



éduscol



Ressources pour le lycée général et technologique

Ressources pour la classe terminale de la série scientifique

Informatique et sciences du numérique

Ces documents peuvent être utilisés et modifiés librement dans le cadre des activités d'enseignement scolaire, hors exploitation commerciale.

Toute reproduction totale ou partielle à d'autres fins est soumise à une autorisation préalable du Directeur général de l'enseignement scolaire.

La violation de ces dispositions est passible des sanctions édictées à l'article L.335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

juin 2012

Enseigner l'informatique et les sciences du numérique

Sommaire

1. Introduction.....	1
2. Les principaux objectifs pédagogiques.....	2
2.1 Pourquoi l'enseignement ISN nécessite-t-il une pédagogie spécifique ?.....	2
2.2 Quelques principes didactiques.....	2
2.3 Le rôle incontournable de la différenciation pédagogique.....	4
2.4 Le rapport à l'outil et à l'objet.....	4
2.5 Une place importante pour les projets.....	4
3. Trouver le juste équilibre dans la mise en œuvre du programme.....	5
3.1 Bref rappel : le programme.....	5
3.2 Satisfaire tous les profils d'élèves.....	5
3.3 Identifier les éléments fondamentaux de la formation.....	6
3.4 La dimension sociétale de l'enseignement.....	6
4. Mettre les élèves en activité : quelques d'approches.....	7
4.1 Les exercices d'application.....	7
4.2 Les séquences thématiques.....	7
4.3 La pédagogie des projets.....	7
5. Une approche pluridisciplinaire associée à l'intervention d'experts.....	8
6. Évaluer les élèves.....	9
6.1 Les compétences.....	9
6.2 La grille de compétences.....	9
6.3 Quelques exemples de situations d'évaluation.....	9
7. Organisation pratique de l'enseignement.....	11
7.1 Gestion du calendrier.....	11
7.2 Équipement matériel.....	11
7.3 Équipement logiciel.....	12
7.4 Les spécificités liées à l'enseignement des réseaux.....	13
7.5 L'initiation à la robotique.....	13
8. Références.....	14
9. Auteurs.....	14

1. Introduction

L'enseignement de spécialité Informatique et Sciences du Numérique en classe Terminale de la série scientifique a pour but de proposer une initiation aux concepts, méthodes et problématiques de la science informatique, en intégrant les implications de l'informatique dans l'environnement et dans la vie quotidienne des lycéens.

L'objectif de cet enseignement est de fournir aux élèves une base solide de connaissances et compétences dans

les domaines du numérique, une première compréhension de la place grandissante de l'informatique (sciences, technologies et secteurs d'activité) et de les sensibiliser aux questions de société induites. Au-delà de ces acquis, il s'agit de développer chez les élèves un réel goût de l'informatique et une bonne familiarité avec les sciences du numérique qui leur seront précieuses quelles que soient leurs études et activités professionnelles futures. Valorisant la découverte et la créativité, l'enseignement ISN est adapté à la société d'aujourd'hui et prépare au monde de demain.

À travers une diversité d'activités proposées tout au long de l'année, éventuellement associées à différentes interventions d'experts, les élèves pourront mettre en œuvre une réflexion constructive autour de leur orientation, et ainsi repérer les nombreuses possibilités de réinvestissement de leurs acquis au sein des différents parcours possibles dans l'enseignement supérieur.

Afin de soutenir ces dynamiques, les documents de ressources pédagogiques donnent des éléments permettant aux professeurs de construire leurs propres séquences. Il s'agit de fournir aux élèves des éléments utiles et durables, bâtis autour de notions fondamentales et de compétences essentielles, favorisant la construction d'une forme de pensée leur permettant de se poser les bonnes questions, et dans le futur, de s'adapter aux évolutions rapides de l'informatique et du numérique. En particulier, on espère faire découvrir aux élèves qu'ils peuvent apporter des solutions efficaces aux problèmes qu'ils auront à résoudre en recourant à des outils (matériels ou conceptuels), démarches et méthodes adaptés.

2. Les principaux objectifs pédagogiques

2.1 Pourquoi l'enseignement ISN nécessite-t-il une pédagogie spécifique ?

Un enseignement des sciences du numérique et de rudiments d'informatique à des élèves de classe terminale représente un double défi :

- d'une part, faire découvrir un domaine des sciences et technologies ayant pour particularité de faire apparaître rapidement des situations et des problèmes complexes et au renouvellement rapide,
- et d'autre part, s'adresser à des élèves ayant une grande diversité de goûts, d'aptitudes et centres d'intérêt.

Par ailleurs, l'informatique a ceci de particulier de faire très rapidement appel à des démarches de passage à l'abstraction afin d'élaborer des solutions génériques à de grandes classes de problèmes, en combinaison une grande diversité de contextes d'application. Les élèves, qui ont aujourd'hui une connaissance pratique voire intuitive de ces contextes (tirée de la manipulation quotidienne des objets numériques), maîtrisent assez peu les concepts sous-jacents et ne sont généralement pas prêts à aborder directement l'abstraction.

La pédagogie proposée dans la spécialité ISN tentera, en premier lieu, d'apporter une réponse à ces enjeux de formation tout en permettant d'aborder l'ensemble des thématiques proposées dans le programme officiel, et en second lieu de permettre à chaque élève de progresser, sans se décourager face aux situations complexes qui ne manqueront pas d'apparaître.

Les réponses pédagogiques à ces défis sont diverses mais s'appuient généralement sur deux valeurs fortes :

- une mise en activité des élèves aussi fréquente que possible,
- et une alternance entre les temps consacrés aux notions fondamentales et ceux qui seront dédiés aux applications et aux projets.

2.2 Quelques principes didactiques

Animer les temps de cours

Un premier élément de réponse consiste à introduire les « cours » par l'observation d'une situation contextualisée. À titre d'exemple, la représentation binaire et les notions de bit, octet se comprennent mieux quand on observe une image numérique et qu'on s'interroge sur le contenu et l'organisation du fichier associé¹ ; l'étude du code ASCII (étendu ou non) fournit un autre contexte introductif intéressant.

