

EXPÉRIMENTATION PÉDAGOGIQUE

Une initiation numérique

LIONEL RISS^[1]

Une expérimentation à l'objectif ambitieux de donner à des élèves de seconde une culture informatique a été menée sur l'académie de Versailles au lycée Robert-Doisneau de Corbeil-Essonnes. Elle a permis aux élèves de comprendre la différence entre « faire de l'informatique » et « utiliser un programme informatique » et d'appréhender les dimensions technologiques et mathématiques de l'informatique.

Depuis la rentrée 2009, le lycée Robert-Doisneau de Corbeil-Essonnes participe à l'expérimentation de l'option « informatique et objets numériques » (ION), dont nous assurons l'enseignement, de 3 heures hebdomadaires, à deux, un professeur de mathématiques et un professeur de sciences et technologies industrielles – moi-même. Cette expérimentation résulte d'un partenariat entre l'Inria (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) et l'inspection académique (mathématiques et sciences et techniques industrielles).

L'idée de départ était de proposer un enseignement en adéquation avec l'arrivée de l'algorithmique dans le programme de mathématiques de seconde, en y intégrant la dimension technologique inhérente à l'informatique. Les chercheurs et responsables de l'Inria, qui participent avec enthousiasme à cette expérimentation, y voient la possibilité, d'une part, d'introduire l'enseignement de l'informatique au lycée (pour beaucoup d'entre eux, c'est un peu l'Arlésienne) et, d'autre part, de permettre à l'élève de comprendre le monde numérique qui l'entoure pour être capable de l'utiliser plutôt que de le subir. Plus personne ne conteste que l'impact de la révolution numérique sur la société aujourd'hui est au moins aussi important que celui de l'imprimerie au ^{xv}^e siècle ; il ne faudrait pas que le citoyen reste un « illettré du numérique ».

La préparation

Lors de deux journées passées à l'Inria, nous avons assisté à des conférences menées par des chercheurs, toujours passionnés, souvent passionnants, nous présentant leurs travaux et quelques pistes sur les domaines pouvant être intéressants à aborder avec nos lycéens. L'inspection nous a laissé une grande liberté quant au choix des thèmes et outils. Nous nous sommes aussi retrouvés régulièrement entre collègues pour échanger

mots-clés

informatique, mathématiques, numérique

nos expériences et présenter nos travaux. Un forum de partage a été mis en place sur l'internet.

Nous avions en septembre un programme ambitieux, qu'il nous a fallu revoir un peu à la baisse, faute de temps et, il faut bien l'avouer, parce que nous avions un peu idéalisé les vitesses de réalisation des élèves, qui formaient un public extrêmement hétéroclite, tant au niveau des sections envisagées pour l'après-seconde qu'au niveau des facilités en mathématiques. En effet, il n'a pas été possible d'informer les futurs élèves de seconde quant aux contenus de l'option. Ceux qui ont participé à l'option se sont donc décidés le jour même des inscriptions, avec pour seuls éléments de choix les conseils du CPE et une plaquette de présentation assez sommaire que j'avais confectionnée. Par contre et par grand bonheur, tous étaient animés d'une grande curiosité vis-à-vis du monde numérique.

Ces 16 élèves étaient répartis en deux groupes, et les séances se faisaient soit avec les deux enseignants et l'ensemble des élèves soit avec un enseignant et 8 élèves.

Afin de contextualiser notre enseignement et de lui donner un sens, nous avons monté un petit projet, qui nous a servi de fil rouge tout au long de l'année. Nous avons proposé aux élèves de tenir le rôle d'une entreprise chargée de numériser les ouvrages anciens d'une bibliothèque, afin que l'on puisse les consulter sans avoir à les manipuler, donc sans risque de les détériorer.

Il s'agissait pour notre « entreprise » de numériser les ouvrages, puis de traiter les images (leur faire subir différentes modifications, tant géométriques que colorimétriques) et les textes, de les diffuser numériquement, et enfin d'en crypter certains.

Le travail sur l'image

Une fois la passerelle entre monde réel et monde numérique nécessaire à notre projet, le « scan » des documents, présentée aux élèves, nous avons commencé l'étude de l'objet numérique proprement dit : l'image !

