



HAL
open science

Étude des conditions didactiques de construction des savoirs problématisés en sciences au cycle 3 : le phénomène des saisons

Pierre Mahé

► **To cite this version:**

Pierre Mahé. Étude des conditions didactiques de construction des savoirs problématisés en sciences au cycle 3 : le phénomène des saisons. Education. 2019. dumas-02350861

HAL Id: dumas-02350861

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02350861>

Submitted on 6 Nov 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.



UNIVERSITÉ DE NANTES



École supérieure
du professorat
et de l'éducation
Académie de Nantes

Master MEEF

« Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation »

Mention Pratiques et ingénierie de la formation

Parcours Expertise - Enseignement - Apprentissage

**Étude des conditions didactiques de construction des
savoirs problématisés en sciences au cycle 3 :**

Le phénomène des saisons

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de master

Soutenu par

MAHE Pierre

Le 27 juin 2019

En présence de la commission de soutenance composée de :

Briaud Philippe, directeur de mémoire

Chalak Hanaà, membre de la commission

Table des matières

1. Introduction.....	5
2. Conceptions, enseignement et obstacles.....	7
2.1. Conceptions.....	7
2.2. Obstacles.....	8
2.3. Situations ordinaires.....	8
2.4. Première formulation des questions de recherche.....	9
3. Problème, modèles explicatifs et problématisation.....	9
3.1. Prise en charge du problème.....	9
3.2. Exploration des possibles.....	10
3.3. Faits et nécessités du problème.....	11
3.4. Textes de savoirs problématisés.....	12
3.5. Deuxième formulation des questions de recherche.....	14
4. Outils pour problématiser, débats et caricatures.....	14
4.1. Confrontation des modèles explicatifs.....	14
4.2. Effet Topaze.....	15
4.3. Débats argumentatifs.....	16
4.4. Analyse des caricatures.....	17
4.5. Troisième formulation des questions de recherche.....	18
4.6. Hypothèses de recherche.....	19
5. Méthodologie.....	19
5.1. Ingénierie didactique, situations forcées.....	19
5.2. Corpus étudié.....	22
5.3. Outils d'analyse de la séquence.....	22
5.4. Outils d'analyse de la dynamique argumentative.....	24
5.5. Outils d'analyse des processus de problématisation.....	27
5.6. Outils d'analyse de la formulation des faits.....	28
5.7. Outils d'analyse de la formulation des nécessités.....	31

5.8. Conclusion sur la méthodologie employée.....	33
6. Analyses préalables.....	34
6.1. Données statistiques.....	34
6.2. Repères historiques et épistémologiques.....	36
7. Conception et analyse à priori.....	38
7.1. Construction de la question.....	38
7.2. Scénario didactique de la séquence.....	39
7.2.1. Phase 1.....	40
7.2.2. Phase 2.....	40
7.2.3. Phase 3.....	41
7.2.4. Phase 4.....	42
7.2.5. Phase 5, 6 et 7.....	42
7.2.6. Outils d'analyse.....	42
7.3. Représentation schématique de la séquence à priori.....	43
7.4. Modèles, faits et nécessités du problème à priori.....	44
7.5. Formulation du savoir problématisé.....	48
7.6. Constitution des groupes d'interaction.....	49
8. Analyse à posteriori.....	50
8.1. Analyse globale de la séquence à posteriori.....	51
8.1.1. Construction de la phase 1.....	51
8.1.2. Construction de la phase 2 : modèles simples.....	54
8.1.3. Construction de la phase 3 et 4.....	57
8.1.4. Construction de la phase 5 : modèles plus complexes.....	60
8.1.5. Construction de la phase 6 et 7.....	61
8.1.6. Construction de la phase 7.....	63
8.1.7. Construction de la phase 8.....	64
8.1.8. Synopsis de la séquence.....	64
8.1.9. Conclusion de l'analyse de la séquence.....	65
8.2. Suivi des élèves dans la construction du problème.....	66
8.2.1. Analyse de la phase 1 : recueil des conceptions.....	67

8.2.2. Analyse de la phase 4 : textes de savoir intermédiaires.....	69
8.2.3. Analyse de la phase 7 : textes de savoirs finaux.....	72
8.2.4. Analyse de la phase 8 : écrits d'évaluation.....	74
8.2.5. Evolution de la nécessité « révolution ».....	76
8.2.6. Evolution de la nécessité « inclinaison ».....	77
8.2.7. Conclusion sur la construction du problème par tous les élèves....	77
8.3. Analyse du travail en groupe.....	81
8.3.1. Groupe 1.....	81
8.3.2. Groupe 2, 6 et 7.....	88
8.3.3. Analyse du travail des autres groupes.....	91
8.3.4. Conclusion sur la formulation des nécessités dans les groupes....	95
8.4. Dynamique du travail en groupe.....	96
8.4.1. Débat du groupe 1.....	96
8.4.2. Débat du groupe 2.....	98
8.4.3. Débat du groupe 6.....	98
8.4.4. Débat du groupe 7.....	99
8.4.5. Conclusion sur la dynamique argumentative dans les groupes....	100
8.5. Relation entre la dynamique argumentative et les écrits.....	100
8.5.1. Cas des élèves passifs du point de vue argumentatif.....	100
8.5.2. Cas des élèves dynamiques du point de vue argumentatif.....	102
8.5.3. Résistance des conceptions à l'enseignement.....	103
8.5.4. Exemple d'un changement conceptuel lors d'un débat.....	105
8.5.5. Conclusion sur les changements conceptuels lors des débats....	110
9. Conclusion et discussion.....	110
9.1.1. Débats en petits groupes.....	110
9.1.2. Constitution des groupes.....	111
9.1.3. Mise en question des conceptions, des arguments.....	111
9.1.4. Conclusion générale.....	112
10. Bibliographie.....	114
11. Annexes.....	116

11.1. Annexe 1 : conceptions individuelles.....	116
11.2. Annexe 2 : analyse des modèles simples.....	127
11.3. Annexe 3 : arguments pour les modèles simples.....	132
11.4. Annexe 4 : analyse des modèles complexes.....	137
11.5. Annexe 5 : arguments pour les modèles complexes.....	142
11.6. Annexe 6 : documents de la phase 5.....	147
11.7. Annexe 7 : écrits de savoirs intermédiaires et problématisés.....	150
11.8. Annexe 8 : écrits d'évaluation.....	159
11.9. Annexe 9 : catégorisation des écrits de groupe.....	178
11.10. Annexe 10 : transcription des débats du groupe 1.....	179
11.11. Annexe 11 : transcription des débats du groupe 2.....	180
11.12. Annexe 12 : transcription des débats du groupe 6.....	181
11.13. Annexe 13 : transcription des débats du groupe 7.....	183
11.14. Annexe 14 : formulation des faits et des nécessités.....	185

1. Introduction.

Quand ils entrent dans la classe, les élèves ont déjà des représentations du monde. En sciences, ces représentations se construisent à partir de leurs observations, de leurs expériences de ce monde et des connaissances acquises antérieurement. Beaucoup d'élèves du cycle 4 pensent par exemple, qu'il faut de la terre pour faire germer une graine. Ils construisent cette représentation à partir de l'observation de la nature : les graines qui sont dans la terre donnent naissance à des plantes. A partir aussi de leur expérience, par analogie : il faut de la nourriture pour grandir et enfin, à partir de leurs connaissances : la graine contient la future plante. Et pourtant, la graine n'a pas besoin de terre pour germer ! Cette notion est enseignée au cycle 2 et au cycle 3 mais elle résiste aux enseignements. *« Ces représentations s'avèrent très résistantes à l'enseignement. On les retrouve en fin de cursus scolaire, souvent presque inchangées et cohabitant avec des concepts scientifiques, lesquels permettent eux, de résoudre les problèmes canoniques, proches des situations didactiques d'apprentissages. »* (Astolfi, 1992).

Pour comprendre pourquoi certaines représentations restent résistantes et comment, dans ce cas, l'enseignement peut permettre des apprentissages, cette recherche se propose d'étudier la relation entre enseignement et apprentissages au cycle 3 avec des élèves de sixième, autour d'un savoir scientifique spécifique : **le phénomène du cycle des saisons**. Nous justifierons dans cette étude que ce phénomène, enseigné au cycle 3, le plus souvent en CM2 et en 6ème et revu au cycle 4, est porteur de conceptions erronées et résistantes.

Dans les trois premières parties de cette recherche, nous développerons la notion de représentations pour comprendre comment elles se construisent et comment les modifier, puis nous formulerons les questions de recherche dans un cadre d'analyse didactique spécifique, celui de la problématisation. Nous développerons ensuite les aspects langagiers nécessaires pour construire des apprentissages, nous reformulerons alors plus précisément nos questions de recherche pour proposer des hypothèses de travail.

Nous présenterons ensuite, dans un quatrième chapitre, la méthodologie mise en œuvre dans cette recherche, les outils d'analyse utilisés pour la validation

des hypothèses et la méthode de recueil des données. Dans une cinquième partie, nous poursuivrons par une analyse préalable, forcément partielle, dans laquelle nous présenterons des données statistiques justifiant la résistance du phénomène des saisons aux enseignements et les aspects historiques et épistémologiques du problème. Dans une sixième partie, dans une analyse à priori, nous détaillerons la construction de la question et de la séquence utilisée pour construire des apprentissages autour du cycle des saisons puis nous envisagerons les formulations attendues à priori du savoir en jeu.

Puis dans une analyse à posteriori, septième chapitre, nous détaillerons les résultats pour répondre aux questions de recherche posées et valider ou invalider les hypothèses de recherche. Enfin, en huitième chapitre, nous proposerons une conclusion à cette étude et une discussion sur la validité des résultats proposés.

2. Conceptions, enseignement et obstacles.

2.1. Conceptions

Comment se construisent les représentations des élèves ? Pour résoudre des problèmes posés en classe par l'enseignant, les élèves font appel à des connaissances antérieures qui leur permettent de construire une conception et de proposer une solution à la question posée par l'enseignant. Dans la suite de cette recherche, nous utiliserons le terme **conception** plutôt que **représentation**.

Christian Orange, en reprenant une partie des travaux de Jacob (1981), propose que l'élève construit sa conception en associant deux registres : celui des idées explicatives imaginées et celui des faits observés et des expériences. Ces deux registres sont explicités par Jean Louis Martinand en 1992 : - **le registre des faits observés et des expériences**, qu'Orange nomme « *registre empirique* » est ce que l'élève observe ou expérimente dans la vie quotidienne ; - **le registre des idées explicatives imaginées**, qu'Orange nomme « *registre des modèles et des nécessités* » est le registre « *des explications construites pour rendre compte des faits jugés pertinents pour le problème travaillé* » (Orange, 2012). A ces deux registres, Orange en ajoute un troisième : « *le registre explicatif* ». Il s'agit du registre des éléments allant de soi pour les élèves, une matrice à partir de laquelle ils expriment des explications. Alors, l'élève, pour proposer une solution à une question, met inconsciemment en tension les trois registres (empirique, modèles

et nécessités et explicatif), **il construit alors une conception**. Cette mise en tension a un caractère momentané, elle est fortement liée au contexte et au moment. La conception est donc une construction contextualisée. Alors la conception d'un élève n'est accessible que par la production d'un discours ou d'un écrit à un moment donné (Grize, 1998). L'élève produit, sous la forme d'un discours ou d'un écrit, à un moment donné, une réponse à la question posée par l'enseignant à partir d'éléments des trois registres. Nous n'avons donc accès qu'à une image de la conception fortement influencée par le contexte (Orange, 2005).

Dans les années 1970 et 1980, les travaux en didactique des sciences font remarquer que les erreurs de conception des élèves ont des caractéristiques particulières : elles sont le plus souvent des écarts par rapport aux savoirs, elles sont partagées, elles sont répandues, elles évoluent pour s'adapter sans devenir des savoirs pour autant. **Les erreurs de conception ne sont donc pas dues au hasard** (Astolfi, Peterfalvi, 1993).

2.2. Obstacles

Déjà, en 1938, Bachelard proposait que les erreurs de conception des élèves ont très souvent des liens avec les obstacles épistémologiques. Bachelard qui exprime qu' « *on connaît contre une connaissance antérieure* », définit l'idée d'obstacle comme principale difficulté pour la construction des connaissances scientifiques. Il définit la connaissance comme opposée à l'opinion : « *L'opinion pense mal ; elle ne pense pas : elle traduit des besoins en connaissances. [...] On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter* » (Bachelard, 1938). La conception erronée est donc une opinion qui empêche la construction de connaissances. Bachelard définit ainsi l'esprit scientifique comme un esprit en perpétuel questionnement, luttant contre l'émergence des opinions. L'obstacle épistémologique apparaît quand le questionnement évolue et, pour lutter contre l'opinion, les connaissances restent mais ne répondent plus au nouveau questionnement. Un décalage se crée entre les connaissances passées et le questionnement nouveau : ce que Bachelard nomme « *l'obstacle épistémologique* ». Pour Bachelard, la conception, quand elle est une opinion, est donc un obstacle pour les apprentissages nouveaux et cet obstacle empêche la remise en question de la conception. Elle devient résistante et empêche le perpétuel questionnement.

2.3. Situations ordinaires

La didactique propose, pour expliquer cette résistance, que « *les connaissances nouvelles sont seulement plaquées sur le savoir ancien sans le modifier. [...] Les représentations mentales de l'élève sont l'obstacle principal à l'enseignement des matières scientifiques* ». (Closset, 2002). Bachelard exprime cette idée de façon plus radicale. « *Les professeurs de sciences imaginent que l'esprit commence comme une leçon, qu'on peut toujours refaire une culture nonchalante en redoublant une classe, qu'on peut faire comprendre une démonstration en la répétant point pour point. Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées.* » (Bachelard, 1938). Donc l'enseignement, pour construire de nouvelles connaissances **doit travailler sur les conceptions des élèves**. Les situations d'apprentissages doivent engager vers un remplacement de l'opinion par la connaissance.

2.4. Première formulation des questions de recherche

Certaines conceptions, construites par les élèves à partir des registres empirique, explicatif et des modèles, sont résistantes à l'enseignement. Nous verrons dans l'étude préalable que c'est le cas des conceptions liées au phénomène des saisons. Elle deviennent des obstacles à la construction du savoir et les situations ordinaires ne permettent pas de les modifier chez tous les élèves.

Il s'agit donc, au cycle 3, d'étudier les conditions didactiques qui permettraient à un plus grand nombre d'élèves dans la classe de changer leurs conceptions qui résistent à l'enseignement pour construire des savoirs sur le phénomène des saisons.

3. Problème, modèles explicatifs et problématisation

3.1. Prise en charge du problème

Pour construire des connaissances, la situation doit amener les élèves à un travail sur leurs conceptions mais « *toute connaissance scientifique est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique.* » (Bachelard, 1938). C'est donc **à partir d'une question** que les conceptions vont évoluer.

Le problème et la question sont deux objets distincts : la question est posée par l'enseignant, sa formulation est un choix didactique. Elle doit assurer plusieurs fonctions : engager les élèves dans le problème et conduire à la connaissance visée.

Du grec *problema*, la pierre qui fait obstacle au passage, le concept de problème réunit des caractéristiques différentes qui le distinguent de la simple question. Il porte l'idée d'intention et de projet de résolution, il induit des recherches pour être résolu, en opposition à une tâche dont les procédures seraient déjà connues (Fabre, 2017). Il existe plusieurs types de problèmes, nous travaillons dans cette recherche sur des problèmes explicatifs, engageant les élèves à proposer des explications à un phénomène. Dewey propose que l'élève fera face à un problème seulement s'il projette une résolution possible qui induira des recherches de sa part entre un point de départ et un point final, **une enquête**. On peut découper le concept de problème en trois dimensions : la position du problème, la construction du problème, la résolution du problème. Il n'existe pas de chronologie dans ces dimensions, elles sont travaillées simultanément « *comme des orientations cognitives qui interfèrent* » (Fabre, 2017). Se construit alors dans la prise en charge de ses trois dimensions, la prise en charge du problème dans son ensemble et c'est de cette prise en charge que l'élève va identifier un certain nombre d'éléments qui vont lui permettre de construire un savoir nouveau.

L'idée de la problématisation prend alors forme, s'appuyant sur deux courants de pensée, celui de Dewey et celui de Bachelard, qui « *insistent [...] sur la construction des problèmes et pas seulement sur sa résolution* » pour accéder à un savoir nouveau (Fabre, 2005). C'est donc au professeur de travailler la question et **aux élèves de travailler le problème**, sa prise en charge va leur permettre de mettre en question leurs conceptions.

3.2. Exploration des possibles

La théorie de la problématisation propose donc qu'une « *activité intellectuelle importante* » se produit entre le problème « *perçu* » et la solution proposée (Orange, 2005). Orange propose que cette activité, entre le questionnement et la solution, amène à la construction d'un savoir, même si l'élève ne trouve pas la solution au questionnement. Cela rejoint l'idée que la

science est une activité de « *production de problèmes* » avant d'être une activité de « *résolution de problèmes* » (Bachelard, Popper). L'activité, entre question et résolution, peut prendre la forme d'une exploration des possibles, c'est à dire une exploration du champ des différentes solutions possibles à la question. Cette dimension de la problématisation va permettre de mettre en question les conceptions des élèves. Concrètement, pour répondre à une question, les élèves construisent un modèle, dans le registre des modèles, à partir de leurs conceptions en utilisant des éléments du registre empirique et du registre explicatif. Ainsi, la construction d'une explication nécessite de mettre en tension les trois registres. Dans le cadre de la problématisation, la discussion critique par les élèves des différents modèles qu'ils proposent va leur permettre de construire le savoir à apprendre.

Dans cette recherche, nous considérons que cette mise en question des modèles des élèves par eux même, a une grande importance pour accéder au savoir. En effet, c'est cette dimension de la problématisation qui permet le travail sur les conceptions. Travail nécessaire, comme nous l'avons vu dans le chapitre « conceptions », à la construction du savoir nouveau. Il nous semble donc important que **la situation permette la mise au travail de tous les modèles proposés par les élèves**, sans perte ni modification. Nous pensons que les activités de groupe, généralement mises en œuvre pour réduire le nombre des modèles proposés après le recueil de conceptions individuelles, altèrent certains modèles et, même, mettent de côté certaines conceptions. Ce processus de réduction du nombre des modèles peut être **un obstacle didactique aux apprentissages** de certains élèves. Il s'agit là du fondement de notre première hypothèse de recherche que nous formulerons dans le chapitre suivant.

3.3. Faits et nécessités du problème

Les connaissances scientifiques naissent historiquement de l'examen d'une question qui nécessite de quitter la recherche de la vérité pour aller vers la recherche de sens, avec l'idée que le doute aura une place centrale dans cette recherche (Deleuze, 1969). Dewey propose l'enquête comme expression de ce doute. Mais douter n'est possible qu'à partir de certitudes, ainsi il faudra limiter la recherche, l'enquête, en formulant les contours du problème pour ne pas avoir à douter de tout. Sans savoir lesquels à priori, **certaines éléments auront donc le**

statut de faits, éléments certains composant la dimension assertorique du problème (Bachelard, 1949). **D'autres éléments seront mis en doute**. A partir de cette idée, on peut comprendre que les démarches scientifiques dans la classe doivent se rapprocher de la construction historique des connaissances scientifiques. Dans ces démarches, « *il n'y a pas d'éléments qui soient certains ou douteux* » à priori mais plutôt des éléments qui sont « *en question* » pour identifier s'ils ont une dimension assertorique ou apodictique (Fabre, 2017). On limite donc le doute à la situation problématique. Les éléments peuvent changer de fonction, passer d'éléments douteux à éléments certains, c'est une des caractéristiques du progrès scientifique, « *la solution d'un problème (a) devient une certitude sur laquelle va se fonder un problème (b) et ainsi de suite.* » (Fabre, 2017).

Il s'agit donc, pour aider les élèves à problématiser, de les mettre dans des activités de doute par rapport à une question. Dans cette construction du problème, certains éléments ont une dimension assertorique : **les faits** sur lesquelles on peut s'appuyer pour construire d'autres éléments, apodictiques : **les nécessités** du problème.

Problématiser est donc une activité dans laquelle l'élève devra identifier **des faits**, éléments assertoriques du problème, simplement constatés et certains pour cette situation, et **des nécessités**, éléments apodictiques du problème, qui conditionnent les modèles proposés. Ces éléments assertoriques et apodictiques n'apparaissent pas de façon évidente, il s'agit de les construire. En s'appuyant sur les éléments apodictiques, l'élève pourra éliminer ou modifier certains modèles qui ne sont pas cohérents avec les nécessités du problème et, ainsi, mettre en question certaines de ces conceptions. Ces processus se font par la mise en question des modèles, une discussion au sein d'une communauté. Ainsi, « *problématiser c'est l'examen d'une question par une pensée articulant données et conditions du problème, dans un cadre déterminé* » (Fabre, 2017). Dans cette étude, nous retenons donc comme signe observable de l'activité de problématisation des élèves, **la formulation de faits et de nécessités liées au phénomène des saisons**, à l'oral et dans les écrits. Nous développerons les formulations attendues dans l'analyse à priori.

3.4. Textes de savoirs problématisés

Dans les années 1980, les programmes scolaires changent et le problème prend une place plus importante dans les activités à l'école. A la suite de ces changements, Meirieu propose des situations dans lesquelles les élèves sont amenés à prendre en charge des problèmes dans des dispositifs d'apprentissage où les connaissances visées sont les solutions optimales à ces situations, permettant ainsi de lever les obstacles par une mise en question des conceptions. Dans ces situations-problème, à l'image de situations adidactiques (Brousseau, 1998), la validation est interne et l'essai-erreur a une place importante dans la résolution de ces problèmes. Les élèves font des essais de solutions et la situation leur renvoie si ces essais sont corrects ou non. La formulation du savoir se fait à posteriori de la situation. Dans ces situations, la mise en texte est parfois problématique pour les élèves qui ne font pas toujours le lien entre le texte de savoir et les situations-problèmes travaillées en amont.

« *D'un point de vue épistémologique, la science [...] n'existe que parce qu'elle produit des textes.* » (Orange, 2005). En effet, ces textes sont inhérents à l'activité scientifique qui, pour être diffusée, transmise, analysée et critiquée doit être écrite. « *Un savoir ne sera vraiment scientifique que s'il est partagé, discuté et s'il peut servir de base à d'autres développements communicables* » (Fabre, Orange, 1997). La mise en texte du savoir scientifique est contraignante, elle ne peut décrire qu'une partie de l'activité scientifique (Rey, 2002), sa partie émergée. Les tâtonnements, les essais, les échecs, les conditions sont en partie occultés dans la mise en texte (Jaubert, Rebière, 2001). Il en est de même dans les textes de savoirs scolaires. A une leçon correspond un texte qui, en général, ne garde pas trace **du cheminement de la pensée et de l'activité scientifique de l'élève**. L'effet de transposition didactique du savoir savant vers le savoir scolaire accentue fortement ce phénomène (Chevallard, 1991). Par des processus complexes que nous ne développerons pas dans cette recherche, les textes de savoirs scolaires sont très souvent **des textes propositionnels** (Delbos, Jorion, 1990) que les élèves doivent apprendre pour réussir à l'école, c'est à dire « *une simple juxtaposition de propositions non logiquement connectées.* » (Orange, 2012). Ce type de texte n'est corrélé ni au problème posé, ni à l'enquête qui a permis sa formulation. Ils font peu référence aux obstacles, leur formulation est trop assertorique.

Pour pallier à ces phénomènes, Fabre et Orange proposent **que les textes de savoirs scolaires doivent intégrer une dimension apodictique**, prendre en compte les nécessités et le questionnement. Les textes de savoirs problématisés sont donc des textes qui décrivent des savoirs dépendant des problèmes (Bachelard, 1949) car il est illusoire de penser qu'il y a déconnexion entre savoir et problème (Dewey, 1993). Les textes de savoirs problématisés sont donc des textes gardant une dimension « *apodictique, organisés autour de la construction de nécessités* » (Chalak, 2012).

Dans cette perspective, les conditions didactiques que nous étudions dans cette recherche devront prendre en compte les contraintes de formulation des textes de savoirs scolaires développées précédemment. Il s'agit de mettre en place des situations permettant **à tous les élèves d'accéder à ce type de texte** et ceci pour construire des savoirs autour du phénomène des saisons.

3.5. Deuxième formulation des questions de recherche

Le savoir scientifique se construit donc en prenant en charge des problèmes à partir d'un questionnement. Pour un problème explicatif, les conceptions des élèves prennent la forme de modèles explicatifs. L'exploration de ces modèles, le champ des possibles, permet la mise au travail des conceptions. Mais pour lever les obstacles, il faut identifier le caractère apodictique et assertorique des éléments qui composent les modèles explicatifs proposés par les élèves : les faits et les nécessités du problème. La formulation du savoir doit garder trace de ces faits et de ces nécessités, il doit prendre la forme de textes de savoirs problématisés.

Il s'agit donc, au cycle 3, d'étudier les conditions didactiques qui permettraient à un plus grand nombre d'élèves d'identifier, à partir d'une question, les dimensions apodictiques et assertoriques du phénomène des saisons, à partir des modèles explicatifs proposés par la classe en vue de formuler un savoir gardant trace de la position, de la construction et de la résolution du problème.

4. Outils pour problématiser, débats et caricatures

4.1. Confrontation des modèles explicatifs

Vygotski dit que le développement mental, les apprentissages, sont une conséquence de l'éducation et que cette éducation est socialement médiatisée par un tiers, par autrui. Autrement dit, l'enfant n'apprend pas tout seul, **il apprend parce qu'il est dans un environnement, avec d'autres.**

L'élève qui, au travers d'une action ou par confrontation avec autrui, perçoit une contradiction entre sa conception d'une situation et « *la pression soit de la réalité, soit sociale, soit objective* » (Festinger, 1957) se trouve plongé dans un conflit que Piaget appelle « *le conflit cognitif* ». Festinger ajoute que « *l'inconfort que produit cette situation* », va « *tendre à modifier sa représentation afin de parvenir à une pensée plus cohérente.* » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, Toussaint, 1997). Berlyne décrit les stratégies possibles des élèves confrontés à un conflit de cette nature, l'une d'elles est une modification des éléments qui a causé le conflit, une modification des conceptions.

Même si ce conflit ne débouche pas obligatoirement sur une modification de la conception, **la création d'espace de conflits dans les situations didactiques proposées par l'enseignant peut permettre la construction de savoir.** Mais, comme Vygotski propose que l'apprentissage doit être social, les conflits cognitifs doivent être construits dans des interactions entre pairs, des espaces de conflit permettant alors la confrontation des conceptions, des modèles explicatifs de chacun. Ces interactions conflictuelles peuvent prendre plusieurs formes, entre élèves, entre élèves et professeur, dans la classe ou en petits groupes.

4.2. Effet Topaze

L'organisation en petits groupes ne permet pas la présence continue du professeur dans chaque groupe. Sans étayage, les élèves débattent en autonomie. Bruner s'intéresse à la façon dont les adultes « *organisent le monde pour l'enfant dans le but d'assurer sa réussite dans l'apprentissage des concepts* ». Il en déduit que l'enfant a besoin des interactions avec l'adulte pour construire des apprentissages, il appelle cette relation « *l'interaction de tutelle* », interaction nécessaire à l'enfant quand il est devant un problème qu'il ne sait pas résoudre,

interaction qui prend la forme d'une aide, d'un support. « *Ce système de support, fourni par l'adulte à travers le discours ou la communication plus généralement, est un peu comme un étiayage, à travers lequel l'adulte restreint la complexité de la tâche permettant à l'enfant de résoudre des problèmes qu'il ne peut accomplir seul.* ». Mais l'étiayage est difficile à maîtriser pour le professeur. Il ne doit pas prendre en charge le problème à la place des élèves, ce que Brousseau appelle l'effet Topaze (de la pièce de Marcel Pagnol). Le professeur aura tendance, parce qu'il doit respecter des contraintes pédagogiques, à aider les élèves en leur donnant des éléments importants du problème, assertoriques ou apodictiques, que les élèves auraient dû construire par eux-mêmes.

Ainsi, nous posons ici les fondements de notre deuxième hypothèse de recherche qui sera formulée dans le chapitre suivant. L'étiayage du professeur est certes nécessaire aux apprentissages mais celui-ci doit veiller constamment à **ne pas prendre en charge le problème à la place des élèves**. Le travail en petits groupes peut permettre de limiter les effets Topaze en réduisant la présence du professeur et donc ses étiayages. C'est donc un outil pour aider les élèves à problématiser, à prendre en charge le problème pour identifier les éléments assertoriques et apodictiques liés au phénomène des saisons.

4.3. Débats argumentatifs

Puisque c'est dans les interactions que les élèves vont confronter leur modèles, le langage a une fonction primordiale pour construire des connaissances. Les interactions langagières peuvent prendre des formes diverses. La forme argumentative des échanges a un rôle décisif dans les apprentissages en sciences (Popper, 1991). Les échanges argumentatifs lors des débats entre élèves vont permettre la construction du problème. En effet, dans les échanges, les élèves vont formuler des arguments pour critiquer les modèles explicatifs de la classe. Il s'agit de mettre en place des débats permettant la formulation de propositions et d'objections. **Ce processus participe au repérage des nécessités**. La construction du problème a lieu chez les élèves qui identifient et comprennent ces processus, ainsi les conceptions de l'élève évoluent quand le conflit socio-cognitif créé lors des débats lui font accéder à des nécessités du problème qu'il n'avait pas forcément imaginées, créant ainsi une nouvelle conception qui vient bousculer, remplacer ou modifier la conception initiale. **Ces**

ruptures donnent lieu à des changements conceptuels chez les élèves (Orange, Fabre, 1997) qui peuvent être classées en trois types distincts : le changement simple : « *la rupture a lieu entre savoir privé [...] et savoir scientifique* » ; le changement développemental : « *caractérise un changement de type de raisonnement qui exige lui-même l'adoption de nouvelles structures mentales* » et enfin le changement métaphysique : « *qui intervient entre deux systèmes explicatifs incommensurables* ». (Orange, Fabre, 1997).

Si les débats argumentatifs sont propices pour problématiser, alors tous les élèves devraient pouvoir y participer. Proposer un argument ou une objection n'est pas chose facile pour tous les élèves, certains éprouveront des difficultés à prendre la parole devant toute la classe surtout pour critiquer le modèle d'un autre élève. Les enjeux de pouvoirs ne sont pas à négliger aussi dans de petits groupes. Il s'agira donc de former des groupes pour limiter ces effets. Ce point nous permet de compléter notre deuxième hypothèse de recherche qui sera formulée au chapitre suivant. Le travail en petits groupes limitera les effets Topaze et va surtout favoriser les échanges argumentatifs entre élèves. Nous pensons que regrouper en petit groupe, les élèves ayant des difficultés à prendre la parole, leur permettra d'interagir plus facilement et ainsi entrer dans les processus de problématisation.

4.4. Analyse des caricatures

La situation doit permettre de s'engager dans les processus de problématisation, c'est à dire d'explorer des possibles et déterminer les faits et les nécessités du problème. Pour cela, le CREN (Centre de Recherche en Éducation de Nantes) a développé un outil, les caricatures (Orange, 2010). Une caricature est un « *prototype de modèle* » « *s'appuyant sur les productions des groupes* » d'élève. Elles représentent les différentes conceptions des élèves. Pour un problème spécifique, chaque caricature présentent un grand type de modèle explicatif et exagèrent certains traits sur lesquels se basent les nécessités afin de permettre aux élèves de les repérer. L'analyse des caricatures permet donc une exploration des possibles et une identification des nécessités. Dans la construction d'une séquence, les caricatures sont généralement construites à partir des modèles explicatifs de groupes d'élèves pour en limiter le nombre. Elles sont généralement retravaillées par l'enseignant et le chercheur. Dans ce processus, certaines conceptions d'élèves, souvent les plus éloignées du savoir

visé, peuvent disparaître de la situation ; notamment lors de la phase de travail en groupe où les élèves doivent faire des choix sur le modèle qu'ils vont proposer. En effet, lors des discussions de groupe, les élèves, qui doivent proposer un seul modèle commun, devront éliminer certains des modèles proposés. Ces modèles ne seront alors plus mis en question dans la suite la séquence sans garantie qu'il ait été discuté réellement.

Ce point détermine notre troisième hypothèse de recherche. Nous avons vu que pour construire des savoirs sur le phénomène des saisons, les élèves devront confronter leurs modèles pour identifier les dimensions apodictiques et assertoriques du problème. La confrontation des modèles permettra une exploration du champ des possibles, une mise en question des conceptions en vue de leur modification, condition nécessaire à la construction de nouvelles connaissances. Nous reformulons ici les fondements de la troisième hypothèse de recherche : **l'abandon ou la modification de certaines conceptions d'élève** dans le jeu didactique (travail de groupe, caricatures) pourra avoir des conséquences sur les apprentissages de ces élèves. Nous faisons donc le choix, comme condition didactique dans cette étude de garder l'ensemble des conceptions des élèves pour leur mise en question. Nous ne parlerons donc pas de caricatures mais de **conceptions conservées**. Les conceptions conservées gardent certaines caractéristiques des caricatures : dépersonnalisation et représentation schématique simplifiée, facilement compréhensible par les élèves.

De même que pour les conceptions, nous faisons le choix dans la construction de la séquence de garder tous les arguments proposés par les élèves pour leur mise en question. Il s'agira donc de conserver tous les arguments proposés par la classe lors d'une phase de travail en petits groupes et de les proposer à l'analyse dans la phase de travail suivante. Ce dispositif devrait permettre une mise en question de tous les arguments de la classe et un partage des arguments proposés dans chaque groupe. Les élèves devront choisir un argument parmi ceux de la classe pour valider ou invalider un modèle. Nous pensons que ce choix constituera une mise en tension entre : un modèle qui intègre une ou des nécessités ; et un argument qui sera probablement basé sur un ou des faits du domaine empirique.

4.5. Troisième formulation des questions de recherche

La confrontation des modèles explicatifs dans la classe permet donc d'identifier les conditions nécessaires pour que ces modèles soient cohérents avec les faits. Mais pour que cette confrontation soit effective, des interactions sont nécessaires et notamment entre élèves pour limiter les effets Topaze. Les interactions peuvent prendre la forme de débats argumentatifs permettant la critique des modèles explicatifs par des formulations d'arguments.

L'analyse des caricatures permet l'exploration des possibles et une identification des nécessités. Les caricatures sont un outil pour la production de textes de savoir problématisés mais, si elles sont construites à partir d'un travail en groupe, elles peuvent ne pas prendre en compte toutes les conceptions des élèves.

Il s'agit donc d'étudier dans quelles conditions didactiques les débats argumentatifs sur les conceptions conservées des élèves permettraient à un plus grand nombre d'élèves de formuler des textes de savoirs problématisés pour expliquer le phénomène des saisons.

4.6. Hypothèses de recherche

A partir des éléments développés précédemment, nous pouvons formuler les hypothèses de recherche que nous allons étudier :

- Les débats argumentatifs en petits groupes de quatre élèves limitera les effets Topaze et favorisera les interactions, permettant à un plus grand nombre d'élèves de formuler les nécessités du problème, à l'oral et dans des textes de savoirs problématisés.

- La mise en place de situations regroupant les élèves parlant peu en petits groupes favorisera les interactions entre ces élèves et leur permettra d'accéder aux processus de problématisation. Les groupes ne seront donc pas des groupes de conceptions homogènes mais des groupes constitués à partir de la capacité des élèves à participer à l'oral.

- Dans ces groupes, la mise en question, lors des phases de débats, de toutes les conceptions des élèves devrait permettre de les faire évoluer pour que tous les élèves accèdent à des savoirs problématisés. Il en est de même pour les arguments proposés pour justifier la validation des modèles..

Les conditions didactiques, évoquées dans la problématique et détaillées dans la formulation des hypothèses de recherche seront étudiées comme des variables. **Nous analyserons donc si le travail argumentatif des élèves sur toutes leurs conceptions et tous les arguments dans des petits groupes constitués en fonction de leur capacité à prendre la parole a des effets sur leurs apprentissages par problématisation de ces élèves.**

La constante observée dans cette étude est la construction du problème par tous les élèves surtout ceux des petits groupes parlant peu. Nous observerons le repérage des faits et des nécessités par les élèves et l'évolution de leur modèle explicatif du phénomène des saisons, depuis les premiers débats sur leurs conceptions jusqu'à la formulation des savoirs problématisés.

