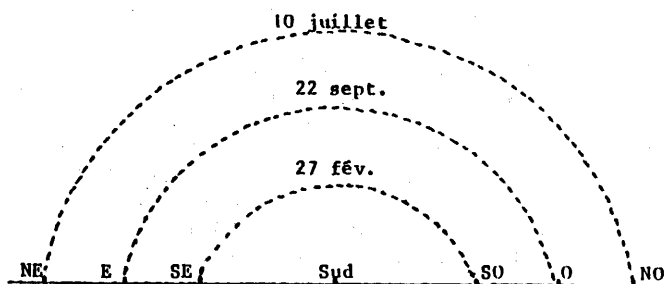


tableau et schéma de la course du Soleil

(bien sûr, comme la ligne d'horizon est centrée sur le Sud, l'Est se trouve vers la gauche et l'Ouest vers la droite).

la modification d'un modèle pour l'adapter à de nouvelles observations n'est pas la seule voie suivie par les élèves dans les activités de modélisation

Ils n'ont pas donné d'explication a priori, mais ont recherché des explications à partir de la manipulation de maquette : ils cherchaient à obtenir une ombre plus ou moins grande vers le Nord, et des positions différentes du Soleil (de la lampe) à son lever et à son coucher.

Deux explications ont ainsi été trouvées, et reconnues valides :

- laisser la lampe immobile et basculer la balle.
- laisser la lampe immobile, monter et descendre la balle.

Ces mouvements correspondent aux mouvements annuels, il s'y ajoute le mouvement de rotation de la balle sur elle-même assimilable à la rotation de la Terre en un jour.

Il y a eu référence, à partir d'un document, aux connaissances reconnues par la science, et utilisation de la maquette pour vérifier l'explication.

4.3. Y a-t-il eu modélisation ?

Nous nous trouvons ici dans un cas différent des précédents : il n'y a pas remodelage d'un modèle (il n'a pas été utilisé pour tenter d'expliquer la situation), il n'y a pas de propositions de modèles-hypothèses à tester, mais construction d'une explication à partir d'une maquette.

Ils peuvent ignorer le modèle existant et en construire d'autres à partir de la manipulation d'une maquette

Ici apparaît un autre aspect de ce que pourrait être une activité de modélisation en classe : l'utilisation d'objets (substituts de la réalité) pour trouver une explication à un phénomène.

Au cours des activités en classe évoquées précédemment, les élèves ont bien sûr acquis des connaissances sur les mouvements diurne et annuel de la Terre. Pour les construire, ils ont été confrontés à une multiplicité d'explications cohérentes possibles, à une remise en cause d'une connaissance préalable entraînant une modification, un remodelage de cette connaissance, ils ont travaillé sur des maquettes substituts du réel soit pour contrôler une explication, soit pour en trouver une. On retrouve tous ces aspects dans les modèles. De plus, l'observation de classe et l'analyse des interviews ont permis de relever des raisonnements portés sur les connaissances ou explications fournies par les élèves, indispensables à une véritable activité de modélisation, qui paraît ainsi possible pour des enfants de cet âge, et qui est un des moyens pour construire un savoir scientifique.

Marie-Anne PIERRARD
Ecole Normale, Blois