Mon choix s'est porté sur le format bitmap (BMP) RVB 24 bits. Certains collègues d'autres établissements ont préféré faire étudier l'image via le logiciel Scilab, qui permet de transformer de manière transparente une image de format BMP ou JPEG en une matrice directement manipulable. Je n'ai pas adhéré à ce choix, parce qu'il masque beaucoup de l'aspect technologique de l'image numérique. À mon sens, pour étudier et manipuler un fichier numérique, on ne peut pas éviter de se référer à la documentation technique du format. L'étude du format BMP permet cela tout en restant relativement simple (en tout cas, très abordable par un élève de seconde).

[1] Professeur de sciences et technologies industrielles au lycée Robert-Doisneau de Corbeil-Essonnes (91).

Nous voici donc partis dans l'étude d'un petit fichier BMP de 16 par 16 pixels. Qui dit fichier numérique dit nombre. Il nous fallait donc voir ces nombres ! J'ai utilisé un éditeur hexadécimal, Hex Editor **1**, qui a l'énorme avantage de pouvoir présenter les octets en base 10. Il a alors été simple de montrer aux élèves que chaque pixel était composé de 3 nombres, chacun codant pour une couleur (les élèves pour beaucoup sont familiarisés avec l'utilisation d'un logiciel de retouche d'images tel que Paint ou Photoshop, et la notion de RVB leur était déjà familière). Les élèves ont pu modifier l'image en traitant directement le code via l'éditeur hexadécimal (l'éditeur décimal, devrais-je dire). Ils se sont aussi aperçus que modifier manuellement une image de 16 par 16 ne posait pas de problèmes, mais que pour une image de 1 Mo il fallait s'armer d'un algorithme !

Il nous fallait aussi découvrir pourquoi chaque nombre ne dépassait jamais 255 ! Nous sommes donc allés regarder les octets qui composaient l'image, pour comprendre que les chiffres du monde numérique n'étaient que des 0 et des 1.

Nous en avons profité aussi pour comprendre l'hexadécimal et l'intérêt de son utilisation, à savoir une manipulation beaucoup plus aisée des nombres binaires, vite imposants.

Le choix du langage

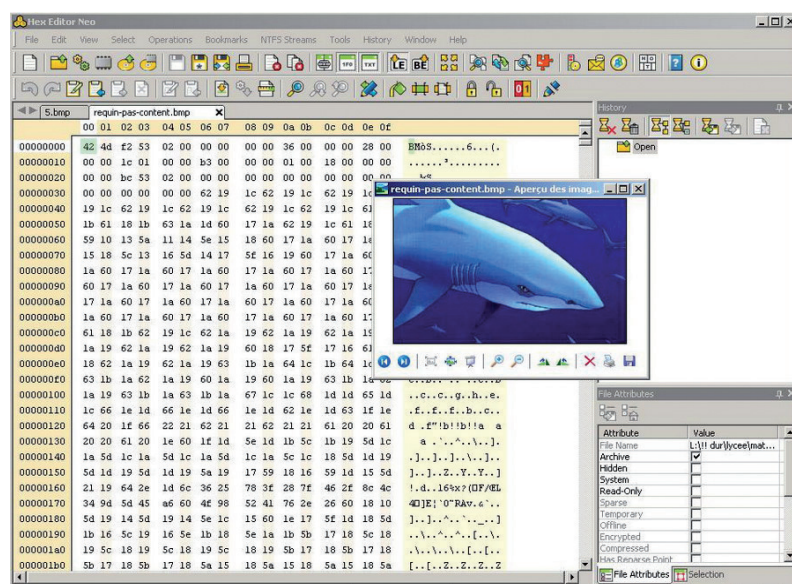
Si l'on veut appliquer un algorithme à un fichier image vient fatalement le moment où il faut le coder. Le choix du langage est important. Nous avons recherché un langage qui soit le plus abordable possible pour nos élèves néophytes, qui nous permette de réaliser des projets suffisamment ludiques (nous pensions à l'époque développer une petite application sous Android pour Google Phone), et qui ne soit pas ce que les informaticiens appellent une « usine à faux plis ». Notre choix s'est porté sur le langage Java. (Je tiens ici à remercier vivement mes collègues et amis Edmond Octave et Thomas Lusseau, qui n'ont pas compté leurs heures pour m'apporter leur aide précieuse et leur haute compétence en informatique.)

