

Présentation de la réponse de l'ADIREM à la consultation nationale sur les projets de programmes de terminale des séries générales.

Les nouveaux projets de programmes ont été étudiés par le réseau des IREM et donnent lieu à trois avis que nous souhaitons transmettre de manière disjointe, car ils ont chacun une spécificité qui leur est propre.

Le premier document est une synthèse des travaux des CII Université, Épistémologie et histoire, Géométrie, essentiellement débattue au sein de la CII-Lycée et approuvée par l'ADIREM. Il se veut un avis général sur les programmes de L et ES, d'une part et de S d'autre part.

Les deux autres documents sont d'une nature plus particulière en ce sens qu'ils rentrent davantage dans les détails.

C'est notamment le cas du deuxième document, émanant de la CII Stats et probas. Vu que nombre d'enseignants ont aussi besoin d'être particulièrement accompagnés sur ces questions qu'ils ont peu, voire pas du tout, abordées durant leur formation, il est indispensable de tâcher d'éviter des contradictions et des imprécisions qui ne peuvent qu'augmenter les difficultés de ces collègues. L'option d'une analyse assez détaillée de la rédaction s'est donc imposée à la CII Stat et probas.

Le troisième document concerne l'option «Informatique et Société Numérique» et qui émane de la CII-Lycée. La nouveauté de cet enseignement méritait une étude particulière et différente de l'avis principal de l'ADIREM.

Vous en souhaitant bonne lecture et bon usage.

Pour l'ADIREM et le réseau des IREM,

Nicolas Saby, président de l'ADIREM

Frédérique Plantevin, vice-présidente de l'ADIREM

Remarques à propos des nouveaux programmes de terminale.

Commission Inter IREM – Lycée

Après lecture des projets de programmes de mathématiques pour les classes de terminale réalisée le 26 mars conjointement avec la CII Université et des rapports transmis par la CII Epistémologie et histoire et de la CII-Géométrie, la CII-Lycée propose à l'ADIREM de transmettre les commentaires suivants dans le cadre de la consultation organisée par le ministère:

✦ Les objectifs généraux (extrait du projet de programme de L et ES page1: • *mener des raisonnements* ; • *avoir une attitude critique vis-à-vis des résultats obtenus* ; • *communiquer à l'écrit et à l'oral.*) reçoivent certes une adhésion du réseau des IREM, mais il convient de noter:

⌚ Le développement des capacités attendues n'est pas en accord avec cette annonce des préambules par la prédominance des verbes qui réfèrent à l'observation et à la connaissance: (extrait du projet de programme de L et ES page 4: • *Exploiter le tableau de variation pour ...* • *Connaître l'allure ...* • *Connaître la dérivée, ...* • *Utiliser la relation fonctionnelle pour transformer une écriture.* • *Calculer la dérivée ...* • *Connaître la dérivée, ...* • *Utiliser la relation fonctionnelle pour transformer une écriture.* • *Résoudre une équation ...*). On ne trouve par exemple pas: *Savoir modéliser un problème d'optimisation par la recherche des extréma d'une fonction et utiliser pour cette recherche le tableau de variation ...*)

⌚ La recherche, l'expérimentation, la modélisation dans le cadre de la résolution de problèmes sont des démarches essentielles dans une formation en mathématiques qui nécessitent du temps et ne peuvent se faire dans le cadre d'horaires réduits au détriment du cœur des mathématiques.

⌚ Très peu d'occasions (définitions rigoureuses, démonstrations obligatoires) sont données d'exercer un raisonnement proprement mathématique. Les objectifs affichés dans la section Notation et raisonnement mathématiques (extrait du projet de programme de S page 17: *utiliser à bon escient les quantificateurs universel, existentiel, ..., distinguer, dans le cas d'une proposition conditionnelle, la proposition directe, sa réciproque, sa contraposée et sa négation, utiliser à bon escient les expressions « condition nécessaire », « condition suffisante », reconnaître et utiliser des types de raisonnement spécifiques avec raisonnement par disjonction des cas, recours à la contraposée, raisonnement par l'absurde*) seront difficiles à atteindre avec un mode d'apprentissage où l'observation suffit souvent pour conclure.

L'approche intuitive de certaines notions mathématiques ne doit pas se faire au détriment d'une construction rigoureuse des savoirs mathématiques. Dans le programme de terminale S, par exemple, il est essentiel de donner une définition de la notion de limite finie en un point (quitte à ce qu'elle soit intuitive); il est incohérent d'évoquer des dérivées au moyen d'une notion de limite non seulement non définie, mais même non évoquée.

✦ Le déséquilibre des heures d'enseignement entre la première et la terminale ne laisse pas un temps suffisant pour la réflexion sur les notions et ne ménage plus de transition entre les deux niveaux. Le contournement des difficultés est masqué par un élargissement du champ des notions abordées.