Un second élément consiste à recourir fréquemment à diverses formes d'interactivité, obtenues en organisant les

¹ Il vaut évidemment mieux recourir, dans ce cadre, à un format non compressé (voir la ressource introductive sur les images numériques).

cours à partir de problèmes à résoudre, provoquant des temps de recherche avant d'en venir à un échange collectif puis à une formalisation de la ou des solution(s). À ce stade, il n'est pas indispensable de faire travailler les élèves sur des ordinateurs : le support « papier » peut être largement suffisant !²

Le troisième élément de réponse peut intervenir dès qu'un minimum de notions ont été introduites : il s'agit de mettre en place des activités où les démarches pratiques et actives sont l'enjeu principal (voir partie 4 page 7) tout en permettant de réelles prises d'initiative. La programmation peut être pratiquée dans ce cadre, conjointement aux manipulations effectives de logiciels (notamment graphiques, de saisie de données, de communication), de systèmes numériques ou encore de dispositifs matériels (interfaces, réseaux, robots, etc.).

Il est judicieux d'anticiper le déroulement de ces activités pratiques, car les dysfonctionnements survenant en pleine séance peuvent ruiner les meilleures idées³. Enfin, il est aussi souhaitable de s'en tenir à un effectif raisonnable pour ce type d'activités, sachant que la multiplicité des questions soulevées par les élèves peuvent rendre la tâche assez ardue ...

Gérer la complexité

Les situations les plus complexes peuvent faire obstacle aux apprentissages ; ainsi, l'étude des mécanismes d'adressage est délicate avec les seules explications de ce que représentent les constituants d'une adresse IP⁴. En revanche, une progression à partir des adresses postales ou des numéros de téléphone permet d'aborder la structure d'une adresse « lisible » comme les adresses de courrier électronique⁵, avant de pouvoir aborder les adresses IP dans un deuxième temps.

Il semble donc préférable de commencer par des approches simples et de complexifier progressivement. Ainsi, l'algorithme de Dijkstra est simple à concevoir et à présenter au tableau (ou en recherche individuelle ou par binômes) mais moins simple à programmer. Il vaut mieux commencer par une approche purement algorithmique « sur papier » et passer plus tard à la programmation.

Dans le contexte du développement de projets, il arrive que des élèves souhaitent réaliser un programme polyvalent (mais complexe) pouvant traiter une grande diversité de situations, ce qui risque d'amener un développement interminable. Une réorientation du projet vers la mise au point d'outils plus spécialisés mais plus simples est alors à envisager.

Mettre en avant les situations applicatives

Les élèves sont plus motivés lorsqu'ils comprennent le sens des apprentissages ! Sans verser dans l'utilitarisme, on peut s'efforcer de dégager un ou deux contextes applicatifs reliés aux thèmes en cours d'étude. Ainsi, l'étude de la liaison point à point (transmission sérielle) prend du sens lorsqu'on montre comment l'envoi de commandes spécifiques⁶ sur une liaison série permet de piloter un vidéoprojecteur ou tout autre dispositif du même genre.

À propos des situations applicatives, il est intéressant de faire apparaître que les objets et systèmes numériques se prêtent naturellement à la combinaison de plusieurs méthodes et outils, donnant souvent de meilleurs résultats que les démarches recourant à un objet, outil ou système unique. C'est ainsi que le traitement des images vectorielles peut se faire au sein d'un logiciel dédié (Inkscape convenant tout à fait) mais tout aussi bien en recourant partiellement à l'édition textuelle (par exemple au moyen d'un éditeur XML), voire les deux tour à tour.

Assurer une continuité dans les apprentissages

La diversité du programme ISN a pour contrepartie un certain risque de dispersion. En réponse, on peut parfois recourir au procédé dit du « fil rouge », qui consiste à articuler les illustrations autour d'une thématique commune déclinée selon divers aspects tout au long d'une période ; cela permet aux élèves de faire des liens entre les notions présentées et d'avoir une vue plus globale des interactions entre les différents domaines.

2 On peut éventuellement s'inspirer de la pédagogie utilisée dans les activités proposées par le site CS Unplugged (<http://csunplugged.org>, version française http://csunplugged.org/sites/default/files/books/CS_Unplugged-fr.pdf).

3 Malheureusement, et quoi qu'on fasse, les dysfonctionnements techniques surviennent de temps en temps. Vouloir remédier à un « bug » ou à une « panne » face à une classe ou à un groupe est d'autant moins aisé que l'attention consacrée à la résolution de l'incident ou du problème n'est pas disponible pour faire face à la classe.

4 Ce qui implique la maîtrise des notions d'octets, réseau, sous-réseau, masque binaire, etc.

5 Dégageant les notions de domaine et de site de celle d'individu sur un site, ainsi que les contraintes de syntaxe.

6 Ce sont généralement des commandes « AT ».

On peut illustrer cette idée avec le carnet d'adresses. Sous sa forme la plus simple, c'est un tableau dont les éléments sont des chaînes de caractères, pouvant être pris comme exemple de structure de données indexée (ou ordonnée) et permettant d'appliquer les notions de tableau et d'itération. Une évolution de la structure de données va faire apparaître des données hétérogènes (chaînes de caractères, nombres, booléens) et peut-être arborescentes. La problématique de la recherche d'une information va conduire naturellement aux algorithmes de tri. Enfin, le transport du carnet d'adresse sur un serveur distant va permettre de poser les questions liées à la supranationalité des réseaux et à la protection de la vie privée.

Placer au centre le volet « sociétal »

Les problèmes sociétaux rencontrés, qui concernent de plus en plus l'ensemble des citoyens dans leur vie quotidienne, sont aussi des éléments de motivation. Ils peuvent fournir des occasions de débats ou d'exposés d'élèves, offrant une ouverture très enrichissante vers d'autres disciplines : Philosophie, Histoire et Géographie, Droit, etc. Ces questions sont abordées en détail plus loin (voir 3.4 page 6).

2.3 Le rôle incontournable de la différenciation pédagogique

La diversité des connaissances et compétences initiales des élèves a déjà été signalée. Une réflexion approfondie sur cette question est proposée dans l'ouvrage de didactique de l'informatique de W. Hartmann, M. Näf, R. Reichert⁷, où l'on peut notamment lire ceci (page 68) :

L'enseignement selon un même modèle séquentiel répétitif ne tient pas compte des modes de pensée et des modes d'apprentissage différents et devient rapidement monotone. Chaque enseignant se doit de posséder un répertoire de méthodes d'enseignement différentes. Les méthodes particulièrement adaptées à l'enseignement de l'informatique sont celles qui personnalisent l'apprentissage et qui tiennent également compte des faits difficiles à assimiler et abstraits ainsi que des sujets présentant un niveau de détail très élevé.