Une fois l'outil en poche, nous avons effectué une séance de prise en main de l'IDE (*Integrated Development Environment*), Eclipse **2**, et de la structure canonique d'une classe Java. Puis nous sommes partis à l'assaut de nos fichiers image !

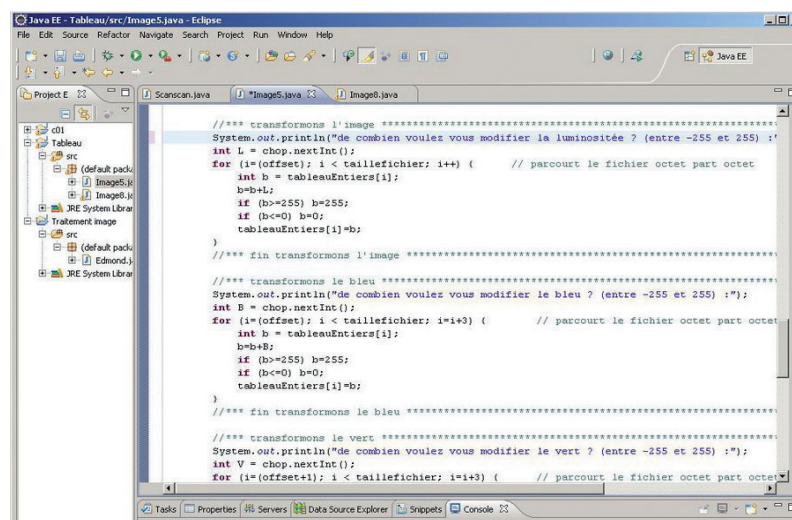
Nous avons commencé par coder pour aller chercher dans l'en-tête du fichier BMP les informations indispensables : la taille du fichier, le nombre de lignes et de colonnes, l'offset (savoir où s'arrête l'en-tête et où commence les informations de couleur de

chaque pixel). Puis nous avons appliqué les traitements les plus basiques : travailler la luminosité de l'image (l'algorithme est on ne peut plus simple : pour chaque case de la matrice de l'image, additionner un entier à la valeur présente) ; travailler juste une couleur **3** (le même algorithme appliqué un octet sur trois – l'effet Warhol obtenu a eu beaucoup de succès auprès des élèves).

Bien évidemment, le résultat des opérations « ranger les octets du fichier BMP dans le tableau à traiter » et « ranger le tableau traité dans le fichier BMP » est fourni aux élèves ; ils ne codent que le traitement du tableau.



1 L'étude des nombres d'une image (Hex Editor)



2 L'outil Eclipse



3 Le codage de l'image

Nous sommes passés ensuite aux modifications géométriques : inclinaison d'une image, décalage des pixels, seulement sur une couleur ou sur les trois, effet miroir, etc. Toutes ces modifications géométriques répondent à une équation mathématique que les élèves ont codée.

Le cryptage et le décryptage

Souvenez-vous, notre client bibliothèque souhaitait aussi que certains documents soient cryptés. Nous avons donc mis en place un algorithme de cryptage. Il s'agissait de crypter du texte et des images – les documents de la bibliothèque ayant été numérisés avec ou sans reconnaissance de texte selon leur nature : les livres anciens sont numérisés en images, le dernier roman de Katherine Pancol en texte. Nous n'avons pas étudié les moyens de cryptage utilisés actuellement (codage RSA), même si je les ai cités. Nous avons travaillé sur des méthodes beaucoup plus simples et figurant au programme de mathématiques de la classe de seconde : les chiffres de César (simple décalage des lettres) et de Vigenère.

Le chiffre de César est basé sur un simple décalage de trois unités des lettres de l'alphabet, le *a* devenant *d*, le *b* devenant *e*, etc. Ce nombre 3 est appelée la *clé* du codage. Jules César utilisait ce système pour communiquer secrètement avec ses armées.

Cette activité a permis un premier contact avec la notion de *congruence*. En application, chaque élève a choisi sa propre clé tenue secrète et envoyé à l'un de ses camarades un texte crypté, l'objectif pour ce dernier étant de casser le code.

