



HAL
open science

**Démarche d'investigation et apprentissages
géométriques chez les professeurs des écoles.
Problématisation à propos des "solides" de Platon**

Magali Hersant

► **To cite this version:**

Magali Hersant. Démarche d'investigation et apprentissages géométriques chez les professeurs des écoles. Problématisation à propos des "solides" de Platon. Matheron Yves; Gueudet Ghislaine; Sierra Tomas Angel; Trouche Luc; Winslow Carl; Besnier Sylvaine; Celi Valentina; Derouet Charlotte; Forest Dominique; Krysinka Maryza; Quilio Serge; Rogalski Marc. Enjeux et débats en didactique des mathématiques - Actes de la 18ème école d'été de didactique des mathématiques, La Pensée Sauvage, pp.758-765, 2016. hal-01519499

HAL Id: hal-01519499

<https://hal.science/hal-01519499v1>

Submitted on 10 Jul 2024

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.

DÉMARCHE D'INVESTIGATION ET APPRENTISSAGES GÉOMÉTRIQUES CHEZ LES PROFESSEURS DES ÉCOLES : PROBLÉMATISATION À PROPOS DES SOLIDES DE PLATON

Magali HERSANT¹

Référence : Hersant, M. (2016). Démarche d'investigation et apprentissages géométriques chez les professeurs des écoles. Problématisation à propos des « solides » de Platon. In *Enjeux et débats en didactique des mathématiques—Actes de la 18ème école d'été de didactique des mathématiques* (Vol. 2, p. 758–765). La Pensée sauvage éd.

RÉSUMÉ

L'étude ici présentée porte sur l'analyse de l'activité de recherche d'un problème de géométrie des solides par des professeurs des écoles en formation continue. Le cadre de la problématisation (Fabre, Orange, 1997 ; Orange, 2012 ; Hersant, 2010) est mobilisé pour cette analyse. Il s'agit d'identifier les dynamiques et les événements de problématisation (Doussot, Hersant et Orange-Ravachol, 2013) à l'oeuvre dans cette résolution ainsi que les connaissances mathématiques mobilisées tout au long de la résolution par les professeurs des écoles. Cette étude nous renseigne ainsi sur les représentations initiales des professeurs des écoles en géométrie des solides et sur les connaissances « construites » en situation.

Introduction

Le cadre de la problématisation développé dans le champ de la didactique des Sciences de la Vie et de la Terre (Fabre, Orange, 1997 ; Orange, 2012) permet l'étude de l'activité d'élèves ou de chercheurs en situation de résolution de problèmes explicatifs en SVT. Il a des ancrages à la fois dans la théorie de l'enquête de Dewey et dans l'épistémologie bachelardienne (Fabre, 2005) et postule que savoir ce n'est pas « savoir que » mais « savoir que ça ne peut pas être autrement », autrement dit que les savoirs sont apodictiques et non assertoriques. Ainsi, les travaux utilisant ce cadre dans le champ des SVT s'intéressent aux nécessités que les élèves peuvent construire au cours de la résolution de problèmes de biologie ou de géologie.

Nous pensons que ce cadre peut être utilisé dans le champ de la didactique des mathématiques et qu'il est susceptible d'éclairer de façon nouvelle le regard que l'on porte sur l'activité en résolution de problème. Dans des travaux précédents, ce cadre nous a permis d'analyser et de comprendre les conditions du dépassement de l'empirisme naïf au sens de Balacheff (1988) et de l'entrée dans la rationalité mathématique pour des élèves du cycle 3 de l'école élémentaire (Hersant, 2010). Dans ce poster, nous mobilisons la problématisation pour mettre en évidence la dynamique de construction du problème des solides de Platon chez des professeurs des écoles et l'évolution des connaissances de géométrie dans l'espace qu'elle suppose.

¹ CREN, Université de Nantes, magali.hersant@univ-nantes.fr

Quelques précisions sur le cadre de la problématisation et la méthodologie d'analyse

Orange distingue trois registres de l'activité scientifique critique (2012). Le registre empirique est celui des faits provenant d'observations ou d'expériences ; le registre des modèles est celui des explications construites pour rendre compte des faits préjugés pertinents pour le problème travaillé ; le registre explicatif qui comprend les présupposés considérés comme allant de soi par les élèves et qui leur permettent de produire des explications, de s'expliquer les choses.

