

### Ressources pour le cycle terminal

---

## Série S : enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur

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 la propriété intellectuelle.

juin 2011

## TABLE DES MATIERES

---

INTRODUCTION .....	3
LA DÉMARCHE DE L'INGÉNIEUR .....	6
• Compétences visées et écarts observés.....	6
• Notion de systèmes réels .....	8
Influence de l'environnement sur le comportement d'un système .....	8
Particularité des systèmes de grandes ou très petites dimensions .....	8
• Les modèles utilisés .....	9
ÉLABORER UNE PROGRESSION PÉDAGOGIQUE .....	9
• Éléments pour l'élaboration d'une progression pédagogique .....	9
• Une progression construite avec une approche par compétences .....	9
• Une progression qui organise les activités sur deux ans .....	11
Organisation pédagogique .....	11
Organisation d'une séquence .....	13
Étude de cas .....	14
Exemple de thèmes sociétaux .....	14
• Une approche concourante mais non séquentielle .....	16
• Les contraintes d'antériorité entre les séquences .....	17
EXEMPLES D'ORGANISATION D'UNE SÉQUENCE .....	17
• Description des exemples de séquences pédagogiques .....	17
• Exemple N°1 .....	18
Connaissances et capacités associées visées .....	18
Description de la séquence .....	19
Le système choisi .....	20
Description des séances .....	20
Description des travaux pratiques .....	20
Description du travail dirigé de simulation .....	20
Description de la restitution .....	21
Évaluations .....	21
Organisation de la séquence .....	21
• Exemple N°2 .....	26
Connaissances et capacités associées visées .....	26
Description de la séquence .....	26
Les systèmes choisis .....	27
Description des séances .....	28
Description du travail dirigé de simulation .....	28
Description de la restitution .....	29
Description du mini-projet .....	29
Évaluations .....	29
Organisation de la séquence .....	29
• Exemple N°3 .....	33
Connaissances et capacités associées visées .....	33
Description de la séquence .....	34
Le système choisi .....	34
Description du mini-projet .....	35
Organisation de la séquence .....	37

LE PROJET INTERDISCIPLINAIRE .....	41
• Les objectifs du projet interdisciplinaire.....	41
• Le choix du projet .....	41
• La démarche de projet.....	41
• Les grandes phases du projet .....	42
La phase d'initialisation .....	42
La phase de préparation .....	42
La phase de réalisation .....	43
La phase de clôture.....	43
• L'évaluation du projet au cours de son déroulement .....	43
Évaluation de la phase de préparation.....	43
Évaluation de la phase de réalisation .....	43
Évaluation de la phase de clôture .....	43
• L'organisation du projet interdisciplinaire .....	44
Annexe 1 – Exemple de note de cadrage du projet interdisciplinaire en sciences de l'ingénieur ..	47
Annexe 2 - GLOSSAIRE PÉDAGOGIQUE .....	48
GUIDE D'ÉQUIPEMENT DU LABORATOIRE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR.....	52
• OBJECTIFS DU GUIDE D'ÉQUIPEMENT .....	52
• ORGANISATION DE L'ESPACE DE FORMATION.....	52
Le laboratoire de sciences de l'ingénieur.....	52
Définition fonctionnelle .....	52
Les îlots .....	52
Les supports d'enseignement .....	53
La salle banalisée.....	53
• DIFFÉRENTS CAS D'IMPLANTATION D'UN LABORATOIRE .....	53
Cas d'un établissement possédant déjà un enseignement de sciences de l'ingénieur .....	53
Cas d'une création ou du maintien d'un enseignement de sciences de l'ingénieur dans un établissement proposant la série sti2d.....	53
• <b>LA PRÉVENTION DES RISQUES .....</b>	<b>54</b>
<b>Formation à la prévention des risques d'origine électrique.....</b>	<b>54</b>
Remarques particulières .....	54
• Annexe : quelques éléments pour l'architecture et les spécifications techniques du laboratoire de sciences de l'ingénieur .....	55

# DOCUMENT RESSOURCE POUR FAIRE LA CLASSE - SÉRIE S

## ENSEIGNEMENT SPÉCIFIQUE DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

### INTRODUCTION

---

L'objectif de ce document est de préciser les finalités et les orientations du programme de l'enseignement spécifique des sciences de l'ingénieur de la série S. Il doit aider les enseignants à percevoir et à appréhender la rupture, donc les évolutions fondamentales, du nouveau programme publié au BOEN spécial N°9 du 30 septembre 2010 par rapport à celui publié au BOEN spécial N°6 du 30 août 2001.

Après cette introduction, des préconisations et des suggestions sont proposées, mais il ne s'agit en aucun cas de prescriptions qui entravent la liberté pédagogique de l'enseignant dans le cadre général du programme.

La rénovation de ce programme s'inscrit dans le cadre de la réforme du lycée, et en particulier de la série S. De trop nombreux bacheliers ne poursuivent pas d'études supérieures scientifiques et technologiques longues, il importe donc de recentrer cette série sur ses objectifs.

Le baccalauréat S affirme sa vocation scientifique et conceptuelle. Le programme de sciences de l'ingénieur a été élaboré dans ce sens, il est clairement ancré dans la série S. Tout doit concourir à donner aux élèves de la série S le goût pour la poursuite d'études supérieures scientifiques et technologiques longues.

Les sciences de l'ingénieur sont un enseignement spécifique du baccalauréat scientifique. Comme les autres disciplines expérimentales de ce baccalauréat, la pédagogie mise en œuvre valorise une démarche scientifique (figure 1).

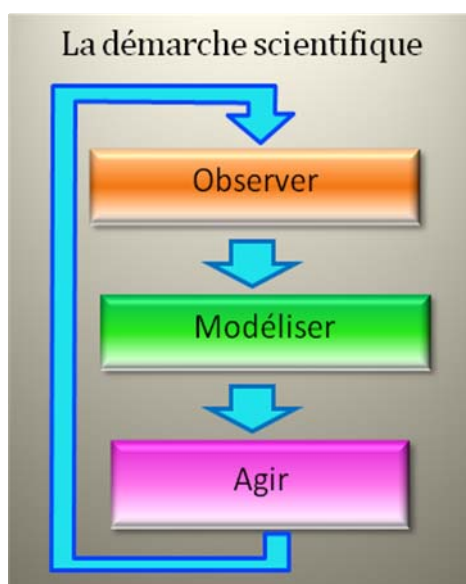


Figure 1 – Démarche scientifique

La démarche scientifique en sciences de l'ingénieur mobilise des compétences scientifiques et technologiques pour s'intéresser aux systèmes pluri technologiques répondant aux besoins de l'Homme.

L'ingénieur travaille en équipe et en relation avec de nombreux acteurs. Il doit aussi maîtriser des compétences de communication.

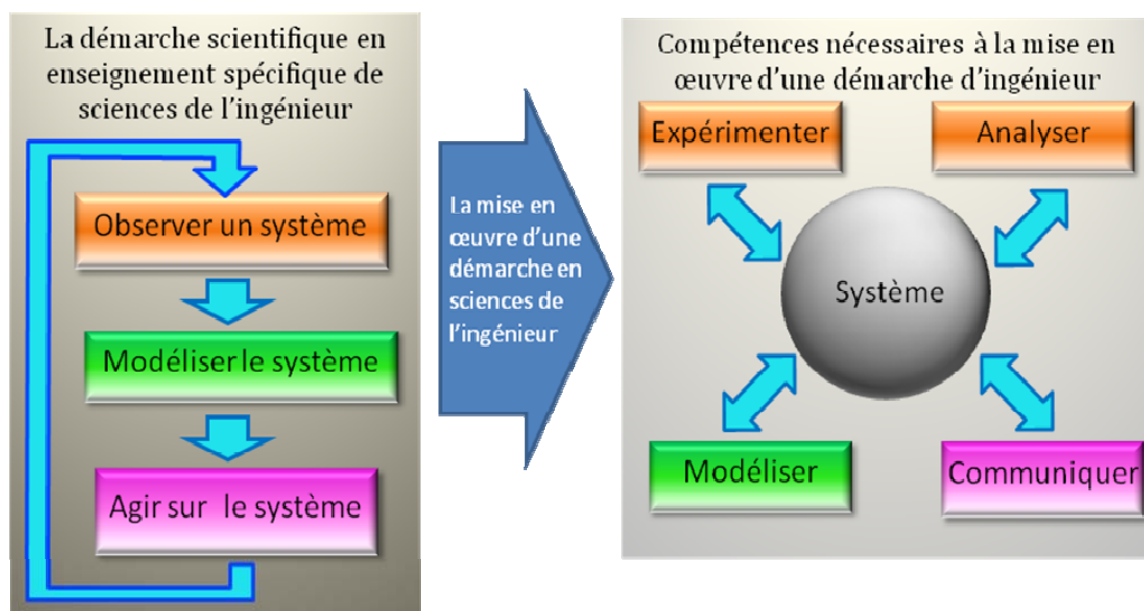


Figure 2 – Démarche scientifique en sciences de l'ingénieur

Les activités pédagogiques au niveau du cycle terminal proposent aux élèves d'aborder la démarche de l'ingénieur, qui consiste à :

- vérifier les performances attendues d'un système, par l'évaluation de l'écart entre un cahier des charges et les réponses expérimentales (figure 3, écart 1) ;
- proposer et valider des modèles d'un système à partir d'essais, par l'évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances simulées (figure 3, écart 2) ;
- prévoir les performances d'un système à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances simulées et les performances attendues au cahier des charges (figure 3, écart 3) ;
- proposer des architectures de solutions, sous forme de schémas ou d'algorigrammes.

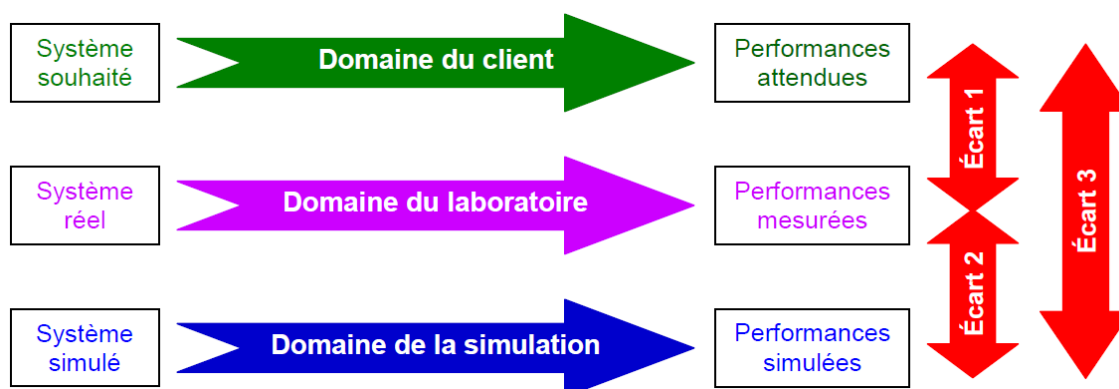


Figure 3 – Représentation des différents écarts

Donner du sens aux activités pédagogiques impose de les centrer autour de cette démarche de l'ingénieur en particulier par l'analyse de ces trois écarts. Celle-ci conduit éventuellement à la remise en cause des protocoles expérimentaux, des mesures effectuées, des modèles retenus, dans le cadre d'une véritable réflexion scientifique de l'ingénieur.

L'acquisition de cette démarche ne peut se faire efficacement que sur des systèmes pluritechnologiques complexes. La dichotomie génie électrique - génie mécanique, qui prévalait jusqu'alors, disparaît au profit d'une approche mieux adaptée pour aborder les différents domaines de l'ingénierie, notamment ceux des bâtiments et ouvrages.

Ce programme de sciences de l'ingénieur favorise une approche pluridisciplinaire qu'il est souhaitable de mettre en œuvre en toute occasion, au-delà du TPE et du projet interdisciplinaire. Le professeur de sciences de l'ingénieur devra organiser sa progression pédagogique en relation avec son collègue de mathématiques et de celui de SPCFA. Cette progression doit s'appuyer sur des activités expérimentales. Celles-ci ne sont pas une finalité, mais constituent uniquement une modalité pédagogique.

Cette pluridisciplinarité doit être organisée pour les activités de TPE et de projet qui sollicitent des démarches de créativité pour imaginer des solutions qui répondent à un besoin.

Les sciences de l'ingénieur ne sont pas une application des mathématiques et des SPCFA. Ce nouveau programme permet aux sciences de l'ingénieur de se distinguer des sciences appliquées par ses démarches spécifiques, nécessaires à l'étude et à l'analyse des systèmes pluritechnologiques complexes.

Six heures d'enseignement doivent être consacrées au programme de sciences de l'ingénieur aussi bien en première qu'en terminale. Dans le cadre de l'autonomie des établissements, elles peuvent être équitablement réparties entre cours, TP et TD, ces derniers comportant des activités de simulation.

La septième heure en première est consacrée au TPE. Le principe de base pour le TPE est la pluridisciplinarité, deux disciplines au moins doivent être impliquées : les sciences de l'ingénieur ainsi que, par exemple, les mathématiques, la physique-chimie ou encore les sciences de la vie et de la Terre

Soixante dix heures en terminale sont consacrées au projet interdisciplinaire en collaboration avec les disciplines scientifiques ou encore les disciplines de l'enseignement commun.

# LA DÉMARCHE DE L'INGÉNIEUR

## COMPETENCES VISEES ET ECARTS OBSERVES

L'équipe pédagogique des classes de première et de terminale doit bâtir une progression qui permet la mise en œuvre de la démarche de l'ingénieur décrite à la figure 3. L'objectif terminal est de mettre en évidence les écarts entre les performances des différents systèmes représentés sur la figure 4. Les entrées du programme peuvent se faire par les différents systèmes (souhaité, réel et simulé) ; la démarche de l'ingénieur a pour objectif de minimiser les écarts entre les systèmes souhaité, réalisé et simulé. Les écarts permettront, si nécessaire, de compléter la connaissance des modèles, des protocoles expérimentaux ou d'améliorer les performances du système réel.

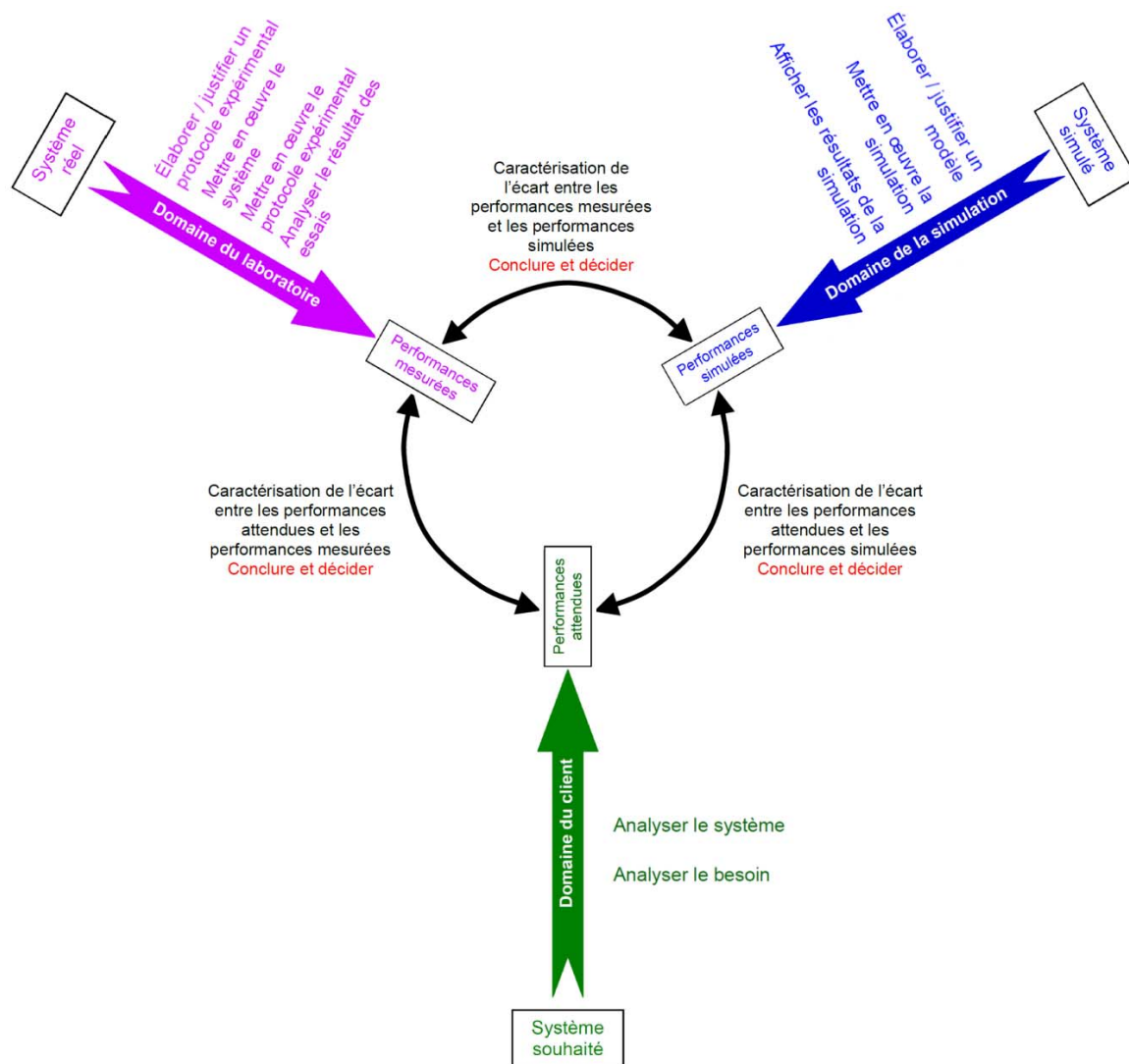


Figure 4 – Démarche de l'ingénieur pour caractériser les écarts

Pour atteindre cet objectif terminal, les quatre compétences (Analyser, Expérimenter, Modéliser, Communiquer) seront à développer, par la mise en place des sous-compétences (A1, A2, ..., B1, ...) du programme. Durant les deux années de formation, notamment en début, il sera parfois nécessaire de mettre en évidence un seul des trois écarts, et de se limiter à une partie de la démarche de l'ingénieur. Cette démarche est illustrée par les trois graphiques (figure 5), avec les « sous-compétences » associées.

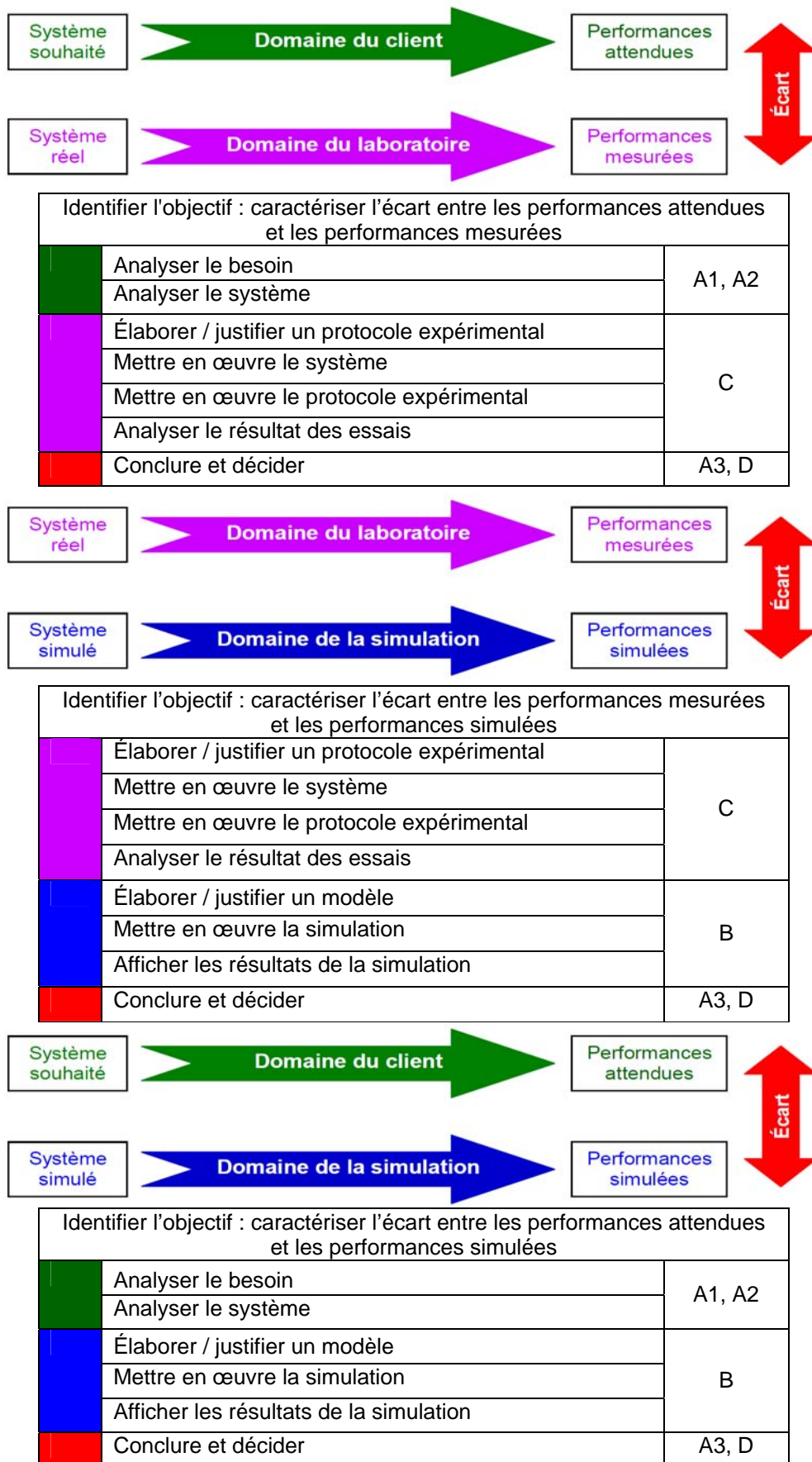


Figure 5 – Démarche (complète ou partielle) de l'ingénieur pour caractériser un seul écart



## ✗ NOTION DE SYSTEMES REELS

Les systèmes réels, dans leur environnement normal d'utilisation, ont des comportements d'un certain niveau de complexité qui sont peu accessibles à la compréhension au cycle terminal du lycée. Il est cependant possible de mener une réflexion sur ces comportements à partir d'un système réel instrumenté replacé dans son contexte ou d'une maquette instrumentée présente dans le laboratoire. Cette réflexion doit permettre de sensibiliser les élèves sur les différences de comportement dues à cette modélisation (figure 6).