Le chiffre de Vigenère et sa cryptanalyse ont été présentés au moyen d'un PowerPoint inspiré d'une conférence grand public donnée par un jeune chercheur à l'université Paris-VI. Ce codage est en fait une généralisation du précédent : la clé privée est un mot de *n* lettres – *n* étant un entier naturel – qui est ajouté au-dessous de chaque ligne du texte à crypter, en le reportant autant de fois que nécessaire. On additionne

ensuite modulo 26 les nombres correspondant à chacune de ces lettres situées sur la même colonne, et on obtient le texte codé (dans le cas du chiffre de César, $n = 1$, et la clé est réduite à la lettre *c*). Seuls quelques élèves aguerris se sont lancés dans la programmation de cet algorithme avec une clé imposée de trois lettres.

Nous avons profité de ce travail sur un texte pour voir comment est codé un simple fichier texte (comment des octets codent pour des lettres : code ASCII), et regardé par curiosité à l'éditeur hexadécimal l'enrobage des caractères d'un fichier issu d'un logiciel de traitement de texte de type Word.

Une fois que les élèves ont assimilé comment les nombres représentent les lettres, ils ont appliqué l'algorithme de codage de César pour crypter le texte. Ils se sont envoyé des messages codés 4 et ont établi l'algorithme de décryptage pour pouvoir les lire. Nous avons essayé de coder par la même méthode une image BMP, mais, comme c'était prévisible, la modification identique sur chaque pixel de la valeur ne masque en rien le contenu de l'image.

L'édition du site Web

Notre client bibliothèque souhaitait mettre à disposition ses ouvrages numériques sur l'internet. Nous avons donc construit le site 5. Nous avons abordé le codage de site Web en trois étapes : d'abord le codage façon siècle dernier en nous limitant à l'HTML, puis le codage actuel (feuilles de style), et enfin le côté véritablement programmé du site, par l'utilisation de *frameworks*. Je voulais aussi faire un peu coder les élèves en JavaScript pour, par exemple, établir un accès par *login* et mot de passe, mais nous avons cruellement manqué de temps. Nous n'avons pas non plus parlé à ce moment-là d'exécution client ou serveur des programmes – cela se fera à l'occasion d'un autre chapitre, nous y reviendrons.

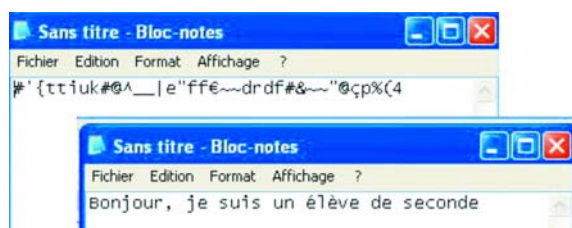
Les élèves ont donc construit chacun individuellement le site Web de la bibliothèque, constitué d'une page d'accueil où figurent un menu et des images placées au pixel près sur la page, de pages galeries pour présenter les pages scannées des livres, d'abord statiques, puis dynamiques, utilisant le *framework* Mootools – fabuleux pour montrer aux élèves qu'en informatique non plus il n'est pas toujours nécessaire de réinventer la roue, et que l'utilisation de fonctions incluses dans des bibliothèques est souvent plus que confortable !

Côté éditeur, nous avons bien évidemment laissé de côté tout ce qui était éditeur « Wysiwyg ». Nous avons tout codé avec Notepad++.

