REGARDS CROISES MATHEMATIQUES - BIOLOGIE

Joël BRIAND
Maître de conférences, IUFM Aquitaine
DAESL, Bordeaux 2
briandjoel@free.fr

Patricia SCHNEEBERGER
Maître de conférences, IUFM Aquitaine
DAESL, Bordeaux 2
schneepat@aol.com

Résumé
La modélisation est souvent évoquée pour traiter de la proximité entre mathématiques et biologie. Mais si les mathématiques sont considérées comme une discipline théorique pétrie de modèles où les données empiriques sont mises au second plan, les sciences expérimentales leur sont souvent opposées de ce point de vue. Notre présentation vient battre en brèche cette conception pourtant fort développée chez les professeurs stagiaires.
Nous abordons ici la question de la genèse du modèle dans l'apprentissage et nous étudions la fonction que les enseignants font jouer à la modélisation. Nous présentons ensuite un exemple d'action de formation susceptible de développer une réflexion des stagiaires sur cette genèse.

L'étude de la proximité des mathématiques et des sciences expérimentales a fait l'objet de nombreuses réflexions. Ainsi, la question de la dimension expérimentale en mathématiques n'est pas nouvelle. De nombreuses tentatives de rapprochement des mathématiques avec « l'expérience » avaient été faites antérieurement[1]. Pourtant, *« En quelques décennies, l'idée a été expulsée de la mathématique scolaire qu'elle est un outil pour penser le réel en les trois grands domaines [que sont] le spatial, le numérique, le variable »* [CHEVALLARD Y. 2004]..
Enseignants-chercheurs dans le même IUFM, nous effectuons nos recherches dans le même laboratoire. Dans le cadre de nos recherches respectives, nous avons tous deux travaillé sur la modélisation et nous avons croisé nos points de vue à l'occasion d'une action de formation conduite conjointement.
Notre IUFM propose aux Professeurs des lycées collèges un module bi-disciplinaire. À cette occasion, nous avons travaillé, avec des stagiaires de mathématiques et de biologie, sur la modélisation dans l'enseignement de chacune de ces deux disciplines. Au cours de cette formation, nous partons d'exemples pour introduire l'étude de la genèse du modèle dans l'apprentissage et nous interrogeons la fonction que les enseignants lui font jouer. Ce type de réflexion commune permet de revoir la question des relations entre mathématiques et biologie en plaçant la modélisation au centre des préoccupations des enseignants. Ainsi la formation à l'interdisciplinarité ne se réduit pas à un simple inventaire des sujets communs mais oblige à définir le statut épistémologique des modèles dans chaque discipline.
Nous résumons les objectifs de ce module en quatre points :

[1] En 1957, il était déjà en effet question d'une introduction généralisée de Travaux Pratiques dans les classes de Sixième et de Cinquième. (Instructions officielles de l'époque).

- Ne pas réduire la formation des enseignants à la présentation de méthodes d'enseignement ;
- Envisager les relations entre disciplines avec un autre regard que la recherche de complémentarité et/ou de cohérence ;
- Aider les stagiaires à se construire un autre rapport à leur discipline à partir d'analyses d'ordre épistémologique ;
- Engager le travail des enseignants vers une réflexion de nature didactique (situation, obstacle, débat, modélisation).

I – PREMIERE PARTIE : APPUIS THEORIQUES.

Dans cette partie, nous exposons, pour chacune de nos disciplines, des appuis théoriques. Pour cela, nous nous servons d'exemples d'observations pris à l'école, au collège et au lycée.

I – 1 Fréquentation expérimentale des savoirs en mathématiques et modélisation

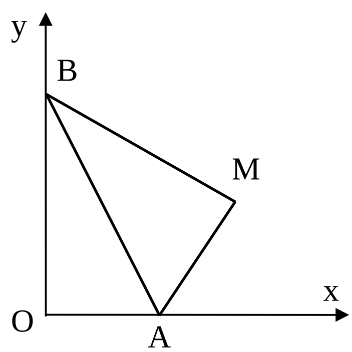
I – 1.1 Un exemple d'activité en collège :

« On prend trois entiers naturels consécutifs ; on soustrait au carré de celui du milieu le produit des deux autres. Quel résultat obtient-on ? ».

Les élèves constatent sur un ou deux essais que le résultat est 1. Ils expérimentent alors sur d'autres exemples numériques et constatent que le résultat est toujours 1. Pourquoi ? La modélisation va consister à construire un nouveau milieu d'apprentissage, fait d'écritures littérales, qui permet d'analyser le problème sous une forme générale. La façon dont ces écritures littérales seront construites et maniées influera sur la résolution certes, mais la modélisation va permettre de cheminer vers la démonstration[2]. Il s'agit autant de produire des formules que de les mettre en œuvre. Ces niveaux de modélisation permettent en outre de « s'évader » du contexte du problème : elle permet par exemple de s'affranchir de l'hypothèse « entier naturel » (en remplaçant le terme « consécutif » par « distants de 1 »). Le modèle issu de l'expérimentation a permis d'aller au delà de l'exercice initial.

I – 1.2 Un exemple d'activité en formation

Prenons cette fois un exemple dans une situation de formation professeurs de lycées collège :
Voici un exercice qui leur est proposé : *Une équerre glisse. A sur [Ox) et B sur [Oy). Comment se déplace le point M ?*



Nous demandons aux professeurs de faire très rapidement une conjecture sur la nature du lieu du point M :
1- une droite ou un segment de droite,
2- un cercle ou un arc de cercle,
3- une autre courbe.

[2] Dans l'ouvrage collectif de COMBIER, GUILLAUME, PRESSIAT [COMBIER, GUILLAUME, PRESSIAT 1996], « Donner du sens à l'utilisation de la lettre en mathématiques en faisant construire par les élèves une écriture mathématique généralisant une situation donnée », les auteurs donnent plusieurs exemples de situation de classe observées en collèges.