5. Méthodologie

5.1. Ingénierie didactique, situations forcées

Pour étudier les effets des conditions didactiques décrites précédemment sur les apprentissages autour du phénomène des saisons, nous utiliserons comme méthodologie de recherche les grands principes issus de l'ingénierie didactique (Artigue, 1990). La suite de cette recherche sera donc découpée en une analyse préalable, chapitre 5 de cette recherche, qui permettra d'identifier les obstacles historiques et épistémologiques au savoir étudié, de présenter des études antérieures et quelques résultats de l'enseignement ordinaire, notamment des données statistiques sur les conceptions qu'ont les élèves du phénomène à des échelles plus importantes que ce que permet cette recherche. Ces données nous permettront d'anticiper les réponses des élèves dans la phase de recueil des conceptions et de comparer leurs réponses aux conceptions généralement observées après un enseignement usuel du phénomène. Cette phase permettra aussi de justifier la résistance des conceptions des élèves à l'enseignement ordinaire. Dans un second temps, chapitre 6 de cette étude, nous présenterons, dans une analyse à priori, la construction du questionnement posé aux élèves et le scénario didactique détaillé de la séquence, construite à partir des hypothèses de recherche, avec l'objectif d'observer les effets des variables de commande sur les apprentissages. Nous présenterons aussi dans ce chapitre l'espace de contraintes et les formulations attendues des textes de savoirs problématisés : **l'espace de contraintes** pour identifier les faits et les nécessités attendus des

élèves et **la formulation des textes de savoirs problématisés** pour définir clairement les objectifs d'apprentissage pour les élèves. Dans ce même chapitre, nous détaillerons la construction des groupes d'interaction qui vont permettre de valider ou d'invalider nos hypothèses de recherche. Il s'agira donc, dans cette partie, de « *prévoir des champs de comportements possibles [...] et d'assurer que les comportements attendus, s'ils interviennent, résulteront bien de la mise en œuvre de la connaissance visée par l'apprentissage* » (Artigue, 1990). Le septième chapitre sera consacré à l'analyse à posteriori qui nous permettra, par l'étude détaillée de la séquence mise en place, de valider ou invalider les choix effectués sur les conditions didactiques décrites dans l'analyse à priori.

La méthodologie de recherche est donc basée sur l'ingénierie didactique mais la construction de la séquence d'enseignement décrite dans l'analyse à priori, emprunte beaucoup des aspects d'une séquence forcée (Orange, 2010). En effet, la séquence est construite pour améliorer les apprentissages résistants dans des situations ordinaires mais aussi pour provoquer des phénomènes observables par la recherche. « *Le but est d'explorer le champ didactique en y créant des phénomènes de façon à mieux comprendre le fonctionnement des apprentissages scolaires* » (Orange, 2010). La séquence prend en compte les caractéristiques de la classe, elle est construite à priori mais n'est pas figée car elle tient compte des conceptions des élèves. Par contre, elle n'est pas élaborée par une équipe mais par un seul enseignant, rédacteur de cette recherche, qui anime la situation et qui analysera à posteriori les processus de problématisation des élèves par comparaison avec l'analyse à priori (Artigue, 1990), et ceci à travers les productions écrites et orales des élèves (Grize, 1998).

« *Quiconque se propose d'étudier les mécanismes par lesquels la pensée élabore et organise la connaissance, doit nécessairement se pencher sur les productions qui manifestent son activité.* » (Grize, 1998). Dans cette perspective, **les textes de formulation du savoir (intermédiaires et finaux) demandés aux élèves seront toujours un travail individuel.**

Puisque nous étudions les conditions didactiques qui, dans les débats argumentatifs sur les conceptions conservées et les arguments de la classe, permettraient à un plus grand nombre d'élèves de formuler des textes de savoirs problématisés expliquant le phénomène des saisons, nous avons besoin d'outils d'analyse qu'il nous faut expliciter. Dans ce cadre, nous observons si nos

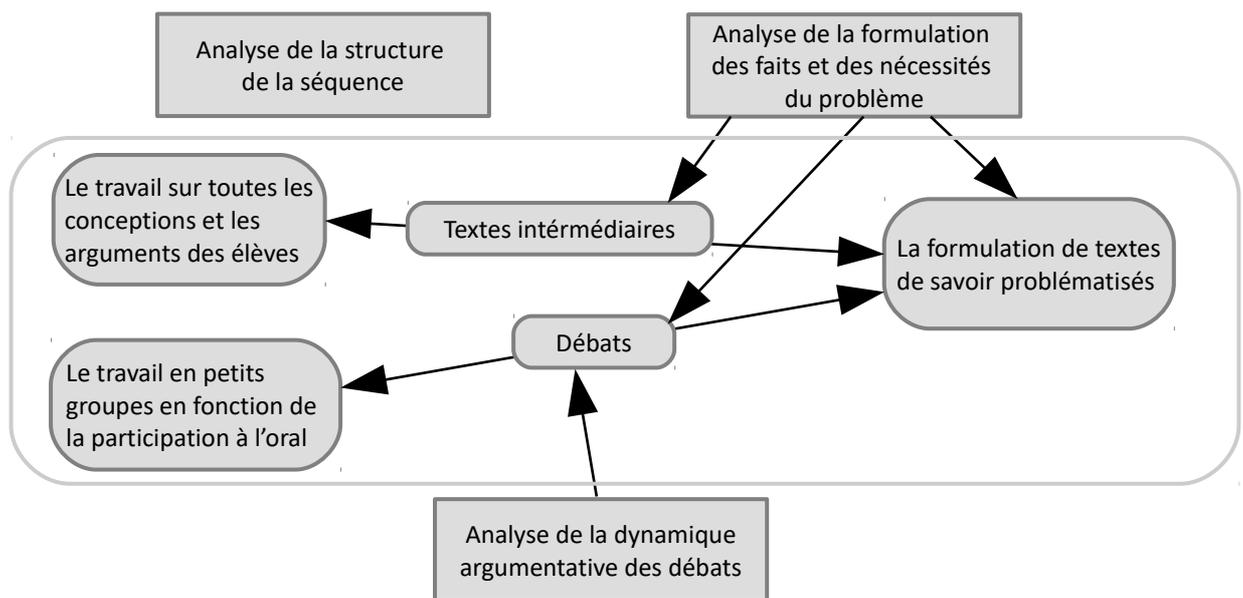
hypothèses, que sont la conservation de toutes les conceptions et de tous les arguments, et la formation de petits groupes en fonction de la capacité à participer à l'oral, ont des effets sur les apprentissages.

Nous utiliserons donc :

- Des outils permettant de détailler **la structure de la séquence** pour vérifier si celle-ci permet la prise en compte de toutes les conceptions et de tous les arguments et limite les effets Topaze.

- Des outils qui permettent d'observer **la dynamique argumentative** des débats en petits groupes de quatre élèves, formés à partir de la capacité à participer à l'oral, pour vérifier si ce dispositif didactique favorise les interactions.

- Des outils permettant d'analyser si un plus grand nombre d'élèves entrent dans **les processus de problématisation** en **formulant les éléments et les nécessités** du problème, à l'oral dans les débats et à l'écrit dans les textes intermédiaires et dans les textes de savoirs problématisés.



Schématization des outils utilisés pour l'analyse de la séquence et du travail des élèves.

La mise en relation des résultats de l'analyse effectuée avec ces différents outils nous permettra de formuler des conclusions sur les conditions didactiques mises en œuvre et de discuter sur la validité des résultats proposés dans le dernier chapitre de cette recherche.

5.2. Corpus étudié

Le corpus qui servira de base à l'analyse est constitué de la transcription des débats en petits groupes des élèves parlant peu, de tous les travaux écrits par tous les groupes et de tous les textes élaborés par les élèves individuellement. L'étude porte sur 2 classes de sixième de 19 et 20 élèves du collège Marcelle Baron à Héric. Chaque classe est partagée en 4 groupes de 4 élèves et 1 groupe de 3 élèves, soit, au total 39 élèves répartis en 10 groupes.

Le corpus est donc constitué de 39 conceptions, 39 textes de savoirs intermédiaires, 39 textes de savoirs problématisés, 39 écrits d'évaluation. Il est aussi constitué des 10 travaux de groupes de chaque phase de travail en groupe de la séquence et des 4 débats des groupes d'élèves parlant peu.

5.3. Outils d'analyse de la séquence

Pour étudier la structure globale de la séquence mise en place, nous reprenons les travaux de Tiberghien et son idée de synopsis (2007). Le synopsis est un outil de description des caractéristiques globales des activités de différents acteurs au niveau d'une séance. Mais comme nous étudions une séquence complète, nous reprenons une partie des travaux de Chalak (2012) pour mener une analyse de toute la séquence en utilisant le tableau qu'elle propose dans son travail de thèse.

Phase de la séquence	Organisation de la classe	Tâches réalisées par les élèves	Productions langagières	Forme des écrits	Nature des écrits	Auteur des écrits
Phase 1						
...						

Tableau 1. Modèle de tableau présentant le synopsis de la séquence.

Cet outil nous permettra d'identifier les relations entre les phases de la séquence (colonne1) et : - les textes produits par les élèves individuellement ; - les travaux écrits de groupes, - les débats des petits groupes (colonne 4, 5, 6 et 7). Nous pourrons observer comment le professeur intervient dans les processus de problématisation et si toutes les conceptions et tous les arguments sont pris en compte dans la séquence.

Les questions auxquelles nous essayons de répondre par cette partie de l'analyse sont : **La séquence permet-elle de prendre en compte toutes les**

conceptions et tous les arguments proposés par les élèves ? La séquence permet-elle de limiter les effets Topaze ?

Pour répondre à la première question, nous catégoriserons les modèles (conceptions), proposés par les élèves individuellement, en familles de modèles similaires sans perdre aucune conception. Ces familles de modèles similaires seront, ensuite, transformées en schématisations simples, dépersonnalisées mais sans exagérer les erreurs récurrentes. Nous présenterons la concordance entre les modèles proposés par les élèves et les schématisations dépersonnalisées dans un tableau. Il s'agira de vérifier que les travaux proposés couvrent bien toutes les conceptions.

Conceptions d'élèves	Modèles simplifiés dépersonnalisés proposés à l'analyse
C1 C2 C3	Modèles non héliocentriques
C4 C5 C6	Modèles héliocentriques ...

Tableau 2. Modèle de tableau présentant les liens entre les conceptions des élèves et les modèles simplifiés.

Les modèles simplifiés seront construits à partir des conceptions mais nous proposerons, dans l'analyse à priori, une première catégorisation des réponses attendues. Nous effectuerons le même travail pour les arguments proposés par les élèves.

Arguments d'élèves	Arguments proposés à l'analyse
A1 A2 A3	
A4 A5 A6	

Tableau 3. Modèle de tableau présentant les liens entre les arguments des élèves et les arguments reformulés proposés à l'analyse.

Pour répondre à la deuxième question concernant les effets Topaze, nous catégoriserons, dans les transcriptions des débats, les propositions en fonction de leur auteur. Nous pourrons comptabiliser le nombre d'interventions du professeur, étudier la nature de ces interventions pour vérifier si les effets Topaze sont limités dans la construction de la séquence.

5.4. Outils d'analyse de la dynamique argumentative

La dynamique argumentative peut être étudiée sous plusieurs aspects.

Pour savoir si le débat est argumentatif et si sa qualité argumentative est suffisante, nous analyserons les débats en les découpant en épisodes argumentatifs et en utilisant le modèle trilocal pour analyser la dynamique argumentative. Le modèle trilocal (Plantin, 1996) propose trois rôles dans un débat argumentatif : **le proposant** (qui propose des explications dans le cadre d'un problème scientifique), **l'opposant** (qui oppose des arguments aux explications du proposant) et **le tiers** qui « prend en charge la question » (émet des doutes, reprend les faits). On dira qu'un débat est riche du point de vue argumentatif si les élèves prennent ces différents rôles : Proposant, Opposant et Tiers. A ces trois rôles, nous ajoutons le rôle de **Passif** pour identifier les élèves qui, malgré la constitution de groupes favorisant les échanges, restent passifs.

Pour cette analyse de la dynamique argumentative, nous catégoriserons les propos d'élèves, dans les débats en petits groupes d'élèves parlant peu, en fonction du modèle de Plantin. Nous coderons les propos des élèves :

- qui proposent un modèle, un argument ou un fait pour valider ou invalider un modèle ou proposent qu'un modèle est vrai ou faux par la lettre P ;
- qui s'opposent à une proposition d'un autre élève par la lettre O ;
- qui rappellent le problème, le contexte, un fait du domaine empirique déjà évoqué ou une explication sur un modèle par la lettre T.

Proposition d'élève qui ...	Codage
Propose un modèle	P
Propose un argument ou un fait pour valider ou invalider un modèle	
Valide ou invalide un modèle	
S'oppose à une proposition d'élève	O
Rappelle le problème ou le contexte	T
Rappelle un fait déjà évoqué	
Rappelle une explication sur un modèle	

Tableau 4. Codage des propositions des élèves. Modèle de Plantin.

Cette catégorisation sera appliquée aux transcriptions des débats sous la forme :

Élève 1	1.	Propos 1	P
Élève 2	2.	Propos 2	O
Élève 3	3.	Propos 3	T
Élève 1	4.	Propos 4	T
Élève 3	5.	Propos 5	O

Tableau 5. Codage des transcriptions des débats.

Les épisodes argumentatifs seront identifiés par un changement de couleur (gris et blanc). A partir de ce travail de découpage et de catégorisation des propos d'élèves dans les débats, nous construirons, pour les débats des groupes d'élèves parlant peu, des tableaux permettant d'avoir une vision globale de la dynamique argumentative de chaque débat.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5
Proposant	Élève 1				
Opposant	Élève 2				
Tiers					
Passif					

Tableau 6. Modèle de tableau présentant les rôles pris par les élèves lors des différents épisodes des débats.

C'est dans ce tableau que nous identifierons les élèves qui restent passifs malgré les conditions didactiques mises en place dans cette séquence forcée. Cette partie de l'analyse a pour objectif de répondre à la question : **La dynamique des débats est-elle riche dans les groupes d'élèves parlant peu ?** L'objectif est d'observer si les conditions didactiques de formation des groupes a une influence sur la dynamique argumentative dans les groupes d'élèves parlant peu habituellement. Nous considérons que les débats sont riches si les rôles sont pris par, au moins, **trois des quatre élèves du groupe et au moins deux fois dans le débat**. Ce critère a un caractère arbitraire mais nous considérons, comme l'a décrit Plantin, que la dynamique argumentative est effective si les élèves participent au débat, si les rôles sont pris par des élèves différents et si les élèves prennent plusieurs fois le même rôle au cours du même débat.

A partir de ces tableaux, nous pourrions identifier **des épisodes argumentatifs dynamiques**, source de changements conceptuels chez les élèves. En effet, des épisodes dans lesquels nous observons les trois rôles pris

par des élèves différents seront considérés comme des épisodes dans lesquels le jeu des propositions et des oppositions pourront être source de ces changements. **Les épisodes seront donc qualifiés de dynamiques quand tous les rôles sont pris par au moins deux élèves.** Nous essayerons donc de répondre à la question : quels sont les épisodes des débats les plus dynamiques du point de vue argumentatif ?

Pour chaque débat et dans chaque groupe, nous construirons ensuite des tableaux pour identifier les élèves dynamiques dans l'argumentation et les élèves passifs dans l'argumentation au cours des débats.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5
Élève 1	P		P, O	P, O, T	P, T
Élève 2		P	P	P, T	P, O
Élève 3		P		O	
Élève 4			T	T	T

Tableau 7. Modèle de tableau les rôles pris par les élèves.

Nous considérerons qu'un élève est dynamique dans l'argumentation si il prend plusieurs fois tous les rôles (exemple : élève 1) et qu'un élève est passif dans l'argumentation s'il ne prend qu'un seul rôle (exemple : élève 4) ou s'il ne prend que deux rôles une seul fois (exemple : élève 3). Dans cette partie de l'analyse, nous essayons de répondre aux questions : **quels élèves sont dynamiques dans les débats, quels élèves sont passifs dans les débats ?** L'objectif de ce repérage sera, dans un second temps de l'analyse, d'identifier des liens potentiels entre le dynamisme des élèves dans les débats et la capacité à construire le problème, notamment à formuler des faits et des nécessités.

5.5. Outils d'analyse des processus de problématisation

Pour rendre compte des processus de problématisation des élèves, nous utiliserons un outil schématique de représentation de ces processus : l'espace de contraintes (Orange, 2005). Il s'agit d'une représentation schématique permettant de faire apparaître le cheminement de la pensée des élèves, l'évolution des modèles explicatifs, la mise en tension des faits et des nécessités du problème. Un espace de contraintes représente donc les trois registres qui permettent aux élèves de construire un modèle, une conception.

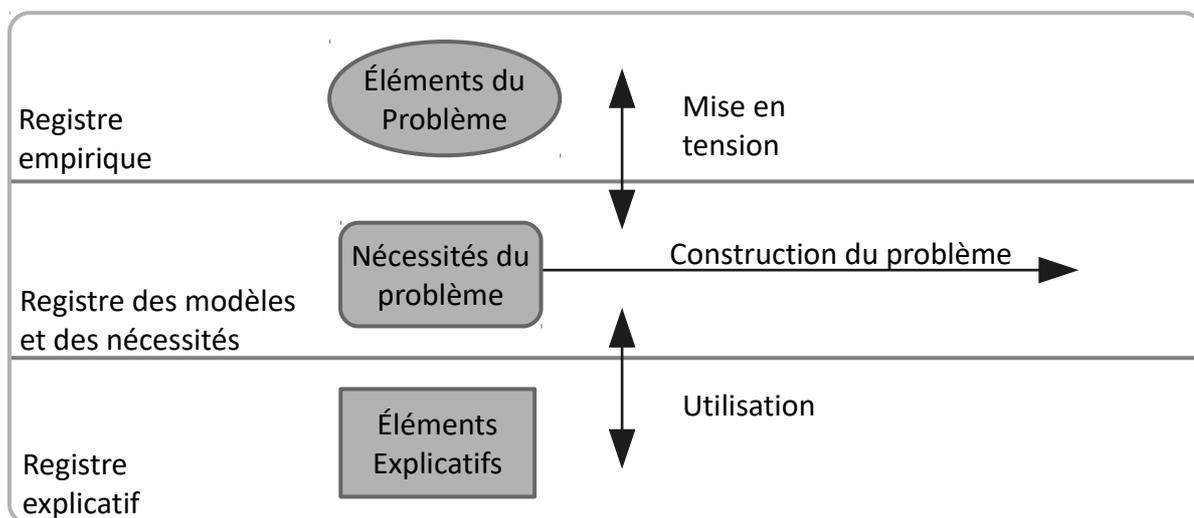
La question qui nous occupe dans cette partie de l'analyse est : **les modèles proposés par les élèves se rapprochent-ils du modèle héliocentrique prenant en compte la révolution de la Terre autour du Soleil et l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre par rapport au plan de l'elliptique?**

Pour répondre à cette question, nous utiliserons la même catégorisation des modèles proposés par les élèves que celle de l'analyse de la séquence. Il s'agira de reconnaître dans les modèles d'élèves, les grands types de modèles identifiés lors de l'analyse à priori.

Modèles non héliocentriques	Modèle élève 1 Modèle élève 3
Modèles héliocentriques ne prenant pas en compte la révolution de la Terre autour du Soleil	Modèle élève 2
Modèles héliocentriques prenant en compte la révolution de la Terre autour du Soleil	

Tableau 8. Tableau présentant une classification par grands types des modèles proposés par les élèves.

Une fois ce travail de catégorisation des modèles effectué, nous pourrons construire les espaces de contraintes pour visualiser les processus de problématisation. Cette analyse sera réalisée à chaque étape de la séquence pour observer si les modèles proposés par les élèves avancent vers le modèle théorique partagé par la communauté scientifique : un modèle héliocentrique prenant en compte la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil et l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre par rapport au plan de l'elliptique. Il nous semble intéressant, à ce stade de l'analyse, d'observer, du point de vue quantitatif, les changements de modèles opérés par les élèves au cours de la séquence. Nous pourrons alors estimer si un plus grand nombre d'élèves entrent dans des processus d'apprentissage par problématisation.



Espace de contrainte : schématisation du processus de problématisation (Orange, 2005).

L'outil décrit ci dessus permet une analyse sur les modèles proposés mais nous étudions aussi les formulations de textes de savoirs problématisés. Il nous faut donc des outils plus précis pour analyser la formulation des faits et des nécessités.

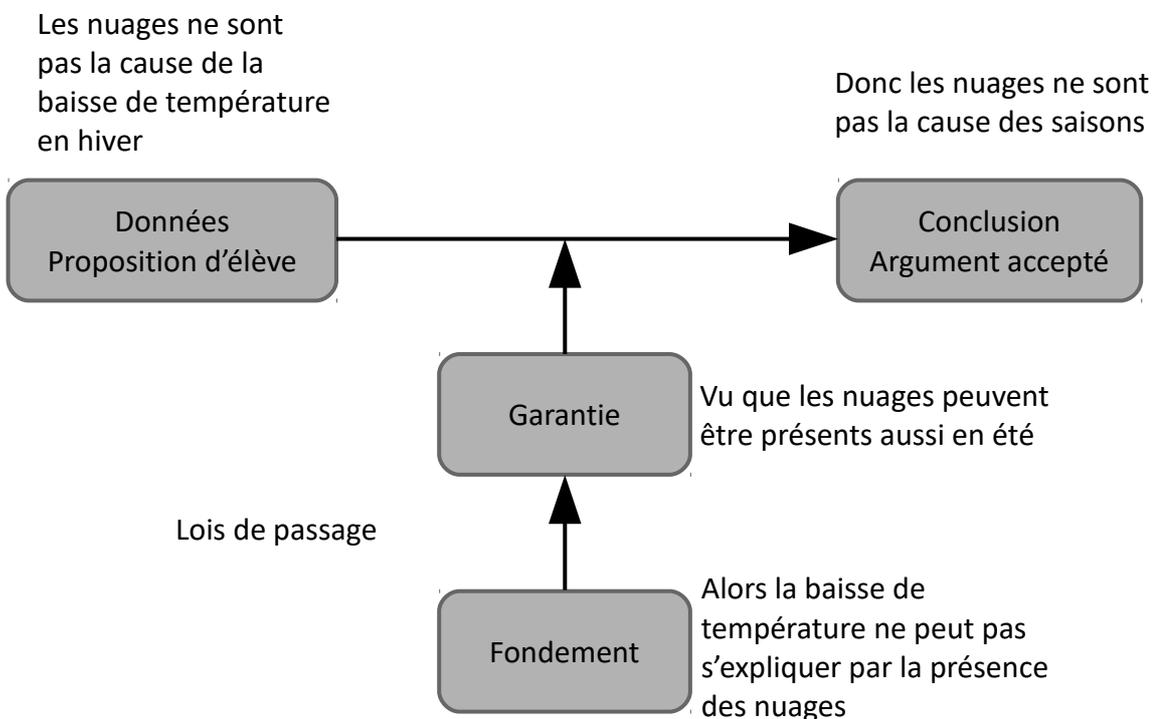
5.6. Outils d'analyse de la formulation des faits

Lors de certaines phases de la séquence, les élèves devront proposer des arguments pour valider ou invalider des modèles proposés par la classe. Nous pensons que ces arguments vont reprendre, en grande partie, les faits du domaine empirique. En effet, pour invalider certains modèles, les élèves vont utiliser leurs connaissances sur le Système Solaire et proposer des arguments qui seront probablement des faits : rotation et révolution de la Terre, variation de la distance Terre-Soleil, ... Il nous semble pertinent, pour décrire la qualité des arguments proposés par les élèves, d'observer le fondement de ces arguments. Pour cela, nous utiliserons le modèle de Toulmin (1961). Ce modèle, bien qu'imparfait (Golder, 1996, Brassart, 1990), permet d'identifier « *les lois de passage* » entre les « *données* » (propositions d'argument) et la « *conclusion* » (argument validé par le groupe, implicitement ou explicitement). Les lois de passage comportent « la garantie » et le « fondement » qui donnent sa validité à l'argument. Autrement dit, un argument d'élève basé sur une garantie peut passer du statut de proposition à celui de conclusion, c'est à dire devenir un argument accepté. Le fondement est souvent implicite chez les élèves, les autres élèves du groupe pouvant demander à ce qu'il soit explicité. Nous pouvons représenter ce passage par la schématisation ci-dessous.

Dans cette étude, nous utiliserons le terme « argument fondé » pour désigner une proposition argumentative d'élève dans laquelle les lois de passage sont formulées et basées sur des faits scientifiques admis. Mais, comme nous sommes au cycle 3, nous retiendrons aussi comme « argument fondé » des propositions dont le fondement n'est pas formulé de façon clairement explicite.

Exemple d'une formulation retenue comme « argument fondé » :

« *Le phénomène des saisons n'est pas lié aux nuages car il y a des nuages toute l'année.* »



Schématisation d'une argumentation avec son fondement et sa garantie selon Toulmin (1961).

Dans cet exemple, la proposition est incomplète car l'élève ne formule pas explicitement le fondement : *la baisse de température n'est pas lié à la présence de nuages*. Pour le cycle 3, elle sera tout de même considérée comme étant une proposition avec une argumentation fondée. Nous catégoriserons donc les arguments des élèves en trois familles :

- les arguments fondés, codés AF, qui se basent sur un fait du domaine empirique et dont la garantie est formulée même si le fondement n'est pas clairement explicite.

- les arguments fondés partiellement, codés AFP qui se basent sur un fait du domaine empirique mais dont la garantie n'est pas formulée explicitement ou les arguments se basant sur des faits que l'élève considère comme vrais à un moment donné de la séquence mais qui sont, en réalité, inexacts (par exemple, la distance Terre-Soleil plus faible en été peut être utilisée comme un fondement à un moment donné de la séquence puis invalidé dans la suite de la séquence).
- les arguments qui n'évoquent aucun fait (même inexact), codés ANF.
- Aucune argumentation, codée AA.

Dans cette partie de l'analyse, le choix est fait de prendre en compte des argumentations fondées sur des faits inexacts. Nous pensons que ce choix est cohérent avec les processus de problématisation car les élèves construisent les faits et leur exactitude au fur et à mesure de la séquence. Un fait peut être utilisé à un moment donné de la séquence et remis en cause dans une phase de travail ultérieure. C'est le cas, par exemple, de la distance Terre-Soleil plus faible en hiver. Nous présenterons ces analyses dans des tableaux regroupant les formulations de tous les groupes.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Fait du domaine empirique	AF	AFP	ANF	AA						

Tableau 9. Exemple de classification des faits dans les phases de travail en groupe.

Il s'agit, dans cette partie de l'analyse, de répondre à la question : **les arguments des élèves se basent-ils sur des faits du domaine empirique ?** L'objectif de ce travail d'analyse est de repérer si les faits du domaine empirique sont évoqués dans les écrits de groupes puis s'ils se retrouvent dans les écrits individuels. Il s'agit d'observer si les conditions didactiques mises en place dans la séquence ont des effets sur les processus de problématisation.

5.7. Outils d'analyse de la formulation des nécessités

Nous repérerons dans les débats et les écrits si les nécessités sont formulées en comparant les propositions des élèves avec la formulation théorique définie dans l'espace de contraintes de l'analyse à priori. Mais nous devons préciser les conditions d'attribution d'un statut de nécessité à une proposition d'élève. Pour cela, nous reprenons une partie des travaux de Lhoste, Peterfalvi, et

Orange en 2007 pour dire que « *les productions langagières des élèves relèvent généralement d'un syncrétisme entre les éléments* » du registre empirique (les faits) et du registre des modèles (celui où se construisent les nécessités) et que les raisonnements qui sous-tendent la construction des nécessités sont souvent implicites. Il est donc nécessaire, pour conférer le statut de nécessité à une proposition, d'identifier les types de raisonnement chez les élèves : « - *des raisonnements qui permettent de justifier une thèse par une conséquence inacceptable de son contraire ; - des raisonnements construits à partir d'un fait admis ou constaté pour en tirer une conclusion ; - des raisonnements par analogie* ». (Lhoste, Peterfalvi, Orange, 2007). Dans cette recherche, nous proposons, à partir des travaux mentionnés ci dessus, un classement des propositions des élèves en fonction de leur caractère apodictique. Le codage utilisé dans cette partie de l'analyse est la lettre F pour les nécessités formulées, les lettres FP pour les nécessités formulées partiellement et les lettres NF pour les nécessités non formulées.

Nécessité formulée et mise en tension avec un fait formulé du registre empirique	F
Nécessité formulée et construite par une démonstration à partir d'un contraire impossible	
Nécessité formulée et construite par une analogie avec une situation de la vie courante	
Nécessité formulée mais non construite explicitement (sans formulation du fait, de l'analogie ou du contraire)	FP
Nécessité au travail, formulée partiellement et/ou construite partiellement	
Proposition formulée mais non construite sur un raisonnement scientifique	NF
Autres propositions	

Tableau 10. Classification des formulations des nécessités.

Ce repérage nous permettra une identification plus aisée des nécessités du problème dans l'analyse des propos des élèves lors des débats mais aussi lors des écrits individuels. Il nous permettra également de suivre la progression des formulations au fur et à mesure de la séquence. Une nécessité pourra être au travail dans une première phase puis construite dans une phase ultérieure. La question à laquelle doit répondre cette partie de l'analyse est : **Quelles nécessités sont formulées et construites par les élèves ?** Comme pour l'analyse de la formulation des faits, l'objectif est d'observer si les conditions didactiques mises en place dans la séquence ont des effets sur les processus de problématisation mais du point de vue des nécessités.

5.8. Conclusion sur la méthodologie employée

Le tableau suivant reprend les outils utilisés pour l'analyse à posteriori, les questions auxquelles ces outils vont permettre de répondre et les catégorisations utilisées.

Éléments analysés	Question à laquelle l'analyse doit répondre	Catégorisation utilisée pour classer les propositions d'élève	Outils d'analyse utilisés
Scénario didactique de la séquence forcée	La séquence permet-elle de prendre en compte toutes les conceptions et tous les arguments proposés par les élèves ? La séquence permet-elle de limiter les effets Topaze ?	Catégorisation en fonction de la concordance des conceptions proposées par les élèves et des modèles schématiques simplifiés Catégorisation en fonction de la concordance des arguments des élèves et des arguments retenus pour l'analyse Auteur des interventions lors des débats	Synopsis de la séquence Vérification de la prise en compte de toutes les conceptions et de tous les modèles Nombre d'intervention du professeur
Modèles proposés par les élèves pour expliquer le phénomène des saisons	Les modèles proposés se rapprochent-ils du modèle héliocentrique prenant en compte la révolution et l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre ?	Catégorisation par types de modèles : non héliocentriques, héliocentriques prenant en compte ou non la révolution de la Terre autour du Soleil et l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre	Comparaison avec l'espace de contraintes théorique Placement des élèves dans la construction du problème sur l'espace de contraintes
Arguments proposés par les élèves pour valider ou invalider des modèles	Les arguments se basent-ils sur des faits du domaine empirique ?	Catégorisation en fonction du fondement des arguments	Modèle de Toulmin
Formulation des nécessités par les élèves	Quelles nécessités sont formulées et construites par les élèves ?	Catégorisation en fonction du caractère apodictique de la proposition	Travaux de Lhoste, Peterfalvi et Orange
Débats argumentatifs en petits groupes	La dynamique des débats est-elle riche dans les groupes d'élèves parlant peu ? Quels épisodes et quels élèves sont dynamiques dans les débats, quels élèves sont passifs dans les débats ?	Catégorisation : Proposant, Opposant, Tiers.	Modèle de Plantin

Tableau 11. Outils utilisés pour analyser les productions des élèves.

La mise en relation de ces analyses devrait permettre de formuler des conclusions qui répondent aux hypothèses de cette étude.

Hypothèses	Question à laquelle l'analyse doit répondre
Le travail sur toutes les conceptions et tous les arguments ...	La séquence permet-elle de prendre en compte toutes les conceptions et tous les arguments proposés par les élèves ?
... uniquement en petits groupes ...	La séquence permet-elle de limiter les effets Topaze ?
... constitués en fonction de la capacité à prendre la parole ...	La dynamique des débats est-elle riche dans les groupes d'élèves parlant peu ? Quels épisodes et quels élèves sont dynamiques dans les débats, quels élèves sont passifs dans les débats ?
... a des effets sur les apprentissages par problématisation de tous les élèves.	Les arguments se basent-ils sur des faits du domaine empirique ? Quelles nécessités sont formulées et construites par les élèves ? Les modèles proposés se rapprochent-ils du modèle héliocentrique prenant en compte la révolution et l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre ?

Tableau 12. Liens entre les hypothèses de recherche et les questions auxquelles doivent répondre les analyses.

6. Analyses préalables

6.1. Données statistiques

Pour justifier la résistance du phénomène des saisons aux enseignements, nous présentons une étude sur les conceptions qu'en ont les élèves du CM1 à la licence. Cette étude a été réalisée par Jean Luc Fouquet en 2010. Dans cette étude, Fouquet propose aux élèves de répondre en 30 minutes à la question suivante : « *Généralement, il fait plus chaud en été qu'en hiver : c'est le phénomène des saisons. À l'aide d'un crayon de papier et de crayons de couleur, sans écrire un mot, faire un ou plusieurs dessins qui expliquent ce phénomène.* »

Plus de 3 000 dessins ont été analysés, nous commentons quelques résultats pour justifier la résistance de ce concept aux enseignements et pour appréhender les conceptions les plus répandues sur le concept des saisons. Les principales erreurs de conception ont été classées dans le tableau suivant, en partant du modèle le plus juste vers les solutions les plus imprécises et les plus

éloignées de la réalité scientifique. Nous avons séparé dans l'étude les réponses des élèves du cycle 3 et les réponses des élèves des cycles supérieurs, après enseignement, pour obtenir une image des conceptions restantes après enseignement. Le concept est vu au cycle 3 et revu au cycle 4.

Au cycle 3, modèle explicatif présentant ...						
L'axe de rotation est incliné	La Terre plus proche du soleil en été	Une confusion avec le cycle jour-nuit	Un éclat variable du soleil	Des obstacles entre la Terre et le Soleil	Aucune réponse cohérente	Autres réponses erronées
2	19	4	5	13	5	18
3%	29%	6%	8%	20%	8%	27%

Tableau 13. Résultats de l'enquête de Fouquet sur les représentations autour du phénomène des saisons avant enseignement.

Avant son enseignement, nous remarquons que pour expliquer le phénomène des saisons, les élèves proposent des modèles variés. Les idées que la Terre est plus proche du Soleil en été, ou que l'hiver, des obstacles sont présents entre la Terre et le Soleil, sont répandues. 3 % des élèves proposent un modèle cohérent avec les faits (axe de la Terre incliné).

Après enseignement, modèle explicatif présentant ...						
L'axe de rotation est incliné	La Terre plus proche du soleil en été	Une confusion avec le cycle jour-nuit	Un éclat variable du soleil	Des obstacles entre la Terre et le Soleil	Aucune réponse cohérente	Autres réponses erronées
107	163	70	18	2	39	101
21%	33%	14%	4%	0%	8%	20%

Tableau 14. Résultats de l'enquête de Fouquet sur les représentations autour du phénomène des saisons après enseignement.

Après enseignement, sur les 500 élèves questionnés, 393 conceptions sont erronées, basées sur des connaissances fausses. 21 % des élèves proposent des modèles explicatifs cohérents. Certains modèles, les moins cohérents avant enseignement, sont moins répandus après enseignement (obstacles, éclat variable du Soleil). D'autres modèles, éloignés de la réalité scientifique mais plus cohérents, sont plus souvent proposés après enseignement (distance entre la Terre et le Soleil plus faible l'été, confusion avec le cycle jour-nuit).

Dans sa thèse sur l'enseignement du cycle des saisons, Eddy Masclat, en 2001, présente des résultats similaires sur les erreurs de conceptions pour expliquer le phénomène des saisons. Sur 557 élèves de l'enseignement supérieur interrogés sur ce phénomène, seulement 25 % proposent un modèle explicatif

cohérent basé sur l'inclinaison de l'axe de la Terre. Environ 50 % proposent un modèle où la Terre est plus proche du Soleil l'été que l'hiver.

De ces données statistiques, nous justifions que les apprentissages autour du phénomène du cycle des saisons sont bien résistants à l'enseignement proposé au cycle 3 et que beaucoup d'élèves restent avec des conceptions erronées de ce phénomène après enseignement. Nous anticipons aussi les réponses possibles des élèves, les modèles qu'il faudra invalider et les nécessités qu'il faudra construire.

6.2. Repères historiques et épistémologiques

Nous développons, dans cette partie, des repères historiques permettant d'établir un cadre épistémologique, forcément partiel, autour des concepts en jeu pour comprendre le cycle des saisons.

L'analyse épistémologique permet de mieux comprendre les obstacles rencontrés dans l'histoire et ceux que vont rencontrer les élèves et qu'il devront contourner pour accéder à une compréhension claire de ce concept. Notons que ce qui suit est la formulation successive de modèles explicatifs de plus en plus proches de la réalité. Ces modèles sont basés sur des nécessités dues à l'observation venant du registre empirique (celui des faits), ce qui conforte le cadre théorique employé dans cette étude.

Les données historiques présentées ci dessous sont partagées par une part importante des historiens travaillant sur le sujet mais certaines de ces données, notamment celles de l'époque grecque sont encore en discussion. Nous exposons ces données historiques pour comprendre les obstacles épistémologiques liés au concept étudié, il ne s'agit pas ici d'effectuer une étude historique détaillée. Les données sont tirées de *Histoire de l'astronomie* (Celinikier, 1986) et *Histoire générale des sciences* (Taton, 1957).

Les premiers textes établissant des connaissances liées à l'astronomie datent du II millénaire avant notre ère. Il s'agit de textes babyloniens décrivant les cycles lunaires et solaires. Au V siècle avant notre ère, l'école pythagoricienne fait l'hypothèse que la Terre est ronde. Hypothèse reprise par Platon au IV siècle avant notre ère, qui avance des arguments dans ce sens : la forme de l'ombre de la Terre lors d'une éclipse de lune est de forme circulaire et la hauteur des étoiles

par rapport à l'horizon varie avec la latitude. Héraclide du Pont, disciple de Platon propose dans le même siècle, que la Terre est en rotation sur elle-même. Aristote s'oppose à cette théorie et propose des arguments contre la rotation de la Terre : les objets ne tomberaient pas à la verticale et si la Terre tournait, le vent serait plus fort à sa surface. Aristote défend aussi à cette époque que la Terre est au centre des mouvements célestes, un système géocentrique. Au II^e siècle avant notre ère (entre -130 et -140 d'après les sources), Hipparque de Nicée découvre que l'axe de rotation de la Terre change lentement de direction, et d'après Ptolémée qui rapporte ses propos, il évoque que cette inclinaison pourrait expliquer les saisons sur Terre. Hipparque propose tout de même deux modèles explicatifs : soit le soleil est plus près de la Terre en été, soit l'axe de rotation de la Terre est incliné mais sans pour autant remettre en cause les théories géocentriques d'Aristote. Au III^e siècle avant notre ère, Ératosthène évalue l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre à 23°51'.