✦ La réaffirmation dans les programmes de l'importance de l'apprentissage des techniques de calcul et de leur maîtrise est nécessaire. D'autant plus que le passage dans les programmes mentionnant le recours à un logiciel de calcul formel pour effectuer des calculs « très techniques » pourrait laisser sous-entendre que la maîtrise du calcul n'est plus un objectif essentiel du programme.

✦ L'apparition d'un contenu extrêmement ambitieux dans le cadre de l'accompagnement personnalisé à l'intérieur des projets de programmes semble officialiser et à tout le moins rend possible un enseignement à deux vitesses dans différents lycées, ce que la CII déplore.

✦ **A propos de la terminale scientifique:**

⌚ La CII regrette le manque d'équilibre entre les différentes parties du projet de programme. Elle demande que soit rendue publique par le groupe d'experts une répartition des temps estimés pour le traitement de chacune des parties.

⌚ La CII estime que la part prise par l'enseignement des probabilités et de la statistique est excessive. Les contenus sont trop ambitieux et il semblerait que leur enseignement se fasse au détriment de contenus qui ont été présentés comme indispensables aux études scientifiques par le passé. En effet il n'est plus question dans ce nouveau programme de résoudre des équations différentielles. La disparition de nombreux contenus dans le chapitre « nombres complexes » et en particulier les transformations laisse ce chapitre exsangue et dénué d'intérêt pour la résolution de problèmes.

Les raisons de la disparition dans le programme de ces contenus mathématiques devraient faire l'objet d'une explication.

⌚ A propos de la logique :

Le programme mentionne les objectifs sur ce thème mais la mise en œuvre d'activités sur le raisonnement et la logique mériterait d'être davantage explicitée. Par exemple, quel travail spécifique sur la logique peut-on effectuer sur les suites ? La phrase « On présente des suites qui n'ont pas de limite » suggère-t-elle des démonstrations de l'inexistence d'une limite pour certaines suites ?

Un éclaircissement serait nécessaire sur ce qui est envisageable comme travail sur la logique dans les différents chapitres du programme.

La CII est sceptique sur l'enseignement de la logique au fil des chapitres sans institutionnalisation à un moment donné. Les concepts de logique mathématique ne s'inventent pas. Par exemple, à quel moment la différenciation de l'implication mathématique de la causalité va-t-elle se faire ? De même pour la négation de l'implication.

Conclusion :

Il ne s'agit pas ici de déplorer telle disparition ou apparition de contenu dans les programmes, ni leur nécessaire adaptation à la société actuelle. La CII demande que soit présentée aux enseignants une vision globale, cohérente et explicite des choix opérés pour l'enseignement des mathématiques du collège au lycée, que ce soit en termes de culture générale, d'outils nécessaires pour les futurs scientifiques ou de formation au raisonnement.

Ces programmes comportent de nombreuses évolutions auxquelles les enseignants ne sont pas nécessairement préparés ; nous avons déjà évoqué plus haut celles liées à la logique, aux techniques de calcul, aux probabilités et à la statistique.... Les documents ressources, pour utiles qu'ils soient, ne sauraient suffire pour permettre une réelle implication de tous les enseignants dans ces domaines. Le réseau des IREM ne cesse d'insister sur le besoin absolu d'une formation continue, théorique et pédagogique, solide, alors qu'elle est actuellement en dégradation. La CII Lycée partage cette inquiétude et y joint l'affirmation du besoin d'une instance de suivi des programmes, qui ne manqueront pas de nécessiter de profondes adaptations.

La CII comprend le souci des rédacteurs du programme d'aborder toute une multiplicité de champs et de faciliter leur accès aux élèves. La CII ne nie pas que la difficulté intrinsèque des mathématiques rebute de nombreux élèves, et qu'il faille en tenir compte. Elle pense néanmoins que l'évitement trop systématique des difficultés et des constructions théoriques, pourrait, contrairement aux buts que l'on prête aux rédacteurs du programme, détourner des mathématiques nombre de scientifiques français de demain.

Projets de programmes

Classes de terminales S et ES/L

Partie 3 (titrée “Probabilités et statistiques”)

Réponse à la consultation
rédigée par la Commission Inter-IREM
”Statistique et Probabilités”
(21 avril 2011)

Sauf mention contraire, les remarques qui suivent portent sur les parties communes aux programmes de S et de ES/L. **Les remarques spécifiques pour S sont en gras.** *Celles pour ES/L sont en italiques.* Nous nous sommes efforcés de respecter l’esprit et les choix fondamentaux du programme. Nos remarques visent à proposer des clarifications de certains points sans augmenter la charge de travail. L’absence de commentaires de notre part sur certains passages de ce projet signifie évidemment notre accord. Nous faisons aussi quelques suggestions pour les documents ressources.

0. Titre de cette partie du programme

Il est d’usage de parler de statistiques (au pluriel) quand il s’agit de données recueillies et de statistique (au singulier) quand il s’agit de l’étude des procédures de traitement, des inductions à proposer dans le cadre du modèle probabiliste. Dans cette ligne, il s’agit ici de “statistique” au singulier.