Assez régulièrement, nous obtenons : 60% pour la conjecture 3, 30% pour la 2, 10 % pour la 1.
Nous leur demandons ensuite de mettre tout en oeuvre pour convaincre les collègues n'ayant pas fait la même conjecture du bien fondé de la leur. La difficulté à redessiner une équerre parfaitement à l'identique fait que la « règle des trois points M » pour discriminer 1 de 2 et 3 ne fonctionne pas vraiment. Le milieu du traçage, s'il permet d'éliminer un cercle de petit rayon, ne permet pas d'éliminer une de ces conjectures. Certains stagiaires s'engagent dans la géométrie analytique, sans grand succès en général. Nous insistons pour qu'ils mettent tout en œuvre, non pas pour démontrer comme un (bon) élève, mais pour convaincre. Petit à petit, des dispositifs matériels prennent forme : équerre, crayon lié à l'équerre, règles pour fixer les supports Ox et Oy. Ce milieu matériel emporte bien souvent l'adhésion et tous sont convaincus de la validité de la conjecture 1. La question est alors : et si on se contentait de cette réponse (le dispositif) comme solution au problème posé. S'en suit tout un débat sur le passage à la modélisation, aux niveaux de modélisation (les types de figures que l'on a rencontrés dans l'activité, le passage d'un système déjà mathématisé à un modèle permettant la démonstration[3]).

I – 1.3 Une micro-observation en mathématiques (CP)

Ces niveaux de modélisation sont-ils l'apanage de l'enseignement secondaire ?
Prenons cette fois un exemple d'observation en cours préparatoire : une enseignante fait lancer un dé par chaque élève. À chaque lancé, elle écrit le résultat au tableau et met, en même temps dans une tirelire, un nombre correspondant de jetons. Au bout de 9 jeux (par exemple), le texte suivant est produit par l'enseignante : 5+4+2+4+1+6+4+4+5. Elle pose alors la question suivante : « Quand j'ouvrirai la tirelire, à chaque fois qu'il y aura 10 jetons, on les échangera contre un bonbon. D'après vous, combien de bonbons on va pouvoir avoir ? ».
Dès cette première séance, plusieurs élèves, en montrant le texte au tableau affirment « il n'y en aura pas dix, tu vois bien [en montrant ce qui est écrit], il n'y a que 5 maximum ».
Dans cette première phase, le professeur a constitué un premier milieu objectif (le dé, la tirelire, une règle du jeu, des joueurs, une production écrite) à partir duquel il installe un milieu d'apprentissage en ajoutant la question relative aux bonbons. Il s'agi de tenter d'anticiper des faits expérimentaux (il y aura (ou non) possibilité d'avoir des bonbons), de les vérifier de façon empirique (« on n'a qu'à ouvrir la boîte »), passage obligé pour que s'installe un milieu propice à une autre activité : celle de l'élaboration de modèles (langage) qui permettront l'élaboration de processus de vérification d'une autre nature, sans ouverture de la tirelire. C'est en cela que « l'écrit mathématique constitue bien lui-même un observable, différent des phénomènes dont il est issu » [A.DESCAVES]. On imagine bien la suite des séances qui feront que, par une dialectique entre construction progressive d'un modèle (travail sur ce que nous appelons la suite additive, mais qui n'a pas du tout ce sens en début de lecture par les élèves) et mise à l'épreuve des faits, les élèves déboutés de leurs affirmations premières par la vérification expérimentale (en fait, les rétro-actions construites par un milieu d'apprentissage antagoniste), vont progressivement construire des règles qui assureront la cohérence.
Nous pouvons lister une partie des règles d'action qui vont, petit à petit émerger :

- l'addition entre deux signes consécutifs permet de prévoir le nombre de jetons obtenu à la suite de deux lancés,

[3] Pour résoudre cet exercice, les savoirs géométriques du collège suffisent.

- Cette première règle permet de commencer à interroger l'affirmation première « il ne peut pas y avoir de 10 , puisque ce n'est pas écrit »,
- L'addition entre deux signes, même non consécutifs permet de prévoir le nombre de jetons obtenus à la suite des lancés correspondants, indépendamment des autres lancés,
- Une fois que l'on a pris un signe, celui-ci ne peut-être repris
- le résultat d'une addition entre deux signes peut être lui-même ajouté à un autre résultat.

Le milieu s'enrichit donc progressivement et ces règles d'action devenues théorèmes en acte ont pris naissance à partir des situations d'actions. Ces théorèmes sont nécessaires pour comprendre ultérieurement ce que sera une suite additive. Le professeur se sert de la première situation d'action pour construire un nouveau milieu qui produit une situation de formulation, marche obligée pour l'élaboration d'un modèle.

À l'école primaire, ces théorèmes ne seront pas prouvés par la démonstration. D'ailleurs, certains d'entre eux sont des règles de lecture construites à partir du milieu objectif[4] [BLOCH 2001] pour maintenir une cohérence syntaxique là où il y a déjà une cohérence sémantique. En cours d'apprentissage, le professeur a comme projet de conduire les élèves à avoir suffisamment confiance en leurs théorèmes pour qu'ils s'émancipent progressivement du contenu de la boîte[5].

À un moment, l'ouverture de celle-ci sera considérée comme superflue. À ce stade, les écrits qui étaient d'abord descriptifs vont constituer un milieu de preuves qui détermineront leur sens. Dans cette nouvelle situation (de validation), les énoncés produits dans la situation de formulation entrent à leur tour dans le milieu. On a en fait un emboîtement, chaque situation constituant le milieu de la situation suivante.

L'analyse faite jusqu'ici modélise l'élève comme un sujet mathématique ou épistémique, interagissant avec un certain milieu. Ceci suppose qu'il oublie au moins momentanément l'intention didactique de l'enseignant et accepte la responsabilité mathématique de la résolution du problème (dévolution). La connaissance produite dans le fonctionnement a-didactique précédemment décrit est une connaissance personnalisée et contextualisée. La notion d'institutionnalisation boucle le processus par lequel, sous la responsabilité de l'enseignant, cette connaissance va être dépersonnalisée, décontextualisée, et explicitement rattachée aux formes officielles du savoir mathématique visées par l'institution. Les deux processus de dévolution et d'institutionnalisation peuvent être perçus comme des processus inverses reliant deux niveaux d'analyse : le niveau a-didactique et le niveau didactique.

I – 1.4 Conclusions

- Que ce soit au collège, en formation ou au cours préparatoire, il s'est agi dans un premier temps de tenter d'anticiper des faits expérimentaux, de les vérifier de façon empirique, passage obligé pour que s'installe un milieu propice à une autre activité, mathématique celle-là, celle de l'élaboration de modèles (langage) ayant un fonctionnement relativement autonome.