C'est de l'articulation de ces trois registres au cours de la recherche du problème que vont émerger l'explication et les nécessités associées au problème. La recherche d'un problème donne lieu à des observations ou à des expériences qui génèrent des faits. Lorsqu'on cherche une explication au problème posé, on opère une sélection dans l'ensemble de ces faits ou on oriente d'une façon ou d'autre notre regard. Cette orientation du regard est sous-tendue par notre registre explicatif et c'est dans la confrontation de ce registre explicatif et des éléments empiriques que vont pouvoir se construire les explications et nécessités du problème, dans un dédoublement des idées et des faits.

Les espaces de contraintes permettent de résumer de façon schématique les contributions de chacun des registres à la construction des nécessités associées à la solution du problème. Orange les définit ainsi (Orange, 2002) :

C'est une mise en ordre des différents éléments problématisants qui sont apparus au cours de ce débat, d'une manière très implicite et même souvent inconsciente pour les élèves. Mais si ces éléments correspondent bien à des idées et des arguments produits par les élèves, il est clair qu'ils ont subi un filtre épistémologique, d'une part par la conduite du débat par le maître et, d'autre part, par l'interprétation que nous avons faite des propositions. Mais nous faisons l'hypothèse que cet espace a une valeur qui dépasse le cas étudié. D'une part car il gomme l'aspect chronologique de ce débat particulier au profit des relations logiques. D'autre part parce que, selon le principe de toute étude qualitative, nous pensons que ce cas fait sens. Et enfin parce que tout ou partie de cet espace se retrouve dans d'autres débats sur ce sujet, avec des élèves d'âge comparable.

Il est toujours intéressant d'identifier la cinématique de la problématisation à l'œuvre dans la résolution d'un problème, i.e. les problèmes qui sont rencontrés et posés. Mais, si l'on veut comprendre l'activité de résolution du problème, il est aussi important d'accéder à la dynamique de problématisation, aux « forces » à l'origine de la problématisation. Les espaces de contraintes permettent de rendre compte, d'une certaine façon, de cette dynamique. Mais ils ne tiennent pas vraiment compte de l'élément crucial qui met en route la dynamique de problématisation (par exemple, une question de l'enseignant, un fait issu de l'expérience, une remise en cause d'une explication), qui provoque une rupture d'intelligibilité de la situation conduisant à une problématisation. S. Doussot, D. Orange-Ravachol et moi-même avons désigné d'événement de problématisation (Doussot, Hersant et Orange-Ravachol, 2013) cet élément, en référence à la notion d'événement en sciences historiques et sociales (Bensa, Fassin, 2002 ; Orange-Ravachol, Orange, 2012). Ainsi un événement de problématisation est un événement au sens de Bensa et Fassin (2002) :

L'évidence habituelle de la compréhension est soudain suspendue : à un moment donné, littéralement, on ne se comprend plus, on ne s'entend plus. Le sens devient incertain. Loin d'interpréter comme nous le faisons quotidiennement, sans y songer ou presque, tout à coup, nous ne sommes plus assurés de nos grilles de lecture. Tandis que nous vivons d'ordinaire dans le régime de ce qui va sans dire, nous voici plongés avec l'évènement dans le régime extraordinaire de ce qui ne sait plus se dire, ou du moins n'en est plus si sûr. (...) l'évènement ne renvoie pas à une rupture dans la réalité, mais, on l'a dit, dans l'intelligibilité. L'évènement enclenche une nouvelle intelligibilité – autrement dit, il rend pensable une nouvelle série, qu'il inaugure, ou qu'il porte au jour celle qui s'était déjà engagée, sans qu'on s'en fût encore aperçu. Le départ de la série ne coïncide donc pas nécessairement avec l'évènement : celui-ci, plus simplement, la rend visible, et lisible.

et se caractérise par le fait qu'il est à l'origine de la construction des nécessités associées à un problème. L'étude des événements de problématisation renvoie est donc une étude de la problématogénèse.