Au I^{er} siècle avant notre ère, Strabon donnera un argument supplémentaire pour justifier la sphéricité de la Terre : la coque d'un bateau qui s'éloigne disparaît avant le mât.

Les modèles développés par les scientifiques grecs sont déjà des modèles explicatifs cohérents avec l'observation des faits mais le manque d'appareils de mesure et d'observation précis empêchent les modèles les plus cohérents de s'imposer comme des théories scientifiques validées. Le modèle héliocentrique, bien que proposé par des scientifiques grecs, n'échappe pas à ce phénomène. Il faudra attendre le développement des appareils d'observation plus précis pour voir apparaître de véritables théories scientifiques partagées. Le modèle héliocentrique, nécessaire pour expliquer le phénomène des saisons, n'est pas un modèle évident, on peut même le considérer comme contre-intuitif. Il faudra plusieurs siècles et le développement des outils pour qu'il s'impose comme théorie scientifique validée. Nous risquons de retrouver chez les élèves ce type d'erreur de conception, fortement lié aux obstacles épistémologiques développés par Bachelard.

En 1543, Nicolas Copernic, s'inspirant de certaines théories arabes notamment celle de Ian al-Shatir, propose, dans un ouvrage intitulé *De revolutionibus orbium coelestium*, un système héliocentrique dans lequel la Terre

tourne sur elle même, deux phénomènes nécessaires pour expliquer le phénomène des saisons. En 1587, Tycho Brahe détermine, à la suite d'Ératosthène, un calcul plus précis de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre à $23^{\circ}30'$. Ce sont les travaux de Galilée et notamment ses perfectionnements des outils d'observation qui permettront par la suite de valider les modèles proposés par Copernic.

De ces données historiques, nous pouvons identifier des faits que les élèves devront reconstruire : la Terre est sphérique, elle est plus proche du Soleil l'hiver que l'été, il n'y a qu'un hiver et qu'un été par année, les températures varient entre été et hiver et les saisons sont en opposition entre hémisphères nord et sud. ; des nécessités avec lesquelles les modèles explicatifs proposés devront s'accorder : le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil et l'axe de la Terre est incliné par rapport au plan de l'elliptique.

Il est probable que le modèle héliocentrique ne soit pas partagé par tous les élèves et que des confusions entre le mouvement de rotation et de révolution de la Terre soient présentes dans les conceptions proposées.

7. Conception et analyse à priori

Pour répondre à nos questions de recherche et valider ou invalider nos hypothèses de recherche, nous allons concevoir une séquence d'enseignement, dite séquence forcée (Orange, 2010) qui prendra en compte l'activité des élèves au fur et à mesure de son déroulement. Le point de départ de cette séquence est une question posée par l'enseignant, de laquelle découleront tous les processus d'apprentissages par problématisation.

7.1. Construction de la question

La première intention dans cette étude était de poser le questionnement formulé comme suit : pourquoi y a-t-il des saisons ? Mais il s'est avéré que cette formulation donnait beaucoup de réponses sur les conséquences des saisons plutôt que sur les causes du phénomène. Les personnes interrogées (professeurs de disciplines non scientifiques) répondaient, par exemple, que les saisons sont nécessaires au cycle de vie des plantes. Il a été question ensuite d'insérer dans la formulation du problème des indices liés au champ des contraintes. Par exemple, « pourquoi sommes nous en hiver quand c'est l'été dans l'hémisphère sud ? » ou

« pourquoi fait-il plus froid l'hiver dans l'hémisphère nord alors que nous sommes plus proches du soleil ? ». Ces formulations n'ont finalement pas été retenues à cause de leurs conséquences sur la phase de recueil des conceptions : nous pensons qu'elles auraient demandé aux élèves d'intégrer dans leurs modèles des contraintes fortes, allant jusqu'à empêcher certains élèves de proposer un modèle. On aurait pu aussi demander pourquoi, aux pôles, il fait toujours jour l'été ou toujours nuit l'hiver. Ceci aurait permis aux élèves de formuler l'hypothèse que l'axe de rotation la Terre est incliné mais le lien avec le phénomène des saisons, objet d'étude de cette recherche, aurait été difficile à faire pour certains d'entre eux. Finalement, nous reprendrons les termes de la question posée dans l'étude de Fouquet : « *Généralement, il fait plus chaud en été qu'en hiver : c'est le phénomène des saisons. À l'aide d'un schéma et d'une phrase, expliquer le phénomène des saisons sur Terre.* » Cette question engage vers un problème explicatif (Orange, 2005), elle est basée sur une des nécessités du problème, la variation de température, observée et connue par tous les élèves.

Le choix d'introduire le problème du phénomène des saisons par la variation des températures entre été et hiver est discutable du point de vue scientifique. En effet, on ne peut pas dire qu'il fait toujours plus chaud l'été que l'hiver même si c'est globalement vrai. Le problème, alors, pourrait être introduit par la variation de durée des jours et des nuits car cette variation est un fait beaucoup plus stable que la variation des températures. Néanmoins, nous pensons que les élèves du cycle 3, s'approprièrent plus facilement la variation de température, observable facilement tous les ans et ressentie comme un fait.

7.2. Scénario didactique de la séquence

Nous rappelons que la séquence est construite pour répondre aux questions de recherche et valider ou invalider les hypothèses suivantes : le travail sur toutes les conceptions et tous les arguments des élèves, les débats uniquement en petits groupes et la constitution des groupes en fonction de la participation à l'oral des élèves favorisent la construction d'un savoir problématisé sur le phénomène des saisons. Les méthodes utilisées pour constituer les groupes sont explicitées dans le chapitre « constitution des groupes d'interaction ».

Les objectifs d'apprentissage de la séquence sont définis dans le B.O. de 2015 par « Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit, autour du Soleil et cycle des saisons). » Plus précisément, il s'agit que tous les élèves fassent un lien entre la révolution de la Terre, l'inclinaison de l'axe de la Terre et le cycle des saisons.

La séquence est une séquence forcée, tous les contenus ne sont pas définis à priori car certains vont être construits en fonction de l'activité des élèves.

Tout le travail se fait en petits groupes (les groupes sont les mêmes durant toute la séquence). Il n'y a pas de mise en commun collective durant la séquence. Seuls les phases de recueil des modèles se font individuellement pour mesurer la progression des élèves.

7.2.1. Phase 1

Le questionnement est proposé aux élèves. Il s'agit de recueillir leur **conception individuelle** du phénomène. Les conceptions sont ensuite analysées et tous les modèles sont conservés sous la forme d'un schéma dépersonnalisé. Nous prévoyons des modèles similaires à ceux présentés dans le chapitre « données statistiques ». Tous les modèles seront proposés à l'analyse.

7.2.2. Phase 2

Dans la construction d'une séquence forcée sur le modèle proposé par Christian Orange, des groupes homogènes sont ensuite formés, en fonction des conceptions, les élèves ayant les mêmes conceptions travaillant ensemble à l'élaboration d'une affiche puis chaque groupe présentant son affiche pour un débat en classe entière. Ensuite, les modèles sont proposés à l'analyse sous la forme de caricatures.

Ici, pour vérifier nos hypothèses, nous faisons un autre choix : la phase de travail en groupe n'est pas réalisée car nous pensons que ce dispositif didactique risque de faire disparaître certaines conceptions. Le débat en classe entière sur les modèles de groupe n'est pas réalisé car ces débats sont souvent fortement influencés par le professeur qui doit conduire les élèves vers les objectifs pédagogiques. L'effet Topaze risque donc de priver les élèves de la construction du problème.

Nous choisissons donc de conserver toutes les conceptions (sous la forme de modèles dépersonnalisés les prenant toute en compte) des élèves et de les proposer à l'analyse dans des petits groupes afin de limiter l'effet Topaze. Le professeur n'intervient pas dans les débats. Afin de favoriser les échanges et de permettre à tous de s'engager dans les processus de problématisation, les élèves sont regroupés en fonction de leur capacité à participer à l'oral. Ceux parlant peu travaillent ensemble. La phase 2 a pour objectif l'analyse des conceptions individuelles proposées par la classe. Elles sont séparées en deux groupes : **les conceptions simples**, ne nécessitant pas de connaissances nouvelles pour être analysées et **les conceptions complexes**, nécessitant un apport de connaissances nouvelles.

7.2.3. Phase 3

Les arguments proposés par les élèves lors de la phase 2 sont analysés, corrigés et légèrement simplifiés si besoin. Comme pour les conceptions de la phase 1, il s'agit d'utiliser les arguments des élèves comme base de réflexion pour la suite de la séquence. Tous les arguments sont donc conservés. Dans ce travail, les arguments sont mis en question et les élèves sont fortement impliqués dans les processus de problématisation. Les arguments sont donc proposés à l'analyse des petits groupes d'élèves sous la forme d'une liste. Dans un premier temps, les groupes doivent dire si, pour eux, ces arguments sont vrais (surlignés en vert), faux (surligné en rouge) ou si ils ne savent pas (sans surlignage). Un débat s'engage donc sur le fondement de certains arguments, ceux qui posent question. Dans un second temps, les petits groupes doivent relier un argument (surligné en vert) à un des modèles simples proposés par la classe lors de la phase 1. L'objectif de cette phase du travail est d'associer une argumentation à la validation ou l'invalidation d'un modèle. Comme l'argumentation se base sur des faits, les élèves doivent mettre en tension le registre des modèles et le registre empirique. Nous espérons, dans cette phase du travail, obtenir des formulations du type : « *le phénomène des saisons n'est pas lié à la présence des nuages en hiver car il y a des nuages aussi en été* » pour un modèle non validé et « *le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil car le cycle des saisons correspond au cycle de la révolution, il n'y a qu'un seul hiver par année* » pour un modèle validé.

7.2.4. Phase 4

Les élèves reprennent alors individuellement les formulations de la phase 3, élaborées avec leur groupe, pour formuler un texte de savoir problématisé intermédiaire.

7.2.5. Phase 5, 6 et 7

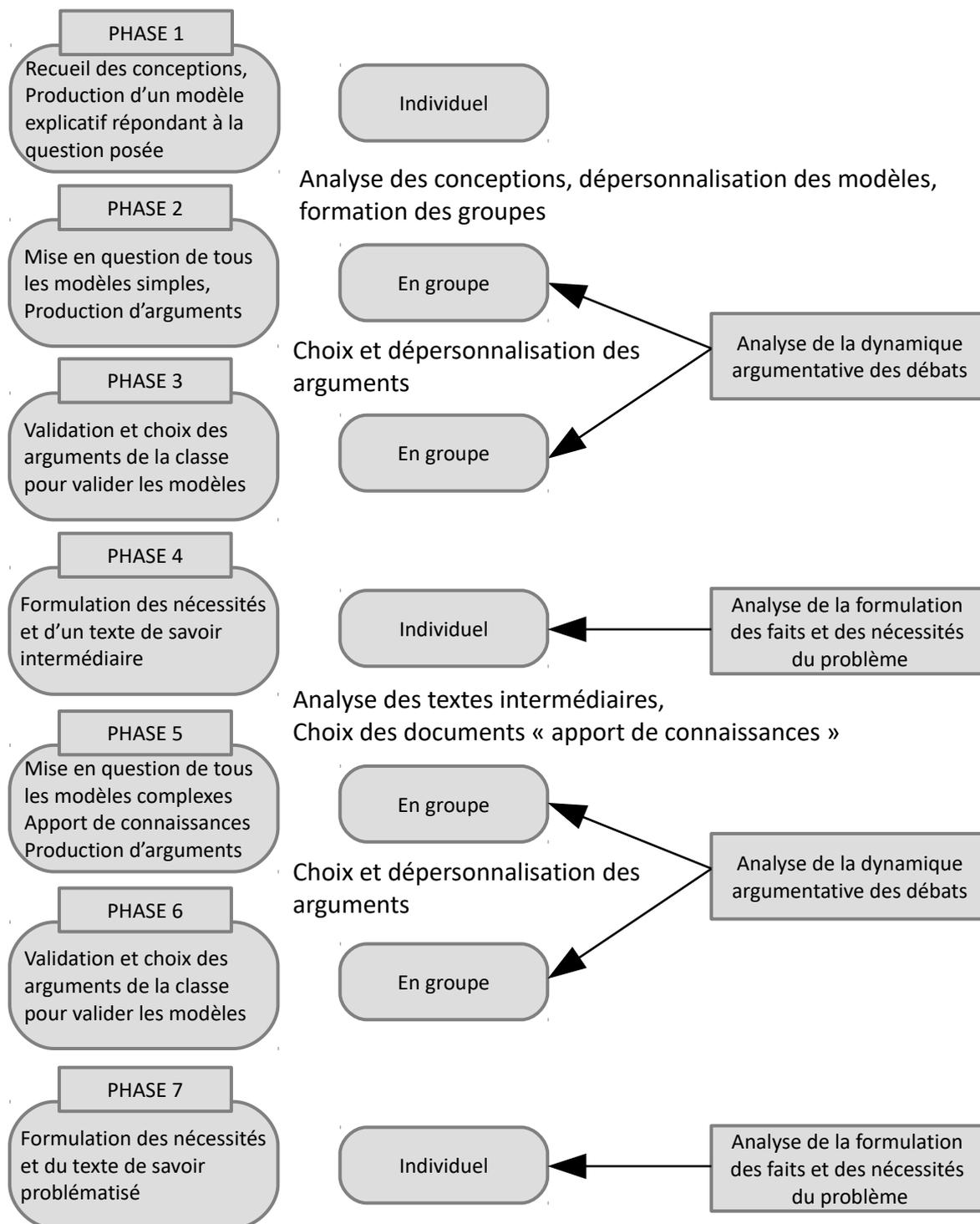
Pour les phases de travail 5, 6 et 7, il s'agit de recommencer le même travail que dans les phases 2, 3 et 4 mais avec les modèles complexes nécessitant un apport de connaissances. Ainsi, lors de la phase 5, les élèves disposeront de trois documents pour analyser les modèles complexes : un document indiquant la variation de la distance Terre-Soleil dans l'année, un document indiquant que l'éclat du Soleil peut être considéré comme une constante dans l'année et un dernier document indiquant que l'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport au plan de l'elliptique (les documents sont donnés en annexe 6).

Comme pour la phase 4, la phase 7 du travail a pour objectif de formuler individuellement le texte de savoir problématisé final.

7.2.6. Outils d'analyse

Les outils développés dans le chapitre « méthodologie » sont utilisés dans les différentes phases de la séquence. Les différentes phases de débats (2, 3, 4 et 5) sont analysés du point de vue de leur dynamique argumentative et de la formulation collective des faits et des nécessités. Les phases d'écrits individuels (1, 4 et 7) sont analysés par comparaison avec l'espace de contraintes théorique.

7.3. Représentation schématique de la séquence à priori



Schématisation de la structure de la séquence et des phases d'analyse.

7.4. Modèles, faits et nécessités du problème à priori

Nous avons déjà identifié, à travers l'analyse historique, que les élèves devront formuler, à partir de leurs connaissances antérieures, certains faits et certaines nécessités pour éliminer des modèles non cohérents. Mais d'autres modèles, pour être validés ou invalidés, nécessiteront un apport de connaissances nouvelles (distance Terre-Soleil, éclat constant du Soleil, opposition des saisons dans les deux hémisphères, inclinaison de l'axe). Puisque nous observons la construction du problème par tous les élèves, c'est à dire la formulation des faits et des nécessités du problème et l'exploration de modèles possibles expliquant le phénomène des saisons, nous prévoyons de classer les propositions d'élèves dans les écrits et dans les débats en utilisant la catégorisation décrite ci dessous. Cette catégorisation nous permettra de construire les modèles schématisés simplifiés et d'attribuer le statut de fait et de nécessité aux propos des élèves, comme décrit dans le chapitre méthodologie de cette étude. Pour cela, nous identifions, à priori, trois grandes catégories de propositions :

- **les modèles** : propositions d'élèves pour expliquer le phénomène des saisons que nous classons en sous catégories :
 - x Des modèles non héliocentriques,
 - x Des modèles héliocentriques mais qui ne prennent pas en compte la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons :
 - Le vent fait baisser la température en hiver
 - La face éclairée de la Terre est en été, l'autre face en hiver
 - x Des modèles héliocentriques qui prennent en compte la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons :
 - La distance Terre Soleil est plus faible en été
 - L'éclat du Soleil est plus faible en hiver
 - La Lune cache la lumière du Soleil l'hiver
 - Les nuages cachent le soleil en hiver
 - L'axe de la Terre est incliné

- **les faits** : éléments observables ou connus par les élèves ou à construire :
 - x les mouvements : rotation et révolution de la Terre
 - x les périodicités et les durées des cycles
 - x les distances : Terre-Soleil
 - x la variation de la constante solaire
 - x l'opposition des saisons entre les deux hémisphères
 - x la présence ou non d'obstacles : Lune, nuages, ...

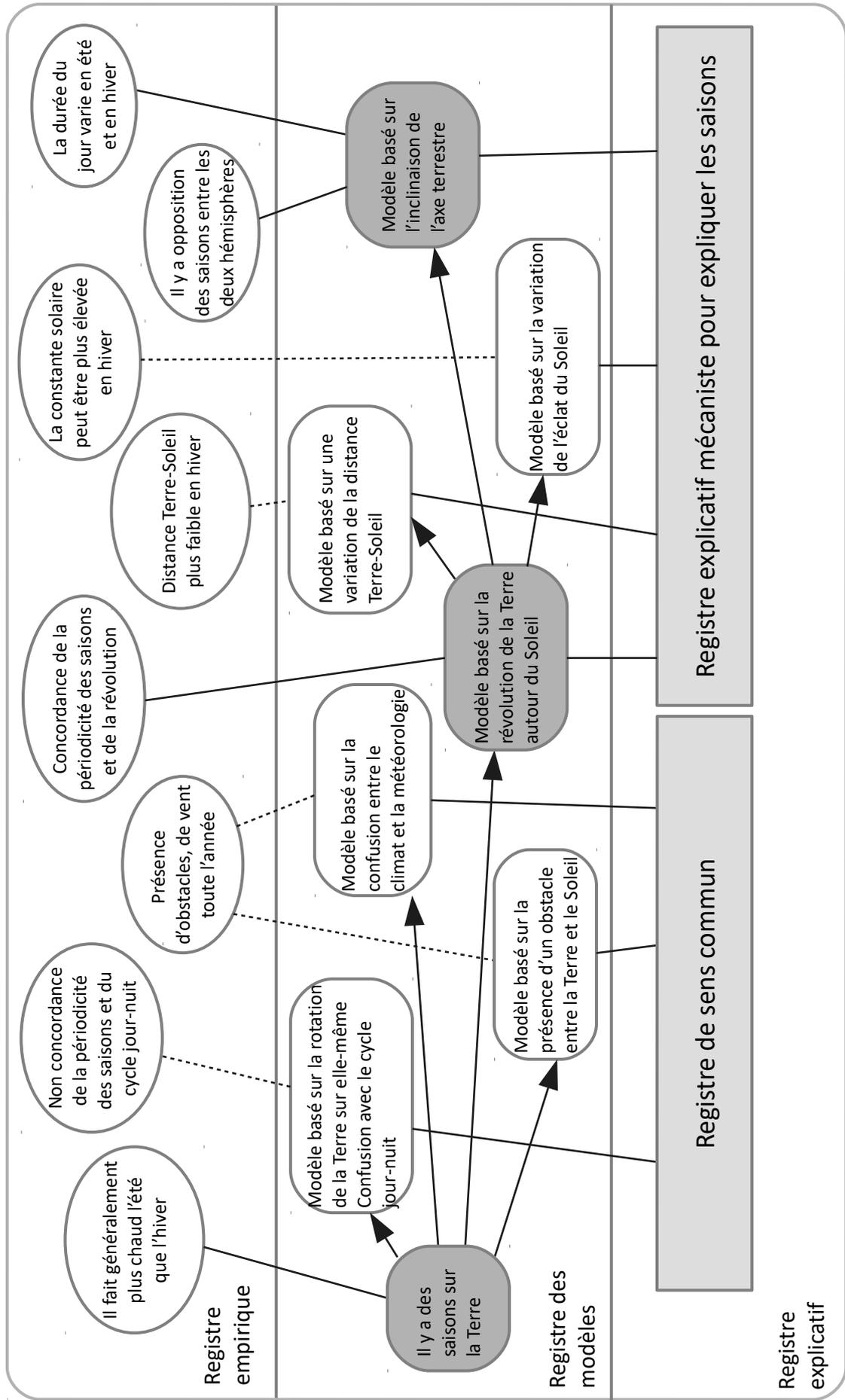
- **les nécessités** : éléments nécessaires et conditions de possibilité pour construire un modèle cohérent :
 - x la révolution de la Terre autour du Soleil.
 - x l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'elliptique.

De cette catégorisation des propositions d'élèves, nous pouvons construire un espace de contraintes à partir des catégories envisagées. Nous précisons qu'il s'agit d'un espace de contraintes théorique à priori. Cette représentation intègre les modèles cohérents sur lesquels se construisent les trois nécessités du problème (en gris) mais aussi les modèles incohérents (en blanc) et les faits associés pour invalider ces modèles. Nous précisons également que le fait « variation de la durée des jours » ne sera pas mis en question dans la séquence forcée.

- Modèles proposés non cohérents
- Modèles proposés cohérents construits à partir d'une nécessité

- Mise en tension d'un fait et d'une nécessité du problème
- Mise en tension d'un argument et d'un modèle en vue de l'invalider

Légende de l'espace de contraintes



Espace de contraintes à priori. Construction du phénomène des saisons avec prise en compte des modèles incohérents.

7.5. Formulation du savoir problématisé

La formulation du texte de savoir, trace écrite constituant le savoir peut être rédigé à priori. Il doit contenir des traces de la problématisation, c'est à dire, une formulation des faits et des nécessités du problème.

Comme la Terre est sphérique et que son axe de rotation est incliné, les rayons de soleil arrivent inclinés sur la surface de la Terre. L'hiver, les rayons sont plus inclinés que l'été, il fait donc plus froid car l'énergie des rayons du Soleil est moins concentrée. En juin, la Terre a son hémisphère nord moins incliné que son hémisphère sud, c'est donc l'été en France et l'hiver en Australie. Après une demie révolution autour du Soleil, en décembre, c'est l'été en Australie et l'hiver en France. L'hiver, il n'y a pas d'obstacles entre la Terre et le Soleil, le Soleil brille globalement avec la même énergie que l'été et la distance entre la Terre et le Soleil varie trop légèrement pour expliquer le phénomène des saisons.

Nous reprenons une partie des travaux de Hanaà Chalak qui, dans sa thèse et dans un autre contexte, présente le savoir problématisé dans un tableau.

Pour expliquer les saisons, il faut		
Des températures plus élevées en été qu'en hiver.	Un seul hiver et un seul été par année.	Une opposition des saisons entre les deux hémisphères et une variation de la durée du jour
Les rayons du Soleil arrive avec une inclinaison différente en été et en hiver.	La Terre tourne autour du Soleil en une année, c'est la révolution. Les saisons se produisent lors de cette révolution. L'été à un moment donnée, l'hiver une demie révolution plus tard.	L'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport au plan de l'elliptique. L'inclinaison des rayons du Soleil n'est pas la même dans l'hémisphère nord et sud. C'est l'été dans l'hémisphère sud quand c'est l'hiver dans l'hémisphère sud. L'hémisphère nord est éclairé plus longtemps en été qu'en hiver.

Tableau 15. Formulation théorique du savoir problématisé.

A partir de ce tableau, nous proposerons aux élèves une rédaction des textes de savoirs problématisés en séparant les éléments : ceux liés au phénomène des saisons et ceux qui ne sont pas liés.

7.6. Constitution des groupes d'interaction

Dans les deux classes, les groupes sont constitués en fonction de deux critères : la capacité à prendre la parole en grand groupe et les résultats obtenus dans l'évaluation des compétences au premier semestre. La capacité à prendre la parole est évaluée à partir des activités réalisées sur les quatre premiers mois de l'année. La compétence « participer à l'oral » sert de référence pour constituer les groupes. Nous formons cinq groupes, homogènes du point de vue des résultats scolaires et regroupant les élèves prenant habituellement peu la parole devant la classe (à gauche dans le tableau).

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
G1-E1	G2-E1	3 élèves	4 élèves	4 élèves
G1-E2	G2-E2			
G1-E3	G2-E3			
G1-E4	G2-E4			

Tableau 16. Groupes de la classe 1

Groupe 6	Groupe 7	Groupe 8	Groupe 9	Groupe 10
G6-E1	G7-E1	4 élèves	4 élèves	4 élèves
G6-E2	G7-E2			
G6-E3	G7-E3			
G6-E4	G7-E4			

Tableau 17. Groupe de la classe 2

Les groupes 1, 2, 6, 7 sont composés des élèves parlant peu lors des interactions en classe entière. Nous suivrons particulièrement leurs échanges dans les différentes phases de débat de la séquence.

8. Analyse à posteriori

Pour étudier nos hypothèses de recherche, nous détaillons, dans ce chapitre, les résultats des différentes phases de travail de la séquence et une analyse de ces résultats à plusieurs niveaux. Une analyse, d'abord générale, de la séquence, puis plus précise en entrant : dans la construction du problème par les élèves, et encore plus approfondie par l'étude des interactions dans les groupes et enfin, en analysant les liens entre les interactions dans les groupes et les apprentissages individuels des élèves. Pour répondre à notre problématique de recherche, nous suivrons plus particulièrement les élèves des groupes parlant peu (groupe 1, 2, 6 et 7).

Nous proposons donc une analyse en quatre niveaux :

- Un niveau d'analyse global de la construction réelle de la séquence à posteriori. La séquence n'étant pas figée à priori, cette analyse générale a pour objectif de détailler les différentes phases du travail réellement mis en place pour vérifier que les effets Topaze sont limités et que le travail sur toutes les conceptions et tous les arguments des élèves a bien eu lieu. Ce niveau d'analyse est plutôt descriptif. Nous utilisons le synopsis comme outil de description.

- Un niveau d'analyse global de suivi de la construction du problème par tous les élèves et plus particulièrement les élèves des groupes participant peu à l'oral. L'objectif est d'observer si les conditions didactiques mises en place ont bien un effet sur les apprentissages de tous les élèves. Dans cette partie, nous analyserons l'évolution des modèles explicatifs proposés dans les écrits individuels, au fur et à mesure de la séquence. Par comparaison avec les modèles théoriques définis dans l'espace de contraintes à priori, nous essayerons de placer les élèves en fonction de leur progrès dans la construction du problème. Nous utiliserons la catégorisation des modèles décrite dans le chapitre « méthodologie » et reprise dans le chapitre « analyse à priori ». Mais cette catégorisation n'est pas figée, elle est construite à partir des propositions d'élèves classées par type de modèle.

- Un niveau d'analyse dans les groupes d'élèves parlant peu, centré sur les écrits. L'objectif est, par une analyse plus fine du travail, de comprendre comment les nécessités et les faits se construisent. Par comparaison avec l'espace de

contraintes théorique, nous regarderons si les formulations se rapprochent de la formulation attendue des faits et des nécessités. Ce niveau d'analyse a pour objectif d'étudier l'évolution de la formulation des faits et des nécessités dans les groupes afin de mesurer les impacts des conditions didactiques mises en place sur ce travail. Pour cette analyse, nous utiliserons les catégorisations des formulations des faits et des nécessités décrites dans le chapitre « méthodologie ».

- Un niveau d'analyse dans les groupes d'élèves parlant peu centré sur les débats. Ce niveau a pour objectif d'observer si les choix de constitution des groupes ont des effets sur les apprentissages de certains élèves ciblés. Nous analyserons si la dynamique des interactions a une influence sur la formulation des faits et des nécessités du problème. Plus précisément, il s'agit de valider ou invalider les liens hypothétiques entre la dynamique de groupe et d'éventuels changements conceptuels chez les élèves, changements que l'on pourrait retrouver dans leurs écrits individuels. Pour cela, nous utiliserons les outils d'analyse de la dynamique argumentative décrits dans le chapitre « méthodologie ».

8.1. Analyse globale de la séquence à posteriori

L'objectif de cette analyse est de vérifier que la séquence réellement mise en place est en accord avec les conditions didactiques décrites dans les hypothèses de recherche et notamment si la séquence limite réellement les effets Topaze, favorise les interactions dans les groupes, permet la mise en question de toutes les conceptions et de tous les arguments des élèves. L'analyse du travail de chaque élève sera effectué dans le chapitre suivant.

8.1.1. Construction de la phase 1

Nous rappelons la formulation de la question posée aux élèves : « Généralement, il fait plus chaud en été qu'en hiver, c'est le phénomène des saisons. A l'aide d'un schéma et d'une phrase, expliquer le phénomène des saisons sur Terre ». Nous nous intéressons, ici, aux réponses que les élèves font à ce questionnement. Les élèves ont proposé des modèles que nous pouvons catégoriser de la manière suivante :

- Des modèles non héliocentriques,

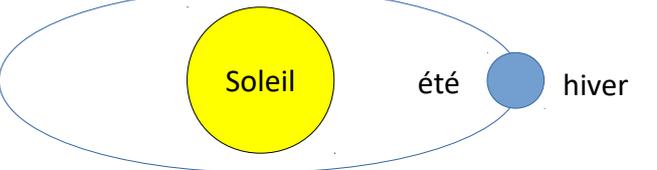
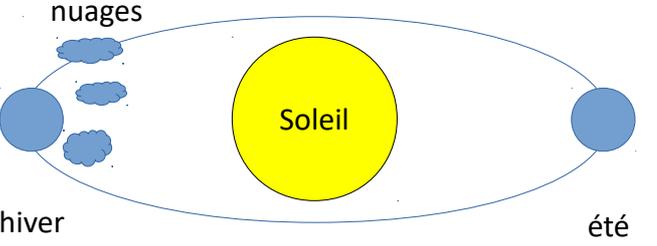
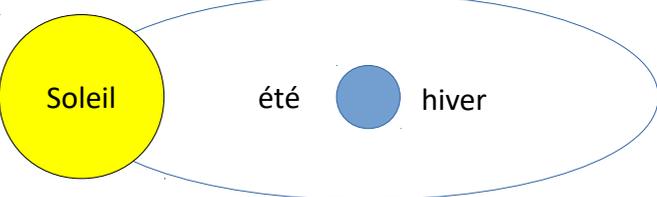
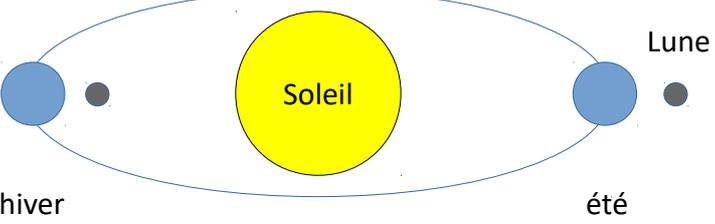
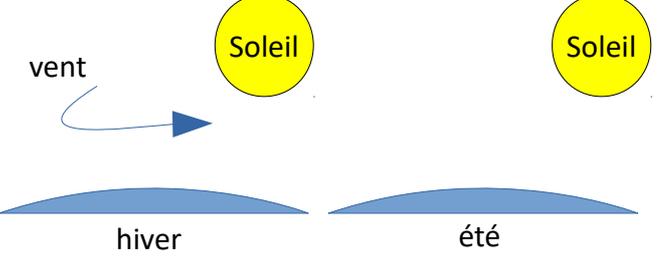
- Des modèles héliocentriques mais qui ne prennent pas en compte la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons :
 - Le vent fait baisser la température en hiver
 - La face éclairée de la Terre est en été, l'autre face en hiver
- Des modèles héliocentriques qui prennent en compte la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons :
 - La distance Terre Soleil est plus faible en été
 - L'éclat du Soleil est plus faible en hiver
 - La Lune cache la lumière du Soleil l'hiver
 - Les nuages cachent le soleil en hiver
 - L'axe de la Terre est incliné

Notons que, parmi les modèles liés à la révolution de la Terre, certaines conceptions ne mentionnent pas explicitement ce mouvement et que certains élèves proposent que le Soleil tourne autour de la Terre.

Nous nous rendons compte que les modèles proposés par les élèves contiennent l'ensemble des nécessités repérées dans l'analyse à priori.

Les conceptions originales des élèves sont données en annexe 1.

Cette catégorisation prend en compte les conceptions de tous les élèves et aucun modèle n'est écarté. La catégorisation proposée ci dessus sera utilisée dans les deux phases d'analyse qui suivent. Elle servira à suivre l'évolution des modèles proposés par les élèves au cours de la séquence. A partir de cette catégorisation, nous construisons les modèles schématiques simplifiés et dépersonnalisés reprenant l'ensemble des conceptions des élèves.

Conceptions des élèves	Modèles simplifiés dépersonnalisés proposés à l'analyse
G1-E4 G2-E3	
G2-E4 G6-E1 G7-E2 G7-E3 G7-E4	
G1-E3	
G6-E4	
	

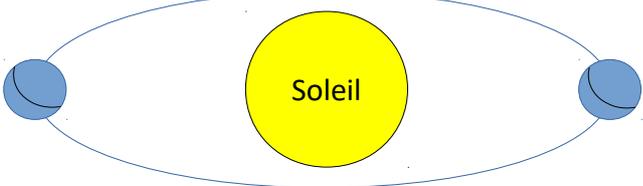
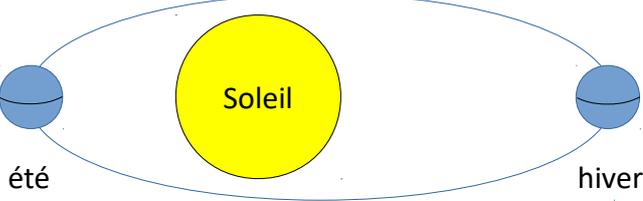
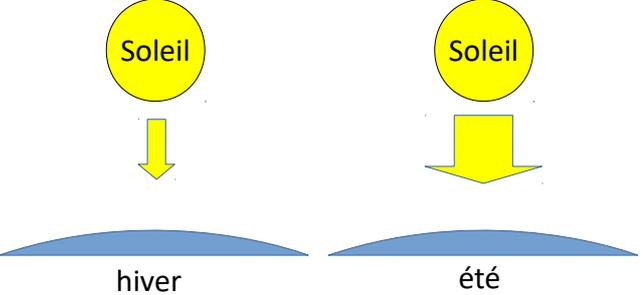
Conceptions des élèves	Modèles simplifiés dépersonnalisés proposés à l'analyse
	 <p data-bbox="616 412 983 488">Été dans l'hémisphère nord Hiver dans l'hémisphère sud</p> <p data-bbox="1038 412 1426 488">Hiver dans l'hémisphère nord Été dans l'hémisphère sud</p>
G1-E2 G2-E2 G6-E2 G6-E3 G7-E1	 <p data-bbox="616 723 667 757">été</p> <p data-bbox="1190 723 1259 757">hiver</p>
G1-E1 G2-E1	 <p data-bbox="730 1048 799 1081">hiver</p> <p data-bbox="1070 1048 1121 1081">été</p>

Tableau 18. Relation entre les conceptions proposées par les élèves des groupes 1,, 2, 6 et 7 et les modèles simplifiés et schématisés proposés à l'analyse.

8.1.2. Construction de la phase 2 : modèles simples

A partir de l'analyse de ces conceptions, il apparaît que la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil a un rôle central dans la construction de ce problème. Les élèves devront d'abord comprendre et formuler cette nécessité. A partir de ce constat, nous décidons de travailler en deux temps distincts. Le premier temps de travail a pour objectif de construire la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil par tous les élèves. Pour cela, nous proposons aux élèves, comme phase 2 de la séquence, l'analyse des conceptions que nous nommons des **conceptions simples**, c'est à dire des conceptions que les élèves peuvent analyser à partir des connaissances qu'ils ont déjà. En effet, certaines conceptions peuvent être validées ou invalidées par le groupe à partir d'une argumentation se basant sur des connaissances vues aux cycles précédents et admises comme maîtrisées par une majorité des élèves. Dans cette phase de travail, il s'agit d'identifier que les saisons sont dues à la révolution de la Terre

autour du Soleil et que les obstacles et le vent ne peuvent expliquer le phénomène.

Dans un deuxième temps, nous travaillerons les conceptions restantes , plus complexes, nécessitant l'apport de connaissances nouvelles pour pouvoir être validées ou invalidées lors d'un débat en petit groupe.

Comme défini dans les chapitres « méthodologie » et « analyse à priori », nous construisons des modèles schématiques simplifiés et dépersonnalisés reprenant toutes les conceptions d'élèves. Ces modèles sont présentés dans un tableau comprenant des colonnes « j'ai proposé ce modèle », « possible ou impossible » et « pourquoi ? ». Notons que la colonne « J'ai proposé ce modèle » a toute son importance dans la situation didactique que nous mettons en place : il s'agit, pour les élèves, d'identifier leur conception parmi celles des autres élèves.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1			impossible	Car l'été et l'hiver ne sont pas le jour et la nuit.
2			impossible	Car le soleil ne tourne pas autour de la terre.
3			impossible	Car l'hiver n'est pas une éclipse
4			impossible	Car même l'été il y a des nuages.
5			impossible	Car même l'été il y a du vent.