- Construire des modèles est l'activité mathématique par nature. Ce sont les différents niveaux de modélisation, les niveaux de milieux qui permettent cette activité. La démonstration est l'aboutissement de la mise en œuvre d'un modèle syntaxique. Pour cela, à partir de la distinction habituelle en physique ou en biologie entre un système (à étudier) et les modèles (qui en permettent l'étude), Chevallard [CHEVALLARD 1989] propose d'appeler « mathématisé » le système et « mathématique » le modèle. Il affirme que la mise en rapport

[4] Pour une compréhension du concept de milieu consulter le site http://www-leibniz.imag.fr/EEDDM11/Theme2/Texte3.html (Coulange L et Bessot A.)

[5] S'il n'y a pas de place pour le sujet dans les mathématiques construites, sa place est primordiale dans la pratique des mathématiques.

entre les deux nécessite un troisième type de connaissance, ce qui lui *« donne les moyens d'étudier les types de rapports qui se cachent sous les vocables très utilisés tels que : application, activité, résolution de problèmes »*. [PRESSIAT 1996 p.20]

- La construction d'un modèle, plus tard, d'une démonstration, permet d'anticiper sur la réalité, mais aussi de la contester :

- l'exemple de l'équerre en formation PLC2 est intéressant en ce sens qu'une fois la démonstration faite par un stagiaire ou par le formateur, celle-ci entre en conflit avec certaines réalisations expérimentales qui prédisaient une courbe autre qu'une droite.

- à l'école primaire, imaginons un dispositif dans lequel, dans une boîte le professeur place n cubes, puis une autre boîte dans laquelle il place p cubes. Les élèves notent n et p. Le professeur leur demande de prévoir combien il y aura de cubes lorsqu'il versera le contenu de la première dans la seconde. Trichons un peu : au moment d'ouvrir la seconde boîte, il y a un nombre de cubes différent de n+p. Les élèves qui ne savent rien de l'addition ne vont pas contester, mais ceux qui avaient commencé à élaborer un modèle prédictif vont être surpris. Convenons que cette démarche n'est pas fréquente en classe et qu'elle choquera peut-être en formation. Mais elle provoque un questionnement : y-a-t-il la place, dans l'enseignement à cette autre fonction du savoir : être un instrument d'interrogation, de contestation, et pas seulement de prévision ? Il faut que les élèves aient la possibilité d'engager la négociation. Bien sûr, cette tension entre un savoir en gestation et des «anomalies» du milieu ne peut être entretenue artificiellement en permanence. Mais n'est-ce pas ce qui peut être demandé aux enseignants ou du moins abordé avec eux afin que les élèves aient la possibilité d'engager la négociation ? C'est alors un rôle différent du milieu et de l'expérience au sens classique du terme : celui de contester quand il n'y a pas ce que le modèle avait construit. Nous dirons que les mathématiques servent, non pas à voir la réalité, mais à dire comment elle doit être même si cela n'apparaît pas.

I – 2 EN SVT , deux types de Démarches

I – 2.1 Deux approches différentes

Du fait de sa complexité, un système vivant doit être appréhendé à travers un modèle. Or la modélisation d'un système requiert une analyse préliminaire de son organisation [ORANGE, 1997] qui peut se faire selon deux approches : une approche anatomique qui consiste à étudier les organes qui sont impliqués dans la réalisation d'une fonction et une approche fonctionnelle qui s'intéresse davantage aux interactions entre éléments intervenant dans le fonctionnement d'un système vivant. Cette deuxième approche exige de concevoir les êtres vivants comme des systèmes, c'est-à-dire comme un ensemble d'éléments en interaction.
Selon l'approche qui est choisie pour étudier une fonction biologique, les démarches mises en jeu sont radicalement différentes. Dans le cas de l'approche anatomique, il s'agit d'une démarche linéaire qui consiste à considérer les composantes anatomiques du système étudié et de déterminer les relations entre les parties tandis que l'approche fonctionnelle, qui s'inscrit dans une approche systémique du vivant, s'intéresse à la structure du système étudié en se détachant des considérations anatomiques.
Chacune de ces démarches renvoient à des modélisations qui correspondent à deux grandes catégories : la modélisation de type « symbolique » (ou analytico-organique) et la modélisation « formelle» ou structurale liées à des constructions théoriques. L'enseignement

de la biologie, qui privilégie la méthode analytique linéaire, fait souvent appel à la modélisation symbolique alors que la modélisation formelle, jugée trop complexe pour les élèves du secondaire, est peu présente.
Cependant, l'histoire des sciences montre que les conceptions des médecins et des physiologistes, qui ont prôné jusqu'au début du 20ème siècle une vision analytique, ont fait obstacle pendant des siècles à la compréhension de certains troubles. Ainsi, les théories successivement adoptées pour expliquer le diabète : théorie rénale de Galien, théorie sanguine de Paracelse, théorie gastrique de Bouchardat, théorie hépatique de Claude Bernard et enfin théorie pancréatique confirmée par la découverte du rôle endocrinien du pancréas. Chacune de ces théories incrimine un organe dont le dysfonctionnement serait à l'origine des troubles constatés, attribuant ainsi la maladie à une cause unique. Cette façon de concevoir le fonctionnement de l'organisme montre les limites de ce type d'approche pour comprendre les mécanismes de la régulation de la glycémie: les scientifiques[6] n'ont pas soupçonné la possibilité de coordination entre la fonction du foie et celle du pancréas. Forts de ces analyses, certains didacticiens s'efforce de développer l'usage de l'approche systémique dans l'enseignement.