1. Conditionnement et indépendance (*Conditionnement en ES/L*)

Il nous paraît regrettable que l’indépendance des évènements ne soit pas traitée en ES/L. En effet le programme de première de ces sections inclut la “répétition d’expériences identiques et indépendantes à deux ou trois issues”. A ce stade les professeurs avaient sans doute du mal à justifier l’adjectif “indépendantes” sinon par une explication intuitive du style “le résultat de l’une n’influe par celui de l’autre”. Avec la notion de probabilité conditionnelle on a enfin la possibilité d’asseoir cette intuition de l’indépendance, à faible coût en temps scolaire ; il serait dommage d’en priver les élèves.

De même il est étonnant de ne pas évoquer en commentaires la possibilité de simulations, d’autant que ceci figure en chapeau de cette tranche “Probabilités et statistiques” du programme ; la phrase peu contraignante du programme de S (“activités ... sont menées”) pourrait être reprise en ES/L, éventuellement atténuée (“... pourraient être menées ...”) d’autant plus que là aussi il y a un problème de continuité avec le programme de la classe de première, où on trouve de même : “On peut simuler la loi binomiale ...”.

Les suggestions de liens avec SVT sont intéressantes ; rajouter les tests biologiques de dépistage serait utile car ils sont “dans le vécu” des élèves et de formalisation probabiliste simple.

On pourrait suggérer des “situations concrètes” pertinentes en ES/L par exemple en démographie, actuariat (tables de mortalité ...) ou en sondages (avec précautions : voir plus loin, en partie 4 de ce texte).

2. Notion de loi à densité à partir d'exemples

a. Le premier item ne devrait-il pas être intitulé “Loi à densité sur un intervalle borné” (idem en ligne 7 du commentaire) ? Ceci se justifierait d'autant plus que, a contrario, l'expression “intervalle non borné” figure dans le commentaire.

La définition de la probabilité de l'évènement $\{X \in J\}$ à l'aide de l'aire sous le graphe de la densité nous paraît pertinente et bien dans la ligne du cours sur l'intégration.

b. *L'absence des lois exponentielles en ES/L interdit hélas de discuter des situations liées à la démographie, par exemple l'évolution de la loi de durée de vie résiduelle. Mais s'il faut des renoncements pour cause de temps limité, celui-ci se justifie peut-être.*

En S le commentaire sur la durée de vie est lié à la fonction de répartition, qui n'est nulle part nommée dans ce programme ; or nommer les choses que l'on utilise n'est pas nécessairement coûteux en temps, au contraire souvent. De manière générale, on peut remarquer qu'il y a assez peu de démonstrations explicitement demandées dans ce programme ; ici il y a celle du calcul de l'espérance, mais comment attend-on qu'elle soit effectuée alors que l'intégration par parties n'est pas traitée par ailleurs ?

Par ailleurs, c'est visiblement en raison de son usage pratique pour modéliser des durées de vie sans vieillissement que cette loi est introduite. Il y a une ambiguïté dans la rédaction, qui dans les colonnes “Contenus” et “Capacités attendues” parle de “la” loi exponentielle et dans la colonne “Commentaires” parle de “une” loi exponentielle. On peut donc se demander si n'est concernée que la loi de paramètre 1 ou bien toute la famille des lois exponentielles (le paramètre étant traditionnellement noté λ et son interprétation étant donnée en termes d'espérance mathématique). Nous retenons la seconde interprétation mais alors le titre de cet item devrait être mis au pluriel. On pourra “réalistement” comparer des organismes sans vieillissement mais de paramètres différents. Et ce sera l'occasion d'utiliser la connaissance de la primitive de la fonction exponentielle (les liens entre les parties “analyse” et “probabilités” du programme nous paraissent en effet dignes d'être plus développés).

c. Le choix de présenter les lois normales d'abord par le cas de la loi centrée réduite a l'avantage de donner explicitement une expression unique de la densité n'incluant pas de paramètres et de fournir ainsi une voie aisée pour l'introduction de la loi normale à partir du théorème de la limite centrale. Mais l'intérêt principal de cette approche par le théorème (admis, bien sûr) de DeMoivre-Laplace est de justifier l'usage courant de l'approximation de la loi binomiale $\mathcal{B}(n, p)$ par la loi normale de mêmes espérance et écart-type ; les professeurs ne pourront pas faire l'économie de cet aspect de l'opération de centrage et réduction et ceci devrait, nous semble-t-il, figurer explicitement

dans les commentaires à côté de sa définition ($\frac{X-\mu}{\sigma}$) et être accompagné de l'expression de la densité de $\mathcal{N}(\mu, \sigma)$ (tout en respectant l'esprit du programme en spécifiant que la justification du passage de la densité de $\mathcal{N}(0, 1)$ à celle de $\mathcal{N}(\mu, \sigma)$ n'est pas un attendu du programme).

