

ROLE DES SITUATIONS DE RECHERCHE DANS LA VULGARISATION DES MATHÉMATIQUES

Denise GRENIER*

Résumé – Nous partons de l'hypothèse qu'une « bonne » vulgarisation des mathématiques nécessite – sans que cela soit exclusif – de mettre le visiteur dans des situations où il va « faire des mathématiques », c'est-à-dire expérimenter, étudier des conjectures, prouver, pour répondre à une question posée. Notre équipe Maths-à-modeler construit et étudie depuis de nombreuses années des Situations de Recherche susceptibles de remplir cet objectif. Après avoir décrit – pour les mettre au débat – différentes modalités de vulgarisation, nous présentons quelques Situations de Recherche qui permettraient de donner une autre image culturelle des mathématiques.

Mots-clefs : modalités de vulgarisation, situation de recherche, activité mathématique, didactique des mathématiques

Abstract – Our thesis is that a "good" vulgarization of mathematics requires (non exclusively) to place the visitor in a situation where he is "actively practicing mathematics", that is, experimenting, studying conjectures, producing proofs, in order to answer an assigned question. Our research team "Maths-à-modeler" has constructed and studied for many years "Research Situations" that have the potential to meet that goal. After describing and discussing several vulgarization modalities, we present a few Research Situations which would hopefully foster a different cultural perception of mathematics.

Keywords: modes of popularization, research situation, mathematical activity, didactics of mathematics

I. INTRODUCTION

La vulgarisation des mathématiques se fait sous des modalités très différentes, tant par leur contenu que par le rapport qu'elles vont créer à cette discipline. Ces choix sont cruciaux, car ils vont déterminer l'image culturelle de ce domaine scientifique. Nous distinguerons, par le type de situation qu'elles proposent au « visiteur »¹, quatre modalités : *ostensive*, *participative*, *interactive*, et celle qui nous concerne le plus, la modalité *de recherche*.

Nous faisons l'hypothèse que *l'expérimentation est possible en mathématiques*, comme en sciences expérimentales, disciplines très favorisées dans les principaux médias et les musées scientifiques, parce que l'on peut apprendre et se faire plaisir, sans être expert, en touchant, expérimentalement, en créant soi-même des phénomènes visibles.

Les institutions de vulgarisation (musées, associations, médias écrits ou visuels, revues, etc..) ont la tâche complexe d'intéresser et d'instruire un public large, ayant un rapport et des connaissances très diverses à la discipline. Nous donnerons les résultats principaux d'un travail de synthèse réalisé à l'occasion d'une thèse en didactique des mathématiques sur ce sujet (Godot 2005). Enfin, pour nous, une « bonne » vulgarisation doit permettre au visiteur *d'apprendre et de comprendre des mathématiques*, et de repartir avec des connaissances nouvelles. Ce postulat pourra être débattu.

Les Situations de Recherche que nous construisons et étudions depuis 1995 dans Maths-à-modeler se situent dans une modalité plus rare, que nous avons nommée « modalité de recherche ». Certaines d'entre elles se situent au carrefour des institutions de vulgarisation ou de loisir et de l'institution didactique. Nous préciserons leurs spécificités et donnerons une analyse didactique de quelques-unes d'entre elles.

* Combinatoire et Didactique des mathématiques Institut Fourier (UMR CNRS 5582) Université Grenoble I – France – denise.grenier@ujf-grenoble.fr

¹ Nous nommerons « visiteur » un participant à une situation de vulgarisation, il ne s'agit ni d'un élève, ni d'un enseignant, ni d'une personne en formation.

II. DIFFERENTES MODALITES DE VULGARISATION

1. *Vulgarisation ostensive*

Dans cette modalité, les mathématiques sont « montrées » – par des images, des calculs ou des objets en trois dimensions, etc. –, accompagnés d'explications choisies pour être accessibles à un grand nombre de personnes. Les énoncés sont transposés pour être faciles d'accès, intégrés dans un contexte ludique ou esthétique. L'objectif est de transmettre des questions historiques ou des résultats fondamentaux de mathématiques – théorèmes classiques qui peuvent évoquer des souvenirs (théorème de Pythagore, nombres premiers, etc.), ou conjectures qui ont résisté aux mathématiciens pendant des siècles – ou encore des questions actuelles de la recherche. La tâche du « visiteur », seul ou accompagné d'un guide, est de lire, regarder, écouter, pour découvrir des mathématiques *exposées*. Citons pour exemple la « salle π » du Palais de la Découverte (754 décimales affichées sur les murs d'une salle consacrée entièrement à ce nombre). Ou encore, la présentation des surfaces minimales s'appuyant sur des courbes matérialisées par des structures trempées dans un liquide savonneux. Cette modalité de vulgarisation peut appuyer de courts exposés d'Histoire des mathématiques (par exemple, l'histoire de la découverte de l'irrationalité de π) ou la mise en relation des mathématiques avec d'autres disciplines (physique, chimie, peinture, architecture).