Figure 6 – Mise en évidence d'une différence entre les performances mesurées sur le système en situation d'usage et sur la maquette

### Influence de l'environnement sur le comportement d'un système

Le comportement des systèmes présents dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur peut être différent de celui qui est en situation d'usage. Une sensibilisation à cette différence est nécessaire pour :

- justifier la pertinence du système du laboratoire par rapport au système en situation d'usage ;
- conclure sur les performances du système en situation d'usage.

### Particularité des systèmes de grandes ou très petites dimensions

Les systèmes de grandes ou de très petites dimensions ne peuvent être disposés dans une salle de classe ou un laboratoire. C'est particulièrement le cas des systèmes issus du domaine de l'aménagement du territoire, de l'habitat, des ouvrages, des transports (bâtiments, ouvrages de travaux publics, avions, bateaux, trains, ...) et des systèmes issus des nanotechnologies.

Il est cependant possible de travailler sur ces systèmes, à partir d'une maquette réelle à échelle réduite et d'une maquette virtuelle, par exemple :



Figure 7 – Maquettes du pont

Remarque :

*Les composants structurels des maquettes, même s'ils sont proposés dans des matériaux différents de ceux du système réel, devront transposer la réalité. Par exemple :*

- le tablier d'un pont à haubans est plus lourd que les haubans qui le soutiennent ;
- l'influence des charges liées aux situations d'usage des systèmes devra être une transposition directe des effets réels, que l'on devra pouvoir constater par l'observation des comportements du système ;
- la structure d'un pont suspendu a pour fonction de supporter le tablier puis les véhicules empruntant cet ouvrage ;
- dans une habitation, le poids d'un plancher est prépondérant par rapport à celui des personnes et des biens portés par ce plancher ;
- des phénomènes de dilatation thermique peu visibles à petite échelle peuvent devenir déterminants sur le système réel.

## ✗ LES MODELES UTILISES

La modélisation d'un système pluri technologique pourra être réalisée à partir d'un modèle de connaissance ou d'un modèle de comportement ou d'un modèle combinant ces deux approches.

Plus généralement, les limites à l'élaboration d'un modèle de connaissance sont directement liées à la complexité du système étudié et aux savoirs devant être mobilisés (lois de comportement).

Certains systèmes pourront se prêter à l'élaboration exhaustive d'un modèle de connaissance. C'est par exemple le cas d'un système mécanique asservi simple ayant un algorithme élémentaire d'élaboration de la commande.

Par contre, il sera impossible d'élaborer un modèle de connaissance exhaustif pour des systèmes plus complexes d'un point de vue technologique. Le modèle de comportement permettra alors d'accéder à sa modélisation.

D'autres systèmes permettront de conjuguer les modèles de connaissances et les modèles de comportement des composants afin d'obtenir une modélisation du système complet.

Les savoirs et capacités attendues permettent d'accéder à l'élaboration de tels modèles.

En particulier, la démarche expérimentale décrite dans le programme permet de mettre en œuvre des protocoles expérimentaux simples indispensables à l'approche comportementale.

## ÉLABORER UNE PROGRESSION PÉDAGOGIQUE

### ✗ ÉLÉMENTS POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROGRESSION PEDAGOGIQUE

L'organisation des enseignements relève de propositions du conseil pédagogique arrêtées par le chef d'établissement<sup>1</sup>.

Ce document a pour objectif d'aider à la mise en œuvre du nouveau programme de l'enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur. Il en précise les intentions en apportant des éléments d'information et d'illustration.

### ✗ UNE PROGRESSION CONSTRUITE AVEC UNE APPROCHE PAR COMPETENCES

Le BOEN spécial n°9 du 30 septembre 2010 précise les compétences à installer progressivement durant le cycle terminal (figure 8).

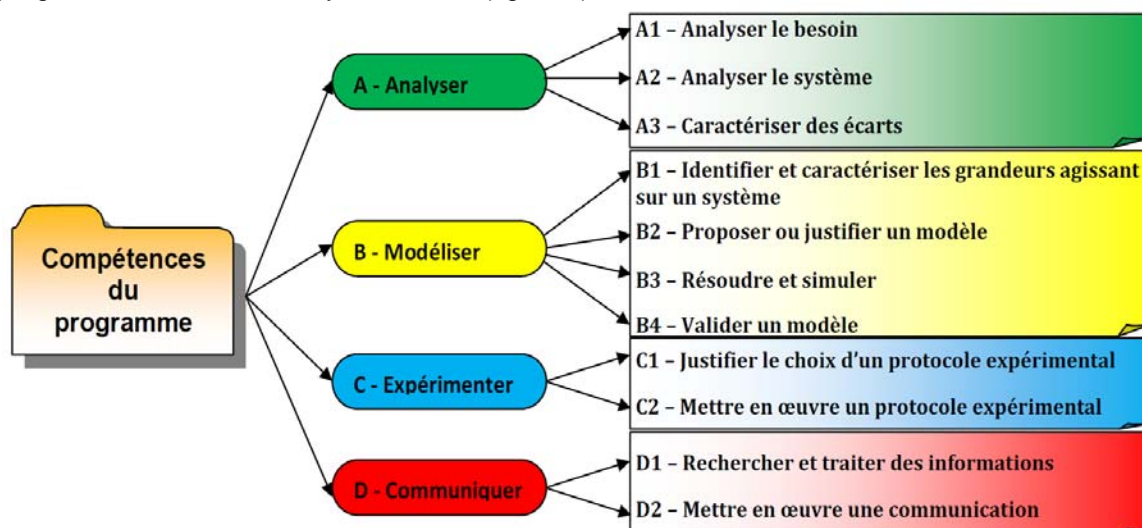


Figure 8 – Compétences à installer pendant le cycle terminal

La progression pédagogique se construit à partir d'une approche par compétences qui se déroule en trois phases (figure 9) :

<sup>1</sup> Article 8 - Bulletin officiel spécial n° 1 du 4 février 2010.

Phase 1 – L’acquisition de connaissances et de capacités qui constitueront progressivement les acquis du lycée (ressources internes). L’accès à des bases de ressources documentaires (ressources externes) permettra à l’élève de compléter ses connaissances.

Phase 2 – L’entraînement à la résolution de tâches complexes. La démarche est donnée, la résolution est guidée et le choix de la méthode est précisé.

Phase 3 – La tâche complexe est résolue en autonomie.

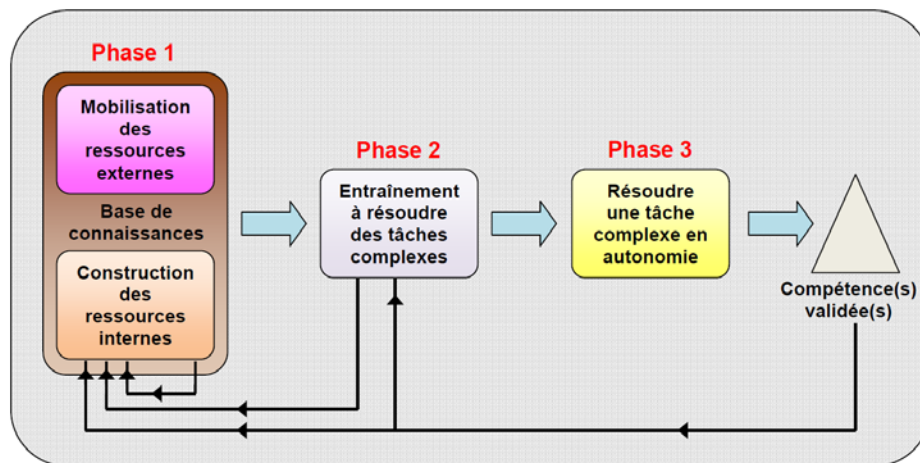


Figure 9 – Comment développer une compétence ?

Ce schéma peut être mis en œuvre dès le début de la formation du cycle terminal. C’est la répartition entre ressources internes et externes qui change. En début de première, l’élève utilise ses acquis de seconde et des ressources externes ; en fin de cycle terminal, il utilise l’ensemble des compétences déclinées dans le programme.

La progression pédagogique intègre à la fin du cycle terminal une activité de projet interdisciplinaire (figure 10). Il constitue une modalité pédagogique permettant de consolider ou d’augmenter le niveau de maîtrise des compétences.

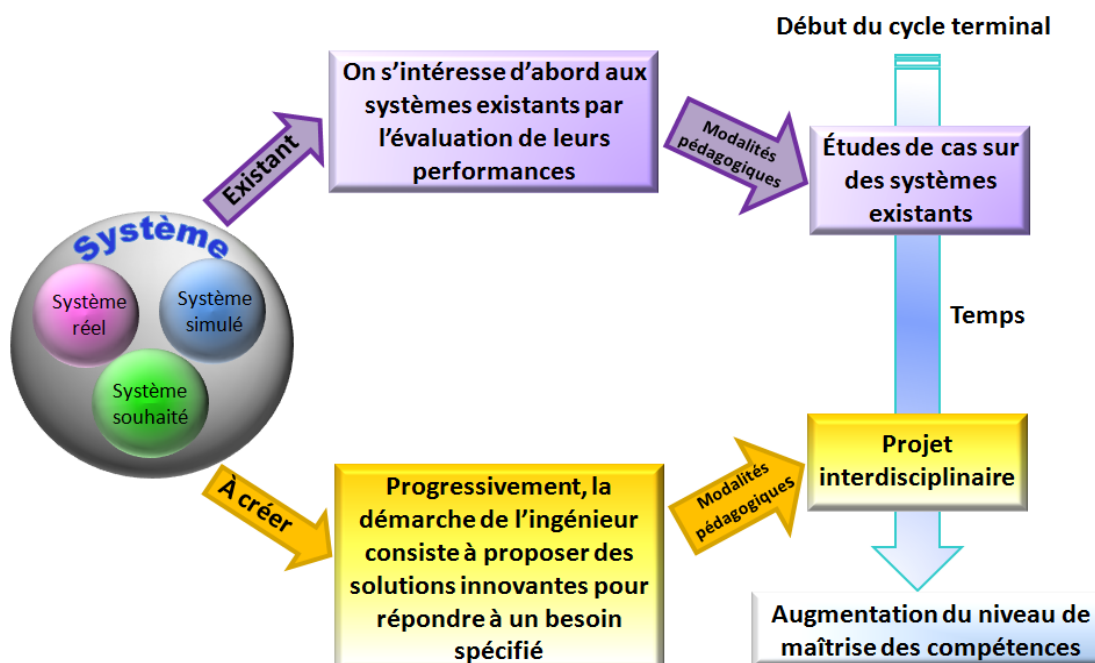


Figure 10 – Augmentation progressive du niveau de maîtrise des compétences

## ✗ UNE PROGRESSION QUI ORGANISE LES ACTIVITES SUR DEUX ANS

### Organisation pédagogique

Le programme propose une répartition des capacités et des connaissances à atteindre en fin de première et en fin de terminale. Lorsque le niveau attendu pour les capacités n'est précisé qu'en classe de terminale, cela signifie qu'il doit être atteint en fin de cursus mais qu'il peut être introduit en classe de première.

Pour susciter l'intérêt des élèves et afin de prendre en compte la diversité des matériels et l'implantation des laboratoires, l'organisation pédagogique doit être élaborée à partir de centres d'intérêts clairement identifiés pour chaque séquence et chaque séance.

De la même manière que l'esprit de ce programme a évolué avec une architecture par compétences et non par connaissances, avec des niveaux taxonomiques appliqués aux capacités et non aux connaissances, le concept de centre d'intérêt prend ici une autre signification et une autre dimension.

**Un centre d'intérêt regroupe des connaissances** à acquérir **et des capacités** à développer, décrites dans le programme, rassemblées dans les compétences : analyser, expérimenter, modéliser.

La définition proposée est de **type méthodologique** pour structurer l'activité des élèves et correspond à celle utilisée en Technologie au collège.

Exemple de définition des centres d'intérêt :

Point de vue	Centres d'intérêt
Système souhaité	CI1 : Analyser un système fonctionnellement et structurellement.
Système réel	CI2 : Expérimenter et mesurer sur un système réel pour évaluer ses performances. CI3 : Analyser des constituants d'un système réel d'un point de vue structurel et comportemental.
Système simulé	CI4 : Concevoir et utiliser un modèle relatif à un système en vue d'évaluer les performances de la chaîne d'information. CI5 : Concevoir et utiliser un modèle relatif à un système en vue d'évaluer les performances de la chaîne d'énergie.

Le centre d'intérêt, **fil rouge de connaissances et de capacités**, permet d'organiser les activités proposées à l'ensemble du groupe classe. Il présente de nombreux avantages :

- il centre l'attention des élèves et du professeur sur les objectifs des apprentissages ;
- il permet la programmation de ces apprentissages (activités pratiques mieux ciblées, gestion facilitée des antécédents) ;
- il permet la structuration des apprentissages ;
- il est le point de mire des apprentissages et détermine les évaluations en fin de cycle.

L'identification et le découpage en centres d'intérêt doivent prendre en compte :

- l'analyse des connaissances et des capacités associées décrites dans le programme ;
- l'expérience du professeur et sa compétence en didactique qui lui permettent d'identifier les points-clés de la formation.

Dès que l'enseignant a identifié les connaissances et les capacités associées à son (ses) centre(s) d'intérêt, il détermine la durée de la séquence pédagogique associée.

La mise en place de séquences courtes, exploitant largement les différents systèmes du laboratoire, rapproche dans le temps les activités d'acquisition de connaissances et de capacités des activités de structuration et de synthèse.

La structuration des connaissances à partir des centres d'intérêt ne doit pas être liée à la spécificité d'un système ou d'un matériel didactique, mais au contraire permettre de transposer les acquis à d'autres systèmes dans des situations différentes pour réussir une tâche complexe.

Les compétences sont développées de façon progressive et simultanée et non pas acquises les unes après les autres. Une partie de l'organisation pédagogique peut se construire à partir d'un centre d'intérêt, c'est le cas en début de classe de première. Au fur et à mesure de l'augmentation du niveau de maîtrise des compétences, on peut faire intervenir plusieurs centres d'intérêt.

Les différentes modalités pédagogiques, cours, TD, TP, sont librement organisées sur le total horaire de six heures. En particulier, il n'y a pas d'obligation d'affecter le même volume horaire aux différentes activités cours, TD, TP dans une organisation hebdomadaire figée sur l'année. Il est recommandé d'adapter les volumes horaires aux besoins pédagogiques. Certaines connaissances et capacités du programme, identifiées par les enseignants comme complexes et importantes pour construire la suite de la progression, peuvent solliciter un volume horaire plus important en TD et TP. D'autres notions du programme peuvent se construire plus largement grâce à des activités de cours et de TD.

La plus petite unité pédagogique temporelle **cohérente** est la séquence. Elle est qualifiée de cohérente si :

- elle est construite avec un ou plusieurs centres d'intérêt ;
- elle mobilise trois processus : donner du sens et motiver les élèves, développer les compétences, évaluer les acquis.

Il reste à définir l'organisation temporelle des séquences adaptée aux contraintes de l'année scolaire (trimestres et périodes inter-vacances, examens).

Un exemple d'organisation pédagogique est fourni figure 11.

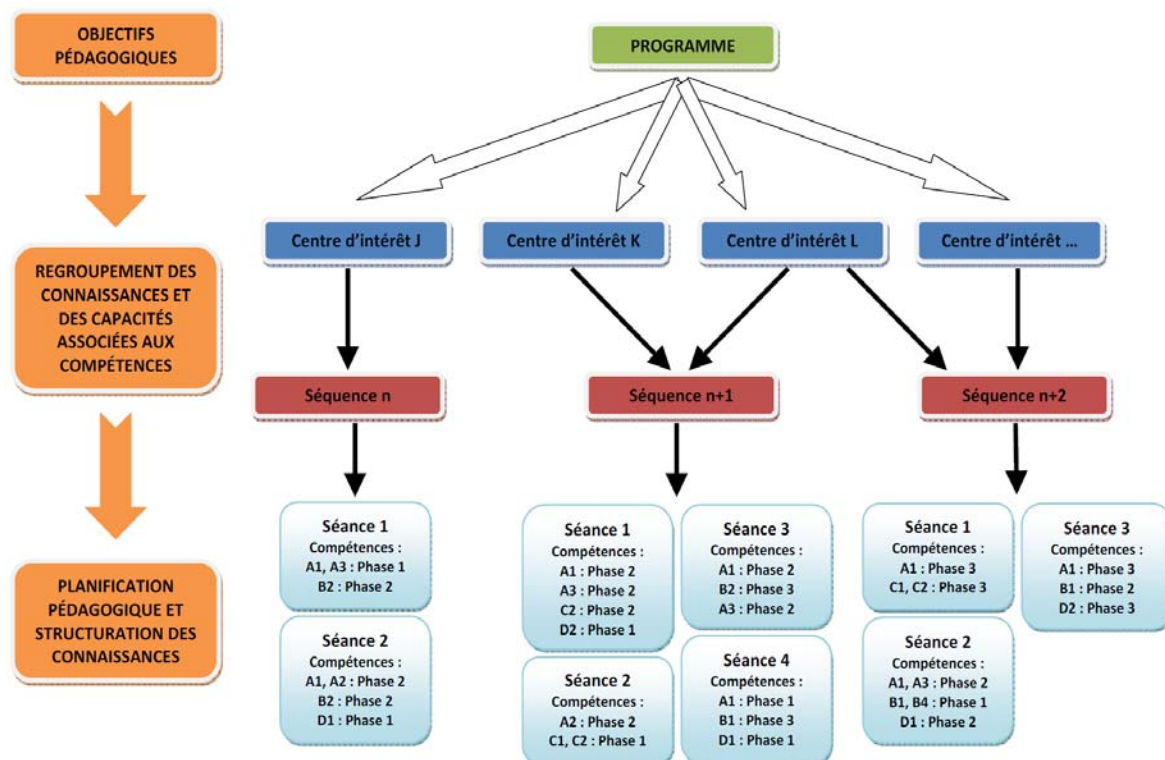


Figure 11 – Exemple d'organisation pédagogique par centres d'intérêt

La lecture horizontale de la figure 11 indique l'évolution temporelle sur les deux années du cycle de formation. La lecture verticale indique l'évolution temporelle de la séquence concernée.



Chaque séquence doit comporter un processus centré sur le sens. Il permet de travailler sur la motivation des élèves et sur le sens donné aux activités proposées. Ces deux points sont étroitement associés à l'efficacité pédagogique de la séquence. Ce processus est réduit dans une séquence mettant en œuvre une démarche déductive et il est particulièrement développé lors de l'emploi d'une démarche inductive.

Il est préconisé une entrée globale, externe et descendante. La méthode s'organise en trois étapes (figure 12) :

- présenter les activités proposées en prenant en compte le contexte économique, social et environnemental. On s'intéresse avant tout au « pourquoi » (par exemple : quels sont les nouveaux services à développer pour favoriser les déplacements en milieu urbain ?) ;
- établir une problématique exprimée au niveau des fonctions de services du système dont on cherche à en vérifier les performances (par exemple : quelle énergie faut-il embarquer pour obtenir l'autonomie attendue ?) ;
- présenter un ou plusieurs problèmes techniques en liaison avec les fonctions techniques du système (par exemple : comment transmettre un effort ?).

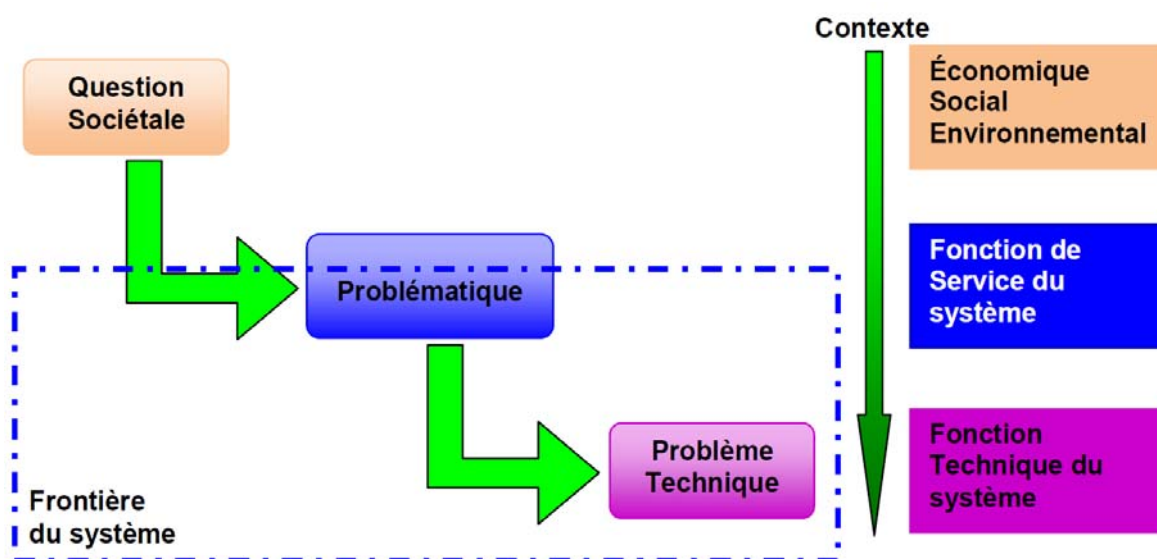


Figure 12 – Comment donner du sens ?