La différenciation va pouvoir porter sur le niveau d'approfondissement ou sur le choix des situations applicatives comme des thèmes de projets ; elle va aussi pouvoir s'appuyer sur les centres d'intérêt personnels des élèves. Nous reviendrons sur ces questions plus loin (voir 3.2 page 5)

2.4 Le rapport à l'outil et à l'objet

Dans le cadre de l'enseignement ISN, les outils logiciels (souvent liés à la bureautique, au graphisme et à la communication) vont être d'un usage aussi naturel que le sont le cahier et le stylo ; l'usage de ces outils n'est pas le but premier de cet enseignement mais fera néanmoins partie du quotidien des élèves.

Plus généralement, une idée fondamentale est de favoriser la construction d'un rapport à l'outil qui soit intelligent et créatif (l'outil pouvant être un logiciel, un système complexe comme un réseau ou un système matériel comme une liaison point à point ou un robot) ; c'est ainsi que face à une situation nouvelle l'élève aura à définir un besoin et à chercher si un outil approprié existe déjà. La démarche comparative qui va le conduire à choisir l'outil (matériel ou logiciel) le plus approprié est formatrice. La question de l'équipement matériel est abordée plus loin (partie 7.2 page 11).

Au fil des séquences pratiques et de programmation, plutôt que de multiplier les outils mis en œuvre, il vaut mieux se limiter à quelques logiciels ou objets pertinents⁸ que les élèves seront susceptibles de retrouver au cours de la suite de leurs études ; en effet, les élèves ne disposeront que de deux heures hebdomadaires. Outre l'environnement de programmation choisi par le professeur (incluant un éditeur de textes efficace), la maîtrise de quelques logiciels généraux tels qu'un ensemble d'outils bureautiques, un éditeur de cartes heuristiques, un logiciel de dessin bitmap, simples à prendre en main, semblent constituer un socle adéquat pour construire des compétences durables.⁹ La question de l'équipement logiciel est traitée en détail plus loin (voir 7.3 page 12).

2.5 Une place importante pour les projets

Pour apporter une réponse concrète à l'hétérogénéité prévisible du groupe-classe, il est proposé de mettre en

7 W. Hartmann, M. Näf, R. Reichert, *Enseigner l'informatique*, Springer France (2012)
<http://www.springer.com/computer/book/978-2-8178-0261-9>

De manière générale, la lecture de ce livre par les professeurs intervenant en ISN est vivement recommandée.

8 Trois ou quatre peut-être ...

9 Une part de ces logiciels peut être trouvée sur le service SIALLE :

<http://www.cndp.fr/sialle/logiciels.php?niv=lycee&disc=ENSTSISN>

place un travail en équipe basé sur une pédagogie de projet et favorisant l'émergence d'une dynamique de groupe. Le développement des projets est formateur par :

- la valorisation de la créativité ;
- l'organisation d'un travail sur le « temps long », bien au-delà de la séance de travaux pratiques ou de la semaine thématique ;
- le développement d'une gestion efficace du temps par rapport à un échéancier ;
- la formalisation des contraintes liées à la répartition des tâches dans une équipe ;
- la valorisation de l'aboutissement d'un ouvrage collectif.

Le travail en équipe sur des projets développe la sociabilité, la communication ainsi que des compétences méthodologiques telles que la capacité à définir clairement des objectifs, puis à se donner les moyens de les atteindre ; tous ces objectifs sont pertinents pour l'enseignement supérieur.

Le travail par projets est abordé en détail plus loin (partie 4.3 page 7).

3. Trouver le juste équilibre dans la mise en œuvre du programme

3.1 Bref rappel : le programme

Le programme ISN¹⁰ est présenté sous la forme d'une combinaison de quatre grands champs de connaissances et d'expertises et combine des aspects théoriques avec une grande diversité de domaines d'application. La mise en œuvre de ce programme nécessite des choix et des arbitrages pour répondre aux attentes des élèves tout en leur apportant les contenus faisant partie de la formation.

3.2 Satisfaire tous les profils d'élèves

Prendre en compte la diversité des élèves

Les élèves sont des usagers du numérique depuis de nombreuses années¹, certains peuvent avoir déjà une bonne pratique de la programmation issue d'un auto-apprentissage, d'autres sont quasiment débutants dans ce domaine, ayant seulement eu une modeste initiation à l'algorithmique en classe de Mathématiques en Seconde. Gérer ces différences, tout particulièrement lorsque le groupe a une taille importante n'est pas toujours aisé.

C'est surtout le cadre des projets qui fournit une réponse adéquate à ces inégalités en donnant à chaque élève un rôle spécifique. Ce rôle, ou la rotation des rôles au sein des groupes projets, pourra ainsi participer à l'autonomie de l'élève.

Dans les autres activités, un niveau variable d'approfondissement peut être prévu ; c'est ainsi que la découverte des mécanismes de codage des caractères² peut être prolongée par une étude du système Unicode pour l'élève qui veut aller plus loin en s'interrogeant sur la diversité des langues qui règne sur le Web.

Prendre en compte la diversité des centres d'intérêt

Au-delà des différences d'aptitudes, les élèves peuvent avoir des appétences plus spécifiques pour certains domaines ; par exemple, certains élèves, intéressés par la musique, voudront approfondir le domaine de la compression et du traitement du son, tandis que d'autres s'occuperont plus volontiers de la création graphique, des jeux vidéo ou de l'assistance aux personnes (notamment en situation de handicap). Les projets permettent ainsi d'ouvrir la voie à un approfondissement des domaines préférés par les élèves, On peut également choisir des thèmes d'activités de classe tenant compte des centres d'intérêt de chacun.

Prendre en compte la diversité des projets d'orientation

Comme les autres enseignements de spécialité, l'enseignement ISN n'a pas pour but de diriger les élèves vers une suite d'études particulière, et doit avoir un sens pour tous les élèves qui s'y inscrivent quel que soit leur projet d'orientation. La conception des séquences pédagogiques peut tenir compte de ce fait et valoriser des contextes culturels assez larges, pouvant aborder des problématiques issues du monde de la santé, de l'environnement, du journalisme, du droit, etc.

¹⁰ http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=57572

3.3 Identifier les éléments fondamentaux de la formation

Les professeurs ne doivent pas perdre de vue les compétences et notions fondamentales qui ont le plus de chances de rester pertinentes six à huit ans plus tard, alors que les choix techniques auront largement évolué. Il est donc préférable d'articuler les séquences pédagogiques autour de **contenus et de méthodes pérennes**.