Le problème proposé et le contexte de l'étude

Nous allons utiliser l'outil « espace de contraintes » (Orange, 2002) pour analyser l'activité des professeurs des écoles, lors d'un stage sur la démarche d'investigation en mathématiques et en sciences, face au problème suivant :

Un polyèdre est un solide délimité par des faces planes. Un polyèdre régulier est un polyèdre convexe dont les faces sont des polygones réguliers (tous les côtés sont de même longueur et tous les angles ont la même mesure) deux à deux superposables tels que à tous les sommets corresponde un même nombre de faces. **Déterminer tous les polyèdres réguliers (documents non autorisés).**

En proposant cet énoncé, notre objectif est de mettre les stagiaires en situation de construction des nécessités associées à la solution du problème, à savoir : « il y a exactement cinq polyèdres réguliers car la somme des angles au sommet dans un polyèdre régulier doit être inférieure à 360° ».

Nous avons mis à disposition des stagiaires du matériel (polydrons, papier, crayons, ciseaux, équerres, règles, compas, rapporteurs) qui autorise une démarche expérimentale (Durand Guerrier, Dias, 2005) et, plus précisément, permet la constitution d'un registre empirique. Nous avons organisé le travail en groupe et demandé aux stagiaires de rédiger d'une part une affiche « résultats » et d'autre part une affiche « chronique » de la recherche de façon à travailler ensuite sur la démarche. Le travail de quelques groupes a été filmé et l'analyse porte sur l'un d'eux.

Une affiche « résultats » qui témoigne d'un événement de problématisation

L'affiche « résultats » du groupe présente deux « séries » à propos des mêmes objets et témoigne ainsi d'un changement de grille de lecture de la situation au cours de la résolution.

B

	nombre de faces	nombre de sommets	nombre de côtés polygone	nombre d'arêtes
tétraèdre	4	4	3	6
cube	6	8	4	12
polyèdre à faces pentagonales	12	20	5	30
...	8	6	3	12
		12	3	30

→ nombre de faces par sommet

$\frac{\text{nombre sommets} \times 3}{2} = \text{nombre arêtes}$

Au niveau de chaque sommet, il faut que la somme des angles soit inférieure à 360°

- triangle : 3 faces → $60^\circ \times 3 \Rightarrow 180^\circ$
- 5 polyèdres : 4 faces → $60^\circ \times 4 \Rightarrow 240^\circ$
- 5 faces → $60^\circ \times 5 \Rightarrow 300^\circ$
- 6 faces → $60^\circ \times 6 = 360^\circ$ impossible à construire
- Pentagone : 3 faces → $108^\circ \times 3 = 324^\circ$
- 4 faces → $108^\circ \times 4 = 432^\circ$
- Hexagone : 3 faces → $120^\circ \times 3 = 360^\circ$
- cube

B

	nombre de faces	nombre de sommets	nombre de côtés polygone	nombre d'arêtes
tétraèdre	4	4	3	6
cube	6	8	4	12
polyèdre à faces pentagonales	12	20	5	30
...	8	6	3	12
		12	3	30

→ nombre de faces par sommet

$\frac{\text{nombre sommets} \times 3}{2} = \text{nombre arêtes}$

Au niveau de chaque sommet, il faut que la somme des angles soit inférieure à 360°

- triangle : 3 faces → $60^\circ \times 3 \Rightarrow 180^\circ$
- 5 polyèdres : 4 faces → $60^\circ \times 4 \Rightarrow 240^\circ$
- 5 faces → $60^\circ \times 5 \Rightarrow 300^\circ$
- 6 faces → $60^\circ \times 6 = 360^\circ$ impossible à construire
- Pentagone : 3 faces → $108^\circ \times 3 = 324^\circ$
- 4 faces → $108^\circ \times 4 = 432^\circ$
- Hexagone : 3 faces → $120^\circ \times 3 = 360^\circ$
- cube