C'est alors là, à notre avis (et pas seulement à propos de l'intervalle de fluctuation), que devrait figurer l'indication des pratiques usuelles d'approximation, avec les conditions $n \geq 30$, $np \geq 5$ et $np(1-p) \geq 5$; mais nous recommandons de "relativiser" ces règles usuelles en écrivant non "En fait", mais quelque chose du type : "Avec les exigences usuelles de précision pour cette approximation, on ne la pratique que si ...". Et on pourrait suggérer de faire pratiquer des calculs sur des exemples, permettant d'apprécier quelle différence existe entre certaines valeurs de la fonction de répartition de la loi binomiale et celles de la loi normale qu'on tente d'utiliser comme approximation (voir par exemple "à quel point c'est mauvais" pour $n = 10$ ou $n = 20$ et certaines valeurs de p et pourquoi cela paraît "convenable" pour $n = 30$). Cette démarche a par exemple été explicitée, avec usage d'un tableur Excel, dans un article de Bernard Parzysz (Bulletin Vert de l'APMEP, 2007) que nous joignons à ces commentaires; elle vient d'être reprise, avec usage du logiciel R, par Hubert Raymondaut; ces travaux pourraient être utilisés pour les documents ressources¹. Procéder ainsi a l'avantage de mettre en évidence une démarche essentielle en mathématiques appliquées, qui consiste à se servir de résultats asymptotiques (donc de nature mathématique, ici pour n tendant vers l'infini) pour justifier des approximations (de nature empirique, ici pour n assez grand, ceci devant être contrôlé).

Une autre gêne que suscite chez nous ce passage sur la loi normale est que l'espérance et l'écart-type y sont évoqués au sein de l'expression "loi normale ... d'espérance μ et d'écart-type σ " mais que l'élève ne saura pas ce qu'est ici l'espérance (et a fortiori l'écart-type); parler, en mathématiques, d'objets sans les avoir définis nous semble regrettable. **Du moins en S, où, à propos de la loi exponentielle, on a défini l'espérance d'un exemple de loi de densité f sur \mathbb{R}_+ comme la limite quand x tend vers $+\infty$ de $\int_0^x tf(t)dt$, ne pourrait-on pas définir celle d'une loi de densité f sur \mathbb{R} comme la somme de la limite quand x tend vers $+\infty$ de $\int_0^x tf(t)dt$ et de la limite quand y tend vers $-\infty$ de $\int_y^0 tf(t)dt$? Et l'écart-type pourrait alors être alors défini comme somme de la limite quand x tend vers $+\infty$ de $\int_0^x (t-\mu)^2 f(t)dt$ et de la limite quand y tend vers $-\infty$ de $\int_y^0 (t-\mu)^2 f(t)dt$.**

Une autre difficulté est liée à la "démonstration" de l'existence de t_α ; il nous semble qu'il faut pour cela savoir que la fonction de répartition (notion qu'il faut donc avoir déjà définie, comme nous avons déjà dit le souhaiter) de la loi normale centrée réduite est strictement croissante et continue, de limite 0 en $-\infty$ et 1 en $+\infty$; mais les outils pour cela ne nous paraissent pas explicitement fournis.

3. Intervalle de fluctuation

Il nous paraît non approprié que l'intervalle de fluctuation soit introduit sous un chapeau "Estimation"; en effet, si certes son intérêt est de fournir une étape préalable à des procédures proprement

1. Il résulte de travaux menés au sein de la Commission Inter-Irem "Statistique et probabilités" que, plus généralement, le logiciel R est bien adapté comme outil d'accompagnement pour ce cours de Probabilités et Statistique; nous pouvons communiquer des exemples de tels emplois aux rédacteurs des documents ressources.

statistiques (“prise de décision” et “intervalle de confiance”), il s’agit d’une notion de nature probabiliste ; en ce sens nous trouvons opportun (même si ceci n’est pas classique hors de nos programmes français) de lui avoir attribué un nom, ce qui permet de mieux lutter contre le risque de confusion (réel pour les enseignants) entre les notions d’intervalle de fluctuation et d’intervalle de confiance ; mais alors cette précaution est un peu atténuée par cette place indue ici attribuée à l’intervalle de fluctuation. Nous recommandons donc de supprimer le titre (en gras) “Estimation” là où il se trouve (où on n’aurait donc plus que le titre “Intervalle de fluctuation”) et de reporter celui-ci au delà, au dessus de “Intervalle de confiance” et “Niveau de confiance” (nous revenons sur ce point en section 4 ci-dessous).

Il est étonnant que, alors que plus haut des idées de considérations pluridisciplinaires sont spécifiées, ici il est seulement dit “exemples issus des autres disciplines” ; mais sans doute les documents ressources y pourvoient-ils.

