

UN BAGAGE SCIENTIFIQUE POUR TOUS LES LYCÉENS¹

Quel est le bagage scientifique que tout bachelier général, technologique, professionnel devrait avoir acquis à l'issue de sa scolarité au lycée ?

- Démarche scientifique : un bachelier doit comprendre et mettre en pratique de vraies démarches scientifiques, ce qui passe par l'apprentissage de la modélisation (partir d'une situation, la modéliser, tester et critiquer le modèle, revenir à la situation initiale). Cela permettra à chacun de maîtriser la démarche scientifique, dans la diversité de ses approches, pour développer à la fois curiosité et créativité mais aussi rigueur et mémorisation.
- Outils et concepts : un bachelier doit maîtriser les outils pour la mise en œuvre de ces démarches scientifiques (calculs algébrique et numérique, statistiques, fonctions mathématiques, algorithmes, observation, schématisation et manipulation).
- Argumentation : un bachelier doit être capable d'argumenter pour convaincre – et se convaincre – de la justesse de ses affirmations, par la démonstration et la validation expérimentale. Tout bachelier doit avoir de bonnes bases en logique et un bagage épistémologique lui permettant de comprendre la spécificité du savoir scientifique et l'évolution des idées.

On propose dans ce texte les objectifs et des éléments de contenu d'un bagage scientifique cohérent pour tous les bacheliers, quelle que soit leur orientation. Ces propositions sont destinées à être déclinées suivant les publics concernés.

Pour des questions de lisibilité, ce document est divisé en plusieurs parties, mais les notions des diverses sciences ne prennent réellement sens pour les élèves que si elles sont mises en relation. Un bon enseignement scientifique doit être conçu en interdisciplinarité et dispensé par des spécialistes.

Ce bagage s'inscrit dans la continuité du programme du collège (socle commun). Aujourd'hui, le manque de pratique pendant les années de lycée aboutit à un affaiblissement des connaissances scientifiques acquises au collège. Aussi notre proposition insiste sur un usage régulier, un approfondissement des connaissances et leur mise en relation.

Une pratique scientifique plus approfondie est nécessaire pour permettre de mobiliser les compétences et connaissances indispensables aujourd'hui. L'exercice de la citoyenneté exige un bagage scientifique dans des domaines aussi variés que l'énergie, la santé, l'environnement ou les big data. Les disciplines scientifiques ne sont pas réservées à des spécialistes qui s'intéresseraient à la mise au point de techniques ou d'innovations technologiques. Apprendre à distinguer une observation d'une interprétation, à formaliser, à comprendre comment on construit un modèle scientifique, à distinguer corrélation et causalité sont des exemples de ce que doit viser un apprentissage de sciences pour une culture commune.

Partie 1 — Bagage mathématique pour tous

¹ Ce texte a été rédigé par le « Groupe interdisciplinaires sur l'enseignement des sciences au lycée » qui rassemble des représentants des associations et sociétés savantes suivantes : la CFEM, Commission Française pour l'Enseignement de Mathématiques (avec la SMF, Société Mathématiques de France, la SMAI, Société de mathématiques Appliquées et Industrielles, la SFdS, Société Française de Statistiques, l'ADIREM, l'Association des Directeurs des Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, l'APMEP, Association des Professeurs de Mathématiques, l'UPS, l'Union des Professeurs de Classes Préparatoires Scientifiques), la SIF, Société Informatique de France, l'UdPPC, Union des Professeurs de Physique et Chimie, la SFP, la Société Française de Physique, SCF, Société Chimique de France, l'UPA, Association des Professeurs de classes préparatoires Bio, l'APBG (Association des Professeurs de Biologie et Géologie).