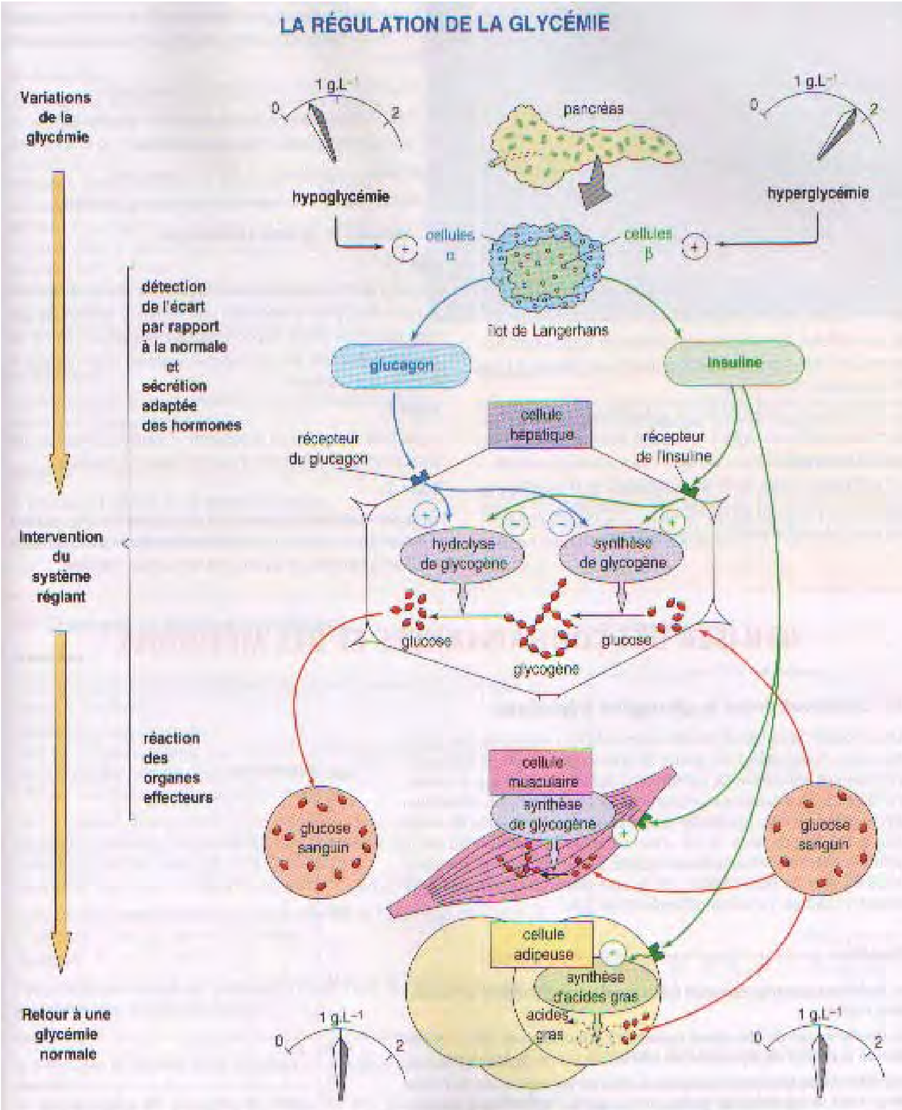
I – 2.2 Le cas de la régulation en physiologie

L'étude de la régulation des grandes fonctions est abordée au lycée à partir de l'exemple de la régulation de la glycémie. En physiologie, le concept de régulation permet d'expliquer comment un organisme assure son indépendance vis à vis du milieu extérieur en maintenant la stabilité de son milieu intérieur (température, pression osmotique, pression artérielle, glycémie, …). Pour étudier les mécanismes de la régulation, deux démarches différentes sont proposées selon les manuels consultés.

Approche 1 : la méthode analytique en lien avec l'utilisation de modèles symboliques

Dans de nombreux manuels la régulation de la glycémie est présentée selon une succession d'étapes, organisée de la manière suivante :
1. La glycémie est définie comme une constante physiologique.
2. Le rôle du foie dans la mise en réserve du glucose est étudié, souvent en se référant à une expérience « historique » de Claude Bernard (expérience dite « du foie lavé »).
3. Le rôle joué par le pancréas est envisagé à partir de données cliniques et expérimentales (expériences d'ablation et de greffe).
4. La fonction hypoglycémiante du pancréas est attribué à une hormone : l'insuline.
5. La libération du glucose dans le sang est associée à un système d'hormones hyperglycémiantes. Leur mode d'action, les modalités de leurs sécrétions sont décrits.
6. Un schéma de synthèse est proposé, intégrant l'ensemble des points précédents.
Il s'agit d'une démarche progressive débouchant sur une synthèse qui cumule les éléments successivement abordés selon un modèle symbolique, donné pour représenter les mécanismes mis en jeu dans la régulation de la glycémie.
Figure 1 : Exemple de schéma de synthèse

[6] Cl. Bernard lui-même a remarqué, à deux reprises, la dégénérescence du pancréas lors d'autopsie du diabétique mais cela n'a pas attiré son attention.



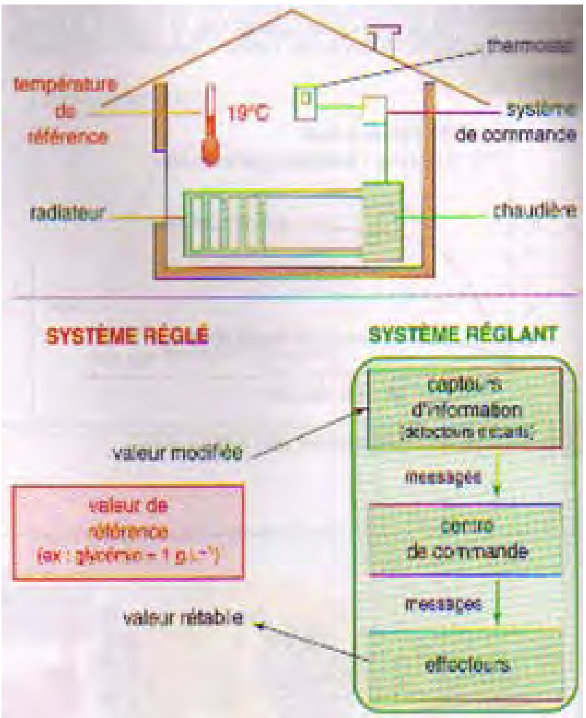
Bordas, Première S, 2001, page 153

<u>Approche 2 :</u> L'approche systémique en lien avec l'utilisation de modèles formels (ici le modèle cybernétique)

Dans certains manuels, les auteurs introduisent un modèle et proposent de l'utiliser pour expliquer le mécanisme de la régulation de la glycémie. Ils s'inscrivent ainsi dans une approche systémique en incitant les élèves à se référer à un modèle formel pour interpréter des phénomènes.

Dans ce cas, le modèle utilisé est le modèle cybernétique importé en physiologie à la fin des années 60 pour étudier les phénomènes de régulation. L'application à l'analyse du vivant des modèles empruntés à la cybernétique donne la priorité aux interactions entre les différents organes, ce qui constitue une véritable révolution. Dans l'exemple de la figure 2, il est introduit à partir d'une analogie : le maintien de la température dans un logement pourvu d'un système de chauffage avec thermostat.