2. *Vulgarisation participative ou interactive*

Dans cette modalité, on propose au visiteur de découvrir une propriété, de répondre à une question ou de comprendre un phénomène, à l'aide d'un matériel dont il peut se servir librement, pour calculer, tracer, construire. Citons comme exemple les classiques ensembles de formes polygonales régulières, la tâche étant de choisir et assembler les « bons » polygones pour construire les polyèdres réguliers de l'espace. On peut aussi mettre dans cette catégorie l'accès à des logiciels de calcul ou de géométrie dynamique « prêts à l'emploi ». La tâche peut consister à simplement lancer un programme (en appuyant sur des boutons) ou, de manière plus intéressante, à construire des objets géométriques à partir de macros d'un logiciel. Parfois, la participation du visiteur reste à un niveau très technique, mais on trouve aussi des situations pour lesquelles la résolution demande de la réflexion et du temps. Enfin, entrent dans cette modalité certains problèmes proposés par des revues, sous formes de jeux, énigmes ou casse-tête logiques, avec solutions différées (au numéro suivant).

3. *Vulgarisation par la recherche*

Nous prenons comme postulat que pour comprendre ce que sont les mathématiques, il faut, à un moment donné, se confronter à des situations proches de celles que rencontre un chercheur. L'activité d'un mathématicien, c'est, pour une grande part, choisir une question, expérimenter et étudier de cas particuliers, choisir un cadre de résolution, modéliser, énoncer de conjectures et les valider ou invalider, définir, changer éventuellement la question initiale. Les savoir-faire associés sont constitutifs de la démarche scientifique, ils sont nécessaires pour faire des mathématiques et ne peuvent être réduits à des techniques ou à des méthodes.

Évidemment, les vrais problèmes de la recherche ne peuvent être donnés tels quels à résoudre. Il faut les transposer, inventer des situations spécifiques – c'est-à-dire des problèmes et leur mise en scène – qui recréent artificiellement les conditions de la recherche, et qui soient accessibles à un large public. Ceci impose que l'énoncé soit non mathématique ou peu mathématisé. Le « visiteur » doit pouvoir s'engager dans la résolution, sans pour autant que

celle-ci soit immédiate par une technique usuelle. Il doit pouvoir faire des vraies conjectures et les étudier.

L'association MATH-en-JEANS² est un des initiateurs de ce type d'approche des mathématiques. Elle organise une initiation à la recherche mathématique dans les établissements scolaires pour des élèves volontaires encadrés d'enseignants et de chercheurs. Cependant, les situations proposées en général aux élèves nécessitent du temps – ceux-ci travaillent plusieurs semaines sur le même problème de recherche. Il nous semble que le dispositif se situe, comme celui de Maths-à-modeler, entre l'enseignement et la vulgarisation, les situations Maths-à-modeler étant prévues pour être plus « courtes » dans le temps.

III. L'IMAGE DES MATHÉMATIQUES VEHICULEE PAR LES INSTITUTIONS DE « LOISIRS SCIENTIFIQUES »

Dans sa thèse (chapitre II.1, pp. 257-292, 2005), K. Godot a mené une étude très fouillée de l'image des mathématiques véhiculée par les institutions de « loisirs scientifiques » françaises. Nous reprenons ici quelques résultats de cette étude. Les mathématiques semblent faire peur aux médias de type radio et télévision, si l'on en juge par la place faible voire inexistante des mathématiques dans leurs émissions scientifiques. C'est comme si les mathématiques étaient pour ces médias uniquement rattachées (et intéressantes) à l'école et non « vulgarisables ». Sur internet, en revanche, les mathématiques sont présentes, mais quasi exclusivement sous forme de jeux, avec des thèmes privilégiés : paradoxes logiques ou géométriques, arithmétique combinatoire, algorithmique. Ils laissent une double impression que les mathématiques peuvent être ludiques et amusantes, mais aussi de vrais casse-tête souvent difficiles (d'où leur nom !) et pas toujours solubles. La presse écrite est probablement le média qui permet une approche la plus positive et la plus juste des mathématiques. Les magazines spécialisés pour les jeunes, les « jeux pour tous » montrent des mathématiques à la fois attrayantes et utiles, dans ses aspects les plus modernes. L'offre éditoriale, quant-à-elle, présente une particularité : le choix d'un « style romanesque », dont l'objectif est « de rendre encore plus palpitante la grande aventure des mathématiques » (Godot, op. cit.).