Production 1. Exemple d'un travail d'analyse en groupe sur les modèles simples proposés par la classe.

L'ensemble des travaux de la phase 2 est donné en annexe 2.

Dans cette phase du travail, 13 élèves reconnaissent le modèle qu'il ont proposé lors de la phase de recueil des conceptions.

Les tableaux suivants répertorient toutes les interventions du professeur dans les quatre groupes d'élèves parlant peu lors de la phase 2 de la séquence. Les interventions sont classées en deux catégories : les interventions sous la forme de questions ayant pour objectif de guider le raisonnement ou de relancer la dynamique de travail et les interventions expliquant un modèle.

Professeur	6.	Essayez d'analyser et dites c'est possible ou pas et pourquoi ?	T
Professeur	7.	Donc ... possible ou pas possible ?	
Professeur	8.	Et l'hiver ?	T
Professeur	9.	Et des fois ?	T
Professeur	10.	Et celui là, vous en pensez quoi ?	
Professeur	11.	Mais est ce que ça peut expliquer l'été et l'hiver ?	

Professeur	12.	Là, ça veut dire que l'hiver y'a du vent et pas l'été.	T
Professeur	13.	Alors il y a un modèle que vous voulez éliminer directement ? Le modèle 5, l'élève propose que c'est le vent qui fait que c'est l'hiver	T
Professeur	14.	Lui l'élève il dit que c'est y a du vent l'hiver donc c'est l'hiver et l'été il y a pas de vent. Il dit que c'est le vent qui est responsable de l'hiver.	T

Tableaux 19. Interventions du professeur durant la phase 2 de la séquence dans les groupes 1, 2, 6 et 7.

Nous observons que : les interventions sont limitées en nombre (14 interventions réparties sur quatre groupes dans des débats d'environ 15 minutes), les interventions ne donnent pas d'éléments importants du problème (faits ou nécessités), les interventions sont toutes classées dans le rôle de Tiers (voir le chapitre « méthodologie »).

8.1.3. Construction de la phase 3 et 4

Les arguments proposés par les élèves en groupe durant la phase 2 dans la colonne « pourquoi » sont catégorisés, dans le tableau suivant, en fonction du type de modèle qu'ils valident. Certains ont été légèrement reformulés et orthographiés correctement. L'annexe 3 donne les arguments originaux.

Modèles proposés par la classe	Arguments évoqués dans les groupes classés en fonction des nécessités
le phénomène des saisons est lié au vent	Il y a du vent en été comme en hiver Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil
le phénomène des saisons est lié à la Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre	La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison Il y a des éclipses de Lune l'été Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud La Lune est la cause de la nuit sur Terre
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre	Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Les nuages se déplacent Il y a des nuages en été et en hiver Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Les nuages ne sont pas dans l'espace
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même	La Terre tourne sur elle-même en un jour L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver Les saisons ne changent pas en un jour La saison est la même sur toute la Terre en même temps Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre côté c'est la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	La Terre tourne autour du Soleil en un an Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment La Terre est plus éloignée du Soleil l'hiver

Tableau 20. Liste des arguments proposés par les élèves lors de la phase 2 de la séquence. Classement par type de modèles qu'ils valident.

Nous observons que les arguments proposés par les élèves contiennent un grand nombre des faits repérés lors de l'analyse à priori.

Nous remarquons aussi que certains arguments sont basés sur des éléments scientifiques pertinents (« *Il n'y a pas toujours de nuages l'hiver* ») souvent dus à l'observation, et d'autres non (« *La Terre est plus éloignée du Soleil l'hiver* »). L'ensemble des arguments de la classe permet d'identifier l'ensemble

des faits du domaine empirique de premier niveau correspondant aux modèles simples, ne nécessitant pas de connaissances nouvelles (voir l'espace de contraintes théorique dans l'analyse à priori). Nous observons également que l'analyse, par les élèves, de certains modèles donnent une diversité d'arguments plus importante que d'autres modèles où les arguments sont plus homogènes.

En accord avec les hypothèses de recherche, nous donnons aux élèves l'ensemble des arguments de la classe, sous la forme d'une liste par ordre alphabétique. Aux élèves de débattre sur le fondement de chaque argument. En vert les arguments fondés, en rouge les arguments qui ne correspondent pas à des faits scientifiques. Nous rappelons que nous entendons par « argument fondé », un argument qui permet de valider ou invalider un modèle par des lois de passage même partiellement formulées (voir chapitre méthodologie)

Dans un second temps de la phase 3, nous proposons aux élèves de choisir, en groupe, dans la liste proposée par la classe, l'argument le plus pertinent (fondé) pour valider ou invalider chaque modèle.

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...		La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent <i>Faux</i>		C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>		L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre coté c'est la nuit Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>		
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même <i>Faux</i>		
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil <i>Faux</i>		

Production 2. Exemple d'un travail d'analyse en groupe sur les arguments proposés par la classe.

Nous présentons ici un exemple de cette phase du travail pour montrer son intérêt. Les élèves ont surligné les arguments qu'ils pensent vrais en vert et ceux qu'ils pensent faux en rouge puis ils ont relié chaque proposition de modèle à un argument, en indiquant s'ils pensent le modèle possible ou impossible. Dans cette phase du travail, les élèves essaient d'associer un argument vrai à un modèle pour prouver que celui-ci est vrai ou faux. Certains arguments sont des faits du problème (« *il y a des nuages en été et en hiver* ») et les modèles sont basés : soit sur une nécessité du problème (« *le phénomène de saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil* »), soit sur un élément que les élèves pensent comme étant une nécessité du problème (« *le phénomène des saisons est lié au vent* »). Le trait tracé par les élèves dans la colonne centrale correspond donc à la mise en tension d'une nécessité et d'un fait (« *le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil* » **car** « *la Terre tourne autour du Soleil en un an* ») ou à la mise en tension d'un élément qui n'est finalement pas une nécessité et d'un argument le justifiant (« *le phénomène des saisons n'est pas lié au vent* **car** *il y a du vent été comme hiver* ») Cette phase du travail est donc une phase importante dans le processus de problématisation : les élèves y construisent une partie de l'espace de contrainte en jeu dans ce problème et y éliminent les modèles incohérents. Cette phase du travail est aussi intéressante parce qu'elle s'appuie uniquement sur les propositions des élèves, les modèles recueillis dans la phase 1 et les arguments recueillis dans la phase 2. Cette phase de la séquence est une remise en question des propositions de la classe dans chaque groupe de travail, l'effet Topaze y est très limité et chaque groupe peut accéder à l'ensemble de la réflexion de la classe sans passer par des échanges en classe entière qui sont moins propices à la prise de parole de tous les élèves. Lors de cette phase de travail, le professeur n'intervient pas dans les groupes sauf pour réexpliquer la consigne (couleur de surlignage, trait à la règle, ...)

Nous proposons ensuite individuellement aux élèves un document pour rédiger un premier texte de savoir problématisé.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre car
la ^{Terre} ne fait pas l'hiver ou le soleil

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Lune car la Lune
tourne autour de la Terre et sa ne change rien.

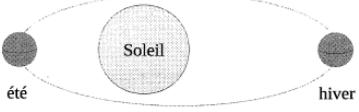
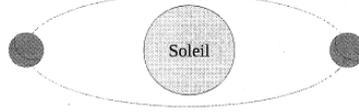
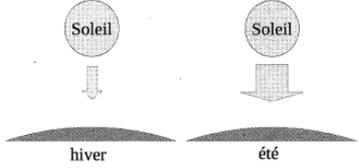
Production 3. Exemple d'un travail individuel de formulation du savoir problématisé.

Dans cette phase de la séquence, il s'agit de faire formuler aux élèves la nécessité de révolution à partir du travail précédent. La formulation doit intégrer la mise en tension de la nécessité avec la durée du cycle. (Ce n'est pas le cas dans l'exemple ci dessus).

8.1.4. Construction de la phase 5 : modèles plus complexes.

Dans cette phase, il s'agit de mettre en question, en groupe, des modèles plus complexes et d'identifier les nécessités et les faits suivants : la distance Terre- Soleil est plus petite en hiver, la variabilité de l'éclat du Soleil est négligeable, l'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport au plan de l'elliptique.

Ce travail devrait permettre, par une argumentation construite, la validation ou l'invalidation des conceptions restantes : la variation de la distance Terre-Soleil, la variation de l'éclat du Soleil et l'inclinaison de l'axe de la Terre sont-elles responsables ou non des saisons.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
6	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et la distance Terre-Soleil est plus faible en été.</p>	Non	Pas possible	La terre est plus éloigné du soleil été et plus proche en hiver
7	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de la Terre est incliné</p>	Non	Possible	Car la terre tourne et s'incline
8	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est plus faible en hiver.</p>	OUI	Pas Possible	Car le soleil est plus haut en été

Production 4. Exemple d'un travail d'analyse en groupe sur les modèles complexes proposés par la classe.

Comme lors de la phase 2, les interventions du professeur durant cette phase de travail se limitent à des reformulations de la consigne et à des questionnements pour relancer la dynamique de travail.

8.1.5. Construction de la phase 6 et 7

Comme pour la phase 3 et 4, nous recueillons tous les arguments proposés par les élèves lors de la phase 5. Ils sont orthographiés correctement, catégorisés en fonction du type de modèle qu'ils valident, dépersonnalisés et simplifiés légèrement si le sens porte à confusion.

Les arguments originaux des élèves sont donnés en annexe 3.

Modèles proposés par la classe	Arguments évoqués dans les groupes classés en fonction des nécessités
La Terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été	L'été, la Terre est plus loin du Soleil. La Terre est plus proche du Soleil en hiver
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné	En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus. L'axe de rotation de la Terre ne change pas. Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver La Terre tourne et s'incline. Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre La Terre est inclinée par rapport au Soleil Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver	En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus forts qu'en été. L'éclat du Soleil est plus important l'hiver. L'éclat du Soleil est tout le temps le même. L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre. L'éclat du Soleil ne peut pas changer. La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour Le Soleil reflète moins en hiver

Tableau 21. Liste des arguments proposés par les élèves lors de la phase 6 de la séquence. Classement par type de modèles qu'ils valident.

Il s'agit, pour la deuxième fois de la séquence, de valider ou invalider un modèle proposé par la classe et d'y associer un argument de la liste proposé par la classe. Comme les modèles sont plus complexes et nécessitent des connaissances que les élèves du cycle 3 n'ont pas, dans cette phase du travail, trois documents sont distribués aux élèves. Ces documents sont donnés en annexe 6.

Le document 1 explique la variation de la distance Terre-Soleil durant l'année 2014. Cette distance est plus faible en hiver.

Le document 2 explique que l'axe de la Terre est incliné par rapport au plan de l'elliptique. L'angle d'inclinaison est d'environ 23,4°.

Le document 3 explique que l'éclat du Soleil peut être considéré comme une constante, la constante solaire, même si cet éclat varie de façon aléatoire dans l'année sans coïncider avec le cycle des saisons.

Dans cette phase de la séquence, les élèves débattent sans l'étayage du professeur mais avec l'aide des documents. 8 élèves reconnaissent le modèle qu'ils ont proposé lors de la phase de recueil des conceptions (phase 1).

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été <i>Fauxc</i>	A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus fort qu'en été L'axe de rotation de la Terre ne change pas L'éclat du Soleil est plus important l'hiver L'éclat du Soleil est tout le temps le même L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre L'éclat du Soleil ne peut pas changer L'été, la Terre est plus loin du Soleil La Terre est inclinée par rapport au Soleil La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver La Terre est plus proche du Soleil en hiver La Terre tourne et s'incline La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour Le Soleil reflète moins en hiver Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné <i>Vrai</i>	
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver <i>Fauxc</i>	

Production 5. Exemple d'un travail d'analyse en groupe sur les arguments proposés par la classe.

8.1.6. Construction de la phase 7

Comme pour la phase 4, la phase 7 a pour objectif la formulation individuelle d'un texte de savoir problématisé dans deux cadres, l'un pour expliquer à quoi est lié le phénomène des saisons, l'autre à quoi il n'est pas lié.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la terre qui tourne autour du soleil et l'axe de rotation de la terre est incliné et cause que la terre est inclinée en été on reçoit plus du rayons du soleil.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la terre qui tourne autour du soleil et la terre est plus proche du soleil en été car c'est l'hiver que la terre est plus proche du soleil.

Production 6. Exemple d'un travail individuel de formulation du savoir problématisé.

8.1.7. Construction de la phase 8

Quatre semaines après la fin de la phase 7 de travail, nous demandons aux élèves de proposer un modèle explicatif sur le phénomène de saisons. Il s'agit d'évaluer ce que les élèves gardent en mémoire du travail réalisé. Aucune révision n'est demandée, les élèves ne sont pas prévenus de cette phase de travail. La question posée est la même que pour la phase 1, phase de recueil des conceptions.

8.1.8. Synopsis de la séquence

Suite à cette description détaillée du déroulement de la séquence, nous pouvons construire le synopsis de la séquence pour récapituler : les tâches réalisées par les élèves, l'organisation de la classe (alternant petits groupes et travail individuel) et la nature des écrits.

Phase de la séquence	Organisation de la classe	Tâches réalisées par les élèves	Productions langagières	Forme des écrits	Nature des écrits	Auteur des écrits
Phase 1	Individuel	Expliquer le phénomène des saisons	Écrits individuels	Une explication sous la forme d'un schéma et d'une phrase	Écrits initiaux E1	Élèves
Phase 2	En petits groupes	Valider ou invalider les modèles simples de la classe	Échanges oraux Écrits de groupe	Des arguments sous la forme de phrases	Écrits intermédiaires E2	Élèves
Phase 3	En petits groupes	Validation et choix des arguments	Échanges oraux écrits de groupe	Des arguments jugés vrais reliés à des modèles simples pour les valider ou non	Écrits intermédiaires E3	Élèves
Phase 4	Individuel	Formuler un texte de savoir problématisé	Écrits individuels	Phrases expliquant les nécessités du problème	Écrits intermédiaires E4	Élèves
Phase 5	En petits groupes	Étude de documents Valider ou invalider les modèles complexes de la classe	Échanges oraux Écrits de groupe	Des arguments sous la forme de phrases	Écrits finaux E5	Élèves
Phase 6	En petits groupes	Étude de documents Validation et choix des arguments	Échanges oraux écrits de groupe	Des arguments jugés vrais reliés à des modèles complexes pour les valider ou non	Écrits finaux E6	Élèves
Phase 7	Individuel	Formuler un texte de savoir problématisé	Écrits individuels	Phrases expliquant les nécessités du problème	Écrits finaux E7	Élèves
Phase 8	Individuel	Expliquer le phénomène des saisons	Écrits individuels	Un modèle sous la forme d'un schéma et d'une phrase	Écrits d'évaluation E8	Élèves

Tableau 22. Synopsis de la séquence d'enseignement.

8.1.9. Conclusion de l'analyse de la séquence

Les conditions didactiques spécifiées dans les hypothèses de recherche sont réellement mises en place dans la séquence forcée décrite précédemment. En effet, le professeur intervient peu dans les groupes et n'intervient pas dans la

construction du problème. La transcription des débats (fournie en annexe) montre que le professeur ne prend le rôle que de Tiers. Le Tiers, défini dans le chapitre méthodologie, formule des propositions qui rappellent le problème, le contexte, un fait du domaine empirique déjà évoqué ou une explication sur un modèle. Ce sont donc les élèves qui produisent des modèles, analysent les modèles de la classe, formulent des arguments, discutent de la pertinence des arguments de la classe et font des choix de mise en tension pour produire des textes de savoirs problématisés. Toutes les conceptions et tous les arguments des élèves sont mis en question dans tous les groupes. Les élèves ont donc analysé l'ensemble des conceptions et des arguments des autres élèves. Le travail se fait soit en petits groupes, soit individuellement.

Il s'est écoulé 2 semaines entre le recueil des conceptions (phase 1) et le travail sur les modèles simples (phase 2) et 4 semaines entre la phase 1 et le travail sur les modèles complexes (phase 5). Malgré ce temps écoulé, 21 élèves reconnaissent leur modèle. Nous considérons que ceci est un élément important qui facilitera la modification des conceptions, et qui vient conforter le choix de ne pas écarter de conceptions d'élèves de l'analyse.

Nous notons néanmoins un effet Topaze inattendu : les trois documents distribués lors de la phase 5 ont été utilisés par les élèves comme des étayages donnant des éléments importants du problème. Cela a eu pour effet de limiter la quantité d'arguments proposés lors de la phase 5 et surtout de diminuer la dynamique argumentative dans les groupes. Nous décrivons ce phénomène plus précisément dans l'analyse des débats.

8.2. Suivi des élèves dans la construction du problème

Dans cette partie de l'analyse, nous utilisons une catégorisation des propositions des élèves développée dans le chapitre méthodologie. Il s'agit de comprendre s'il existe des liens entre la formulation des faits et des nécessités du problème étudié et les écrits individuels des élèves.

La catégorisation employée pour classer les formulations d'élèves comme nécessités est basée sur l'apodicticité des propositions des élèves.

Nécessité formulée et mise en tension avec un fait formulé du champ empirique	F
Nécessité formulée et construite par une démonstration d'un contraire impossible	
Nécessité formulée et construite par une analogie formulée à la vie courante	
Nécessité formulée mais non construite explicitement	FP
Nécessité au travail, formulée partiellement et/ou construite partiellement	
Proposition formulée mais non construite sur un raisonnement scientifique	NF
Autres propositions	

Tableau 23. Classification des formulations des nécessités.

Nous utilisons une catégorisation différentes pour les faits. En effet, les arguments d'élèves sont classés comme des faits s'ils évoquent un fait du domaine empirique (définie dans l'espace de contraintes théorique) et si la garantie de l'argument est formulé.

Arguments fondés qui se basent sur un fait du domaine empirique et dont la garantie est formulée même si le fondement n'est pas clairement explicite.	AF
Arguments fondés partiellement qui se basent sur un fait du domaine empirique mais dont la garantie n'est pas formulée explicitement.	AFP
Arguments qui n'évoquent pas les faits	ANF
Aucun argument proposé	AA

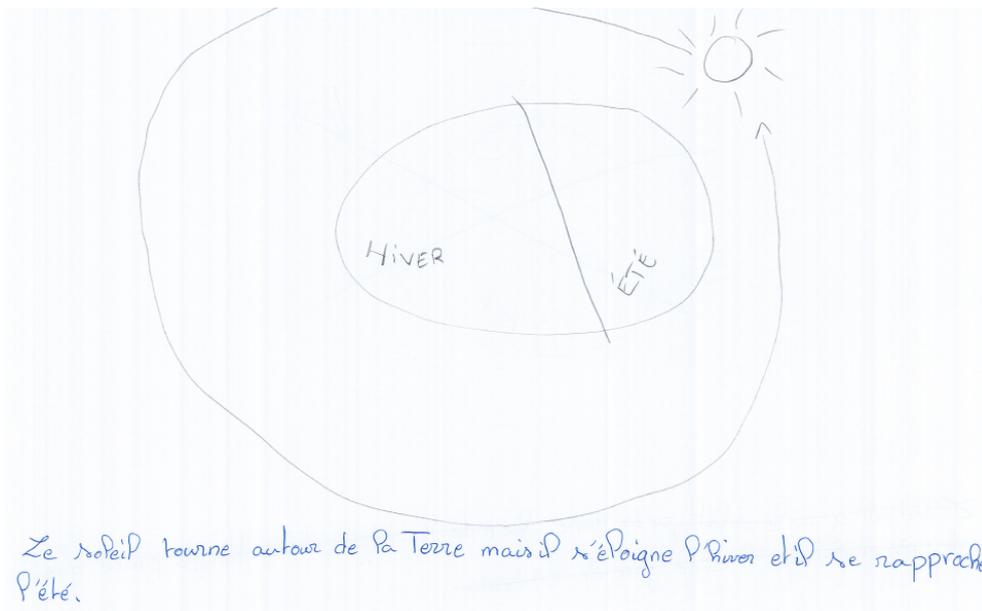
Tableau 24. Classification des formulations des faits.

Le tableau suivant présente la formulation des faits et des nécessités de tous les groupes dans les différentes phases de travail en groupe de la séquence (phase 2, 3, 5 et 6).

Nous étudions les écrits individuels des élèves constituant les quatre groupes d'élèves parlant peu, dans les quatre phases concernées : le recueil d'écrits initiaux (phase 1), les écrits intermédiaires (phase 4), les écrits finaux (phase 7) et les écrits d'évaluation (phase 8). L'objectif est de suivre la progression des élèves dans la construction du problème, du point de vue de la formulation des modèles. Les exemples de production donnés dans cette partie de l'analyse servent à suivre le déroulement de la séquence, ils sont tous issus du travail d'un élève (G1-E3).

8.2.1. Analyse de la phase 1 : recueil des conceptions

Les conceptions des élèves sont catégorisées dans le tableau suivant. Dans cette phase, un seul élève propose un modèle avec l'axe de la Terre incliné et la révolution de la Terre autour du Soleil. Cet élève ne fait partie des quatre groupes étudiés.



Production 7. G1-E3. Exemple d'une conception initiale.

L'élève G1-E3 propose que le Soleil tourne autour de la Terre, s'éloigne en hiver et se rapproche en été. Le modèle est géocentrique et basé sur une confusion entre le cycle des saisons et le cycle jour-nuit. La périodicité du phénomène ne correspond pas aux faits du domaine empirique.

	Modèles héliocentriques prenant en compte la révolution de la Terre autour du Soleil	Modèles héliocentriques ne prenant pas en compte la révolution de la Terre autour du Soleil	Modèles non héliocentriques
L'axe de la Terre est incliné			
La distance Terre Soleil est plus faible en été		G1-E2 G2-E2 G6-E3 G7-E1	G1-E3 G6-E2
L'éclat du Soleil est plus faible en hiver		G2-E1	G1-E1
La face éclairée de la Terre est en été, l'autre face en hiver			G1-E4 G2-E3
La Lune cache la lumière du Soleil l'hiver.	G6-E4		
Les nuages cachent le soleil en hiver.		G7-E2 G7-E3 G7-E4	G2-E4 G6-E1
Le vent fait baisser la température en hiver			

Tableau 25. Conceptions initiales individuelles. Phase 1.

Parmi les élèves que nous suivons, 7 élèves proposent un modèle où le Soleil tourne autour de la Terre ou ne mentionnent pas la révolution de la Terre pour expliquer le phénomène des saisons. 8 élèves proposent un modèle héliocentrique mais sans prendre réellement en compte la révolution et un seul élève propose un modèle héliocentrique basé sur la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil.

6 élèves proposent que la distance Terre-Soleil est plus faible en été.

2 élèves mentionnent que l'éclat du Soleil pourrait être variable.

2 élèves font une confusion entre le cycle des saisons et le cycle jour-nuit.

6 élèves proposent des obstacles pour expliquer le phénomène.

Nous obtenons des conceptions qui sont cohérentes avec les données statistiques présentées dans le chapitre « analyse préalable ».

8.2.2. Analyse de la phase 4 : textes de savoir intermédiaires.

La phase 4 de la séquence consiste à formuler individuellement un texte de savoir en deux parties distinctes. La première partie pour expliquer à quoi est lié le phénomène des saisons, la deuxième partie, à quoi le phénomène des saisons n'est pas lié. Cette phase de travail individuelle se situe après une phase de travail en groupe, la phase 3 de la séquence, qui consiste à valider des arguments proposés par la classe et à choisir un argument pour valider ou invalider les différents modèles proposés par la classe. Nous espérons, ici, que les élèves reprennent dans leur écrits l'argumentation élaborée dans leur groupe.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil parce que quand la terre est proche du soleil c'est l'été et l'autre côté c'est l'hiver.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre car la Lune tourne. Elle ne reste pas sur place.

Production 8. G1-E3. Réponse proposée durant la phase 4 de la séquence.

Nous observons que cet élève formule par écrit la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil. Il justifie cette nécessité par une argumentation fondée mais basée sur un fondement inexact : la distance entre la Terre et le Soleil varie. L'été, la Terre est plus proche, il fait donc plus chaud. De l'autre côté, la Terre est plus éloignée, il fait donc plus froid. Les saisons sont donc liées à la révolution de la Terre autour du Soleil. La périodicité de deux phénomènes est la même. Dans ce cas, le fondement et la garantie de l'argumentation ne sont pas formulés explicitement et l'argument ne se base pas sur un fait du domaine empirique exact (la distance Terre-Soleil est plus faible en hiver). Comme détaillé dans le chapitre « méthodologie », partie « outils d'analyse de la formulation des faits », nous classons cette formulation comme « argumentation fondée se basant sur des faits inexacts » (**AFP**). Dans le deuxième cadre, nous remarquons que cet élève rejette le modèle basé sur la Lune comme obstacle par « une argumentation fondée basée sur des faits du domaine empirique » (**AF**). Finalement, dans cet exemple, la conception de l'élève G1-E3 évolue, elle passe d'un modèle non héliocentrique, lors de la phase 1, à un modèle héliocentrique prenant en compte la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil et une variation de la distance Terre-Soleil pour expliquer le phénomène des saisons.

	Nécessités construites et modèles invalidés			
	Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	Ce n'est pas la rotation de la Terre qui fait varier la température	Ce n'est pas un obstacle qui fait varier la température	Ce n'est pas le vent qui fait varier la température
AF Argumentation fondée se basant sur des faits du domaine empirique	G7-E1 G7-E2 G7-E3 G7-E4	G1-E4 G2-E2 G7-E3 G7-E4	G1-E1 G1-E3 G2-E3 G6-E1 G6-E4 G7-E1	G7-E2
AFP Argumentation fondée se basant sur des faits inexacts ou dont la garantie n'est pas formulée	G1-E3 G1-E4 G2-E3 G2-E2		G2-E4	
ANF Argumentation non fondée	G1-E1 G2-E1		G2-E1	G6-E3
AA Pas d'argumentation	G2-E4			

Tableau 26. Classement des formulations individuelles lors de phase 4.

Notons qu'aucun élève du groupe 6 et un élève du groupe 1 (G1-E2) ne formulent la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil. Ils proposent tous que les saisons sont liées à la rotation de la Terre sur elle-même en justifiant cette proposition par le fait que les saisons ne sont pas les mêmes sur toute la Terre au même moment.

Les autres élèves ont construit la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons. 4 élèves proposent des arguments fondés, similaires, issus de la phase de travail précédente.

4 élèves construisent la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil mais le justifient par un argument inexact : une distance plus faible entre les deux astres l'été. On peut tout de même considérer que ces 4 élèves sont bien entrés dans le processus de problématisation. Le fait qu'ils utilisent pour fonder leur argumentation sera étudiée dans la phase suivante.

3 élèves proposent que le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil mais ne formulent pas d'argument ou formulent une argumentation non fondée.

En observant le travail de tous les groupes, après la phase 4 de la séquence, 26 élèves ont construit ou sont en train de construire la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons.

8.2.3. Analyse de la phase 7 : textes de savoirs finaux

Comme pour la phase 4 de la séquence, la phase 7 consiste à formuler un texte de savoir intégrant les nécessités du problème mais, cette fois ci, à partir de l'analyse des modèles plus complexes.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à l'axe incliné de la Terre qui tourne autour du soleil car l'axe de rotation de la Terre ne change pas.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à ce que la Terre est plus proche du soleil en été car l'été le soleil est plus loin quand hiver.

Production 9. G1-E3. Réponse proposé durant la phase 7 de la séquence.

Nous observons que l'élève G1-E3 formule la nécessité de l'axe incliné pour expliquer le phénomène des saisons. Il ajoute que l'orientation de l'axe ne change pas durant la révolution, élément nécessaire pour expliquer l'opposition de saisons entre les deux hémisphères. Nous considérons cependant que l'argumentation n'est pas fondée. En effet, cet élève ne formule pas de lien entre l'inclinaison et l'orientation des rayons du Soleil arrivant sur le sol. Dans d'autres groupes, on trouve des argumentations fondées comme « l'hémisphère nord est orienté plus vers le Soleil en été, le Soleil tape plus sur le nord que sur le sud ».

	Nécessités construites et modèles invalidés		
	Ce n'est pas la variation de la distance Terre-Soleil qui fait varier la température	Ce n'est pas la variation de l'éclat du Soleil qui fait varier la température	C'est la révolution de la Terre et l'inclinaison de son axe qui fait varier la température
AF Argumentation fondée se basant sur des faits du domaine empirique	G1-E2 G1-E3 G2-E2 G6-E1 G7-E3	G1-E4 G2-E3 G2-E4 G6-E4 G7-E4	
AFP Argumentation fondée se basant sur des faits inexacts ou dont la garantie n'est pas formulée			G2-E1 G2-E3
ANF Argumentation non fondée			G1-E1 G1-E2 G1-E3 G1-E4 G2-E4 G7-E3 G7-E4
AA Pas d'argumentation			G6-E1 G6-E3 G6-E4 G7-E2
Aucune réponse			G2-E2 G6-E2 G7-E1

Tableau 11. Classement des formulations individuelles lors de la phase 7.

Parmi les 16 élèves que nous suivons dans cette étude, 13 élèves pensent que le phénomène des saisons est bien lié à la révolution de la Terre autour du Soleil et à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'elliptique mais aucun ne justifie ce modèle par une argumentation fondée, basée sur des faits du domaine empirique. Ces élèves proposent en général des formulations qui ne font pas le lien entre l'inclinaison de l'axe et son effet sur la quantité de chaleur reçue, comme, par exemple, que « *l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil tourne autour du Soleil, c'est donc pour cela que les saisons changent* ».

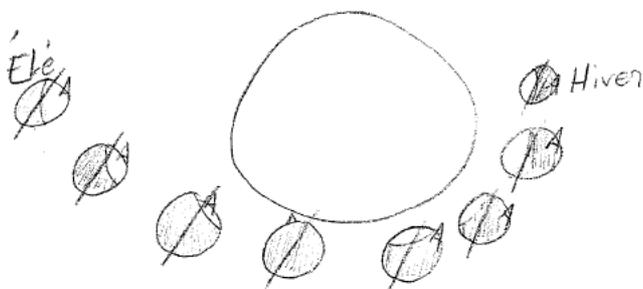
3 élèves ne répondent pas à la question.

Les modèles incohérents (distance Terre-Soleil et éclat variable) sont, par contre, rejetés avec une argumentation fondée et exacte issue généralement des documents distribués.

8.2.4. Analyse de la phase 8 : écrits d'évaluation

Quatre semaine après la séquence, nous demandons aux élèves d'expliquer le phénomène des saisons par un schéma et une phrase.

Il y a des saison à cause de la rotation de la terre en été nous sommes plus loin du soleil mais nous sommes tournés vers le soleil et en hiver nous sommes plus proche mais nous sommes pas face au soleil



Production 10. Elève G1-E3. Exemple d'un écrit d'évaluation.

Nous observons que l'élève G1-E3 propose un modèle héliocentrique avec une représentation de l'axe de rotation de la Terre incliné. Cependant, cet élève décrit un modèle basé sur une confusion entre le cycle des saisons et le cycle jour-nuit, indiquant que la face éclairée de la Terre est en été, l'autre face en hiver. La révolution terrestre est tout de même prise en compte dans ce modèle qui propose un lien entre les saisons et la position de la Terre sur son orbite.

	Modèles héliocentriques prenant en compte la révolution de la Terre autour du Soleil		Modèles héliocentriques ne prenant pas en compte la révolution de la Terre autour du Soleil		Modèles non héliocentriques	
L'axe de la Terre est incliné		G2-E1 G2-E2 G2-E3 G6-E4 G7-E4				
La distance Terre Soleil est plus faible en été		G7-E1	<i>G1-E2 G2-E2 G6-E3 G7-E1</i>		<i>G1-E3 G6-E2</i>	G6-E2
L'éclat du Soleil est plus faible en hiver			<i>G2-E1</i>		<i>G1-E1</i>	
La face éclairée de la Terre est en été, l'autre face est en hiver		G1-E3 G2-E4		G1-E1 G1-E2 G1-E4 G7-E2	<i>G1-E4 G2-E3</i>	
La Lune, les nuages cachent la lumière du Soleil l'hiver	<i>G6-E4</i>	G6-E1	<i>G7-E2 G7-E3 G7-E4</i>		<i>G2-E4 G6-E1</i>	
Modèle basé uniquement sur la révolution de la Terre autour du Soleil		G6-E3 G7-E3				
Total	<i>1 élève</i>	11 élèves	<i>8 élèves</i>	4 élèves	<i>7 élèves</i>	1 élève

Tableau 27. Classement des modèles proposés lors de la phase 8 (en gras) Comparaison avec les modèles proposés lors de la phase 1 (en italique).

Pour comprendre la schématisation de l'élève G7-E2, il a fallu organiser un entretien pour qu'il puisse expliquer son modèle à l'oral : « *quand la Terre tourne autour du Soleil, ça fait 365 jours. Quand c'est à droite, c'est l'hiver, la Terre est plus près du Soleil en hiver. Nous, quand on est de l'autre côté du Soleil, on est l'hiver* ». Cet élève propose donc un modèle héliocentrique basé sur la révolution terrestre mais comprenant une confusion avec le cycle jour-nuit.

En comparant les conceptions initiales (phase 1) et les écrits d'évaluation (phase 8), nous remarquons que 10 élèves passent d'un modèle non héliocentrique ou ne prenant pas en compte la révolution à un modèle plus cohérent prenant en compte la révolution de la Terre autour du Soleil. Nous pouvons considérer que ces 10 élèves ont donc construit la nécessité de la révolution durant la séquence. Parmi ces 10 élèves, la nécessité de l'inclinaison

de l'axe terrestre est construite par 5 élèves. A la fin de la séquence, un seul élève propose encore un modèle non héliocentrique.

8.2.5. Evolution de la nécessité « révolution »

Pour caractériser la capacité des élèves à prendre en charge et construire le problème, nous regardons l'évolution de la construction de la nécessité « révolution autour du Soleil ». Nous avons déjà mentionné l'importance de la construction de cette nécessité dans la construction du problème des saisons.

Les élèves mentionnant dans leurs écrits que le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil sont classés dans le tableau suivant. Ce sont des écrits individuels.

	Écrits initiaux Phase 1	Écrits intermédiaires Phase 4	Écrits d'évaluation Phase 8
Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	G6-E4	G1-E1 G1-E3 G1-E4 G2-E1 G2-E2 G2-E3 G2-E4 G7-E1 G7-E2 G7-E3 G7-E4	G1-E3 G2-E1 G2-E2 G2-E3 G2-E4 G6-E1 G6-E3 G6-E4 G7-E1 G7-E3 G7-E4
Total	1 élève	11 élèves	11 élèves

Tableau 28. Evolution de la construction de la nécessité « révolution » au cours de la séquence.

Nous observons que le nombre d'élèves accédant à cette nécessité augmente fortement après les phases 2 et 3 de la séquence. Nous pouvons penser que les hypothèses de recherche testées dans cette étude ont des effets positifs sur les apprentissages. Il apparaît une certaine stabilité de ces apprentissages entre les phases 4 et 8 pour les groupes 2 et 7. Ceci n'est pas le cas pour le groupe 1 dans lequel deux élèves reviennent à des modèles moins cohérents lors de phase d'évaluation. Aucun élève du groupe 6 ne formule la nécessité lors de la phase 4 et pourtant 3 de ces élèves la formulent lors de la phase d'évaluation.

Pour comprendre ces phénomènes, nous allons étudier les travaux de groupe dans le chapitre suivant.

8.2.6. Evolution de la nécessité « inclinaison »

Nous observons l'évolution de la construction de la nécessité « inclinaison de l'axe de rotation de la Terre » lors des différentes phases de la séquence.

	Écrits initiaux Phase 1	Écrits finaux Phase 7	Écrits d'évaluation Phase 8
Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'elliptique		G1-E1 G1-E2 G1-E3 G1-E4 G2-E1 G2-E3 G2-E4 G6-E1 G6-E3 G6-E4 G7-E2 G7-E3 G7-E4	G2-E1 G2-E2 G2-E3 G6-E4 G7-E4
Total	0 élève	13 élèves	5 élèves

Tableau 29. Evolution de la construction de la nécessité « inclinaison » au cours de la séquence.

Nous observons que la formulation de la nécessité « inclinaison de l'axe » est formulé par de nombreux élèves après la phase 6 de la séquence. 3 élèves seulement ne formulent pas que le phénomène des saisons est lié à cette inclinaison. Cependant, beaucoup de ces élèves reviennent à des modèles moins cohérents lors de la phase d'évaluation, quatre semaines après la fin de la séquence d'apprentissage. Il semble que les apprentissages dans le groupe 2 soient plus ancrés que dans les autres groupes.

Nous étudierons le travail en groupe dans le chapitre suivant pour comprendre ce phénomène.

8.2.7. Conclusion sur la construction du problème par tous les élèves

En analysant l'ensemble des réponses des 39 élèves, y compris les groupes d'élèves parlant avec aise, nous remarquons que :

- 23 élèves progressent dans les apprentissages en proposant un modèle plus cohérent entre les deux phases de recueil. Parmi eux, 17 élèves changent de modèle pour en proposer un autre, plus cohérent, basé sur la révolution de la Terre autour du Soleil et sur l'inclinaison de l'axe de rotation.