Chaque séquence doit comporter un processus de structuration des connaissances associées aux compétences. C'est le rôle du cours dans une démarche déductive ou de la leçon de synthèse dans une démarche inductive. Le résultat de ce processus (les documents remis à l'élève ou les prises de notes) doit être d'une accessibilité maximale pour l'élève, il identifie ce qui est à apprendre et à retenir.

Chaque séquence doit comporter un processus d'évaluation (ou auto-évaluation) qui peut être complet (diagnostic, formatif, sommatif) ou partiel (uniquement formatif). Ce processus doit être bien identifié et lisible de l'élève. Il définit le contrat pédagogique passé entre le professeur et l'élève. Il explicite les attendus, les critères, le type et les modalités d'évaluation.

### Organisation d'une séquence

Une séquence est un ensemble de séances, liées par un principe d'organisation : les élèves acquièrent les mêmes compétences en réalisant des activités qui peuvent être différentes (figure 13). Une séquence doit posséder son propre dispositif de structuration des connaissances (cours en démarche déductive, synthèse en démarche inductive) et un dispositif d'évaluation.

La phase d'activation est destinée à donner du sens aux apprentissages, à présenter la problématique et les choix de supports pour motiver les élèves. Par exemple dans une démarche pédagogique inductive, on pourrait organiser la séquence comme représentée figure 13.

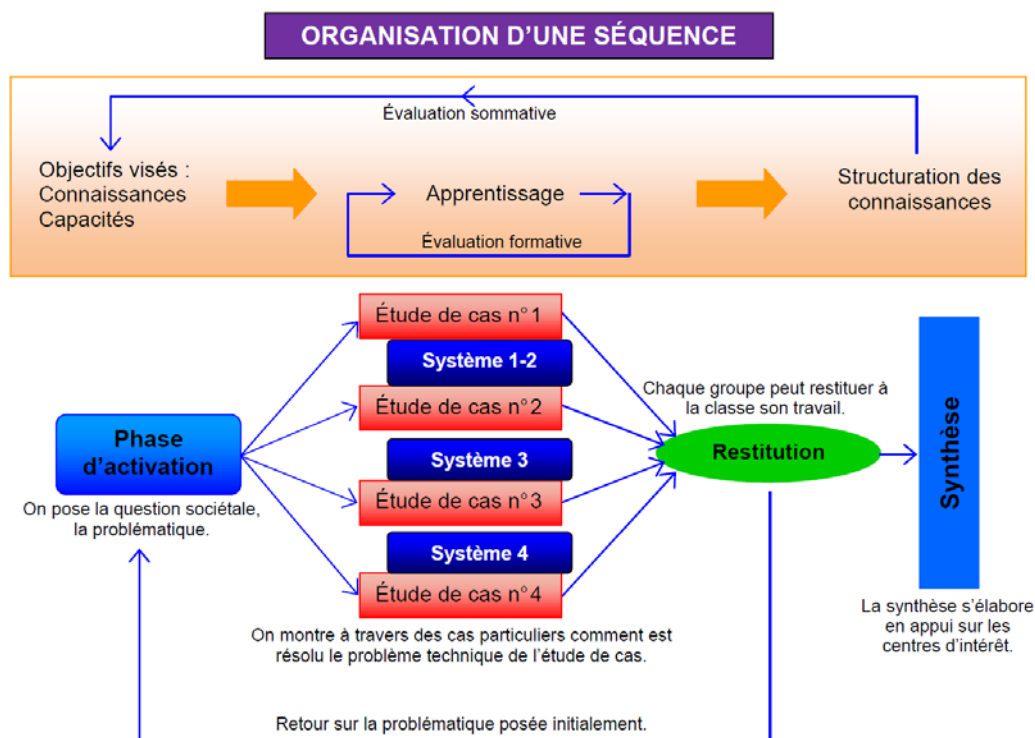


Figure 13 – Organisation structurelle et temporelle d'une séquence

### Étude de cas

Une étude de cas est un ensemble d'activités pédagogiques (cours, travaux dirigés, simulations, activités expérimentales, étude de dossier, mini-projet<sup>2</sup>) qui permet aux élèves d'acquérir des connaissances et des capacités à partir d'une situation problème. Les modalités pédagogiques s'appuient sur des démarches d'investigation et de résolution de problèmes techniques.

Une étude de cas conduit les élèves à découvrir des règles, des lois, des méthodes, des organisations fonctionnelles et structurelles dans leur contexte normal d'utilisation sur des systèmes existants, présents ou non dans le laboratoire.

Chaque situation problème relève d'un thème sociétal (par exemple : énergie) et d'une problématique (par exemple : rendre une maison plus économe en énergie).

### Exemple de thèmes sociétaux

Voici quelques exemples de problématiques et de systèmes à étudier, permettant d'introduire des activités pédagogiques.

Thèmes sociétaux	Problématique	Systèmes potentiellement à étudier
Confort	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Améliorer le confort ou l'ergonomie d'un système</b> <i>Diminuer les vibrations ressenties dans une voiture ou sur un pont</i></li> <li><b>Améliorer le confort d'un environnement</b> <i>Contrôler la température et l'humidité dans un avion ou un gratte-ciel</i></li> </ul>	Équipements électroménager, audiovisuel, informatique

<sup>2</sup> Le mini projet est une activité, indépendante du projet interdisciplinaire, d'une durée de deux à quatre heures environ.

Thèmes sociétaux	Problématique	Systèmes potentiellement à étudier
Énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Diminuer le besoin énergétique</b> <i>Rendre un ordinateur, un fauteuil roulant électrique ou une maison plus économe en énergie</i></li> <li>• <b>Augmenter l'autonomie énergétique</b> <i>Augmenter l'autonomie d'un véhicule grâce à une pile à combustible</i></li> <li>• <b>Assurer l'indépendance énergétique</b> <i>Rendre un voilier ou un habitat énergétiquement indépendant</i></li> </ul>	Habitat, constructions et infrastructures collectives
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Diminuer les nuisances environnementales générées par un système (bruit, vibrations, lumière, émissions de polluants, ...)</b> <i>Diminuer les rejets de polluants d'un véhicule ou d'une station d'épuration. Rétablir des circulations d'animaux par la création de passerelles</i></li> <li>• <b>Diminuer les ressources matérielles nécessaires à la réalisation ou au fonctionnement d'un système</b> <i>Diminuer la quantité de matériaux nécessaires pour réaliser une passerelle, ou un châssis de véhicule</i></li> <li>• <b>Utiliser des ressources recyclées pour réaliser un nouveau système</b> <i>Utiliser des containers pour réaliser des logements, recycler des composants informatiques pour créer de nouveaux équipements</i></li> </ul>	Moyens de production et de gestion de l'énergie
Santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Protéger la santé</b> <i>Équiper un véhicule afin de limiter les risques d'accidents</i></li> <li>• <b>Améliorer la santé ou pallier un handicap</b> <i>Équiper une personne d'un système permettant de diminuer son handicap</i></li> </ul>	Moyens de locomotion
Mobilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Améliorer la mobilité de l'utilisateur</b> <i>Équiper un individu ou un environnement afin d'améliorer sa mobilité</i></li> </ul>	
Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Protéger un environnement vis-à-vis des risques naturels (séisme, avalanches, inondations, incendies, glissements de terrain, cyclones, ...)</b> <i>Modifier une digue pour protéger un littoral d'un raz-de-marée</i></li> <li>• <b>Protéger un environnement ou un système des tentatives de dégradation ou d'intrusion</b> <i>Utiliser un système de surveillance automatisé pour détecter des dysfonctionnements</i></li> </ul>	
Assistance au développement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fournir des ressources ou des équipements nécessaires à un environnement en manque (eau, énergie, alimentation, matériaux, ...)</b> <i>Fournir de l'eau et de l'électricité à un village éloigné de toute infrastructure</i></li> </ul>	



## ✗ UNE APPROCHE CONCOURANTE MAIS NON SEQUENTIELLE

La progression pédagogique vise à développer les connaissances et les capacités aux niveaux (A, B, C) spécifiés dans le programme.

Il convient de planifier une progression annuelle qui développe au sein des séquences une ou plusieurs compétences, qui regroupe en un tout cohérent les connaissances et les capacités, en élevant progressivement et simultanément le niveau d'exigence.

Exemple de stratégie pédagogique recommandée

Compétences à développer											
ANALYSER			MODÉLISER				EXPÉRIMENTER		COMMUNIQUER		
A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	D1	D2	
Séquence 1	Séance 1										
	Séance 2										
	Séance 3										
Séquence n	Séance 1										
	Séance 2										
	Séance 3										

Il ne s'agit pas de réaliser une progression segmentée, qui installerait l'une après l'autre les compétences en multipliant le nombre de séances pour accroître le niveau comme illustrée dans le tableau ci-dessous.

Stratégie pédagogique à éviter

		Compétences à développer										
		ANALYSER			MODÉLISER				EXPÉRIMENTER		COMMUNIQUER	
		A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	D1	D2
Séquence 1	Séance 1											
	Séance 2											
	Séance 3											
Séquence ...	Séance 1											
	Séance 2											
	Séance 3											
Séquence ...	Séance 1											
	Séance 2											
	Séance 3											
Séquence n	Séance 1											
	Séance 2											
	Séance 3											

## ✗ LES CONTRAINTES D'ANTÉRIORITÉ ENTRE LES SÉQUENCES

Les séquences ne sont pas toutes indépendantes, ne serait-ce que pour permettre d'acquérir les capacités au niveau demandé (A, B ou C). Plusieurs séquences peuvent viser le développement d'une même compétence et donc des connaissances et capacités qui la composent. Un concept peut être abordé dans une première séquence au niveau A, puis quelques séquences après au niveau B ou C. Le traitement d'une compétence peut requérir la maîtrise d'une autre compétence.

Exemple de contraintes d'antériorité sur les séquences

	Compétences à développer										
	ANALYSER			MODÉLISER				EXPÉRIMENTER		COMMUNIQUER	
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	D1	D2
Séquence 1	X	X								X	
Séquence 2			X	X							
Séquence 3	X										X

Exemple : la séquence 3 approfondit la compétence A1, traitée une première fois en séquence 1. La séquence 2 vise le développement de la compétence A3, qui nécessite d'avoir abordée la compétence A1 au moins une fois.

## EXEMPLES D'ORGANISATION D'UNE SÉQUENCE

### ✗ DESCRIPTION DES EXEMPLES DE SÉQUENCES PÉDAGOGIQUES

Trois exemples de séquences sont proposés. Ils ont vocation à illustrer l'acquisition par les élèves des connaissances et des capacités définies par le programme, en mobilisant les différentes modalités pédagogiques que sont le cours, les travaux dirigés, les activités de simulation, les activités expérimentales, les études de dossiers, les mini-projets, organisées sur une séquence complète. Cette dernière pourra être librement adaptée par les enseignants qui disposent d'une pleine autonomie dans leurs choix pédagogiques.

Les trois séquences proposées sont indépendantes les unes des autres. Elles sont rédigées pour illustrer plusieurs typologies de séquences, destinées à organiser les activités pour une partie seulement de l'effectif des élèves, par exemple autour d'un îlot. Ces exemples sont à exploiter en complément d'autres séquences. Ils ne doivent pas être considérés comme un tout qui permettrait, par addition ou par clonage des séquences présentées, d'organiser l'activité de l'effectif complet des élèves au sein d'une progression pédagogique concernant toute une division.

Chacune des séquences présentées s'appuie sur un ou plusieurs systèmes. Cependant l'acquisition des compétences n'est pas liée à la spécificité des systèmes proposés. Leur utilisation est illustrative. Elle ne constitue en aucune façon une obligation d'acquisition de ces matériels pour le laboratoire des sciences de l'ingénieur au sens d'un guide d'équipement. Les compétences développées dans ces exemples pourraient l'être sur d'autres systèmes comme le permet une pédagogie utilisant les centres d'intérêt.

## ❌ EXEMPLE N°1

### Connaissances et capacités associées visées

Frontière de l'étude	Isoler un système et justifier l'isolement Identifier les grandeurs traversant la frontière d'étude
Caractéristiques des grandeurs physiques (mécaniques, électriques, thermiques, acoustiques, lumineuses)	Qualifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé Identifier la nature (grandeur effort, grandeur flux) Décrire les lois d'évolution des grandeurs Utiliser les lois et relations entre les grandeurs
Matériaux	Identifier les propriétés des matériaux des composants qui influent sur le système
Énergie et puissances Notion de pertes	Associer les grandeurs physiques aux échanges d'énergie et à la transmission de puissance Identifier les pertes d'énergie
<b>B1 – Identifier et caractériser les grandeurs agissant sur un système</b>	

Chaîne d'énergie	Associer un modèle à une source d'énergie Associer un modèle aux composants d'une chaîne d'énergie Déterminer les points de fonctionnement du régime permanent d'un actionneur au sein d'un procédé
Liaisons	Construire un modèle et le représenter à l'aide de schémas Préciser les paramètres géométriques Établir la réciprocité mouvement relatif / actions mécaniques associées
Graphes de liaisons	Construire un graphe de liaisons (avec ou sans les efforts)
Modèle du solide	Choisir le modèle de solide, déformable ou indéformable selon le point de vue
Action mécanique	Modéliser les actions mécaniques de contact ou à distance (gravité, pression, électromagnétisme, ...)
Modèle de matériau	Choisir ou justifier un modèle comportemental de matériau
<b>B2 – Proposer ou justifier un modèle</b>	

Principe fondamental de la dynamique	Établir de façon analytique les expressions d'efforts (force, couple, pression, tension, etc.) et de flux (vitesse, vitesse angulaire, débit, intensité du courant, etc.) Traduire de façon analytique le comportement d'un système
Paramètres d'une simulation	Adapter les paramètres de simulation, durée, incréments temporels, choix des grandeurs affichées, échelles, à l'amplitude et la dynamique de grandeurs simulées
Modélisation plane	Déterminer le champ des vecteurs vitesses des points d'un solide
<b>B3 – Résoudre et simuler</b>	

Modèle de connaissance	Vérifier la compatibilité des résultats obtenus (amplitudes et variations) avec les lois et principes physiques d'évolution des grandeurs Comparer les résultats obtenus (amplitudes et variations) avec les données du cahier des charges fonctionnel
Matériaux	Identifier l'influence des propriétés des matériaux sur les performances du système Proposer des matériaux de substitution pour améliorer les performances du système
Structures	Valider l'influence de la structure sur les performances du système Proposer des modifications dans la structure pour améliorer les performances du système
Grandeurs influentes d'un modèle	Modifier les paramètres d'un modèle
Outils de simulation	Modifier des paramètres de simulation
<b>B4 – Valider un modèle</b>	

Capteurs	Qualifier les caractéristiques d'entrée – sortie d'un capteur Justifier le choix d'un capteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer Justifier les caractéristiques (calibre, position, ...) d'un appareil de mesure
Prévision quantitative de la réponse du système	Identifier le comportement des composants du système Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure
Chaîne d'information, structure et fonctionnement	Identifier la nature et les caractéristiques des grandeurs en divers points de la chaîne d'information Maîtriser les fonctions des appareils de mesures et leurs mises en œuvre
<b>C1 – Justifier le choix d'un protocole expérimental</b>	

Appareils de mesures, règles d'utilisation	Mettre en œuvre un appareil de mesure Paramétrer une chaîne d'acquisition
Paramètres de configuration du système	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système
Paramètres de configuration d'un réseau	Paramétrer un protocole de communication
Routages, procédures, ... Systèmes logiques événementiels	Générer un programme et l'implanter dans le système cible
Modèles de comportement	Analyser les résultats expérimentaux Traiter les résultats expérimentaux, et extraire la ou les grandeurs désirée(s)
<b>C2 – Mettre en œuvre un protocole expérimental</b>	

Dossier technique	Rechercher une information dans un dossier technique Effectuer la synthèse des informations disponibles dans un dossier technique
Bases de données .. Sélection, tri, classement de données	Optimiser les paramètres et les critères de recherche en vue de répondre au problème posé
Internet Outil de travail collaboratif, blogs, forums Moteur de recherche	Rechercher des informations Vérifier la nature de l'information Trier des informations selon des critères Utiliser des outils adaptés pour rechercher l'information Mettre à jour l'information
<b>D1 – Rechercher et traiter des informations</b>	

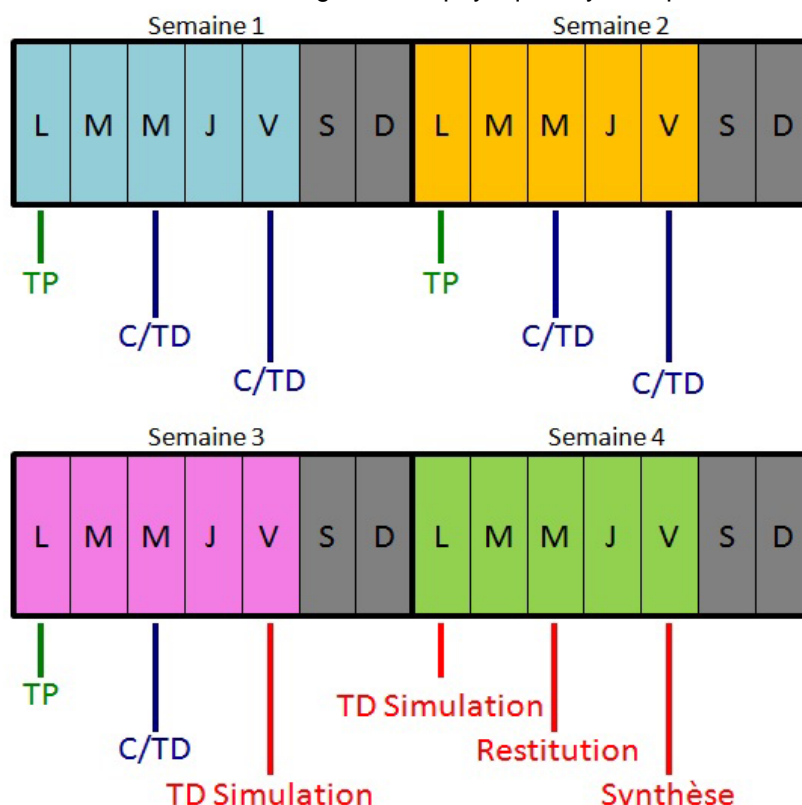
Croquis, schémas	Réaliser un croquis ou un schéma dans un objectif de communication
Production de documents	Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages Choisir l'outil bureautique adapté à l'objectif Réaliser un document numérique Réaliser et scénariser un document multimédia
<b>D2 – Mettre en œuvre une communication</b>	

### Description de la séquence

Cette séquence est basée sur le thème sociétal : mobilité. La problématique est : « Comment améliorer la motricité du modèle réduit de la voiture 4 roues motrices en phase d'accélération ? »

Cette séquence se situe durant la seconde année du cycle terminal de la série S.

La durée indicative de la séquence est de quatre semaines. Elle permet la vérification expérimentale des performances annoncées par le constructeur. Elle permet de mettre en œuvre un système dans ses conditions réelles d'exploitation et impose de définir un protocole d'essais reproductible. Elle amène à mesurer des grandeurs physiques dynamiques et statiques.



Les objectifs lors des activités expérimentales sont :

- l'analyse des performances attendues par le cahier des charges du constructeur ;
- la mise en œuvre des systèmes dans leurs conditions réelles d'exploitation en vue d'obtenir des données de mesures permettant de quantifier des performances mesurées ;
- la modélisation des phénomènes observés sur le système et l'évaluation de performances simulées ;
- la mesure de l'écart entre les performances simulées et les performances mesurées ;
- la mesure de l'écart entre les performances mesurées et les performances attendues ;
- la mesure de l'écart entre les performances simulées et les performances attendues.

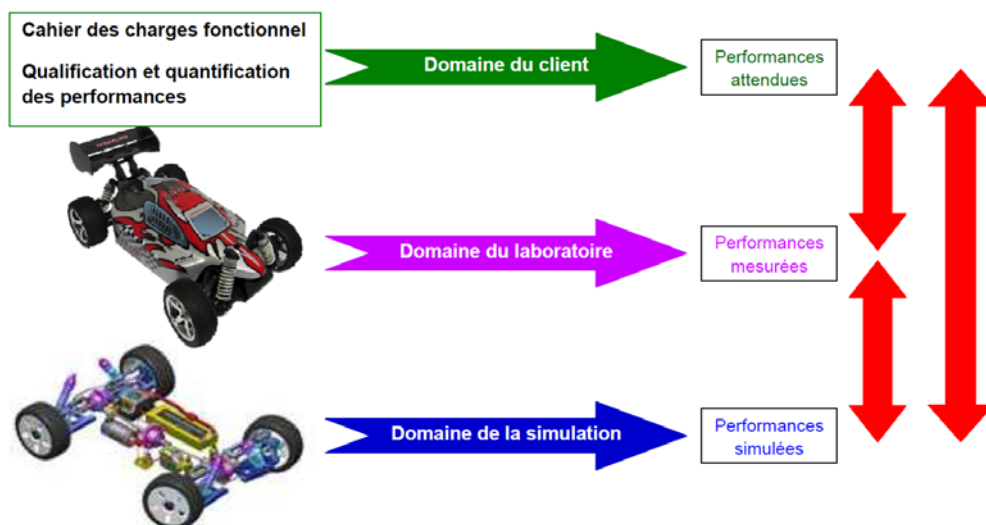
Le problème technique est « Montrer et quantifier l'influence du transfert de charge et de l'adhérence des pneumatiques sur la motricité de la voiture ».

Les centres d'intérêt choisis sont :

- C11 - Analyser un système fonctionnellement et structurellement ;
- C12 - Expérimenter et mesurer sur un système réel pour évaluer ses performances ;
- C13 - Analyser des constituants d'un système réel d'un point de vue structurel et comportemental ;
- C15 - Concevoir et utiliser un modèle relatif à un système en vue d'évaluer les performances de la chaîne d'énergie.