À titre d'exemple, l'étude du stockage d'informations sur les supports magnétiques pouvait avoir une certaine importance dans les années 80-90 alors que les disquettes et les disques durs étaient largement répandus. L'évolution vers un stockage sans pièces mécaniques¹¹ et les données réparties (dites « en nuage ») rend cette étude beaucoup moins pertinente. Il en est de même de la compression d'images par plages (qui fut largement utilisée dans le fax) et des images en couleurs indexées, etc. La même interrogation va bientôt concerner l'adressage par adresses IP sur 4 octets, en raison du passage inéluctable au protocole IPv6.

3.4 La dimension sociétale de l'enseignement

Le programme ISN inclut une dimension sociétale et juridique qui peut s'articuler avec de nombreuses thématiques afin de susciter une interrogation sur la « société numérique ». Quelques exemples de pistes de travail, non exhaustifs, permettent d'appréhender cette dynamique :

- La propriété intellectuelle et/ou industrielle mérite un traitement spécifique pouvant justifier une intervention avec un professeur de Philosophie ou un professeur intervenant en ECJS ; à partir d'extraits de textes de lois, on peut faire réfléchir les élèves sur les usages des œuvres que le numérique rend possibles et même faciles via le Web : accès immédiat à toutes sortes d'œuvres, brouillage de la notion d'auteur, facilité de publication (et donc de devenir auteur), etc. Un dossier voisin et tout aussi important est celui des licences logicielles, qu'il convient d'étudier en toute objectivité.
- Les aspects juridiques peuvent paraître ardu voire très ardu ; il revient cependant au professeur d'aider les élèves à comprendre que le développement de la législation sur les usages du numérique est quasi-inéluctable¹². Les enseignants chargés des cours d'économie-gestion et de l'enseignement de spécialité DGEMC peuvent apporter un éclairage juridique et pédagogique sur la présentation d'éléments de droit.
- Le droit à l'oubli est une notion plus récente que le droit d'auteur, pour laquelle l'entrée juridique n'est pas la plus appropriée. En co-intervention avec un professeur de Philosophie, il est possible d'amener les élèves à réfléchir sur les conditions et les limites philosophiques liées à la mémorisation de données issues d'échanges numériques. Cette mémorisation¹³ peut être due au besoin de préserver l'information mais aussi à l'archivage de messages ou au stockage technique d'informations ciblant les interlocuteurs, à des fins de réutilisation future (marketing, propagande, etc.) ; la prise en compte de la tension entre mémoire et oubli est dès lors essentielle et peut déboucher sur un intéressant débat.
- La notion « d'espace public » pourra aussi, par exemple, être abordée en travaillant en collaboration avec un professeur de Philosophie, par l'étude de la problématique liée aux échanges d'informations personnelles sur les réseaux sociaux. L'élève peut ainsi prendre conscience du fait que les informations qu'il transmet et reçoit transcendent la sphère naturelle des échanges privés et lui échappent en partie. En lien avec l'étude des réseaux¹⁴, on peut faire apparaître d'une part que la réciprocité des échanges est conditionnée par un facteur technique dont l'utilisateur ne perçoit pas totalement le mécanisme, et d'autre part qu'un grand nombre d'utilisateurs peuvent prendre connaissance de ce qu'on croit transmettre à un nombre de personnes limité.

On peut aussi demander à des élèves de préparer un court débat de classe autour d'une situation réelle d'usage des outils numériques, en rédigeant des argumentaires, et en rassemblant des références précises. Les élèves possédant déjà un certain bagage de programmation pourraient être spécialement sollicités à cet effet.

Au-delà de ces questions, l'impact socio-économique du développement des systèmes numériques mérite d'être abordé : modification des enjeux et des défis, transformation des métiers, altération des taux de rentabilité, remise en cause des processus de production, création de nouveaux métiers ...

11 Disques SSD

12 Le Parlement légifère sur ces questions au rythme (actuel) d'une loi tous les deux ans !

13 La mémorisation durable est également nommée « persistance de l'information numérique ».

14 Il s'agit ici surtout des réseaux sociaux, mais il convient de rappeler qu'il n'y aurait pas de réseaux sociaux sans réseaux tout court.

4. Mettre les élèves en activité : quelques d'approches

4.1 Les exercices d'application

Les séances d'activités pratiques et d'exercices peuvent être rythmées sur des temps assez courts (de 20 à 30 minutes¹⁵), l'enseignant proposant ensuite aux élèves un approfondissement individuel par le biais d'exercices personnalisés sur l'ordinateur. En procédant de la sorte, le professeur dispose de plus de temps pour répondre aux questions individuelles.

4.2 Les séquences thématiques

Une progression, aussi individualisée que nécessaire, autour d'une thématique ou d'une notion venant d'être présentée, peut être développée¹⁶. En articulant les situations d'application autour d'un même contexte (c'est le « fil rouge ») on parvient à susciter davantage d'intérêt et d'engagement chez les élèves, quitte à proposer ensuite des prolongements de façon à gérer l'hétérogénéité.

4.3 La pédagogie des projets

À propos de la position du professeur

Durant les séances consacrées au développement des projets, le professeur adopte une démarche de coordonnateur ou de chef de projet. Les élèves trouvent alors l'occasion de valoriser leurs apprentissages, et d'acquérir des compétences.

Dans l'encadrement d'un projet, le professeur met systématiquement ses élèves en position de recherche, même s'il peut orienter et accompagner les recherches des élèves.

Pour guider les équipes-projet vers une réalisation qui leur soit propre et aboutisse en temps voulu, il peut être nécessaire de clarifier plusieurs points avec les élèves :

- le rôle du pilote de projet, c'est-à-dire celui qui coordonne les travaux au sein d'une équipe.
- la notion de « maquette » (version limitée du projet, suggérant une faisabilité, une direction à suivre, et permettant d'affiner le cahier des charges et/ou l'échéancier, et d'éviter toute fuite en avant)
- la démarche documentaire, qui va devoir réaliser une recherche des sources d'information jugées fiables et adaptées au thème du projet (voir ci-dessous).