- 6 élèves n'ont pas changé de modèle et parmi eux, 3 élèves continuent à proposer que le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même.

- 2 élèves sont dans une impasse, proposant des modèles non cohérents lors de la phase de recueil des conceptions et finissant par ne donner aucune réponse.

- 5 élèves reculent dans les processus de problématisation en proposant un modèle que nous considérons plus éloigné de la réalité scientifique.

- 3 élèves sont absents le jour de la phase d'évaluation.

Nous pouvons évaluer si les conditions didactiques mises en place dans cette séquence ont une influence sur les apprentissages en comparant la progression de nos élèves aux chiffres donnés dans l'étude réalisée par Fouquet sur plus de 3000 élèves.

		Au cycle 3, modèle explicatif présentant ...				
		L'axe de rotation est incliné	La Terre plus proche du soleil en été	Une confusion avec le cycle jour-nuit	Un éclat variable du soleil	Des obstacles entre la Terre et le Soleil
Dans cette étude		3%	39%	18%	11%	26%
Dans l'étude de Fouquet		3%	29%	6%	8%	20%

		Après enseignement, modèle explicatif présentant ...				
		L'axe de rotation est incliné	La Terre plus proche du soleil en été	Une confusion avec le cycle jour-nuit	Un éclat variable du soleil	Des obstacles entre la Terre et le Soleil
Dans cette étude		53%	17%	20%	0%	3%
Dans l'étude de Fouquet		21%	33%	14%	4%	0%

Tableau 30. Comparaison des résultats des élèves et de l'étude de Fouquet.

Notons que dans les deux tableaux ci dessus, pour l'étude de Fouquet, certaines conceptions, très éloignées du problème, ne sont pas mentionnées. L'addition des pourcentages n'est donc pas égale à 100. (Les résultats complets sont donnés dans le chapitre « étude préalable »).

Dans le premier tableau, nous observons que les conceptions initiales des élèves observés dans notre étude sont en accord avec les observations à des plus grandes échelles réalisées par Fouquet (voir chapitre analyse préalable). Nous notons cependant quelques différences. Néanmoins, le modèle proposant une

distance Terre-Soleil plus faible en été et le modèle proposant un lien entre le phénomène des saisons et la rotation de la Terre sur elle-même sont plus fréquents dans notre étude.

Comme dans l'étude de Fouquet, réalisée sur 3000 dessins, nous observons une augmentation des modèles basés sur une confusion avec le cycle jour-nuit, et ceci après enseignement. Nous pensons qu'il est possible que certains élèves se « réfugient » dans ce modèle parce qu'ils sont dans des impasses cognitives. En effet, nous observons que le modèle basé sur la rotation de la Terre est proposé par plus d'élèves « après enseignement » que « avant enseignement ». Les modèles basés sur la présence d'un obstacle ont pratiquement disparu, les résultats sur ce point sont cohérents avec l'étude à grande échelle.

Dans notre étude, les modèles basés sur une variation de la distance Terre-Soleil et sur une variation de l'éclat du Soleil ont une nette tendance à diminuer, voire à disparaître, en comparaison avec les résultats obtenus à plus grande échelle. Nous pensons que ceci est dû à la phase d'analyse des modèles complexes, phases 5 et 6 de la séquence. En effet, nous pouvons penser que le travail sur ces deux modèles, à partir des documents donnant accès aux faits, a permis une modification des conceptions plus fréquente. Le choix de séparer les modèles simples des modèles complexes lors de l'analyse des conceptions a pu avoir des effets sur les apprentissages.

Notons enfin qu'une majorité d'élèves formulent finalement un modèle cohérent avec les faits et les nécessités du problème, résultat supérieur à l'étude à plus grande échelle. Nous pouvons penser que la séquence d'enseignement a eu des effets non négligeables sur les conceptions des élèves.

En observant maintenant les résultats des quatre groupes d'élèves parlant peu, nous pouvons produire des données statistiques pour les comparer à l'étude de Fouquet. Nous mentionnons que l'échantillon est faible, 16 élèves.

Après enseignement, modèle explicatif présentant ...						
L'axe de rotation est incliné	La Terre plus proche du soleil en été	Une confusion avec le cycle jour-nuit	Un éclat variable du soleil	Des obstacles entre la Terre et le Soleil	Aucune réponse cohérente	Autres réponses erronées
5	1	6	0	1	2	1
31%	6%	38%	0%	6%	13%	6%

Tableau 31. Résultats des élèves des quatre groupes parlant peu.

Le pourcentage d'élèves proposant un modèle cohérent héliocentrique basé sur la révolution de la Terre autour du Soleil et l'inclinaison de l'axe est supérieur au pourcentage de l'étude de Fouquet. Ceci confirme que la séquence a une relative efficacité pour construire des apprentissages. Parmi les élèves parlant peu, nous observons également qu'un nombre important d'élèves formulent des modèles basés sur une confusion avec le cycle jour-nuit, dans des proportions relativement élevée par rapport à l'étude de Fouquet. Par contre, les modèles proposant que la Terre est plus proche du Soleil en été sont beaucoup moins fréquents. Ce phénomène peut être dû à l'apport de connaissance par des documents de la phase 5 de la séquence et aussi par l'effet « surprise » que ce fait provoque chez les élèves. Beaucoup étant persuadés avant la phase 5, que le phénomène s'expliquait par un rapprochement de la Terre du Soleil en été.

8.3. Analyse du travail en groupe

8.3.1. Groupe 1

Nous rappelons que les élèves du groupe 1 ont éprouvé des difficultés à formuler, dans les phases de travail individuel, les nécessités du problème. 3 des 4 élèves du groupe ont formulé la nécessité « révolution » lors de la phase 4 (écrits intermédiaires) mais seulement 1 élève a repris cette nécessité dans la phase 8 (écrit d'évaluation). Les quatre élèves ont formulé la nécessité « inclinaison de l'axe » lors de la phase 7 (écrits finaux) mais aucun élève du groupe 1 n'a repris cette formulation lors de la phase 8.

Élèves	Modèles proposés lors de la phase de recueil des conceptions. Phase 1.
G1-E1	Modèle non héliocentrique basé sur une variation de l'éclat du Soleil.
G1-E2	Modèle héliocentrique ne prenant pas en compte la révolution et basé sur une distance Terre-Soleil plus faible en été.
G1-E3	Modèle non héliocentrique basé sur une distance Terre-Soleil plus faible en été.
G1-E4	Modèle non héliocentrique basé sur une confusion avec le cycle jour-nuit. La face éclairée de la Terre est en été, l'autre face en hiver.

Tableau 32. Rappel des modèles proposés par les élèves du groupe 1 lors de la phase 1 de la séquence.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1		G1-E4		Ce n'est pas possible car quand une partie de la terre est tournée vers le soleil c'est le jour et de l'autre couter se'est la nuit.
2				Ce n'est pas possible car ce n'est pas le soleil qui tourne autour de la terre.
3				Ce n'est pas possible car la lune tourne autour de nous.
4				Ce n'est pas possible car même en en été il y a des nuages.
5				Ce n'est pas possible car l'été il y a du vent ou pas et en hiver c'est pareille.

Production 11. Travail du groupe 1 lors de la phase 2 de la séquence. Analyse et validation des modèles simples proposés par la classe.

Nous remarquons qu'un élève reconnaît le modèle qu'il a proposé lors de la phase de recueil des conceptions (phase 1). Le groupe invalide bien les 5 modèles proposés qui ne sont pas cohérents avec les faits. Dans la première ligne du tableau, le groupe formule que le cycle des saisons n'est pas le cycle jour-nuit en justifiant ceci par la manière dont est éclairée la Terre par le Soleil. Les élèves semblent avoir compris que la périodicité des deux cycles n'est pas compatible. Dans un second temps, les élèves invalident le modèle non héliocentrique en rappelant que c'est bien la Terre qui tourne autour du Soleil. Le groupe invalide ensuite le modèle où la Lune serait la cause des saisons, même si l'argumentation n'est pastotalement fondée. En effet, le fait que « *la lune tourne autour de nous* » n'exclut pas qu'elle puisse être un élément intervenant dans le cycle de saisons. Enfin, les modèles basé sur une confusion avec des phénomènes météorologiques (nuages et vent) sont invalidés par une argumentation fondée : « *même en été, il y a des nuages* » et « *l'été, il y a du vent ou pas et en hiver c'est pareil* »

A ce stade de la séquence, nous pouvons dire que le groupe 1 est engagé dans un processus d'apprentissage par problématisation. En effet, il explore des possibles et, par des argumentations s'appuyant partiellement sur des faits du domaine empirique, il invalide des modèles non cohérents. La nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil n'est pas encore construite mais le groupe a déjà formulé que le cycle des saisons n'a pas la même périodicité que le cycle jour-nuit.

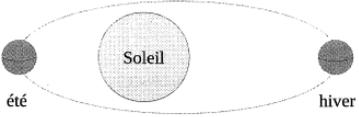
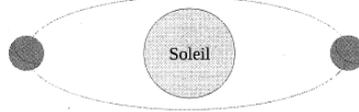
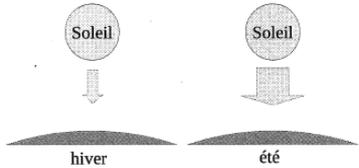
Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent <i>FAUX</i>	C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre <i>FAUX</i>	L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre <i>FAUX</i>	La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même <i>Faux</i>	Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre coté c'est la nuit Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil <i>Vraie</i>	

Production 11. Travail du groupe 1 lors de la phase 3 de la séquence. Validation et choix d'un argument pour valider ou invalider un modèle.

Lors de cette phase de la séquence, le groupe 1 invalide les quatre premiers modèles grâce à des arguments issus des faits du domaine empirique : « il y a du vent en été comme en hiver », « il n'y a pas toujours des nuages l'hiver » et « les saisons ne changent pas en un jour ». Seul le modèle basé sur la présence de la Lune n'est pas invalidé par une argumentation cohérente. Dans un second temps, le groupe 1 formule que le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil mais en le justifier non pas par un argument issu pas de la périodicité du cycle, mais par une variation de la distance Terre-Soleil. Nous pouvons penser que le groupe progresse dans les processus d'apprentissage par problématisation en construisant collectivement un modèle basé sur la révolution de la Terre et un rapprochement de la planète en été.

Suite à cette phase du travail, 3 des 4 élèves du groupe proposent individuellement que le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
6	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et la distance Terre-Soleil est plus faible en été.</p>	G1-E3	impossible	Parce que en hiver la Terre est plus proche du soleil quand été.
7	 <p>Été dans l'hémisphère nord Hiver dans l'hémisphère sud</p> <p>Hiver dans l'hémisphère nord Été dans l'hémisphère sud</p> <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de la Terre est incliné</p>			
8	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est plus faible en hiver.</p>		impossible	C'est impossible car c'est en hiver que l'éclat du soleil est plus importante.

Production 12. Travail du groupe 1 lors de la phase 5 de la séquence. Analyse des modèles plus complexes proposés par la classe.

Lors de cette phase de la séquence, un autre élève reconnaît le modèle qu'il a proposé lors de la phase 1. Les élèves du groupe 1 invalident les deux modèles non cohérents en utilisant les faits du domaine empirique proposés dans les documents distribués. Ils justifient qu'« en hiver, la Terre est plus proche du Soleil qu'en été » et que « en hiver, l'éclat du Soleil peut être plus important [qu'en été] ». Par contre, le modèle basé sur une inclinaison de l'axe terrestre n'est ni validé, ni invalidé et aucune argumentation n'est proposée. Le groupe semble être dans une impasse.

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été FAUX	A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus fort qu'en été
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné Vrais	L'axe de rotation de la Terre ne change pas L'éclat du Soleil est plus important l'hiver L'éclat du Soleil est tout le temps le même L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre L'éclat du Soleil ne peut pas changer L'été, la Terre est plus loin du Soleil La Terre est inclinée par rapport au Soleil La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver La Terre est plus proche du Soleil en hiver La Terre tourne et s'incline
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver FAUX	La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour Le Soleil reflète moins en hiver Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été

Production 13. Travail du groupe 1 lors de la phase 6 de la séquence. Validation et choix d'un argument pour valider ou invalider un modèle complexe.

Lors de cette phase du travail, comme pour la phase précédente, les élèves du groupe 1 invalident les deux modèles incohérents en utilisant les faits donnés par les documents distribués : « l'été, la Terre est plus loin du Soleil » et « la variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour ». Le groupe propose, cette fois, que le modèle basé sur l'inclinaison de l'axe terrestre est vrai, et justifie ce modèle en indiquant que « l'axe de rotation de la Terre ne change pas ». Ici, les élèves font allusion au fait que l'axe reste toujours dans la même direction lors de la révolution, fait qui permet d'expliquer l'opposition des saisons entre les deux hémisphères. Les élèves semblent donc progresser dans les apprentissages lors de cette phase de travail. Leurs écrits individuels lors de la phase suivante (phase 7) confirment cette progression. En effet, tous les élèves du groupe 1 formulent que le phénomène des saisons est lié à la révolution et à l'inclinaison de l'axe terrestre.

Pourtant, lors de la phase d'évaluation, quatre semaines après la fin de la séquence, aucun des élèves du groupe ne reprend la nécessité de l'inclinaison dans le modèle qu'ils proposent pour expliquer les saisons. Un seul élève propose un modèle basé sur la révolution de la Terre autour du Soleil. Nous pensons que le groupe n'a pas fait de réels liens entre la révolution de la Terre, l'inclinaison de l'axe terrestre et le phénomène des saisons. Il pourrait aussi s'agir des mécanismes de mémorisation, l'évaluation ayant eu lieu quatre semaines après la

fin de la séquence et aucun travail de mémorisation n'ayant été demandé aux élèves durant la séquence. Nous considérons tout de même que le processus d'apprentissages par problématisation dans ce groupe sont satisfaisants.

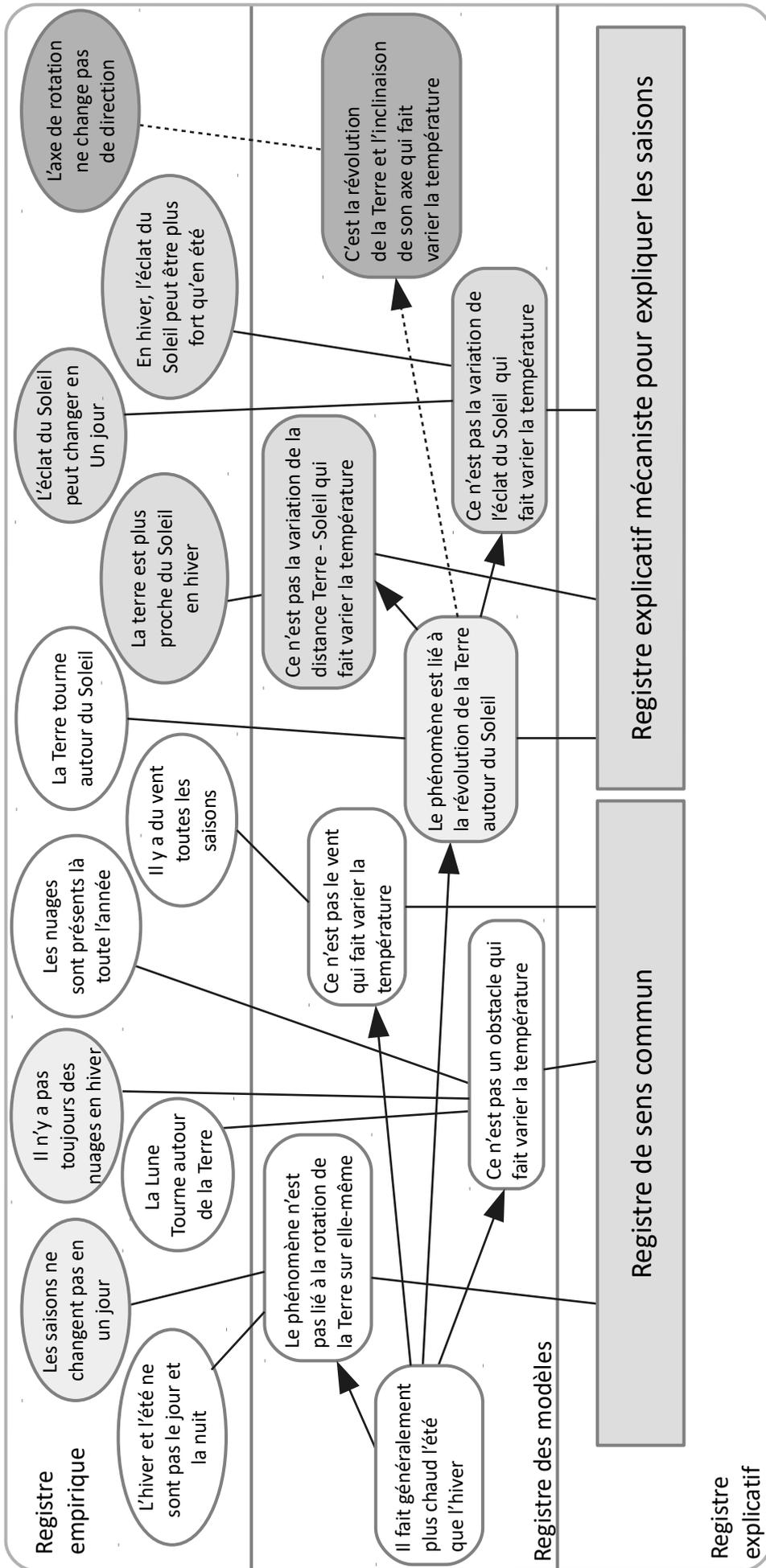
Le travail du groupe 1 est représenté sous la forme d'un espace de contrainte sur la page suivante.

	Faits et nécessités formulés lors de la phase 2 de la séquence
	Faits et nécessités formulés lors de la phase 3 de la séquence
	Faits et nécessités formulés lors de la phase 5 de la séquence
	Faits et nécessités formulés lors de la phase 6 de la séquence

————— Mise en tension effective dans les formulations

----- Mise en tension partielle dans les formulations

Légende de l'espace de contrainte représentant le travail du groupe 1



Espace de contrainte représentant les processus d'apprentissages par problématisation du groupe 1.

8.3.2. Groupe 2, 6 et 7

Lors de la phase 2, l'analyse des modèles simples, le travail des trois autres groupes d'élèves parlant peu est similaire à celui effectué par le groupe 1. Les modèles simples sont invalidés par des argumentations construites à partir de faits formulés du domaine empirique. La formulation est proche de celle employée par le groupe 1.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1			impossible	Car c'est le jour et la nuit et aussi ce n'est pas assez complexe.
2			impossible	Car c'est la planète qui tourne autour du Soleil.
3			impossible	Car la Lune tourne aussi autour de la Terre.
4			impossible	Car les nuages sont là toute l'année.
5			impossible	Car il y a du vent dans toute les saisons.

Production 14. Travail du groupe 2 lors de la phase 2 de la séquence. Analyse des modèles simples proposés par la classe.

Lors de la phase 3, les groupes 2, 6 et 7 invalident les modèles basés sur la présence de nuages, de la Lune ou du vent par des arguments fondés, de la même manière que le groupe 1.

Les groupes 2 et 6 invalident également le modèle basé sur la révolution de la Terre autour du Soleil : le groupe 2 justifie ceci par le fait que le Soleil ne tourne pas autour de la Terre, argument que nous considérons comme non fondé ; le groupe 6 justifie ceci par le fait que la Terre tourne autour du Soleil en un an, argument que nous considérons également comme non fondé.

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent <i>Faux</i>	C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux Faux</i>	L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la t tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre coté c'est la nuit Une éclipse ne dure pas tout l'hiver On ne voit Lune l'été. <i>Les saisons reviennent chaque année</i>
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même <i>Faux</i>	
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil <i>PRAI</i>	

Production 15. Travail du groupe 7 lors de la phase 3 de la séquence. Validation et choix d'un argument pour valider ou invalider un modèle.

Le groupe 7 valide le modèle basé sur la révolution en justifiant par un argument ajouté à la liste : « les saisons reviennent chaque année ». Nous avons dans cette formulation la nécessité de la révolution formulée et mise en tension avec un fait du domaine empirique. Les quatre élèves du groupe 7 formuleront cette nécessité à l'écrit, individuellement, dans la phase suivante de la séquence.

A partir de cette phase 3, des différences importantes de raisonnement s'installent, notamment chez le groupe 6. En effet, ce groupe propose que le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même et justifie ceci par le fait que « la saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment ». Les élèves reprennent cet argument proposé lors de la phase 2 par un autre groupe, mais ils utilisent ce fait pour construire un modèle qui expliquerait la raison de cette opposition de saisons entre les hémisphères, confondant l'opposition nord-sud avec une opposition est-ouest. Cette confusion leur font valider un modèle basé sur la rotation de la Terre sur elle-même, pouvant déboucher sur une confusion avec le cycle jour-nuit.

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent <i>Faux</i>	<i>C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons</i> <i>En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune</i> <i>Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil</i> <i>Il n'y a pas forcément de vent en hiver</i> <i>Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver</i> <i>Il y a des éclipses de Lune l'été</i> <i>Il y a des nuages en été et en hiver</i> <i>Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver</i> <i>Il y a du vent en été comme en hiver</i> <i>L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit</i> <i>L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil</i> <i>L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver</i> <i>L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour</i> <i>La Lune est la cause de la nuit sur Terre</i> <i>La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison</i> <i>La saison est la même sur toute la Terre en même temps</i> <i>La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment</i> <i>La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver</i> <i>La Terre tourne autour du Soleil en un an</i> <i>La Terre tourne sur elle-même en un jour</i> <i>Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre</i> <i>Vrai</i> <i>Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas</i> <i>Les nuages ne sont pas dans l'espace</i> <i>Les nuages se déplacent</i> <i>Les saisons ne changent pas en un jour</i> <i>Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud</i> <i>Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre coté c'est la nuit</i> <i>Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver</i> <i>La lune me se derrière moi.</i>
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même <i>Vrai</i>	
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil <i>Faux</i>	

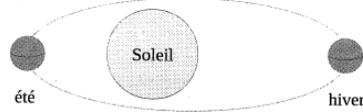
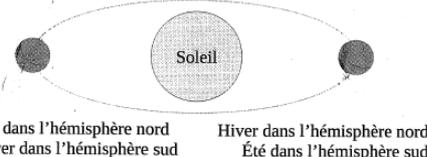
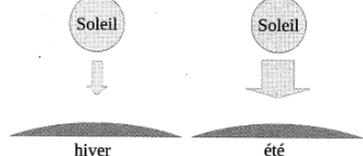
Production 16. Travail du groupe 6 lors de la phase 3 de la séquence. Validation et choix d'un argument pour valider ou invalider un modèle.

Aucun des quatre élèves du groupe 6 ne formule la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil lors de la phase suivante de la séquence, phase de formulation individuelle du savoir.

Lors des phases 6 et 7 de la séquence, les groupes 2, 6 et 7 invalident les deux modèles complexes basés sur une variation de la distance Terre-Soleil ou de l'éclat du Soleil. Ils invalident ces modèles par une argumentation basée sur des faits issus des documents distribués, tout comme l'a réalisé le groupe 1.

Cependant, contrairement au groupe 1, les trois groupes valident le modèle basé sur l'inclinaison de l'axe terrestre. Pour les groupes 6 et 7 l'argumentation proposée ne se base pas sur des faits. Ces deux groupes expriment que l'axe de la Terre est incliné mais que cette inclinaison subit une variation durant l'année : « *la Terre s'incline plus en hiver* ». Le groupe 2 est le seul groupe à proposer une argumentation fondée : « *l'axe de la Terre n'a pas changé* ». Cette argumentation, bien que partiellement formulée, traduit une meilleure compréhension du phénomène que dans les autres groupes. En effet, le fait que l'axe de la Terre ne

changent pas de direction durant la révolution est un des éléments pour expliquer le phénomène des saisons.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
6	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et la distance Terre-Soleil est plus faible en été.</p>		impossible	Car la Terre est plus proche du Soleil l'hiver.
7	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de la Terre est incliné</p>		impossible	Car l'axe de la Terre n'a pas changé.
8	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est plus faible en hiver.</p>		possible	Car le Soleil reflète moins en hiver qu'en été.

Production 17. Travail du groupe 1 lors de la phase 5 de la séquence. Analyse des modèles plus complexes proposés par la classe.

Trois des quatre élèves du groupe 2 formuleront dans la phase d'écrit final et dans la phase d'évaluation que le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil et à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'elliptique.

8.3.3. Analyse du travail des autres groupes

L'analyse complète du travail de tous les groupes nous permet de construire le tableau suivant. Nous utilisons la classification et le codage des propositions détaillés dans la partie méthodologie, pour rappel :

- les arguments fondés, codés AF, qui se basent sur un fait du domaine empirique et dont la garantie est formulée même si le fondement n'est pas clairement explicite.
- les arguments fondés partiellement, codés AFP qui se basent sur un fait du domaine empirique mais dont la garantie n'est pas formulée explicitement

ou les arguments se basant sur des faits que l'élève considère comme vrais à un moment donné de la séquence mais qui sont, en réalité, inexacts (par exemple, la distance Terre-Soleil plus faible en été peut être utilisée comme un fondement à un moment donné de la séquence puis invalidé dans la suite de la séquence).

- les arguments qui n'évoquent aucun fait (même inexact), codés ANF.
- aucune argumentation, codée AA.

Les travaux des élèves sont donnés en annexe 2, 3, 4 et 5.

Faits	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Non concordance de la périodicité des saisons et du cycle jour-nuit	AF	AF	AFP	AF	AF	ANF	AF	AFP	AF	AF
Présence d'obstacles, de vent toute l'année	AF	ANF	AF	AF						
Concordance de la périodicité des saisons et de la révolution de la Terre autour du Soleil	AFP	AFP	AFP	AF	AFP	AFP	AF	AF	AF	ANF
Distance au soleil plus faible en hiver	AF	ANF	AFP							
La constante solaire peut être plus élevée en hiver	AFP	ANF	AF	AFP	AF	AF	AF	AF	AF	ANF
Il y a opposition des saisons entre les deux hémisphères	ANF	ANF	ANF	AFP	ANF	ANF	ANF	ANF	AF	AF
Nécessités	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Le phénomène est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil (phase 2)	F	F	F	F	F	F	FP	FP	F	F
Le phénomène est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil (phase 3)	FP	FP	FP	NF	FP	NF	F	NF	F	F
Nécessités complexes	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de l'axe terrestre (phase 5)	NF	FP	NF	NF	F	FP	F	F	F	NF
Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de l'axe terrestre (phase 6)	FP	FP	FP	FP	F	FP	FP	FP	F	F

Tableau 33. Propositions de tous les groupes lors des phases 2, 3, 5 et 6 de la séquence. Classement par faits et nécessités formulés ou partiellement formulés.

Le fait de « non concordance de la périodicité des saisons et du cycle jour-nuit » est formulé ainsi par 7 groupes. Les deux conceptions qui invitent à la formulation de ce fait sont des conceptions où le phénomène des saisons est confondu avec le cycle jour-nuit. Cette confusion a pour conséquence « un hiver par jour » au lieu de « un hiver par année ». Nous voyons là une limite de

l'utilisation des conceptions brutes des élèves dans cette phase de mise en question. Une caricature, représentant mieux ce type d'erreur, aurait probablement permis une meilleure formulation de ce fait. Même si les élèves ne formulent pas ce fait comme attendu théoriquement, tous les groupes mentionnent que le cycle jour-nuit n'est pas une réponse possible au phénomène des saisons. Les groupes 4, 7, 8 et 9 formulent plus clairement que l'été et l'hiver ne se produisent qu'une seule fois par an, mettant ainsi en relation la périodicité des phénomènes.

Les faits autour de la présence d'obstacles sont globalement formulés correctement. Ceci explique que les modèles correspondants ne sont plus proposés par les élèves en fin de séquence. Il en est de même pour les faits explicités dans les documents distribués lors des phases 5 et 6 de la séquence. Une grande partie des groupes formulent correctement que la distance Terre-Soleil est plus faible en hiver et que la constante solaire peut être plus élevée en hiver. Nous remarquons, ici, que les documents ont une relative efficacité pour aider les élèves à formuler les faits du problème.

La formulation de l'opposition de saisons n'est effective que dans les groupes 9 et 10 et partiellement dans le groupe 3. Il s'agit là d'un fait que les élèves ne connaissent pas et n'utilisent pas pour produire un modèle cohérent.

La nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil pour expliquer le phénomène des saisons est formulée par tous les groupes sauf le groupe 8 mais à des moments différents de la séquence (phase 2 ou phase 3). Une des conceptions d'élèves permettait pourtant facilement cette formulation car elle proposait un modèle géocentrique. Les connaissances des élèves sur un système solaire héliocentrique sont bien construites en sixième mais, malgré cela, certains élèves proposent tout de même des modèles géocentriques. Ce phénomène renforce l'idée que la conception se construit dans un contexte et un moment donnés.

La nécessité de l'inclinaison de l'axe terrestre est moins bien formulée que la nécessité de révolution. Les groupes 5, 6, 7, 8, 9 et 10 formulent cette nécessité à des moments différents de la séquence (phase 5 ou phase 6).

Le tableau suivant classe les modèles proposés par tous les élèves lors de la phase 8 de la séquence.

	Modèle héliocentrique Les saisons sont liées à la révolution de la Terre autour du Soleil	Modèle héliocentrique Les saisons ne sont pas liées à la révolution de la Terre autour du Soleil	Modèle non héliocentrique
L'axe de la Terre est incliné	1 élève du G1 2 élèves du G2 3 élèves du G3 2 élèves du G5 1 élève du G6 1 élève du G7 4 élèves du G9 2 élèves du G10		
La distance Terre Soleil est plus faible en été	1 élève du G7 2 élèves du G10		1 élève du G6 1 élève du G7
L'éclat du Soleil est plus faible en hiver			
La face éclairée de la Terre est en été, l'autre face est en hiver		1 élève du G1 2 élèves du G2 2 élèves du G4 1 élève du G5	
La Lune, les nuages cachent la lumière du Soleil l'hiver	1 élève du G6		
Le vent fait baisser la température en hiver			
L'inclinaison de l'axe de la Terre change en hiver	1 élève du G4		
Modèle basé uniquement sur la révolution de la Terre autour du Soleil	1 élève du G6 2 élèves du G8 1 élève du G7		
Aucune réponse	1 élève du G1 1 élève du G2		

Tableau 33. Modèles proposés par les élèves lors de la phase 8 de la séquence.

Nous remarquons qu'il existe des liens entre le travail dans les groupes et les modèles proposés individuellement par les élèves. Par exemple, le groupe 9 est le seul groupe à formuler tous les faits et toutes les nécessités et les 4 élèves de ce groupe proposent un modèle cohérent lors de la phase 8. Le groupe 10 formule la nécessité de la révolution mais ne formule pas complètement que la distance Terre-Soleil est plus faible en hiver, 2 des élèves de ce groupe proposent un modèle cohérent, basé sur la révolution et l'inclinaison, mais les deux autres

élèves proposent un modèle héliocentrique basé sur une distance Terre-Soleil plus faible en été.

8.3.4. Conclusion sur la formulation des nécessités dans les groupes

Il existe des différences non négligeables d'activité dans les groupes. Le tableau donné ci dessus, et consigné en annexe 9, comptabilise le nombre de nécessités et de faits formulés dans chaque groupe au fur et à mesure du déroulement de la séquence. Nous observons que les quatre groupes constitués d'élèves parlant peu ne formulent pas moins d'éléments du problème que les autres groupes. Ces quatre groupes sont même dans la moyenne haute.

Cette analyse de la formulation des faits et des nécessités dans les groupes à l'écrit fait apparaître des difficultés de formulation de certains éléments du problème. En effet, certains faits et nécessités sont formulés par tous les groupes et d'autres seulement quelques uns. Parmi les faits formulés par une grande majorité de groupes, la présence de la Lune et des nuages toute l'année permet à tous les groupes d'éliminer les modèles explicatifs liés à la présence d'obstacles. Ce modèle n'est proposé que par un seul élève dans les écrits d'évaluation.

Huit des dix groupes formulent la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil durant la phase 3 et 4 de la séquence pour expliquer le phénomène des saisons.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
PHASE 2 Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	F	F	F	F	F	F	FP	FP	F	F
PHASE 3 Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	FP	FP	FP	NF	FP	NF	F	NF	F	F

Tableau 34. Rappel de la formulation de la nécessité « révolution » dans les groupes.

Nous observons que la nécessité de la révolution de la Terre est difficile à construire. Il est possible que ces difficultés soient issues des obstacles épistémologiques identifiés dans l'étude préalable. Dans le tableau ci dessus, nous observons que les groupes formulent cette nécessité dans la phase 2 mais beaucoup moins dans la phase 3, phase de recherche d'un argument. Les élèves

ont conscience de cette nécessité dans la phase 2 mais éprouvent des difficultés pour mettre en tension cette nécessité avec le domaine empirique, en argumentant par exemple qu'il n'y a qu'un seul hiver par année. Dans les écrits d'évaluation, 1 élève du groupe 1, 2 élèves du groupe 2, 2 élèves du groupe 4 et 1 élève du groupe 5 ne formulent pas cette nécessité individuellement. Il est difficile, ici, de faire le lien entre le travail en groupe et la formulation individuelle. Nous observons néanmoins que tous les élèves des groupes 9 et 10 formulent cette nécessité, individuellement et dans leur groupe. Les documents distribués lors des phases 5 et 6 ont des effets sur la formulation de certains faits. En effet, la distance Terre-Soleil et la variation de l'éclat du Soleil sont des faits formulés par une grande majorité de groupes.

8.4. Dynamique du travail en groupe

Dans cette partie de l'analyse, nous cherchons à repérer la dynamique argumentative. Il s'agit d'identifier quels épisodes sont argumentatifs dans les débats et quels élèves sont dynamiques du point de vue argumentatif. Ce repérage permettra, dans le chapitre suivant, d'identifier des liens entre cette dynamique, la construction des nécessités dans les groupes et les écrits des élèves. Pour effectuer cette analyse de la dynamique, nous catégorisons les propositions d'élèves avec le modèle de Plantin, outil décrit dans le chapitre méthodologie. Nous analysons le premier débat des quatre groupes d'élèves parlant peu. Les débats sont découpés en épisodes, à partir de la catégorisation décrite dans l'introduction de l'analyse à posteriori, une catégorisation à partir des types de modèles.

8.4.1. Débat du groupe 1

La transcription est donnée en annexe 10. Dans ce groupe, le premier débat argumentatif concernant les modèles simples manque de dynamisme. Les échanges sont intéressants mais les élèves échangent peu sans les étayages du professeur (limité à des questions de relance). Le débat est lent, ponctué de longs moments sans échanges. Les élèves réussissent tout de même à construire le problème en éliminant peu à peu les modèles par une argumentation fondée.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5
Proposant	G1-E3	G1-E2 G1-E4	G1-E4 G1-E3	G1-E4 G1-E3	G1-E1 G1-E3 G1-E4
Opposant			G1-E3	G1-E3 G1-E2	G1-E4 G1-E2
Tiers	Professeur		G1-E1	G1-E1 G1-E3 G1-E4	GA-E3 G1-E1 G1-E2 Professeur
Passif	G1-E1 G1-E2 G1-E4	G1-E1 G1-E3	G1-E2		

Tableau 36. Découpage du débat du groupe 1 lors la phase 2 en épisodes. Repérage des rôles pris par les élèves selon le modèle de Plantin.

Dans ce débat, nous considérons que les épisodes 4 et 5 du débat sont les plus dynamiques du point de vue argumentatif. En effet, nous observons de nombreuses propositions et oppositions formulées par des élèves différents. Aucun élève ne reste passif. Les rôles de Tiers qui rappellent le problème ou des faits sont également pris par plusieurs élèves.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5
G1-E1			T	T	P, T
G1-E2		P		O	O, T
G1-E3	P		P, O	P, O, T	P, T
G1-E4		P	P	P, T	P, O

Tableau 35. Identification des élèves dynamiques du point de vue argumentatif dans le groupe 1 lors du débat de la phase 2.

Nous observons également, dans ce débat, à partir des critères définis dans la méthodologie : une élève dynamique dans l'argumentation, G1-E3, qui prend plusieurs fois, tous les rôles. Aucun élève n'est considéré comme passif dans l'argumentation dans ce débat.

8.4.2. Débat du groupe 2

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5	Épisode 6	Épisode 7
Proposant	G2-E2	G2-E3 G2-E2	G2-E2 G2-E3	G2-E2 G2-E1	G2-E2	G2-E1 G2-E3	G2-E1
Opposant		G2-E1 G2-E2	G2-E3 G2-E1 G2-E4	G2-E2			G2-E3 G2-E1
Tiers		G2-E4	G2-E3 Professeur	Professeur G2-E4	G2-E3	G2-E2	G2-E3
Passif	G2-E3 G2-E1 G2-E4				G2-E4 G2-E1	G2-E4	G2-E4

Tableau 37. Découpage du débat du groupe 2 lors la phase 2 en épisodes. Repérage des rôles pris par les élèves selon le modèle de Plantin.

Dans ce débat sur les conceptions simples, nous considérons l'épisode 3 du débat comme le plus dynamique.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5	Épisode 6	Épisode 7
G2-E1		O	O	P		P	P, O
G2-E2	P	P, O	P	P, O	P	T	
G2-E3		P	P, O, T		T	P	O, T
G2-E4		T	T	T			

Tableau 38. Identification des élèves dynamiques du point de vue argumentatif dans le groupe 1 lors du débat de la phase 2.