K. Godot a étudié aussi les mathématiques dans les institutions de vulgarisation « directe », c'est-à-dire les musées parisiens (Cité des sciences et Palais de la découverte), les CCSTI, les expositions internationales (UNESCO, pour l'année mondiale des mathématiques en 2000). Elle a noté une volonté de ne pas seulement « montrer » des mathématiques, mais d'en « faire faire » au public, en proposant des jeux ou des problèmes accessibles, et où la manipulation permet de se poser des questions, faire des « conjectures » et résoudre des cas particuliers.

L'animation socio-culturelle, les initiatives spécifiques (« aventure scientifique » et universités d'été de la FFJM) mettent en avant les mathématiques ludiques, parfois par opposition aux mathématiques scolaires, et avec plus ou moins de succès. A ce sujet, N. Pelay, dans sa thèse (soutenue le 6 mai 2011 à l'UCB Lyon) a étudié pendant 10 ans, les difficultés à faire coexister un contrat didactique avec un « contrat ludique » dans une colonie de vacances dont il est animateur.

Les modalités et les initiatives actuelles dans les institutions de loisir semblent toutes aller vers une connaissance plus idoine des mathématiques, en montrant qu'elles sont vivantes, en incitant le public à en faire, et en essayant de convaincre que les mathématiques de l'école et les mathématiques ludiques ne sont pas différentes.

²<http://mathenjeans.free.fr/amej/accueil.htm>.

IV. LE ROLE DE L'EXPERIMENTAL DANS LA VULGARISATION

Notre postulat est qu'il n'y a pas de vraie vulgarisation des mathématiques sans une confrontation, à un moment donné, à une situation qui offre la possibilité de « jouer au chercheur », avec un certain succès si on ne veut pas créer un effet inverse de celui visé. Pour cela, une solution qui a fait ses preuves en sciences expérimentales est de permettre au public d'étudier une question en manipulant des objets, et d'en déduire des réponses, mêmes partielles. Nous prenons le verbe manipuler dans le sens de « manier avec soin en vue d'expériences ou d'opérations scientifiques ou techniques » (le nouveau Petit Robert de la langue française 2009). Il faut cependant distinguer différents types d'expérimentations. Certaines permettent d'observer un phénomène qui sera ensuite commenté et expliqué par le gestionnaire de la situation. L'observation sert d'appui visuel au discours explicatif du présentateur, et de « validation » de la propriété décrite. On trouve de nombreux exemples de ce type dans les fêtes des sciences ou musées, en chimie ou physique : électrostatique et réactions chimiques ont un grand succès médiatique parce qu'ils offrent des expériences spectaculaires.

En mathématique, la preuve est une composante incontournable de l'activité de recherche. Il faut donc se donner les moyens de confronter le public à l'élaboration de preuves ... au moins partielles ! Et pour qu'il y ait une motivation à prouver un résultat, les conjectures doivent être à la fois faciles à exprimer et non évidemment vraies.

V. LES SITUATIONS DE RECHERCHE

1. *Présentation générale et caractéristiques*

Le domaine des *mathématiques discrètes*³ se révèle pertinent pour construire ces situations, pour des raisons qui sont décrites dans Grenier et Payan (1998). Il offre la possibilité de poser des problèmes impliquant des concepts faciles d'accès pour tous. D'autre part, n'étant pas enseigné avant l'université, il favorise l'expérimentation, le raisonnement et la preuve, dans des conditions de découverte proches de celles de la recherche.