Figure 1 : affiche « résultats » du groupe

Dans la partie supérieure de l'affiche (Figure 1) figure un tableau qui décrit les polyèdres identifiés en fonction de la forme de leur face et de leur nombre de faces, arêtes et sommets. Les flèches d'une colonne à l'autre du tableau et la formule sous le tableau indiquent la recherche de relations numériques (de proportionnalité) entre les éléments caractéristiques des solides. Cette « série » témoigne, d'une part, d'un travail qui s'est effectué principalement dans le cadre de la géométrie affine, en appui sur l'observation de solides construits et, d'autre part, de la recherche d'une définition en compréhension de l'ensemble des solutions à partir d'une formule à définir. Cette série relève d'une visée assertorique où les nécessités du problème ne seront pas explicites car embarquées implicitement par la formule.

Dans la partie inférieure de l'affiche, un texte met en avant une nécessité sur la somme des angles au sommet et témoigne d'un travail de géométrie métrique et euclidienne qui s'appuie sur l'observation du passage du solide au patron, organisée par la recherche d'une définition en extension de l'ensemble des solutions.

Ainsi, les différences de cadres (Douady, 1987) et de points de vue (Rogalski, 2001) adoptés dans les deux parties de l'affiche rendent compte d'une rupture d'intelligibilité de la situation, d'un changement de grille de lecture de la situation, accompagné de la construction de nécessités, c'est-à-dire d'un événement de problématisation (Doussot et al., 2013). A partir de ce constat nous proposons d'étudier les questions suivantes : comment les professeurs des écoles cheminent-elles dans le problème ? Qu'est-ce qui génère cette rupture d'intelligibilité de la situation ? Quels apprentissages géométriques potentiels cet événement de problématisation peut-il initier ?

Comment les professeurs des écoles cheminent-elles dans le problème ? Cinématique de l'enchaînement des problèmes

A partir de la vidéo de la recherche du groupe, nous avons transcrit les échanges dans le groupe et découpé ce corpus en phases et épisodes. Une phase correspond au travail d'un problème (quel est le nombre de faces à chaque sommet ? peut-on construire un polyèdre avec des hexagones ?...) ; le travail d'un problème même problème pouvant être interrompu puis repris dans une phase ultérieure. Un épisode correspond à un sous-problème associé à un problème (est-ce qu'on est sûr de nos dénombrements précédents ? est-ce qu'il y a toujours trois faces à chaque sommet ?...). Ce découpage du corpus nous permet de dégager ce qui sous-tend l'activité des professeurs. Il y a d'abord deux principes, faux, plus ou moins implicites, mais tenus pour vrais pendant un certain temps et petit à petit mis en questionnement : un principe de bijectivité (à chaque polygone régulier est associé un et un seul polyèdre régulier) et un principe de régularité (il y a exactement trois faces à chaque sommet). L'activité est aussi portée par une hypothèse sur la démarche à suivre pour obtenir l'ensemble des solutions : « il faut trouver une formule ». Cette volonté de trouver une formule constitue le « problème de la formule » et peut-être mise en relation avec la facette épistémologique du contrat didactique (Hersant, 2014). Enfin, l'activité est contrainte par la « difficulté » matérielle de construire un polyèdre régulier à faces hexagonales, ce qui génère de nombreux échanges et des doutes sur cette possibilité et constitue le « problème de l'hexagone ».