Et le professeur pourra demander :

- le respect du cahier des charges, destiné à préciser ce qui est attendu, les fonctionnalités à développer, les exigences minimales au plan de la qualité et notamment de l'interface homme-machine (IHM), etc.
- les rendez-vous de bilan, destinés à préciser l'avancement du projet, requalifier certains de ses aspects si nécessaire, signaler des dimensions ayant été négligées ou mal perçues, etc.
- et l'échéancier, précisant à quels moments l'essentiel du développement doit être achevé, puis un premier exposé réalisé.

Enfin, il faudra prendre la décision d'achèvement du projet, ce qui est toujours une question redoutable en informatique !

La recherche documentaire

La recherche documentaire est une dimension incontournable de tout projet (que ce soit pour récupérer des spécifications techniques, prendre connaissance de solutions classiques, éviter de réinventer ce qui est déjà connu depuis longtemps, etc.).

Les documentations « papier » ne sont pas fort nombreuses dans le domaine de l'informatique mais il existe quelques ouvrages fondamentaux qui peuvent rendre service au professeur, tout particulièrement dans le domaine de l'algorithmique.

Face à la grande abondance d'informations disponibles sur le Web dans le domaine des sciences du numérique, il peut s'avérer nécessaire de guider quelque peu le travail personnel des élèves en leur apprenant à choisir l'infor-

15 Il s'agit de ce que Hartmann, Näf, Reichert nomment la « méthode expérimentale » (pp. 69 et 87 op.cit.).

16 Cette forme pédagogique est nommée « programme dirigé » dans l'ouvrage précité (pp. 87, 88).

mation la plus fiable et la plus pertinente en réponse à un besoin de renseignements ; le site documentaire SILO¹⁷ peut grandement aider dans ce sens.

De manière générale, les documentations numériques accessibles sur le Web sont de qualité très inégale, et les élèves ne savent pas toujours faire la différence entre une documentation originale et de bonne qualité et une copie stockée dans une « ferme de contenus » dans le seul but d'augmenter le nombre de visites.¹⁸ Quoi qu'il en soit, les élèves seront amenés à visiter nombre de sites et à faire preuve d'exigence face à leurs découvertes.

Le travail collaboratif

Le travail collaboratif induit la nécessité de structurer l'ensemble des productions d'une équipe, nécessitant la mise à disposition d'espaces numériques collaboratifs¹⁹ qui permettent aussi au professeur de suivre l'avancement du projet et ainsi de formuler des conseils efficaces au moment opportun.

Le choix des thèmes

Les projets et mini-projets réalisés par les élèves constituent un apprentissage fondamental. Les thèmes peuvent être très variés et différenciés suivant les groupes. Par contre, ils doivent être d'objectifs modestes et réalisables dans un temps limité, afin de ne pas empiéter sur les autres disciplines.

Les thèmes choisis sont importants et gagnent à répondre, dans la mesure du possible, à des problématiques issues d'autres disciplines, mais ils ont d'abord pour but d'imaginer des solutions répondant à l'expression d'un besoin.

Les projets, de manière non exclusive

Lors de la conduite de projets, il est possible de mener un travail en parallèle sur d'autres notions tout en veillant à donner suffisamment de temps aux élèves pour gérer leurs projets. Par ailleurs, le travail en groupes ou en équipes peut aussi être adopté dans le cadre de sujets de nature plus ponctuelle en recourant à une répartition de l'étude sur plusieurs groupes opérant en parallèle.²⁰

5. Une approche pluridisciplinaire associée à l'intervention d'experts

Le domaine informatique étant, par nature, transversal à toutes sortes de secteurs d'application, il convient d'envisager un travail pluridisciplinaire. La complémentarité des approches, associée à la richesse d'un travail collaboratif, peuvent jouer un rôle très stimulant pour les élèves, comme pour les équipes pédagogiques engagées dans cette dynamique.

Les matières scientifiques abordées en série scientifique peuvent permettre de donner un éclairage complémentaire d'une notion. Par exemple :

- les « briques de base » des algorithmes (variables, instructions conditionnelles, itération) sont présentées en Mathématiques dès la classe de Seconde ;
- la lumière et le traitement des images sont abordés en Sciences Physiques et Chimiques ; les images satellitaires ou issues d'IRM le sont en Sciences de la Vie et de la Terre ;
- la robotique est en lien avec l'enseignement de Sciences de l'Ingénieur ;
- l'analyse des signaux sur une liaison série relève à la fois de la Physique et des Sciences de l'Ingénieur ;
- d'autres domaines, plus précis, peuvent être découverts comme l'analyse linguistique en lien avec le Traitement Automatique de la Langue Naturelle (TALN), qui fait grand usage de statistiques et de probabilités conditionnelles (Mathématiques) ;
- tout le domaine des licences et du droit recoupe en partie l'Enseignement Civique Juridique et Social (thèmes vus en classe de Seconde : droit et vie en société, le citoyen et la loi, le citoyen et la justice), ainsi que les techniques documentaires que le professeur-documentaliste peut présenter en situation ;
- enfin, de nombreuses thématiques abordées en ISN rencontrent les grandes questions abordées en Philo-

17 <http://science-info-lycee.fr/>

18 Sans aller jusqu'à l'attitude extrême qui consisterait à n'accepter que les RFC (*Requests for Comments*) comme source fiable ...

19 Les ENT peuvent servir à cela quand leur fonctionnement est suffisamment souple.

20 Cette approche est aussi nommée « mosaïque » ou « puzzle ».

sophie ; il en est ainsi de la conscience et de la mémoire (qui sont mises en question par la persistance des données numériques), des relations de l'individu face au groupe (influencées par la participation aux échanges électroniques et aux réseaux sociaux), des rapports complexes du droit et de l'éthique (en particulier à propos de l'évolution des droits d'usage et de propriété sur les objets et systèmes immatériels) sans oublier la logique elle-même.

La diversité de ces questions justifie de faire intervenir (aussi souvent que possible) des enseignants d'autres disciplines voire, plus exceptionnellement et lorsque cela s'avère nécessaire, des experts extérieurs pour aborder des domaines spécifiques.

6. Évaluer les élèves

6.1 Les compétences

Les objectifs de l'enseignement ISN sont exprimés en termes de compétences : analyser, réaliser, collaborer, communiquer, etc. Les savoirs et savoir-faire sous-jacents se rattachent à ces diverses compétences : l'essentiel est que les élèves, à l'issue de l'année de formation, soient capables de résoudre des problèmes simples s'exprimant en termes de données ou de systèmes numériques.

