

# BACCALAURÉAT SCIENTIFIQUE

## Épreuve de sciences de l'ingénieur

**Sujet zéro** (programme paru au J.O. du 28 août 2010)



**Rétablissement du caractère  
maritime du Mont-Saint-Michel**

Note d'accompagnement des deux versions du sujet zéro

## Objectif du sujet zéro

Lors d'un changement de programme, l'élaboration d'un sujet zéro de l'épreuve finale permet aux professeurs et aux élèves d'avoir un repère sur la certification des compétences du diplôme visé. Il n'est en aucun cas un modèle qui se veut exemplaire sous forme d'un sujet type que les auteurs futurs devraient obligatoirement suivre. Il a pour vocation de montrer les changements qui attendent les candidats sur le fond et sur la forme de l'épreuve. Cet outil pédagogique vise, pour le professeur, à lui donner des pistes possibles de compétences à développer pour que l'élève, futur étudiant, réussisse dans les meilleures conditions dans le supérieur. Ce n'est surtout pas un exemple pour le bachotage. Pour le candidat, le sujet zéro lui permet de s'entraîner à développer une méthodologie de travail en l'absence d'annales de sujets des années antérieures.

L'évolution des formations en lycée a conduit à la naissance de la voie STI2D en lieu et place de la filière technologique *sciences et techniques industrielles*. Le positionnement de la voie générale scientifique et notamment celle conduisant au baccalauréat profil sciences de l'ingénieur, par rapport à celle-là est donc un élément important pour l'orientation des élèves. Outre les programmes, les pédagogies à déployer et les horaires de chacune de ces voies, les épreuves de certification doivent également valider clairement la distinction de ces deux filières. C'est pour cela, notamment, que le support d'un sujet zéro de l'épreuve écrite du baccalauréat STI2D est le même que celui du baccalauréat scientifique. Une analyse de ces deux sujets par les enseignants devrait leur permettre de bien les discriminer et ainsi d'adapter leur pédagogie à chacune des voies.

## Analyse du sujet zéro

Le sujet proposé pour l'épreuve écrite de sciences de l'ingénieur comporte deux versions qui ont trois parties communes et deux parties distinctes :

- la version 1 approfondit une partie spécifique du programme ;
- la version 2 balaye davantage de parties du programme.

Les textes pris en compte pour l'élaboration de ces deux versions sont les suivants :

- programme de sciences de l'ingénieur du cycle terminal de la série scientifique paru au Journal Officiel de la République le 28 août 2010 ;
- définition des épreuves du baccalauréat général paru au bulletin officiel de l'éducation nationale spécial n° 7 du 6 octobre 2011 ;
- ressources pour la classe de terminale scientifique – sciences de l'ingénieur publié par éducol en juin 2011 ;
- guide méthodologique à destination des auteurs de sujet – baccalauréat scientifique, épreuve de sciences de l'ingénieur élaboré par le groupe STI de l'inspection générale de l'éducation nationale ;
- grille d'évaluation de l'épreuve écrite de sciences de l'ingénieur du baccalauréat scientifique élaborée par le groupe STI de l'inspection générale de l'éducation nationale.

Le guide méthodologique cité ci-avant donne aux auteurs des jalons pour produire leur sujet. Le suivi de ce document est incontournable et le sujet zéro proposé a pris en compte toutes les recommandations autant sur le fond que sur la forme.

Afin de bien montrer les différences entre l'épreuve écrite de sciences de l'ingénieur basée sur le programme de sciences de l'ingénieur paru au bulletin officiel du 30 août

2001 et la future épreuve, les auteurs ont pris en compte, à partir des recommandations de l'inspection générale, les éléments nouveaux du programme :

- mise en évidence des écarts entre le souhaité, le simulé et le réalisé ;
- utilisation d'un support d'étude pas uniquement mécatronique ;
- mise en avant des compétences : modéliser, analyser, exploiter et synthétiser ;
- utilisation d'un modèle multiphysique pour les simulations ;
- utilisation des approches énergétique et dynamique.