Nous sommes d’accord avec la définition, en note de bas de page, pour S, de l’intervalle de fluctuation asymptotique et trouvons heureux qu’on exploite ici une occasion de démonstration qui à la fois fait percevoir la signification de l’adjectif “asymptotique” et fait utiliser l’opération de centrage et réduction. *Mais il est gênant que, en ES/L, cet adjectif soit utilisé sans définition ni même aucune explication de sa signification.*

Le mot “fréquence” intervenant plusieurs fois dans la suite, nous conseillerions de l’introduire déjà en commentaires lors de l’introduction de F_n : on pourrait écrire là “la variable aléatoire fréquence $F_n = \frac{X_n}{n}$ ”, puis dire “fréquence observée” chaque fois qu’on utilise la notation f . En particulier (ceci relevant de notre section 4 ci-dessous), dans la note de bas de page de définition de l’intervalle de confiance, ceci conduirait à écrire : “... déterminé à partir de la variable aléatoire fréquence F_n . Les intervalles de confiance considérés ici sont centrés en la fréquence observée f ”.

A notre avis, le commentaire sur la “problématique de prise de décision”, si peu explicité, sera troublant pour les professeurs. Ou bien on l’abandonnerait (dans l’esprit d’un programme qui a décidé de centrer la statistique inférentielle sur l’intervalle de confiance) ou bien, ce que nous préférons, on marquerait bien qu’il s’agit d’une possibilité d’usage de l’intervalle de fluctuation pour considérer une situation de nature statistique (en fait une modeste amorce de la problématique des tests). Nous proposerions à cette fin une atténuation de la phrase de commentaire, du type suivant :

“La problématique de prise de décision, déjà rencontrée, est travaillée à nouveau sur un exemple élémentaire”

mais il nous paraît alors indispensable de l’éclairer par une phrase supplémentaire (par exemple en note bas de page) analogue à la suivante :

“Cette problématique intervient ici quand on s’interroge sur le bien-fondé d’une valeur p proposée pour une proportion, non directement observable, dans une population ; si la valeur observée, f de la variable aléatoire fréquence F_n , est en dehors de l’intervalle de fluctuation asymptotique au seuil de 95%, cela signifie qu’il s’est produit un événement (interprétable comme un “grand éloignement” de f par rapport à p) qui, si cette valeur p est correcte, n’a, approximativement, qu’une probabilité de 0,05 de survenir” ; ceci induit donc à mettre cette valeur p en doute” ;

on pourrait compléter (**du moins en S**) par :

“Ce doute peut-être renforcé si on choisit d’utiliser un intervalle de fluctuation asymptotique à un seuil plus élevé, par exemple 99%”.

4. Estimation

Dans les “capacités” le mot “estimer”, tout court, est peut-être maladroit, car, dans la pratique des statisticiens, il recouvre plutôt une estimation ponctuelle (quand ils le veulent les statisticiens spécifient “estimation par intervalle”). Nous proposons donc plutôt d’écrire comme première phrase “Fournir un intervalle de confiance pour une proportion inconnue à partir d’un échantillon” et de rajouter dans la seconde phrase “par intervalle” après “estimation”.

L’expression “pour une précision attendue” nous paraît peu claire; renvoie-t-elle au fait qu’on travaille avec un intervalle asymptotique et donc qu’il y a une certaine imprécision due à l’approximation? si oui, il faudrait le préciser, si non elle nous semble inutile.

A ce titre il serait cohérent avec l’usage déjà fait de l’asymptotique d’écrire plutôt en commentaires du programme S quelque chose du type :

“On peut établir que, quelle que soit la valeur de la proportion à estimer p , celle-ci est contenue dans l’intervalle $[F_n - \frac{1}{\sqrt{n}}, F_n + \frac{1}{\sqrt{n}}]$ avec une probabilité au moins égale à 0,95, sous réserve de la validité de l’approximation de la loi binomiale par la loi normale”. Nous avons écrit “établir” plutôt que “démontrer” car la véritable “démonstration” vaudrait pour un énoncé de nature asymptotique (ce qui serait d’ailleurs ici une alternative de rédaction également raisonnable); et notre membre de phrase “quelle que soit la valeur de la proportion à estimer” vise à bien conforter la situation de statistique inférentielle dans laquelle on se trouve.

Et la phrase suivante (*qui, elle, figure aussi dans le programme de ES/L*) serait plutôt “On énonce” que “On peut alors énoncer” (en effet là l’aspect “approché” ne figure plus explicitement).

Certes, la simulation de sondages sur tableur s’introduit naturellement ici; mais il faudrait dans les documents ressources insister sur le fait que, si on est ainsi proche de la réalité dans des situations industrielles ou de recherche scientifique, en revanche toute une gamme de sondages aléatoires effectivement pratiqués ne relèvent pas de ce modèle simple (rôle des stratifications, des méthodes de quotas, des “redressements”). Une telle mise en garde “citoyenne” aurait d’ailleurs aussi sa place en ES/L.

La phrase sur les liaisons avec SVT apparaît un peu restrictive; pourquoi ne pas écrire plus simplement : “Analyse de données comportant des intervalles de confiance” ? (*ici encore, ce pourrait aussi être profitable pour la culture des élèves de ES/L.*)

On pourrait rajouter dans les commentaires relatifs à des applications une allusion à la fiabilité industrielle et aux analyses biologiques en précisant que ceci peut être l’occasion d’introduira aussi des demi-droites de confiance (ou intervalles “unilatéraux”), tout en maintenant que seuls les intervalles de confiance “bilatéraux” sont dans le programme. Ceci pourrait aussi intervenir à l’occasion de documents ressources

Réponse à la consultation sur le projet de programme ISN

Ce document constitue la réponse de la *Commission inter IREM lycées* à la consultation sur le projet de programme de la spécialité ISN de terminale S.