Dans ce débat, G2-E3 prend plusieurs fois tous les rôles. Elle est considérée comme un élève dynamique dans l'argumentation. G2-E4, qui ne prend qu'un seul rôle, peut être considéré comme un élève passif dans l'argumentation.

8.4.3. Débat du groupe 6

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5	Épisode 6	Épisode 7
Proposant	G6-E1 G6-E4	G6-E1	G6-E4	G6-E1 G6-E4	G6-E2 G6-E4	G6-E4 G6-E1	G6-E1 G6-E4 G6-E2
Opposant	G6-E1 G6-E3		G6-E3	G6-E3 G6-E4 G6-E2	G6-E2	G6-E1 G6-E4	
Tiers	G6-E1 G6-E2 G6-E4	G6-E4		G6-E3			G6-E4 G6-E1
Passif		G6-E2 G6-E3	G6-E1 G6-E2		G6-E1 G6-E3	G6-E2 G6-E3	G6-E3

Tableau 39. Découpage du débat du groupe 6 lors la phase 2 en épisodes. Repérage des rôles pris par les élèves selon le modèle de Plantin.

Dans ce débat, la dynamique argumentative est globalement riche, les rôles sont pris à tour de rôle par les élèves même si deux élèves restent un peu en retrait et proposent peu d'arguments. Néanmoins, aucun épisode ne remplit les critères pour être qualifié de dynamique.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5	Épisode 6	Épisode 7
G6-E1	P, O, T	P		P		P, O	P, T
G6-E2	T			O	P, O		P
G6-E3	O		O	O			
G6-E4	P, T	T	P	P, O	P	P, O	P, T

Tableau 40. Identification des élèves dynamiques du point de vue argumentatif dans le groupe 1 lors du débat de la phase 2.

Dans ce débat, G6-E1 et G6-E4 sont des élèves dynamiques du point de vue argumentatif, elles prennent tous les rôles plusieurs fois. G6-E3, qui ne prend que le rôle d'opposant est qualifié de passif du point de vue argumentatif.

8.4.4. Débat du groupe 7

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5	Épisode 6	Épisode 7
Proposant	G7-E4 G7-E1	G7-E1 G7-E4 G7-E2	G7-E1 G7-E4	G7-E4	G7-E1 G7-E2 G7-E4	G7-E2 G7-E4 G7-E1 G7-E3	G7-E2 G7-E4
Opposant	G7-E4 G7-E1	G7-E4	G7-E4 G7-E1	G7-E1	G7-E1 G7-E4		G7-E1
Tiers	G7-E3				G7-E4	Professeur	
Passif	G7-E2	G7-E3	G7-E2 G7-E3	G7-E2 G7-E3	G7-E3		G7-E3

Tableau 41. Découpage du débat du groupe 6 lors la phase 2 en épisodes. Repérage des rôles pris par les élèves selon le modèle de Plantin.

Dans ce débat, certains rôles ne sont pas pris par tous les élèves. Des arguments sont proposés pour valider ou invalider tous les modèles. G7-E3 est un peu en retrait et a souvent un rôle passif même si elle s'oppose dans l'épisode 2 et prend le rôle de Tiers dans l'épisode 1 et 4. Les critères développés dans le chapitre méthodologie nous amènent à dire qu'aucun épisode n'est dynamique.

	Épisode 1	Épisode 2	Épisode 3	Épisode 4	Épisode 5	Épisode 6	Épisode 7
G7-E1	P, O	P	P, O	O	P, O	P	O
G7-E2		P			P	P	P
G7-E3	T					P	
G7-E4	P, O	P, O	P, O	P	P, O	P	P

Tableau 42. Identification des élèves dynamiques du point de vue argumentatif dans le groupe 1 lors du débat de la phase 2.

Dans ce débat, G7-E2 et G7-E3 peuvent être considérés comme des élèves passifs du point de vue argumentatif.

8.4.5. Conclusion sur la dynamique argumentative dans les groupes

De l'analyse de la dynamique argumentative, nous observons que la constitution des groupes en fonction de la capacité des élèves à prendre la parole a des effets non négligeables sur leur capacité à produire des arguments, soit sous la forme de propositions, soit sous la forme d'opposition. En effet, nous avons observé, depuis le début de l'année, que les élèves de ces groupes éprouvaient des difficultés à produire des arguments dans un groupe, à prendre la parole devant les autres élèves et à émettre des points de vue. Pour expliquer ce phénomène, nous faisons l'hypothèse que les rôles de proposant et opposant dans le modèle de Plantin peuvent être occupés par tous les élèves mais que les enjeux relationnels dans les groupes cantonnent certains élèves à des rôles plus passifs. Cette hypothèse pourrait faire l'objet d'une autre étude.

Nous proposons d'analyser plus finement si la participation des élèves dans leur groupe a des effets sur leurs apprentissages et notamment si leur participation plus active au débat leur permet d'accéder à des changements conceptuels sur le problème étudié.

8.5. Relation entre la dynamique argumentative et les écrits

8.5.1. Cas des élèves passifs du point de vue argumentatif

Dans cette partie de l'analyse, il s'agit d'étudier s'il existe des liens entre le manque de dynamisme de certains élèves dans les débats et les processus d'apprentissage par problématisation. Nous étudions le cas de G2-E4, G6-E3, G7-E2 et G7-E3.

Nous rappelons les conceptions initiales de ces quatre élèves : G2-E4 propose un modèle incohérent qui ne répond pas au problème. G6-E3 propose un modèle héliocentrique avec une distance Terre-Soleil plus faible en été. G7-E2 et G7-E3 proposent tous les deux que les nuages cachent le Soleil en hiver sans mentionner la révolution de la Terre.

Nous rappelons également la formulation des nécessités dans les groupes correspondants.

	Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même	Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'elliptique
Groupe 1	F	FP	FP
Groupe 2	F	FP	FP
Groupe 6	NF	NF	FP
Groupe 7	F	F	FP

Tableau 43. Rappel de la formulation des nécessités durant les phases de travail en groupe (phase 2, 3, 5 et 6).

Nous observons que seul le groupe 6 ne formule pas la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil. Les groupes 1 et 2 forment partiellement cette nécessité. Les quatre groupes forment partiellement la nécessité d'inclinaison de l'axe terrestre.

Lors de la phase 7 de la séquence, phase de formulation des textes de savoirs problématisés, G2-E4 propose que le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil puis, dans un second temps, il propose que la Terre s'incline vers le Soleil en été. G6-E3 propose que la Terre est inclinée mais sans réellement mettre en tension la nécessité de l'inclinaison pour expliquer l'opposition des saisons entre les deux hémisphères. G7-E2 explique que les saisons reviennent chaque année et que la distance Terre-Soleil est variable mais il ne propose pas de réelles explications sur le phénomène. G7-E3 est la plus proche du modèle théorique en proposant que le phénomène des saisons est bien lié à la révolution de la Terre autour du Soleil. Elle justifie cette nécessité en la mettant en tension avec la durée des cycles. Elle propose ensuite que le phénomène est lié à l'inclinaison de l'axe mais sans mise en tension avec un fait. Le groupe de G7-E3 est le seul groupe qui formule réellement la nécessité de la révolution de la Terre autour du Soleil.

Lors de la phase 8 de la séquence, phase d'évaluation, G2-E4 propose un modèle héliocentrique, en dessinant la Terre avec un axe incliné, mais il ne donne pas d'éléments supplémentaires indiquant qu'il a compris le phénomène. G6-E3 propose, lui aussi un modèle héliocentrique, sans pour autant expliquer réellement le phénomène. G7-E2 propose un modèle héliocentrique expliquant que la face éclairée de la Terre est en été, l'autre face en hiver mais pas au même moment de l'année. Une confusion avec le cycle jour-nuit persiste dans son modèle. G7-E3 dessine un modèle héliocentrique où les mouvements de rotation et de révolution sont indiqués. Elle dessine aussi l'axe de la Terre incliné mais sans expliquer pourquoi cette inclinaison produit les saisons.

Finalement, nous pouvons dire que les quatre élèves repérés comme passifs lors des débats ont tous progressé dans leur modèle explicatif. G2-E4 produit une réponse cohérente avec le problème, G6-E3 a abandonné l'idée d'une variation de la distance Terre-Soleil pour expliquer les saisons. G7-E2 et G7-E3 passent d'un modèle basé sur la présence d'obstacles à un modèle héliocentrique avec l'axe de la Terre incliné. Aucun de ces quatre élèves ne produit réellement un modèle explicatif complet qui expliquerait le phénomène des saisons. Ils semblent tous dans une impasse cognitive.

8.5.2. Cas des élèves dynamiques du point de vue argumentatif

Dans cette partie de l'analyse, il s'agit d'observer s'il existe des liens entre le dynamisme argumentatif de certains élèves lors des débats et l'évolution des processus de problématisation. Nous regardons les écrits individuels de G1-E3 (G1), G6-E1 (G6), G2-E3 (G2) et G6-E4 (G6).

Nous rappelons que, lors de la phase de recueil des conceptions, G6-E4 a proposé un modèle héliocentrique basé sur la présence de la Lune en hiver, G6-E1 a proposé un modèle basé sur la présence des nuages en hiver sans mentionner la révolution de la Terre, G1-E3 a proposé un modèle non héliocentrique dans lequel la distance Terre-Soleil est plus faible en été et G2-E3 un modèle basé sur une confusion avec le cycle jour-nuit.

Lors de la phase de formulation des textes de savoirs problématisés, ces quatre élèves formulent la nécessité de la révolution et de l'inclinaison de l'axe

mais sans mettre ces nécessité en tension clairement explicite avec les faits correspondants.

Lors de la phase d'évaluation, G1-E3 propose un modèle héliocentrique marqué par une confusion avec le cycle jour-nuit.. G6-E1 propose un modèle basé sur la présence des nuages. Ce modèle ne fait pas référence à la révolution de la Terre. G2-E3 et G6-E4 proposent un modèle cohérent et argumenté, formulant toute les deux les nécessités du problème.

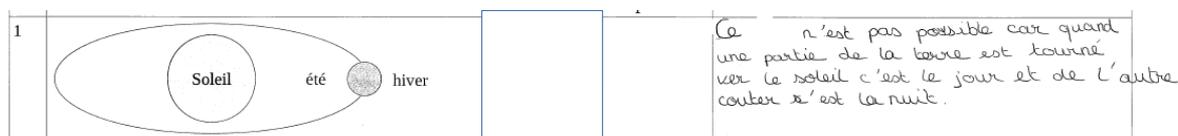
Finalement, nous pouvons dire que deux des quatre élèves observés et considérés comme dynamiques du point de vue argumentatif vont au bout des processus de problématisation sur le phénomène des saisons. Un élève ne progresse pas dans les apprentissages et un autre élève régresse dans le processus.

8.5.3. Résistance des conceptions à l'enseignement



Production 18. Elève G1-E4. Phase 1 de la séquence.

Lors de la phase du recueil des conceptions individuelles, G1-E4 propose un modèle basé sur la rotation de la Terre sur elle même pour expliquer le phénomène des saisons. Il y a donc confusion entre le cycle jour-nuit et le cycle des saisons alors que, dans la phase d'analyse des modèles de la classe (phase 2) et malgré la représentation schématique éloignée de sa représentation initiale, elle reconnaît son modèle.



Production 19. Groupe 1. Phase 2 de la séquence.

Son groupe propose alors que le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même et justifie ceci par le fait que le Soleil n'éclaire qu'une partie de la Terre mais sans réellement exprimer la confusion avec le cycle jour-nuit. Lors de l'analyse des arguments de la classe, ce groupe choisit un autre argument dans la liste proposée pour rejeter ce modèle : « *les saisons ne changent pas en un jour* ». Cet argument est construit dans cet épisode du débat :

G1-E4	10	(Parlant du modèle 1) Quand la France, elle est tournée vers le Soleil, eh ben c'est l'été parce qu'on est près du Soleil et quand la Terre, elle a tourné et qu'elle est pas du côté du Soleil, et ben c'est en hiver parce que y'a pas de Soleil.	P
G1-E2	11	Donc c'est possible ou pas ?	T
G1-E3	12	C'est le jour. Quand y'a une partie qu'est tournée vers le Soleil, c'est le jour	O
G1-E1	13	La Terre tourne quand même	T
G1-E3	14	Bah oui, c'est le jour là (montrant la partie de la Terre éclairée) et là c'est la nuit (montrant l'autre côté). Quand c'est tourné vers le Soleil, c'est le jour.	O
G1-E4	15	Donc c'est pas possible	P

Extrait du débat du groupe 1 lors de phase 2 de la séquence.

Lors de cet épisode, G1-E4 reconnaît que son modèle n'est pas possible. Nous observons un changement conceptuel de sa part. G1-E3 lui apporte une argumentation fondée en précisant la confusion avec le cycle jour-nuit en jeu dans ces échanges.

FAUX

le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même

Vrais

- La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver
- La Terre tourne autour du Soleil en un an
- La Terre tourne sur elle-même en un jour
- Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre
- Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas
- Les nuages ne sont pas dans l'espace
- Les nuages se déplacent
- Les saisons ne changent pas en un jour

Production 20. Groupe 1. Phase 3 de la séquence.

Dans la phase suivante du travail, nous observons une évolution intéressante de l'argumentation. Alors que leur premier argument est dans la liste, le groupe choisit un meilleur argument pour invalider le modèle. Les élèves identifient alors un fait du domaine empirique : il n'y a qu'un seul hiver par année.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même parce que les saisons ne changent pas en une jour.

Production 21. Elève G1-E4. Phase 4 de la séquence.

Suite à cette phase de travail, on retrouve ce type d'arguments dans les écrits individuels des élèves. Ici, G1-E4 formule que le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre parce que les durées de la rotation et des saisons ne correspondent pas.

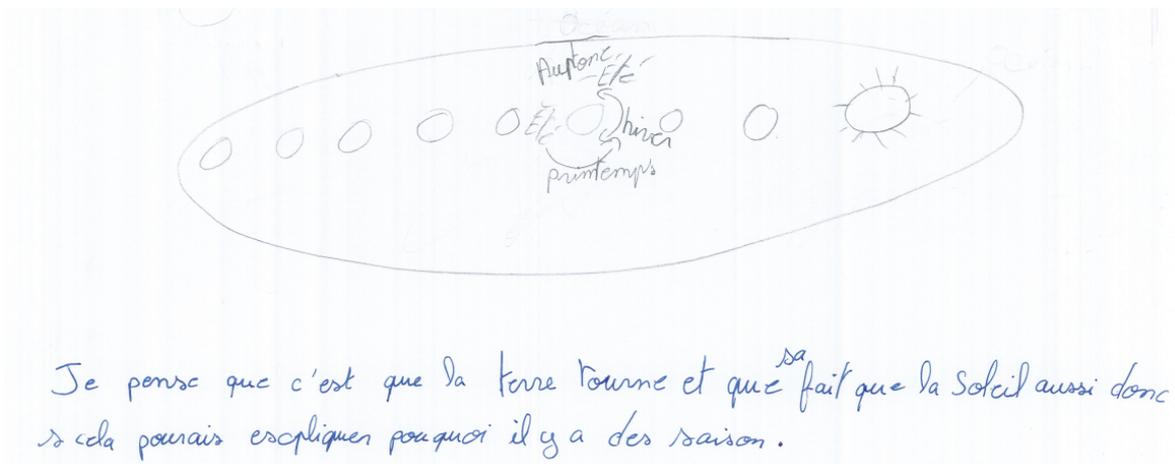
Un mois après ce travail, dans la phase 8 de la séquence, l'écrit d'évaluation, G1-E4 propose que le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même. Sa conception a résisté à la phase d'enseignement.



Production 22. Elève G1-E4. Phase 8 de la séquence.

8.5.4. Exemple d'un changement conceptuel lors d'un débat

Analysons la progression de G2-E3 sur le problème posé. Cette élève propose dans un premier temps que c'est la rotation de la Terre sur elle-même qui donne les saisons.



Production 23. Élève G2-E3. Phase 1 de la séquence.

Nous notons, ici, une confusion entre le cycle des saisons et le cycle jour-nuit ainsi qu'un modèle qui n'est pas vraiment héliocentrique.

Durant le débat sur les conceptions simples (phase 2 de la séquence), nous assistons à cet échange :

G2-E1	15.	L'été, il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil
G2-E4	16.	Elle est la même distance que quand ... c'est faux
G2-E2	17.	Moi, je pense que c'est vrai
G2-E3	18.	Tu croies vraiment que toutes les planètes qui sont devant la notre, en fait, elles vont s'avancer vers le Soleil, la première qu'est à coté du Soleil, elle va cramer
G2-E4	19.	Bah oui. Du coup, bah, c'est faux
G2-E3	20.	Elle est déjà pas loin, alors si elle s'approche l'été
G2-E2	21.	Moi, j'aurais dit que des fois elle se rapproche un peu
G2-E3	22.	Ouai, mais un petit peu
G2-E4	23.	2 millimètres
G2-E2	24.	C'est pour ça qu'il fait plus chaud. Là, y'a le Soleil, tu vois, nous, la Terre elle est là. Moi, je pense qu'elle se rapproche un petit peu, la Terre.
G2-E3	25.	Ouai mais ça veut dire que toutes les planètes de devant parce que y'a tout le temps même écart
G2-E2	26.	Elle ont pas tout le temps le même écart
G2-E4	27.	Si
G2-E3	28.	Elle ont quasiment toute le même écart. Là, la planète elle plus près, ça veut dire qu'elle se rapproche du coup.
G2-E4	29.	Et elle crame
G2-E2	30.	Le Soleil, il est là. (montrant la révolution sur le document)
G2-E3	31.	Ah oui, ça tourne. Du coup on met vrai
G2-E2	32.	Moi je pensais que la ... elle se rapproche un peu plus du Soleil et c'est ça qui fait qu'elle est un peu plus chaude, à un certain moment

G2-E4, G2-E3	33.	Ouai !
G2-E2	34.	Y'a un moment de l'année, y'a un moment sur son tour où elle passe plus proche du Soleil et c'est l'été
G2-E4	35.	Elle se rapproche pas. Là on dit c'est le Soleil. Ici, elle se rapproche, elle, elle crame. Elle, elle se rapproche au même niveau qu'elle
G2-E3	36.	Moi j'ai compris. Elle tourne comme ça, ça veut dire qu'en fait, elle se rapproche comme ça tous ...
G2-E4	37.	Et elle elle crame
G2-E3	38.	Non, parce qu'en fait, après elle continue son chemin. Elle font le tour de la ...
G2-E2	39.	Et donc, en tout, un tour c'est une année et bah y'a une période de l'année où elle se rapproche un peu plus et tous les ans ça recommence. Et du coup, c'est la période où il fait le plus chaud.
G2-E3	40.	Ah oui ! Bah moi, je suis d'accord avec G2-E2 du coup.
G2-E1	41.	Moi je pense que non, parce que au CE1 on a vu que les planètes elles bougent pas.
G2-E3	42.	Oui mais nous, on a vu au CE1 que les planètes elle tournent autour du Soleil mais elles se rapprochent pas de plus en plus, elles restent sur le même cercle
G2-E2	43.	Oui, elles restent sur le même cercle tous les ans mais y'a une période tous les ans où elle est un petit peu plus près du Soleil

Extrait du débat du groupe 2. Phase 3 de la séquence.

Suite à cet échange, G2-E3 évolue en admettant que la Terre tourne autour du Soleil, que ce cycle correspond au cycle des saisons, ils ont la même durée. G2-E2 lui dit que « *Et donc, en tout, un tour c'est une année et bah y'a une période de l'année où elle se rapproche un peu plus et tous les ans ça recommence. Et du coup, c'est la période où il fait le plus chaud.* » et G2-E3 répond : « *Ah oui ! Bah moi, je suis d'accord avec G2-E2 du coup.* ».

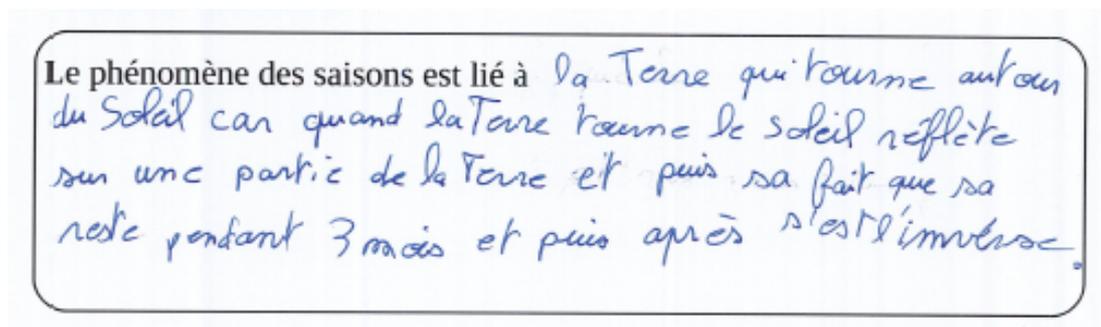
Dans la phase suivante de la séquence, le groupe argumente que le phénomène est lié à la révolution de la Terre.

<p>le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même</p> <p><i>Faux</i></p>	<p>le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil</p> <p><i>Faux</i></p>	<p>La terre est plus éloigné du Soleil l'hiver</p> <p>La Terre tourne autour du Soleil en un an</p> <p>La Terre tourne sur elle-même en un jour</p> <p>Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre</p> <p>Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas</p> <p>Les nuages ne sont pas dans l'espace</p> <p>Les nuages se déplacent</p> <p>Les saisons ne changent pas en un jour</p> <p>Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud</p> <p>Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le j</p> <p>Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver</p>
--	---	--

Production 24. Groupe 2. Phase 1 de la séquence.

Les élèves utilisent un argument qui ne fonde pas réellement la proposition du modèle.

Dans la phase 4 de la séquence G2-E3 indique individuellement que le phénomène est lié à la rotation de la Terre autour du Soleil mais persiste chez elle l'idée que les saisons sont liées à la face éclairée de la Terre.



Production 25. Élève G2-E3. Phase 4 de la séquence.

Durant le débat sur les modèles complexes, phase 5 de la séquence, le groupe reparle de la durée des cycles en y ajoutant le fait que l'axe de la Terre est incliné.

G2-E3	J'ai pas compris, en fait, la Terre tourne autour du Soleil et l'axe est incliné (lisant le document)
G2-E4	Mets impossible parce que c'est pas logique, tu mets impossible parce qu'on ne comprends pas
G2-E2	Mais non, c'est pas parce qu'on comprends pas, il faut réfléchir
G2-E3	Moi je pense que c'est impossible parce qu'on a pas compris En été, l'atmosphère est au nord (veut dire l'hémisphère nord)
G2-E2	Et en hiver il est en dessous.. La moitié de la Terre c'est l'hiver
G2-E1	Nous, nous on est tout le temps en hiver
G2-E2	Mais c'est bizarre, comme c'est pas 24 heures
G2-E1	Mais si, nous c'est l'hiver et en Australie c'est l'été
G2-E2	En gros, quand nous c'est le printemps, eux c'est l'automne

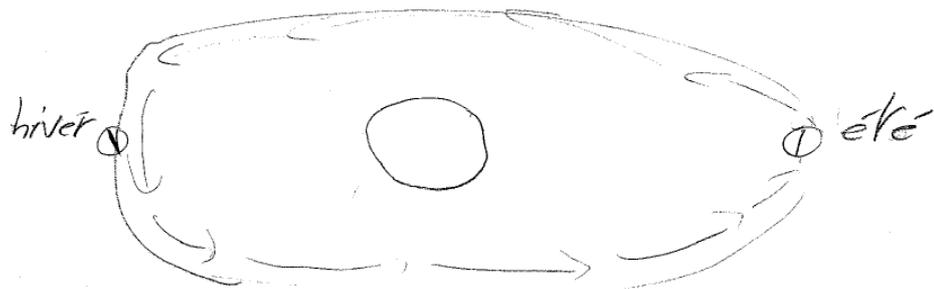
Extrait du débat du groupe 2. Phase 3 de la séquence.

Dans la phase d'écrit final, G2-E3 formule que la rotation de la Terre sur elle-même est responsable du cycle jour-nuit. Elle n'évoque pas l'inclinaison de l'axe.

Le phénomène des saisons est lié à la Terre qui est inclinée et que elle tourne sur elle même. car si elle ne tourne pas sur elle même il ferait toujours jour sur un côté de la Terre et de l'autre nuit.

Production 26. Élève G2-E3. Phase 7 de la séquence.

Lors de la dernière phase de travail, les écrits individuels d'évaluation, proposés aux élèves un mois après la fin de la séquence, G2-E3 propose que c'est la révolution de la Terre autour du Soleil qui provoque les saisons. Elle utilise le mot rotation pour désigner ce mouvement. Le modèle proposé est héliocentrique. Les durées des cycles sont mentionnées, l'axe de rotation est incliné.



La cause des saisons est liée à la rotation de la Terre, car en hiver pendant 6 mois la Terre reste de fonction que le soleil tape plus vers le bas de la Terre alors quand été c'est plus éclairée au haut de la Terre.

Production 27. Élève G2-E3. Phase 8 de la séquence.

Le modèle est encore imparfait mais le changement conceptuel observé durant le débat de son groupe se retrouve bien dans ses écrits finaux et d'évaluation. La conception de G2-E3 a été modifiée par les interactions dans son groupe.

8.5.5. Conclusion sur les changements conceptuels lors des débats

L'analyse de tous les débats fait apparaître de nombreux passages de ce type qui permettant aux élèves de rejeter des modèles initiaux en choisissant une meilleure formulation des arguments parmi celles proposées par la classe.

9. Conclusion et discussion

9.1.1. Débats en petits groupes

Nous avons émis l'hypothèse que les débats argumentatifs en petits groupes de quatre élèves limiteraient les effets Topaze et favoriseraient les interactions, permettant ainsi à un plus grand nombre d'élèves, par des changements conceptuels, de formuler des nécessités à l'oral et dans des textes de savoirs problématisés.

Cette recherche montre que le travail en petit groupe limite bien les interventions du professeur, celui-ci devant partager son temps entre les différents groupes de travail. Nous pensons que ce dispositif encourage les élèves à prendre en charge le problème. Les effets Topaze sont limités. Il faut donc laisser les groupes débattre pour permettre aux élèves de produire des modèles explicatifs, formuler des arguments sur ces modèles, discuter de la pertinence des arguments pour produire des textes de savoirs problématisés qui intègrent des formulations de faits et de nécessités. Certains groupes ont, tout de même, éprouvé des difficultés à comprendre certaines consignes et à formuler les nécessités et les textes de savoir problématisés, le professeur a donc dû, tout de même, intervenir ponctuellement dans le travail des élèves, essentiellement pour expliquer les consignes.

Néanmoins, nous remarquons que les documents ont un effet Topaze important durant la phase d'analyse des modèles complexes. Les controverses sont moins présentes dans cette phase de la séquence du fait que les documents donnent les réponses à un certains nombres de ces controverses. La phase d'analyse des modèles simples est beaucoup plus riche du point de vue de la dynamique argumentative que la phase d'analyse des modèles complexes nécessitant un travail sur des documents. En effet, quand les élèves doivent se mettre d'accord à partir de leurs connaissances antérieures, ils doivent

argumenter pour défendre leur point de vue alors que quand des documents donnent des réponses, les argumentations se limitent alors souvent à citer le document donnant la réponse. L'apport d'information étant nécessaire, le découpage de la séquence en deux temps distincts de travail, l'un sur les modèles plus simples, l'autre sur les modèles plus complexes a permis de sauvegarder la dynamique argumentative de la phase d'analyse sur les modèles simples. Peut être est-il possible de modifier le dispositif didactique et donner aux élèves des documents plus adaptés, donnant accès à d'autres nécessités et favorisant ainsi, les processus de problématisation.

9.1.2. Constitution des groupes

Nous avons émis l'hypothèse que la mise en place de situations regroupant en petits groupes les élèves parlant peu favoriserait les interactions entre ces élèves et leur permettrait d'accéder aux processus de problématisation.

Cette recherche montre que ce dispositif didactique est efficace. Même s'il existe des différences non négligeables d'activité dans les groupes, le choix de rassembler les élèves parlant peu dans les mêmes groupes leur a permis de produire des arguments et de les formuler explicitement.

Ces formulations en groupe se retrouvent dans les écrits individuels et un nombre important d'élèves réussit finalement à proposer un modèle explicatif cohérent. Les interactions langagières ont bien des liens avec la capacité à acquérir des apprentissages nouveaux. Notons que la dynamique argumentative des élèves semble être un facteur important qui permet d'entrer dans les processus de problématisation.

9.1.3. Mise en question des conceptions, des arguments

Nous avons émis l'hypothèse que la mise en question, lors des phases de débats, de toutes les conceptions et de tous les arguments favoriserait la modification des conceptions et permettrait l'accès aux savoirs problématisés.

Cette étude montre que les élèves reconnaissent leur modèle même si un temps long s'est écoulé entre le recueil des données et l'analyse des modèles, et même si les modèles sont présentés sous la forme d'un schéma simplifié et dépersonnalisé. L'utilisation des conceptions brutes des élèves comme phase d'exploration des possibles dans la classe a des avantages et des inconvénients.

D'abord, elle ne permet pas la formulation attendue de tous les faits. Des caricatures, pensées par le chercheur et le professeur auraient sans doute permis une meilleure formulation des faits. Les conditions didactiques de la séquence proposée dans cette étude sont très dépendantes des conceptions des élèves proposées lors de la phase de recueil. Les caricatures permettent d'influer sur ce phénomène en modifiant ou en ajoutant des modèles non proposés par les élèves lors de la première phase.

Le travail sur la reconnaissance des arguments permet aux élèves de construire une argumentation construite que l'on peut retrouver dans la formulation des textes de savoirs problématisés. Cette phase du travail semble être un outil pertinent pour permettre aux élèves de problématiser. Ce sont eux qui valident les arguments et choisissent de les utiliser ou pas. Les débats sur la validité des arguments montrent que les conflits socio-cognitifs sont importants dans cette phase du travail. Le travail consistant à choisir un argument parmi plusieurs pour justifier un modèle est intéressant, l'activité intellectuelle dans les groupes à ce moment du travail est importante et oblige certains élèves à renoncer à des modèles, modifiant ainsi leurs conceptions.

Le travail en deux phases distinctes, quand les modèles sont nombreux, permet l'abandon successif des modèles très éloignés de la réalité scientifique et permet d'avancer dans les processus de problématisation. Cette étude montre que tous les groupes sont dans cette dynamique.

Comme nous le précisons lors de l'analyse préalable, la confusion entre un modèle héliocentrique et géocentrique, ainsi que la confusion entre le cycle jour-nuit et le cycle des saisons sont bien présentes et restent très résistantes aux enseignements. Cette résistance est liée à des obstacles épistémologiques forts.

9.1.4. Conclusion générale

Nous avons montré, dans cette étude, que la construction d'une séquence d'enseignement et le choix sur les conditions didactiques, ont une réelle influence sur les apprentissages. Au delà d'une séquence forcée, une séquence d'enseignement qui prendrait en compte un certain nombre d'éléments peut rendre les apprentissages plus efficaces. Du point de vue pédagogique, la manière dont les groupes de travail sont formés peut favoriser les échanges et permettre à des élèves parlant peu, un meilleur accès aux apprentissages

problématisés. Le travail en groupe, s'il est mis en place avec des interventions limitées du professeur, limite les effets Topaze et permet aux élèves la prise en charge du problème, la prise en charge des apprentissages. Du point de vue didactique, le travail circulaire sur toutes les conceptions et toutes les argumentations a des effets positifs sur la mise en question de ces conceptions, de ces argumentations. Circulaire parce que les mécanismes de la séquence permettent, à chaque étape, une mise en question des propositions antérieures de la classe. Chaque étape d'enseignement est alors un travail réflexif et argumentatif permettant aux élèves d'avancer dans le problème en partant de leurs conceptions initiales. Le travail vient modifier les conceptions des élèves, en créant un espace de conflit cognitif bienveillant dans lequel tous les élèves ont la possibilité d'échanger et de confronter leur pensée à celle de leurs pairs.

10. Bibliographie

- **Artigue, M. (1990).** *Ingénierie didactique, Recherches en didactique des mathématiques*. Grenoble, La pensée Sauvage éditions 1988.
- **Astolfi, J-P. (1992).** *L'école pour apprendre*. Paris, ESF.
- **Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997).** *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Paris/Bruxelles, De Boeck Université.
- **Astolfi, J-P., Peterfalvi, B. (1993).** « Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales », ASTER.
- **Bachelard, G. (1938).** *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, PUF.
- **Bachelard, G. (1949).** *Le rationalisme appliqué*. Paris, PUF.
- **Brassart, D. (1990).** *Le développement des capacités discursives chez l'enfant de 8 à 12 ans*. Revue française de pédagogie.
- **Brousseau, G. (1998).** *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, La pensée sauvage.
- **Bruner J.S. (1983).** *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris : PUF.
- **Celinikier, L M. (1986).** *Histoire de l'astronomie*. Techniques et Documentation.
- **Chalak H. (2012).** *Conditions didactiques et difficultés de construction de savoirs problématisés en sciences de la Terre: étude de la mise en texte des savoirs et des pratiques enseignantes dans des séquences ordinaires et forcées concernant le magmatisme (collège et lycée)*. Éducation. Université de Nantes. Université Saint-Joseph de Beyrouth.
- **Chevallard, Y. (1991).** *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La pensée sauvage.
- **Closset, J-L. (2002).** *La didactique des sciences : ses acquis, ses questions*. Cahiers du service de pédagogie expérimentale de l'Université de Liège.
- **Delbos, G. Jorion, P. (1990).** *La transmission des savoirs*. Paris, Éd. De la Maison des sciences de l'Homme.
- **Deleuze, G. (1969).** *La logique du sens*. Paris, Éd. de Minuit.
- **Dewey, J. (1993).** *Logique, La théorie de l'enquête*. Paris, PUF.
- **Fabre, M. (2005).** *Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard*. Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle, n° 3.
- **Fabre, M. (2017).** *Qu'est ce que problématiser ?*. Paris, Vrin.

- **Fabre, M., Orange, C. (1997).** *Construction des problèmes et franchissements d'obstacles*, ASTER.
- **Festinger, L. (1957).** *A theory of cognitive dissonance*, Stanford University Press. (version française : Une théorie de dissonance cognitive, Enrick, B. édition, 2017.
- **Fouquet, J-L. (2010).** CLEA, les cahiers Clairaut.
- **Golder C. (1996).** *Le développement des discours argumentatifs*. Lausanne, Delachaux et Niestlé.
- **Grize, J-B. (1998).** *Logique naturelle, activité de schématisation et concept de représentation. Natural logic and the schematised representation of reality*. Suisse: Librairie Droz.
- **Jacob, F. (1981).** *Le jeu des possibles*. Paris: Librairie Fayard.
- **Jaubert, M. Rebière, M. (2001).** *Pratiques de reformulation et construction de savoir*. Aster.
- **Lhoste, Y., Peterfalvi, B., Orange, O. (2007).** *Problématisation et construction de savoirs en S.V.T. : quelques questions méthodologiques et théoriques*. Actes du Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation. AREF, Strasbourg.
- **Martinand, J-L. (1992).** *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP
- **Orange, C. (2005).** *Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques*. Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle.
- **Orange, C. (2010).** *Situations forcées, recherches didactiques et développement du métier d'enseignant*. Recherches en Éducation.
- **Orange, C. (2012).** *Enseigner les sciences ; problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. Éditions de Boeck, collection Le point sur...Pédagogie.
- **Plantin, C. (1996).** *Le trilogue argumentatif. Présentation de modèle, analyse de cas*. Langue française.
- **Popper, K. (1991).** *La connaissance objective*. Paris : Aubier.
- **Rey, B. (2002).** *Diffusion des savoirs et textualité*. Recherche et formation.
- **Taton, R. (1957).** *Histoire générale des sciences*. Paris, PUF.
- **Toulmin, S. (1958).** *L'explication scientifique*. Paris : Armand Colin.

11. Annexes

11.1. Annexe 1 : conceptions individuelles

Conceptions individuelles initiales des élèves recueillies lors de la phase 1 le 7 et le 8 janvier 2019. Les travaux sont classés par ordre de groupes, de l'élève G1-E1 à l'élève G7-E4. (sans les groupes 3, 4, 5, 8, 9 et 10).

[Empty box]

En hiver il faut moins de soleil car plus d'eau que en été



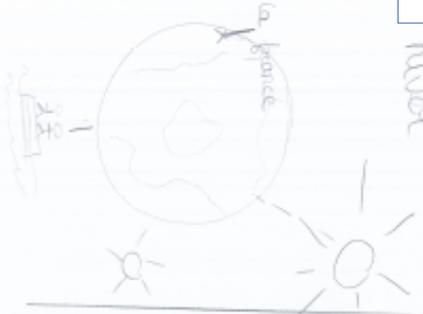
ÉTÉ

En été le soleil se rapproche par rapport en été

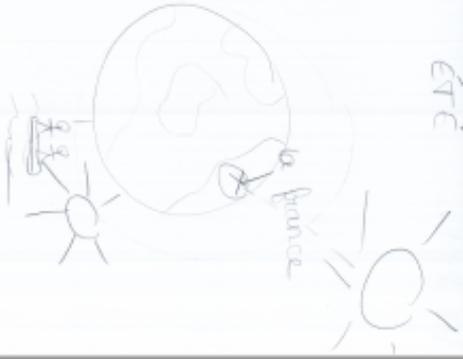


[Empty box]

hiver



ÉTÉ



En hiver on a plus de soleil car plus d'eau que en été. Quand la glace est liquide, l'eau se réchauffe et le soleil est plus proche. En été on a moins de soleil car la glace est solide et le soleil est plus loin.

