

UNE SITUATION DE FORMATION INTÉGRANT "ASTRONOMIE" ET "DIDACTIQUE DES SCIENCES" PAR L'ÉLABORATION DES CONCEPTS DE "CONSTELLATION" ET DE "NIVEAU DE FORMULATION"

Catherine Lecoq

L'article présente l'analyse d'une situation de formation destinée à des maîtres ou de futurs maîtres polyvalents de l'enseignement primaire français. Cette situation que nous dénommons "situation de formation intégrée" s'inscrit dans un dispositif plus large qui vise l'appropriation conjointe de compétences dans les domaines disciplinaire, didactique, et pédagogique, en même temps qu'il cherche à faire évoluer les personnes sur le plan des attitudes vis-à-vis des sciences et de son enseignement.

L'analyse de cette situation de formation tente de rendre plus lisible l'imbrication des activités de formation liées aux trois domaines précités, ainsi que leurs articulations.

conception
raisonnée d'un
dispositif de
formation à
l'enseignement
des sciences

Dans le contexte français, la formation initiale des maîtres du premier degré au sein des Instituts Universitaires de Formation des Maîtres est régie par des "plans de formation" qui définissent les orientations politiques de la formation et organisent sa programmation. Cette formation s'articule autour de plusieurs pôles : la pratique de classe et son analyse, la formation disciplinaire dans les domaines enseignés à l'école et le mémoire professionnel.

Les plans de "formation continue" des maîtres du premier degré répondent à des commandes institutionnelles dont l'une des composantes est liée aux domaines disciplinaires.

L'étude que nous présentons porte sur les pratiques de formation disciplinaire scientifique dans le domaine des sciences de la matière et de l'astronomie. Elle se positionne dans une visée heuristique. Son intention dominante est d'élucider une pratique de formation particulière, inscrite dans le paradigme socio-constructiviste, d'en comprendre les principes de conception et de cohérence, d'en identifier les diverses variables et constantes en jeu et d'étudier ses possibilités de transfert (Marcel, 2002). La présentation est fondée sur les étapes de la *méthodologie de l'ingénierie didactique* (analyse préalable, réalisation et analyse *a posteriori*), laquelle a été exploitée dans le but de la construction des situations et des modules de formation (Artigue, 1988 ; Portugais, 1995).

pour des
enseignants du
premier degré non
spécialistes

La situation de formation que nous nous proposons de décrire et d'analyser appartient à la composante proprement disciplinaire de la formation. Elle est conçue comme un

élément d'un dispositif plus vaste de "formation intégrée". Elle a été mise en œuvre dans deux cadres différents, celui d'un module de formation initiale disciplinaire optionnel et celui d'un stage de formation continue des maîtres de cycle 3 (enseignement à des élèves de 9 à 11 ans), avec l'intitulé "Astronomie à l'école".

1. FONDEMENTS DU MODÈLE DE FORMATION PROPOSÉ

Les enseignants du premier degré sont des maîtres polyvalents ayant la charge d'enseigner dans plusieurs domaines disciplinaires. Ils sont en grande majorité issus de filières scolaires et universitaires non scientifiques. Leur formation professionnelle comporte des modules disciplinaires scientifiques de courtes durées, correspondant à différents champs scientifiques (sciences de la matière, du vivant, de la Terre et du ciel).

un dispositif fondé sur un modèle pédagogique de référence

Depuis la création des IUFM, des recherches sur les dispositifs de formation professionnelle d'enseignants spécialistes en sciences physiques se sont développées (Robardet, 1995 ; Saint-Georges, 1998 ; Boilevin, 2000 ; Morge, 2001). Les travaux portant sur la formation professionnelle des maîtres polyvalents du premier degré dans les disciplines scientifiques sont plus rares. Michel Develay (1982), dans le cadre de l'enseignement de la biologie, propose des situations de formation qui visent à transformer les personnes depuis leur modèle pédagogique implicite en début de formation vers un modèle explicite (intégrant des connaissances de la formation) en fin de formation. Pierre Antheaume (1993, 2001), toujours dans le domaine la biologie, conçoit des situations de formation centrées sur trois champs : le champ disciplinaire, le champ didactique et le champ personnel. Il retient, pour construire un module de formation, trois perspectives de travail, trouvant du sens dans les trois champs précédents, à savoir : *"s'entraîner à repérer, à accepter et à gérer l'imprévu, s'entraîner à se décentrer, s'entraîner à se limiter"*.

intégrant les champs disciplinaire, didactique et pédagogique

1.1. Analyse préalable pour la conception d'un module de formation professionnelle disciplinaire scientifique

• *L'insécurité des futurs enseignants appelle une réponse*

Une enquête préliminaire nous a montré que la majorité des futurs enseignants polyvalents de l'école primaire disent, au moment où ils abordent la formation, ne pas se sentir capables de mettre en place dans leurs classes des activités scientifiques. Ils expliquent cette incapacité par l'insuffisance de

pour faire évoluer connaissances et attitudes

leur niveau culturel dans ce domaine et par l'image négative de l'enseignement des sciences et plus particulièrement des sciences physiques, laissée par leur parcours scolaire.

La formation professionnelle des enseignants du premier degré dans les disciplines scientifiques doit donc être envisagée comme un processus dynamique de transformation des personnes sur deux plans :

- sur le plan des connaissances nécessaires à la construction de compétences professionnelles ;
- sur le plan des attitudes vis-à-vis des sciences.

Concevoir des situations de formation nécessite alors de s'interroger au préalable sur la nature des connaissances en jeu dans l'acte d'enseignement considéré, sur les formes les plus aptes à l'appropriation de ces connaissances et sur celles susceptibles d'engager l'adhésion des stagiaires.

• Les connaissances en jeu dans l'acte d'enseigner les sciences expérimentales à l'école primaire

Les connaissances nécessaires à l'acte d'enseignement renvoient d'abord aux Instructions officielles. Ces textes, publiés au "Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale", étaient jusqu'alors exprimés sous forme de sujets d'étude ouverts, les démarches à utiliser étaient décrites de manière relativement floue, de sorte que l'enseignant avait un cadre de travail peu renseigné. Pour mettre en place des activités de classe, ce dernier se référait alors généralement aux manuels scolaires, qui présentaient un programme "revisité" et interprété au gré des auteurs.

Les derniers textes parus (B.O.E.N. hors série du 14.02.2002) décrivent pour la première fois de manière précise, pour chaque domaine disciplinaire, les objectifs de cet enseignement, le programme et les compétences qui doivent être acquises par les élèves en fin de cycle. Des "documents d'application" explicitent les finalités, les démarches et les objectifs de cet enseignement, ainsi que les compétences spécifiques à faire acquérir. Des "fiches connaissances" développent divers aspects (idées préalables, difficultés, connaissances) liés aux savoirs scientifiques du programme. Des documents d'accompagnement proposent des séquences pédagogiques détaillées.

Ces textes décrivent un modèle pédagogique qui devrait, de fait, être le "modèle pédagogique de référence" de la formation.

Or, on reconnaît dans ce modèle d'inspiration socio-constructiviste des traits de caractère de celui théorisé en didactique des sciences par J.-P. Astolfi et M. Develay (1989) sous le nom de "modèle pédagogique par investigation-structuration". Ce modèle fait référence à des typologies d'activités (activités fonctionnelles, activités d'investigation, activités de structuration, de modélisation,...), à des typologies de modes d'intervention du maître, de modes de regroupement des élèves et d'organisations de classe.

les textes officiels définissent précisément objectifs et démarches de l'enseignement scientifique

convergences avec la didactique des sciences

Au travers de ces textes, transparaissent aussi des concepts dégagés par la recherche en didactique des sciences. À titre d'exemple, dans la phrase "*l'enseignant sélectionne une situation de départ qui focalise la curiosité des élèves, déclenche leurs questions et leur permet d'exprimer leur idées préalables*", on reconnaît les concepts de "situation déclenchante" (et ses attributs) et celui de "conception initiale". Il est précisé que "*les niveaux de formulation sont précisés dans les fiches connaissance*".

Ces textes constituent pour les formateurs disciplinaires un cadre de référence dans lequel les contenus de formation professionnelle peuvent être pensés. Ils induisent par là-même, outre les concepts relatifs aux champs disciplinaires abordés, les savoirs spécifiques de la didactique et de la pédagogie à appréhender au cours de la formation.

savoirs
scientifiques,

Dans *les domaines scientifiques*, on peut distinguer des savoirs relatifs aux sujets d'étude des programmes, à la démarche scientifique, aux modes de représentation utilisés (dessin, schémas, graphiques) et à la mesure (fonctions, grandeurs, instruments, unités, symboles).

savoirs
didactiques,

Dans *le domaine de la didactique*, les savoirs identifiés concernent certains concepts dégagés par la recherche. Nous avons retenu ceux de conception initiale, d'obstacle, d'objectif-obstacle, de situation déclenchante, de situation-problème, de démarche expérimentale d'investigation, d'objectifs spécifiques, de compétences spécifiques, de concept intégrateur, d'activités d'investigation et de structuration (confrontations, communication écrite en sciences, modélisation, de niveau/registre de formulation), de modèle pédagogique par investigation/structuration, de pratique sociale de référence.

savoirs
pédagogiques...

Dans *le domaine de la pédagogie*, doivent être appréhendées les questions relatives aux points suivants : programmes et instructions officiels, programmation (projet, organigrammes prévisionnels, progression, fiche de préparation,...), évaluation sommative (niveau d'exigence d'un objectif, tâche, ...), statut des écrits, rôle du maître par rapport à un modèle pédagogique de référence, organisation matérielle, ressources disponibles (documentation, aides didactiques, lieux,...), l'éducation aux risques et à la sécurité.

...abordés
conjointement
dans la formation

C'est sur ces trois pôles, celui des savoirs disciplinaires, celui des savoirs didactiques, et celui des savoirs pédagogiques que nous avons choisi de concevoir des modules de formation. Selon la nature et la durée d'un module (module de formation initiale ou de formation continue, module fondamental ou thématique), le nombre et la nature des points à aborder peuvent varier et faire l'objet de choix. Chaque module est constitué d'un ensemble de situations, dans lesquelles les trois types de savoirs sont appréhendés conjointement. La situation présentée ici est conçue pour s'insérer dans cette architecture d'ensemble.

1.2. Le modèle de formation disciplinaire proposé : un ensemble de situations de formation pilotées chacune par l'appropriation conjointe de savoirs disciplinaires, didactiques et pédagogiques

• Les principes d'élaboration d'une situation de formation

a) Des situations de formation intégrant les domaines disciplinaires, didactiques et pédagogiques

principe
d'intégration

Une même situation de formation vise la construction conjointe de savoirs scientifiques, de savoirs didactiques et/ou de savoirs pédagogiques spécifiques de l'enseignement des sciences. Cette approche conjointe présente à notre avis plusieurs avantages. D'une part, elle fait vivre "de l'intérieur" une démarche d'enseignement-apprentissage des sciences peu fréquentée par les formés, d'autre part elle permet d'appréhender les savoirs didactiques et pédagogiques sur un contenu disciplinaire déjà approprié (ou en cours d'appropriation) et sur une démarche vécue ou rapportée par le biais d'une séance de classe effective filmée ou transcrite.