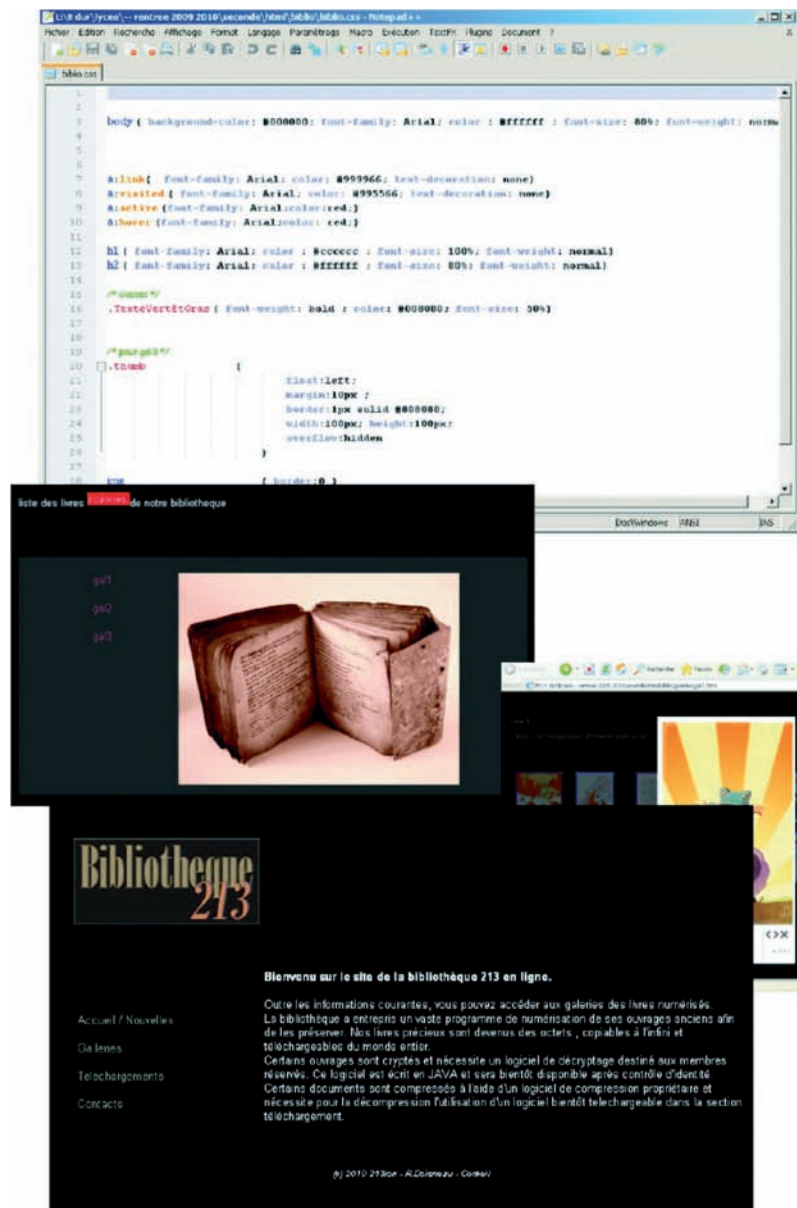
Le site d'un élève est visible à l'adresse suivante, rubrique « Réalisation des élèves » :

<http://ion.doisneau.free.fr>

Un grand merci à mon ami David Braud, webmestre émérite, pour avoir mises à jour mes connaissances des techniques de développement utilisées dans l'industrie du Web.



4 Un exemple de codage



5 La création de site Web



6 La réalité augmentée

Quelques autres thèmes

La réalité augmentée

La réalité augmentée consiste à superposer au monde réel des objets et informations numériques [6](#). Imaginez que, lorsque que vous vous trouvez devant vos élèves, des informations sur eux que vous êtes le seul à voir défilent dans vos lunettes façon Terminator. Ce n'est plus du domaine de la science-fiction, c'est aujourd'hui du domaine de la science industrielle !

Dans l'industrie, au cœur des usines Dassault par exemple, le montage de certaines pièces se fait en utilisant cette technologie : les agents sont équipés de lunettes et voient les pièces à monter flotter virtuellement dans l'air pour indiquer leur emplacement et leur mode de fixation ! Si vous ne voyez toujours pas en quoi consiste la réalité augmentée, je vous invite à vous rendre à l'adresse

<http://ssi.doisneau.free.fr>

et à regarder la petite vidéo en première page où les élèves présentent leur notice de montage du destructeur d'aiguille, système bien connu des enseignants de sciences de l'ingénieur, en réalité augmentée.

J'ai utilisé les travaux de Hirokazu Kato de l'université de Hiroshima, qui a développé il y a une dizaine d'années la formidable suite de bibliothèque ARTToolkit, base de la réalité augmentée d'aujourd'hui. Petit inconvénient : les bibliothèques sont codées en C++ et non en Java. Il existe une version en Java (JARTToolkit), mais je n'ai jamais réussi à la faire fonctionner correctement.

Je dois l'avouer, nous sommes un petit peu sorti du fil rouge « bibliothèque » pour cette partie de l'année.