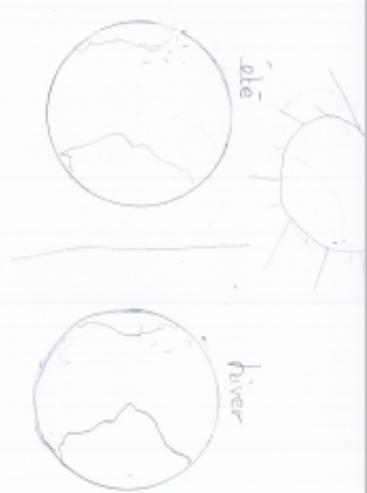
[Empty box]



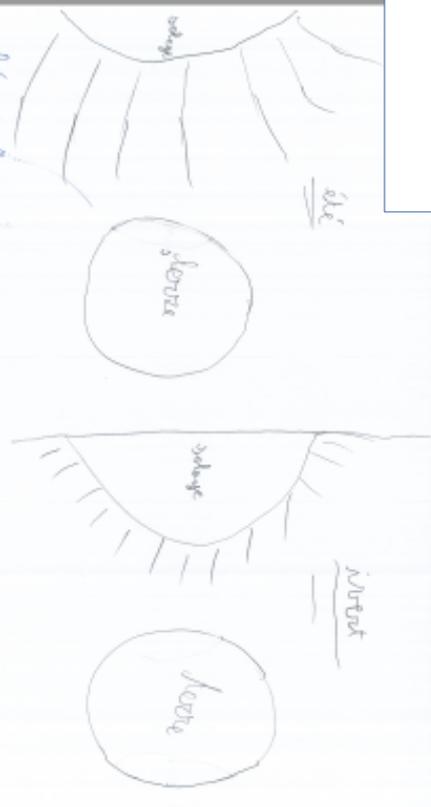
Le soleil tourne autour de la Terre mais il s'éloigne d'un côté et se rapproche de l'autre.



En hiver on a plus de soleil car plus d'eau que en été. Quand la glace est liquide, l'eau se réchauffe et le soleil est plus proche. En été on a moins de soleil car la glace est solide et le soleil est plus loin.



Je pense que :
 Les saisons seurent et decrivent les differents moments de l'année.
 (5) Il faut plus chaud s'il est que l'été, c'est par ce que le soleil est plus proche de la terre.



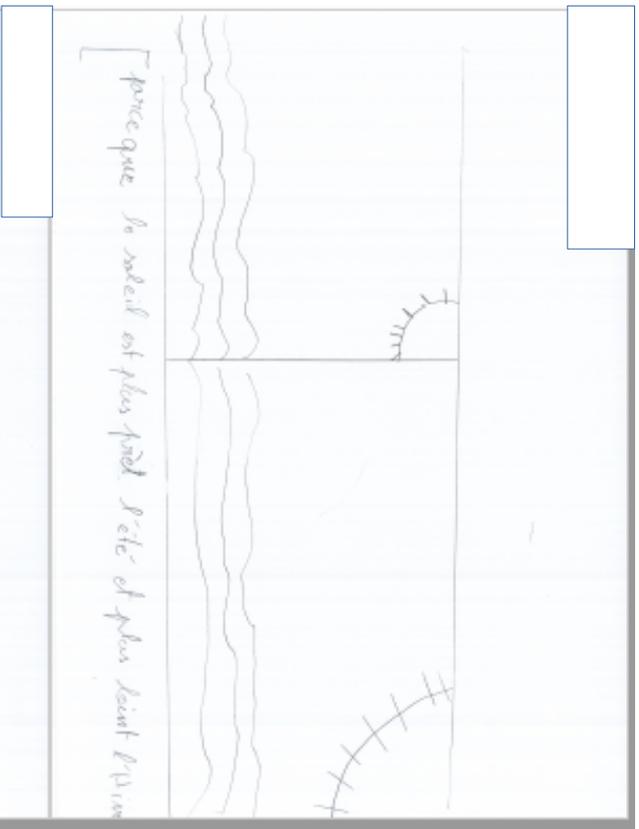
L'été les jours de soleil sont plus long et moins d'ombres par la mer, et l'hiver les ombres sont plus longues et l'eau est plus froide l'hiver.



En hiver en été, mais à ce moment où on est quand on est en été, on a le soleil.



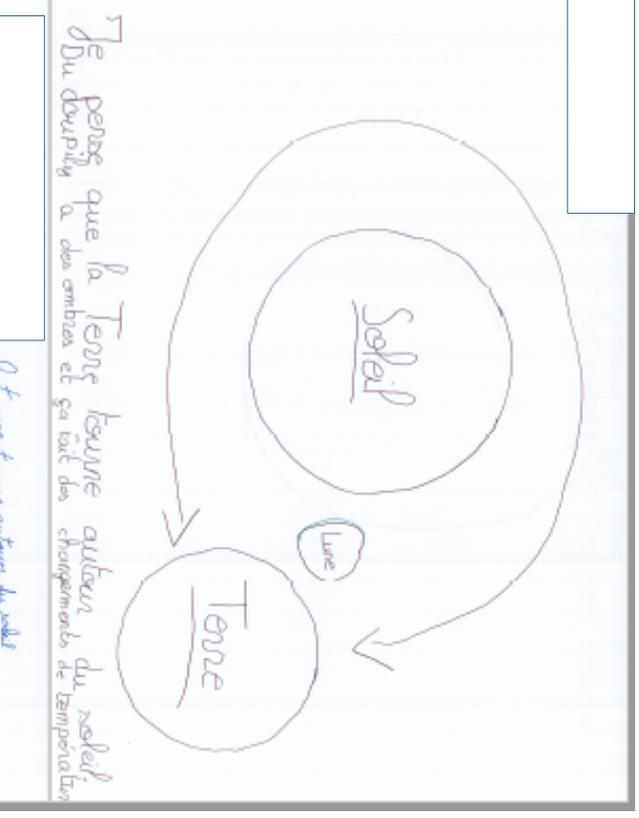
Je pense que c'est que la terre tourne et que fait que le soleil nous donne la chaleur en été, mais il y a des saisons.



Parce que le soleil est plus haut. Surtout en plus haut l'été.



Quand les nuages comme ça, quand le soleil est plus haut, ça fait plus chaud. C'est l'été. Quand les nuages sont plus bas, ça fait plus froid. C'est l'hiver.



Je pense que la Terre tourne autour du soleil. Du soleil ça fait des ombres et ça fait des changements de température.

La terre tourne autour du soleil.

quand le soleil tourne autour de la terre, c'est l'été quand elle est plus haut, c'est l'hiver.



je pense que en été
il y a plus de nuages
à cause du soleil
il fait plus chaud

hiver
les nuages
c'est plus
est il plus
froid

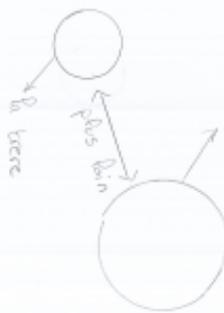


Le soleil



été

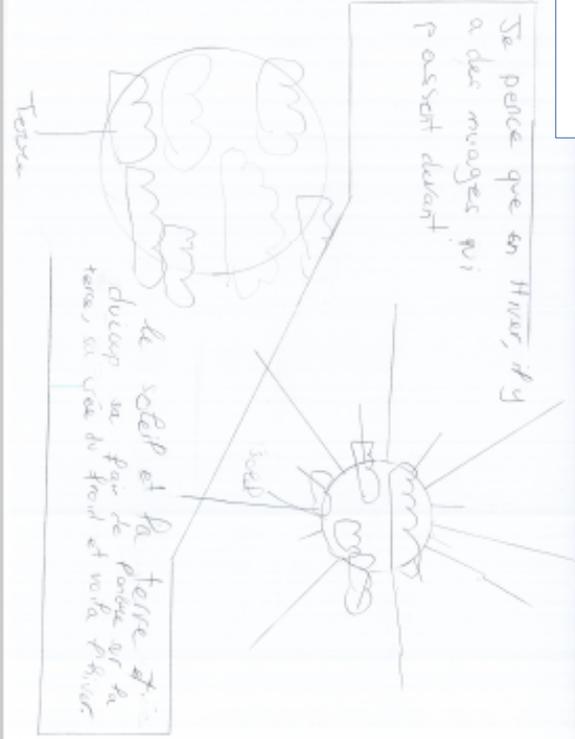
Le soleil



River

Je pense que s'est en fonction du soleil
que il fait plus chaud et plus froid

Je pense que en Hiver, il y
a des nuages qui
passent devant



Le soleil et la terre
du coup se fait de passer en la
terre et ça va de froid et de la pluie

Élève G7-E3
Absent le jour du recueil.

11.2. Annexe 2 : analyse des modèles simples

Analyse des modèles simples par les petits groupes. Travail effectué le 10 et le 11 janvier 2019. Les travaux sont classés par ordre de groupe (G1, G2, G6 et G7).

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1				Ce n'est pas possible car quand une partie de la terre est tournée vers le soleil c'est le jour et de l'autre côté c'est la nuit.
2				Ce n'est pas possible car ce n'est pas le soleil qui tourne autour de la terre.
3				Ce n'est pas possible car la lune tourne autour de nous.
4				Ce n'est pas possible car même en été il y a des nuages.
5				Ce n'est pas possible car l'été il y a du vent en été et en hiver ce n'est pas possible.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1			impossible	Car c'est le jour et la nuit et aussi ce n'est pas assez complexe.
2			impossible	Car c'est la planète qui tourne autour du soleil.
3			impossible	Car la lune tourne aussi autour de la terre.
4			impossible	Car les nuages sont là toute l'année.
5			impossible	Car il y a du vent dans toutes les saisons.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1			impossible	C'est pas la nuit qui forme les saisons. Parce que autrement l'été il ferait toujours jour et l'hiver il ferait toujours nuit.
2			impossible	Ça n'est pas le soleil qui tourne autour de la terre c'est la terre qui tourne autour du soleil le soleil ne bouge pas.
3			impossible	En hiver, il ferait toujours nuit à cause de la lune. En été, il ferait toujours chaud. Mais que la lune est derrière la terre.
4			impossible	En hiver on aurait tout le temps des nuages et en été on aurait jamais.
5			impossible	Ça n'est pas le vent qui forme les saisons car le vent on le sent mais on ne voit pas.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
1		non	Pas possible	Car les saisons ne changent pas en 1 jour.
2		non	pas possible	Car le système solaire n'est pas respecté (à l'envers)
3		non	Pas possible	Car il n'y a pas d'éclipse tout les jours et la saison est la même pour toute la terre.
4		oui	pas possible	parce que les nuages existe en hiver comme en été.
5		non	pas possible	car il y a du vent en été comme en hiver.

11.3. Annexe 3 : arguments pour les modèles simples

Validation des arguments proposés par la classe et choix d'un argument pour chacun des modèles simples par les petits groupes. Travail effectué le 14 et le 15 janvier 2019. Les travaux sont classés par ordre de groupe (G1, G2, G6 et G7).

G1

Pour expliquer le phénomène des saisons,	
La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent <i>Faux</i>	C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même <i>Faux</i>	La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil <i>Vrais</i>	Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre côté c'est la nuit Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver

G2

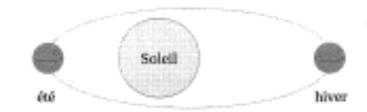
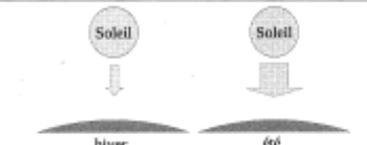
Pour expliquer le phénomène des saisons,	
La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent <i>Faux</i>	C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre <i>Faux</i>	La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même <i>Faux</i>	La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil <i>Faux</i>	Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre côté c'est la nuit Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver

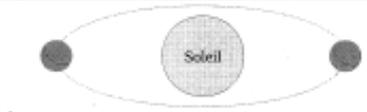
Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent Faux	C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre Faux	Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre Faux	La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même Vrai	La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre <i>vrai</i> Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil Faux	Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre côté c'est la nuit Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver <i>On ne voit pas la Lune l'été.</i> <i>On ne voit pas la Lune l'été.</i>

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
le phénomène des saisons est lié au vent Faux	C'est pas la nuit et le jour qui forment les saisons En hiver il ne fait pas toujours nuit à cause de la Lune Il n'y a pas de vent entre la Terre et le Soleil Il n'y a pas forcément de vent en hiver Il n'y a pas toujours des nuages l'hiver Il y a des éclipses de Lune l'été Il y a des nuages en été et en hiver
le phénomène des saisons est lié à Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre Vrai FAUX	Il y a des saisons car les nuages cachent le Soleil en hiver Il y a du vent en été comme en hiver L'été et l'hiver, ce n'est pas la même chose que le jour et la nuit L'été il fait plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil L'été ne dure pas qu'une journée, ni l'hiver L'hiver il ne fait pas toujours nuit et l'été il ne fait pas toujours jour
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre Faux	La Lune est la cause de la nuit sur Terre La Lune tourne autour de la Terre en moins d'une saison La saison est la même sur toute la Terre en même temps La saison n'est pas la même sur toute la Terre au même moment La Terre est plus éloigné du Soleil l'hiver
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même Faux	La Terre tourne autour du Soleil en un an La Terre tourne sur elle-même en un jour Le Soleil ne tourne pas autour de la Terre Le vent, on peut le sentir mais on ne le voit pas Les nuages ne sont pas dans l'espace Les nuages se déplacent
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil VRAI	Les saisons ne changent pas en un jour Quand la Lune est derrière la Terre, il fait chaud Quand la terre est tournée vers le Soleil, c'est le jour et de l'autre côté c'est la nuit Une éclipse de Lune ne dure pas tout l'hiver <i>On ne voit pas la Lune l'été.</i> <i>On ne voit pas la Lune l'été.</i> <i>On ne voit pas la Lune l'été.</i>

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
6	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et la distance Terre-Soleil est plus faible en été.</p>		impossible	Pource que été en hiver le soleil est plus proche été alors qu'en été le soleil est plus éloigné
7	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de la Terre est incliné</p>		Possible	Pource que en hiver la Terre est plus inclinée été tandis qu'en été été la Terre est moins inclinée
8	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est plus faible en hiver.</p>		impossible	Pource que le soleil est tout le Temps parall.

	Modèle proposé	J'ai proposé ce modèle	Possible ou impossible	Pourquoi ?
6	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et la distance Terre-Soleil est plus faible en été.</p>	Non	Pas possible	La terre est plus éloigné du soleil été et plus proche en hiver
7	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de la Terre est incliné</p>	Non	Possible	Car la terre bouge et s'incline
8	 <p>La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est plus faible en hiver.</p>	OUI	Pas possible	Car le soleil est parall toute l'année

11.5. Annexe 5 : arguments pour les modèles complexes

Validation des arguments proposés par la classe et choix d'un argument pour chacun des modèles simples par les petits groupes. Travail effectué le 24 et le 25 janvier 2019. Les travaux sont classés par ordre de groupe (G1, G2, G6 et G7).

G1

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été FAUX	A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus fort qu'en été L'axe de rotation de la Terre ne change pas L'éclat du Soleil est plus important l'hiver L'éclat du Soleil est tout le temps le même L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre L'éclat du Soleil ne peut pas changer L'été, la Terre est plus loin du Soleil La Terre est inclinée par rapport au Soleil La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver La Terre est plus proche du Soleil en hiver La Terre tourne et s'incline
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné <i>Scalib</i>	La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour Le Soleil reflète moins en hiver Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver <i>Faux</i>	

G2

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été <i>Faux</i>	A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus fort qu'en été L'axe de rotation de la Terre ne change pas L'éclat du Soleil est plus important l'hiver L'éclat du Soleil est tout le temps le même L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre L'éclat du Soleil ne peut pas changer L'été, la Terre est plus loin du Soleil La Terre est inclinée par rapport au Soleil La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver La Terre est plus proche du Soleil en hiver La Terre tourne et s'incline
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné <i>Vrai</i>	La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour Le Soleil reflète moins en hiver Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver <i>Faux</i>	

66

Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été <i>Faux</i>	<p>A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été.</p> <p>Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver</p> <p>En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus</p> <p>En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus fort qu'en été</p> <p>L'axe de rotation de la Terre ne change pas</p> <p>L'éclat du Soleil est plus important l'hiver</p> <p>L'éclat du Soleil est tout le temps le même</p> <p>L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre.</p> <p>L'éclat du Soleil ne peut pas changer</p> <p>L'été, la Terre est plus loin du Soleil</p> <p>La Terre est inclinée par rapport au Soleil</p> <p>La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver.</p> <p>La Terre est plus proche du Soleil en hiver</p> <p>La Terre tourne et s'incline</p> <p>La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour</p> <p>Le Soleil reflète moins en hiver</p> <p>Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre. FAUX</p> <p>Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été</p>
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné <i>Vrai</i>	
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver <i>Faux</i>	

67

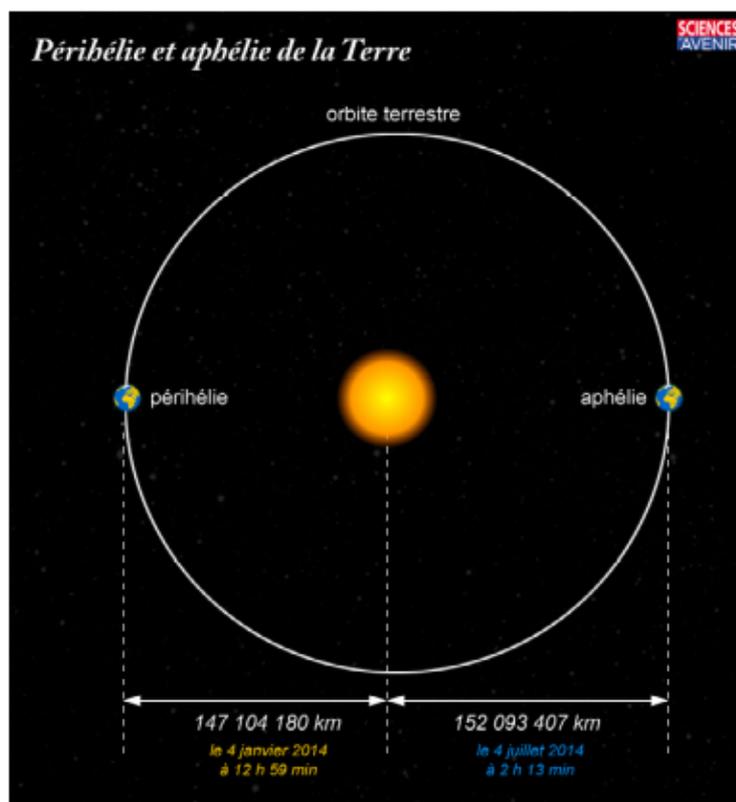
Pour expliquer le phénomène des saisons,

La classe propose que ...	La classe propose les arguments suivants ...
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été <i>Faux</i>	<p>A cause de l'inclinaison de la Terre, nous recevons plus les rayons du Soleil en été</p> <p>Dans certains pays, il n'y a ni été, ni hiver</p> <p>En été, l'hémisphère nord est incliné vers le Soleil, le Soleil tape plus</p> <p>En hiver, l'éclat des rayons du Soleil peuvent être plus fort qu'en été</p> <p>L'axe de rotation de la Terre ne change pas Vrai!</p> <p>L'éclat du Soleil est plus important l'hiver</p> <p>L'éclat du Soleil est tout le temps le même</p> <p>L'éclat du Soleil n'est pas lié à la rotation de la Terre</p> <p>L'éclat du Soleil ne peut pas changer</p> <p>L'été, la Terre est plus loin du Soleil</p> <p>La Terre est inclinée par rapport au Soleil</p> <p>La Terre est plus inclinée en été qu'en hiver</p> <p>La Terre est plus proche du Soleil en hiver</p> <p>La Terre tourne et s'incline</p> <p>La variation de l'éclat du Soleil peut changer en un jour</p> <p>Le Soleil reflète moins en hiver</p> <p>Quand il fait une saison, c'est la même sur toute la Terre</p> <p>Quand nous sommes en hiver, l'autre côté de la Terre est en été.</p>
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné <i>Vrai</i>	
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver <i>Faux</i>	

11.6. Annexe 6 : documents de la phase 5

Les trois documents suivants sont distribués lors de la phase 5 de la séquence pour aider les élèves à analyser les modèles plus complexes.

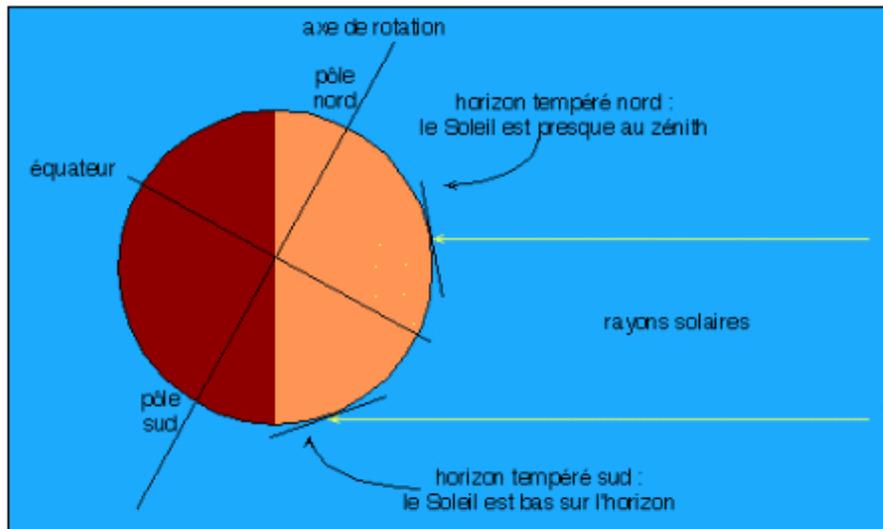
Document 1



Source : Sciences et avenir

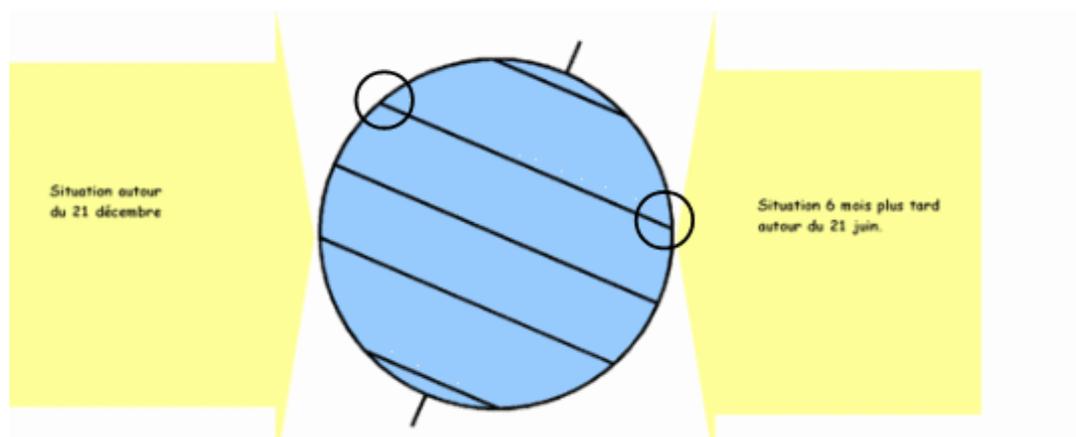
La distance entre la Terre et le Soleil n'est pas constante dans l'année. Elle varie très légèrement entre l'hiver et l'été. Comme le montre le schéma ci dessus, la Terre est plus proche du Soleil en hiver et plus éloignée du Soleil en été.

Document 2



Source : Observatoire de Marseille

L'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport aux rayons du Soleil. Les rayons du Soleil arrivent sur la Terre plus inclinés en hiver.



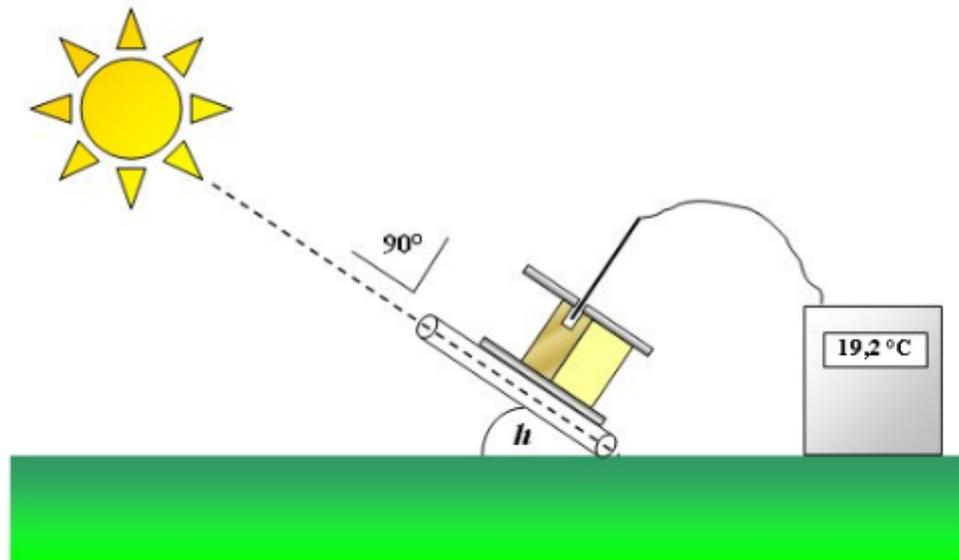
Document 3

La constante solaire est la quantité d'énergie solaire que reçoit la Terre.

La constante solaire n'est pas tout à fait une constante. Elle varie légèrement en fonction de l'activité du Soleil. Cette variation se produit tout au long de l'année mais aussi durant la journée. L'activité du Soleil peut être plus importante en hiver qu'en été.

Source: Wikipédia

Appareil pour mesurer la quantité d'énergie reçue par la Terre.



11.7. Annexe 7 : écrits de savoirs intermédiaires et problématisés

Les écrits intermédiaires ont été réalisés lors de la phase 4 de la séquence, le 14 et 15 janvier 2019. Les écrits de savoirs problématisés ont été réalisés lors de la phase 7 de la séquence le 24 et le 25 janvier 2019. Classement par ordre de groupe et d'élève, de G1-E1 à G7-E4.

<p>MODÈLES SIMPLES</p> <p>Le phénomène des saisons est lié à la réverbération de la Terre car l'eau dans l'air fait l'effet de la serre.</p>	<p>MODÈLES SIMPLES</p> <p>Le phénomène des saisons est lié à la terre car la terre (en fait) tourne et il fait plus froid et en fait la terre se tourne en fait plus chaude.</p>
<p>MODÈLES COMPLEXES</p> <p>Le phénomène des saisons n'est pas lié à la terre car la terre tourne autour de la terre et ça change rien.</p>	<p>MODÈLES COMPLEXES</p> <p>Le phénomène des saisons n'est pas lié à la terre car la terre tourne autour du soleil et l'angle de rotation de la terre est incliné c'est ça qui change de rotation de la terre ne change pas.</p>
<p>MODÈLES COMPLEXES</p> <p>Le phénomène des saisons n'est pas lié à la réverbération de la terre car si la terre n'y a pas de réverbération de la terre il n'y aurait pas de saison.</p>	<p>MODÈLES COMPLEXES</p> <p>Le phénomène des saisons n'est pas lié à la terre car la terre tourne autour du soleil et la terre est plus proche du soleil en été et plus loin du soleil en hiver, la terre est plus loin du soleil.</p>

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil. Parce que quand la Terre est proche du Soleil c'est l'été et quand elle est loin c'est l'hiver.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Lune qui fait tourner la Terre sur elle-même. Parce que la Lune tourne autour de la Terre et pas l'inverse. Elle ne reste pas sur place.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à l'axe incliné de la Terre qui tourne autour du Soleil car l'axe de rotation de la Terre ne change pas.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à ce que la Terre est plus proche du Soleil en été car l'axe de rotation de la Terre tourne quand elle tourne.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil car l'été est plus chaud car la Terre est plus proche du Soleil.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même parce que les saisons ne changent pas en un jour.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la Terre qui tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné parce que l'axe de rotation de la Terre ne change pas.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Terre qui tourne autour du Soleil et l'été est plus chaud car l'axe de rotation de la Terre est incliné parce que l'axe de rotation de la Terre ne change pas.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à l'eau et aux rayons du soleil car l'éto les rayons du soleil sont plus forts et absorbent par la mer mais il y a plus de rayons et ambience se sont même perdus au nord de

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la lune car la lune ne change pas de jour et la nuit.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de la terre et ne change pas de jour.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la terre car c'est le jour et la nuit.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la rotation de la terre qui tourne autour du soleil. Car il y a une période qui s'appelle l'été où la terre est plus proche du soleil que les autres périodes.

Le phénomène des saisons n'est pas lié au jour et la nuit car le jour et la nuit se répète toujours et se répète les fois dans l'année que les saisons dure à peu près 3 mois (1 an).

MODÈLES COMPLEXES



Le phénomène des saisons n'est pas lié au soleil qui est plus proche du soleil.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à l'axe de la Terre qui tourne autour du Soleil car quand la Terre tourne le soleil réfléchit sur une partie de la Terre et puis ça fait que ça va et vient pendant 3 mois et puis après ça recommence.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à quelque chose parce que là y en a très bien en été quand on lit.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la Terre qui est inclinée et que elle tourne sur elle-même. car si elle ne tourne pas sur elle-même il ferait toujours jour sur un côté de la Terre et de l'autre nuit.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à l'axe de la Terre qui est incliné et qui est plein tout l'été qu'on lit.

MODÈLES SIMPLES ^{6^e}

Le phénomène des saisons est lié à l'axe de la Terre qui est inclinée et qui tourne autour du Soleil. ça va et vient pendant 3 mois et puis après ça recommence.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à l'axe qui fait tourner la Terre le soleil et la terre. car si la terre ne tourne pas toujours jour et nuit et si elle ne fait pas toujours jour.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de la Terre sur l'axe de la Terre.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à l'axe de la Terre qui est incliné et qui est plein tout l'été qu'on lit.

MODELES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la rotation de la terre sur elle-même car la saison n'est pas la même sur toute la terre au même moment.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à avec nuages qui font obscurcir le soleil et la terre son diamètre nuageux on s'éloie en hiver,

MODELES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la terre tourne autour du soleil et l'axe de rotation de la terre est incliné car la terre est inclinée non rapport au soleil

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la terre tourne autour du soleil et la terre est plus chaude du soleil car elle est plus chaude car elle tourne en hiver on s'éloie de la terre. Surtout autour du soleil et il existe du soleil est moins fort en hiver car la variation de soleil du soleil qui change en son jour.

MODELES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la rotation de la terre sur elle-même la saison n'est pas la même sur toute la terre

Le phénomène des saisons n'est pas lié à l'été et l'hiver ce n'est pas en même chose que le jour et la nuit

MODELES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à

Le phénomène des saisons n'est pas lié à

0

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à ~~la rotation de la Terre~~
La rotation de la Terre autour du Soleil
La rotation de la Terre autour elle-même
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

Le phénomène des saisons n'est pas lié à
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à ~~la Terre~~
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre
Le Soleil est au centre du système solaire
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

Le phénomène des saisons n'est pas lié à
La rotation de la Terre autour du Soleil
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

Le phénomène des saisons n'est pas lié à
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre
Le Soleil n'est pas le centre de la Terre

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil car comme la Terre met 1 an à faire le tour du Soleil et comme les saisons reviennent tous les ans.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre car on voit la Lune pleine comme l'été et les nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre car les nuages ne sont pas dans l'espace.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à _____

Le phénomène des saisons n'est pas lié à _____

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la Lune car elle revienne chaque année

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Terre car elle est au vent du vent du River comme en été

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la Terre car elle est au vent du vent du River

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Terre car elle est au vent du vent du River

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil et la saison revient tous les années et la Terre tourne autour du Soleil en un an.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même car la Terre tourne sur elle-même en un jour.

MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est inclinée car la Terre est inclinée par rapport au Soleil.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la Terre tourne autour du Soleil et la Terre est plus proche du Soleil en été car l'été la Terre est plus loin du Soleil.

MODÈLES SIMPLES

Le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre autour du Soleil car les saisons changent chaque années. La Terre tourne autour du Soleil.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même car la Terre tourne sur elle-même en un jour. La Terre tourne qui fait qu'il y a l'été car la Terre est plus loin du Soleil en été.

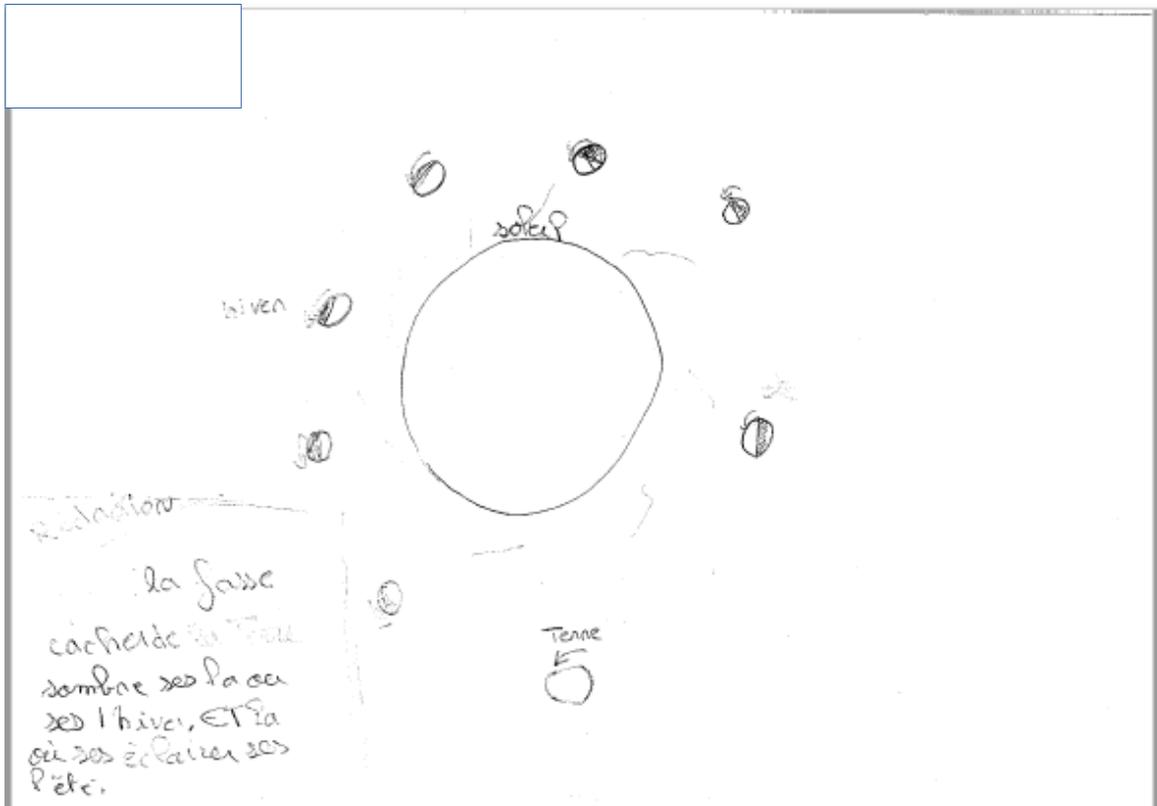
MODÈLES COMPLEXES

Le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est inclinée par rapport au Soleil.

Le phénomène des saisons n'est pas lié à la rotation de la Terre sur elle-même car la Terre tourne sur elle-même en un jour. La Terre tourne qui fait qu'il y a l'été car la Terre est plus loin du Soleil en été.

11.8. Annexe 8 : écrits d'évaluation

Les écrits d'évaluation ont été réalisés lors de la phase 8 de la séquence, le 04 et 05 février 2019. Classement par ordre de groupe et d'élève, de G1-E1 à G7-E4.