□ Les objectifs généraux

Les sciences du numérique peuvent et doivent contribuer, aux côtés des autres disciplines et en particulier des autres sciences, à la formation de l'esprit, à éduquer les élèves à la réflexion et au raisonnement. À ce titre elles méritent une place de choix au lycée comme discipline de formation intellectuelle généraliste. Par formation intellectuelle des lycéens nous entendons une mission plus ambitieuse que l'objectif nécessaire d'adapter les futurs citoyens et les futurs professionnels à la société d'aujourd'hui. Le préambule du programme de la spécialité ISN pourrait affirmer plus fortement cette ambition.

□ Les modalités pédagogiques

La passivité de beaucoup d'élèves face aux apprentissages interroge fortement les enseignants et les rend attentifs à tout moyen pédagogique visant à rendre ces élèves plus actifs. La pédagogie de projet, mode d'enseignement privilégié par le programme, fait partie de ces moyens alternatifs. Une telle approche est séduisante et paraît adaptée à la nature de cet enseignement. Il nous semble toutefois qu'une telle approche ne s'improvise pas et nécessite une conception en amont très rigoureuse du dispositif sur l'ensemble de l'année. Sinon, le risque est grand de ne pas maîtriser les objectifs d'apprentissage. De nombreux écueils sont certainement à éviter pour conduire à bien une telle démarche jusqu'à son terme et ne pas éprouver un sentiment d'échec après l'investissement et l'enthousiasme initiaux. La formation des enseignants à ce type de pédagogie nous paraît être un élément clé de la réussite à moyen terme de cet enseignement de spécialité et donc de l'introduction de l'informatique au lycée. La conception pédagogique d'activités et de projets attractifs, formateurs et réalistes selon une progression pertinente est un travail important et difficile et qui devrait être envisagée de façon collective par des groupes d'enseignants en collaboration avec des formateurs. Nous suggérons l'idée de concevoir la formation initiale des enseignants elle-même sous la forme d'une pédagogie de projet, où les projets consisteraient à concevoir des activités et projets pour les élèves. Autrement dit une vision récurrente de la pédagogie de projets !

La mise en activité des élèves, la réalisation de petits projets et la pratique de la programmation ont pour but de susciter l'intérêt des élèves et de les familiariser dans le maniement des machines programmables, non pas sous leurs formes d'applications sophistiquées et contingentes mais dans leur aspect universel et fondamental. Il faut alors profiter de cet intérêt et de cette pratique des élèves pour, à chaque occasion qui se présente, dégager des idées importantes, faire émerger des concepts, mettre en évidence les principes des sciences du numérique. La pédagogie de projet ne devrait pas conduire à une interprétation a minima du programme avec une succession de séances de programmation systématiques et peu formatrices. Pour les élèves qui n'aborderont plus dans leurs études les sciences du numérique, la pratique de la programmation n'est pas une fin en soi mais le moyen de comprendre le monde numérique dans ses aspects les plus fondamentaux.

□ Les éléments du programme

À la première lecture, ce programme peut apparaître trop chargé en comparaison du volume horaire imparti à cet enseignement. Il faut bien sûr tenir compte des petits losanges qui identifient des approfondissements qui ne sont pas exigibles. L'idée de ces items facultatifs nous semblent bonne et mérite d'être conservée car elle contribue à la souplesse de ce programme. Toutefois la présence de ces approfondissements contribue sensiblement à l'impression de surcharge. Une solution éventuelle pourrait être de rédiger ces approfondissements dans une taille de police un peu plus petite afin de mieux faire ressortir les notions fondamentales et les capacités exigibles.

À juste titre le programme affirme en caractères gras que les quatre notions fondamentales, bien que présentées séquentiellement, doivent être considérées globalement. C'est une affirmation capitale et nous pensons qu'il serait très utile dans ce paragraphe d'argumenter cette nécessité et de l'illustrer par des exemples. Par ailleurs une bonne compréhension de cet impératif fera aussi percevoir avec plus de justesse la faisabilité de ce programme dans l'horaire imparti. Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de parler d'emblée de ces quatre notions aux élèves. Il s'agit plutôt de faire émerger progressivement ces concepts qui s'avèrent utiles pour structurer nos idées.

Sous les quelques réserves que nous indiquons ci-dessous, nous pensons qu'il est donc possible de concevoir à partir de ce programme un ensemble cohérent d'activités pratiques, en particulier de programmation, qui pourront servir de matière première aux enseignants pour amener leurs élèves à se forger une représentation pertinente des concepts fondamentaux de l'informatique.