La démarche mise en avant dans ces deux versions montre combien la réflexion des candidats est souhaitée à partir de problématiques clairement posées et des résultats obtenus. Un aller-retour entre une phase d'analyse entraînant des moments de calculs utiles pour obtenir un résultat et une phase de synthèse obligeant le candidat à un retour réflexif sur ces résultats a été souvent utilisé dans le questionnement. Le recours à ces phases de synthèse est une caractéristique fondamentale de la démarche de l'ingénieur et doit également être déployée au moment de la formation. La nécessité de faire le bilan des réponses apportées à la problématique générale du sujet est elle aussi indispensable, C'est la raison pour laquelle la dernière partie commune de chaque version demande aux candidats un argumentaire discursif sur le travail qu'il aura réalisé pendant les quatre heures de l'épreuve. Cette conclusion finale doit montrer l'aptitude des élèves à poser un regard sur leur propre travail. C'est une compétence indispensable à développer chez eux.

Le support utilisé est le barrage sur le Couesnon dont l'objectif est, à terme, le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel. Ce support, qui a servi à élaborer l'épreuve écrite de la session 2010 du CAPET interne de technologie, permet d'utiliser des outils scientifiques et technologiques couvrant l'ensemble des champs matière, énergie et information. Il permet également d'exploiter des ressources dans les domaines de la mécanique, du génie civil, du génie électrique ou de l'hydraulique amenant à une modélisation multiphysique des chaînes d'énergie et d'information liées au fonctionnement des vannes-secteurs du barrage.

Ce support permet, dans l'introduction, de soulever la problématique générale liée à la construction du nouveau barrage mis en exploitation en 2009 : *comment rendre puis pérenniser (opération durable) son caractère maritime au Mont-Saint-Michel, monument inscrit au patrimoine mondial de l'humanité, tout en respectant le paysage, la sécurité du site et les spécificités de la baie ?* Cette problématique induit une suite de questionnements scientifiques et techniques qui sont déclinés dans chacune des parties du sujet. La présentation de cet ouvrage complexe nécessite l'emploi d'une terminologie spécifique du domaine étudié. Les auteurs ont opté pour des notes de bas de page permettant aux candidats d'avoir sous les yeux les définitions ou explications de notions nouvelles pour la plupart d'entre eux. Le fonctionnement des vannes-secteurs n'est expliqué qu'en partie 2 puisqu'une question nécessite sa compréhension à ce moment-là.

### *Parties communes aux deux versions*

#### Partie 1

---

**Objectif de cette partie : analyser** le besoin à l'origine de la conception du barrage et **comparer** la solution retenue avec une autre solution possible.

---

Les auteurs ont souhaité faire réfléchir les candidats sur deux solutions envisagées pour répondre à la problématique du sujet et les amener à voir la pertinence de la solution choisie. Il faut savoir qu'en réalité les deux solutions sont utilisées conjointement dans les faits puisqu'une partie des sédiments, notamment en amont du barrage, dans le

Couesnon, sont déplacés par dragage. La question 2 autour d'une réflexion simplifiée et globale sur le rejet carbone permet au candidat de comprendre l'impact d'un projet de cette envergure sur l'environnement. L'ensemble des calculs demandés restent simples en ce début d'épreuve.

#### Partie 4

---

*Objectif de cette partie* : **analyser** des écarts entre les niveaux des critères mesurant la performance du barrage.

---

Véritable nouveauté sous cette forme, il s'agit de focaliser l'attention du candidat sur un point fondamental du nouveau programme : le calcul puis l'analyse d'écarts. La première question de cette partie met l'accent sur la modélisation des chaînes d'énergie et d'information à travers une réflexion sur les flux dans ces deux chaînes. Il est indispensable de faire réfléchir les élèves, sur le transfert d'énergie caractérisé par un lien de puissance entre deux sous-systèmes transportant deux informations, l'une liée à l'effort et l'autre au flux tel que précisé dans le programme. Cette approche par la puissance (ou l'énergie) permet la modélisation multiphysique et l'analogie entre les domaines. Le choix de la représentation de ces transferts s'est porté sur celle utilisée dans la représentation bond graph (demi-flèche pour un lien de puissance et flèche entière pour un lien d'information) car elle permet cette distinction simplement.