- savoir travailler avec des nombres : capacité de faire des calculs, d'écrire les nombres sous diverses formes (décimal, fraction, pourcentages, format scientifique, racines carrées...), d'en comprendre le sens (ordre de grandeur, chiffres significatifs, calculs approchés)
- savoir travailler avec des lettres (identités remarquables, équation du premier degré à une inconnue, formules des déclarations d'impôt...). Notions mathématiques de variable, paramètre.
- identifier une relation fonctionnelle, en particulier de proportionnalité (cadre discret ou continu) : dans une situation concrète, à partir d'un graphique, à partir d'une formule simple [voir le document d'illustrations].
- sens de variation d'une fonction, taux d'accroissement [voir le document d'illustrations].
- notions de géométrie (euclidienne), et capacité à interpréter géométriquement les notions précédentes [multiplier un nombre par un autre nombre peut renvoyer un nombre plus petit, vision géométrique d'une dépendance affine]. Thalès, Pythagore et calcul de distance, cercle, aire, périmètre, volume...
- notions de probabilités et de statistique : médiane, moyenne, quantiles ; mesures de dispersion ; notion de fluctuation due au hasard (rôle de la taille de l'échantillon dans une prise de décision ou un sondage, adéquation d'un modèle), notion de corrélation, et différence avec la causalité (utilisation dans le raisonnement) ;
- exemples simples de dénombrement, en lien avec l'informatique et les probabilités [voir le document d'illustrations : produit cartésien, partition...].
- notions de base sur le raisonnement mathématique (preuve vs contre-exemple). Connecteurs logiques (et, ou, non, en lien avec les instructions conditionnelles des langages de programmation).

Toutes ces notions devront être utilisées à l'occasion de démarches de modélisation dans des domaines divers (les modélisations possibles et intéressantes sont trop nombreuses pour pouvoir être énumérées dans ce document, et même dans un programme) et dans d'autres disciplines. Des exemples de démarches en mathématiques et dans d'autres disciplines devraient faire l'objet d'un document ressource (dont de grandes parties doivent déjà exister). La pratique interdisciplinaire, en particulier (mais pas seulement) avec les autres sciences (physique et informatique au premier chef) est essentielle pour arriver à des connaissances durables et mobilisables.

Quelques exemples possibles :

- Notions mathématiques en lien avec l'économie et la démographie: revenu médian et moyen, diverses formules de calcul des impôts (taux moyen et taux marginal), pourcentages (réduire de 20%, c'est multiplier par 0,8; augmenter de 20%, c'est multiplier par 1,2, et ce n'est pas l'opération inverse ; si A gagne 20% de moins que B, alors B gagne 25% de plus que A...), multiples formes d'évolutions temporelles comme exemples de fonctions (démographie, économie, inflation, croissance...), notion de variation et de variation relative, pyramide des âges, taux de natalité, de mortalité, de fécondité... La définition explicite et le simple calcul de ces quantités est un exercice de mathématique non trivial pour l'acquisition de plusieurs points du socle, et utile du point de vue citoyen.
- Notions élémentaires de physique : longueurs, aires, volumes et masse ; levier et centre de gravité ; éléments de base sur l'électricité (tension et intensité) ; décomposition radioactive et suite géométrique... Une proportion notable des élèves sortant de collège

ne font pas la différence entre la suite $2n$ et la suite 2^n . Vitesse, temps et distance d'arrêt, expression dans diverses unités. Interprétation géométrique d'une suite géométrique par agrandissement ou réduction itérée.

- Lien algèbre/géométrie : interprétation géométrique de la somme et du produit, de la distributivité, des identités remarquables, droites et applications linéaires; distance entre deux points dans un quadrillage (distance de Manhattan) et Pythagore. Si la résolution de l'équation du premier degré est au programme du collège, l'expérience montre que les élèves de lycée ont du mal à reconnaître les situations qui en relèvent.
- Exemples informatiques : taille de mémoire (disques durs) et de données; coût algorithmique : recherche dans une liste triée et non triée, tri (pour détermination d'une médiane ou de quantiles par exemple), exploration statistique de données massives.
- Le travail sur corrélation et causalité ou sur la fluctuation d'échantillonnage permet de développer l'esprit critique, et de démonter des pseudo-raisonnements courants ou des arguments des pseudo-sciences.