<u>Figure 2 : Exemple de modélisation formelle</u>

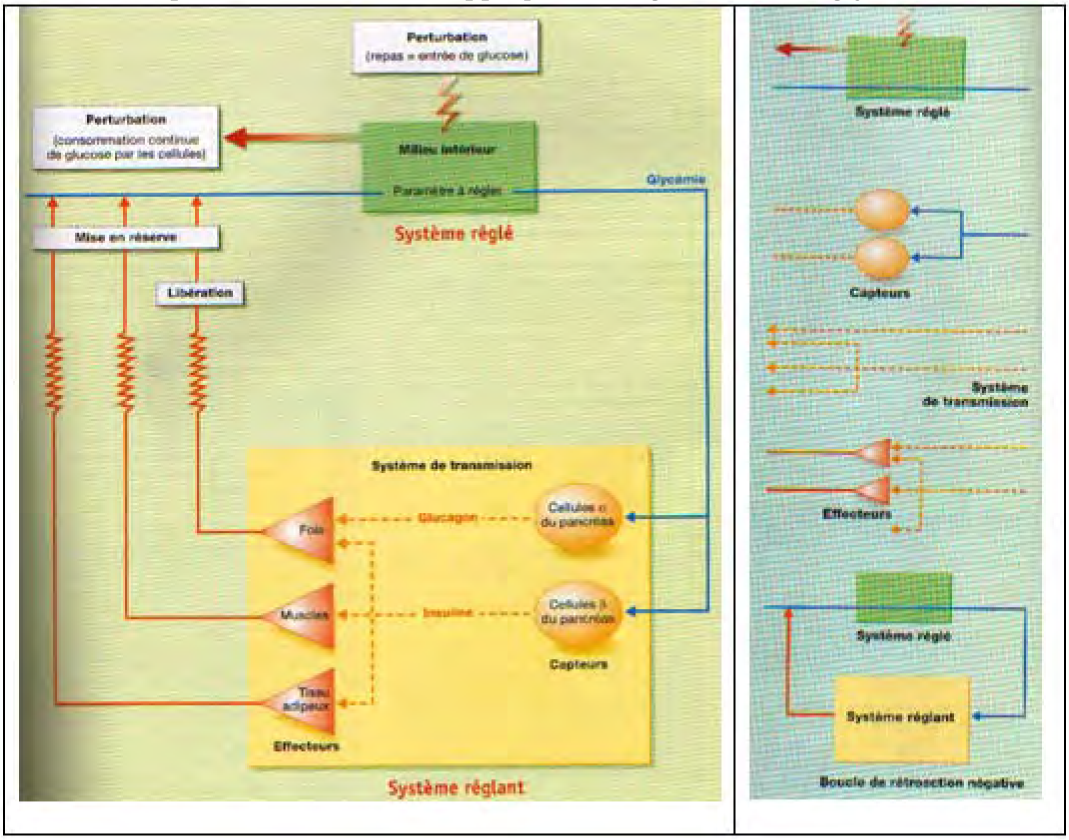


Bordas, Première S, 2001, page 148

Le modèle est ensuite traduit en schéma de principe qui sert de guide pour interroger un ensemble de données expérimentales et comprendre les mécanismes en jeu dans la régulation de la glycémie. L'étude conduit à la construction d'un schéma qui permet de matérialiser les interactions au sein d'un système (figure 3).

La théorie cybernétique constitue un cadre théorique adéquat pour l'interprétation de la régulation et des concepts liés à ce phénomène, comme l'information et le rétrocontrôle. Son utilisation oblige à accorder une importance capitale au transfert d'informations qui contrôle les transferts de matière au sein d'un organisme défini comme un système ouvert qui échange avec le milieu extérieur. De telles situations permettent aux élèves de concevoir le vivant non plus seulement comme une organisation mais comme un système composé d'éléments en interaction dynamique.

Figure 3 : un exemple de modèle formel appliqué à la régulation de la glycémie



Hatier, Première S, 2001, page 107

II – SECONDE PARTIE : UN TRAVAIL COMMUN MATHS-SVT EN FORMATION PLC2

II – 1 Un module de formation

Il s'agissait de créer des conditions relativement favorables afin que des PLC2 de mathématiques et de biologie puissent d'une part, à l'intérieur de leur discipline être interrogés sur « expérience » et « modélisation », d'autre part, en croisant les regards, mieux appréhender les différences consubstantielles aux deux disciplines.

Pour cela, nous avons proposé deux thèmes : celui de la régulation en biologie (plus particulièrement la régulation de la glycémie) et celui des probabilités-statistiques (tirages avec remise) en mathématiques.

II – 1.1 Deux situations de classe

Nous présentons aux stagiaires deux situations qui sont utilisées en classe de seconde pour la première, en classe de Première S pour l'autre.

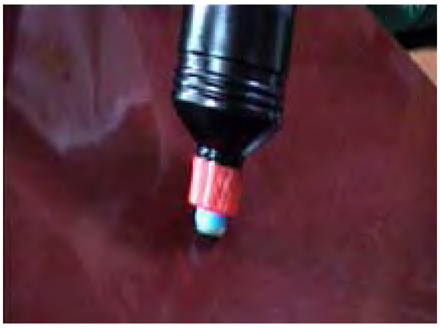
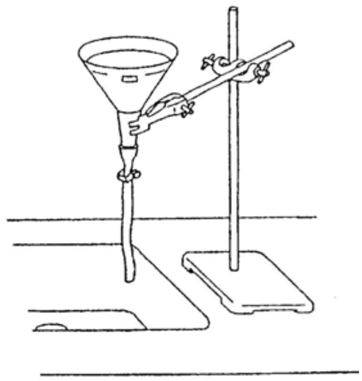
Situation et dispositif « en maths »	**Situation et dispositif « en SVT »**
Situation 1 : Il s'agit d'élaborer une méthode pour être sûr de la composition d'une bouteille contenant 5 billes identiques à la couleur près. Il y a des billes rouges et des billes vertes. En retournant la bouteille grâce à un dispositif de bouchon transparent (figure 5), il est possible d'apercevoir une bille de la bouteille et une seule. 	**Situation 2 :** Vous travaillez en groupe de 5 et vous devez vous organiser pour garder le niveau d'eau constant dans l'entonnoir après une perturbation (augmentation ou baisse du niveau d'eau dans l'entonnoir). Vous devez respecter deux contraintes : chacun ne peut réaliser qu'une seule action et ne communiquer qu'avec un membre du groupe à l'exception de celui qui a fait l'action précédente. Ensuite, chaque groupe doit réaliser, sur une affiche, un schéma qui rend compte des activités physiques et intellectuelles réalisées au cours de cette expérience. 