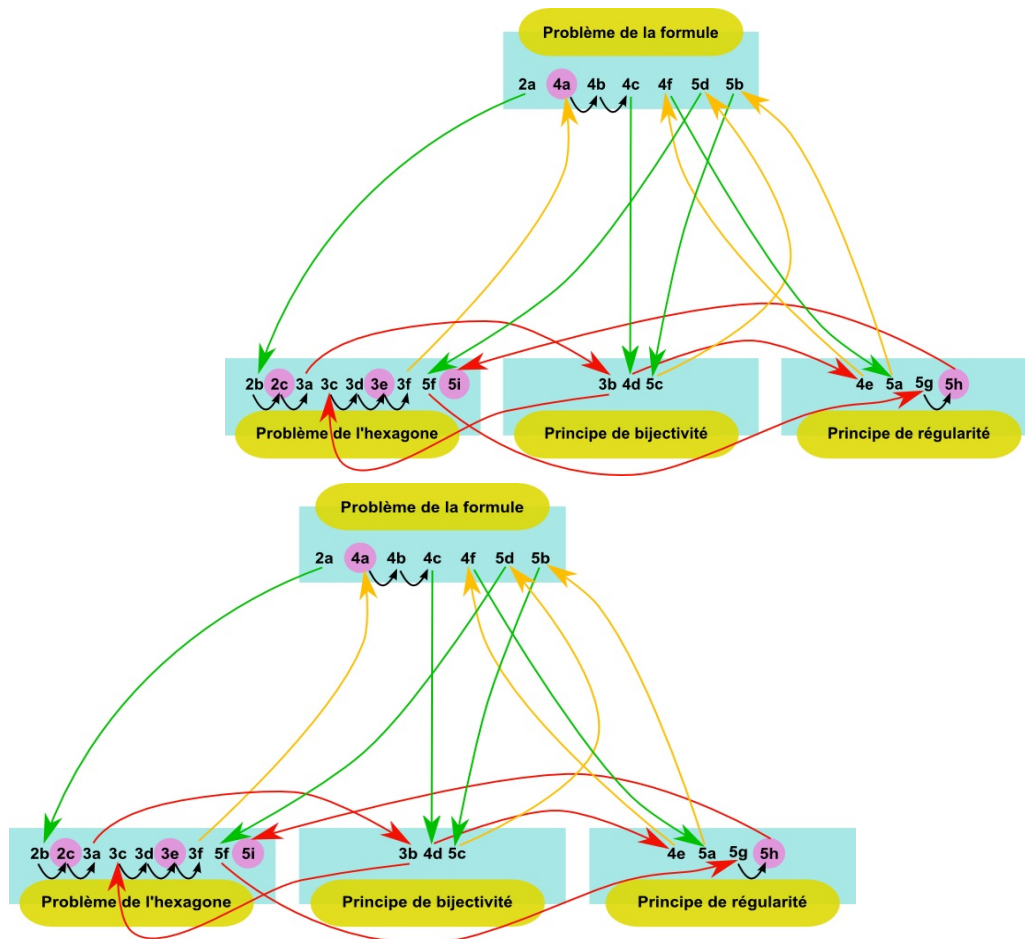


Figure 2 : l'enchaînement des problèmes

Le graphe de la Figure 2 représente le cheminement, épisode (sous-problème) par épisode, entre ces quatre problèmes. Les épisodes en violet correspondent à un travail explicite sur la délimitation des possibles et la construction des nécessités (est-il nécessaire de construire le polyèdre à faces hexagonales ? pourquoi ça ne marche pas ? ; est-ce qu'on est sûres de nos dénombrements ? pourquoi ne peut-on pas avoir plus de faces à un sommet ?). Les autres correspondent à une exploration des possibles (peut-on avoir un polyèdre avec les hexagones ? qu'est-ce qu'un ballon de foot ? peut-on avoir un autre polyèdre avec des triangles ? ...).

Le graphe met en évidence que le problème de l'existence de la formule est récurrent : les professeurs des écoles y reviennent presque de façon obsessionnelle. Ce problème est relié de façon chronologiquement dense aux trois autres problèmes puisqu'il est le point de départ et d'arrivée de nombreuses flèches qui relient des épisodes d'exploration des possibles. Ainsi, ce problème semble jouer donc un rôle majeur dans l'exploration des possibles. Le tableau de l'affiche « résultats » (Figure 1) témoigne de cet aspect de leur activité.

Le problème de l'hexagone est celui qui comprend le plus grand nombre de sous-problèmes distincts et de passages d'un sous-problème à un autre en son sein. Par ailleurs, il est aussi le cœur des problèmes associés à une délimitation explicite des possibles. Il est donc intrinsèquement dense. Nous notons qu'il est aussi étroitement relié chronologiquement (allers-retours rapides) aux principes de bijectivité et de régularité : il semble jouer un rôle majeur dans la remise en cause de ces principes. Ainsi, il semble contribuer de façon

privilegiée à la délimitation des possibles (trois épisodes violets sur cinq au total) et être une source importante de problématisation.