Ce sont quelques exemples (parmi beaucoup d'autres) de ce qui pourrait figurer dans un document ressource. Ce qui est visé n'est pas, on le voit, une grande technicité ; c'est la capacité de faire des calculs modestes mais bien maîtrisés et surtout de leur donner un sens. Il faut à nouveau insister sur le fait qu'une condition majeure pour l'efficacité de cet enseignement est un travail pluridisciplinaire qui ne soit pas restreint au cours de mathématiques, d'abord parce qu'il sera plus difficile à un enseignant de mathématiques de donner un exercice motivé (risque d'habillage d'un exercice de maths), et ensuite parce qu'il sera plus difficile d'en convaincre les élèves.

Partie 2 — Bagage en physique pour tous

- Développer et manipuler des concepts et notions d'intérêt large, en s'appuyant sur les phénomènes les plus courants observés en mécanique, optique, électricité ou thermodynamique : ordres de grandeur, changements d'échelle et d'unité, dimension des grandeurs (longueur, masse, temps...), lois de conservation, bilans, variations absolue et relative. On pourra être amené à introduire diverses grandeurs courantes pour caractériser les phénomènes physiques, telles que période ou fréquence d'une vibration, vitesse de propagation, intensité, tension, capacité calorifique. On reviendra de façon régulière sur la question de la mesure des grandeurs, et en particulier la précision (chiffres significatifs) en lien avec le cours de mathématiques. On mettra aussi en valeur les questions d'échelle (multiples et sous-multiples du litre, du mètre...).
- Illustrer les méthodes et démarches de la physique, en particulier l'importance de l'expérimentation, de la modélisation et de la simulation, en s'appuyant si besoin sur l'histoire des sciences, pour montrer comment se construisent les savoirs en physique (exemple de théories réfutées ou de controverses ; divers modèles de l'atome) [voir le document d'illustrations]. Caractériser ce qu'est une grandeur physique, une mesure, un modèle. Une pratique expérimentale illustrant la démarche sur quelques situations simples est vivement recommandée.
- L'énergie et ses propriétés : conservation, stockage, transfert, diverses dénominations, rendement de conversion. Introduire l'énergie E , la puissance P et leurs unités (J, kWh, kW) avec un vocabulaire précis pour raisonner et manipuler les relations linéaires mettant en jeu E et/ou P [voir le document d'illustrations]. La distinction énergie/puissance n'est pas acquise par la grande majorité de la population. Faire le lien avec les multiples exemples de la vie quotidienne.

- Signaux et données : signal analogique, signal numérique, fréquence d'échantillonnage, images numériques, formats de compression de données.

Commentaire

Les notions scientifiques (mathématiques, informatique, physique...) ne prennent sens et ne peuvent être apprises de façon pérenne que si elles sont "incarnées" et correspondent à des évidences sensibles.

Ainsi, la notion de centre de gravité peut être formulée de façon à correspondre à une intuition sensible, et elle donne alors sens à plusieurs concepts ultérieurs (moyenne pondérée, espérance, barycentre, intégrale...).

Les notions de circuit électrique et l'analogie hydraulique, avec ses limites, forment un autre ensemble de situations qui modélisent nombre de phénomènes.

La position d'un mobile $x(t) = v \times (t-t_0)$ en fonction du temps, ou la rencontre de deux mobiles, illustrent bien les lois affines (sur des exemples bien choisis - monter ou descendre sur un axe vertical - on pourra donner un sens algébrique à v selon le sens de déplacement sur l'axe).

Partie 3 — Bagage en chimie pour tous

Le minimum vital en chimie repose sur un ensemble de connaissances et de compétences mobilisables dans le cadre de démarches scientifiques.