La notion de système asservi apparaît dans le programme : c'est l'occasion de montrer sur un exemple à partir d'une modélisation multiphysique ce qui peut être attendu de la part d'un candidat. Il n'est pas question de développement pour la question Q16.

La question Q17 demande au candidat de réfléchir sur l'écart entre le souhaité et le réalisé à partir de résultats mesurés directement sur le barrage. Quatre critères sont simplement discriminés. Le 5<sup>e</sup> demande une estimation par le calcul de l'aire d'un triangle inscrit entre une courbe et l'axe des abscisses. La relation sous forme intégrale entre le volume et le débit volumique est précisée afin que l'élève pense à un calcul d'aire. La relation différentielle ne l'y aurait pas conduit naturellement.

La question Q18 doit conduire le candidat à proposer des paramètres à introduire dans un logiciel de modélisation multiphysique. L'exemple d'un réducteur donné doit permettre au candidat de comprendre ce qui est attendu.

La question Q19 étudie les différences entre les courbes de consigne, de hauteur de vanne simulée et celle obtenue par la mesure du réel. Les auteurs n'ont pas souhaité demander directement de pointer la précision, la rapidité ou la stabilité du modèle mais de laisser les élèves analyser les différences entre les deux courbes sans autre indication. Concernant l'erreur, les auteurs demandent aux candidats de l'évaluer, de la commenter. Le terme « correcteur » dans le modèle multiphysique doit leur permettre de répondre à une partie de la question. Il y a beaucoup de « bon sens » dans les réponses attendues à cette question.

#### Partie 5

---

*Objectif de cette partie* : **proposer** une synthèse du travail réalisé.

---

Là encore, cette partie est relativement nouvelle par rapport aux sujets de sciences de l'ingénieur réalisés jusqu'ici. Les auteurs souhaitent que les candidats prennent le temps de l'analyse du travail réalisé pour en faire la synthèse (question Q21). La question Q20 permet de voir que la solution de la chasse des sédiments conduit au résultat souhaité. La méthode de cette question est approximative et laissée au choix du candidat. C'est souvent le cas dans la réalité de la démarche de l'ingénieur qui estime grossièrement dans un premier temps avant d'affiner le résultat par des méthodes plus précises (mais ici hors de portée et de temps pour un sujet d'examen dont ce n'est d'ailleurs pas l'objectif).

L'estimation fait partie entière des démarches de l'ingénieur. Il s'agit d'une mise en situation complexe où ce qui compte n'est pas la valeur trouvée mais bien la méthode proposée et l'analyse qui en est faite. Cette question est sans doute difficile pour un élève de terminale.

### *Parties de la version 1*

#### Partie 2

---

*Objectif de cette partie* : **analyser** la solution retenue pour créer et réguler un flux d'eau capable de repousser les sédiments au-delà du Mont-Saint-Michel.

---

Il s'agit ici de comprendre comment le phénomène de chasse est réalisé et comment est mise en œuvre l'interaction entre les chaînes d'énergie et d'information. La question Q3 demande au candidat de prouver sa compréhension du séquençage du fonctionnement d'une vanne-secteur. L'utilisation du langage grafcet trouve ici sa place puisque le programme le préconise alors qu'un diagramme de séquences pourrait être employé si le langage SysML avait été au programme.

La suite de cette partie traite du débit de chasse et de sa comparaison avec celui imposé par le cahier des charges. La vitesse supposée constante dans une section droite de l'ouverture de la vanne est donnée dans l'énoncé. Il est demandé de calculer les valeurs numériques pour deux situations : les candidats doivent prendre les bons paramètres. La prise en compte du débit du fleuve n'étant pas faite dans le modèle proposé, il est demandé à la fin de la question Q4 de réfléchir sur ce qu'il peut apporter au phénomène étudié.

L'action de la forme des piles sur le flux hydraulique est observée dans la question Q5. Trois simulations doivent conduire le candidat à comprendre le choix de la forme elliptique du nez rendant l'écoulement plus « laminaire » entre les piles. Il s'agit bien ici de vérifier que le candidat est capable d'interpréter les résultats de simulation et de proposer une argumentation décisive.