Qu'est-ce qui génère la rupture d'intelligibilité de la situation ? Dynamique de la problématisation

Pour dépasser une cinématique de la problématisation des professeurs des écoles et accéder à la dynamique de la problématisation pour ce groupe, nous construisons l'espace de contraintes de la recherche des professeurs des écoles, en organisant les différents éléments issus de l'observation de leur activité (constructions, échanges dans le groupes) selon les trois registres de la problématisation (Figure 3).

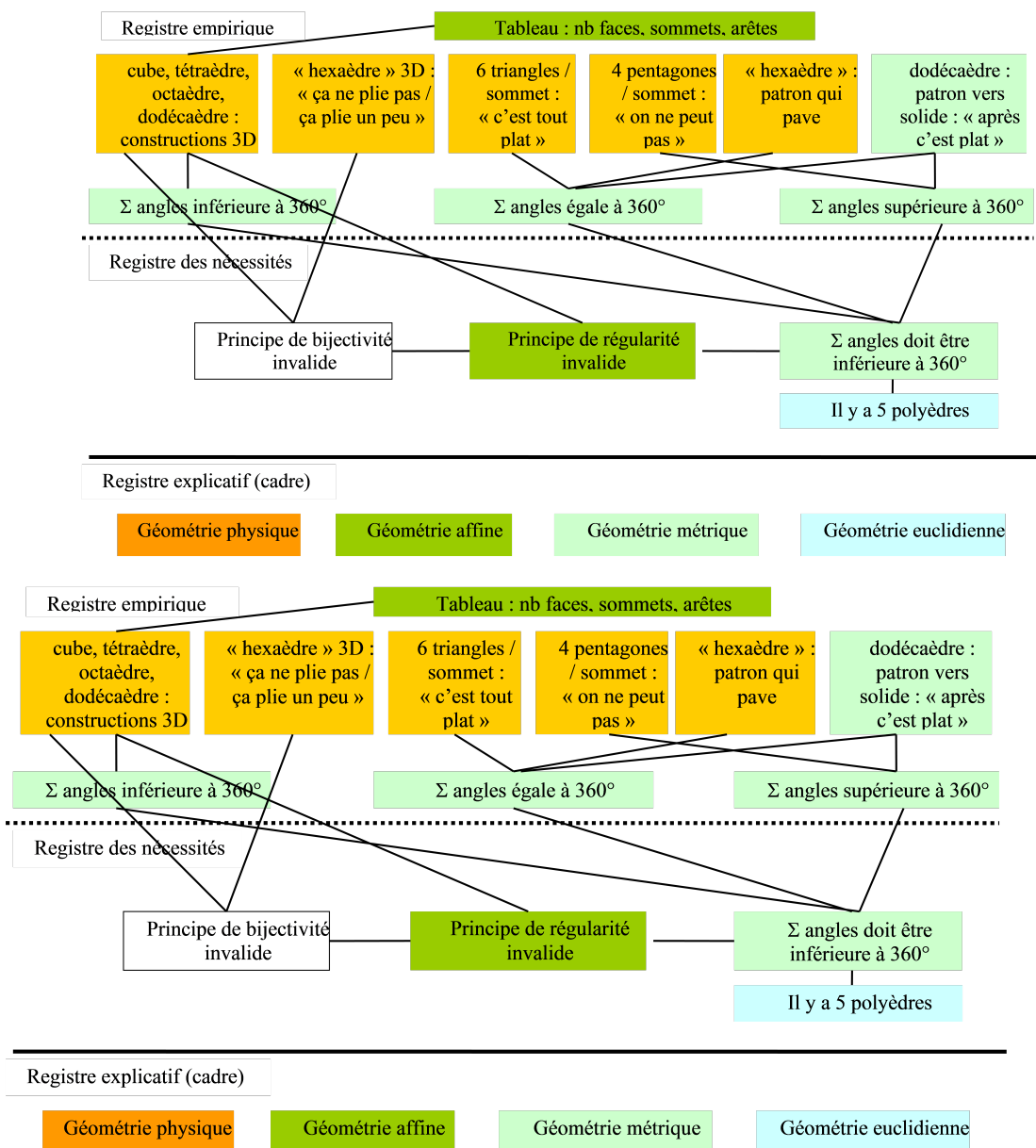


Figure 3 : espace de contraintes

Cette représentation est complémentaire de la précédente (Figure 2). Les traits qui relient les différentes boîtes représentent des relations logiques, issues de mises en tension des différents registres. Dans cette représentation, la chronologie est gommée. Par ailleurs les couleurs des cases permettent de coder le registre explicatif mobilisé pour « observer » la réalité ou construire des nécessités. Dans ce problème, les registres explicatifs renvoient à différents cadres, au sens de Douady (1987). Ainsi, par exemple, « l'observation » des constructions avec le registre de la géométrie physique conduit à dire que si on assemble des hexagones en papier « ça plie un peu » ou « ça pave », tandis que « l'observation » des mêmes constructions avec le registre de la géométrie métrique conduit à « voir » dans le pavage des angles dont la somme vaut 360° . De la même façon, c'est bien la référence au cadre de la géométrie métrique qui permet de construire, en tension avec le registre empirique, la nécessité « il faut que la somme des angles soit inférieure à 360° » et par là, d'invalider le « principe de régularité ».

Au départ, les possibles sont nombreux : autant de possibles que de polyèdres réguliers mais cela reste implicite et concevable pour les professeurs des écoles (la limite est liée au nombre de polygones réguliers). C'est le principe de bijectivité. La difficulté matérielle à construire « l'hexaèdre » (« ça plie un peu », « ça ne plie pas ») permet de mettre en doute ce principe et d'envisager d'autres possibles (plusieurs polyèdres réguliers pour un polygone régulier donné, pas de polyèdre régulier pour un polygone régulier