- Constitution de la matière : éléments chimiques, atomes, ions, molécules, espèces chimiques.
- Organisation de la matière : les différents états : solide, liquide, gaz. Changements d'état.
- Mélanges : techniques de dissolution, d'extraction, de séparation, de purification, notions de phases, de solubilité et de miscibilité.
- Transformations chimiques et leurs modèles associés. Savoir qu'une réaction chimique n'affecte pas les éléments chimiques mis en jeu et conserve la masse de chacun d'eux.
- Identifier des espèces chimiques, des liaisons chimiques, des groupes d'atomes : chromatographies, constantes physiques, spectres d'absorption UV-Visible et IR, spectres de RMN, tests simples.

Il s'agira de réaliser quelques expériences simples et soigneusement menées permettant d'illustrer ces différents points. Les choix effectués devront permettre d'appréhender les enjeux de la science en lien avec les questions de société : la préservation des ressources naturelles, la qualité des services propres aux citoyens (eau, air, aliments...) la transition énergétique et écologique.

Les transformations nucléaires comme les fissions, les fusions et les désintégrations même si elles ne sont pas des transformations chimiques, peuvent aussi être envisagées ici. Leur étude permet de créer des liens avec les autres disciplines (mathématiques, physique, SVT) et, par la voie d'un questionnement scientifique, ouvre sur des problématiques environnementales, économiques, politiques et sociétales.

Partie 4 — Bagage en informatique pour tous

Buts

- Saisir en quoi **la pensée informatique** et **sa mise en œuvre** peuvent aider à répondre à des problématiques d'autres disciplines, scientifiques ou non.
- Comprendre la nature d'un **algorithme**, savoir identifier les objets du quotidien qui utilisent des algorithmes pour fonctionner.
- Savoir **modéliser** un problème élémentaire, écrire un **algorithme** pour le résoudre, le mettre en œuvre dans un **langage de programmation**, et **analyser** les résultats de son exécution.
- Connaître différentes façons de **représenter**, **stocker** et **échanger** l'information.

[L'informatique n'étant actuellement pas enseignée au lycée, la description du bagage en informatique pour tous est relativement plus détaillée que pour les autres disciplines. Cela ne signifie nullement que le contenu proposé pour l'informatique soit plus volumineux ou d'un niveau plus avancé que pour les autres disciplines.]

Algorithmes / Programmes

- Un algorithme correspond à une spécification (un cahier des charges) définie par des humains en vue de résoudre un problème donné.
- Plusieurs algorithmes peuvent être proposés pour résoudre un même problème (e.g. trier) : savoir choisir un algorithme en fonction de différents critères. Calcul de coût en temps, en lien avec les mathématiques.
- Un problème complexe peut être décomposé en sous-problèmes (plus) simples (en lien avec les mathématiques) et conception modulaire de programmes.
- Un programme, conçu par un humain, peut être erroné pour différentes raisons (erreurs syntaxiques, sémantiques découvertes à l'exécution, non adéquation à la spécification). Il peut aussi être "détourné" de son utilisation prévue et être source de failles de sécurité.
- Comprendre la notion de bug et distinguer "tester" et "vérifier" (notion de « preuve »).
- Découvrir des algorithmes utiles dans différents domaines, par exemple :
 - Recherche dichotomique. (Recherche d'un élément de valeur donnée, mais aussi le rang, l'élément de valeur la plus proche). Lien avec la méthode dichotomique (mathématiques). Autres applications (recherche de pannes...). Notion de coût (logarithme base 2).
 - Algorithmes du texte. Recherche de mots (nombre d'occurrences), recherche de co-occurrences (étude du style en linguistique), correction orthographique. Utilisation d'une terminologie.
 - Algorithmes de traitements d'images (physique) : flou, détection de bord, stéganographie.
 - Algorithmes de recommandation (marketing). Introduction à l'IA. Sensibilisation au choix des données d'entraînement.
 - Intérêt des algorithmes pour la simulation (physique, économie)

Information / données – Représentation et gestion des données

- Numériser : les données résultent de capteurs, d'expériences. La numérisation permet de passer d'une grandeur physique à une représentation manipulable en machine.
- Représenter des nombres en machine : notion de plus grand nombre, de représentation "approchée" (en lien avec les mathématiques et la physique).
- Connaître différents formats pour les données : texte, image, son, et avoir une idée de la taille de ces données (en lien avec les mathématiques).
- Structurer l'information : de façon séquentielle, arborescente, sous forme de documents structurés ou en réseau. Montrer qu'on ne se déplace pas d'un élément à un autre de la même façon, dans le même temps. Notion d'index.