Notre équipe de recherche Maths-à-Modeler étudie depuis de nombreuses années des « Situations de Recherche » susceptibles de mettre des participants de tous niveaux dans une activité de recherche mathématique. Ces situations ont été expérimentées dans de nombreux contextes, scolaires et extra-scolaires - fêtes de la science, festivals divers, ateliers mathématiques, etc. Nous en avons des analyses a priori fiables, qui décrivent les conditions permettant de « faire faire des mathématiques » à un public large. Certaines de situations sont accessibles à des niveaux de connaissances très divers, sans être caduques même pour ceux qui ont étudié cette discipline. Elles sont pensées pour être « résolues » au moins en partie dans un temps raisonnable, ce qui permet de les intégrer dans des dispositifs divers (enseignement, vulgarisation). Les résultats de nos travaux (thèses et publications de recherche depuis plus de 15 ans) montrent que cet objectif ambitieux est réalisable, mais aussi que les conditions de faisabilité sont précises : que ce soit en classe ou dans un club de maths, il ne suffit pas de mettre les personnes en activité pour qu'elles fassent des mathématiques pertinentes en quasi autonomie.

³Les parties des mathématiques discrètes qui nous concernent le plus sont la combinatoire géométrique, la théorie des graphes, et des éléments de la théorie des nombres.

2. *La place de l'expérimental dans nos situations de recherche*

Un des aspects essentiels de nos situations est que la « mise en scène » du problème mathématique invite à manier des *objets matériels* (en bois, métal, plastique, papier, carton), soit parce que la question concerne l'objet matériel donné, comme représentant d'un objet mathématique, soit parce que le problème ne peut être abordé qu'en manipulant. Cette phase expérimentale et de manipulation va permettre la résolution de cas particuliers, puis conduire, par un raisonnement inductif, à des conjectures qu'il reste à prouver. L'interface d'ordinateur est pour nous un autre dispositif expérimental, que nous n'avons pas choisi dans nos situations de recherche.

Nos recherches ont conduit à la construction d'un ensemble de situations « fiables ». Parmi elles, les situations de *pavages de polyminos*, parmi les premières étudiées, se sont révélées fondamentales pour l'acquisition des savoir faire de base de l'activité mathématique, et ce à tous les niveaux de connaissance. Leurs analyses didactiques ont été largement publiées, nous renvoyons le lecteur à Grenier et Godot 2004, Grenier 2007, Grenier et Payan 2007.

Plus récemment, nous avons repris le problème classique de la détermination des polyèdres de Platon pour en faire une situation de recherche. Le matériel expérimental choisi et les questions posées jouent un rôle central dans le questionnement des interactions entre la géométrie plane et la géométrie de l'espace, et dans la détermination des caractéristiques des polyèdres réguliers. Cette étude est publiée dans Grenier et Tanguay 2008, 2009 et 2011.

3. *Un premier exemple. La chasse à la bête*

Cette situation est issue d'une recherche en mathématiques discrètes (Duchêne⁴ 2006). Elle a été expérimentée et analysée dans le cadre d'un mémoire de Master de didactique des mathématiques (Chassan 2009). Elle est devenue classique aussi bien dans les fêtes des sciences et autres festivals que dans les classes (du CM1 au Masters) et en formation d'enseignants.

Dans son énoncé le plus général, le joueur dispose d'un territoire (un polymino, c'est-à-dire un ensemble de cases carrées identiques et connexes), de pièges (des carrés de la taille d'une case du territoire, que nous appelons uniminos) et de bêtes (petits polyminos composés de plusieurs carrés). Il y a différents types de bête, qui ne se mélangent pas (chacun correspond à un problème particulier) : dominos, triminos, quadriminos, pentaminos, etc.). Les bêtes se posent selon les cases (et non n'importe comment). Le but du jeu est de trouver le minimum de pièges qui protègent le territoire. Pour cela il faut que toute position possible de la bête sur le territoire rencontre au moins un piège. L'ensemble des bêtes est aussi grand que l'on veut.

Si aucune restriction n'est donnée sur la taille et la forme du territoire et des bêtes, ce problème est difficile voire impossible à résoudre. L'énoncé que nous avons choisi et qui a fait ses preuves est le suivant. Il est donné à l'identique à tous les publics sans distinction, aussi bien dans le cadre scolaire que dans des cadres ludiques.

On veut protéger un territoire quadrillé (ici, un carré 5x5) de nuages de bêtes. Pour cela, on dispose de « pièges » (uniminos). Une bête est un polymino donné, nous en considérerons (successivement) trois types : dominos, triminos droits, triminos coudés. Les bêtes se posent le long des carreaux (et non en travers). Le but est de disposer le plus petit nombre de pièges sur le territoire de telle sorte qu'aucune bête ne puisse se poser sans toucher un piège.