## Le système choisi

### **VOITURE RADIOCOMMANDÉE DE COMPÉTITION DIDACTISÉE**



Besoin	Disposer d'un modèle réduit réaliste pour la compétition
Indications quantifiées dans le cahier des charges	Autonomie de 20 minutes en compétition ou de 5 km Performances dynamiques paramétrables Moteur interchangeable Indications de consommation d'énergie, de vitesse, de déplacement fournis Rechargeable à partir du secteur en moins de deux heures Prix public inférieur à 2000 euros Résistance aux chocs jusqu'à 20 g Matériaux recyclables
Grandeurs mesurables	Courant, tension accumulateur embarqué Vitesse angulaire de l'arbre de transmission Accélération de la voiture (vidéo, accéléromètre, carte d'acquisition)
Grandeurs simulées	Maquette numérique de l'ensemble des composants Modèle de comportement de la machine synchrone, de la chaîne de transmission, des frottements

## Description des séances

### Description des travaux pratiques

Les mesures des performances sur un objet dynamique nécessitent de mettre en œuvre des protocoles de mesures à l'arrêt et des mesures embarquées ou à distance.

Sur la voiture modèle réduit, les performances de vitesse peuvent être mesurées en moyenne par des mesures d'espaces et de temps, en valeur instantanée par des moyens vidéo (webcam) et informatique associés. Les valeurs de courant et de tension dans le moteur ou fournis par l'accumulateur doivent être acquises par des moyens embarqués.

Les mesures sur les matériaux et le couple pneu-sol sont réalisables à l'arrêt, par exemple pour déterminer expérimentalement les limites de roulement sans glissement.

### Description du travail dirigé de simulation

Les élèves relèvent expérimentalement lors des deux premières séances l'ensemble des caractéristiques permettant de renseigner un modèle de comportement de la voiture. Cela suppose d'identifier les inerties ramenées sur l'arbre, de mesurer le couple moteur, de déterminer le couple résistant (résistance au roulement et pénétration dans l'air). Certaines de ces grandeurs peuvent être déterminées à partir de recherches documentaires sur l'internet (par exemple la résistance au roulement et la pénétration dans l'air). Le professeur fournit aux élèves un modèle

de comportement qui intègre dans un bloc fonctionnel le modulateur d'énergie et le moteur associé. Il ne s'agit pas d'étudier le fonctionnement détaillé du modulateur d'énergie et du moteur mais de comprendre quelles sont les grandeurs qui doivent être contrôlées et réglées en fonction des performances attendues. Les élèves utilisent ce modèle pour agir sur les paramètres permettant d'obtenir les valeurs attendues.

#### Description de la restitution

Il est demandé aux élèves de caractériser et de présenter les écarts entre :

- les performances attendues ;
- les performances mesurées ;
- les performances simulées.

La présentation réalisée avec des outils numériques doit justifier les différents écarts à partir des hypothèses et des conditions d'expérimentation et de simulation.

#### Évaluations

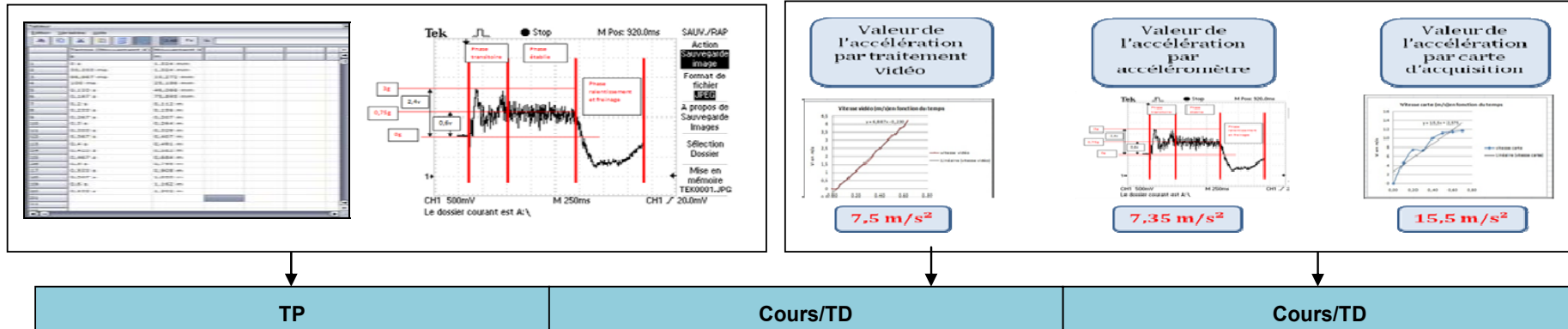
Il est possible d'évaluer de manière formative lors de l'étude de cas (activités expérimentales, travaux dirigés, ...).

La validation des compétences peut se faire comme suit :

- lors de l'étude de cas pour les compétences Analyser, Modéliser, Expérimenter ;
- lors de la séance de restitution pour la compétence Communiquer.

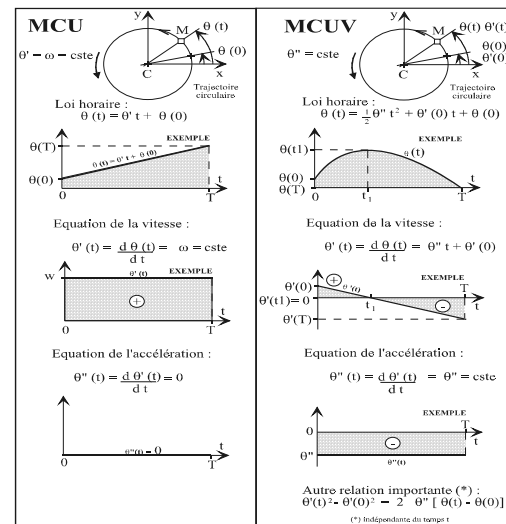
#### Organisation de la séquence

## Semaine N°1

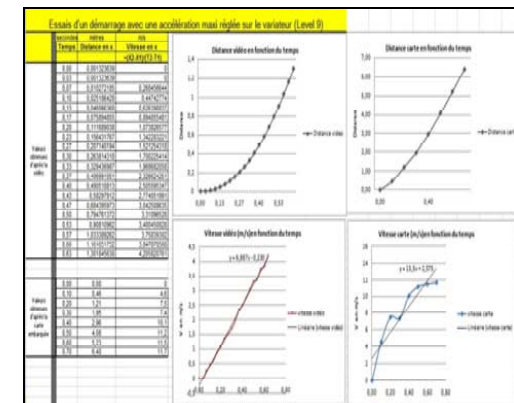


- analyser le besoin ;
- mettre en œuvre le système ;
- mesurer l'accélération à distance par traitement vidéo ;
- extraire les données cinématiques sous forme de vecteurs ;
- récupérer les données avec un tableur ;
- tracer des courbes ;
- mettre en œuvre le système ;
- mesurer l'accélération du véhicule avec un accéléromètre embarqué et un oscilloscope ;
- traiter le signal obtenu ;
- extraire les données cinématiques ;
- récupérer les données avec un tableur ;
- mesurer l'accélération du véhicule par enregistrement des données cinématiques avec une carte d'acquisition ;
- traiter les données pour obtenir les courbes du déplacement et de la vitesse en fonction du temps ;
- récupérer les données avec un tableur.

- équations horaires du mouvement des points d'un solide ;
- graphe du mouvement des points d'un solide.



- analyser le besoin ;
- interpréter les résultats ;
- modéliser le mouvement ;
- caractériser l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées ;
- constater le transfert de charge et le patinage des roues ;
- conclure.





## Semaine N°2

Les essais sont faits de façon à être le plus près possible de la limite d'adhérence (limites attendues).

Compléter le tableau en relevant la valeur fournie par le capteur dans les différentes situations.

	Etat moten	Press = orange type = rouille	Press = click = type route
Voiture d'état stable et stoppée	Sec	1.000H	2.500H
	Humide et glissant	0.800H	0.500H
Sur béton	Sec	2.500H	0.500H
	Humide et glissant	2.500H	0.500H
Sur chaussée goudronnée	Sec	0.800H	0.500H
	Humide et glissant	0.800H	0.500H

Compléter dans le tableau en relevant la valeur fournie par le capteur pour la valeur du coefficient d'adhérence.

	Etat moten	Press = orange type = rouille	Press = click = type route
Voiture d'état stable et stoppée	Sec	1.000H	2.500H
	Humide et glissant	0.800H	0.500H
Sur béton	Sec	2.500H	0.500H
	Humide et glissant	2.500H	0.500H
Sur chaussée goudronnée	Sec	0.800H	0.500H

Calibri 11 Police Alignement

G20

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0	0	0					
2	46	873	88					
3	121	889	68					
4	195	719	280					
5	296	818	151					
6	408	836	119					
7	523	831	132					
8	640	836	119					
9	756	831	129					
10	871	837	111					
11	973	953	0					
12	1043	950	0					
13	1099	948	0					
14	1137	946	0					
15	1163	944	0					
16	1176	944	0					
17	1186	945	0					
18	1196	945	0					
19	1203	945	0					
20	1206	946	0					
21	1207	946	0					
22	1207	946	0					
23	1207	946	0					
24	1207	946	0					

### Hypothèses

La voiture est immobile.

Le système est ramené un système plan.

La voiture a une masse  $m$  appliquée au centre de gravité  $G$ .

En utilisant le bilan précédent appliqué le PFS, écrire l'équation des moments au point B.

$$\sum \bar{x} F_{1x} + F_{2x} = 0$$

$$\sum \bar{y} F_{1y} + F_{2y} - M \cdot g = 0$$

$$\sum \bar{z} \text{ Équation moment en B } M \cdot g \cdot d_2 - F_{1y} \cdot d = 0$$

Q3 : Dédurre de l'équation des moments la charge initiale appliquée sur la roue arrière.

$$\text{Au départ sur la roue arrière il a donc une charge statique de: } F_{1y} = \frac{M \cdot g \cdot d_2}{d}$$

### TP

### Cours/TD

### Cours/TD

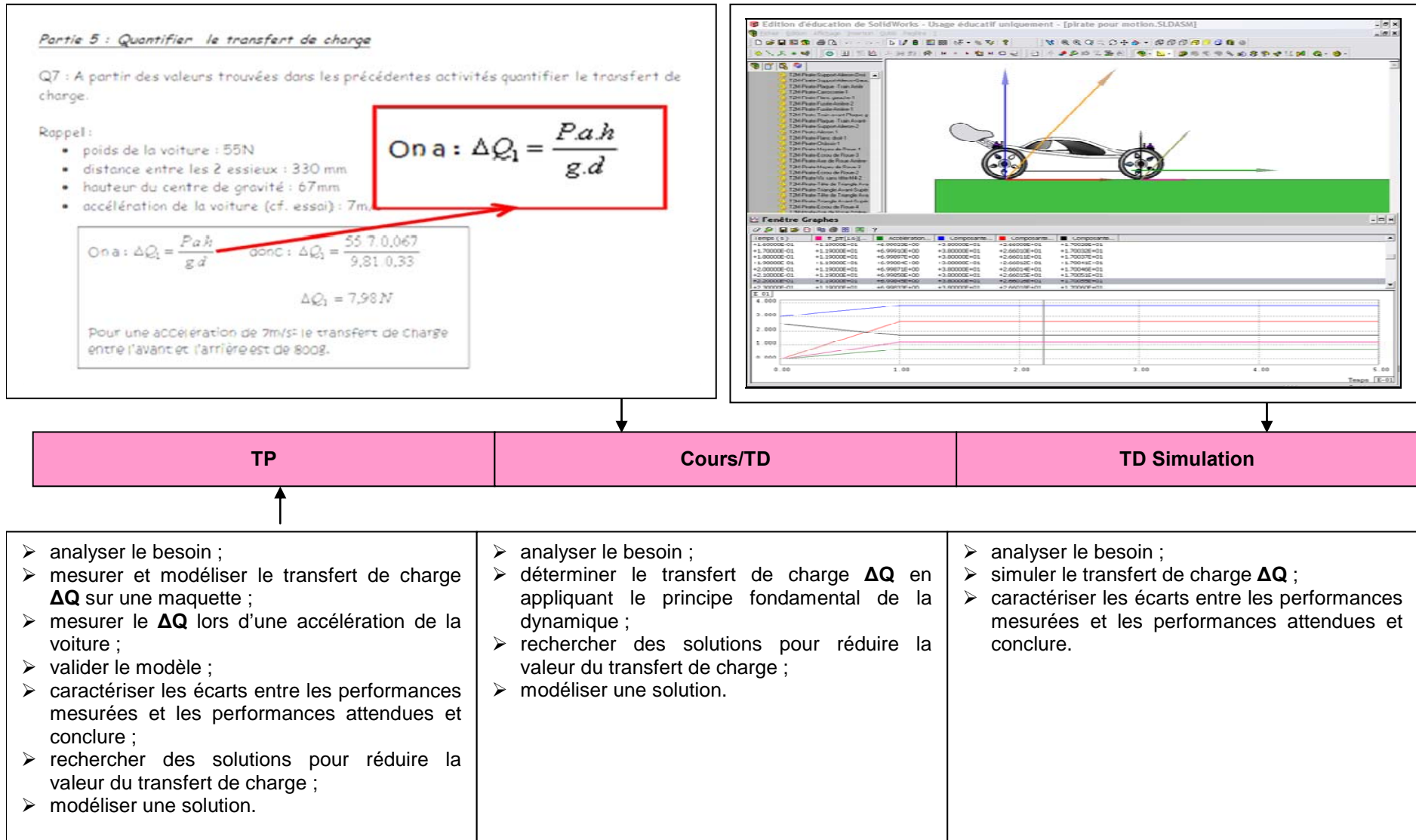
- analyser le besoin ;
- identifier expérimentalement les termes du principe fondamental de la dynamique :
  - couple moteur ;
  - couples résistant ;
  - inerties.
- mesurer la poussée du véhicule en mode 4x4
- caractériser les écarts entre les performances mesurées et les performances attendues et conclure.

- principe fondamental de la dynamique d'un solide en mouvement de translation rectiligne :
  - théorème de la résultante dynamique ;
  - théorème du moment dynamique appliqué au centre d'inertie.
- principe fondamental de la dynamique d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe :
  - théorème de la résultante dynamique ;
  - théorème du moment dynamique appliqué au centre d'inertie.
- exemples de moments d'inerties.

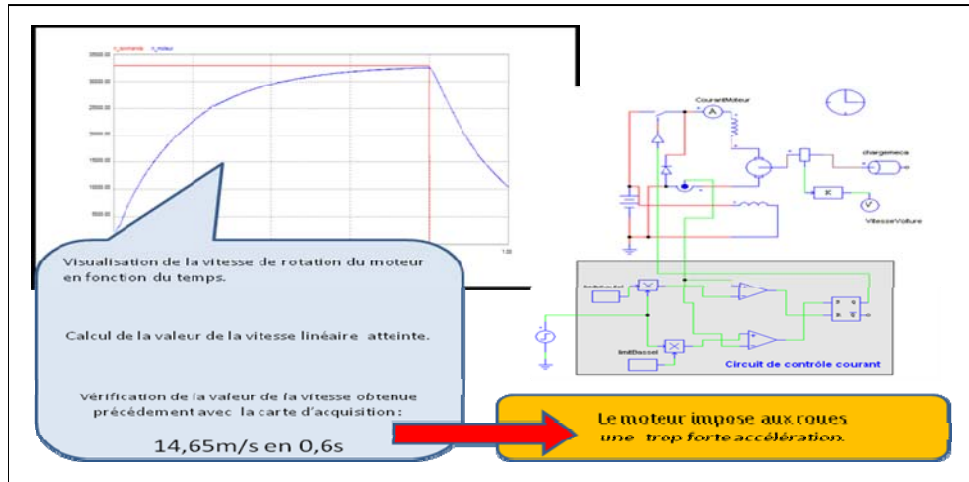
- analyser le besoin ;
- déterminer les efforts et les moments qui s'appliquent sur le véhicule.



## Semaine N°3



## Semaine N°4



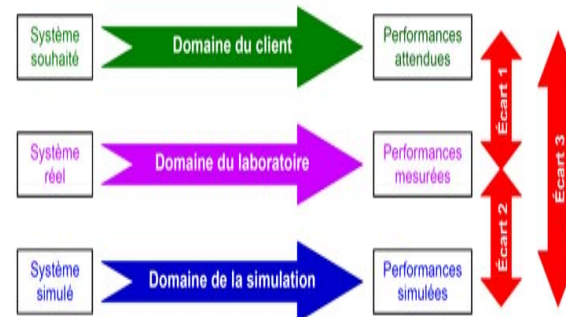
Croquis, schémas	Réaliser un croquis ou un schéma dans un objectif de communication
Production de documents	Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages Choisir l'outil bureautique adapté à l'objectif Réaliser un document numérique Réaliser et scénariser un document multimédia
D2 – Mettre en œuvre une communication	

### TD Simulation

- analyser le besoin ;
- modéliser le démarrage sans glissement de la voiture ;
- simuler : le professeur fournit aux élèves un modèle de comportement qui intègre dans un bloc fonctionnel le modulateur d'énergie et le moteur associé. Les élèves renseignent le modèle à partir de leurs valeurs mesurées expérimentalement puis utilisent ce modèle pour agir sur les paramètres permettant d'obtenir les valeurs attendues.

### Restitution

- caractériser les écarts ;
- performances attendues ;
- performances mesurées ;
- performances simulées.



### Synthèse

- B1 : Identifier et caractériser les grandeurs agissant sur un système**
- B2 : Proposer ou justifier un modèle**
- B3 : Résoudre et simuler**
- B4 : Valider un modèle**
- C1 : Justifier le choix d'un protocole expérimental**
- C2 : Mettre en œuvre un protocole expérimental**

## ❌ EXEMPLE N°2

### Connaissances et capacités associées visées

Besoin, finalités, contraintes, cahier des charges	Décrire le besoin Identifier les contraintes
<b>A1 – Analyser le besoin</b>	
Architecture d'un réseau	Identifier l'architecture fonctionnelle et matérielle d'un réseau
Composants réalisant les fonctions de la chaîne d'information	Identifier les composants réalisant les fonctions Acquérir, Traiter, Communiquer Justifier la solution choisie
Chaîne d'information	Identifier et décrire la chaîne d'information du système
Modèle OSI	Décrire l'organisation des principaux protocoles
Réseaux de communication Support de communication, notion de protocole, paramètres de configuration	Analyser les formats et les flux d'information Identifier l'architecture fonctionnelle et matérielle Identifier les supports de communication Identifier et analyser les messages transmis, notion de protocole, paramètres de configuration
<b>A2 – Analyser le système</b>	
Analyse des écarts	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées
	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation
	Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation
<b>A3 – Caractériser des écarts</b>	

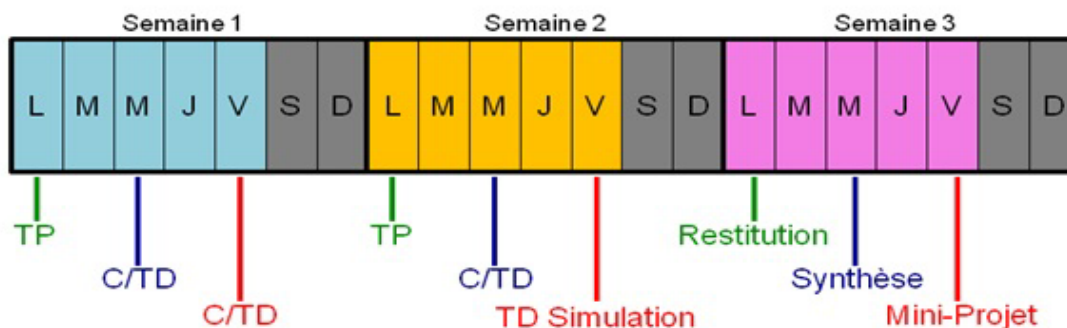
Flux d'information	Identifier la nature de l'information et la nature du signal
<b>B1 – Identifier et caractériser les grandeurs agissant sur un système</b>	
Chaîne d'information	Associer un modèle aux comportements d'une chaîne d'information
<b>B2 – Proposer ou justifier un modèle</b>	
Chaîne d'information, structure et fonctionnement	Identifier la nature et les caractéristiques des grandeurs en divers points de la chaîne d'information
	Maîtriser les fonctions des appareils de mesures et leurs mises en œuvre
<b>C1 – Justifier le choix d'un protocole expérimental</b>	
Paramètres de configuration d'un réseau	Paramétrer un protocole de communication
<b>C2 – Mettre en œuvre un protocole expérimental</b>	
Croquis, schémas	Réaliser un croquis ou un schéma dans un objectif de communication
Production de documents	Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages
	Choisir l'outil bureautique adapté à l'objectif
	Réaliser un document numérique Réaliser et scénariser un document multimédia
<b>D2 – Mettre en œuvre une communication</b>	

### Description de la séquence

Cette séquence est basée sur 4 études de cas. Deux études de cas sont développées sur les thèmes sociétaux : efficacité énergétique et sécurité des bâtiments avec une problématique commune : la surveillance à distance.

L'étude de cas 1 s'appuie sur le contrôle de la consommation énergétique d'un bâtiment. L'étude de cas 2 prend appui sur la vidéo surveillance d'une salle de musée.

La troisième étude de cas est envisagée lors du travail de simulation (voir paragraphe 4.3.4.1). La quatrième étude de cas est envisagée lors du mini-projet (voir paragraphe 4.3.4.3). Cette séquence se situe pendant la seconde année du cycle terminal de la série S. La durée indicative de la séquence est de trois semaines.