La tâche du formateur est de se placer au barycentre du triangle "discipline-didactique-pédagogie" en pondérant, selon des choix réfléchis ou contraints, le poids de chacune des trois composantes en jeu. Ainsi, les situations de formation que nous nommons "situations de formation intégrée" seront essentiellement centrées sur une voire deux de ces trois composantes.

des situations
pilotées par
l'appropriation de
"concepts pivots"

Nous dirons que la situation est "pilotée" par l'appropriation d'un ou de deux concepts, dont l'un est nécessairement disciplinaire. Leur appropriation constituera l'objectif dominant de la situation. Ils en seront les "concepts pivots" et en constitueront le fil directeur. Les activités proposées viseront prioritairement leur appropriation à un degré relativement élevé d'explicitation (Butlen, 1994). D'autres concepts didactiques ou pédagogiques seront fréquentés, mais à un niveau d'explicitation moindre, nous les appellerons "concepts approchés".

b) Des démarches de formation en cohérence avec les démarches d'enseignement

L'enquête préliminaire déjà citée a montré que quasiment tous les enseignants en formation étaient convaincus de la nécessité d'enseigner les sciences à l'école ("pour comprendre le monde dans lequel nous vivons"). Ils pensent que leur insécurité à enseigner les sciences serait résolue en priorité par une "remise à niveau des connaissances de base" sous forme de cours magistraux suivie d'une formation pédagogique sous forme de directives

d'action ("il faut nous dire comment faire passer ces connaissances au niveau des élèves").

principe
d'homomorphisme

Or, différents travaux ont montré que "c'est en faisant vivre et analyser aux formés des situations semblables - au niveau des attitudes, des démarches, voire des contenus, - à celles qu'ils pourront faire connaître à leurs élèves, que le formateur aide durablement les formés à intégrer l'ensemble des procédures en jeu" (Astolfi, Develay, 1989). Cette forme, nommée "principe d'isomorphisme" et reprise sous le nom d'homomorphisme (Astolfi, 1997b) semble partagée par de nombreux formateurs. Elle répond à la nécessaire cohérence ou *homologie* entre les modèles de formation et les modèles d'enseignement (Altet, 1994 ; Kuzniak, 1994 ; Viennot, 1997). Le principe d'homomorphisme conduit donc à calquer en partie les démarches de la formation sur les démarches du modèle pédagogique d'enseignement de référence et à se placer dans le même paradigme socio-constructiviste.

c) Des activités scientifiques en partie transposables dans les conditions réelles d'enseignement

La plupart des activités scientifiques proposées doivent pouvoir être en partie réinvesties rapidement dans le cadre normal d'une classe. Le manque de matériel est souvent avancé par les maîtres comme la raison majeure pour justifier l'absence d'activités scientifiques à l'école. Un matériel simple ou facilement réalisable à un coût raisonnable est à privilégier pour les activités de façon à contrer cet argument. Une instrumentation plus sophistiquée peut être utilisée de façon plus ponctuelle pour une approche culturelle.

• Un "module de formation disciplinaire" structuré, mais souple et adaptable

pilotage
conceptuel et
souplesse

Un module est constitué de plusieurs des situations précédemment définies. Le module, donc l'ensemble des situations, aborde les savoirs disciplinaires, didactiques et pédagogiques précédemment identifiés comme nécessaires à la mise en place d'un enseignement scientifique dans les classes. La cohérence du module réside dans son architecture globale dans laquelle les concepts clés (disciplinaires, didactiques et pédagogiques) peuvent être construits (concepts pivots) et abordés (concepts approchés) dans au moins une des situations du module, chaque situation étant "pilotee" par l'appropriation d'au moins l'un d'eux.

Cette architecture est souple et adaptable. Les modules peuvent aborder un seul ou plusieurs domaines scientifiques, ou bien, répondre à une approche de la formation par cycle de l'école primaire.

Au cours de la situation, les concepts pivots s'élaborent de manière synchrone.

Le choix de leurs associations n'est pas figé. Celui-ci peut dépendre du sujet étudié, mais aussi de la chronologie des diverses situations constituant le module. Ce choix est également très dépendant de la disponibilité des documents sur lesquels s'effectuent les analyses didactiques ou pédagogiques. Ces documents, issus de pratiques effectives de classe, sont constitués de productions d'élèves, de transcriptions de séances de classe, de films vidéos, de fabrications, etc.

• **Des dialectiques en tension pour dynamiser une situation**

Plusieurs dialectiques peuvent guider la conception des situations formatives et en devenir des éléments de dynamisation. Elles caractérisent les liaisons entre des activités successives et deviennent des ressorts de motivation pour l'action en classe.

Nous ne développerons ici que les dialectiques utilisées pour l'analyse de la situation présentée.

dynamisation de la formation...

La dialectique *action/réflexion sur l'action* renvoie aux activités scientifiques et à la démarche effectivement vécue par les stagiaires. Si la mise en activité des stagiaires nous paraît être un des éléments fondamentaux de la cohérence entre les activités de formation et les activités de classe, il n'en demeure pas moins qu'une analyse distanciée de l'action doit succéder à l'activité afin d'en expliciter le sens tant du point de vue de l'apprenant que du point de vue de l'enseignant. Cette activité métacognitive peut s'appliquer aux trois champs de savoirs considérés.

...par l'alternance d'activités et d'analyses distanciées,

...la mise en relation entre formation et classe,

La dialectique *action/validation* met en relation des activités disciplinaires vécues par les stagiaires en formation avec des activités effectivement menées dans des classes. Ces dernières peuvent être rapportées soit sous forme filmée ou transcrite, soit sous forme d'écrits produits par les élèves. Une analyse de ces moments rapportés peut d'une part permettre un réinvestissement immédiat de connaissances nouvelles. D'autre part une certaine proximité ou au contraire une certaine distance entre les difficultés vécues (ou les obstacles rencontrés) par les stagiaires et celles (ou ceux) rapportées des élèves provoquent souvent un "effet de validation" de l'activité elle-même et de la démarche suivie, et constituent un élément d'adhésion du stagiaire. Ceci nous amène donc à proposer, dans la plupart des situations de formation, des temps de visionnement de "moments de classe" filmés ou rapportés, point d'appui d'analyse de séances de classe ou de productions effectives d'élèves mettant en évidence ces proximités ou ces distances.

...un investissement créatif,

La dialectique *production/création* met l'accent sur l'investissement personnel du stagiaire. Les productions peuvent être constituées d'écrits, de fabrications, d'exposés de toutes sortes (personnel, collectif) et avoir des fonctions diverses (pour la confrontation et l'analyse, pour la mémoire de l'activité, pour mutualiser, ou pour la classe etc.). La production peut être ciblée par une consigne fermée du formateur ou au contraire ouverte permettant une création personnalisée.

...la mobilité dans l'utilisation des concepts,

La dialectique *outil/objet*, empruntée à la didactique des mathématiques (COPIRELEM, 1991) met en regard deux positions possibles d'un même concept, comme "objet" s'il est considéré dans la place qu'il prend dans la construction d'un savoir organisé ou comme "outil" s'il est au service d'une élaboration conceptuelle. Ainsi, les concepts appréhendés peuvent être tour à tour "outils" s'ils sont utilisés par le maître dans le cadre d'une activité disciplinaire ou comme "objets" s'ils sont la cible d'une activité spécifique visant leur appropriation.

...une centration qui autorise l'ouverture

La dialectique *convergence/divergence* renvoie aux nécessaires ouvertures que commande toute formation professionnelle. Si les situations formatives doivent être pensées de façon à viser des objectifs précis, elles doivent aussi comporter des fenêtres. Celles-ci peuvent s'ouvrir sur des questionnements relatifs à d'autres champs de connaissances liés (en particulier sur les autres champs scientifiques et technologiques) et ainsi élargir les champs culturels à explorer. Elles peuvent aussi s'ouvrir sur une diversité de choix pédagogiques possibles tant au niveau des activités que de leur organisation. Les stagiaires sont alors en mesure de construire leur propre "*modèle pédagogique personnalisé*" (Develay, 1994). Le dispositif de formation se présente donc comme un système construit mais ouvert (Astolfi, 1997b).

2. LA SITUATION DE FORMATION ÉTUDIÉE

2.1. Contexte

analyse de cas : le module "Astronomie à l'école"

La situation a été mise en œuvre dans deux cadres différents, celui d'un module de formation initiale disciplinaire optionnel et celui d'un stage de formation continue intitulés "Astronomie à l'école" et s'adressant à des maîtres du premier degré enseignant en cycle 3 et n'ayant pas ou peu de connaissances en astronomie. Les formés sont pris en charge par un formateur par groupe de 16 à 20 personnes ; la structure afférente à ce module, ou mode de formation, correspond donc au "*mode de formation collective*" (Develay, 1994). Le lieu de stage ne dispose pas de planétarium.

2.2. Choix des "concepts pivots" de la situation

La situation présentée vise l'étude du ciel nocturne, ses techniques d'observation à l'œil nu, la compréhension et l'utilisation d'une carte céleste. La ligne directrice de la situation est définie par les élaborations conceptuelles conjointes des concepts de "constellation" dans le domaine de l'astronomie et de "niveau de formulation" dans celui de la didactique des sciences.

• En astronomie

En astronomie, le concept de "constellation" est central. Il sert au repérage spatial d'un objet de la voûte céleste sans l'utilisation d'un système de coordonnées sphériques. Ainsi, la position de tout objet céleste est donnée par rapport à la constellation céleste dans laquelle il se situe. Pour une étoile, sa dénomination scientifique et sa symbolisation font référence à la constellation à laquelle elle appartient. Ainsi, par exemple, " α Ursa Major" est la désignation normalisée internationale de l'étoile la plus brillante (α) située dans la constellation de la Grande Ourse (Ursa Major).

concept de constellation : du repérage spatial aux modèles explicatifs du "monde"

Sur le plan épistémologique, l'observation des constellations a permis de mettre en évidence les mouvements relatifs de la Terre et des astres (mouvement relatif autour d'un point fixe de la voûte céleste, identification et mouvements des planètes sur la sphère céleste, définition de la bande zodiacale et de l'écliptique, connaissance du système solaire...). Cette observation est à l'origine de l'élaboration des différents modèles explicatifs du "monde" (modèles géocentrique et héliocentrique). Dès lors qu'on approche l'observation du ciel nocturne, la connaissance des constellations est incontournable. Cette connaissance dans le domaine de l'astronomie permet aussi d'avoir une attitude critique vis-à-vis des sciences occultes qui utilisent ce même mot, mais à d'autres fins.