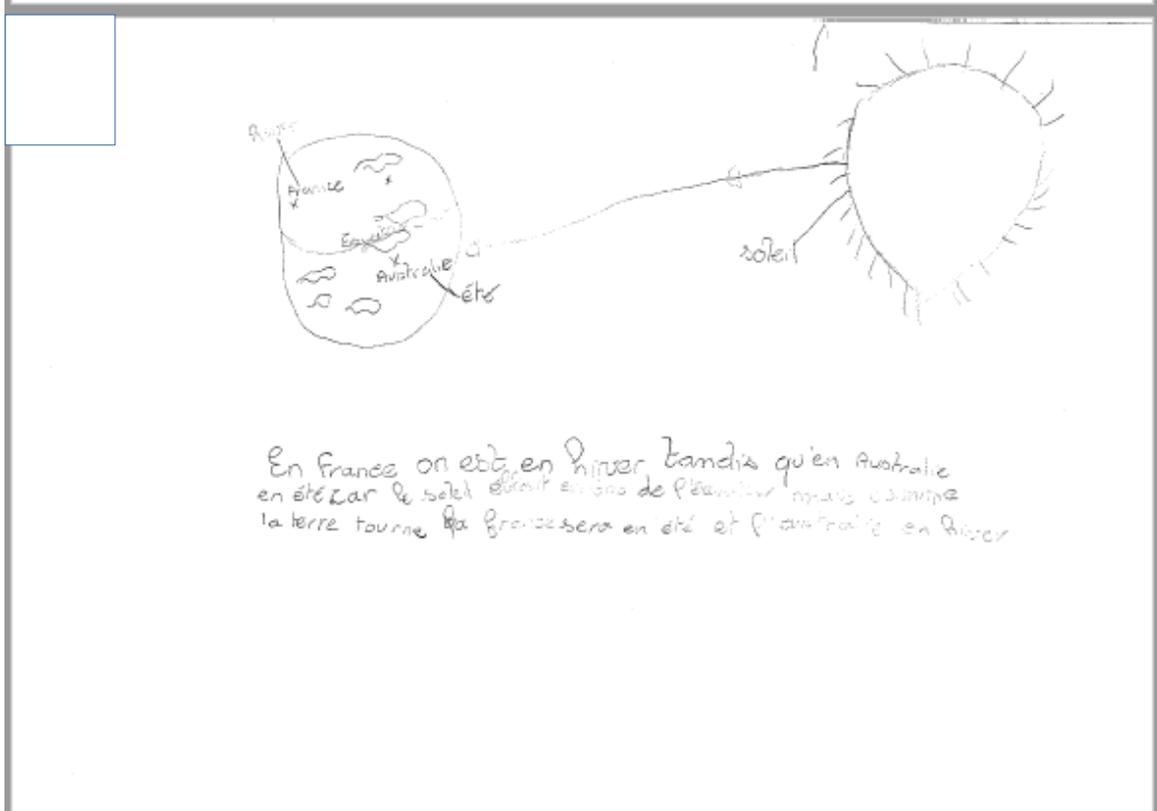


soleil

hiver

Terre

l'été
la fosse
cachée de la Terre
sombre ses faces
de l'hiver, et la
seul ses éclairer ses
Pêre.



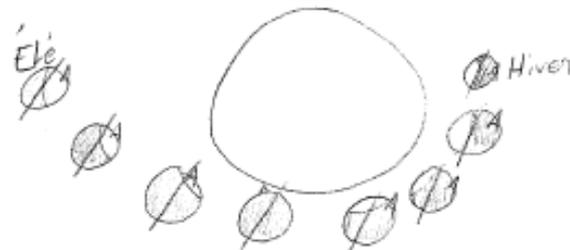
France

Australie

été

soleil

En France on est en hiver tandis qu'en Australie
en été car le soleil est au-dessus de l'équateur mais comme
la terre tourne la France sera en été et l'Australie en hiver



Il y a des saisons à cause de la rotation de la terre en été nous sommes plus loin du soleil mais nous sommes tournés vers le soleil et en hiver nous sommes plus proches mais nous sommes pas face au soleil

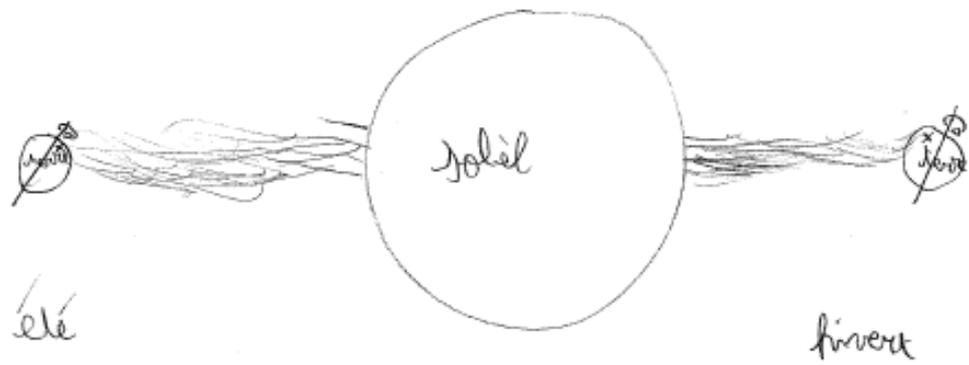
HIVER



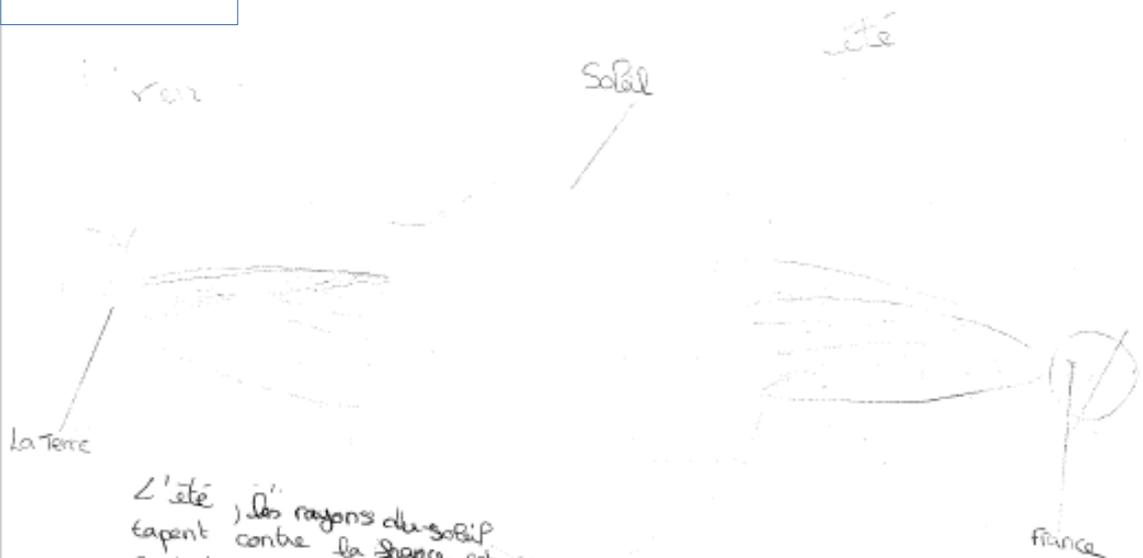
ÉTÉ



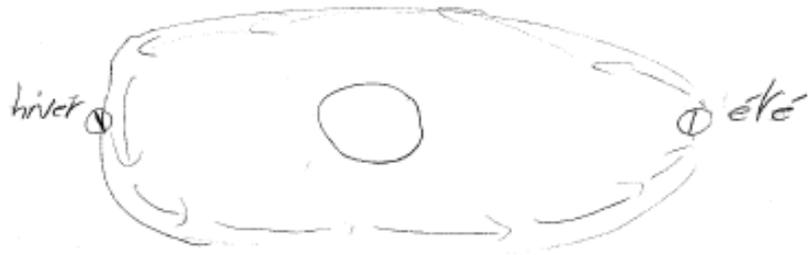
En hiver il fait froid car les rayons du soleil sont de l'autre côté de la terre et en été c'est le contraire la France est de l'autre côté



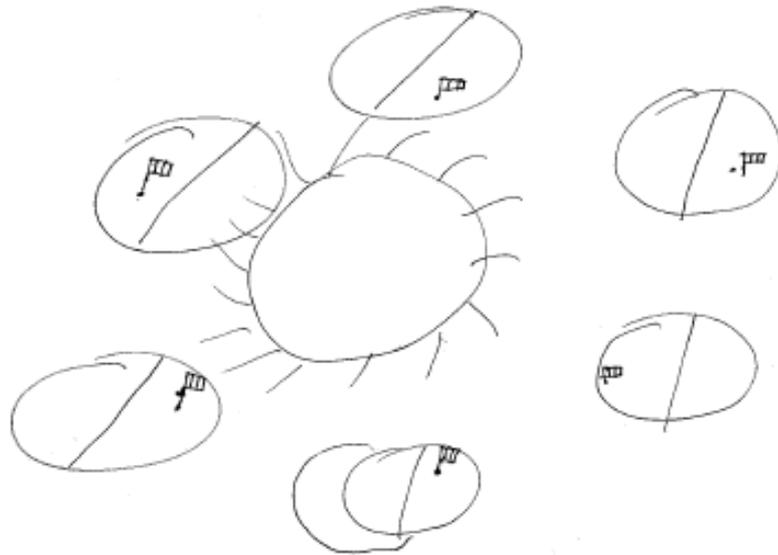
l'été l'inclinaison de la terre est vers le soleil et l'hiver est l'inverse et les rayons du soleil sont glissés sur la terre.



l'été, les rayons du soleil tapent contre la France et sont bien en face contrairement à l'hiver car l'hiver, le soleil ne tape pas en plein sur l'endroit de la terre où nous sommes.

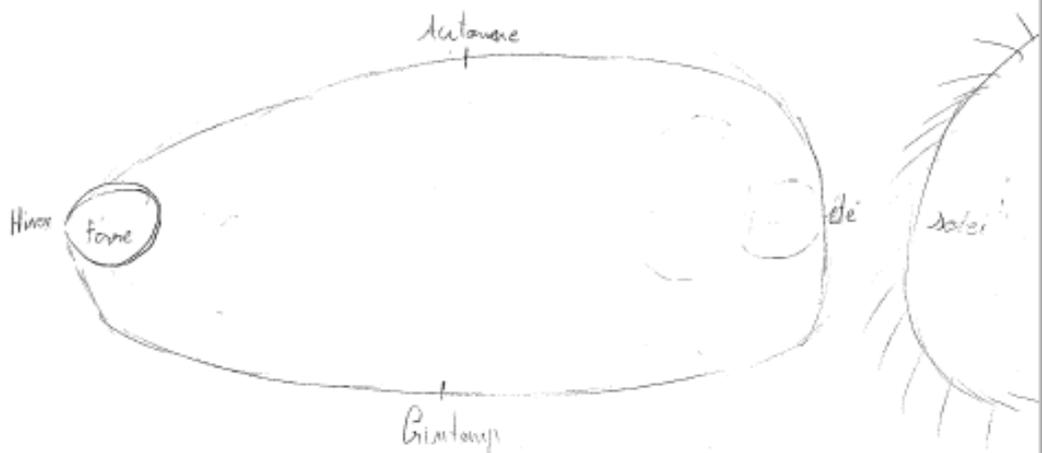


La cause des saisons est liée à la rotation de la Terre, car en hiver pendant 6 mois la Terre reste de fonction que le soleil rafe plus vers le bas de la Terre alors quand été c'est plus éclairée au haut de la Terre.



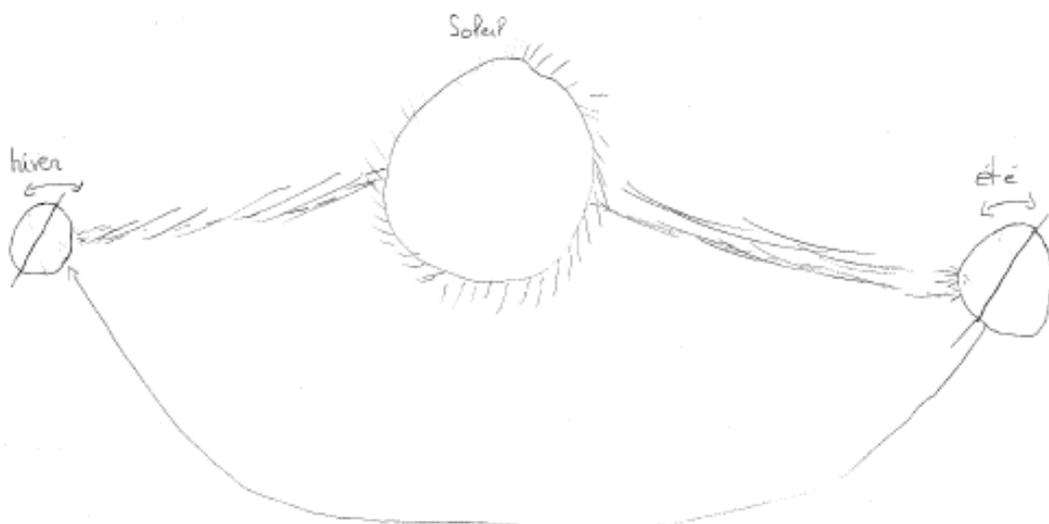


Il fait plus chaud en été quand la terre et les nuages d'été. Les nuages cache presque tout le soleil donc on veut dire que on est en hiver et de l'autre côté il ya presque pas de nuages donc on veut dire que on est en été.

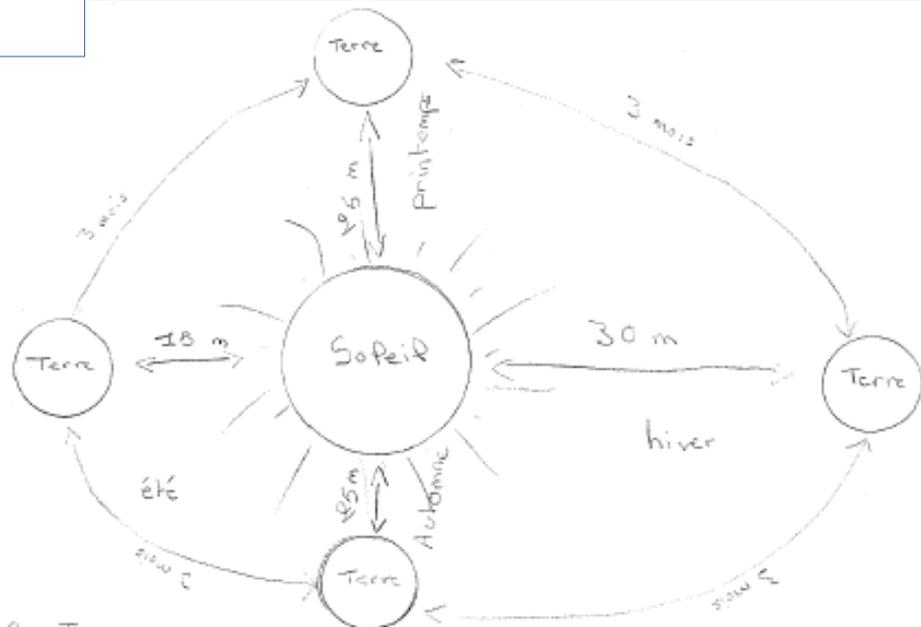


En été on est plus près du soleil, et en Hiver on est plus loin du soleil.

^{sp1}
L'hiver et l'été ont lieu en raison de l'inclinaison de l'axe de la Terre autour du Soleil.



En été, le soleil tape droit vers la Terre (les flèches sont droites). En hiver, le soleil tape incliné sur la Terre (les flèches sont penchées).



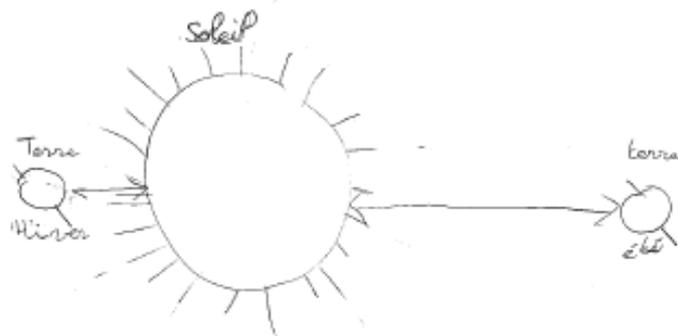
En été la Terre est plus proche du Soleil qu'en hiver, car elle fait 3 mois pour changer de saison et comme il y a 365 jours en 1 an et renouvelle les saisons tous les ans.



été



hiver



En été les rayons du Soleil tape sur la Terre et l'hiver les rayons du soleil passent sur les côtés de la Terre. En été la Terre est plus loin du Soleil et en hiver la Terre est plus proche du Soleil.

11.9. Annexe 9 : catégorisation des écrits de groupe

Faits	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Non concordance de la périodicité des saisons et du cycle jour-nuit	AF	AF	AFP	AF	AF	ANF	AF	AFP	AF	AF
Présence d'obstacles, de vent toute l'année	AF	ANF	AF	AF						
Concordance de la périodicité des saisons et de la révolution de la Terre autour du Soleil	AFP	AFP	AFP	AF	AFP	AFP	AF	AF	AF	ANF
Distance au soleil plus faible en hiver	AF	ANF	AFP							
La constante solaire peut être plus élevée en hiver	AFP	ANF	AF	AFP	AF	AF	AF	AF	AF	ANF
Il y a opposition des saisons entre les deux hémisphères	ANF	ANF	ANF	AFP	ANF	ANF	ANF	ANF	AF	AF
Nécessités	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Le phénomène est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil (phase 2)	F	F	F	F	F	F	FP	FP	F	F
Le phénomène est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil (phase 3)	FP	FP	FP	NF	FP	NF	F	NF	F	F
Nécessités complexes	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de l'axe terrestre (phase 5)	NF	FP	NF	NF	F	FP	F	F	F	NF
Le phénomène des saisons est lié à l'inclinaison de l'axe terrestre (phase 6)	FP	FP	FP	FP	F	FP	FP	FP	F	F
Total	4	4	4	5	7	4	7	4	9	6

11.10. Annexe 10 : transcription des débats du groupe 1

Les épisodes sont repérés dans la transcription par des alternances de couleur. Ce débat a été enregistré le 10 janvier 2019 dans un petits groupes de 4 élèves. Sa durée initiale est de 24 minutes et 37 secondes mais seulement 6 minutes et 23 secondes du débat, réellement consacrés au sujet, sont retranscrites.

G1-E3	44.	Déjà, moi je suis pas d'accord sur ça, parce que là c'est comme si s'était le Soleil qui tournait	P
Professeur	45.	Essayez d'analyser et dites c'est possible ou pas et pourquoi ?	T
G1-E3	46.	(Parlant du modèle 2) Ça c'est pas possible parce que c'est pas le Soleil qui tourne c'est la Terre.	P
G1-E1	47.	Le 4, c'est stupide. Je trouve ça bizarre d'avoir des nuages.	
G1-E4	48.	Bah oui, parce que y'a des nuages partout	P
Prof.	49.	Donc ... possible ou pas possible	
G1-E4	50.	Donc pas possible parce que c'est pas parce que y'a des nuages qu'on est en hiver	P
G1-E2	51.	Bah, je suis d'accord parce qu'en été, y'a quand même des nuages	P
G1-E4	52.	(Parlant du modèle 1) Quand la France, elle est tournée vers le Soleil, en ben c'est l'été parce qu'on est près du Soleil et quand la Terre, elle a tourné et qu'elle du côté pas du Soleil, et ben c'est en hiver parce que y'a pas de Soleil.	P
G1-E2	53.	Donc c'est possible ou pas ?	
G1-E3	54.	C'est le jour. Quand y'a une partie qu'est tourné vers le Soleil, c'est le jour	O
G1-E1	55.	La Terre tourne quand même	T
G1-E3	56.	Bah oui, c'est le jour là (montrant la partie de la Terre éclairé) et là c'est la nuit (montrant l'autre côté). Quand c'est tourné vers le Soleil, c'est le jour.	P
G1-E4	57.	Donc c'est pas possible	P
G1-E1	58.	Pourquoi y'a deux lunes ?	T
G1-E4	59.	Parce que, en fait, ils disent que quand la Lune est devant le Soleil, ça nous cache et du coup c'est l'hiver	P
G1-E2	60.	Sinon, si on serait en hiver, il ferait tout le temps nuit alors	O
G1-E4	61.	J'ai compris, y'a la Lune devant le Soleil, moi je dis que c'est possible	P
G1-E3	62.	Ah ouai, tu dis que quand la Lune est devant nous, elle nous cache du Soleil, c'est l'hiver. Quand la Lune est derrière nous, c'est l'été. Vous êtes d'accord les gars ? Moi, je suis pas d'accord, c'est pas logique	O
G1-E4	63.	Bah moi, je trouve ça logique.	
G1-E3	64.	C'est pas parce que la Lune est devant nous qu'elle nous cache du Soleil !	O

G1-E2	65.	Bah sinon, l'hiver se serait tout le temps la nuit !	O
G1-E3	66.	Ça c'est la Terre ...	
G1-E4	67.	En hiver, le plus souvent il fait froid et là il fait un peu sombre	T
G1-E3	68.	Ah oui, j'avais pas compris le schéma. La, ça veut dire que si on est en hiver, on voit la Lune	P
G1-E2	69.	Bah souvent, de bonne heure, on voit la Lune	O
Professeur	70.	Là, ça veut dire que l'hiver y'a du vent et pas l'été.	T
G1-E1	71.	C'est totalement stupide là aussi. Hier y'avait du vent	T
G1-E4	72.	Oui mais on est en hiver Parce qu'en été, y'a du vent	O
G1-E2	73.	Mais y'a quand même du vent en été mais	O
G1-E4	74.	Un petit peu ...	
Professeur	75.	Et l'hiver ?	T
G1-E3	76.	Y'a du vent aussi	P
Professeur	77.	Et des fois ?	T
G1-E1, G1-E4	78.	Y'en n'a pas !	P
G1-E3	79.	Donc c'est faux.	P

11.11. Annexe 11 : transcription des débats du groupe 2

Les épisodes sont repérés dans la transcription par des alternances de couleur. Ce débat a été enregistré le 10 janvier 2019 dans un petits groupes de 4 élèves. Sa durée initiale est de 17 minutes et 06 secondes mais seulement 7 minutes et 10 secondes du débat, réellement consacrés au sujet, sont retranscrites.

G2-E2	1.	C'est un peu pareil sauf que là, c'est le Soleil qui tourne, et là c'est la Terre. Et y'a un moment où la planète se rapproche un peu du Soleil et il fait plus chaud	P
G2-E3	2.	La c'est la moitié de la Terre. Y'a cette partie qui est éclairée, et cette partie est pas éclairée	P
G2-E4	3.	Mais pourquoi éclairée ?	T
G2-E3	4.	Eclairée avec le Soleil	P
G2-E4	5.	Ah.	
G2-E3	6.	Ensoleillé si tu préfères	T
G2-E1	7.	Non, c'est pas logique, c'est pas possible, là où c'est écrit l'été, c'est le jour et là où c'est écrit l'hiver, c'est la nuit.	O
G2-E3	8.	Mais oui, mais c'est jour nuit mais c'est aussi l'hiver et l'été	P
G2-E1	9.	Bah non	O
G2-E3	10.	Bah nous on est en hiver, on est de ce coté là	P
G2-E1	11.	Quand on dort, c'est pas l'hiver et quand on est en train de se lever, c'est pas l'été	O

G2-E3	12.	Bah, je sais pas, c'est logique ou c'est pas logique	
G2-E2	13.	Moi j'aurais dit qu'il y a une période de l'année, en fait, où la planète est plus proche du Soleil que la période inversée.	P
Professeur	14.	Alors il y a un modèle que vous voulez éliminer directement ? Le modèle 5, l'élève propose que c'est le vent qui fait que c'est l'hiver	T
G2-E1	15.	Mais y'a du vent aussi en été.	O
G2-E4	16.	Un tout petit peu	
G2-E3	17.	Bah en été, des fois, il fait pas forcément beau	T
G2-E2	18.	Mais c'est peut être le vent qui fait le froid en fait	P
G2-E3	19.	Oui, mais c'est pas lui qui fait que le Soleil il éclaire moins que en été	O
G2-E4	20.	Mais si parce que y'a le brouillard, en hiver aussi	T
G2-E3	21.	En été, y'a du vent et c'est pas pour autant C'est pas parce qu'on est été que va forcément pas y avoir du vent	P
G2-E4	22.	En hiver, il fait plus froid qu'en été	T
Professeur	23.	Et celui là, vous en pensez quoi	
G2-E1	24.	Non, celui là c'est la nuit, celui là c'est le jour. C'est pas l'été et l'hiver.	P
G2-E2	25.	Oui mais ça joue aussi sur le fait que ce soit l'été et l'hiver	O
Professeur	26.	Mais est ce que ça peut expliquer l'été et l'hiver	T
G2-E4	27.	Bah parce que l'hiver c'est pas la nuit	T
G2-E2	28.	Parce que l'hiver ça dure longtemps et l'été aussi, là c'est un jour	P
G2-E3	29.	Du coup c'est pas possible Pas possible pourquoi ?	
G2-E1	30.	Parce que c'est le jour et la nuit, c'est pas l'hiver et l'été	P
G2-E2	31.	Pas possible. C'est la planète qui tourne autour du Soleil	P
G2-E3	32.	Pas le Soleil qui tourne autour de la planète	T
G2-E3	33.	Ici du coup, c'est possible, impossible	
G2-E1	34.	Parce que la Lune tourne autour de la Terre Elle tourne chaque nuit.	P
G2-E3	35.	Chaque nuit ça change, on n'est pas un coup en été, un coup en hiver	P
G2-E2	36.	Car la Lune bouge. La Lune bouge aussi autour du Soleil	T
G2-E1	37.	Y'a des nuages tout les jours	P
G2-E3	38.	Du coup, ici, c'est quoi	
G2-E1	39.	Y'a des nuages en hiver et pas en été	O
G2-E3	40.	Bah si y'en a en été	O
G2-E1	41.	Y'a des nuages toute l'année	P
G2-E3	42.	Car les nuages sont là toute l'année	T

11.12. Annexe 12 : transcription des débats du groupe 6

Les épisodes sont repérés dans la transcription par des alternances de couleur. Ce débat a été enregistré le 11 janvier 2019 dans un petits groupes de 4 élèves. Sa durée initiale est de 31 minutes et 36 secondes mais seulement 7

minutes et 40 secondes du débat, réellement consacrés au sujet, sont retranscrites.

G6-E4	1.	Alors le 1, c'est impossible	
G6-E3	2.	Possible	O
G6-E1	3.	Moi , je sais pas C'est pas la Terre qui tourne ...	O
G6-E3	4.	Moi je pense que c'est possible parce quand la Terre est vers ce coté et ben c'est plus l'été, elle tourne vers le Soleil	P
G6-E1	5.	Le Soleil, y bouge pas	T
G6-E2	6.	C'est la Terre ou le Soleil qui tourne ?	T
G6-E4	7.	Sur le 1, c'est la Terre qui tourne autour du Soleil	T
G6-E1	8.	Donc c'est faux	P
G6-E4	9.	Ok, c'est impossible, tout le monde est d'accord	P
G6-E1	10.	Je sais pas trop quand même, parce que quand la Terre elle tourne	O
G6-E1	11.	Le 2, c'est impossible parce que c'est la Terre qui tourne autour du Soleil	P
G6-E4	12.	Le Soleil il bouge pas	T
G6-E4	13.	La la Lune est devant, là la Lune est derrière. Bah oui c'est possible.	P
G6-E3	14.	Bah non, impossible	O
G6-E1	15.	La y'a des nuages	P
G6-E3	16.	C'est pas les nuages qui font changer le temps	O
G6-E4	17.	Bah si, parce que si ça passe devant	O
G6-E3	18.	L'été quand il fait chaud	T
G6-E1	19.	Ya plus de nuages en hiver	P
G6-E3	20.	Bah si ya de la neige	O
G6-E1	21.	Des nuages dans l'espace, ça existe pas	P
G6-E4	22.	En hiver, quand y'a des nuages qui passe, ça veut dire que, en hiver y'a pas de Soleil	P
G6-E2	23.	Mais des fois, y'a pas de nuages en hiver	O
G6-E4	24.	Ouai, mais ça cache le Soleil	O
G6-E2	25.	Pourquoi le 5 il est pas possible	P
G6-E4	26.	Du vent, ça fait rien	P
G6-E2	27.	Si c'est frileux	O
G6-E4	28.	La Lune elle passe. Je me suis trompé (parlant de son modèle)	P
G6-E1	29.	Mais c'est la nuit qu'elle fait, c'est l'hiver	O
G6-E4	30.	Oui, t'as raison, c'est impossible	P
G6-E1	31.	Le 1, si l'hiver c'est la nuit, ça veut dire que c'est faux	P
G6-E4	32.	Non, c'est possible parce que la Terre tourne autour de la Lune	O
G6-E2	33.	C'est pas le 1, pas le 2, pas le 3, pas le 4 pas le 5	
G6-E4	34.	Le 2, on dit que le Soleil ne peut pas tourner autour de la Terre	P
G6-E1	35.	Ce n'est pas nuit qui fait l'hiver	P

G6-E4	36.	C'est pas la nuit qui fait les saisons	T
G6-E1	37.	Parce, faut dire pourquoi c'est pas la nuit	
G6-E2	38.	Parce que c'est pas possible	
G6-E4	39.	Parce sinon il ferait toujours nuit en hiver	P
G6-E4	40.	Alors le 3, on dit quoi	
G6-E1	41.	La Lune est devant	T
G6-E2	42.	En été y'a pas de Soleil autrement	P
G6-E4	43.	Autrement, ça veut dire que l'été on voit pas la Lune	P
G6-E1	44.	En hiver, il ferait toujours nuit et en été il ferait toujours jour	P

11.13. Annexe 13 : transcription des débats du groupe 7

Les épisodes sont repérés dans la transcription par des alternances de couleur. Ce débat a été enregistré le 11 janvier 2019 dans un petits groupes de 4 élèves. Sa durée initiale est de 25 minutes et 45 secondes mais seulement 8 minutes et 10 secondes du débat, réellement consacrés au sujet, sont retranscrites.

G7-E4	1.	Je ne sais plus ce que j'avais mis	
G7-E1	2.	Ouais moi aussi c'était ça	
G7-E4	3.	Non moi c'était ça il y avait des nuages qui passait devant le Soleil	P
G7-E3	4.	Ouais moi aussi	
G7-E3	5.	Il y a pas la terre, c'est la terre ça ?	T
G7-E4	6.	Non ça c'est la Terre	O
G7-E1	7.	Non ça c'est la Terre ça c'est la lune	O
G7-E3	8.	Pourquoi il y a deux Terres	T
G7-E1	9.	Ca c'est en été ça c'est en hiver	P
Fleurine	10.	Moi c'était ça les nuages il passait devant la Terre où le Soleil	P
G7-E2	11.	Je me rappelle pas ce qu'on a fait	
G7-E1	12.	Moi je dis que le modèle 5 il est pas possible parce que le vent c'est quoi ?	P
G7-E4	13.	Bah le vent il est pas entre le Soleil et la Terre	P
G7-E1	14.	Oui c'est ça c'est pas lui qui fait tourner la Terre	P
G7-E4	15.	Bah non c'est pas lui qui fait tourner la Terre	O
G7-E2	16.	C'est la terre qui tourne	P
G7-E4	17.	Ça veut dire qu'il tourne autour du Soleil	P
G7-E1	18.	Donc le problème 5 n'est pas possible	P
G7-E4	19.	Je comprends pas le problème 1	
G7-E1	20.	Parce que là c'est en été et là en hiver. En gros ça veut dire en fait il y a une partie de la terre qui est vers le soleil l'été et vers la Lune c'est l'hiver	P
G7-E1	21.	Imagine que ça c'est la Terre ? la Terre est côté été et côté hiver	P
G7-E4	22.	Bah c'est pas possible	O

G7-E1	23.	Non c'est pas possible parce que la Terre elle tourne donc ça veut dire en gros en un jour tu passes de l'été à l'hiver	O
G7-E3	24.	Ben oui c'est bizarre	
G7-E4	25.	Ah, en un jour ah non	P
G7-E4	26.	Le problème 3 c'est à peu près la même chose	P
G7-E1	27.	Sauf que la terre elle est plus proche	O
G7-E1	28.	Le problème 4, il est pas possible parce que les nuages ça n'existe pas dans l'espace	P
G7-E4	29.	Oui c'est ça que je me suis posée mais en fait après j'ai écrit sauf que j'avais déjà posé la feuille	T
G7-E2	30.	Ouais c'est pas possible	P
G7-E4	31.	Ensuite le problème 2 moi j'ai pas compris	
G7-E1	32.	Moi je pense que c'est pareil que le 3 c'est juste que la la Terre elle tourne	P
G7-E2	33.	Ah oui elle tourne autour du Soleil	P
G7-E1	34.	Sauf que là elle tourne pas autour du Soleil	O
G7-E4	35.	Ça c'est pas possible	P
G7-E4	36.	Regarder là c'est la Terre qui est au la terre qui est au milieu et le Soleil qui est autour	T
G7-E2	37.	C'est bon j'ai une idée Car le soleil il tourne autour de la Terre	P
G7-E1	38.	Ben moi je dis que c'est pas possible parce que ...	O
G7-E4	39.	Car le système solaire n'est pas respecté. C'est la Terre qui tourne	O
Professeur	40.	Lui l'élève il dit que c'est y a du vent l'hiver donc c'est l'hiver et l'été il y a pas de vent. Il dit que c'est le vent qui est responsable de l'hiver.	T
G7-E2	41.	C'est faux	P
G7-E4	42.	Sinon on pourrait pas respirer	P
G7-E1	43.	Non	
G7-E1	44.	Dis pourquoi, j'écris	
G7-E2	45.	Moi je sais pourquoi	
G7-E4	46.	Il y a aussi du vent en été sinon on pourrait pas respirer. Bah si parce que y'aura de l'air mais voilà quoi.	P
G7-E1	47.	Donc ce n'est pas possible	P
G7-E3	48.	Les deux c'est pas possible	P
	49.	Lis et j'écris	
G7-E2	50.	Si en hiver il fera nuit	P
G7-E1	51.	Mais en fait en hiver il fait pas nuit tous les jours	O
G7-E2	52.	Ben oui, c'est pour ça que c'est débile	
G7-E4	53.	Il y aura pas des éclipses tous les jours	P
G7-E1	54.	Ça veut rien dire	O
G7-E4	55.	Donc y'en a aucun qui est possible	P

11.14. Annexe 14 : formulation des faits et des nécessités

Phase 2 de la séquence : formulation des faits à partir de l'analyse des modèles simples en petits groupes

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Un seul hiver par année	AFP	AFP	AFP	AF	AFP	AFP	AF	AF	AF	ANF
Lune et nuages présents toute l'année	AF	AF	AF	AF	AF	AF	AF	ANF	AF	AF

Phase 2 de la séquence : formulation des nécessités à partir de l'analyse des modèles simples en petits groupes

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Le phénomène est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	F	F	F	F	F	F	FP	FP	F	F
Ce n'est pas un obstacle qui fait varier la température	FP	NF	FP	FP						

Phase 3 de la séquence : formulation des nécessités à partir du travail de validation et de choix des arguments proposés par la classe

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
le phénomène des saisons est lié au vent	F	F	F	F	F	FP	F	FP	F	F
le phénomène des saisons est lié à la Lune qui fait obstacle entre le Soleil et la Terre	FP	FP	F	F	F	F	FP	FP	F	F
le phénomène des saisons est lié aux nuages qui font obstacle entre le Soleil et la Terre	F	F	FP	F	FP	F	FP	F	F	F
le phénomène des saisons est lié à la rotation de la Terre sur elle-même	F	F	FP	F	F	NF	F	FP	F	F
le phénomène des saisons est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil	FP	FP	FP	NF	FP	NF	F	NF	F	F

Phase 5 de la séquence : formulation des faits à partir de l'analyse des modèles complexes en petits groupes

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Distance au soleil plus petite en hiver	AF	ANF	AFP							
Opposition saisons entre hémisphère	ANF	ANF	ANF	AFP	ANF	ANF	ANF	ANF	AF	AF
Eclat constant du Soleil	AFP	ANF	AF	AFP	AF	AF	AF	AF	AF	ANF

Phase 5 de la séquence : formulation des nécessités à partir de l'analyse des modèles complexes en petits groupes

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
C'est n'est la variation de la distance	F	F	FP	F	F	F	F	F	F	FP
Ce n'est pas la variation de l'éclat	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Axe incliné	NF	FP	NF	NF	F	FP	F	F	F	NF

Phase 6 de la séquence : formulation des nécessités à partir du travail de validation et de choix des arguments proposés par la classe

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
La terre tourne autour du Soleil et la terre est plus proche du Soleil en été	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
La Terre tourne autour du Soleil et l'axe de rotation de la Terre est incliné	FP	FP	FP	FP	F	FP	FP	FP	F	F
La Terre tourne autour du Soleil et l'éclat du Soleil est moins fort en hiver	F	F	F	F	F	F	F	NF	F	FP

4^{ème} de couverture

5 Mots clés :

Problématisation, phénomène des saisons, élèves parlant peu, langage, conceptions.

Résumé en Français :

Certains apprentissages sont résistants aux enseignements. C'est le cas du phénomène des saisons enseigné au cycle 3 en sciences au collège. Quelles pourraient être les conditions didactiques qui permettraient à un plus grand nombre d'élèves de formuler des textes de savoirs expliquant ce phénomène ? Cette question est analysée à travers le cadre théorique de la problématisation où les débats argumentatifs entre élèves jouent un rôle important. Deux hypothèses sont observées : d'une part le fait de rassembler, lors de la constitution des groupes de débat, les élèves parlant peu et, d'autre part, le fait de mettre en question, dans les groupes, tous les modèles et tous les arguments proposés par les élèves. Cette étude se propose, dans une séquence forcée, d'observer les effets de ces hypothèses sur les apprentissages des élèves parlant peu.

Résumé en Anglais :

Some learnings are resistant to teaching and the phenomena of seasons taught in « cycle 3 » in middle schools, are part of them. What didactic conditions could encourage the greatest number of pupils to elaborate knowledge texts explaining this phenomenon ? This issue is analyzed through a theoretical framework of problematization in which argumentative debates between the pupils play an important role. Two hypotheses are observed: on the one hand, gathering in the same groups pupils who speak little and on the other hand questioning the models and ideas developed by the pupils, in each group. This study aims at looking at the effects of these hypotheses on the little talkers' learnings during a forced sequence.