6.2 La grille de compétences

L'évaluation de la progression des élèves en ISN correspond essentiellement à une évaluation des compétences, selon une grille publiée au BOEN²¹ et qui s'impose aussi bien pour le remplissage du livret scolaire que pour l'évaluation de l'épreuve comptant pour le baccalauréat. Il peut être intéressant de se servir de la grille pour effectuer un suivi des acquisitions de compétences par les élèves.

Cette grille est basée sur cinq grandes compétences :

C1 : Décrire et expliquer une situation, un système ou un programme

C2 : Concevoir et réaliser une solution informatique en réponse à un problème

C3 : Collaborer efficacement au sein d'une équipe dans le cadre d'un projet

C4 : Communiquer à l'écrit et à l'oral

C5 : Faire un usage responsable des sciences du numérique en ayant conscience des problèmes sociétaux induits

Ces compétences sont associées à des capacités correspondant à des démarches plus spécifiques dans des contextes particuliers, dont l'observation permet de juger du niveau de maîtrise atteint par l'élève relativement à chacune des compétences C1 à C5. Les ressources pédagogiques associées à ce document comportent toutes une indication des compétences mises en jeu et des capacités qui permettent de repérer ces compétences en situation ; en s'appuyant sur les scénarios proposés et en les adaptant, le professeur pourra disposer d'éléments d'évaluations assez précis.

La compétence C5 est un peu différente des autres, s'agissant d'un « savoir-être » plus que d'un « savoir-faire ». En tant que telle, on ne peut l'évaluer convenablement lors d'une épreuve ponctuelle ; c'est pourquoi son évaluation a été spécifiée dans le livret scolaire mais non dans la grille destinée à l'épreuve d'examen.

6.3 Quelques exemples de situations d'évaluation

Les devoirs en temps limité, sur feuille et sans autre support

Ce type de devoir se prête surtout à l'évaluation de la partie algorithmique du programme, les questions posées consistant essentiellement à concevoir un (court) algorithme en réponse à un problème donné, ou à analyser le fonctionnement ou les effets d'un algorithme fourni (en pseudo-code), ou encore de compléter une partie d'un algorithme que l'on aura laissée vierge.

Ce type de devoir met essentiellement en jeu les compétences C1 et C2 mais, habilement formulé, peut faire intervenir la compétence C4.

Les épreuves pratiques en temps limité, sur machines

Il s'agit là de proposer aux élèves de venir à bout de tâches contraintes et précises comme la programmation d'un algorithme, la création d'une page web répondant à un certain nombre de spécifications, etc. Les

21 Voir ici : http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=57489 et là : http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=59864

compétences C2 et C4 sont ici impliquées.

De l'avis de la plupart des professeurs ayant tenté d'organiser ce type d'épreuve, les « effets secondaires » (et indésirables) sont assez importants : stress des élèves, valorisation de la vitesse au détriment d'une approche réflexive, forte dépendance vis-à-vis des erreurs minimales et importance attribuée à la correction syntaxique parfois au détriment des questions de qualité d'interface, etc.

Les travaux pratiques de programmation et de développement, en temps libre et les mini-projets

Ces situations conduisent les élèves à réaliser, dans un laps de temps variable, une production informatique dont la qualité est à évaluer. Les critères d'évaluation suivants, initialement conçus pour l'évaluation de programmes interactifs et de pages web dynamiques, peuvent être utiles dans ce but moyennant une forte adaptation aux conditions pédagogiques imposées par la classe, la période, les choix de l'enseignant etc.

Respect des standards (C2) :

- Code-source : les indentations sont-elles correctes, les variables ont-elles des noms explicites ? Des commentaires précisent-ils le but visé ?
- Page web : les en-têtes précisent-ils la nature et la fonction de la page ainsi que le public visé ?

Correction (C2) :

- Le programme fonctionne-t-il toujours (pour toutes sortes de données), quelquefois ou jamais ?
- La page web est-elle acceptée par le validateur W3C ?

Qualité de la programmation (C2) :

- Est-ce que le projet/la page utilise bien (élégamment) les particularités du langage ?

Efficacité (C2) :

- Le code est-il rapide à l'exécution ?
- Le message véhiculé par la page est-il clair et compréhensible ?

Interface utilisateur (C4) :

- Est-elle claire et facile à gérer ?
- Les zones de contrôle (clicables) sont-elles bien marquées et séparées ?
- Les entrées au clavier sont-elles bien interprétées ?

Collaboration (C3) :

- Qualité de l'interaction en équipe : l'équipe a-t-elle œuvré avec des rôles bien définis, dans le temps imparti ?

Design (C4) :

- Les affichages sont-ils corrects, disposés de manière logique, sans équivoque possible ?
- Les éléments visuels ont-ils fait l'objet d'une recherche plus ou moins originale ?

Les exposés menés face à la classe










Il s'agit là pour les élèves, seuls ou en petits groupes, de mener une recherche documentaire et une réflexion sur un sujet donné avant d'en présenter les grandes lignes, problématiques et éléments saillants face à la classe. Les compétences C4 et C5 sont évidemment mises en jeu, la compétence C3 l'étant si l'exposé est préparé et réalisé à plusieurs.

7. Organisation pratique de l'enseignement

7.1 Gestion du calendrier

Un rythme annuel efficace pourrait être construit autour de cinq périodes, rythmées par les vacances scolaires, permettant de créer une dynamique, de motiver les élèves, et de développer leur autonomie.

Le tableau ci-dessous précise les temps forts de cette organisation de l'année, sans préjuger de la mise en œuvre pédagogique.

Périodes →	Première période	Deuxième période	Troisième période	Quatrième période	Cinquième période
Contenus théoriques et activités pratiques complémentaires					
Mini-projet s'appuyant sur des situations partiellement rencontrées					
Projet : délimitation, première phase, ajustement, finition					

Le travail en équipe est centré autour de la réalisation de projets de complexité adaptée, et à difficulté croissante et progressive dans l'année, en particulier dans l'organisation du mini-projet de la deuxième période. La proposition de différentes solutions, et leur comparaison critique pourraient être le fondement de la didactique.

Enfin, pour la passation de l'épreuve « en cours d'année », les projets devraient être achevés au moins trois semaines avant afin que les élèves aient l'occasion de réaliser la présentation de leurs démarches et résultats « à blanc » face à la classe.

7.2 Équipement matériel

L'enseignement ISN est dispensé dans une salle de cours, ou une salle de travaux pratiques, ou une salle de type « amphithéâtre » permettant la mise en œuvre de débats et d'échanges de qualité.