⁴ Duchêne E. (2006) *Jeux combinatoires sur les graphes*. Thèse en mathématiques discrètes, Université Joseph Fourier.

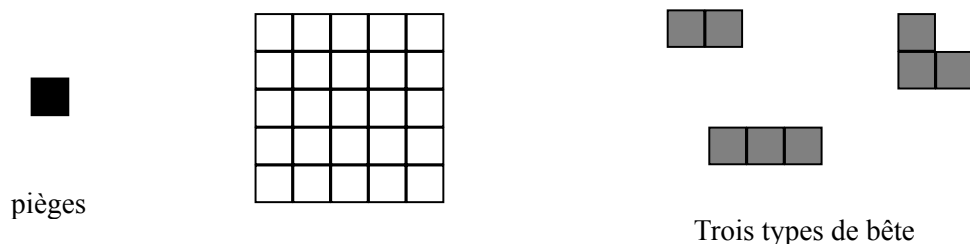


Image 1 – Chasse à la bête avec trois types de bête différents

Donnons quelques éléments d'analyse didactique de cette situation.

Expérimenter avec du matériel (que l'on peut facilement construire en carton, bois, mousse, etc..) est indispensable pour résoudre la question. Avec seulement papier et crayon, il devient vite fastidieux d'examiner et de représenter différentes configurations des pièges, alors que la manipulation des dominos et triminos permet une exploration rapide, facile et amusante. Faire résoudre le problème à plusieurs est idéal, chacun essayant de placer et déplacer les pièges de manière à faire mieux que les autres.

Commencer avec les bêtes-dominos permet de faire une « bonne » dévolution de la question. La solution optimale est en général trouvée assez vite, même par des enfants de 10 ans et les arguments de preuve sont faciles d'accès tout en étant non évidents. Voici, par exemple, une configuration à 13 pièges, qui sort régulièrement.

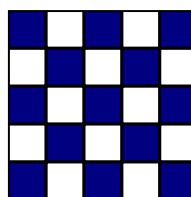


Image 2 – Une configuration qui « marche » mais non optimale pour les dominos

Il est facile de justifier et de se convaincre que le territoire est bien protégé : un domino couvre deux cases adjacentes et il n'y a pas deux cases adjacentes sans piège. Il est facile aussi de se convaincre que si on enlève n'importe lequel des 13 pièges, le territoire n'est plus protégé – il suffit de le faire ! Mais est-ce la solution optimale, ou bien existe-t-il une configuration avec moins de pièges ? On obtient alors très souvent l'argument faux suivant : « C'est la meilleure, car si j'enlève un seul des pièges, le territoire n'est plus protégé ». L'invalidation de cet argument est donnée par la solution optimale elle-même (que nous vous laissons découvrir) !

On poursuit ensuite avec les triminos longs, puis les triminos en L. Par exemple, pour les deux types de triminos, la configuration à 13 pièges ci-dessous protège le territoire. Est-elle optimale pour l'un des deux ? Il faudra un travail d'exploration de la figure et de raisonnements à la fois géométriques et numériques pour résoudre la question.

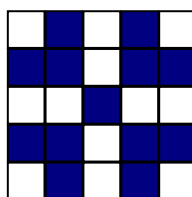


Image 3 – Une configuration qui « marche » pour les triminos. Est-elle optimale ?

Les mathématiques en jeu dans cette situation sont bien sûr les savoir-faire de toute activité mathématique : faire des conjectures en expérimentant et étudiant des cas particuliers, les valider ou invalider. Pour trouver le nombre optimal de pièges, on procède en fait par encadrements successifs de plus en plus précis du nombre cherché. Ainsi, pour les bêtes-triminos longs, si N est le nombre optimal de pièges, « 13 suffisent » se traduit par $N \leq 13$. Si par ailleurs on démontre que 5 ne suffisent pas (ce qui se peut se faire facilement par un raisonnement par l'absurde), on a $N \geq 5$. On a donc $5 \leq N \leq 13$. Bien sûr, réduire l'intervalle est un vrai *résultat* dans la situation de recherche, car il fait progresser vers la solution optimale. On a l'optimal lorsque l'intervalle est réduit à un seul nombre entier.