▷ Représentation de l'information

Les signaux émis par un sémaphore, la position des pièces sur un échiquier, une figure constituée d'arcs de cercles et de segments, la forme d'un labyrinthe sont aussi des informations. Elles sont moins abstraites qu'un nombre ou un caractère et plus faciles à coder qu'une image ou un son. Qu'entend-on par forme du labyrinthe ? Le codage de ces informations est relié à l'usage que l'on veut en faire. Coder une information consiste à l'abstraire, à la modéliser, en négligeant éventuellement les aspects qui ne sont pas pertinents par rapport au problème qui nous concerne. Ce codage a une part d'arbitraire mais tous les codages ne se valent pas. Le traitement de l'information peut être plus ou moins simple selon le codage retenu.

Il est intéressant de souligner la nature universelle du codage des nombres et des caractères : toute information peut d'abord être codée sous la forme de nombres ou de caractères qui eux mêmes sont codés ensuite sous forme binaire. Ceci permet de comprendre qu'une machine peut calculer sur toute sorte d'objets et justifie le fait de parler de sciences du *numérique* à propos de l'informatique, c'est-à-dire de la science du traitement de l'*information*. Le codage intermédiaire sous la forme d'un texte permet de rendre l'information lisible par un humain.

Les portes logiques constituent un cadre particulièrement propice pour mettre en évidence la façon dont des dispositifs physiques peuvent être conçus dans le but d'effectuer des calculs ; calculs qui n'ont de signification que pour les utilisateurs de ces dispositifs.

L'utilisation d'un logiciel de modélisation d'images peut donner lieu à des activités très intéressantes mais ne mérite peut être pas de figurer comme capacité exigible.

Compression : La capacité mentionnée pourrait être plus explicite. L'élève devrait être capable de *choisir la compression* d'une donnée adaptée à l'utilisation envisa-

gée.

▷ Algorithmique

Dans le cadre d'une pédagogie de projets, les élèves vont se retrouver confrontés d'eux-mêmes à des problèmes nécessitant de leur part l'invention de solutions algorithmiques. C'est la tâche du professeur de concevoir et proposer des projets susceptibles de générer des problèmes algorithmiques intéressants. Idéalement, les différents algorithmes imaginés par les élèves peuvent alors être comparés et une solution experte proposée par le professeur peut éventuellement être étudiée. Ainsi, il ne nous semble pas opportun que le programme fixe de façon aussi précise les algorithmes qui doivent être connus des élèves. Les algorithmes classiques de recherche et de tri sont sans doute incontournables car ils sont omniprésents dans les logiciels et parce qu'ils se prêtent bien à des comparaisons. Mais nous ne voyons pas les raisons de privilégier le tri par sélection plus que le tri par insertion ou le tri à bulles qui peuvent tout aussi facilement venir à l'esprit des élèves.

La récursivité est une possibilité offerte par beaucoup de langages mais c'est aussi une idée, une façon particulière de penser et de résoudre un problème. C'est une belle idée qui peut séduire beaucoup d'élèves et qui mérite d'être reconnue comme un type d'algorithmes.

Les protocoles et les mécanismes de routage sont aussi des algorithmes et il serait peut être préférable de les placer dans cette section en y ajoutant un troisième encadré : Algorithmes distribués. Le caractère multiforme et omniprésent de cette notion fondamentale serait alors mieux mis en évidence.

Nous pensons donc que cette section du programme devrait valoriser davantage la notion d'algorithme. Il ne s'agit pas bien entendu de faire des cours théoriques d'algorithmique mais de faire réfléchir les élèves à partir de leurs productions concrètes. Lorsque les élèves travaillent à leurs projets, écrivent et mettent au point des lignes de code, ils produisent des algorithmes sans en avoir véritablement conscience, à la façon dont Monsieur Jourdain écrit sa prose. Il nous semble important que le professeur leur montre du doigt ces algorithmes chaque fois que l'occasion s'en présente afin qu'ils deviennent pour eux des objets de réflexion sur lesquels ils puissent porter un regard critique : quels sont ses contours ? quels sont ses données et ses résultats ? est-il correct ? puis-je l'améliorer, le rendre plus efficace ? ai-je déjà produit ou rencontré un algorithme similaire ? est-il réutilisable dans d'autres situations ? est-il adaptable, généralisable ?

Les progrès de l'informatique ne sont pas uniquement dûs aux progrès du matériel et à sa loi de Moore, l'invention d'algorithmes efficaces joue également un rôle très important. Il serait bon que les élèves en prennent conscience et sachent que la recherche d'algorithmes performants est une activité essentielle de l'informatique. Ceci peut contribuer à l'intérêt des élèves pour cette discipline.

▷ Langages et programmation

Dès que les élèves ont acquis une familiarité suffisante avec le langage et l'environnement de programmation qu'ils utilisent en classe, il nous paraît indispensable, afin de combattre la pensée magique, que soit clairement posée la question : *Que se passe-t-il lorsque je clique sur le bouton « compiler » ?* Il s'agit ici d'établir une relation causale suffisamment convaincante pour les élèves entre le texte de leur programme d'une part et le comportement de la machine d'autre part. Il doit être possible, en éliminant les détails techniques non essentiels, de parler de langage de haut niveau, de fichier source, de compilateur, de fichier exécutable, de langage machine. Si le langage utilisé est interprété l'explication

devra être adaptée.