• En didactique des sciences

Dans le domaine de la didactique, un "niveau de formulation" est défini comme un énoncé considéré comme scientifiquement acceptable à un moment donné de la construction d'un concept par un apprenant. Une séquence d'enseignement-apprentissage vise toujours une élaboration conceptuelle. Or pour un concept donné, sa formulation varie selon le niveau d'enseignement, de façon à le rendre accessible aux élèves. Le "niveau de formulation" est donc un outil qui permet à l'enseignant de faire des choix raisonnés d'activités de classe comme de programmations de cycle. Il lui donne la possibilité de situer son enseignement dans le cursus scolaire d'un élève et donne ainsi du sens à l'activité même d'enseignement. Selon J.-P. Astolfi (1997a), "*l'idée de hiérarchisation des énoncés (et donc des notions), au cours de la scolarité, apporte aux enseignants*

concept de niveau de formulation : de l'adaptation aux élèves dans une séquence à la programmation du curriculum

l'opportunité de regarder de près l'organisation verticale du curriculum, alors qu'ils ne sont généralement concernés que par une portion limitée de celui-ci". Pour devenir un outil professionnel, ce concept clé doit donc lui-même faire l'objet d'une élaboration conceptuelle.

Les trois "niveaux de formulation" du concept de "constellation" visés par la situation présentée sont :

Niveau 1

Une constellation est un ensemble d'étoiles qui, reliées arbitrairement par des lignes imaginaires, forment dans le ciel un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom.

Niveau 2

Une constellation est un ensemble d'étoiles qui, vues depuis la Terre, sont situées dans des directions proches l'une de l'autre, et semblent relativement voisines sur la voûte céleste (demi-sphère imaginaire sur laquelle on les représente). Reliées entre elles, par des lignes imaginaires dessinées sur la voûte céleste, elles forment un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom. Les étoiles d'une même constellation sont à des distances différentes de la Terre, et sont donc, en général, très éloignées les unes des autres.

Niveau 3 : Définition scientifique actuelle

Une constellation est une zone de la sphère céleste, dont les limites précises ont été définies en 1930 par l'Union Astronomique Internationale, autour des figures repérées par les anciennes civilisations. La sphère céleste est découpée en 88 constellations, dont le nom officiel international de chacune d'elles est un nom latin (exemple Ursa Major pour la Grande Ourse). Toute région du ciel appartient à une constellation.

• Des concepts élaborés en association

Une carte céleste est une projection de la sphère céleste (qui porte les constellations) sur un plan. La compréhension de la construction d'une carte nécessite de savoir ce qu'est la sphère céleste, à savoir la projection centrale (centrée sur le centre terrestre) des étoiles sur une sphère imaginaire. Si la maîtrise du premier niveau de formulation d'une constellation suffit pour apprendre à utiliser une carte, celle des second et troisième niveaux est nécessaire pour en comprendre le principe de construction.

Les étapes de l'élaboration du concept de "constellation", les conditions de construction des trois énoncés du même concept et les domaines de validité correspondants peuvent être clairement identifiés. Ainsi, les invariants relatifs à chaque étape permettent de dégager le concept de "niveau de formulation" et de le caractériser par ses attributs.

Les deux élaborations sont donc emboîtées.

des élaborations
conceptuelles qui
s'étayent

2.3. Description de la situation de formation

• **Premier épisode : vivre des activités proches de celles d'une classe, tant au niveau des savoirs en jeu que de la démarche adoptée**

Phase 1 : Exprimer ses idées sur le ciel étoilé (les "étoiles", la "voûte céleste", les "constellations")

Un recueil écrit des conceptions des stagiaires inaugure ce début d'épisode. Une confrontation des réponses est organisée, le débat est souvent vif. Un grand nombre de questionnements individuels émergent publiquement à l'oral.

échanges animés
sur les conceptions
des stagiaires

Nous ne développerons pas ici tous les échanges, en particulier ceux portant sur les questions relatives à la différence entre l'astronomie et l'astrologie. La définition de la "voûte céleste" est difficile à formuler. Les réponses sont très dispersées. Sur un ensemble de 70 réponses, 3 seulement approchent la définition scientifiquement reconnue ("*c'est la forme apparente du ciel*"), les autres(5) allant de la non-réponse ("*je n'y connais rien à l'astronomie*") à "*c'est la voie lactée*"(2). La majorité des réponses (23) n'associe la voûte céleste qu'au seul ciel nocturne, "*c'est l'ensemble des étoiles, la nuit*".

En ce qui concerne le concept de "constellation", les connaissances des stagiaires sont moins diffuses. Pour 24 stagiaires sur 29 interrogés, "*une constellation est un regroupement [ou un ensemble] d'étoiles*". Certains ajoutent soit un point d'interrogation à leur proposition soit "*mais je ne sais pas lequel*". Quatre seulement apportent des précisions telles que "*elles sont disposées toujours pareil*" ou "*elles portent des noms souvent mythologiques*" ou bien encore elles ont été "*regroupées par les astronomes*". Deux font allusion à des formes imaginaires.

Phase 2 : Retrouver une étoile dans le ciel étoilé/proposer une procédure de mémorisation

Une simulation du ciel nocturne est obtenue par projection de points lumineux à l'aide d'un rétroprojecteur. Il s'agit d'un modèle du ciel nocturne ayant une fonction de représentation, modèle dans lequel l'observateur est inclus.

Une comparaison entre le réel (le ciel nocturne) et le modèle utilisé (projection de points lumineux) met en évidence leurs écarts (espace limité, échelle différente) et leurs similitudes (dispersion dans l'espace et luminosité variable).

invention d'une
procédure de
mémorisation d'un
nuage de points...

La consigne suivante est alors proposée : "*Choisissez une 'étoile' (1) (non située sur les bords de l'image projetée) et trouvez une procédure qui vous permette de retrouver cette 'étoile' d'ici quelques instants*". L'"étoile" choisie est rapidement

(1) On notera "étoile" dans la suite du texte, tout point représentant une étoile dans une simulation (points lumineux) ou une représentation graphique (point codé) du ciel nocturne.

retrouvée. Puis, chaque stagiaire communique oralement sa propre procédure en la "montrant" à l'aide d'un "pointeur lumineux". Le document 1 expose quelques formulations représentatives des procédures. Les dessins correspondants dessinés à l'aide du pointeur lumineux sont reproduits sur le document 2.

On peut constater que toutes les procédures proposées sont différentes et personnelles, et renvoient au champ figuratif du cheminement de la pensée (Piaget et Sanner, cités par Astolfi, 1997a). Lorsque les procédures sont exprimées sans être "montrées" à l'aide d'un pointeur lumineux, il s'avère difficile pour autrui de retrouver "l'étoile". Ce fait renforce le caractère intra-personnel de la procédure.

Phase 3 : Reconnaître un "morceau de ciel"/prendre conscience des limites de la mémoire

Il s'agit maintenant d'identifier dans le premier ciel simulé, un "morceau" de ce même ciel présenté simultanément par projection d'une "diapositive-trous" (2) sur un autre écran. Les échelles des deux représentations diffèrent légèrement, ainsi que les orientations relatives. Pour retrouver l'ensemble de ce "morceau de ciel", chaque stagiaire découpe par la pensée, la représentation du "morceau de ciel" en deux, voire en trois nouveaux morceaux, en utilisant toujours le même processus que précédemment. Ainsi certains voient "une botte" (ou "une patte de chat") et "un cerf volant", ou "une grande casserole", "une petite casserole" et "une ligne brisée" (document 3).

Une des deux ou trois unités mémorisées correspond à la représentation d'une constellation reconnue alors par la majorité des stagiaires qu'ils nomment "Grand Chariot" ou "casserole". Cette unité mémorisable représente la constellation de la Grande Ourse.

Phase 4 : Les contes et légendes du ciel de différentes civilisations/ouverture culturelle, ouverture vers l'imaginaire

L'identification du dessin de la Grande Ourse à un ours et sa double dénomination (Grande Ourse ou Grand Chariot) appellent toujours une multitude de questions ("Où voit-on un ours ?"). La suite de la séance s'engage alors sur les représentations de cette constellation dans les différentes civilisations et sur les contes et légendes s'y rapportant. Différents documents iconographiques sont présentés et quelques légendes sont lues collectivement.

...et prise de conscience de ses limites

(2) Nous appelons "diapositive-trous" l'objet inséré dans le projecteur de diapositives constitué d'un carton très finement perforé, et reproduisant la vision, depuis la Terre, d'une partie du ciel nocturne.

Document 1. Formulations de quelques procédures de mémorisation utilisées

Exemples de procédures faisant appel à la figuration d'objets familiers ou d'êtres vivants.

P1. – L'étoile située au début de la tige d'un champignon.

P2. – J'ai choisi le bec verseur de la casserole.

P3. – L'étoile au faite d'un toit de maison.

P4. – Étoile située dans une queue de poisson.

P5. – C'est l'œil le moins brillant d'un bonhomme.

P6. – Étoile du milieu de la patte avant d'un chat.

Exemples de procédures faisant appel à des figures géométriques ou à des symboles.

P7. – L'étoile est au centre de l'arc de cercle, en imaginant un compas, l'étoile est le centre "pointe sèche".

P8. – L'étoile située au milieu d'une petite ligne brisée composée de cinq étoiles.

P9. – L'étoile la plus éclairée d'un pentagone qui suit celle la moins éclairée.

Exemples de procédures faisant appel à la figuration d'objets et à des figures géométriques.

P10. – Ce losange a une petite queue, c'est comme un cerf-volant, c'est le bout de la queue.

P11. – Étoile la plus proche d'un cercle représentant des haltères.

Les procédures font également appel à une position relative ou à une brillance relative de l'étoile choisie.

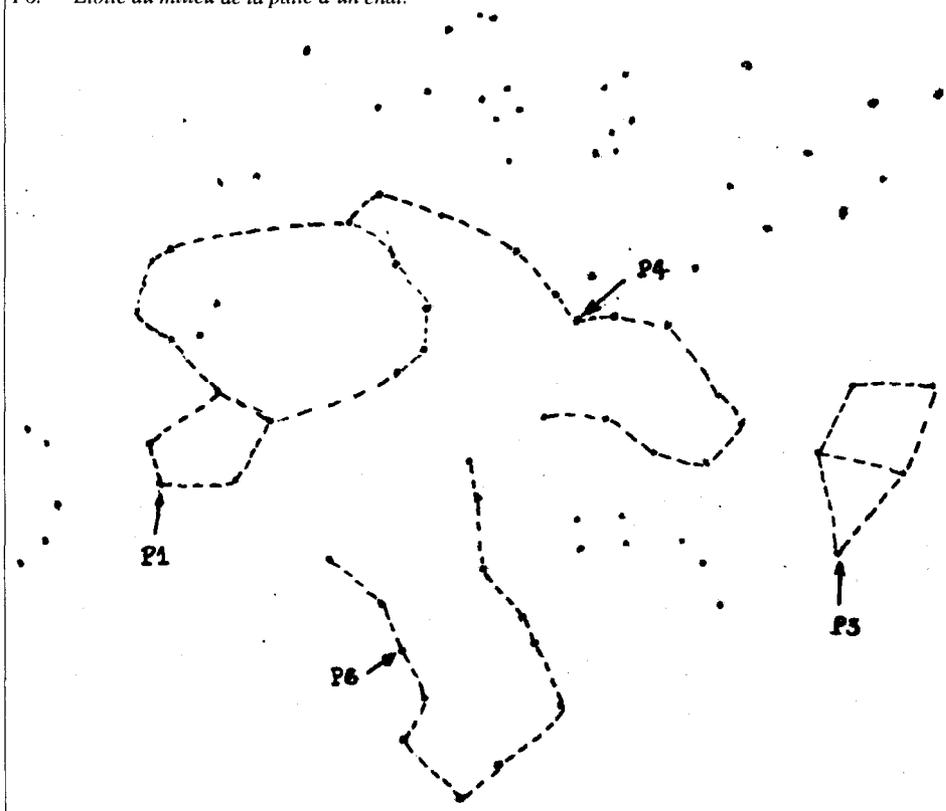
Document 2. Explication des procédures individuelles (tracé des dessins à l'aide d'un pointeur lumineux)

P1. – L'étoile située au début de la tige d'un champignon.