Tout d'abord, il a fallu faire comprendre aux élèves le processus de fonctionnement : d'abord la reconnaissance de forme, ensuite le positionnement dans l'espace de l'objet, qui est en fait... une image, enfin le modelage de l'objet 3D et les actions conditionnelles qui agissent soit via l'objet soit via le programme. Nous avons commencé par utiliser des objets VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), standard 3D un peu abandonné aujourd'hui, utilisé à l'époque où fleurissaient sur le Net les mondes virtuels où l'on promenait son avatar numérique. Même si cette façon de réaliser la 3D a vécu, elle reste à mon sens adaptée à une première approche du monde 3D.

J'ai ensuite proposé aux élèves de créer leur *tag* personnalisé (le dessin que le programme reconnaît pour y coller l'objet 3D), et leur ai demandé d'être capables d'y faire apparaître l'objet 3D de leur choix. Ils se sont retrouvés avec une apparition dans la main d'une sphère réalisée via Blender ou d'un moulinet de pêche dessiné avec SolidWorks.

Nous sommes enfin entrés dans la programmation en C++ ; nous avons appris quelques bases d'OpenGL, nécessaires à l'affichage d'objets 3D « actuels », puis construit nos propres *releases* Windows pour afficher toute sorte d'objets codés en C.

L'option « informatique et objets numériques »

La science informatique occupe aujourd'hui une place prépondérante dans la conception des objets ou systèmes techniques qui nous entourent : ordinateur, internet, téléphone portable, lecteur MP3, robot, systèmes de géolocalisation, de simulation numérique, etc. Ces nouvelles technologies sont le fruit de nouvelles collaborations entre les mathématiques, les sciences et la technologie.

Il y a là matière à un enseignement qui peut encourager les élèves à envisager des formations et des carrières scientifiques et techniques.

C'est dans ce contexte que les IA-IPR de mathématiques et de sciences et techniques industrielles de l'académie de Versailles ont mis en place un enseignement expérimental ION (Informatique et Objets Numériques) en classe de 2^{de} en ISI pour l'année scolaire 2009-2010. Cette expérimentation continue dorénavant dans le cadre de l'enseignement d'exploration MPS (Méthodes et Pratiques Scientifiques) à la rentrée 2010.

Les objectifs

L'enseignement ION apporte aux élèves de seconde des connaissances élémentaires dans le domaine de la science informatique et des technologies associées ainsi qu'une première perception critique des enjeux du développement du numérique dans la société.

Il vise :

- à l'acquisition d'un ensemble de compétences de premier niveau relatives à la compréhension des objets ou des systèmes numériques ;
- au développement de l'aptitude à résoudre des problèmes faisant appel à des solutions algorithmiques et à de la programmation.

Il permet :

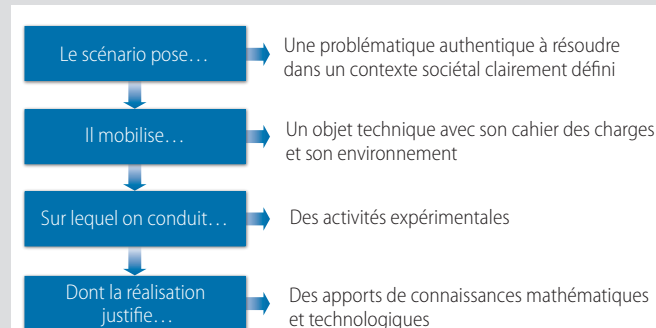
- de mettre en évidence les liens entre lois mathématiques, principes scientifiques et solutions techniques ;
- d'acquérir une culture scientifique et technologique suffisante pour aborder les produits numériques, sans rejet ni fascination, dans le respect des contraintes sociétales liées au développement durable, aux économies d'énergie et à l'innovation.

Il développe des compétences relatives :

- à la représentation du réel et à la création, notamment par l'exploitation des moyens de conception et de représentation numériques ;
- à la mise en œuvre de produits, à l'analyse, à l'évaluation de performance (confrontation du réel au modèle numérique) et à l'optimisation.

La stratégie pédagogique

Fondé sur l'étude des objets numériques qui réalisent le traitement des informations « voix, données et images », l'enseignement privilégiera les démarches d'investigation et de projet. Les activités expérimentales des élèves fourniront les points d'entrée qui conduiront les professeurs à apporter des connaissances dans les domaines des technologies et des mathématiques (voir la figure ci-dessous).