Figure 4 : dispositifs utilisés en situation

II – 1.2 Les étapes du module de formation

Etape 1 : Familiarisation avec deux dispositifs utilisés respectivement en SVT et en maths

Dans les deux cas, une réflexion s'engage sur l'usage que l'on peut faire du dispositif dans l'enseignement. En SVT, par exemple, il est nécessaire d'introduire la question de la correspondance entre les éléments du dispositif utilisé et les composantes du modèle cybernétique utilisé pour étudier les systèmes de régulation.

Trait de référence	⟷	valeur de référence
Augmentation ou baisse du niveau de l'eau	⟷	perturbation.
Observation du niveau final	⟷	mise en jeu du capteur
Comparaison avec le niveau initial	⟷	mise en jeu du comparateur
Communication de l'information	⟷	transmission de l'information
Réalisation de l'action (verser, enlever)	⟷	mise en jeu de l'effecteur

Figure 5 : Correspondance entre régulation du niveau d'eau et modèle cybernétique

Etape 2 :

Des séances enregistrées dans des classes permettent d'illustrer les étapes du dispositif didactique et d'enrichir le questionnement des stagiaires sur les apprentissages en jeu.

Etape 3 :

Une comparaison entre les deux situations (maths et SVT) permet d'initier un échange entre les enseignants de chacune des disciplines sur les points suivants :

- place des modèles dans l'enseignement de ces disciplines ;
- mode d'articulation modèle/ réel privilégié selon le type d'enseignement conduit.

II – 2 Les enjeux de cette formation

II – 2.1 Analyser des situations d'enseignement

Les stagiaires sont mis en présence de deux dispositifs matériels, qui permettent d'envisager deux milieux d'apprentissage construits intentionnellement. Les deux milieux créés doivent permettre aux stagiaires de s'interroger sur les enjeux spécifiques de chacun.

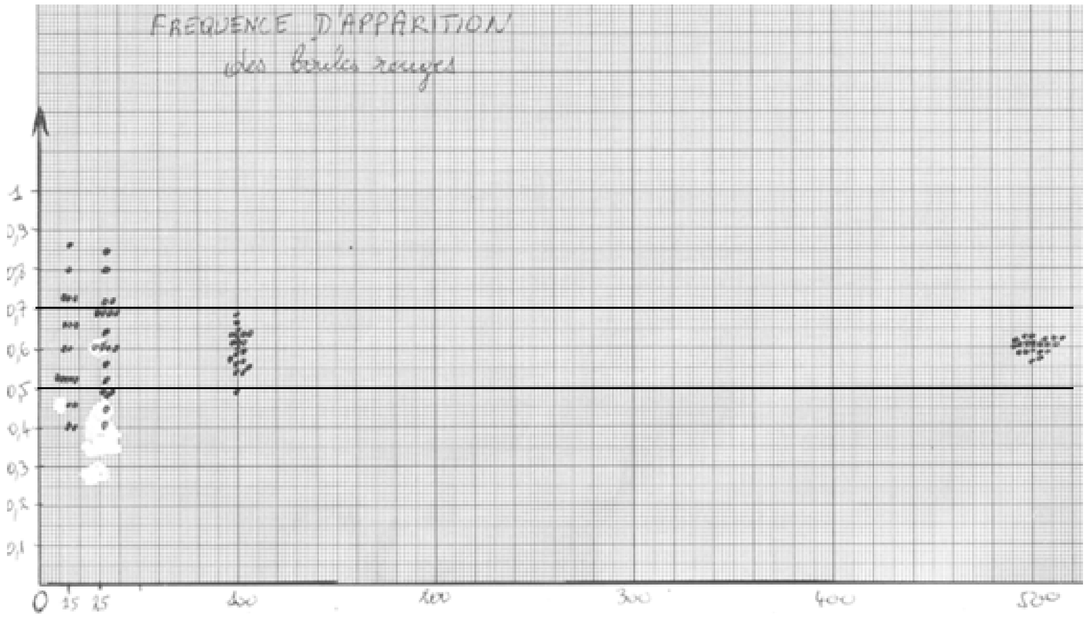
L'un est directement un milieu d'apprentissage d'un concept de mathématiques : la modélisation qui en découle constitue une construction d'un modèle mathématique (la loi des grands nombres) permettant de s'affranchir d'une approche empirique (on n'ouvrira pas les bouteilles), sans pour autant que la validation de cette loi soit totalement accomplie à l'intérieur du modèle : les probabilités.

L'autre permet d'enseigner un modèle (proche du modèle cybernétique) qui sera un outil de construction d'un modèle de régulation et en même temps de travail sur le registre empirique.

II – 2.2 Susciter la réflexion des stagiaires

La question des rétroactions

Dans le dispositif des billes dans les bouteilles, les stagiaires sont confrontés à une nouvelle incertitude : celle de la non reproductibilité d'une expérience pourtant construite à dessein, ce qui constitue une rupture fondamentale par rapport à ce qui est habituellement vécu. La situation doit donc permettre d'ébaucher un modèle prenant comme objet d'étude cette nouvelle incertitude : celle de la variabilité. D'où, par exemple, un travail de mesurage (effectif dans notre travail et non probabiliste) du «risque» lors d'une prise de décision en fonction du nombre de tirages.



Travail d'élève sur la composition 3R 2V : séries d'expériences pour 15, 25, 100, 500 tirages.

Dans le travail ci-dessus, un groupe d'élève prend comme objet d'étude un intervalle de confiance [0,5 ; 0,7]. Ce travail peut-être conduit de deux façons : avec une bouteille dont on ignore le contenu ou avec une bouteille dont on a constitué la composition. Le dispositif expérimental permet de quantifier statistiquement l'évolution du risque en fonction du nombre de tirages : ici, 9 expériences de 15 tirages sur 18 expériences « sortent » de l'intervalle et conduisent donc à une poser une hypothèse fausse (si l'on est sûr du contenu de la bouteille), 8 sur 20 conduisent à une hypothèse fausse pour 25 tirages (on a exclu les bornes) , 1 sur 20 conduit à une hypothèse fausse pour 100 tirages, aucune pour 500.