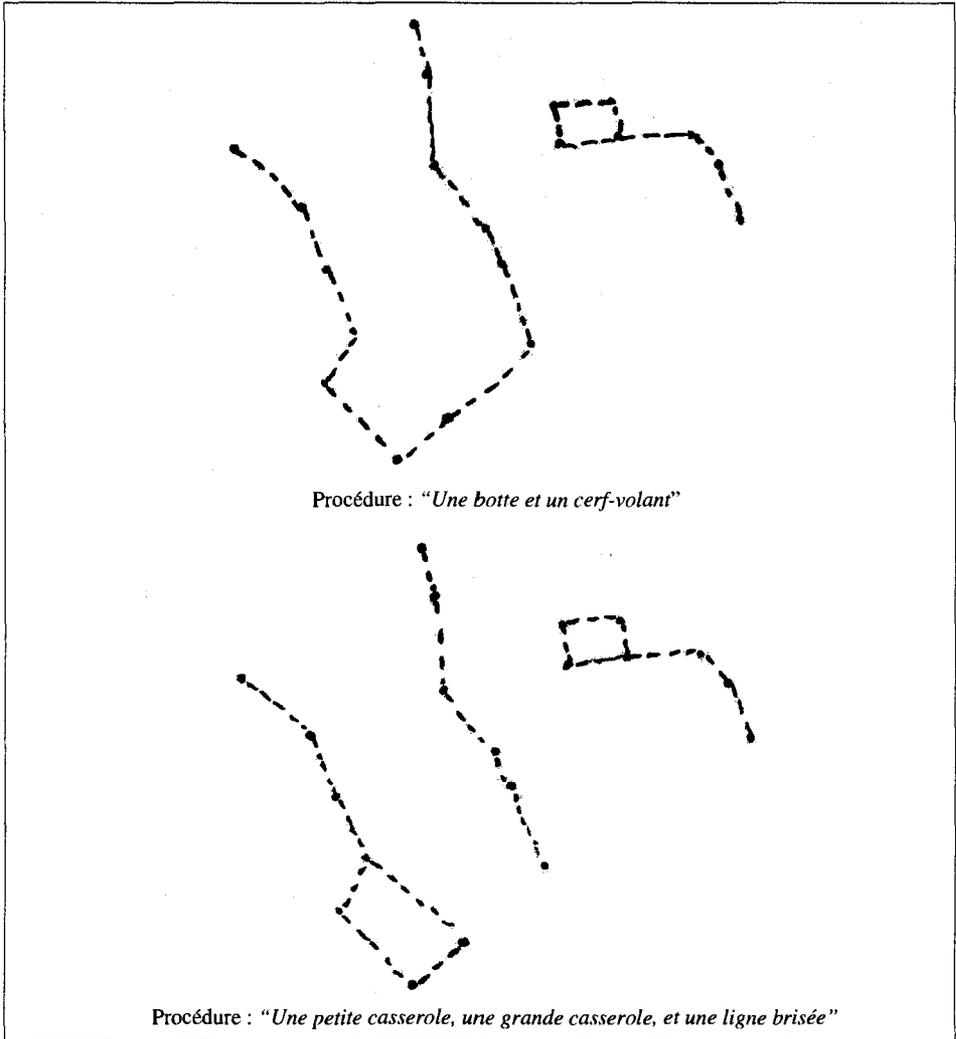
P3. – L'étoile située au faite d'un toit de maison.

P4. – Étoile située sur une queue de poisson.

P6. – Étoile du milieu de la patte d'un chat.



Document 3. Unités mémorisables



Phase 5 : Dessiner les "figures" du ciel pour les mémoriser

Le modèle lumineux du ciel est fugace. Conserver une trace écrite du modèle s'impose. La méthode décrite ci-après a été empruntée à V. Tryoën (CLEA) (3).

(3) C.L.E.A. : Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, Laboratoire d'astronomie, bât. 470, Université de Paris Sud, 91405 ORSAY.

une technique de
mémorisation des
constellations

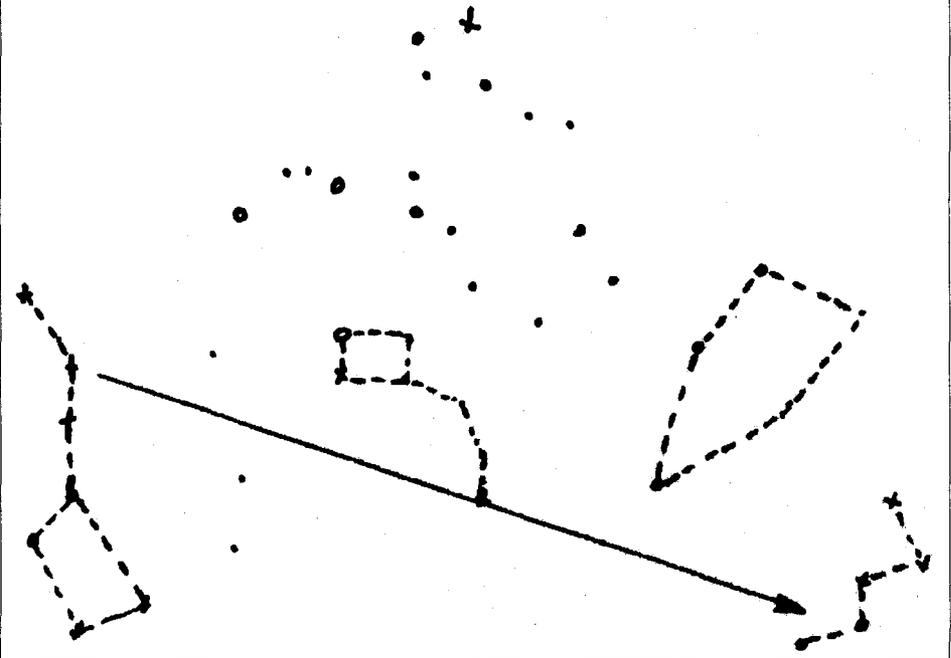
Un document écrit reproduit un ciel lumineux en négatif. Les étoiles sont représentées par des points ou des signes et les brillances relatives (ou magnitudes) des étoiles sont codifiées par ordre de brillance décroissante de la façon suivante : ☆ × ○ ● . . . Nous appellerons ces représentations "nuages de points codés". Les ruptures entre les deux représentations sont identifiées (positif/négatif et codification des brillances relatives).

En reliant les "étoiles" de la Grande Ourse entre elles, on dessine la représentation classique des cartes célestes. Puis une initiation à la "méthode des alignements", utilisée couramment en astronomie, permet de découvrir d'autres constellations : la Petite Ourse et l'étoile Polaire, Cassiopée, le Dragon.

La mémorisation se fait donc par autorépétitions successives des dessins des figures des constellations données en cartographie céleste. Les nouveaux savoirs portent sur une seule constellation à la fois. Ils sont constitués de la représentation figurée de la constellation, de sa dénomination usuelle en français, de sa dénomination scientifique (nom latin), de sa symbolisation internationale, éventuellement de la dénomination de certaines étoiles-repères, et des alignements-repères (document 4).

Document 4. Découverte de la constellation du Dragon ou Draco (Dra)

D'après TRYOEN, V. (N.D.). Comment reconnaître les constellations. In *L'observation des astres et le repérage dans l'espace, Formation continue des Maîtres en astronomie*. ORSAY : CLEA, Université de Paris XI.



Phase 6 : Passer d'une représentation à une autre, puis transférer une technique sur le réel, changer d'échelle

transfert

On essaie ensuite de transférer ces nouveaux savoirs (figures des constellations et méthode des alignements) sur une simulation lumineuse (par projection) du ciel. Ce transfert n'est pas sans poser quelques difficultés, puisqu'il n'est pas possible de dessiner (en laissant des traces) sur cette figure projetée.

On invite alors chaque stagiaire à mesurer l'écart angulaire entre deux étoiles de la Grande Ourse, mesuré selon la technique du bras tendu. Cet écart angulaire est très faible (environ 2°). On le compare alors à l'écart donné réel (environ 20°), observé et mesuré depuis la Terre. La nécessité d'opérer une nouvelle transposition du savoir-faire pour le rendre opératoire lors d'une observation du ciel nocturne est repérée.

Phase 7 : Prendre conscience du processus de mémorisation/appréhender une activité métacognitive

Il s'agit à cette étape d'analyser les procédures utilisées, de les décomposer en schémas d'actions, et de décrire les différentes opérations mentales successives effectuées pour mémoriser la position de "l'étoile" lors de la phase 2. Chacun prend alors conscience de sa propre démarche de mémorisation. Malgré une différenciation des procédures, l'ensemble des stagiaires a adopté quasiment le même processus constitué de la succession des mêmes étapes : d'abord perception d'un groupe "d'étoiles", liées par la pensée de façon à former une image mentale mémorisable (identifiable à un objet connu et nommé), puis choix d'une "étoile" et enfin repérage spatial de "l'étoile" par sa position ou sa brillance relative. Une distinction est faite entre le "processus de mémorisation" utilisé, qui semble le même pour tous et la "procédure de mémorisation" qui engage des paramètres intra personnels.

plusieurs
procédures, un
même processus

La compréhension de l'organisation perceptive des points en figures fait toujours l'objet d'études en psychologie cognitive, et plusieurs approches, fondées sur les théories de la perception, tentent d'élucider cette organisation (Weil-Barais, 1997). Pour le mouvement gestaltiste, l'unité perceptive est fondée sur la forme et non sur ses éléments, le tout étant perçu avant ses parties. L'organisation des ensembles ne se fait pas au hasard et la perception répondrait à un certain nombre de lois d'organisation (*de bonne forme, de proximité, de similitude, de bonne continuité, de destin commun, de clôture*). De là, on peut avancer une hypothèse d'explication sur les différentes dénominations des constellations selon les civilisations, et sur l'unicité du processus adopté tout au long de l'histoire de l'humanité.