L'étude d'un capteur d'inclinaison à base d'accéléromètres, une technologie s'imposant peu à peu dans laboratoires, doit permettre au candidat de réaliser une analyse du codage utilisé puis de vérifier qu'il sait utiliser une documentation technique sur le bus CAN pour son paramétrage. La manipulation de nombres binaires signés est en outre une nouveauté dans les sujets d'examen. L'identification d'une trame, assez classique dans les sujets actuels, permet de vérifier qu'il sait réaliser ce type d'analyse.

La partie se termine en complétant un algorithme décrivant le fonctionnement partiel d'un système de manœuvre.

#### Partie 3

---

*Objectif de cette partie* :

- **vérifier** le dimensionnement de la solution technique qui permet d'assurer le maintien en position des paliers de vanne sur les piles en béton ;
  - **mettre en évidence** les contraintes dans le béton liées à cette solution.
- 

Il s'agit d'une partie détaillant le calcul qui mène, à partir de la donnée de la résultante des actions mécaniques du bras de vanne sur le palier, à la vérification de la solution retenue pour maintenir les paliers de vanne en position. Une modélisation par superposition est proposée : l'action  $R_x$  entraînant, suivant le modèle proposé, une évolution linéaire de l'action des tirants sur le palier comme indiqué dans le sujet et l'action  $R_y$  imposant un même effort de traction dans les tirants. Le calcul, par le principe fondamental de la dynamique, imposé par le programme, des actions dans les tirants est demandé (les auteurs ont pris soin de préciser les théorèmes à utiliser), le résultat étant fourni pour

permettre aux élèves de poursuivre s'ils n'ont pas réussi les questions précédentes. On vérifie ici que le candidat sait utiliser les théorèmes fondamentaux de la dynamique et sait analyser les résultats obtenus.

La partie se termine par le calcul de la pression de contact entre le palier et la structure en béton à l'aide de deux modélisations qui doivent conduire les élèves à prendre des précautions sur la fiabilité d'un modèle simplifié. Là encore c'est l'analyse des résultats obtenus qui prime.

### *Parties de la version 2*

#### **Partie 2**

---

*Objectif de cette partie* : **analyser** la solution retenue pour créer et réguler un flux d'eau capable de repousser les sédiments au-delà du Mont-Saint-Michel.

---

Les deux uniques questions de cette partie sont identiques à celles de la version 1.

#### **Partie 3**

---

*Objectif de cette partie* :

- **modéliser** et **simuler** les chaînes d'énergie et d'information liées à la tâche « manœuvrer une vanne » pour **valider** les choix des concepteurs et **prévoir** son comportement dans les différentes situations du cahier des charges ;
  - **vérifier** la capacité opérationnelle du barrage en cas de coupure du réseau.
- 

Il s'agit ici d'étudier deux aspects de la dynamique de fonctionnement du barrage : celui d'une vanne en phase de travail normale et celui de son opérationnalité en phase dégradée lors d'une coupure du réseau électrique.

La première question est identique à la question Q6 de la version 1 et traite des capteurs utilisés lors du fonctionnement de la vanne. Cette version 2 demande de compléter un algorithme sur ce fonctionnement et non un algorithme comme dans l'autre version.

La suite du travail est une étude de l'action de l'eau sur la vanne, l'objectif étant de montrer qu'elle n'a aucune influence sur la dynamique de fonctionnement et qu'il n'est pas nécessaire de l'introduire dans le modèle multiphysique. Les auteurs demandent au candidat de calculer l'action de l'eau sur une surface élémentaire puis de calculer le torseur de l'action globale de l'eau en un point de l'axe de rotation de la vanne.

La fin de cette partie permet de s'assurer que les batteries utilisées permettent le fonctionnement en cas de rupture du réseau. Cette étude donne aux auteurs l'occasion de tester les candidats sur leur analyse des puissances électriques alimentant trois circuits permettant le fonctionnement du barrage.