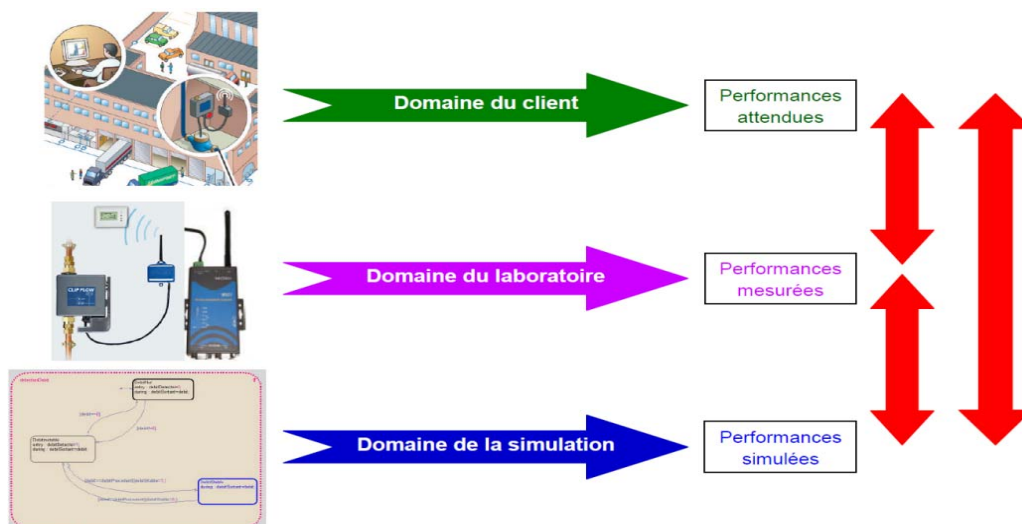


L'objectif lors des activités expérimentales étant de valider les performances de deux systèmes vis-à-vis de deux fonctions techniques respectives du cahier des charges, les centres d'intérêt choisis sont :

- C11 - Analyser un système fonctionnellement et structurellement ;
- C12 - Expérimenter et mesurer sur un système réel pour évaluer ses performances ;
- C13 - Analyser des constituants d'un système réel d'un point de vue structurel et comportemental ;
- C14 - Concevoir et utiliser un modèle relatif à un système en vue d'évaluer les performances de la chaîne d'information.

### Les systèmes choisis

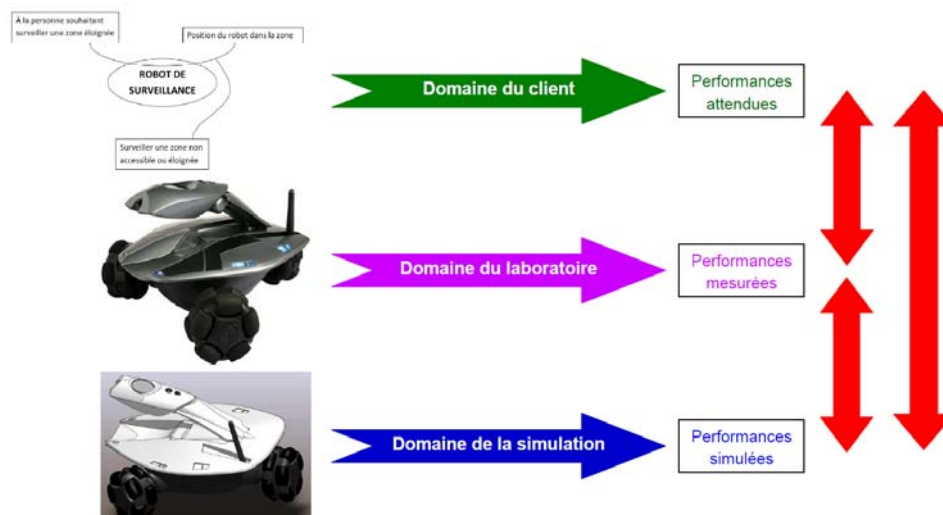
#### SYSTÈME DE CONTRÔLE DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE À DISTANCE



Besoin	Surveiller à distance la consommation d'eau ou électrique
Indications quantifiées dans le cahier des charges	Autonomie suffisante Nombre de capteurs surveillés Seuils de déclenchement d'alerte par E-mail
Grandeurs mesurables	Débit et consommation d'eau Énergie électrique consommée Puissance instantanée

	Température ambiante et eau Visualisation physique et logique des trames Visualisation des trames du réseau LAN
Grandeurs simulées	Grandeurs mécaniques et géométriques Grandeurs logiques et électriques Graphe d'état de la détection de débit et de fuite

### SYSTÈME ROBOT HOLONOME DE SURVEILLANCE



Besoin	Surveiller des zones d'accès difficiles ou dangereuses et transmettre les images captées
Indications quantifiées dans le cahier des charges	Pilotable depuis un navigateur Web à distance Autonomie suffisante Paramètres de la webcam Rayon de braquage nul Position de la caméra réglable Vitesses de déplacement réglables Éclairage d'une zone sombre Discrétion lors des déplacements (bruit sonore)
Grandeurs mesurables	Courant, tension batterie Courant, tension actionneur Position angulaire des roues Visualisation logique des trames Récupération des images brutes (avi natif) de la webcam Niveau sonore
Grandeurs simulées	Grandeurs mécaniques et géométriques Grandeurs acoustiques Grandeurs électriques Grandeurs logiques

### Description des séances

#### Description du travail dirigé de simulation

Cette étude de cas porte sur le système de pilote automatique de bateau. La problématique abordée est : la vérification des informations. On analyse la transmission de l'information du cap au navigateur via un afficheur GPS. L'objectif final du travail dirigé de simulation est de proposer et valider une structure matérielle ainsi qu'un algorithme permettant l'élaboration du champ de contrôle des trames d'un bus CAN. On débute la séance en précisant l'intérêt d'un champ de contrôle dans une trame de communication. Les techniques par contrôle de parité, contrôle VRC (Vertical Redundancy Check) et LRC (Longitudinal Redundancy Check) sont présentées. Seul le contrôle par CRC (Contrôle de Redondance Cyclique) fait l'objet de ce travail dirigé de simulation.

Les avantages et les inconvénients de ces techniques sont décrits en termes de taux de détection d'erreurs de transmission.

Dans un premier temps, les élèves valident une structure matérielle pour un cas simple (cas n°1 avec polynôme générateur de degré faible), puis proposent une structure matérielle répondant au besoin d'une trame d'un bus CAN (cas n°2 avec polynôme générateur du bus CAN). La validation de cette structure est réalisée à partir d'une trame CAN relevée sur un système présent dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur.

Dans un second temps, les élèves conçoivent un algorithme permettant de déterminer le champ de contrôle CRC du cas n°1.

L'enseignant propose ensuite un algorithme complet (cas n°2) à valider sur une trame CAN. Les activités sont réalisées par groupes de deux élèves pendant une durée de deux heures.

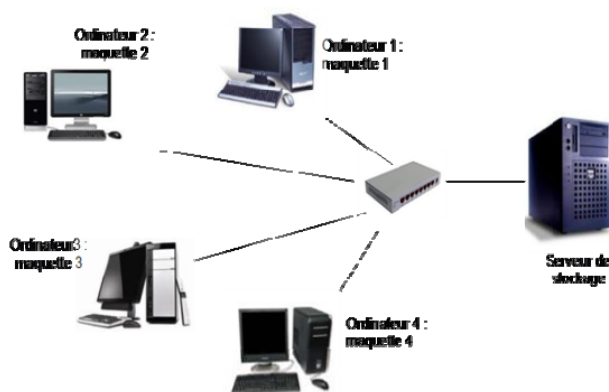
Un compte-rendu informatique spécifiant les performances attendues et simulées obtenues, est à rédiger.

### Description de la restitution

Chaque groupe d'élèves doit présenter à la classe une synthèse des activités effectuées lors des séances précédentes à l'aide d'outils numériques. Les élèves s'attacheront à caractériser les écarts entre les performances attendues, mesurées et simulées.

### Description du mini-projet

Le mini-projet proposé lors de la semaine n°3 a pour objectif de développer les compétences mises en œuvre lors de la séquence et de mobiliser les connaissances et capacités associées. Celui-ci ne s'intègre pas dans le projet interdisciplinaire de la seconde année du cycle terminal, mais permet de valider les compétences (Phase 3 de la figure 9). Dans cette étude de cas, l'élève joue le rôle d'un informaticien répondant à la demande de son chef de projet qui désire mettre à jour sur l'ensemble du parc informatique les maquettes numériques réalisées par les techniciens dans la journée.



La problématique abordée est : organisation structurelle et matérielle d'un réseau informatique. Les activités sont réalisées par groupes de six élèves pendant une durée de deux heures.

Un compte-rendu informatique, spécifiant la démarche mise en œuvre ainsi que les performances attendues et simulées obtenues, est à rédiger.

### Évaluations

Il est possible d'évaluer de manière formative lors des études de cas (activités expérimentales, travaux dirigés, ...).

La validation des compétences peut se faire comme suit :

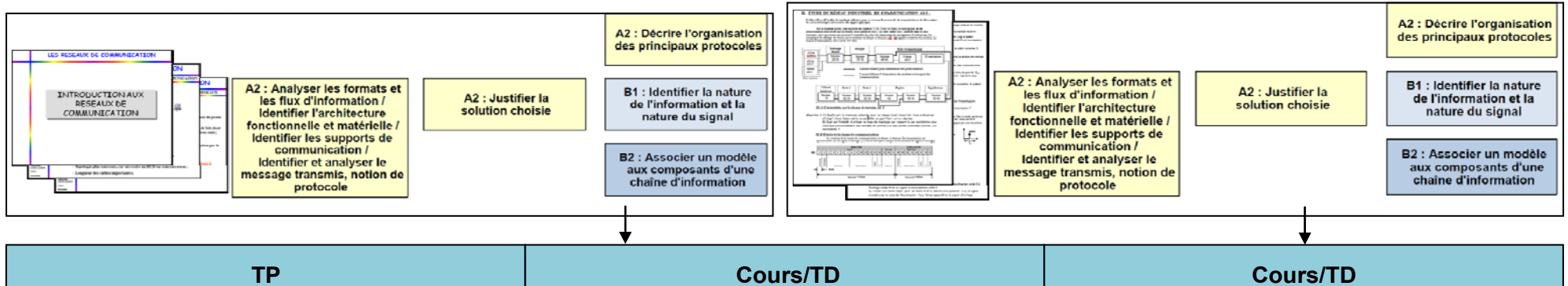
- lors des études de cas pour les compétences Analyser, Modéliser, Expérimenter ;
- lors de la séance de restitution pour la compétence Communiquer.

Le mini-projet situé en fin de séquence peut être une forme d'évaluation sommative sur les quatre compétences précitées.

### Organisation de la séquence



## Semaine N°1



### Description des activités pour l'étude de cas 1 : Première partie

- analyser le besoin et l'architecture matérielle ;
- identifier les flux d'informations et les supports de communication ;
- configurer la carte réseau du PC pour communiquer avec le micro-serveur sur le réseau local ;
- mettre en œuvre le système ;
- caractériser l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées, et conclure.

### Seconde partie

- analyser le besoin ;
- configurer le protocole de la liaison RS232 ;
- expérimenter sur la liaison RS232 pour visualiser une trame ;
- caractériser les écarts entre les performances attendues du protocole et les performances mesurées du protocole ;
- estimer le débit d'une liaison série ;
- calculer le nombre de capteurs que peut centraliser le micro-serveur ;
- expérimenter en simulant le nombre de capteurs déterminé par la modélisation ;
- caractériser les écarts entre les performances attendues, les performances mesurées et les performances simulées, et conclure.

### Description des activités pour l'étude de cas 2 : Première partie

- analyser le besoin et l'architecture matérielle ;
- identifier les flux et les supports de communication ;
- configurer la carte réseau du PC pour communiquer avec le robot sur le réseau local ;
- mettre en œuvre le système ;
- caractériser l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées, et conclure.

### Seconde partie

- analyser le besoin ;
- modéliser la taille d'une image et d'une vidéo ;
- déterminer la taille d'une image et d'une vidéo sans compression ;
- caractériser les écarts entre les performances simulées et les performances mesurées ;
- estimer le débit nécessaire pour transmission des images sans compression des données ;
- récupérer la vidéo de la transmission sans compression et déterminer le débit ;
- caractériser les écarts entre les performances simulées et les performances mesurées ;
- expérimenter une compression ;
- déterminer le débit nécessaire pour transmission des images avec compression ;
- caractériser les écarts entre les performances attendues et les performances mesurées et simulées, et conclure.

A2 : Identifier et décrire la chaîne d'information du système

A2 : Identifier les composants réalisant les fonctions Acquérir, Traiter, Communiquer

A2 : Analyser les formats et les flux d'information / Identifier l'architecture fonctionnelle et matérielle / Identifier les supports de communication / Identifier et analyser le message transmis, notion de protocole

B1 : Identifier la nature de l'information et la nature du signal

A2 : Identifier l'architecture fonctionnelle et matérielle d'un réseau

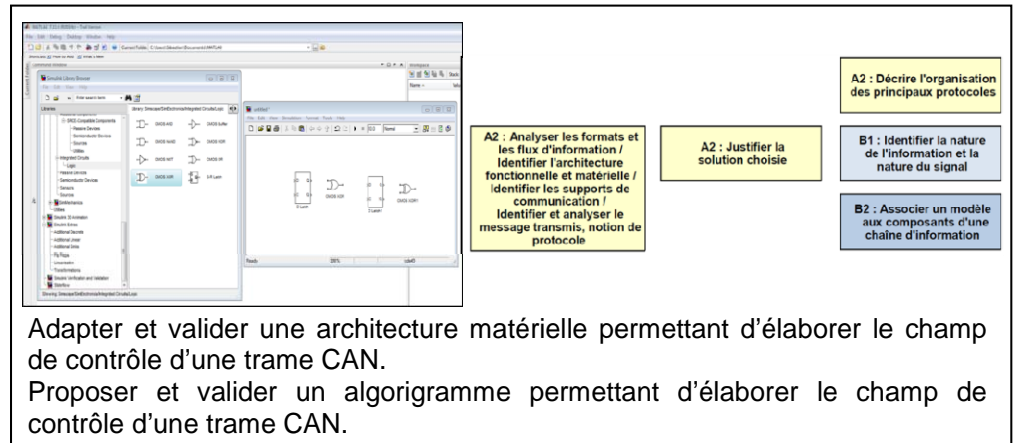
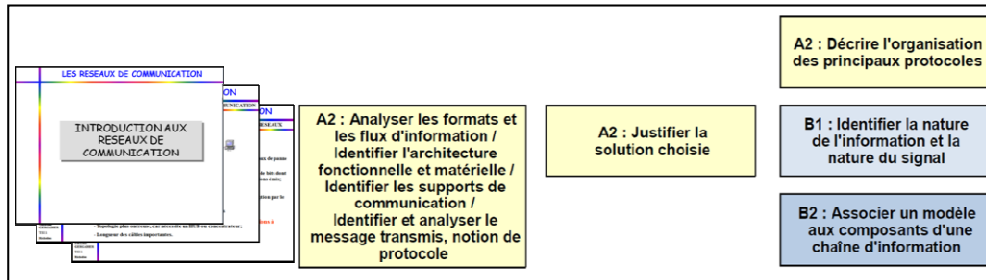
B2 : Associer un modèle aux composants d'une chaîne d'information

C1 : Identifier la nature et les caractéristiques des grandeurs en divers points de la chaîne d'information

C1 : Maîtriser les fonctions des appareils de mesure et leurs mises en œuvre

C2 : Paramétrer un protocole de communication

## Semaine N°2

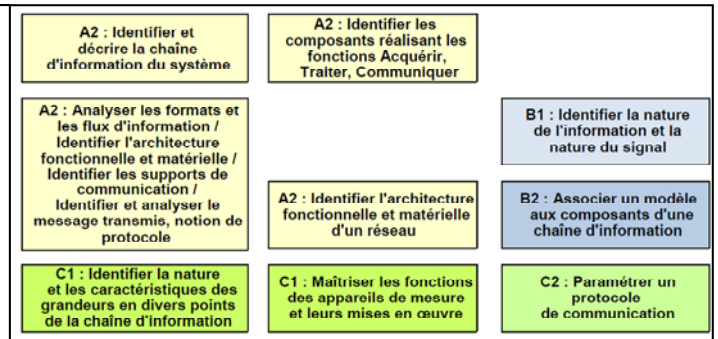


### Description des activités pour l'étude de cas 1 :

- analyser le besoin ;
- proposer une architecture matérielle répondant au besoin ;
- configurer le micro-serveur avec une adresse IP et un masque de sous réseau adaptés pour communiquer avec un réseau ayant accès à Internet ; une adresse de la passerelle par défaut et l'adresse d'un serveur DNS ; une adresse d'un serveur SMTP et d'un serveur NTP ;
- visualiser et analyser un échange entre le micro-serveur et le serveur NTP lors de la récupération de l'heure sur Internet avec un logiciel ;
- caractériser les écarts entre les performances mesurées et les performances attendues et conclure.

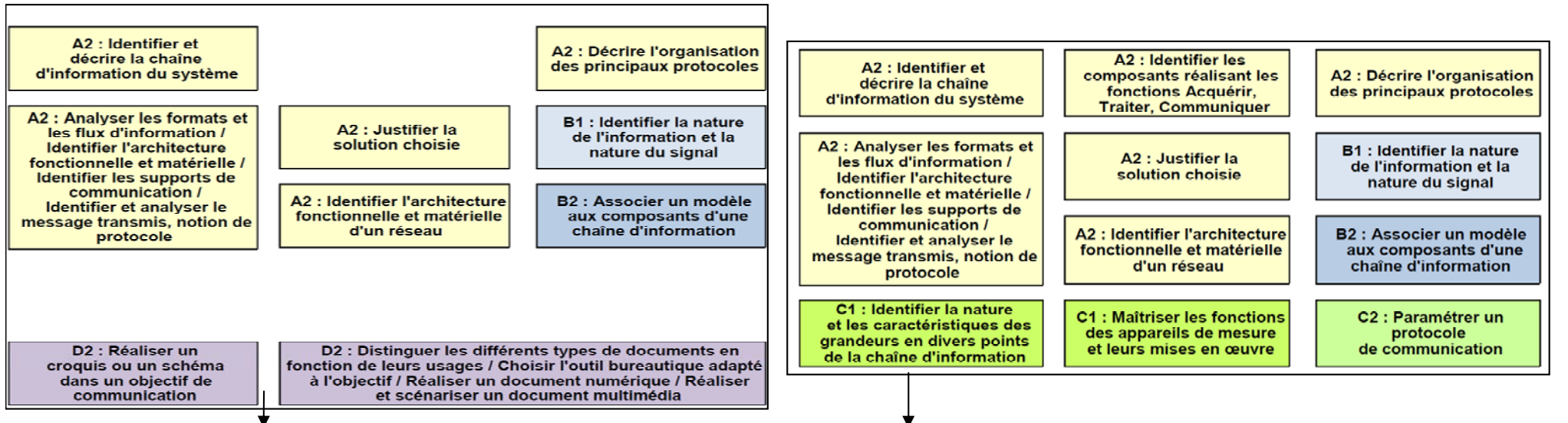
### Description des activités pour l'étude de cas 2 :

- analyser le besoin ;
- configurer le robot avec une adresse IP et un masque de sous réseau adaptés pour communiquer avec un réseau ayant accès à Internet ; une adresse de la passerelle et l'adresse d'un serveur DNS ; une adresse d'un serveur SMTP ;
- faire des tests d'envoi d'une image par E-mail ;
- visualiser et analyser une trame avec un logiciel ;
- modéliser la taille de l'image ;
- modéliser le nombre de trames nécessaires pour la transmission d'une image ;
- caractériser les écarts entre les performances attendues, les performances mesurées et les performances simulées et conclure.





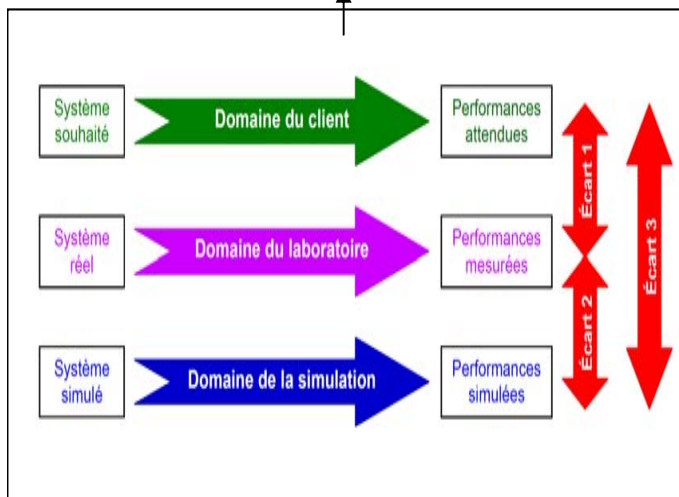
## Semaine N°3



### Restitution

### Synthèse

### Mini-Projet

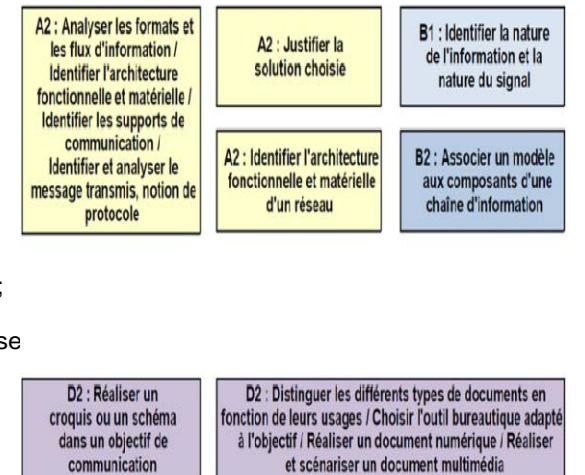


**Besoin du client :** des maquettes numériques doivent se mettre à jour sur chaque ordinateur et sur le serveur, pendant la nuit (de 20h à 6h).

**Objectif final :** proposer une architecture d'un réseau qui satisfait le besoin du client.

#### Démarches possibles :

- ✓ analyser le besoin ;
- ✓ définir la démarche de mise à jour des maquettes ;
- ✓ identifier la taille des fichiers ;
- ✓ rechercher des informations sur le protocole à utiliser ;
- ✓ estimer le débit nécessaire ;
- ✓ proposer une architecture matérielle du réseau ;
- ✓ définir un adressage IP des postes informatiques ;
- ✓ vérifier les performances prédites ;
- ✓ déterminer la taille maximale des fichiers ;
- ✓ ...