On se rend compte aussi que le "morceau de ciel" proposé lors de la phase 4 n'est pas mémorisable et que ce "nuage de points" est encore trop complexe pour être stocké globalement en mémoire. La décomposition en "unités mémorisables" semble donc une nécessité.

Phase 8 : Formuler une définition du concept de constellation/aboutir à un premier niveau de formulation

Les formulations les plus représentatives pour une définition du concept de "constellation" sont reproduites ci-dessous.

1. *C'est un ensemble d'étoiles qui représentent des figures définies par les anciens.*
2. *Regroupement d'étoiles arbitraire faisant référence à une image mentale.*
3. *Un alignement d'étoiles (figurant un animal, un objet...)*
4. *Un ensemble d'étoiles que l'on relie entre elles pour former une image mentale à laquelle on donne un nom.*
5. *Constellation : assemblage d'étoiles selon un ordre défini qui permet une mémorisation facile*
6. *Un ensemble d'étoiles reliées par des lignes virtuelles faisant penser à des figures géométriques virtuelles, pour pouvoir repérer + facilement les étoiles dans le ciel.*

une première
élaboration
conceptuelle

Les propositions oublient, pour la plupart, le caractère arbitraire du regroupement des étoiles. Leur mise en commun aboutit au premier niveau de formulation (paragraphe 2.2) : "une constellation est un ensemble d'étoiles qui, reliées arbitrairement par des lignes imaginaires, forment dans le ciel un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom".

Les stagiaires sont alors invités à observer le ciel nocturne de manière autonome et à mettre à l'épreuve la méthode enseignée. L'orientation de l'observation leur est précisée et le "ciel du soir" fourni. Les stagiaires disent avoir repéré sans difficulté les quelques constellations apprises. Ils sont surpris par la faible luminosité des étoiles de la constellation de la Petite Ourse.

• Second épisode : Analyser des moments de classe en réinvestissant des connaissances nouvelles

La transposition de ces activités dans une classe de l'école élémentaire fait l'objet de nombreuses interrogations (reproductibilité, motivation des élèves pour l'observation, capacité des élèves à observer en autonomie, matériel (4), utilisation de diapositives (5)).

Une analyse didactique de "moments de classe" (retranscrits sur le document 5) est proposée.

-
- (4) Une solution de remplacement à l'utilisation du rétroprojecteur consiste à perforer des panneaux noirs à l'aide de vis (ou de punaises à têtes longues) et à coller sur leurs têtes des papiers phosphorescents de différentes grandeurs. Les figures des constellations sont représentées à l'aide d'élastiques souples en reliant les vis (ou les têtes des punaises) entre elles (d'après la technique de Victor Tryoën).
 - (5) Les stagiaires proposent régulièrement de remplacer les "diapos-trous" par des diapositives du ciel nocturne. Après essai, les stagiaires comprennent que cette instrumentation, si elle comporte des avantages (respect des positions relatives, des brillances relatives et des couleurs des étoiles), crée par contre un obstacle majeur, puisque la pellicule est impressionnée par la lumière d'un plus grand nombre d'étoiles que d'étoiles visibles à l'œil nu. L'utilisation de diapositives serait donc prématurée à cette étape de la situation d'apprentissage.

Document 5. Transcriptions de "moments de classe" Classe de 3^e niveau de cycle 3

Les essais menés dans les classes ont été effectués en d'automne et en hiver (sous la latitude Nord de 50°). Un défi est lancé aux élèves, il consiste à "compter le nombre d'étoiles dans le ciel".

Un défi : compter le nombre d'étoiles dans le ciel

- Un élève : "Mais c'est pas possible"
- Un élève : "Y'en a beaucoup"
- Un élève "Y'en a au moins 3000 !"
- Le maître : "Mais vous savez compter jusqu'à 3000 !"
- Un élève : "Oui, mais on va y passer beaucoup de temps, car y'en a beaucoup"
- Le maître : "Oui, mais vous avez tout le temps pour le faire !".

La discussion qui suit porte sur le nombre d'étoiles à compter et sur le temps à passer pour les compter.

- Un élève : "Mais quand on va les compter, comment savoir si on a déjà compté l'étoile, puisqu'elles sont toutes pareilles !"
- L'ensemble de la classe : "Bah oui !"
- Le maître : "Ah oui... Il y a là un problème... ! D'accord... si j'ai bien compris... si on veut compter le nombre d'étoiles dans le ciel, il faut d'abord être capable de retrouver une étoile. Essayons donc de trouver une solution... alors... je vous propose la chose suivante : vous allez choisir une étoile dans le ciel, et vous allez essayer de trouver un moyen pour la retrouver un peu plus tard... une heure après par exemple. Est-ce que ça vous semble possible ?".

Acquiescement de la classe.

La consigne de travail est alors formulée comme suit : "Choisir une étoile et trouver un moyen de la retrouver environ une heure plus tard ; écrire dans le 'cahier de bord' la méthode utilisée et éventuellement faire un dessin".

Une semaine plus tard, la majorité des élèves a effectué le travail demandé. Voici quelques procédures proposées.

Quelques procédures proposées pour retrouver une étoile

- E1 - "J'ai choisi l'étoile qui était au dessus du sapin du jardin, puis je suis revenu au même endroit et j'ai retrouvé l'étoile, mais elle avait un peu bougé... enfin je crois..."
- E2 - "Je me suis mis devant la fenêtre. J'ai cherché s'il y avait une étoile situé au dessus d'un poteau de la rue. J'en ai trouvé une et j'ai choisi celle-là. Quand je suis revenu à la fenêtre, j'ai retrouvé mon étoile."
- E3 - "J'ai choisi mon étoile,... j'ai pris un piquet, j'ai dirigé mon piquet vers mon étoile... non... j' m'suis d'abord couché par terre... et puis j'ai regardé l'étoile avec mon piquet, je l'ai enfoncé dans la terre, et quand je suis revenu, j'ai retrouvé mon étoile."
- E4 - "Dans le fond de mon jardin, y' a une vieille cabane où on range les outils du jardin. Je suis monté sur le tas d'herbe qu'est à côté, et j'ai mis mon œil dans le creux de la gouttière qu'est toute trouée... Y'avait justement une étoile, j'ai choisi celle-là, c'était facile. Quand j'suis revenu, y'avait plus d'étoile dans le rond. Mais y'en avait une just'à côté... en dehors du rond... alors, c'était sûrement mon étoile... mais ça avait bougé".
- E5 - "Moi, j'ai cherché la plus brillante et c'est celle-là que j'ai choisie. Quand je suis revenue, je l'ai retrouvée"
- E6 - "Je prends la petite casserole et au bout c'est l'étoile polaire et c'est le nord".
- E7 - "Moi j'ai pas trouvé".
- E8 et réactions d'un autre élève E9 - "Je regarde celle qui se lève la première, c'est l'Étoile du Berger".
- E9 - "C'est Vénus, c'est une planète !".
- E8 - "Non, puisqu'on dit étoile du Berger"
- E9 - "Une planète et une étoile c'est pas pareil !".

Le débat s'installe dans la classe. On compare les différentes procédures proposées et on tente de les caractériser. Des questions surviennent.

Les questions d'élèves.

- "Pourquoi certaines étoiles brillent plus ?"
- "Est-ce que c'est possible de retrouver une étoile, même si on change de place et dans un endroit désert, où y'a pas d'arbre et pas d'poteau ?"
- "Est-ce que le ciel bouge, comme le dit Théo ?"

application à
l'analyse de classe

La situation de départ est immédiatement reconnue comme une situation didactique dite "déclenchante" par les stagiaires de formation initiale. Par contre, pour la plupart des stagiaires de formation continue, il s'agit d'une première rencontre avec ce concept de didactique des sciences. Quelques caractéristiques de ce type de situation sont dégagées. Dans le cas présenté, la situation proposée commence par confronter immédiatement les élèves avec le ciel nocturne (qui constitue l'objet réel d'étude). Elle permet aussi d'engager des débats, de faire émerger des questionnements, de repérer des compétences, de mettre les élèves en appétit d'observation.

L'analyse des procédures utilisées par les élèves pour retrouver une étoile conduit à classer celles-ci en trois catégories.

Une première catégorie correspond aux procédures fondées sur le repérage d'une étoile par rapport à un repère terrestre fixe et impliquant à l'observateur une position donnée (procédures proposées par la majorité des élèves de la classe).

Les procédures de la seconde catégorie sont fondées sur une observation "instrumentée", utilisant un instrument rudimentaire de visée, à savoir un bâton fixé, ou un élément fixe linéaire tel qu'une gouttière ou un bord de mur (procédures choisies par un petit nombre d'élèves).

classer les
procédures des
élèves,

Une troisième catégorie regroupe les procédures utilisant comme critère de discrimination la brillance de l'étoile (procédures choisies par quelques élèves seulement).

Les réponses des élèves (peu nombreux) qui, soit n'ont pas répondu, soit se sont sans doute fait aider (par exemple en trouvant "un ours dans le ciel") sont regroupées ensemble dans une quatrième catégorie.

La comparaison des différents types de procédures fait ensuite l'objet d'un débat, permettant de mettre en évidence les contraintes de chacune d'elles.

repérer leurs limites,

Les procédures appartenant à la première et à la seconde catégorie sont dépendantes du lieu d'observation. Celles de la première catégorie nécessitent des objets du paysage (arbres, poteaux, église...) et imposent à l'observateur une position fixe (et la procédure peut elle-même conditionner le choix de l'étoile). Celles de la seconde catégorie peuvent permettre de choisir n'importe quelle étoile du ciel lorsque l'instrument de visée est mobile. Mais ni les unes, ni les autres ne permettent à l'observateur de retrouver l'étoile si ce dernier change de lieu d'observation.

Les procédures de la troisième catégorie ne permettent de retrouver que les étoiles de brillance caractéristique (très faible ou très brillante). On remarque qu'aucun élève n'a perçu la couleur des étoiles.

En conclusion, aucune des procédures ne permet de retrouver, en tout lieu d'observation, une étoile quelconque du ciel.

et les
compétences
qu'elles révèlent

Au travers des procédures décrites, on cherche ensuite à repérer les compétences déjà acquises par certains élèves. On repère :

- des compétences de savoir-faire technique pour ceux qui utilisent un instrument de visée, - des compétences d'observation fine chez les élèves ayant choisi comme critère de choix la brillance des étoiles,
- des compétences d'orientation pour ceux qui utilisent les procédures de première catégorie.

Quelques idées préalables sont repérées (comme la différence étoile/planète et le grand nombre d'étoiles visibles).

Suite de la description des activités de classe.

Les questions sont reformulées par le maître.

"Comment expliquer que les étoiles brillent différemment les unes des autres ?"

"Peut-on trouver un moyen de retrouver une étoile, si on se trouve dans le désert ou sur la mer ?"

"Le ciel bouge-t-il ? et si oui, comment bouge-t-il ?"

Les activités de classe vont alors avoir pour but de répondre aux trois problèmes posés.