La démarche pédagogique

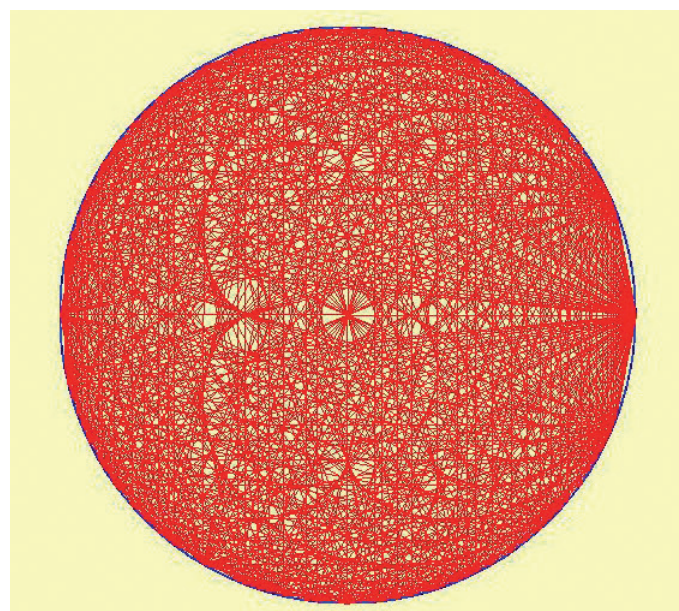
Le partenariat avec l'Inria

L'académie de Versailles est partenaire de deux centres de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique, Rocquencourt et Saclay, en Île-de-France. L'enseignement de détermination « informatique et objets numériques » bénéficie de ce partenariat :

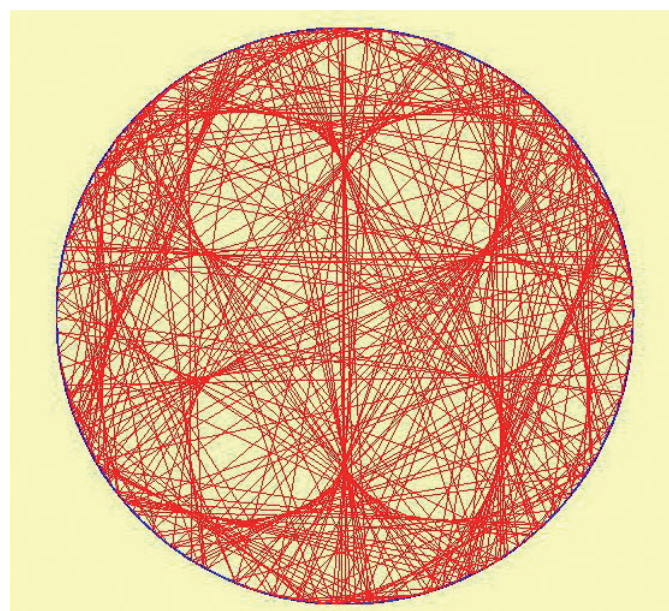
- pour la formation des professeurs, pour lesquels des journées de formation et rencontre sont prévues ;
- pour la documentation et l'information des élèves, qui pourront, à une ou deux reprises, rencontrer un ou des spécialistes des domaines sur lesquels ils travailleront.

Les modalités d'organisation de l'enseignement

L'enseignement de détermination « informatique et objets numériques » est proposé dans les établissements volontaires. Il est assuré conjointement par un professeur des sciences et techniques industrielles et par un professeur de mathématiques.



7 Le premier chryzode



8 Le deuxième chryzode

La commande d'un appareil électroménager par l'internet

Là aussi, je suis en dehors du fil rouge « bibliothèque ». Nous avons passé une séance à répondre à cette problématique : comment commander un appareil électroménager depuis n'importe quel ordinateur connecté à l'internet ?

L'appareil électroménager (une cafetière, pour notre exemple) est connecté au port parallèle du PC serveur. Un serveur HTTP (Sambar) est installé sur ce PC. Le programme qui pilote la mise à 0 ou à 1 d'un bit de données du port parallèle est fourni à l'élève. Il n'a plus qu'à le coller dans le répertoire « cgi-bin » du serveur et à écrire la page HTML contenant le formulaire d'appel du CGI. L'élève appréhende ainsi la notion client/serveur. L'hébergement d'un site Web n'est plus « magique ». Nous avons dû aussi parler d'adresse IP et donc introduire la notion d'adressage (et timidement la notion de masque de sous-réseau).