On peut souligner qu'un programme est d'un certain point de vue une information, une donnée comme une autre lue par une machine. Le fait que cette machine puisse lire un programme fait d'elle une machine universelle.

Lorsque les élèves ont fait l'expérience de l'existence quasi inéluctable du bug, la question doit être posée à la classe : *Comment s'assurer que tous les bugs ont été éliminés ?* Il s'agit de les sensibiliser au problème de la correction d'un programme. Le test d'un programme sur quelques données ne suffit pas pour le mettre au point. La mise en parallèle entre la sensibilité du programme à la moindre erreur et le nombre considérable de lignes de code nécessaires pour réaliser un logiciel permet aux élèves de prendre de conscience de la complexité qui est en jeu et de la nécessité de disposer de méthodes.

Dans l'encadré *Fonctions* l'expression « passage d'arguments » peut laisser penser qu'il s'agit d'aborder la différence entre le passage par valeur et le passage par référence. Cette notion délicate ne devrait pas apparaître dans le programme même si certains élèves pourront y être confrontés en pratique à travers leurs projets.

Dans l'encadré *Langages de description*, le programme souligne à juste titre le double usage du langage, mais il serait bien de faire remarquer aux élèves qu'il en est de même de tout langage de programmation et plus généralement de toute information numérique.

▷ Architectures matérielles

Cette partie nous paraît être la plus délicate à transmettre aux élèves. L'enjeu principal est de leur montrer, à partir de leur connaissance de la physique, comment il est possible de stocker de l'information sur un support matériel (CD-ROM, code barre, bande magnétique d'une carte bleue, ...) et surtout comment un système physique peut lire cette information, effectuer des calculs et modifier l'information. Des exemples de machines mécaniques élémentaires pourraient montrer la possibilité même d'existence d'un tel système physique. L'étude des principes mécaniques de la Pascaline par des élèves seraient par exemple instructive. Il serait utile pour cela que les enseignants puissent disposer de supports pédagogiques spécialement conçus pour eux. Il est également instructif de faire remarquer aux élèves que d'une certaine façon on commet un abus de langage lorsque l'on dit qu'une machine effectue des calculs et manipule de l'information : c'est la manière dont l'utilisateur interprète le comportement de la Pascaline qui détermine si elle a effectué une addition ou une soustraction.

Tout ce travail est difficile mais l'enjeu en vaut la peine : il s'agit de démystifier l'ordinateur en le réduisant à un banal système physique au comportement complètement spécifié par l'homme et parfaitement déterministe. Si ce travail peut être mené alors la présentation descriptive des composants de base d'un ordinateur prendra beaucoup plus du sens pour les élèves. Plutôt que de s'appuyer sur une machine « réelle » il serait préférable de présenter une machine fictive dans laquelle les aspects techniques seraient gommés au profit des principes fondamentaux. Là encore, des supports pédagogiques adaptés sont nécessaires pour faire comprendre le plus simplement possible ces principes.

La mémoire et la puissance de calcul mondiales dans les années 1950 étaient bien inférieures à celles du plus petit des téléphones actuels!¹ La loi de Moore mérite d'être expliquée aux élèves et illustrée par des exemples marquants. Les conséquences de cette « loi » quantitative sont qualitatives. Elle a provoqué et

¹Revue TDC n°997 - Gérard Berry

provoquera encore des mutations sociétales majeures. Une réflexion sur ce sujet pourrait être menée en concertation avec les professeurs des disciplines des sciences humaines.

Un autre travail interdisciplinaire possible, en collaboration avec le professeur de philosophie, serait d'initier une réflexion sur les idées de complexité et d'émergence. Les élèves pourraient s'appuyer sur leurs nouvelles connaissances en informatique, mais aussi sur leurs connaissances en biologie pour étayer une réflexion sur les frontières entre les notions de machine, d'être vivant, de pensée, de conscience.

Les réseaux constituent aujourd'hui un domaine essentiel de l'informatique. Il nous semble toutefois que les notions qui y sont associées ne sont pas aussi fondamentales que celles qui sont abordées dans les autres parties du programme. L'élève intéressé qui aura bien assimilé ces autres parties disposera de bases pour comprendre les questions liées aux réseaux. Il nous paraît donc souhaitable de retirer la partie réseau du programme afin de dégager plus de temps pour approfondir les concepts fondamentaux. Cela n'interdit pas au professeur d'illustrer certaines notions fondamentales à partir des réseaux. L'étude des composants d'un ordinateur fait déjà apparaître des mécanismes de communication entre ces composants. Des mini-projets peuvent amener les élèves à réaliser des petits programmes qui communiquent entre eux et la notion de protocole peut être dégagée si l'occasion s'en présente.