donné), ce qui implique d'invalider le principe de régularité. Dans le registre empirique, et en relation avec le registre de la géométrie physique, cela conduit à la construction de l'octaèdre. Mais cet abandon du principe de régularité ouvre aussi des possibles d'une autre façon et appelle la construction de nouvelles nécessités. En effet, dès qu'on imagine qu'on peut placer plus de trois faces par sommet, on perçoit qu'il y aura une limite (au moins d'ordre physique). Et, on perçoit aussi que la recherche d'une formule liant le nombre de faces, de sommets et d'arêtes dans le registre de la géométrie affine ne permettra pas de réduire les possibles², d'identifier les nécessités de cette réduction. C'est l'impossibilité empirique de construire un polyèdre avec quatre pentagones par sommet, alors qu'on peut en construire un avec quatre triangles par sommet, qui conduit à la recherche de raisons et à des changements de registre, au sens de Duval (1995), (patron vers 3D et inversement) et de cadre, de l'affine vers le métrique. Le cadre métrique constitue alors une nouvelle grille de lecture de la réalité. Le mot « angle » est apparaît dans les échanges, d'abord comme angle dans l'espace puis angle dans le plan. La nécessité d'avoir une somme des angles au sommet inférieure à 360° est établie et la liste des polyèdres en découle.

Qu'est-ce qui fait événement de problématisation et engendre la rupture d'intelligibilité ? L'abandon du principe de régularité, lié en amont à l'abandon du principe de bijectivité, enclenche la nouvelle intelligibilité de la situation : les professeurs des écoles travaillent sur la même réalité (les mêmes objets) mais n'en n'ont pas la même lecture. Cela est bien mis en évidence par l'espace de contraintes où, dans le registre empirique, les mêmes objets (constructions 3D avec des polyèdres ou du papier et « patrons » des figures) sont interprétés de façons différentes selon que le cadre utilisé pour « voir » la réalité relève de la géométrie physique (boîtes orange) ou de la géométrie métrique (boîte vertes).

² Une preuve avec la relation d'Euler-Poincaré existe mais cette formule n'est probablement pas connue des PE.

Conclusion : que peuvent avoir appris les professeurs des écoles ?