Pour résoudre le premier problème, les activités proposées sont proches de celles décrites pour les maîtres en formation (simulations du ciel de la phase 2 de la situation de formation). Les élèves utilisent des procédures proches de celles des adultes, par contre, les figures mémorisées sont liées à leur univers d'enfant. Par exemple, la figure constituée par les 7 étoiles de la Grande Ourse est mémorisée comme une "poussette de poupée", "une loupe de philatélie", "un berceau", "une passoire", "un caddie" ou encore "une pelleuse".



L'apprentissage d'autres constellations se fait tout au long de l'année. L'apprentissage d'une ou deux constellations devient alors un "rituel" de la classe.

Les nombreux allers et retours entre le réel (l'observation du ciel), le travail sur les modèles physiques qui le représentent, et les représentations écrites sont indispensables à l'appropriation des procédures et l'émergence des questionnements.

Une autre technique d'apprentissage des constellations est également utilisée : la représentation lumineuse d'une constellation est projetée sur un écran, et il s'agit de repérer sa représentation sur papier dans un "nuage de points codés" totalement inconnu. Les stagiaires utilisent alors le code des brillances, recherchent les étoiles très brillantes et identifient la représentation de la constellation dans le "nuage". Cette procédure est appropriée si les constellations comportent des étoiles très brillantes (comme la constellation d'Orion)

Des diapositives sont peu à peu utilisées, et les procédures de reconnaissances sans cesse "autorépétées", à la fois sur le réel (ciel nocturne) et sur ses diverses représentations (simulations, diapositives).

• Troisième épisode : Vivre des activités de modélisation et aboutir à un second puis à un troisième niveau de formulation

Phase 1 : Expliquer la différence des brillances des étoiles/utiliser un modèle explicatif/aboutir à un second niveau de formulation du concept de "constellation"

On prend alors comme point de départ les questions des élèves issues de la séance de classe précédemment décrite.

Comment expliquer les brillances relatives des étoiles ? Les facteurs "grosseur", "distance à la Terre", "puissance" de l'étoile sont proposés.

Différentes maquettes sont proposées pour tester ces suppositions (petites lampes de puissances différentes, tunnels noirs à l'intérieur desquels sont disposées des boules phosphorescentes de diamètres différents). La vision à l'intérieur d'un tunnel noir rend impossible l'évaluation des profondeurs, l'image perçue est analogue à celle donnée par un objet plan. Lorsque le tunnel est ouvert, on découvre des boules phosphorescentes de diamètres variables situées à des distances différentes du trou. Une maquette facile à construire et inspirée d'un dessin d'A. Acker (annexe), est souvent proposée dans les ouvrages sur l'enseignement de l'astronomie. Elle est, nous semble-t-il, à utiliser avec précaution. En effet, un seul des rayons lumineux émis par chaque étoile de la constellation est matérialisé par un fil (celui qui est dirigé de l'étoile vers la Terre, elle-même matérialisée par l'œil de l'observateur). Cette maquette risque donc de renforcer une conception initiale souvent rencontrée et erronée à propos de la propagation de la lumière et de la vision, conception selon laquelle les rayons lumineux partiraient de l'œil vers l'objet (Kaminski, 1994 ; Guesne, 1984).

Une autre activité consiste à modéliser dans une salle obscure les éléments d'une observation terrestre en représentant d'une part la Terre par "l'œil de l'observateur", d'autre part quelques étoiles situées dans des directions (par rapport à la Terre) voisines l'une de l'autre par des boules phosphorescentes placées à des distances différentes de "l'œil de l'observateur". On place devant l'observateur une feuille en matière plastique transparente sur laquelle ce dernier doit dessiner (par projection centrale) ce qu'il perçoit depuis sa "Terre". Les points projetés sont alors très proches l'un de l'autre. Cette représentation des "étoiles" sur la feuille forme ce que l'on a précédemment nommé "constellation". La vision du dispositif depuis un autre point de l'espace est possible et totalement différente de la vision depuis la "Terre". Une étude du modèle permet d'identifier respectivement les objets physiques (étoiles, observateur sur la Terre) et leurs représentations dans le modèle. Ainsi, la feuille ne représente aucun objet physique, elle est seulement un support qui permet de représenter l'image perçue par un observateur terrestre.

utiliser des modèles
pour représenter le
réel

Pour pouvoir représenter toutes les étoiles visibles du ciel, un support hémisphérique est nécessaire. La notion de "voûte céleste" est alors appréhendée comme demi-sphère imaginaire sur laquelle on projette, par la pensée, les étoiles.

varier les modèles

La multiplicité des modèles utilisés ici permet à l'observateur d'être soit inclus dans le modèle, soit en dehors du modèle. Dans le premier cas, le modèle fonctionne comme modèle explicatif (Martinand, 1992), il simule le réel et permet d'expliquer les observations depuis la Terre. Dans le second cas, il fonctionne comme modèle prédictif, il permet à l'observateur de prédire ce qu'il verrait s'il lui était permis d'aller dans l'espace.

Des documents indiquant les distances à la Terre des étoiles d'une même constellation, ainsi que des films vidéos apportent des compléments de visualisation et d'informations. Des comparaisons entre la brillance observée (magnitude) et la distance des étoiles à la Terre ne montrent aucune corrélation entre ces deux paramètres. Ce qui permet d'affirmer que d'autres paramètres comme la masse, la température, la luminosité réelle peuvent entrer en jeu.

Ces nouvelles connaissances permettent d'enrichir le concept de constellation.

Une nouvelle définition de celui-ci est demandée aux stagiaires. On se rend compte de leurs difficultés à élaborer et à formuler un énoncé scientifique. Quelques formulations proposées par les stagiaires sont rapportées ci-dessous par ordre croissant du nombre de paramètres en jeu.

1. Constellation : ensemble d'étoiles contenues dans notre galaxie, la voie lactée ou/et ? autre galaxie.
2. Une constellation est une ensemble d'étoiles éloignées mais qui forment une représentation pour celui qui regarde de la Terre (représentation animale ou autre définie par un code).
3. Représentation imaginaire d'un groupement d'étoiles associées sans critères de distances.
4. C'est un groupement d'étoiles situées dans une même direction.
5. Ligne artificielle reliant des étoiles se trouvant à des distances différentes du Soleil.
6. Ensemble de boules gazeuses plus ou moins éloignées de la Terre dont la puissance est plus ou moins forte (ou éparpillées sur la voûte céleste).
7. Ensemble d'étoiles de masses et de brillances différentes, plus ou moins proches de la Terre et que notre œil associe pour donner une forme particulière.

un second niveau
de formulation

Une confrontation des propositions permet la mise en évidence des insuffisances de chacune d'elles (aucune formulation n'intègre tous les nouveaux paramètres découverts) et conduit à la validation du second niveau de formulation (voir paragraphe 2.2) : "Une constellation est un ensemble d'étoiles qui, vues depuis la Terre, sont situées dans des directions proches l'une de l'autre, et semblent relativement voisines sur la voûte céleste (demi-sphère imaginaire sur laquelle on les représente). Reliées entre elles, par des lignes imaginaires dessinées sur la voûte céleste, elles forment un dessin facile à mémoriser auquel on attribue un nom. Les étoiles d'une même constellation sont à des distances différentes de la Terre, et sont donc, en général, très éloignées les unes des autres."

Phase 2 : Représenter toutes les étoiles visibles depuis la Terre/formuler un troisième niveau de formulation

comparer les
modèles et leur
validité

Une petite demi-sphère transparente posée sur un globe terrestre au lieu d'observation permet de représenter la demi-sphère locale (ou voûte céleste). On montre que celle-ci ne peut porter que la projection des étoiles situées à l'intérieur de l'angle solide de π stéradians de sommet le lieu d'observation.

"Comment représenter toutes les étoiles du ciel ?"

les faire
fonctionner

Un nouveau modèle est utilisé : la Terre est représentée par un globe terrestre et les étoiles par des petites boules dispersées dans tout l'espace disponible de la salle. L'observateur n'est pas inclus dans le modèle. La seule façon de pouvoir représenter toutes les "étoiles" est donc de les projeter sur une sphère imaginaire englobant la Terre (de même centre) ou "sphère céleste". Différents dispositifs permettent de représenter cette sphère imaginaire (hémisphères transparents, parapluies transparents, sphère armillaire à arceaux, sphère gonflable etc.). Ainsi, tous les objets de l'espace visibles depuis la Terre peuvent être représentés sur cette sphère et celle-ci peut être découpée en secteurs.

un troisième niveau
de formulation

On aboutit alors au troisième niveau de formulation du concept de constellation, qui correspond à la définition scientifique actuelle. (voir paragraphe 2.2) : *"Une constellation est une zone de la sphère céleste, dont les limites précises ont été définies en 1930 par l'Union Astronomique Internationale, autour des figures repérées par les anciennes civilisations. La sphère céleste est découpée en 88 constellations, dont le nom officiel international de chacune d'elles est un nom latin (exemple Ursa Major pour la Grande Ourse). Toute région du ciel appartient à une constellation."*

• Quatrième épisode : Élaborer le concept de "niveau de formulation"

prise de
conscience des
continuités et
ruptures dans le
processus de
conceptualisation

La vision diachronique précédente du concept de "constellation" met en évidence les éléments qui ont permis la rectification de sa définition. Celle-ci est liée, à chaque étape, à la résolution d'un nouveau problème et à l'évolution des connaissances qui en a découlé (Astolfi, 1985). Les nouvelles formulations font appel à de nouveaux concepts, celui de "voûte céleste" puis de "sphère céleste". On rend ainsi tangible le fait qu'un concept ne fonctionne jamais de façon isolée, mais toujours en relation avec d'autres. Une rupture est constatée entre le second et le troisième niveau de formulation. La constellation n'est plus définie comme un "ensemble d'étoiles", mais comme une "zone de la sphère céleste", donc comme un objet virtuel et abstrait. D'un point de vue épistémologique, la rupture est importante, mais on constate une continuité sur le plan historique. Les constellations sont délimitées par des portions de méridiens ou de parallèles célestes de façon à englober les figures historiques.

On essaie alors de définir le concept didactique de "niveau de formulation", de le caractériser, et de montrer sa fonctionnalité dans la conception ou l'analyse d'une situation d'apprentissage-enseignement.

• **Cinquième épisode : Vivre des activités scientifiques**

Passer d'une représentation sphérique (sphère céleste) à une représentation plane (carte céleste)/ lire et utiliser une carte du ciel/construire une carte céleste

Cette dernière phase, traitée de façon traditionnelle, apporte tous les éléments de cartographie céleste.

• **Sixième épisode : Penser la transposition des activités à l'école primaire/fabriquer des aides didactiques**

La transposition des activités à l'école primaire fait alors l'objet d'un débat et ouvre sur des propositions.

Tous les participants s'accordent à penser que seul le premier "niveau de formulation" peut être atteint par les élèves de l'école primaire.