Il y a beaucoup d'obstacles à franchir avant que le stagiaire soit en mesure de considérer le milieu qui lui est proposé comme un milieu mathématique, c'est à dire dans lequel une organisation mathématique à construire lui permettra de mieux maîtriser les événements à venir. Cela signifie que l'on n'ouvrira pas la bouteille. Cette attitude empiriste qui serait celle d'ouvrir la bouteille est difficile à abandonner y compris chez ces jeunes enseignants.
Il va donc falloir composer :
- Avec la construction de la notion d'expérience. Qu'est ce qu'un sondage dans un ensemble que l'on ne conçoit pas encore ? Qu'est ce que répéter une expérience ? Quelle est la signification d'une expérimentation ? Comment vient l'idée d'ajouter des résultats d'expériences successives ?
- L'expérience en statistiques ne serait-elle pas l'attente d'une classe d'expériences qui produirait des résultats attendus ?
- Avec la pensée déterministe qui attribue au hasard l'imprévisibilité. La rationalité confondue avec le déterminisme mathématique peut, nous en faisons l'hypothèse, constituer un obstacle épistémologique, voire didactique, à la construction d'une pensée stochastique.
- Il faudra composer, comme nous l'analysions précédemment, avec l'incertitude nouvelle qu'apporte le milieu, qui induit un rapport modifié à la vérité : l'invalidation de conjectures fausses a encore moins de chances de fonctionner que dans une séquence faisant appel à des savoirs mathématiques classiques. De même, la validation de conjectures vraies peut être, à court et moyen terme, très difficile à valider dans le contexte de la classe, ce qui complique encore plus la tâche du professeur. Prenons l'exemple de la conjecture « dans cette bouteille, il y a plus de vertes que de rouges ». Cette conjecture peut paraître être invalidée par une expérience sur 10 tirages qui donnerait comme résultat 4 vertes et 6 rouges. C'est que

l'expérience ne renvoie pas systématiquement à la réalité du contenu de la bouteille, ce que les élèves peuvent pourtant penser.

La question de la légitimité des modèles

Au cours de ce module de formation, les stagiaires sont amenés à s'interroger sur la légitimité épistémologique de l'utilisation de l'approche systémique dans l'enseignement de la régulation de la glycémie. Cette réflexion les conduit à mettre l'accent non plus sur le déclenchement de l'action régulatrice mais sur son déroulement dans le temps en attribuant aux récepteurs sensoriels une fonction de contrôle permanent par l'intermédiaire des afférences nerveuses. Ainsi l'organisme n'est plus considéré comme un système « bien réglé » qui réagit parfaitement aux stimuli du milieu extérieur en ramenant inéluctablement une grandeur à sa valeur initiale mais comme un système ouvert qui réalise des échanges avec le milieu extérieur (échange d'information, de matière et d'énergie) et dont les différents éléments sont impliqués dans un réseau d'interactions.
Ce changement de conception du fonctionnement de l'organisme, qui se traduit par une autre manière d'envisager le rôle des récepteurs sensoriels, exige de reconfigurer sa pensée en s'appuyant sur un modèle du vivant différent. Canguihem (1968) distingue quatre conceptions de la vie : la vie comme animation, la vie comme mécanisme, la vie comme organisation et la vie comme information. L'étude réalisée avec les stagiaires permet de montrer la nécessité d'adopter une conception adéquate du vivant (« *la vie comme information* ») pour aborder le concept de régulation.

La question de la relation élève / modèle

Dans le cas de la régulation, l'étape 2 du module de formation permet de s'intéresser à la manière avec laquelle l'élève construit, s'approprie et applique un modèle formel. Ainsi en regardant un extrait de l'enregistrement d'une séance, les stagiaires peuvent observer des élèves qui tentent d'identifier les éléments du système de régulation en s'appuyant sur le modèle analogique (figure 4) qu'ils font progressivement fonctionner comme un modèle formel.

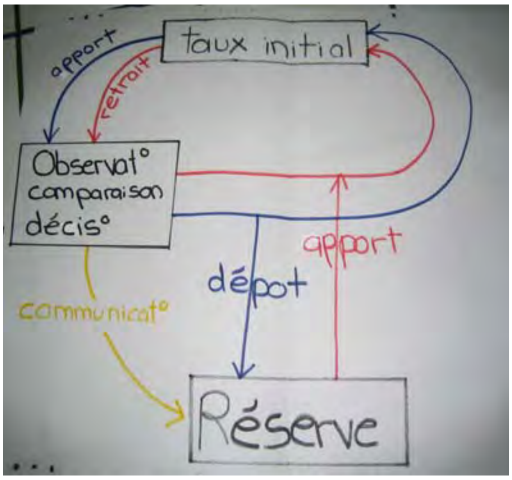


Figure 6 : Schéma réalisé par des élèves de première S

Dans l'exemple de la figure 6, les élèves ont fait fonctionner le dispositif et ont réalisé un schéma qui correspond à un modèle formel qu'ils pourront ensuite utiliser pour expliquer la régulation de la glycémie. La confrontation des productions des différents groupes a pour but d'aider certains élèves à passer du modèle analogique au modèle formel.

II – 2.3 Développer de nouvelles pratiques

Un de nos objectifs de formation est de réorienter les pratiques d'enseignement des stagiaires par la recherche des conditions favorisant la construction de l'objet de savoir en classe. Ainsi en analysant avec des collègues scientifiques la question de l'utilisation d'un modèle, les professeurs de SVT se rendent compte que l'objet de savoir en jeu est souvent mal circonscrit : ce ne sont pas que des organes qui font l'objet de régulation mais des valeurs telles que la glycémie ou la pression artérielle, le taux de CO2 dans le sang, la pression osmotique.

De même en mathématiques, Il s'agit de permettre que s'établisse une réflexion sur la construction de situations d'apprentissage y compris au collège et au lycée. *« On entretient un commerce purement théorique et non pas expérimental avec les constructions mathématiques les plus essentielles.* » [CHEVALLARD Y. 2004]. Or l'absence d'expérience affecte le sens de la théorie, fait obstacle à l'émergence de *« concepts authentiques »* [DESCAVES 1992] c'est à dire ceux issus de l'expérience. Pour cela, le questionnement en terme de milieu semble être une bonne entrée afin que l'activité spontanée d'enseignement qui est le plus souvent fondée sur un enseignement frontal puisse être progressivement mise en question.
Ce travail conduit également les stagiaires à s'intéresser davantage au processus de problématisation en valorisant la construction du problème par les élèves. Dans cette perspective, l'enseignant rapproche le travail des élèves du travail des scientifiques et prend en compte les pratiques spécifiques de l'activité scientifique comme étant étroitement liées aux savoirs. Cette conception de l'enseignement remet en cause la séparation habituelle des objectifs méthodologiques et des objectifs cognitifs, comme on pouvait les travailler indépendamment les uns des autres.