### ❌ EXEMPLE N°3

#### Connaissances et capacités associées visées

Identifier les contraintes (fonctionnelles, sociétales, environnementales, etc.)	Ordonner les contraintes (cristère, niveau, flexibilité)
<b>A1 – Analyser le besoin</b>	

Matériaux	Identifier la famille d'un matériau
	Mettre en relation les propriétés du matériau avec les performances du système
Comportement du solide déformable	Analyser les sollicitations dans les composants
	Analyser les déformations des composants
	Analyser les contraintes mécaniques dans un composant
<b>A2 – Analyser le système</b>	

Analyse des écarts	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées
	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation
	Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation
<b>A3 – Caractériser des écarts</b>	

Matériaux	Identifier les propriétés des matériaux des composants qui influent sur le système
Caractéristiques des grandeurs physiques (mécaniques, électriques, thermiques, acoustiques, lumineuses, etc.)	Qualifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé Identifier la nature (grandeur effort, grandeur flux) Décrire les lois d'évolution des grandeurs Utiliser les lois et relations entre les grandeurs
<b>B1 – Identifier et caractériser les grandeurs agissant sur un système</b>	

Liaisons	Construire un modèle et le représenter à l'aide de schémas
	Préciser les paramètres géométriques Établir la réciprocity mouvement relatif/actions mécaniques associées
<b>B2 – Proposer ou justifier un modèle</b>	

Principe fondamental de la dynamique	Établir de façon analytique les expressions d'effort, de couple, pression, et de flux (vitesse...) Traduire de façon analytique le comportement d'un système
Comportement du solide déformable	Déterminer les parties les plus sollicitées dans un composant Déterminer les valeurs extrêmes des déformations Déterminer des concentrations de contraintes dans un composant
<b>B3 – Résoudre et simuler</b>	

Structures	Valider l'influence de la structure sur les performances du système Proposer des modifications structurelles pour améliorer les performances du système
<b>B4 – Valider un modèle</b>	

Chaîne d'information, structure et fonctionnement	Identifier la nature et les caractéristiques des grandeurs en divers points de la chaîne d'information Maîtriser les fonctions de mesures et leurs mises en œuvre
Capteurs	Qualifier les caractéristiques d'entrée – sortie d'un capteur Justifier le choix d'un capteur ou d'un appareil mesurer Justifier les caractéristiques de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à (calibre, position, ...) d'un appareil de mesure
<b>C1 – Justifier le choix d'un protocole expérimental</b>	

Dossier technique	Rechercher une information dans un dossier technique Effectuer la synthèse des informations disponibles dans un dossier technique
<b>D1 – Rechercher et traiter des informations</b>	

## Description de la séquence

Cette séquence a pour objectif de prévoir la résistance de structures existantes face aux risques de séisme. Les études de cas traitent de la question sociétale « Protéger les citoyens et les infrastructures collectives des risques naturels ».

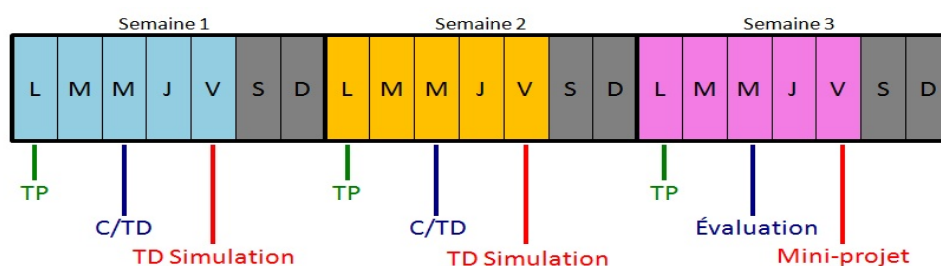
À travers l'étude d'ouvrages existants (bâtiments, ponts, ...), on s'attache à modéliser les structures et prévoir leurs comportements en cas de séisme. Compte-tenu des effets d'échelle, les modèles de comportement sont testés et validés par expérimentation sur des maquettes à échelle réduite.

On propose de vérifier que les contraintes mécaniques engendrées dans une structure ne sont pas préjudiciables à sa stabilité. Les sollicitations sont ici statiques et dynamiques telles que rencontrées en cas de séisme. Le critère choisi est la condition de non plastification des sections (les contraintes dans les constituants doivent rester inférieures à la limite élastique, minorée d'un coefficient de sécurité).

Des propositions de solutions sont ensuite apportées afin de rendre la structure conforme au cahier des charges fonctionnel (modification de géométrie, ajout de dispositifs amortisseurs, ...).

Cette séquence se situe en deuxième année du cycle terminal.

La durée indicative de la séquence est de trois semaines.



Les centres d'intérêt choisis sont :

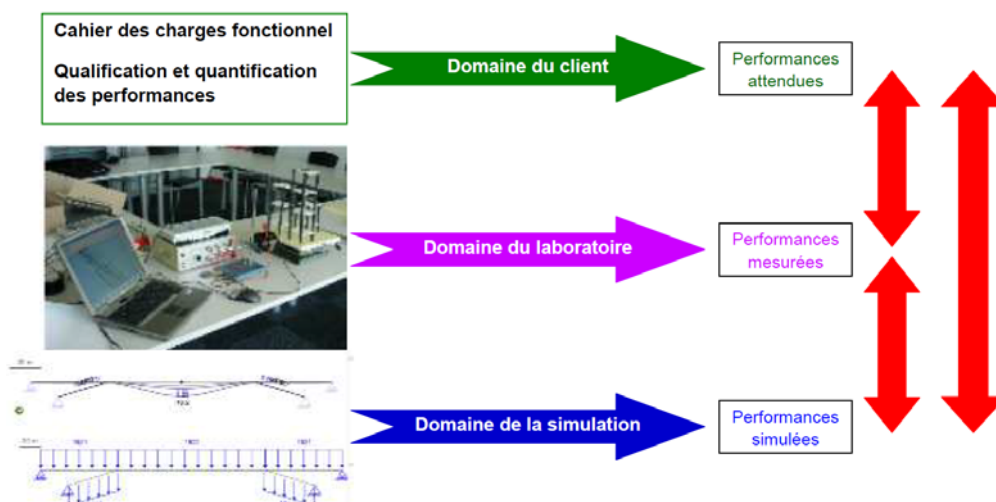
- C11 - Analyser un système fonctionnellement et structurellement ;
- C12 - Expérimenter et mesurer sur un système ;
- C13 - Analyser des constituants d'un système réel d'un point de vue structurel et comportemental.

## Le système choisi

Le laboratoire est équipé de plusieurs modèles des maquettes structurelles et de dispositifs de mise en charge statique et dynamique (tables vibrantes, excitateurs, ...).

Les plans de ces maquettes sont disponibles dans nombre de ressources publiques suite aux dispositifs nationaux de formation à la conception parasismique.

**BÂTIMENT  
CONSTRUIT  
SUR UNE ZONE  
SISMIQUE**



Besoin	Vérifier qu'un bâtiment de plusieurs étages situé sur une zone sismique résiste à un séisme
Indications quantifiées dans le cahier des charges	Localisation de la construction (coordonnées GPS) Maquette 3D de la structure porteuse, plans 2D de la structure Déplacements maximaux autorisés en haut du bâtiment Contraintes maximales admissibles par la structure
Grandeurs mesurables	Efforts appliqués, amplitude des déplacements, accélérations Identification des fréquences de résonance
Grandeurs simulées	Déplacements, déformations, contraintes, fréquences de résonance

### **Description du mini-projet**

La démarche d'étude sismique nécessite de valider des modèles sur des maquettes afin de prévoir le comportement d'un ouvrage à grande échelle. Le mini-projet, d'une durée de trois heures, peut reprendre tout ou partie de la démarche présentée ci-dessous :

1. **Situer géographiquement la construction**, et analyser les caractéristiques du site afin d'identifier les risques d'amplifications sismiques (collines, bassins sédimentaires). Le relief (la topographie) ainsi que la constitution des sols (la lithologie) influent sur la propagation, l'amortissement ou l'amplification des ondes sismiques.

2. **Identifier dans le site les sollicitations sismiques attendues**. Les spectres d'accélération peuvent être soit obtenus théoriquement à partir d'une carte de zonage, soit à partir d'un sismogramme d'un réseau de surveillance sismique (<http://renass.u-strasbg.fr>). On se limite ici aux accélérations horizontales.

*Remarque : les étapes 1 et 2 permettent la participation d'un professeur de SVT ou de SPCFA.*

3. **Analyser le cahier des charges fonctionnel fourni sur le projet**. Le cahier des charges fonctionnel est limité à trois points :

- la définition de l'ouvrage étudié. La maquette numérique définissant les géométries, les liaisons et les matériaux est fournie ;
- les limites de déplacements horizontaux imposées en cas de séisme (quelques centimètres, afin d'empêcher deux ouvrages juxtaposés d'entrer en collision) ;
- les limites de contraintes mécaniques acceptables dans les constituants. Les murs, les poteaux, ainsi que les liaisons ne doivent pas se dégrader par plastification (contrainte mécanique inférieure à la limite élastique).

*Remarque : il est conseillé de choisir en première étude une construction dotée d'une structure métallique car le comportement des métaux est facilement modélisable (matériau homogène, isotrope, comportement linéaire, ...). De nombreux ouvrages sont cependant réalisés en béton hydraulique (armé, précontraint, ...), l'étude du comportement de ces matériaux sera envisagée dans le cadre d'études de cas d'approfondissement.*

4. **Analyser les plans ou la maquette numérique d'une construction existante** de manière à identifier les constituants structurels susceptibles d'intervenir dans le comportement dynamique de l'ouvrage.

On prend les hypothèses de modélisation suivantes :

- les planchers ou tabliers sont considérés comme infiniment rigides dans leur plan ;
- les porteurs verticaux (murs, poteaux) sont considérés déformables, et leur poids est souvent négligé devant celui des planchers. L'analyse devra permettre d'identifier les constituants principaux intervenants dans la raideur de l'ouvrage, et de négliger la participation de constituants intervenant en moindre mesure (inertie moindre en flexion) ;
- les liaisons au sol (fondations) sont de type articulation parfaite, rigide ou encastrement.

5. **Proposer une modélisation de la structure** par un système de poutres fléchies (les porteurs) et de masses concentrées (les planchers ou tabliers). Les structures n'étant

généralement pas symétriques selon le plan considéré, l'analyse est conduite en trois dimensions  $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$  avec  $\bar{Z}$  vertical, de manière à modéliser la structure dans au moins deux plans verticaux perpendiculaires  $(\bar{X}, \bar{Z})$  et  $(\bar{Y}, \bar{Z})$ .

6. **Proposer une maquette de la structure à échelle réduite**, à partir du modèle structurel proposé à l'étape 4. La maquette reprend les hypothèses de la modélisation. Elle est composée de barres déformables pour les porteurs verticaux et de masses concentrées rigides modélisant les planchers horizontaux. On modélisera également la liaison au sol de l'ouvrage, de manière à prendre en compte la rigidité du sol en présence (rocher, sédiments, ...).

7. **Analyser un cahier des charges fonctionnel fourni adapté à la maquette**. Compte-tenu des problématiques de similitudes entre le système réel de grandes dimensions et la maquette à échelle réduite, un cahier des charges adapté doit être fourni par l'enseignant. Il comprend les limites de déplacements attendus, ainsi que les limites de contraintes admissibles.

8. **Expérimenter le comportement de la maquette à échelle réduite**. La maquette est sollicitée de manière statique (par des actionneurs) et en dynamique (tables vibrantes, excitateurs, ...) afin d'observer les phénomènes de déformation, d'oscillations, et de procéder à des relevés de mesures (efforts et accélérations appliqués, déplacements et accélérations mesurés, ...).

9. **Analyser les comportements observés et proposer un modèle de comportement de la structure**. Une analogie est établie avec un système masse-ressort avec ou sans amortissement. Les planchers sont modélisés par une masse rigide soumise à une force de rappel élastique (type ressort) exercée par les porteurs verticaux. Selon la raideur du sol, la liaison sol-structure est modélisée par un encastrement parfait ou non parfait (raideur de l'encastrement).

10. **Utiliser un simulateur afin de caractériser les déplacements et les accélérations théoriques** des planchers à partir des modèles choisis. Le simulateur permet également d'analyser le comportement de la structure au travers du diagramme des sollicitations, ou du tracé de répartition des contraintes dans un constituant.

11. **Analyser l'écart entre les performances simulées (déplacements, déformations, ...), et celles relevées sur la maquette réelle**. Valider ou corriger le modèle de comportement.

12. **Établir les équations** permettant le calcul des sollicitations (moments fléchissant, efforts normaux et tangentiels), des déplacements, des déformations et des contraintes.

13. **Résoudre manuellement les équations, et utiliser un solveur informatique** en vue de contrôler les résultats ou pour résoudre des équations complexes.

14. **Tracer les courbes de sollicitations et de déformations**. Le tracé peut être fait manuellement ou à l'aide d'un solveur-traceur.

15. **Analyser les résultats obtenus, et confronter la performance de la structure** à un cahier des charges fonctionnel appliqué à la maquette : (déplacements maximaux autorisés, déformations, ...).

16. **Conclure sur l'écart entre la performance attendue de la maquette, et la performance mesurée**.

17. **Conclure sur la validité de la modélisation** structurelle, et de la modélisation comportementale. Préciser les limites des modèles utilisés (modèle plan, matériaux homogènes isotropes, linéaires).

18. **Agir sur la maquette afin de la rendre conforme au cahier des charges**. Modifier les dimensions des constituants, les matériaux ou les liaisons, mettre en place des dispositifs amortisseurs.



19. **Valider les modifications structurelles, ainsi que les performances de la maquette modifiée par rapport au cahier des charges fonctionnel.**

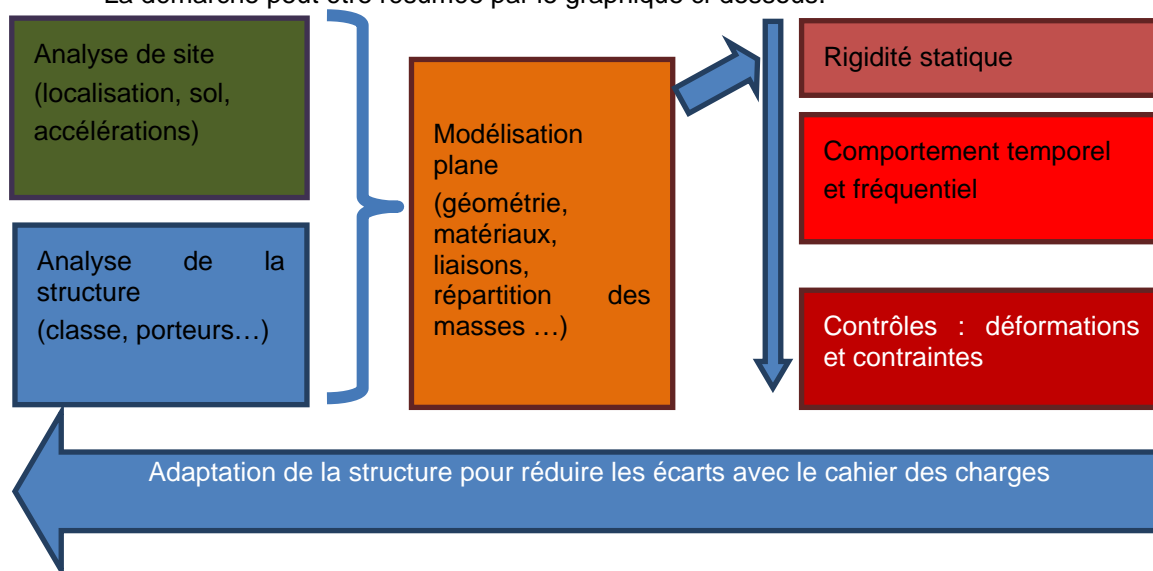
20. **Réutiliser le modèle pour simuler le comportement de l'ouvrage réel modélisé.** Simuler les performances envisageables pour la structure réelle.

21. **Analyser l'écart entre les performances de l'ouvrage étudié, et le cahier des charges du mini-projet.**

22. **Proposer d'agir sur l'ouvrage réel** afin de le rendre conforme au cahier des charges (modifier les dimensions des constituants, les matériaux ou les liaisons, mettre en place des dispositifs amortisseurs).

23. **Valider les modifications structurelles ainsi que les performances de l'ouvrage réel par rapport au cahier des charges fonctionnel initial.**

La démarche peut être résumée par le graphique ci-dessous.



#### ***Variante :***

La démarche proposée précédemment peut s'appliquer à l'étude de réduction des oscillations dans une tour de grande hauteur, sous l'effet du vent latéral. En effet, une amplitude d'oscillation et des accélérations trop importantes génèrent des sensations d'inconfort dans ces constructions. Le cahier des charges doit fixer des maxima auxquels doivent répondre les structures.

La démarche précédente peut donc s'appliquer à l'étude des oscillations forcées, et visera à confirmer les choix de conception et des dispositifs amortisseurs (appuis néoprène, amortisseurs masse accordée, amortissement dynamique).

#### **Organisation de la séquence**

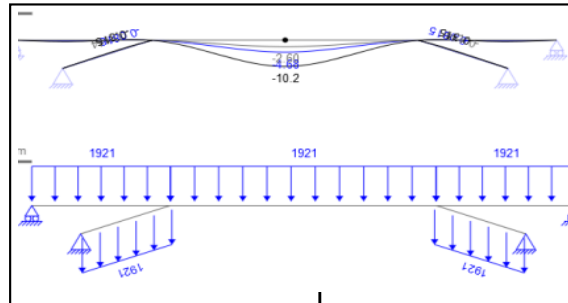
## Semaine N°1

**A1 : Identifier les contraintes**  
(fonctionnelles, sociétales, environnementales, ...)

**B2 : Construire un modèle**  
et le représenter à l'aide de schémas

**D1 : Effectuer la synthèse**  
des informations  
disponibles dans un  
dossier technique

**B3 : Déterminer les parties**  
les plus sollicitées dans un  
composant  
Déterminer des  
concentrations de  
contraintes dans un  
composant



**B2 : Préciser les**  
paramètres géométriques

**B3 : Traduire de façon**  
analytique le comportement  
d'un système

**A3 : Quantifier des écarts**  
entre des valeurs attendues  
et obtenues par simulation

**B3 : Déterminer les valeurs**  
extrêmes des déformations

**TP**

**Cours/TD**

**TD Simulation**

### Description des activités expérimentales sur 6 îlots

#### Première partie

- fourniture d'une fiche de guidance par îlot, ordinateur et maquette ;
- objectifs : mettre en évidence les paramètres influents sur le comportement des structures: déformations, contraintes (géométries, matériaux, liaisons) ;
- manipuler ou visionner les films suivant la fiche fournie
- expliquer ce qu'on observe ;
- schématiser les géométries et les actions mécaniques en présence ;
- noter les valeurs des déplacements connus ;
- identifier les paramètres qui influent sur les valeurs mesurées ;
- préparer un compte rendu.

Groupe 1	Traction / compression (essai sur un câble)
Groupe 2	Vibrations, résonance et rupture (film du pont de Tacoma)
Groupe 3	Vibrations, résonance et rupture (film d'un séisme)
Groupe 4	Rupture par flexion (essais sur poutre bois)
Groupe 5	Flexion (simulation numérique d'une poutre fléchie)
Groupe 6	Vibrations et résonance (Maquette de bâtiment sur table vibrante)

#### Seconde partie

- synthèse collective sur les paramètres influents sur les comportements observés.

#### Cours : comportement statique

- objectif : modéliser et expérimenter le comportement en traction et compression ;
- problématique : comment prévoir la déformation et la résistance d'un hauban ou d'une pile de pont ?

#### Expérience collective :

- essai de traction sur une éprouvette ;
- cours : Notions de déformation, contraintes, principe de coupure, loi de Hooke.

#### Réinvestissement :

- TD : étude de déformation d'un poteau comprimé. Comparaison aux performances simulées fournis.