4. Un second exemple : Le jeu des jetons « tout noir-tout blanc »

Ce problème est aussi un classique des fêtes des sciences ou des festivals scientifiques. Il est actuellement étudié en mathématiques discrètes sous des formes proches de celles que nous proposons. Il a été étudié dans le groupe « modélisation et preuve » de l'IREM de Grenoble⁵.

Énoncé

On dispose d'une grille rectangulaire de taille finie quelconque. Sur chacune de ses cases est posé un jeton bicolore (une face blanche et une face noire). Nous dirons qu'un jeton sur la grille est blanc (resp. noir) lorsque sa face visible est blanche (resp. noire). Etant donnée une configuration quelconque, c'est-à-dire une grille avec des jetons blancs et des jetons noirs, le but du jeu est de la transformer en une configuration monochrome (dont tous les jetons ont la même couleur visible), en appliquant une « règle de retournement » fixée. On choisit la règle de retournement suivante :

Jouer un jeton consiste à retourner ce jeton et ses voisins directs, c'est-à-dire ceux qui sont sur des cases ayant un côté commun avec la sienne, et ce, quelles que soient les couleurs du jeton choisi et de ses voisins.

Trois variables déterminent la complexité du jeu : les dimensions de la grille, la configuration de départ (tout blanc, tout noir, ou quelconque) et, surtout, la règle de retournement. Par exemple, si on prenait la règle « on peut retourner un jeton sans conséquence pour les autres », on imagine facilement que le jeu n'aurait aucun intérêt : il suffirait de retourner les jetons qui n'ont pas la bonne couleur !

Avec la règle ci-dessus, un *coup* consiste à retourner 5, 4 ou 3 jetons, selon la position dans la grille du jeton choisi (intérieur, bord, coin). On distingue un jeton **joué**, celui qui est choisi pour un coup, des jetons qui sont **retournés** automatiquement par application de la règle de retournement. Sont donc retournés, celui qui est joué et ses voisins directs.

Exemple : Deux coups successifs sur un damier « blanc ».

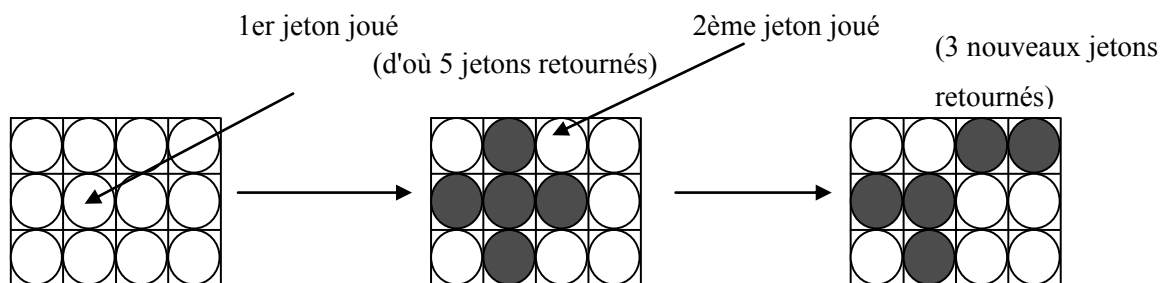


Image 4 – Le jeu des jetons « tout noir- tout blanc »
Exemple de deux coups avec la règle de retournement choisie.

⁵ En particulier, une analyse mathématique et didactique non encore publiée a été menée par Françoise Richard, maître de conférence à l'Université de Chambéry.

Le problème consiste à étudier s'il est possible d'obtenir une configuration « tout blanc » en partant d'une configuration de départ aléatoire, puis, lorsque cela est possible, de donner l'ensemble des coups à jouer pour y arriver. On peut ensuite chercher le nombre minimum de coups à jouer pour passer d'une configuration donnée à la configuration « tout blanc ». On a donc aussi une question **d'optimisation**.

Des **propriétés** peuvent émerger, en jouant plusieurs fois sur des cas particuliers, qui vont permettre de trouver une stratégie efficace. En voici les principales.

- Jouer un même jeton deux fois de suite (en respectant la règle de retournement) ne change pas la configuration. C'est donc inutile.
- Jouer un même jeton deux fois, pas nécessairement à la suite, ne sert à rien, pour la même raison (cette propriété est plus difficile à voir que la précédente).
- L'ordre dans lequel on joue deux jetons, successivement ou non, n'a pas de conséquence sur la configuration finale.
- Un jeton peut être retourné soit parce qu'il a été choisi pour être joué, soit parce qu'il est voisin direct d'un jeton joué. En conséquence, lorsqu'on a obtenu une configuration « tout blanc », chaque jeton de la configuration de départ a été retourné un nombre pair de fois s'il était blanc, et un nombre impair de fois s'il était noir.