Les chryzodes

Un *chryzode* (du grec *chrysós*, « or ») est une figure obtenue à partir de points construits sur un cercle. L'étude des chryzodes fait partie des recherches actuelles sur les modèles de représentation dans beaucoup de domaines, telles la neurophysiologie, la radio-cristallographie, la propagation des ondes.

Le premier chryzode **7** a été obtenu par des superpositions de polygones étoilés : on fait varier un entier naturel n de 2 à 14, on trace n points équidistants sur un cercle, et on relie chaque fois chacun des n points avec les $n - 1$ restants.

Cette activité a permis, en liaison avec le programme de mathématiques, l'utilisation des fonctions sinus et cosinus, l'introduction du radian. Le tracé d'un cercle a été programmé en utilisant deux méthodes différentes, la première basée sur les coordonnées cartésiennes, la seconde sur les coordonnées polaires.

Le deuxième chryzode **8** a été obtenu en représentant sur le cercle la suite des triples de 1, 3, 9, 27 modulo 401 de cette façon : chaque triple modulo 401 est relié à son suivant dans la liste obtenue.

D'autres activités tels la conjecture de Syracuse, l'algorithme d'Euclide, la méthode de Monte-Carlo furent proposées. Réflexion, investissement, certes modeste, de notions du programme de mathématiques, développement de l'esprit critique, joie de la découverte de conjectures et de l'obtention d'un programme qui fonctionne... sans oublier la beauté des objets mathématiques, à l'écran soudainement dévoilée.

Bilan et perspectives

Même si l'objet numérique est par essence immatériel, il m'a paru important de parler un peu du matériel nécessaire et donc des bases de l'architecture des systèmes informatiques (rôle du processeur, de la mémoire, adressage), d'expliquer aux élèves qu'un

ordinateur n'est pas qu'une unité centrale avec clavier, souris et écran. Nous y avons finalement passé très peu de temps.

D'autres pistes auraient été intéressantes à suivre : la compression de données, par exemple. Même si, sur le papier, des algorithmes de compression simples existent, ils deviennent assez vite complexes à coder. Il devient alors indispensable d'utiliser des bibliothèques Java. Le problème est qu'ainsi le côté mathématique de la compression s'évapore.

Je pensais aussi travailler sur l'étude des fichiers son, et sur la localisation par GPS. Certains collègues d'autres établissements s'y sont frottés et ont conçu des séquences plus qu'intéressantes.

Je ne sais pas si l'objectif « former des utilisateurs citoyens avertis » a été atteint. Ce que je sais en revanche, c'est que les élèves ont clairement compris la différence entre « faire de l'informatique » et « utiliser un programme informatique », ce qui était tout sauf évident. Ils ont compris les dimensions technologiques et mathématiques de l'informatique.

Malgré l'hétérogénéité de la classe, tous sont restés curieux et ont réussi leurs petits projets, avec plus ou moins de facilité, d'aide ou d'approfondissement. Beaucoup regrettent de ne pouvoir rejoindre une filière où l'informatique est fortement présente ; ils vont devoir « patienter » deux années dans une section qui ne leur convient pas complètement. Sur les 16 élèves, 3 vont en S SI, 2 en S SVT, 4 en STI Électrotechnique (la STI Électronique n'existe plus dans notre lycée), 1 en STI Génie mécanique, 2 redoublent leur seconde, 1 est réorienté vers un bac pro comptabilité et 3 vont en section STG.

L'option ION est reconduite à la rentrée prochaine dans le cadre des options d'exploration de seconde, sous l'étiquette MPS (Méthodes et Pratiques Scientifiques) colorée ION.

Le nombre d'heures élève est donc amputé de moitié (1 h 30 hebdomadaire). Il va falloir fatalement revoir à la baisse notre contenu. Dans le cadre des heures d'accompagnement de seconde, je pense aussi proposer aux élèves ne suivant pas l'option ION une séquence de 6 heures de découverte du monde numérique, surtout afin de leur présenter la fameuse différence entre « faire de l'informatique » et « être utilisateur d'un ordinateur ». ■

► Pour en savoir plus

Les sites du secteur industriel du lycée Robert-Doisneau de Corbeil-Essonnes :

<http://www.inge-doisneau.com>
<http://ion.doisneau.free.fr>