#### Synthèse :

#### Description des activités :

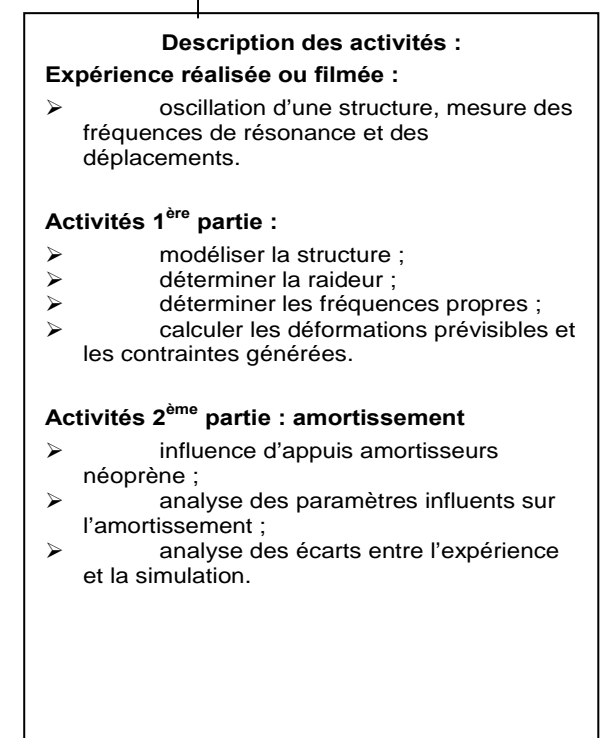
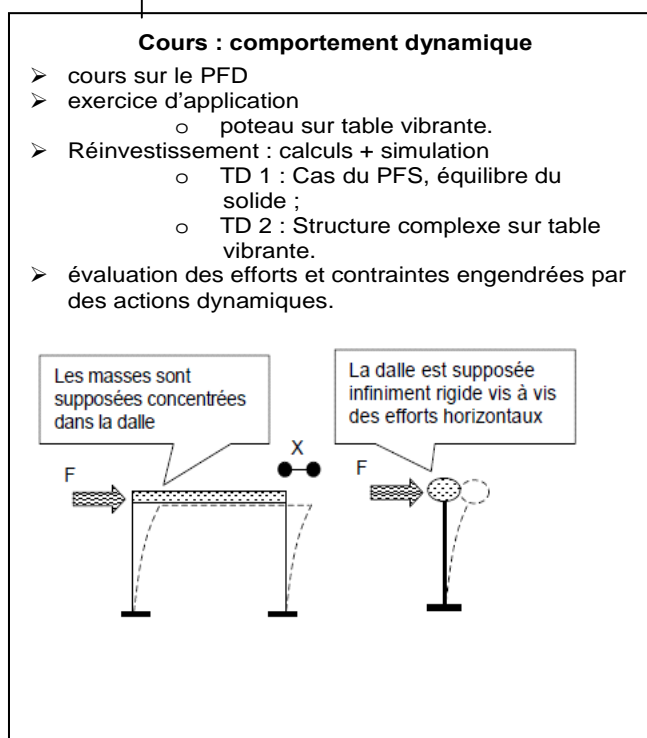
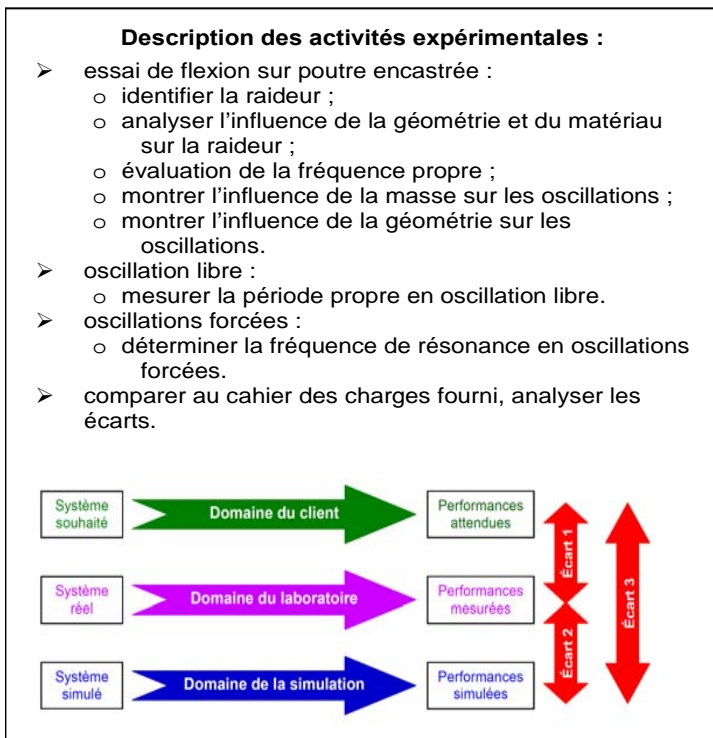
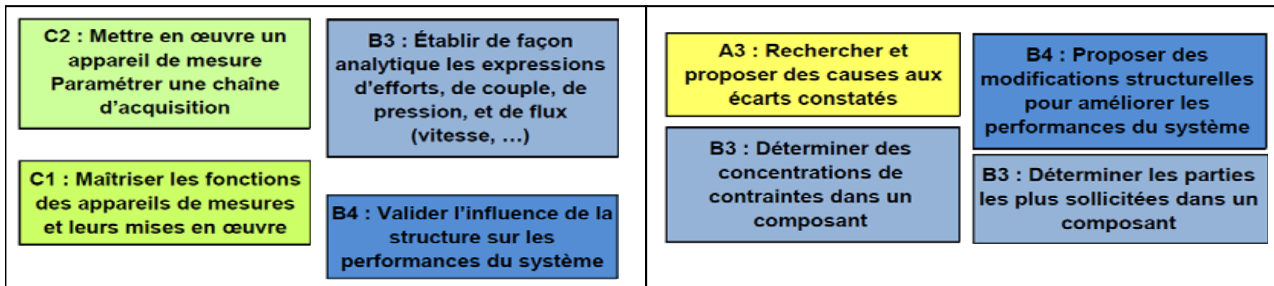
Comment prévoir la déformation d'un tablier de pont sous l'action de la gravité ?

- film : essai de flexion sur poutre isostatique instrumentée ;
- **le cours sur la flexion est fourni sur un document support ;**
- sollicitation de flexion, répartition des contraintes, déformées ;
- **le TD de simulation est destiné à faire comprendre le document support de cours fourni ;**
- utilisation de logiciels simples, on donne les modèles, agir sur les paramètres ;
- simulation de la déformation d'un balcon encastré ;
- simulation d'une poutre continue fléchie.

#### Synthèse :

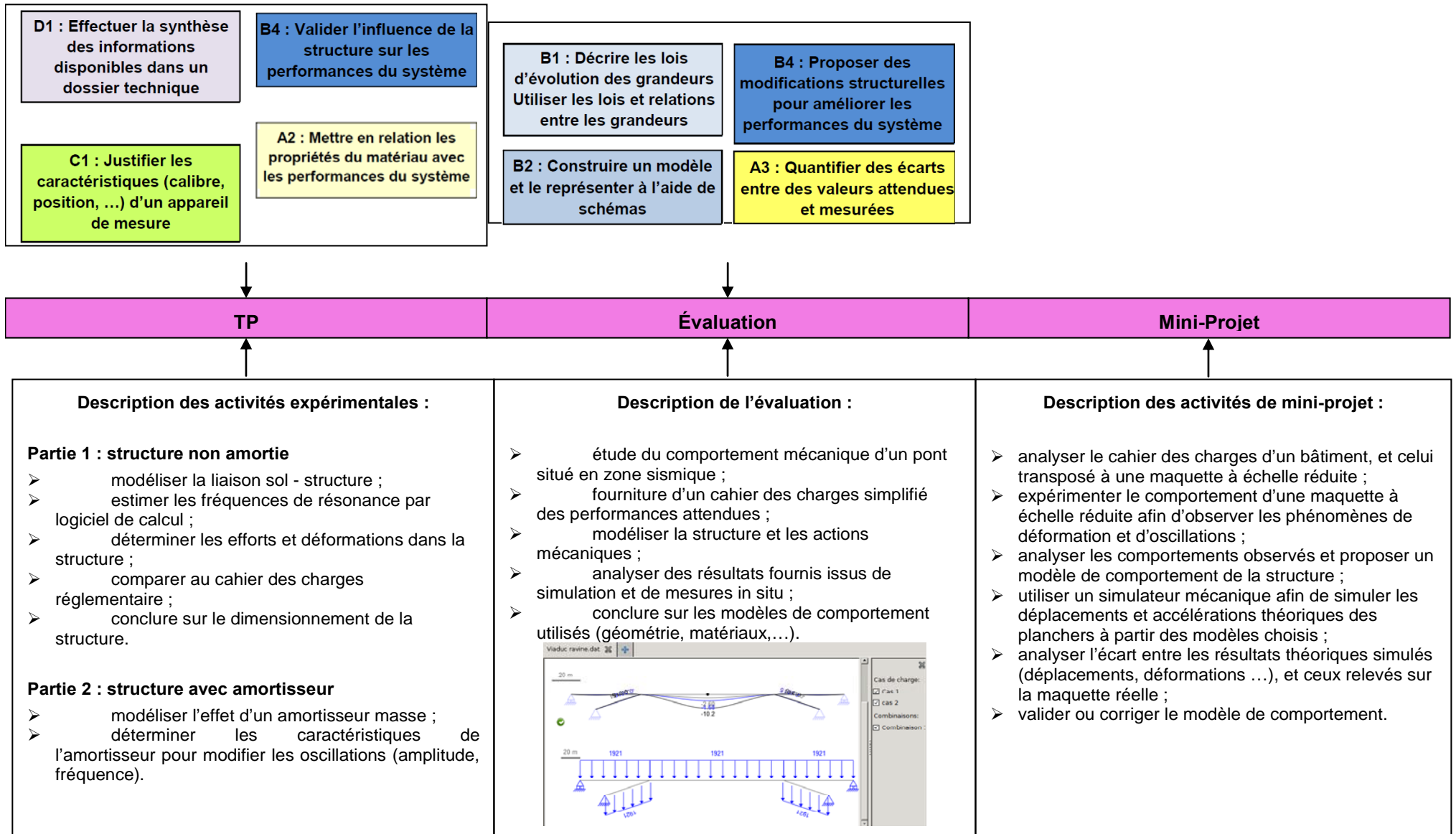
- limites des modèles (matériaux, géométries)

## Semaine N°2





## Semaine N°3



# LE PROJET INTERDISCIPLINAIRE

## ✖ LES OBJECTIFS DU PROJET INTERDISCIPLINAIRE

Le projet mobilise des compétences pluridisciplinaires, en particulier celles développées en sciences de l'ingénieur, en mathématiques, en sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées, en sciences de la vie et de la Terre, et sollicite des démarches de créativité pour imaginer des solutions qui répondent à un besoin.

Les activités des élèves sont organisées par groupe autour d'une démarche qui consiste à analyser le problème à résoudre, imaginer des solutions, choisir une solution et justifier le choix d'un point de vue scientifique, technologique, socio-économique, formaliser la solution, réaliser tout ou partie de la solution, évaluer les performances de la solution et présenter la démarche suivie.

Les productions attendues peuvent être :

- des justifications scientifiques, technologiques, socio-économiques, etc., validant la solution proposée ;
- des architectures de solutions sous forme de schémas, croquis, blocs diagrammes fonctionnels et structurels ou d'algorithmes ;
- des documents de formalisation de la solution imaginée ;
- des supports de communication ;
- un prototype ou une maquette numérique ou matérielle.

## ✖ LE CHOIX DU PROJET

Le projet doit avoir des objectifs limités en nombre et précis dans leurs définitions. En effet, l'intérêt du projet sur le plan pédagogique tient dans le fait que l'élève puisse atteindre ces objectifs en autonomie. Le périmètre du projet ainsi que les attentes doivent être volontairement limités en tenant compte du temps consacrés à l'étude.

Dans la mesure du possible, l'équipe de professeurs cherche à associer les élèves à la recherche de thématiques de projet en favorisant l'émergence de leur intérêt.

Les mathématiques et les sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées apportent des outils mobilisables pour l'analyse, la modélisation et la résolution de problèmes. Au-delà de l'utilisation de ces outils, les thématiques retenues croisent nécessairement des aspects pluridisciplinaires qui peuvent être empruntés aux mathématiques, aux sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées, aux sciences de la vie et de la Terre. Elles peuvent également inviter des contenus liés aux humanités.

Les domaines concernés sont nombreux, par exemple ceux touchant aux enjeux planétaires contemporains et aux questions d'économie d'énergie, à l'assistance aux personnes et la compensation du handicap, aux structures et leur intégration dans l'environnement, à la transmission et stockage de l'information. Ces exemples ne sont pas exhaustifs.

Dans le cadre du projet interdisciplinaire, la dimension mercatique n'est pas intégrée. Seule la notion de coût peut être éventuellement prise en compte dans la définition des contraintes. Dans le cas de réalisation de supports numériques (par exemple une maquette virtuelle ou un programme) qui ne génèrent pas d'investissements liés à l'achat de constituants matériels, la notion de coût peut-être liée au temps de développement et à l'utilisation des outils informatiques mobilisés.

## ✖ LA DEMARCHE DE PROJET

« Un projet est une organisation temporaire spécifique mise en œuvre dans le but d'obtenir un nouveau produit, un nouveau service, une nouvelle organisation, etc., ce qui constitue l'objet<sup>3</sup> ou le résultat du projet »<sup>4</sup>.

La démarche de projet doit permettre aux élèves de formuler des hypothèses, d'expérimenter sans craindre de se tromper. Les erreurs, les hésitations, les fausses pistes font partie intégrante de la recherche scientifique. Le professeur doit veiller à ce que l'élève confronte ses hypothèses à l'observation du réel et propose des améliorations à son analyse. Avec cette aide du professeur, les erreurs peuvent être bénéfiques en rendant les élèves prudents par rapport à leurs propres résultats et en développant leur esprit critique.

---

<sup>3</sup> Le terme « objet » est à considérer dans son acception la plus large, comme désignant ce à quoi est consacrée l'activité de projet

<sup>4</sup> D'après l'AFNOR référence FD X50-118 septembre 2005 et NF E01-005 août 2010

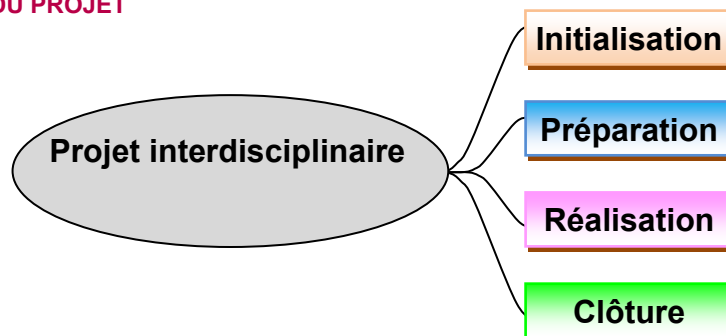
Les enseignants sont responsables du suivi pédagogique du projet pour diriger, organiser, planifier, en tenant compte des contraintes qui leurs sont imposées.

Ils sont en charge de la rédaction d'un document de cadrage<sup>5</sup> du projet établi afin de clarifier les enjeux, les contraintes, les objectifs et le périmètre d'intervention.

Le document de cadrage du projet contient :

- la description du contexte dans lequel l'objet du projet va être intégré ;
- les fonctionnalités de cet objet ;
- le contenu (caractéristiques fonctionnelles et techniques) ;
- les contraintes.

## ✗ LES GRANDES PHASES DU PROJET



### La phase d'initialisation

Lors de cette étape, les élèves focalisent leur attention sur un besoin à satisfaire. Ils définissent alors les objectifs précis du projet, qui aura pour finalité de répondre à ce besoin. Une recherche des solutions existantes est conduite dans une démarche de veille scientifique et technologique.

Une analyse de faisabilité établit :

- l'inventaire des ressources matérielles et documentaires disponibles ou celles qui sont mobilisables ;
- l'inventaire des contraintes environnementales, de coût éventuel, de calendrier ;
- une planification des tâches à réaliser, une répartition de ces tâches et la constitution des groupes d'élèves en charge de les réaliser.

L'étude de faisabilité se conclut par la décision d'abandonner ou de poursuivre le projet. L'identification du besoin, les opportunités et les moyens attribués au projet, la répartition des élèves en groupes et le travail confié à chacun d'eux seront résumés dans la note de cadrage, rédigée par les professeurs. Ils établissent une planification des tâches à réaliser et mettent en place des outils de travail collaboratif.

Il est important de bien évaluer le travail nécessaire à l'accomplissement du projet afin de veiller à ne pas mobiliser les élèves sur un volume horaire qui dépasserait les 70 heures imparties et réduirait le temps consacré au reste du programme et à la préparation de l'examen. Dans cette perspective, l'objet du projet doit rester modeste.

### La phase de préparation

Lors de cette phase, le cahier des charges fonctionnel est élaboré entre les élèves et les professeurs. Il précise :

- les résultats attendus en termes de contraintes et de performances ;
- les critères d'appréciation et les niveaux des fonctions de service à réaliser.

Les élèves recherchent des solutions pour répondre au besoin défini au cahier des charges. Les professeurs les aident à imaginer des solutions innovantes et réalisables.

Les outils de simulation sont largement utilisés lors de cette étape. Ils permettent de visualiser les solutions, de simuler leurs performances et de prédire si elles satisferont le cahier des charges fonctionnel.

Des essais peuvent être réalisés pour appréhender le comportement de telle ou telle partie de la solution envisagée, tester une architecture fonctionnelle, effectuer des mises au point d'algorithmes, de prototypes ou de maquettes.

<sup>5</sup> Document de cadrage en Annexe 1

À la fin de la phase de préparation, une évaluation est menée.

### **La phase de réalisation**

Les élèves d'un même projet sont amenés à choisir de manière collégiale une solution parmi toutes celles proposées.

Les élèves développent et mettent en œuvre la solution qu'ils ont retenue. Ils testent ses performances pour vérifier sa capacité à satisfaire le besoin initial. Cette solution prend en compte les décisions qui ont été prises lors de l'étape précédente, à l'issue des résultats de simulation et des tests sur les programmes, les prototypes ou les maquettes.

Les élèves peuvent intégrer à la solution qu'ils proposent des éléments fonctionnels, numériques ou matériels, qu'ils n'auront pas élaborés ou réalisés eux-mêmes.

Des modifications de la solution initialement prévue peuvent être mises en œuvre pour améliorer les performances ou répondre à une modification *a posteriori* du cahier des charges.

À la fin de la phase de réalisation, une évaluation est menée.

### **La phase de clôture**

Lors de cette étape, les élèves mettent au point une série de documents multimédias qui résument leur travail. Ils les utilisent pour présenter le contexte de leur projet, les différentes actions qu'ils ont menées et les principaux résultats obtenus. Cette présentation leur permet d'expliquer leur démarche collaborative et la manière dont ils ont mis en place le travail du groupe. Cette phase clôture le projet.

À la fin de la phase de clôture, une évaluation est menée.

## **✖ L'EVALUATION DU PROJET AU COURS DE SON DEROULEMENT**

L'activité de projet laisse de l'autonomie aux élèves pour une démarche d'exploration, et d'investigation. Elle implique des tâtonnements, voire des échecs, dont les élèves se servent pour écarter des éléments de solutions. Cela a également une incidence sur l'évaluation qui est menée sur le projet. Ainsi, le système de notation doit chercher à valoriser la démarche.

Dans le cas où un projet a donné lieu à la matérialisation d'une solution, il ne s'agit en aucun cas d'évaluer la réalisation vis-à-vis de sa conformité à des règles de l'art. L'objectif du projet réside dans l'apprentissage de l'autonomie, dans la capacité à développer des propositions créatives et originales, dans le réinvestissement et le renforcement des connaissances et des capacités pluridisciplinaires.

### **Évaluation de la phase de préparation**

Elle porte sur l'appréhension du besoin fonctionnel, l'identification des solutions existantes, l'étude de faisabilité, la proposition de solutions innovantes et la prédiction des performances à partir de moyen de simulation ou d'essais.

### **Évaluation de la phase de réalisation**

Elle porte sur la capacité du groupe à justifier la solution retenue, à organiser et conduire le développement et la mise en œuvre de cette solution, à illustrer les performances du programme, du prototype ou de la maquette pour répondre au besoin fonctionnel.

### **Évaluation de la phase de clôture**

Elle porte sur la capacité du groupe à produire des ressources, à choisir et utiliser des outils de communication adaptés pour replacer la réalisation dans son contexte pluridisciplinaire, montrer les écarts entre les performances attendues au cahier des charges, celles obtenues par simulation, celles finalement mesurées sur le prototype ou la maquette.

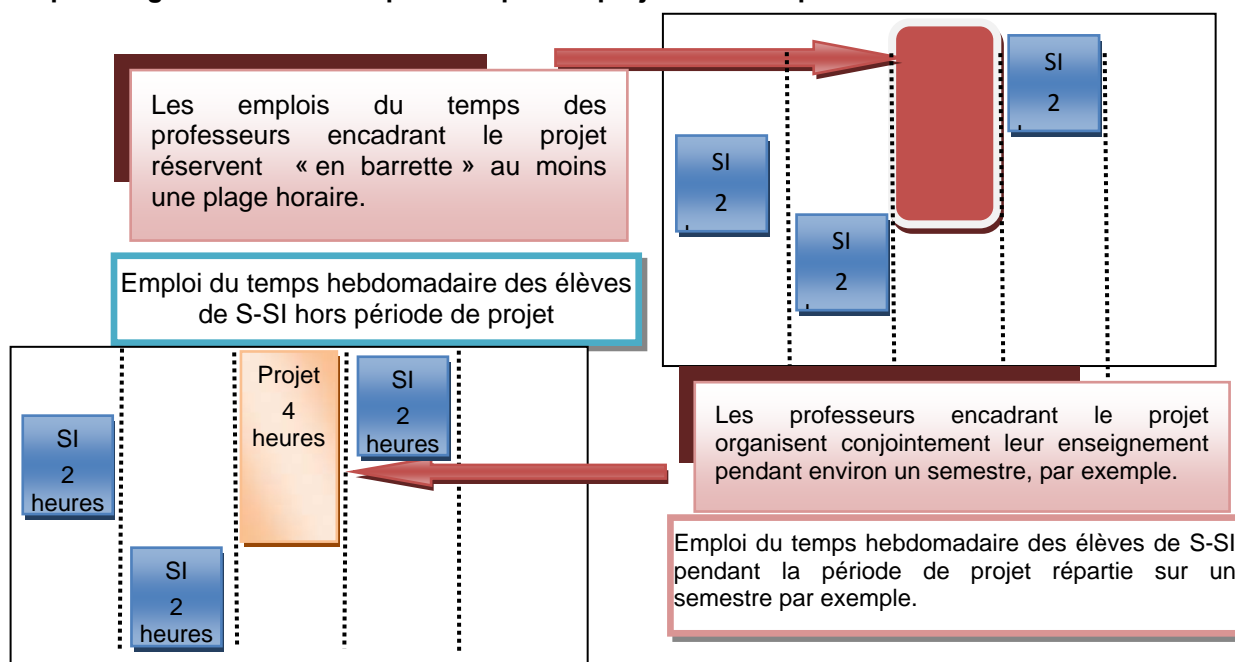
## ✗ L'ORGANISATION DU PROJET INTERDISCIPLINAIRE

Le projet occupe un volume horaire de soixante dix heures. Les élèves sont encadrés **par leurs professeurs** : un professeur de sciences de l'ingénieur et un ou plusieurs professeurs des disciplines scientifiques ou encore des disciplines de l'enseignement commun. Les groupes sont constitués de deux à cinq élèves. Chaque groupe conduit son propre projet, ou participe à une partie d'un projet plus large mobilisant plusieurs groupes.