#### *Conclusion de cette analyse*

Les sujets sont assez longs et plutôt difficiles globalement, les auteurs en sont parfaitement conscients. Ils correspondent à un bon niveau de réflexion. Ils montrent surtout une manière de poser les questions, différentes de ce qui a été réalisé jusqu'à présent dans la filière scientifique. Même si les méthodes de calculs doivent être connues et appliquées, il s'agit essentiellement de savoir mener une réflexion plus générale et tirer des conclusions de résultats, pour répondre à des problématiques techniques. Une partie du travail permet d'évaluer la stratégie de résolution du candidat ; des phases plus guidées permettent à chacun de répondre à de nombreuses questions. Ce qu'il est essentiel de retenir ici c'est la rupture dans l'approche et non le niveau d'exigence scientifique des deux versions. L'équipe de pilotage des sujets de l'épreuve écrite du baccalauréat S sera vigilante à ce qu'ils soient réalisables par des élèves « moyens ».

## « Bonnes copies » du sujet zéro

Les auteurs fournissent aux enseignants et aux élèves deux fichiers correspondant à de « bonnes copies » voire de « très bonnes copies » qui auraient pu être rédigées par un candidat. Bien évidemment, là encore, les auteurs sont conscients que peu d'élèves peuvent réaliser un travail similaire en si peu de temps. Ces « bonnes copies » sont là pour montrer aussi le type de réponses attendues au-delà du niveau de celles-ci.

Afin d'éviter de jeter le trouble dans les esprits, les auteurs ont respecté les règles typographiques scientifiques en usage en France comme indiqué dans le cahier des charges de l'épreuve destiné aux auteurs de sujets. Par ailleurs, nous n'avons pas abusé de fioritures inutiles scientifiquement comme, mettre une flèche sur le vecteur nul ou indiquer une unité après le chiffre 0. La flèche d'un vecteur ne se prolonge pas sur les parenthèses ou les indices comme, par exemple  $\vec{F}_{\text{élémentaire}}(eau \rightarrow 1)$ . De même, le torseur des actions mécaniques est écrit  $\mathbf{T}(eau \rightarrow 1)$  sans accolades inutiles. Enfin, les auteurs ont préféré parler d'un *inventaire des actions mécaniques* plutôt que d'un *bilan des actions mécaniques* car cela est plus correct en français.

## Évaluation du sujet zéro

La grille d'évaluation proposée par l'inspection générale est de nature générique et doit s'appliquer à tous les sujets. Il s'agit, pour les auteurs, de relier les questions qu'ils posent aux critères d'évaluation proposés dans la grille. Il est donc indispensable de la prendre en compte, dès la phase de construction du tableau de bord du sujet, afin de vérifier qu'au moins 50 % des critères d'évaluation de cette grille soient couverts par le sujet. Par contre il n'est pas nécessaire que tous les critères le soient. Les auteurs fournissent le lien qu'ils font entre les 21 questions de chacun des sujets qu'ils proposent et la grille d'évaluation qui, rappelons-le, ne concerne que les compétences *analyser* et *modéliser* du programme. Les autres compétences sont validées par le projet pluridisciplinaire.

## Conclusion

Un sujet zéro est un outil pédagogique important pour les enseignants et les élèves. Il est indispensable de l'utiliser comme tel. Les auteurs proposent deux versions de ce sujet pour permettre à chacun de voir et comprendre les objectifs visés par la réforme du cycle terminal de la voie scientifique. Comme indiqué plus haut, les sujets sont à considérer comme plutôt longs et assez difficiles dans leur globalité. Il s'agit de montrer un certain niveau scientifique attendu, notamment en comparaison de la voie STI2D. Ces sujets doivent permettre aux enseignants de pratiquer une didactique adaptée à des élèves de la voie S basée sur un savant mélange d'activités théoriques, dirigés et pratiques, pour leur permettre d'être capable de répondre aux problématiques techniques, telles qu'entrepris ici. Les auteurs souhaitent aux élèves qui préparent le baccalauréat scientifique et à leurs professeurs, que l'utilisation de ce sujet zéro soit pour eux l'occasion de comprendre les démarches à développer, pour poursuivre avec réussite leurs études supérieures.