Une solution est donc un ensemble S non ordonné et sans répétition de jetons de la grille, ce sont ceux qu'il suffit de retourner pour obtenir « tout blanc ». Tout jeton de S a un nombre pair de voisins dans S , et tous les autres ont un nombre impair de voisins dans S . Pour arriver à cette conclusion, il faut bien sûr avoir reconnu les propriétés de commutativité par composition et d'involution, de l'action « jouer un jeton ». Dans ce problème, il y a une part de modélisation, qui consiste en particulier dans la représentation et le codage d'une configuration (codage des positions des jetons et de leurs couleurs) et la représentation et le codage d'un coup (jouer un jeton). La résolution complète sera accessible dans une publication de IREM de Grenoble (2002).

VI. CONCLUSION

Nous avons présenté des Situations de Recherche comme une modalité particulière (non exclusive) de vulgarisation des mathématiques, l'objectif étant d'introduire un débat plus général sur les caractéristiques d'une « bonne » vulgarisation. Nous avons développé l'hypothèse que si l'on veut améliorer le rapport aux mathématiques dans la culture générale, les activités permettant l'expérimentation et la recherche doivent être au cœur et des dispositifs proposés au visiteur. Les travaux de l'équipe Maths-à-Modeler montrent que c'est possible de faire faire des mathématiques à un public hétérogène, de manière ludique et formatrice à la fois.

REFERENCES

- Chassan G. (2009) *Apport des situations de recherche à l'apprentissage des savoirs transversaux*. Mémoire de Master2 ICCA Didactique des sciences. UJF.
- Godot K. (2005) *Situations de recherche et jeux mathématiques pour la formation et la vulgarisation. Exemple de la roue aux couleurs*. Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble.
- Godot K., Grenier D. (2004) Situations de recherche pour la classe. Objectifs, caractéristiques pour une dévolution à l'élève, condition pour une gestion pour l'enseignant. In *Actes de l'université d'été « La place des Mathématiques Vivantes dans l'enseignement »*, Saint-Flour, 22-27/08/2004.
- Grenier D. (2008) Expérimentation et preuve en mathématiques. In Viennot L. (Dir.) *Didactique, épistémologie et histoire des sciences*. ollection « Science, histoire et société ». PUF.
- Grenier D. (2007) Des problèmes de recherche pour l'apprentissage de la modélisation et de la preuve en mathématique. In *Actes du colloque AMQ*, Sherbrooke, Québec, juin 2006.
- Grenier D., Payan C. (2007) Des « situations recherche » pour l'apprentissage des savoirs transversaux. In *Actes du colloque Espace Mathématique Francophone EMF*, Sherbrooke, mai 2006.
- Grenier D., Payan C. (2003) Situation de recherche en classe : essai de caractérisation et proposition de modélisation, *Cahiers du séminaire national de recherche en didactique des mathématiques*. Paris, Octobre 2002.
- Grenier D., Payan C. (1998) Spécificités de la preuve et de la modélisation en mathématiques discrètes. *Recherches en didactique des mathématiques* 18.2, 59-100.
- Grenier, D., Tanguay, D. (2008) L'angle dièdre, notion incontournable dans les constructions pratique et théorique des polyèdres réguliers. *Petit x* 78, 26-52.
- Tanguay D., Grenier D. (2011) Experimentation and Proof in a spatial Geometry Teaching Situation, *For the Learning of Mathematics* (FLM publishing association) Cubberley Education Library, Stanford.
- Tanguay D., Grenier D. (2009) A classroom situation confronting experimentation and proof in solig geometry. In *Proceedings of ICMI Study19 "Proof and Proving, in Mathematics Education"*. (vol.2 pp. 232-238). ISBN 978-986-01-8210-1.
- Pelay N. (2011) *Jeu et apprentissages mathématiques. Elaboration du concept de contrat didactique et ludique en contexte d'animation scientifique*. Thèse de l'Université Claude-Bernard-Lyon-I.
- Poisard C. (2005) *Ateliers de fabrication et d'étude d'objets mathématiques, le cas des instruments à calculer*. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille I.