Nous avons proposé cette situation à des professeurs des écoles dans le cadre d'une formation continue sur la « démarche d'investigation » en mathématiques et en sciences. Nos objectifs étant principalement de les former à l'investigation par la problématisation. La situation que nous venons d'analyser a ainsi servi, dans ce stage, de support à un débat sur les solutions trouvées par les différents groupes et sur la nature de l'investigation dans les groupes. En parallèle de cette formation à l'investigation, nous avons aussi pour objectif de faire bouger les représentations des professeurs des écoles sur la géométrie des solides et sur son enseignement. Nous avons en effet souvent observé que la géométrie des solides est enseignée comme un savoir encyclopédique, non questionné, très descriptif. L'activité des professeurs des écoles dans ce groupe témoigne d'un changement de regard sur les solides, d'une rupture d'intelligibilité de la réalité « solides » qui se caractérise par le passage d'une géométrie des solides physique, affine et assertorique à une géométrie des solides euclidienne, apodictique. Nous avons bien entendu explicité ce changement de regard ensuite avec les professeurs des écoles. Nous ne savons pas quelle pérennité peut avoir cet événement de problématisation sur les connaissances des enseignants et sur leur représentation de l'enseignement de la géométrie des solides. Mais nous pouvons toutefois faire l'hypothèse qu'il a permis une évolution des connaissances de ces professeurs des écoles en géométrie des solides. De la même façon, il nous semble que cette activité est susceptible d'avoir fait évoluer leur représentation quant à la façon de prouver qu'on a toutes les solutions : pour trouver de façon sûre toutes les solutions, on n'a pas toujours besoin d'une formule.

Références

- Balacheff, N. (1988, février 5). *Une étude des processus de preuve en mathématique chez des élèves de collège*. Thèse de l'université de Grenoble. Consulté à l'adresse http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=t1rehq11flafk7n5c5oh53t987&view_this_doc=tel-00326426&version=1
- Bensa, A., & Fassin, E. (2002). Les sciences sociales face à l'événement. *Terrain. Revue d'ethnologie de l'Europe*, (38), 520. <http://doi.org/10.4000/terrain.1888>
- Dias, T., & Durand-Guerrier, V. (2005). Expérimenter pour apprendre en mathématiques. *Repères IREM*, 60, 78.
- Douady, R. (1987). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), 531.
- Doussot, S., Hersant, M., & Orange-Ravachol. (2013). Événement de problématisation et dynamiques de problématisation. Présenté à 10ème colloque du réseau Probléma, Bruxelles.
- Duval, R. (1995). *Semiosis et pensée humaine*. Berne: Peter Lang Verlag.
- Fabre, M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, Vol. 38(3), 5367. <http://doi.org/10.3917/lsdle.383.0053>
- Fabre, M., & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 3757.
- Hersant, M. (2010). *Empirisme et rationalité à l'école élémentaire, vers la preuve au cycle 3* (Mémoire de recherche, Habilitation à Diriger des recherches). Université de Nantes. <https://sites.google.com/site/magalihersant/publications/habilitation-a-diriger-des-recherches>
- Hersant, M. (2014). Facette épistémologique et facette sociale du contrat didactique : une distinction pour mieux caractériser la relation contrat didactique milieu, l'action de l'enseignant et l'activité potentielle des élèves. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 34(1), 931.
- Hersant, M., & Orange-Ravachol, D. (2015). Démarche d'investigation et problématisation en mathématiques et en SVT : des problèmes de démarcation aux raisons d'une union. *Recherche en Education*, (21), 95108.
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons* ({Mémoire de recherche, Habilitation à Diriger des recherches}). Nantes.
- Orange, C. (2002). Apprentissage scientifique et problématisation. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, (1), 2542.
- Orange, C. (2005a). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 38(3), 7092.
- Orange, C. (2005b). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 1-7.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences : Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe* (Première Édition). De Boeck.

- Orange-Ravachol, D., & Orange, C. (2012). Etude comparative des contenus et des apprentissages en biologie et en géologie : entre phénomènes et événements. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 13, 5566.
- Rogalski, M. (2001). Les changements de cadre dans la pratique des mathématiques et les jeux de cadres de Régine Douady. In *Actes de la journée en hommage à Régine Douady* (p. 1330). Paris: IREM Paris 7. <http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/up/publications/IPS02004.pdf>