Des essais menés dans des classes de fin de cycle 3 ont pourtant montré que le second niveau leur était tout à fait accessible. Des élèves de ce niveau sont capables de proposer des méthodes pour projeter les points d'une demi-sphère locale sur un plan, soit par découpage de la demi-sphère "en hélice", ou en "quartiers" ("comme on pèle une orange"), soit par projection orthogonale à un plan ("on pique avec une longue aiguille") ou même par projection centrale par visée sur une surface plane transparente (cette projection s'apparentant à la projection stéréographique utilisée en cartographie céleste).

Des maquettes, "diapos trous", éléments de modèles, cartes, sphères célestes, etc. sont construits lors d'une séance spécifique en vue d'un réinvestissement dans les classes.

transposition à la classe : à quelles conditions ?

3. ANALYSE DE LA SITUATION DE FORMATION

L'analyse se propose de clarifier les imbrications fortes au niveau de l'action entre les différentes composantes en jeu et de comprendre les processus dynamiques de la situation plus particulièrement pour les deux élaborations conceptuelles et leur appropriation.

3.1. Analyse selon les contenus en jeu

• **Les savoirs disciplinaires**

Tout au long des différents épisodes décrits, le concept de "constellation" est central. Son élaboration progressive constitue un des fils directeurs de la situation. À chaque étape de

le concept de
"constellation"
dans une trame
conceptuelle

la démarche, la résolution d'un nouveau problème permet d'enrichir sa connaissance et de lui adjoindre un nouveau niveau de formulation. D'autres concepts sont nécessaires à cet enrichissement : ceux d'"étoile", de "voûte céleste", de "sphère céleste", de "carte céleste", de "magnitude d'un corps céleste". Ils constituent un réseau ou trame conceptuelle dans laquelle le concept de "constellation" s'insère. Leur apport est soit nécessaire à l'élaboration du concept ("sphère céleste"), soit y est lié directement ("carte céleste"), mais leur degré d'explicitation est moindre.

• *Les savoirs didactiques*

les étapes de sa
rectification

Le second pôle qui organise la situation est le concept de "niveau de formulation". Les productions successives par les stagiaires de trois formulations différentes de la définition du concept de "constellation" permettent de mettre en évidence les étapes de sa rectification. Les stagiaires prennent également conscience des difficultés de la "mise en mots" des savoirs élaborés. L'expression de l'ensemble des attributs (Barth, 1987) du concept exige un niveau linguistique de plus en plus complexe du premier vers le troisième niveau de formulation. D'ailleurs l'expression de ce dernier niveau demande un étayage tellement soutenu de la part du formateur que son élaboration se fait collectivement et non individuellement. La validation collective des énoncés individuels souligne l'équivalence des énoncés corrects ou au contraire les insuffisances d'autres énoncés. Elle oblige ainsi à apporter les précisions nécessaires pour rendre ces derniers valides. En fin d'activité, chaque stagiaire a exprimé "son" énoncé valide. Le caractère provisoire des énoncés de niveaux inférieurs et leurs limites d'utilisation sont repérés. Ainsi, la compréhension de l'élaboration d'une "carte céleste" demande d'avoir atteint le troisième niveau de conceptualisation, alors que son utilisation pratique ne nécessite pas ce niveau. La distance entre les savoirs des élèves et ceux des maîtres est ainsi mieux appréhendée. Elle permet au maître de se positionner pour des choix possibles dans les situations de classe (épisode 6). Le concept de "niveau de formulation" est aussi considéré comme généralisable à d'autres situations et devient ainsi un outil pertinent pour analyser ou concevoir des situations d'apprentissage-enseignement.

D'autres concepts sont utilisés (conceptions initiales, modélisation, situation déclenchante ou activités fonctionnelles), ils sont repérés quand ils sont déjà connus des stagiaires ou évoqués, mais ils ne font pas l'objet d'activités spécifiques d'appropriation et d'explicitation approfondie comme le concept de "niveau de formulation".

• *Les concepts pédagogiques*

Cette troisième composante de la situation de formation intégrée est peu développée au cours de la situation étudiée. De

nombreuses ressources documentaires et pédagogiques (ouvrages pour les élèves, pour les maîtres, vidéos, photos, etc.) sont fournies, des exemples multiples d'aides didactiques adaptables sont exposés et utilisés au cours des activités dans le but de constructions possibles au cours d'autres séances du dispositif de formation.

3.2. Analyse selon les dialectiques en tension, facteurs dynamiques de la situation

• Action/réflexion sur l'action

l'activité du stagiaire, élément de dynamisation de la réflexion didactique

Dans tous les moments de la situation, l'activité individuelle du stagiaire est première. Elle se manifeste par une mise en activité scientifique effective et par la production d'écrits ou d'oral (recueil de conceptions, propositions d'énoncés scientifiques, production puis verbalisation d'une procédure personnelle, mise en pratique de procédures éprouvées, analyse du processus de mémorisation et de ses limites...) ou la construction d'aides didactiques. Ces activités sont immédiatement suivies de moments réflexifs (confrontation des conceptions, comparaison des procédures, analyse distanciées, ouverture sur d'autres domaines, métacognition).

Le vécu commun sert de "base documentaire" pour une analyse directe des démarches et des contenus en jeu.

• Production/création

Les constructions des différents modèles destinés à se substituer au ciel réel peu accessible apportent des indices sur ce que les enseignants en formation projettent de réinvestir dans leur classe. Parmi les nombreux exemples présentés et proposés à la construction (panneaux phosphorescents, maquettes en trois dimensions, "diapos-trous", fiches pour rétroprojecteur, etc.), ceux-ci opèrent des choix qui dépendent en partie des conditions matérielles de leur école (peu de rétroprojecteurs, absence de salles obscures) mais aussi de ce qu'ils se sentent capables d'enseigner. Ils s'engagent alors très souvent dans des constructions multiples qu'ils personnalisent en modifiant les exemples présentés.

• Action/validation

L'analyse didactique des "moments de classe" (épisode 2) permet une comparaison de la démarche vécue et de la démarche de classe rapportée ainsi qu'une analyse des savoirs en jeu (proximités et écarts).

l'analyse de la pratique, essentielle pour la formation professionnelle

Deux aspects tendent à valider le modèle pédagogique de référence du formateur (modèle par investigation-structuration) et à entraîner l'adhésion du stagiaire à ce modèle : la référence à la pratique de classe représentée ici par les "moments de classes" retranscrits, et l'homologie partielle entre la situation de classe et la situation de formation (épisode 1).

Cette référence à la pratique de classe, par le biais de l'analyse, est essentielle. Elle constitue un élément d'accrochage entre la "formation théorique" (en module de formation disciplinaire) et la pratique de classe. Elle valide la faisabilité des activités proposées en même temps qu'elle permet une prise de conscience des caractéristiques du modèle pédagogique.

• *Convergence/divergence*

La situation de formation présente de nombreuses "ouvertures" vers d'autres domaines comme ceux de la psychologie cognitive (la mémoire et les processus de mémorisation), de la littérature (les contes et légendes du ciel), de l'imaginaire (les représentations des "figures du ciel"), des civilisations anciennes (par les différentes représentations de l'univers).

Dans le domaine de l'astronomie, de nombreuses questions émergent. La constitution des étoiles, les différents stades de leur évolution (de leur formation à leurs transformations), les méthodes de l'astronomie et de l'astrophysique (mesure des distances, mesure des températures, analyse des constituants, etc.) sont l'objet d'interrogations. Quelques brèves informations sont indiquées, renvoyant le plus souvent à des documents écrits ou audiovisuels mis à la disposition des stagiaires ou à une autre situation du module. Mais en dépit de ces nombreuses ouvertures, la situation conserve toujours sa ligne directrice.

Les débats sur la transposition des activités à l'école mettent en évidence la diversité des possibles. Les nombreux modèles présentés pour représenter le réel et induire des activités de modélisation ne présentent pas tous les mêmes caractères. Lors des séances consacrées aux constructions d'aides didactiques les choix des stagiaires s'orientent vers la construction des modèles qui, soit ont emporté leur adhésion au cours de l'activité de modélisation correspondante, soit sont, à leur avis, localement les plus adaptables. La diversité des propositions, des procédures et des énoncés est encouragée et respectée. Leurs confrontations et leurs analyses aboutissent et convergent vers des procédures communes de la pratique des astronomes, vers les énoncés, les noms et les codes scientifiques et internationaux.

Nous retrouvons des éléments d'un dispositif de formation "ouvert", comme le propose J.-P. Astolfi (1997b), tout en conservant son axe directeur.

• *Outil/objet*

Ces deux statuts d'un même concept dépendent du point de vue considéré, point de vue du formateur ou point de vue du stagiaire en formation.

Le statut des concepts disciplinaires oscille entre celui d'objet d'étude quand on les élabore et d'"outil" quand on les utilise pour résoudre un problème. Puis ils peuvent redevenir "objet" quand l'élaboration conceptuelle s'affine.

une ligne
directrice, une
diversité de
questions et
propositions

circulation entre
différents statuts
des concepts

Si le concept de "niveau de formulation" est utilisé en tant qu'"outil" par le formateur au début de la situation, il devient "objet" d'étude à la fin de la situation, puis redevient un "outil" pour les stagiaires quand ceux-ci débattent du niveau de formulation exigible pour des élèves de l'école primaire. Il devient alors opérationnel.

De même le concept de "conception initiale" est utilisé en tant qu'"outil" par le formateur au début de la situation, puis comme "objet" d'étude pour les stagiaires avant qu'ils ne se l'approprient comme "outil" d'analyse.

circulation entre les positions d'apprenant, disciplinaire et didactique, et d'enseignant

Cette oscillation d'un concept entre les deux statuts met le stagiaire tantôt en position d'"apprenant disciplinaire", tantôt en position d'"apprenant didactique", enfin en position d'enseignant responsable de choix pédagogiques.

L'objectif de la formation professionnelle est de rendre les concepts didactiques opératoires dans le quotidien de tout enseignant.

4. CONCLUSIONS

4.1. La situation de formation intégrée

L'analyse présentée tente d'élucider les imbrications fortes entre les aspects disciplinaire, didactique et pédagogique d'une situation formative. Elle tente de rendre compte également de sa cohérence interne en l'analysant selon certains critères qui ont présidé à sa conception.

Elle essaie également de rendre compte des processus dynamiques qui visent à former les enseignants sur les trois plans de façon à leur permettre une transposition personnalisée des activités dans le cadre d'une classe.

les concepts de didactique : des outils professionnels,

Cette situation s'inscrit dans un module de formation disciplinaire composé lui-même de plusieurs situations formatives intégrées, conçues chacune selon les mêmes principes et répondant aux mêmes exigences. Le module présente aussi sa propre cohérence : il s'agit en effet de faire en sorte que les concepts clés de la didactique des sciences (Astolfi, 1997a) et de la pédagogie, nécessaires à la conception ou à l'analyse d'une situation d'apprentissage-enseignement, fassent l'objet d'activités spécifiques dans l'une des situations du module. Ainsi chacun de ces concepts "pilote" une situation du module. Par exemple, dans le module d'astronomie considéré, une autre situation est pilotée par les concepts joints de "modélisation" et de "mouvement diurne". L'appropriation de ces concepts de didactique, ou concept "outils", semble un élément important de la professionnalisation des enseignants. L'idée de professionnalisation renvoie à celle d'appartenance à un corps professionnel, c'est-à-dire un corps social ayant une technicité spécifique ; l'une des

une technicité spécifique au corps social des enseignants

composantes de cette technicité est l'existence d'outils caractéristiques dont le maniement et la fonction sont familiers à tout membre du corps. Ces concepts outils sont communs aux enseignants des premier et second degrés et concourent donc, sur le plan de la didactique des disciplines, à l'élaboration d'une "culture commune" d'enseignants, qui est l'un des objectifs des Instituts Universitaires de Formation des Maîtres.