- Collecter les données : dans quel cas utilise-t-on un système de fichiers, un tableur, une base de données. Distribuer les données : dans quel cas conserve-t-on les données sur un disque local, sur un serveur, sur le web.
- Naviguer dans les données (sur le web) : structuration par hyperliens des informations ; moteur de recherche
- Organiser et exploiter de gros volumes de données. Exemple de bases documentaires. Données / métadonnées.

Aspects matériels, système

- Notion de système d'exploitation à partir d'exemples, ordinateur ou smartphone : windows, Mac OSX, Linux, Android, iOS.
- Format de fichiers, ouverts ou pas. Portabilité. « Accès » à mes données (dans un format propriétaire).
- Comprendre le fonctionnement d'un réseau informatique (notion de protocole) et connaître les différents supports de l'information : ressources locales (disque dur, cartes mémoires) ou distantes. Terminal/serveur. Dans les nuages (cloud).

Projet interdisciplinaire

Dans l'esprit du bagage informatique décrit ci-dessus, la science et technique informatique, si elle est étudiée en tant que telle, s'incarne également dans les interactions avec les autres disciplines. Aussi la pratique de l'informatique devrait-elle comporter également un projet pluridisciplinaire. Par exemple un projet mettant en œuvre des algorithmes autour de la manipulation d'images : retrouver de l'information dans une image (reconnaissance de formes - visage ? - dans une image bruitée et/ou information cachée dans une image - stéganographie). Interactions naturelles avec d'autres disciplines : mathématiques avec des calculs de moyenne, de dérivées, SVT pour la perception visuelle, physique.

Partie 5 — Bagage en sciences de la vie et de la Terre

Les domaines couverts par les sciences de la vie et de la Terre sont très vastes. Elles doivent au premier chef aider à la construction d'une culture scientifique solide permettant d'appréhender de manière éclairée l'ensemble des questions qui détermineront les comportements et les choix citoyens : éducation à la santé, à l'environnement et au développement durable, compréhension des enjeux de l'évolution de la biodiversité ou du réchauffement climatique, sensibilisation à la gestion des ressources et des risques...

Il s'agit donc d'abord d'établir une véritable posture scientifique face à des problèmes complexes, garantissant notamment la distinction claire entre ce qui relève de la science et ce qui relève des opinions ou des croyances.

La construction de cette posture est ainsi celle de la formation d'un esprit critique, rompu aux compétences de l'observation, de l'expérimentation ou de la modélisation et sachant notamment éprouver ses connaissances à la lueur de nouveaux faits dans une science très actuelle et toujours en mouvement.

Le bagage scientifique pour tous doit donc s'articuler autour de thématiques s'intéressant tout aussi bien au fonctionnement du système Terre et à l'évolution du vivant, qu'au corps humain et à la santé, ou qu'aux enjeux planétaires contemporains.

L'établissement de ce bagage pourrait ainsi viser à :

- connaître les différents types d'organismes vivants, leur organisation et les grandes lignes de leur fonctionnement dans leurs relations au sein de la biosphère ;

- connaître l'organisation de la planète Terre et les grandes lignes des mécanismes à l'origine des géodynamiques internes et externes, déterminant notamment ressources et risques ;
- connaître les fondements de la génétique pour en comprendre les avancées et les développements technologiques et en appréhender les implications éthiques ;
- connaître les bases de la physiologie humaine pour adopter des comportements préservant santé et environnement ;
- identifier les grandes lignes des principales théories scientifiques qui structurent le champ disciplinaire (théorie de la tectonique des plaques, théorie de l'évolution, etc.) ;
- maîtriser les différentes échelles de temps et d'espace utilisées tant en biologie qu'en géologie ;