CONCLUSION

En 2002, l'Inspection Générale de mathématiques écrivait à propos du collège : *« les programmes de mathématiques mettent l'accent, depuis de nombreuses années, sur le rô1e essentiel de la mise en activité de l'élève et du choix de situations de recherche et de découverte devant permettre une meilleure assimilation des notions. Pour être efficace, une activité devrait s'appuyer sur une mobilisation de connaissances antérieures et permettre la mise en place et la structuration de nouvelles connaissances ; elle devrait alterner les périodes de recherche et d'initiative individuelles et les mises en commun, préludes à l'institutionnalisation finale. »*. C'est dire si dans la pratique, l'enseignement des modèles restent assez souvent dominant.
Dans le domaine des Sciences de la Vie et de la Terre, voici ce qu'écrit Orange à propos d'une observation de classe sur la nutrition [ORANGE C. 2005] : « dans notre cadre théorique, l'enjeu […] est de faire construire aux élèves des nécessités constitutives du savoir scientifique sur la nutrition : ce sont, entre autres, les nécessités de transformation et de tri. Ces nécessités, qui correspondent à des concepts scientifiques au sens où nous les avons définis, ne doivent pas être confondues avec les idées correspondantes : évoquer que les aliments sont broyés, qu'ils sont séparés entre « bons et mauvais » aliments etc., est bien différent d'énoncer la nécessité de ces processus. D'une certaine façon on peut dire que ce débat a comme fonction didactique de faire passer les élèves des idées aux nécessités, ou encore des solutions qu'ils ont construites à la problématisation explicite. » Pour l'auteur, c'est l'absence de modèle et l'empirisme qui dominent l'enseignement de sa discipline. Cette réflexion rejoint nos analyses à propos de l'enseignement des mécanismes de régulation.

Est-ce à dire que les mathématiques sont garanties contre l'empirisme ? Bien sûr que non : dans l'exemple déjà vu de la tirelire, l'ouverture de celle-ci doit devenir superflue pour que le milieu des nombres devienne le milieu de référence. Certains enseignants vont rechigner à se donner cet objectif.

Pour conclure, nous pourrions dire la didactique des SVT a à « batailler » pour donner une légitimité à une approche théorique par la construction de modèles (sciences de l'empirie). La didactique des maths a à « batailler » pour que les constructions théoriques (les modèles) soient l'aboutissement de rapports dialectiques avec des milieux objectifs. Nous avons fait l'hypothèse qu'en formation, ces deux chemins « en sens inverse » sont le moyen d'ouvrir un débat sur l'enseignement de chacune de ces deux disciplines.

Ce type de module de formation permet d'envisager les relations entre disciplines avec un autre regard que la recherche de complémentarité et/ou de cohérence. Il aide les stagiaires à se construire un autre rapport à leur discipline à partir d'analyses d'ordre épistémologique (qu'est-ce qu'une explication scientifique ?). Au lieu de réduire la formation des enseignants à la présentation de méthodes d'enseignement, il nous semble que la formation doit engager le travail des enseignants vers une réflexion de nature didactique (situation, obstacle, débat, modélisation) pour opérer des ruptures avec des pratiques non questionnées.

BIBLIOGRAPHIE

ASSUDE T. (2002) « Travaux pratiques au collège ? Conditions et contraintes d'émergence et de vie d'un dispositif », in M. Bridenne (eds) *Nouveaux dispositifs d'enseignement en mathématiques dans les collèges et les lycées*, IREM de Dijon.

BACHELARD G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, J. VRIN, réd 1996.

BAYRUBER H. & SCHAEFER G (1978) *Kybernetische Biologie*, Kiel, IPN

BLOCH I. (2002), « Différents niveaux de modèles de milieux dans la théorie des situations didactiques : recherche d'une dialectique scientifique entre analyse théorique et contingence », *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de DDM*, 125-140, Grenoble : La Pensée Sauvage.

BRIAND J. (2005), « Une expérience statistique et une première approche des lois du hasard au lycée par une confrontation avec une machine simple », *RDM*, **25/2**, 247-282.

BROUSSEAU G. (1988), « Le contrat didactique : le milieu », *RDM*, **9.3**

CANGUILHEM G. (1968) article « Vie », in *Encyclopeadia Universalis*.

CANGUILHEM G., (1996) article « La régulation », in *Encyclopaedia Universalis*.

CHEVALLARD Y.(1989) «Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignements des mathématiques au collège », *petit x*, 19, 43-72, IREM de Grenoble.

CHEVALLARD Y. (2004) « Pour une nouvelle épistémologie scolaire », *Cahiers pédagogiques*, **427**.

COMBIER, GUILLAUME, PRESSIAT. (1996) *« Les débuts de l'algèbre au collège »*, INRP.

FABRE, M. & ORANGE C. (1997) « Construction de problèmes et franchissements d'obstacle », *Aster*, **24**, p. 43.

FABRE M. (1999) *Situations-problèmes et savoir scolaire*, PUF

JACOB F. (1970) *La logique du vivant*, Paris, Gallimard.

JEBBARI S. (1994) *Schéma et schématisation : étude de quelques difficultés des élèves en biologie*, thèse de doctorat, Université Paris VII.

LEGAY J.-M. (1997) *« L'expérience et le modèle : un discours sur la méthode »*. Paris : INRA Éditions.

LEMOIGNE J.-L (1984) *La théorie du système général, théorie de la modélisation*, Paris, PUF.

MARTINAND J-L. et al., (1994) *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris, INRP.

ORANGE C. (1997) *Problèmes et modélisation en biologie*, Paris, PUF.

ORANGE C. (2005) « Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques » in *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, **2005-3**, 69-93.
PERES J. (1984), *'Construction et utilisation d'un code de désignation d'objets à l'école maternelle'* Thèse Bordeaux 2.
POULAIN N. (1996) *Histoire du diabète sucré, Des origines à la découverte de l'insuline,* Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré-Nancy I.
SCHNEEBERGER P. (1992) « *Problèmes et difficultés dans l'enseignement d'un concept transversal : le concept de la régulation* », thèse de doctorat, Paris VII.
SCHNEEBERGER P. (1994) Place des modèles dans l'enseignement du concept de régulation. in RUMELHARD G., *La régulation en biologie, Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation,* INRP.
WALLISER B, (1977) Systèmes et modèles : introduction critique à l'analyse des systèmes, Paris, Seuil.