La salle réservée aux travaux pratiques et à la réalisation de projets doit permettre aux professeurs d'enseigner les bases et notions théoriques fondamentales, avec un recours possible aux outils numériques de présentations adaptés. Un environnement numérique suffisamment ouvert sera choisi pour favoriser la dynamique de projets, porteuse de sens en matière de socialisation (travail collaboratif), accompagnant l'élève dans la conquête de l'autonomie et dans sa démarche de créativité.

La salle de classe est équipée d'un poste connecté au web et à un vidéoprojecteur, muni des logiciels requis. Pour les travaux pratiques, il faut évidemment un nombre suffisant de postes installés, sans qu'il y ait à se référer à une règle stricte.

Le travail pratique va fréquemment amener des besoins d'installation de logiciels, même pour une seule séance. Or, la plupart des systèmes d'exploitation des ordinateurs des lycées sont ainsi réglés qu'il est impossible d'installer certains (voire tous les) logiciels, ce qui peut s'avérer bloquant. Il est donc nécessaire de mener une réflexion sur ce sujet, avec pour but de fournir aux élèves et aux professeurs, dans le cadre de l'enseignement ISN, un système d'exploitation confortable, sécurisé et permettant un certain nombre d'actions système telles que les installations de logiciels.

Plusieurs pistes (non exclusives) peuvent être suivies pour cette réflexion :

1. Envisager de recycler des machines un peu usagées afin de les dédier à ISN (les travaux pratiques et projets ne devraient normalement pas réclamer des ordinateurs récents ni de grande puissance). On peut même envisager d'ouvrir et de démonter, puis remonter une ou deux machines en présence des élèves, puis de les connecter en un réseau indépendant du réseau pédagogique, avec un système d'exploitation adapté (Linux convient tout à fait à ce genre d'usage).
2. S'accommoder du système et du réseau existants, en créant des comptes spéciaux pour les élèves inscrits en ISN, comptes ayant un peu plus de droits que les autres. Cette approche pose des problèmes de sécurité.
3. Travailler avec des clés USB amorçables (à condition d'autoriser l'amorçage sur des périphériques externes). Le système est alors celui qui est contenu dans les clés (préalablement déterminé par le professeur), et l'accès à Internet se fait directement (par la passerelle), sans aucun réseau. Ce type de so-

lution est maintenant bien au point, voir :

www.linuxliveusb.com/fr ou clefagreg.dnsalias.org

(la convergence de ces deux approches est en cours).

L'intérêt est de permettre aux élèves d'avoir exactement la même configuration au lycée et chez eux.

L'approche « clés USB » présente aussi quelques inconvénients : une certaine fragilité d'abord (l'élève risque de perdre ou de détériorer sa clé et son propre travail avec), puis un risque pour les machines-hôtes si un élève habile mais indelicat s'avise d'accéder au disque dur interne depuis le système lancé sur la clé.

4. Utiliser une virtualisation : on installe le système VirtualBox (<https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>) sur les machines du lycée, ce qui permet ensuite de lancer un second système d'exploitation, spécifique pour ISN. Le document suivant explique la démarche : www.malekal.com/2010/11/12/tutorial-et-guide-system-virtualbox

Ce système permet également aux élèves de travailler chez eux sur le même état de la machine virtuelle, donc exactement dans les mêmes conditions qu'au lycée. Il permet aussi d'éviter plusieurs problèmes de sécurité.

5. Imaginer de passer commande d'une série de nano-ordinateurs sur lesquelles on branche les claviers, écrans, souris et autres câbles à la demande. De tels objets commencent à se répandre, par exemple : www.raspberrypi.org
www.solid-run.com/products/cubox
www.cstick.com

Cette solution présente un avantage inattendu : son faible coût est rapidement amorti par l'économie d'électricité réalisée.

7.3 Équipement logiciel

Pour travailler confortablement et efficacement, il est utile de mettre à la disposition des élèves un certain nombre de logiciels polyvalents ou spécialisés mais dont les fonctionnalités concourent à la réalisation de projets complexes. La quasi-totalité des logiciels adéquats sont des logiciels libres et tous sont gratuits, condition essentielle pour assurer aux élèves la possibilité d'avoir accès, **légalement et sans limitation**, aux mêmes logiciels chez eux et dans l'établissement. De fait, la quasi-totalité de ces logiciels peut fonctionner indifféremment sur les trois systèmes d'exploitation les plus répandus actuellement.²²

On peut donc envisager l'installation de tout ou partie des logiciels de la liste suivante :

1. Un ou deux langages de programmation. Les choix les plus courants sont Java's Cool (www.cndp.fr/sialle/fiche-detaillee-java-s-cool-380.php) et Python (www.cndp.fr/sialle/fiche-detaillee-python-381.php) ; d'autres choix sont tout à fait possibles comme Ruby (www.ruby-lang.org/fr), Scala (www.scala-lang.org), Processing (processing.org), etc.
2. Un très bon éditeur de textes, Notepad++ (notepad-plus-plus.org) semblant recueillir de nombreux suffrages mais ne fonctionnant que dans un système Windows ; avec Linux on peut essayer Geany (www.geany.org) ou Kate (kate-editor.org/about-kate) ou Bluefish (bluefish.openoffice.nl).
3. Un tableur (utile pour de nombreux traitements), voir www.cndp.fr/sialle/fiche-detaillee-gnumeric-317.php et www.cndp.fr/sialle/fiche-detaillee-openoffice.org-calc-351.php (il y a des versions plus récentes et Libreoffice).
4. Un bon logiciel de traitement d'images bitmap, GIMP (gimp.org) étant recommandé. À ne pas confondre avec une visionneuse rapide et commode, également fort utile ; XnView (www.xnview.com) peut faire l'affaire (gratuit mais non libre), on peut aussi apprécier GwenView (gwenview.sourceforge.net/overview) et Evince (projects.gnome.org/evince).
5. Un logiciel de suivi des trames sur le réseau, Wireshark (www.cndp.fr/sialle/fiche-detaillee-wireshark-384.php) convient très bien.
6. Au moins deux navigateurs différents, par exemple : Firefox (avec quelques extensions comme Fire-

²² Apple OSX, Linux, Microsoft Windows pour les nommer.

bug), Chrome (ou Chromium), Opera. Le fait de disposer de deux navigateurs différents permet de bien comprendre les problèmes de rendu de pages HTML ainsi que de simuler les relations clients/serveur.