4.2. Les savoirs disciplinaires en jeu dans la situation étudiée

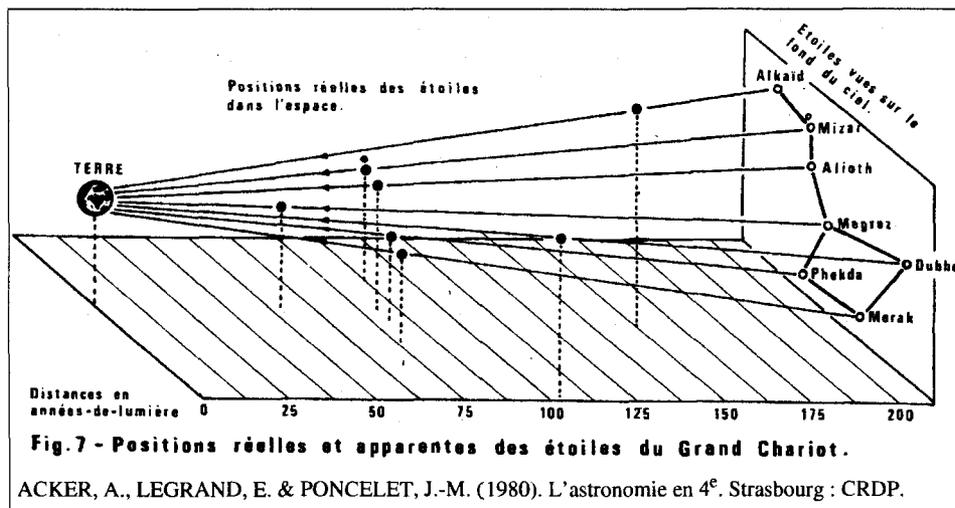
Les savoirs disciplinaires en jeu dans la situation de formation présentée renvoient à des problématiques relatives à d'autres champs disciplinaires. Certains champs de la psychologie cognitive – ceux qui étudient les relations entre la perception et l'activité d'imagerie (Denis, 1989) ou les mécanismes de mémorisation – et celui de la didactique des mathématiques nous semblent intéressants à interroger.

Dans le domaine de la didactique de la géométrie, Galvez (1985, traduit par Salin) étudie les interactions entre le sujet et son milieu et catégorise le milieu en trois catégories : le micro espace ou l'espace lié à la manipulation de petits objets dans lequel le sujet contrôle instantanément la totalité de l'espace ; le méso-espace, ou espace des déplacements du sujet dans un domaine contrôlé par la vue, et le macro-espace. Dans cette catégorie, il est distingué trois types : l'urbain, le rural et le maritime. Dans le macro-espace rural ou urbain, le sujet peut utiliser une multiplicité d'objets comme références. Dans le macro-espace maritime, c'est la connaissance par le sujet de la structure de l'espace qui régit sa prise de décision. Galvez conclut : "*ceci correspond à l'hypothèse générale selon laquelle la nécessité de conceptualiser est d'autant plus forte que la densité informationnelle est plus faible*". Dans le cadre de leur recherche, Berthelot et Salin (1992) s'intéressent à la mise en relation de l'espace réel et de sa figuration sur un plan par des élèves, mais ils n'abordent pas la représentation de l'espace céleste correspondant au macro-espace maritime.

Les activités que nous avons décrites mettent les sujets en interaction avec les trois catégories d'espace et leur proposent des allers et retours permanents entre les trois types d'espaces. Selon les premiers résultats de ces travaux actuellement en cours, les procédures mises en jeu dans les trois espaces ne feraient pas appel aux mêmes compétences. Ces éclairages nouveaux seraient peut-être susceptibles d'enrichir la réflexion sur l'enseignement de l'astronomie.

les problèmes de maîtrise de l'espace en astronomie sont éclairés par des travaux en psychologie et en didactique des mathématiques!

ANNEXE



BIBLIOGRAPHIE

ACKER, A., LEGRAND, E., PONCELET, J.-M. (1980). *L'astronomie en 4^e*. Strasbourg : C.R.D.P.

ALTET, M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants*. Paris : Presses Universitaires de France, Collection Pédagogie d'aujourd'hui.

ANTHEAUME, P. (1993). *Contribution à la définition des objectifs et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la biologie*. Thèse de Doctorat, Université de Paris VII.

ANTHEAUME, P. (2001). Gérer l'imprévisible, se décentrer, se limiter. *Aster*, 32, 181-203.

ARTIGUE, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 221-308.

ASTOLFI, J.-P., DAROT, E., GINSBURGER-VOGEL, Y. & TOUSSAINT, J. (1997a). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck.

ASTOLFI, J.-P., DAROT, E., GINSBURGER-VOGEL, Y. & TOUSSAINT, J. (1997b). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck.

- ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : P.U.F., Collection Que sais-je n° 2448.
- ASTOLFI, J.-P. , (COORD.) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : I.N.R.P., Collection Rapports de recherches.
- BARTH, B.-M., (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Éditions Retz.
- BERTHELOT, R., SALIN, M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.
- BOILEVIN, J.-M. (2000). *Conception et analyse du fonctionnement d'un dispositif de formation initiale d'enseignants de physique-chimie utilisant des savoirs issus de la recherche en didactique : un modèle d'activité et des cadres d'analyse des interactions en classe* Thèse de doctorat, Université de Provence.
- BUTLEN, D., PELTIER, M.-L. (1994). *Enseigner la didactique des mathématiques aux futurs professeurs d'école*. Paris : IREM, Université Paris VII, Document de travail pour la formation des enseignants, n° 9.
- COPIRELEM (1991). *Documents pour la formation des professeurs d'école en didactique des mathématiques*. Paris : IREM de Paris VII.
- DENIS, M. (1989). *Image et cognition*. Paris : ESF éditeur.
- DEVELAY, M., (1982). *Contribution à la définition d'un modèle de formation initiale des instituteurs, en activités d'éveil biologiques*. Thèse de 3^e cycle, Université Paris VII.
- DEVELAY, M., (1994). *Peut-on former les enseignants ?* Paris : ESF éditeur, Collection pédagogies.
- GALVEZ, G. (1985). *El aprendizaje de la orientacion en el espacio urbano : una proposicion para la ensenanza de la geomatria en la escuela primria*. Thesis, centro de investigacio del I.P.N., Mexico.
- GUESNE, E. (1984). Children's ideas about light : les conceptions des enfants sur la lumière, *New Trends. Physics Teaching, vol. IV*, 179-192. Paris : UNESCO.
- HEUDIER, J.-L., (1995). *Le livre du ciel, l'homme et les étoiles*. Nice : Z'éditions.
- KAMINSKI, W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur la formation des maîtres d'une maquette d'enseignement*, Thèse, Université Paris 7.
- KUZNIAK, A. (1994). *Étude des stratégies de formation en mathématiques utilisées par les formateurs du premier degré*. Thèse, Université de Paris VII, Denis Diderot.
- LAISNE, M., TRYOËN, V. (1991). *Astronomie à l'école élémentaire*. Orsay : CLEA, les Cahiers Clairaut Hors série n° 1.
- MALGLAIVE, G. (1990). *Enseigner à des adultes*. Paris : P.U.F., Collection Pédagogie d'aujourd'hui.
- MARCEL, J.-F., OLRYS, P., ROTHIER-BAUTZER, E. & SONNTAG, M. (2002). Les pratiques comme objet d'analyse. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 135-170.

- MARTINAND, J.-L. (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster*, 19, 61-75.
- MARTINAND, J.-L., (1992). Organisation et mise en œuvre des contenus d'enseignement, esquisse d'une problématique. In J. Colomb, (Éds.). *Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres*. Paris : I.N.R.P.
- MARTINAND, J.-L., ASTOLFI, J.-P., CHOMAT, A., DROUIN, A.-M., GENZLING, J.-L., LARCHER, C., LEMEIGNAN, G., MEHEUT, M., RUMELHARD, G., WEIL-BARAIS, A. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Paris : I.N.R.P.
- MARTINAND, J.-L., GENZLING, J. PIERRARD, M.-A., LARCHER, C. ORANGE, C., RUMELHARD, G., WEIL-BARAIS, A. & LEMEIGNAN, G., (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : I.N.R.P.
- MERLE, H., (2000). Comment aider les élèves à modéliser "le ciel et la Terre". *Aster* 31, 37-70.
- MORGE, L. (2001). Caractérisation des phases de conclusion dans l'enseignement scientifique. *Didaskalia*, 18, 121-146.
- PERRENOUD, P. (1994). *La formation des enseignants entre théorie et pratique*. Paris : L'Harmattan, Collection Savoir et Formation.
- PIERRARD, M. (1988). Modélisation et astronomie. *Aster*, 7, 91-102.
- PORTUGAIS, J. (1995). *Didactique des mathématiques et formation des enseignants*. Berne : Peter Lang.
- REY, H.A. (1980). *Sachez lire les étoiles*, Les Éditions Maritimes et d'Outre-mer.
- ROBARDET, G. (1995). *La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1.
- SAINT-GEORGES, M. (1998). Formation des professeurs de sciences physiques par la didactique. *Didaskalia*, 13, 57-80.
- TANAKA, B. (1986). *Les contes du ciel*. Syros, Collection Raconte.
- TOCHON, F. V. (1993). *L'enseignant expert*. Paris : Nathan.
- TRYOËN, V. (N.D.). Comment reconnaître les constellations. In *L'observation des astres et le repérage dans l'espace, Formation continue des Maîtres en astronomie*. Orsay : CLEA, Université de Paris XI.
- VIENNOT, L., (1997). Former en didactique, former sur le contenu ? *Didaskalia* 10, 75-91.
- VÉRIN, A., (1998). Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ? *Aster*, 26, 133-164.

WEIL-BARAIS, A. (Dir.) (1993). *L'homme cognitif*. Paris : P.U.F., Collection Premier Cycle.

Diapositives.

DECAUX-SCHULMAN, C. (N. D.). *Initiation aux constellations*. Orsay : C.L.E.A.

Films vidéos

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA.(1993). *Le guide du ciel*, Ciel et Espace vidéo, série encyclopedia galactica.

GESSNER, N. (1997). *Tous sur orbite*. Paris : Éditions Montparnasse.