7. Un serveur web en local (=Apache).

Les logiciels qui suivent sont des compléments utiles.

8. Un bon logiciel de traitement d'images vectorielles, Inkscape (www.cndp.fr/sialle/fiche-detaillee-inkscape-319.php) étant approprié.
9. Un bon logiciel d'édition hexadécimale, tâche pour laquelle aucun logiciel ne semble s'imposer définitivement ; essayer FrHed (frhed.sourceforge.net), HxD (mh-nexus.de/en/hxd), wxHexEditor (www.wxhexeditor.org), Ghex (live.gnome.org/Ghex), HexEdit (sourceforge.net/projects/hexplorer), Okteta (utils.kde.org/projects/okteta), XVI32 (www.chmaas.handshake.de/delphi/freeware/xvi32/xvi32.htm).
10. GraphBench permet une visualisation pas à pas et graphique du fonctionnement d'algorithmes classiques sur les graphes (www.swisseduc.ch/compscience/graphbench).
11. Un moyen efficace de partage de dossiers à distance ; les ENT peuvent rendre ce service au prix d'une certaine lourdeur parfois.
12. Un système efficace de publication et de gestion de contenus (CMS) ; si l'ENT permet de publier facilement des pages web, c'est la meilleure solution mais si ce n'est pas le cas il faut peut-être envisager d'installer un CMS au moins sur le réseau local.

7.4 Les spécificités liées à l'enseignement des réseaux

On rappelle que le volet technologique de l'étude des réseaux (liaison série, analyse de trames, analyse du trajet d'un courriel) est optionnel et sera traité selon l'équipement de l'établissement et les choix pédagogiques de l'enseignant.

L'enseignement de la partie du programme consacrée à l'étude des réseaux nécessite, pour la mise en œuvre d'activités pratiques, de disposer de machines sur lesquelles les élèves pourront intervenir, tant sur le plan matériel que logiciel. En effet, l'apprentissage des réseaux par la pratique nécessite un accès aux connecteurs RJ45, SUBD-9 ou USB généralement situés à l'arrière des ordinateurs, mais aussi, aux différents menus ou fichiers de configuration réseau.

L'étude de la liaison point à point est assez simple à réaliser sous réserve de pouvoir connecter des câbles (généralement de type null-modem) entre deux machines équipées d'une sortie série, mais peut aussi se faire, par l'utilisation d'un câble droit, entre un ordinateur et un périphérique du type vidéoprojecteur, GPS, modem GPRS, ou tout autre dispositif pilotable par liaison série RS232. Ces montages peuvent être plus aisément installés dans le cadre du laboratoire de Sciences Physiques ou de Sciences de l'Ingénieur.

Pour illustrer les notions d'adressage, trames, paquets, protocoles et routage, il est souhaitable de pouvoir observer la circulation de l'information sur un réseau ; ce qui nécessite de disposer d'un réseau fonctionnel et de quelques outils logiciels (ping, traceroute, Wireshark). Il existe des solutions de type « réseau virtuel » mais elles ne sont sans doute pas pédagogiquement efficaces, du moins en utilisation exclusive ; en complément d'une première exploration d'un réseau réel, le réseau virtuel présente l'intérêt d'autoriser toutes sortes de manipulations usuellement impossibles pour des raisons de sécurité.

7.5 L'initiation à la robotique

Comme pour les réseaux, on rappelle que cette partie est optionnelle.

L'initiation à la robotique vise à consolider l'acquisition des notions et compétences fondamentales avec une dimension physique qui renouvelle le concept d'algorithme puisque le mouvement du robot est rarement identique au mouvement prévu et commandé. Ce premier contact avec un domaine très actuel mais potentiellement complexe passe par l'acquisition de robots ou mini-robots interfaçables avec un ordinateur (ou un téléphone), et programmables à l'aide d'un environnement de développement suffisamment ouvert. Pour étaler les investissements et permettre le renouvellement des projets et des défis proposés aux élèves, on privilégie l'achat de « kits » permettant de construire des robots évolutifs. Une liste assez complète des matériels disponibles se trouve dans la page consacrée à ce sujet sur le SILO :

<https://wiki.inria.fr/sciencinfolycee/Robotique>

Dans les établissements qui proposent l'option Sciences de l'Ingénieur, l'utilisation du laboratoire de SI peut permettre la mise en œuvre de robots relativement élaborés. Pour les lycées généraux, l'initiation à la robotique peut aussi favoriser la mutualisation des compétences et des équipements, dans le cadre d'un partenariat inter-établissements. Il existe, par ailleurs, des robots de très petite taille et de petit prix qui, sur le plan didactique, sont tout à fait intéressants même s'ils ne permettent pas de prendre conscience des mêmes problématiques que ne le feraient des robots plus évolués mais aussi plus complexes.

Un robot interagit en permanence avec l'environnement physique dans lequel il se trouve. De fait, pour donner davantage de sens aux activités proposées aux élèves, et les aider dans le choix des différents capteurs et actionneurs à interfacer avec le robot qui leur est fourni, la connaissance des programmes de Mathématiques, de Sciences Physiques et Chimiques et de Sciences de la Vie et de la Terre est utile aux professeurs intervenant en ISN.

8. Références

- Le livre de référence en didactique de l'informatique :
W. Hartmann, M. Näf, R. Reichert, Enseigner l'informatique, Springer France (2012) voir en ligne :
www.springer.com/computer/book/978-2-8178-0261-9
Pour ceux qui lisent l'allemand, il est intéressant de visiter le « site compagnon » du livre :
www.swisseduc.ch/informatik-didaktik/informatikunterricht-planen-durchfuehren
- Une introduction à la science informatique pour les enseignants de la discipline en lycée (ouvrage collectif publié par le CRDP de Paris sous la direction de Gilles Dowek), voir en ligne :
www.sceren.com/cyber-librairie-cndp.aspx?l=introduction-a-la-science-informatique&prod=455572
Les chapitres du livre sont également consultables en ligne.
- Sur le site SILO, deux pages importantes à consulter :
https://wiki.inria.fr/sciencinfolycee/Pour_se_former:_contenus_et_m%C3%A9thodes
https://wiki.inria.fr/sciencinfolycee/Pour_pr%C3%A9parer,_illustrer_des_cours

9. Auteurs

Robert Cabane, IGEN

Eric Garnier, Loïc Le Gouzougec, Gilles Ollivier, IA-IPR