L'équipe de professeurs organise librement le calendrier de mise en œuvre du projet interdisciplinaire. Une organisation hebdomadaire répartissant l'activité de projet sur 35 semaines n'est pas recommandée. Il est au contraire préférable de retenir une organisation qui favorise une dynamique de projet et regroupe les activités sur un temps plus court, spécifiquement dédiées au projet, par exemple sur un semestre.

Une plage horaire commune peut être proposée aux professeurs encadrant les projets. Cela permet d'organiser des moments de consultation entre les enseignants en dehors de la période de projet, indispensable pour l'élaboration puis le suivi de l'activité.

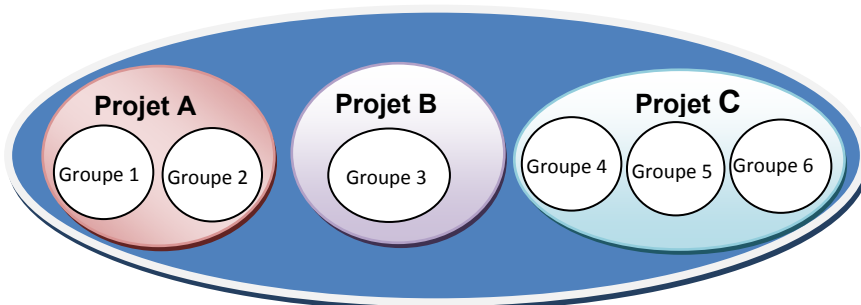
### Exemple d'organisation horaire possible pour le projet interdisciplinaire



Les équipes pédagogiques sont autonomes dans l'organisation de l'enseignement de projet. Les professeurs, encadrant le projet, interviennent conjointement.

### Exemples d'organisation avec 3 projets dans une classe

Les enseignants sont responsables du suivi pédagogique du projet. Ils dirigent les travaux des groupes, les organisent et les planifient en fonction des contraintes qui leur sont imposées.



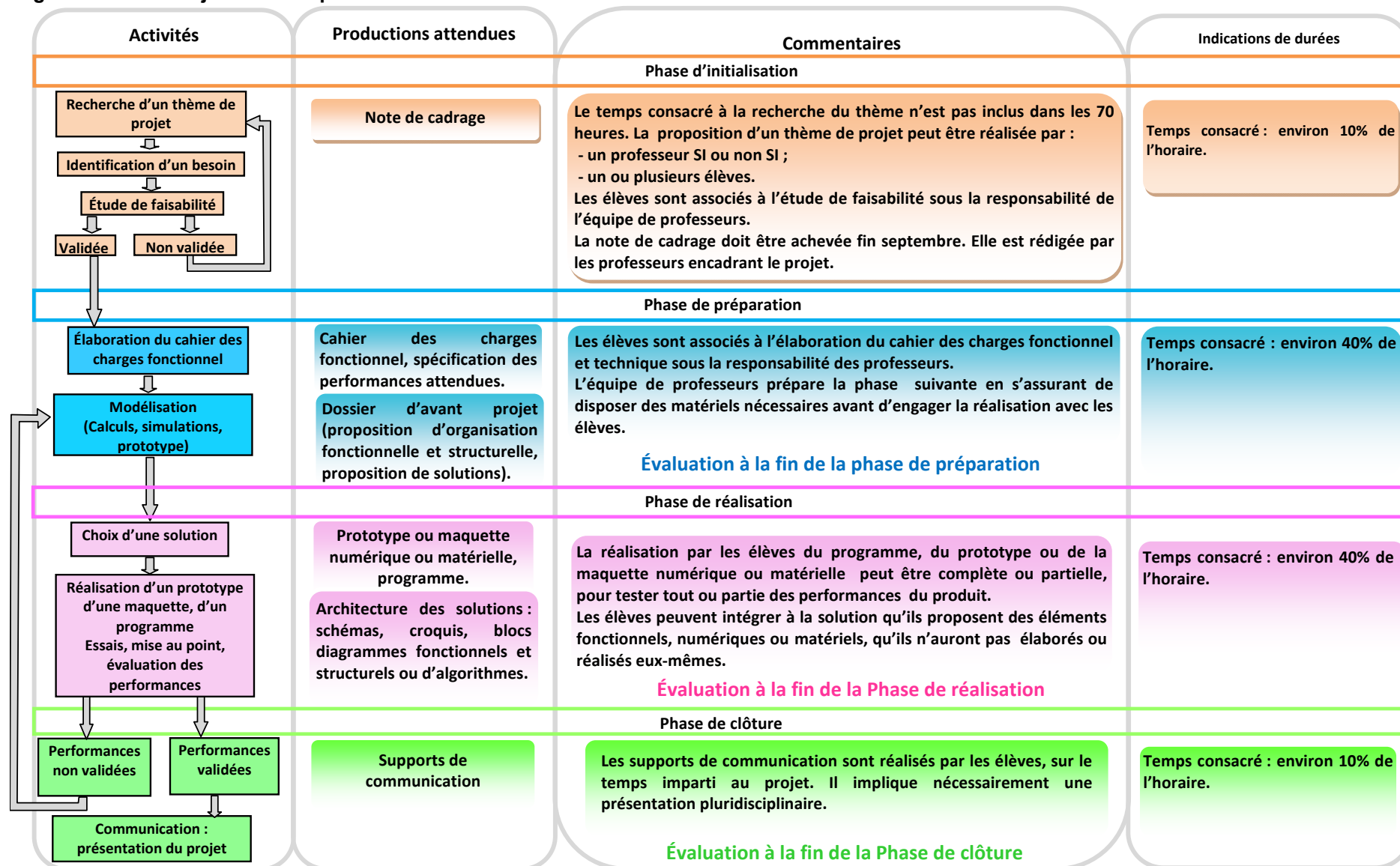
L'organisation conjointe des enseignements doit pouvoir s'adapter avec souplesse aux besoins pédagogiques des élèves et à l'avancement du projet. Une séquence de projet peut intégrer plusieurs modes d'intervention des professeurs lors d'une séance.

**Exemples possibles d'organisation des interventions interdisciplinaires :**

- les professeurs interviennent simultanément sur la séance ;
- les professeurs interviennent simultanément sur une partie de la séance de façon à recouvrer leurs contributions ;
- les professeurs interviennent séparément sur la séance.



## Organisation du Projet interdisciplinaire



## ANNEXE 1 – EXEMPLE DE NOTE DE CADRAGE DU PROJET INTERDISCIPLINAIRE EN SCIENCES DE L'INGENIEUR

<b>Note de cadrage du projet interdisciplinaire en sciences de l'ingénieur</b>		<b>Année :</b> <b>Classe concernée :</b> <b>Nombre total d'élèves :</b>	
<b>Établissement :</b>			
<b>Professeurs responsables :</b>	<b>Nom :</b> <b>Prénom :</b> <b>Discipline :</b>		
<b>Nombre de groupes pour ce projet :</b>			
<b>Intitulé du projet :</b>			
<b>Origine du projet :</b>			
<b>Énoncé général du besoin :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• description du contexte dans lequel l'objet du projet va être intégré ;</li> <li>• fonctionnalités de cet objet ;</li> <li>• performances attendues.</li> </ul>		
<b>Contraintes imposées au projet :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coût ;</li> <li>• nature d'une ou des solutions techniques ou de familles de matériels, de constituants ou de composants ;</li> <li>• environnementales.</li> </ul>		
<b>Nom des élèves du groupe :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -----</li> <li>• -----</li> <li>• -----</li> <li>• -----</li> <li>• -----</li> </ul>		
<b>Intitulé de la partie du projet confiée au groupe :</b>			
<b>Énoncé du besoin pour la partie du projet confiée au groupe :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• description des liaisons au sein de l'architecture fonctionnelle et structurelle ;</li> <li>• fonctionnalités de la partie ;</li> <li>• performances attendues.</li> </ul>		
<b>Production(s) attendue(s) :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• document de formalisation des solutions proposées ;</li> <li>• sous ensemble fonctionnel d'un prototype, éléments d'une maquette réelle ou virtuelle, d'un programme ;</li> <li>• supports de communication.</li> </ul>		

## ANNEXE 2 - GLOSSAIRE PÉDAGOGIQUE

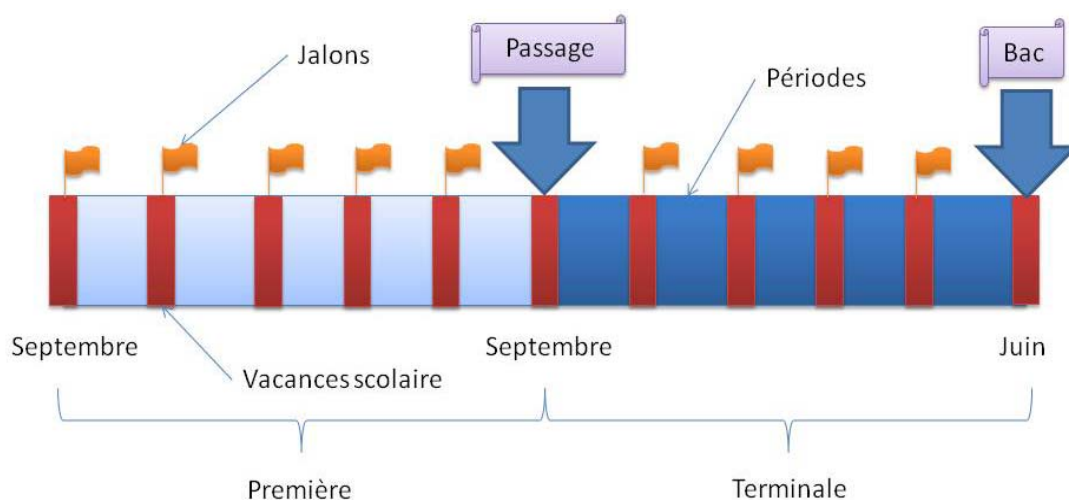
**Compétence** : être compétent, c'est pouvoir mobiliser un ensemble intégré de connaissances, de capacités, de comportements pour résoudre des situations problèmes dans un contexte imposé.

**Situation problème** : c'est une situation didactique créée par l'enseignant pour permettre à l'élève d'être acteur de sa formation, l'élève doit construire son savoir, ses connaissances. L'objectif pédagogique visé par une situation problème est toujours le franchissement d'un obstacle par l'élève. Dans le contexte d'un enseignement de sciences de l'ingénieur, la situation problème sera fortement corrélée avec le processus destiné à donner du sens à travers le triptyque questions sociétales, problématique, problèmes techniques.

Une situation aura le label de situation problème :

- si au départ l'élève n'a pas les instruments de la résolution (sinon elle devient une situation de réinvestissement) ; c'est le besoin de résoudre qui doit conduire l'élève à élaborer ou à s'approprier les instruments de la résolution ;
- si la difficulté est suffisamment résistante pour que l'élève mobilise ses connaissances et ses représentations afin de remettre en cause certaines et d'en construire d'autres ;
- si la difficulté n'apparaît pas à l'élève comme insurmontable.

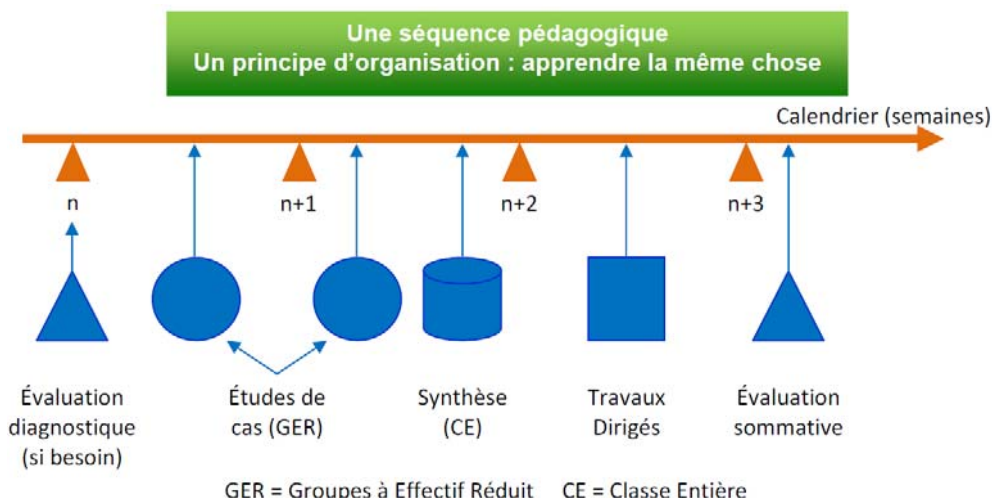
**Progression pédagogique** : c'est l'équivalent du planning en démarche de projet. Elle vise à organiser dans l'espace (occupation des salles ou laboratoires) et le temps (plage de travail intra ou inter disciplinaire) les activités pédagogiques afin de développer les compétences définies dans le programme. Elle comporte des jalons, par exemple, les périodes de rendu des notes pour les conseils de classe, elle permet d'assurer la cohérence pédagogique entre l'année de première et de terminale. Elle favorise la passation des consignes entre les enseignants de l'équipe pédagogique. Elle doit comporter des périodes de temps plus réduites pour favoriser les évaluations sommatives en fin d'apprentissage. Exemple : prendre le rythme des vacances scolaires, soit des périodes de cinq ou six semaines.



**Séance** : c'est l'unité élémentaire de formation dont la durée peut aller de 1 à 4 heures connexes, elle peut être en classe entière ou en groupe à effectifs réduits. Elle peut être encadrée par un ou plusieurs enseignants (cas des travaux interdisciplinaires). Elle se déroule dans un lieu unique relatif au groupe envisagé (classe entière ou groupe à effectifs réduits), la salle de classe, le laboratoire de SI ou de physique, visite extérieure à l'établissement.

**Séquence** : c'est un ensemble de séances, pas obligatoirement connexes, liées par un principe d'organisation : les élèves atteignent les mêmes objectifs, soit à partir d'activités identiques (cours, TD par exemple), soit à partir d'activités qui peuvent être différentes (activités pratiques ou études de dossier sur des supports différents). Une séquence doit posséder son propre dispositif de structuration

des connaissances (cours en démarche déductive, synthèse en démarche inductive), un dispositif d'évaluation (diagnostique en entrée si nécessaire, formative pendant et sommative après le processus de formation). Il peut y avoir plusieurs séquences qui traitent des mêmes compétences, dans ce cas, on peut distinguer une séquence de découverte, d'approfondissement, etc.



**Activités :** ce que fait l'élève pendant la séance pour atteindre les objectifs fixés, acquisition de connaissances et de capacités. Exemple d'activités : prendre une mesure, identifier une structure, caractériser une fonction, simuler le comportement, valider une solution, mettre en œuvre le système, prendre des notes, présenter au groupe, ...

**Modalité pédagogique :** une modalité pédagogique est une approche didactique particulière, choisie par l'enseignant et proposée aux élèves en fonction des connaissances visées et des conditions de formation. Les modalités pédagogiques sont, soit transmissives (à partir du savoir transmis du professeur), soit behavioristes (réponse concrète à un problème posé), soit constructivistes (à partir d'un besoin exprimé des élèves et de découvertes faites pour y répondre), ou basées sur la démarche déductive (du général au particulier) et inductive (du particulier au général).

**Démarche déductive :** on part du cas général vers le cas particulier. L'organisation classique se décompose selon les phases : cours - une ou plusieurs études d'application - évaluation sommative. Le fil rouge de la séquence est la problématique qui prend appui sur un thème sociétal ou un centre d'intérêt. Dans ce cas, les élèves apprennent la même chose, mais peuvent réaliser des activités différentes sur des systèmes différents.

**Démarche inductive :** on part du cas particulier vers le cas général. L'organisation classique se décompose selon les phases : une ou plusieurs études - restitution - leçon de synthèse - évaluation sommative. Avec cette démarche, il faut viser un nombre réduit d'objectifs pédagogiques. Le fil rouge de la séquence est la problématique qui prend appui sur un thème sociétal ou un centre d'intérêt. Il faut choisir les activités compatibles avec ces objectifs et les contraintes organisationnelles et matérielles. Le projet interdisciplinaire et les mini-projets font parties des modalités pédagogiques et didactiques de la démarche inductive.

**Modèle transmissif :** modèle centré sur le maître qui transmet son savoir.

**Modèle behavioriste :** modèle qui repose sur l'entraînement. Il s'intéresse plus aux entrées/sorties qu'aux processus mentaux. La méthode est simple : élaborer des situations pour obtenir certains comportements de l'élève (logique de conditionnement). L'enseignant doit sortir de son discours, pour s'intéresser à l'élève. Il doit créer des objectifs intermédiaires et des situations de remédiations.

**Modèle constructiviste :** modèle élaboré à partir d'un besoin exprimé des élèves et de découvertes faites pour y répondre ; les connaissances se construisent dans un certain ordre et à condition que le

contexte de formation proposé fournisse les stimulations nécessaires. Ce modèle concerne la pédagogie dite de la construction.

**Démarche d'investigation** : démarche inductive qui s'applique à tous les domaines scientifiques. C'est la démarche pratiquée au collège et en classe de seconde dans les enseignements d'exploration. C'est un ensemble d'actions et de réflexions qui vise à observer le comportement, le fonctionnement, la constitution d'un produit, à rechercher des informations et à identifier les solutions retenues ainsi que les principes qui les régissent.

**Démarche de résolution de problème technique** : démarche inductive qui s'applique à tous les domaines technologiques. Elle met en œuvre des méthodes formalisées, même si elle peut aussi intégrer le concept de démarche d'investigation. C'est un ensemble structuré de réflexions et d'actions visant à partir de l'expression du problème technique identifié :

- à l'explicitier ;
- à identifier les contraintes et les hypothèses qui y sont associées, le niveau de réponse attendue et les types de résolution possibles (lois règles, outils, méthodes et organisation, ...) ;
- à appliquer les méthodes de résolution ;
- à comparer les résultats afin de faire un choix justifiable.

**Évaluation diagnostique** : évaluation qui a pour objectif principal de permettre aux enseignants d'observer les compétences et d'apprécier les réussites, ainsi que les difficultés éventuelles des apprenants, considérés individuellement, à un moment précis de leur apprentissage. Elle leur fournit ainsi des repères pédagogiques pour organiser la suite des apprentissages.

**Évaluation formative** : évaluation entièrement intégrée à l'apprentissage. Elle intervient avant, pendant et après le cursus de formation. Centrée sur l'élève, elle mesure ses résultats en fonction d'objectifs opérationnels. Elle indique également à l'enseignant comment se déroule son programme pédagogique et quels sont les obstacles auxquels il se heurte.

**Évaluation sommative** : évaluation qui s'effectue en fin d'apprentissage. Elle permet d'estimer les connaissances acquises de l'apprenant, d'en faire un inventaire. Elle peut permettre également de prendre une décision d'orientation ou de sélection en fonction des acquis, mais aussi de situer les apprenants d'un groupe par rapport aux autres.

**Modèle de connaissance** : il est défini à partir des lois des domaines transdisciplinaires (physique, chimique, thermique) et est connu sous une forme temporelle continue généralement non linéaire. Pour établir un modèle de connaissance, il faut délimiter le constituant à modéliser, choisir les variables représentatives de son comportement et identifier les phénomènes significatifs de son évolution dynamique. Ce modèle est utilisé pour simuler le comportement d'un système à commander et/ou concevoir un algorithme de commande. Lorsque ce modèle est intégré dans un système de commande, il est nécessaire de le linéariser et de le discrétiser. Ces modèles sont généralement complexes et comportent beaucoup de paramètres à identifier.

**Modèle de comportement** : il permet de décrire les évolutions d'un système dynamique. Il est défini à partir de petites variations autour d'un point de fonctionnement. Les entrées et les sorties du modèle de comportement sont liées par des équations linéaires à coefficients constants. Cette propriété permet de définir des fonctions de transfert dans lesquelles on ne cherche pas à expliquer les phénomènes des domaines transdisciplinaires (physique, chimique, thermique) qui interviennent. Ce modèle peut être obtenu de deux manières :

- La première méthode consiste à définir un modèle de connaissance du constituant et de le linéariser, si nécessaire autour d'un point de fonctionnement. Puis de repérer les variables à réguler, les perturbations et les variables d'entrées pour écrire le modèle de comportement sous la forme de fonctions de transfert.
- La seconde méthode consiste à définir une fonction de transfert à partir de l'observation expérimentale de la variable à réguler pour une séquence d'un signal d'entrée appliquée aux

variables de commande ou de perturbations. Cette méthode permet une identification directe des coefficients constants.

Les logiciels de description comportementale proposent des blocs fonctionnel et structurel de sous-systèmes qui peuvent directement s'organiser à partir de la description organique du système étudié. Ces outils peuvent être utilisés dès le début du cycle terminal. Il est alors demandé aux élèves de renseigner les paramètres du modèle qui caractérisent les blocs fonctionnel et structurel pour créer le modèle comportemental, à partir de valeurs obtenues par l'expérimentation ou fournies par le professeur ou par le constructeur du système simulé.

**Systèmes réel, réel instrumenté, didactisé, simulé :** selon les modalités pédagogiques mises en œuvre, les objectifs fixés par le professeur et la nature même des compétences à développer, un choix de type d'équipements est à faire.

On peut distinguer les types d'équipements suivants :

- **les systèmes réels distants ou non, des sous-ensembles et des composants industriels** - il s'agit d'équipements identiques à ceux que l'on peut retrouver dans une entreprise, chez un particulier ou encore des systèmes en situation réelle de fonctionnement ou de production. Il peut s'agir par exemple, d'un équipement grand public, d'organes ou d'éléments réels qui appartiennent à un ensemble ;
- **les systèmes réels instrumentés** - ces systèmes, matériels ou ouvrages sont des équipements réels qui ont été instrumentés afin de relever en certains points des données chiffrées sur le comportement du système en fonctionnement ;
- **les systèmes didactisés** - l'exploitation de matériels ou de systèmes réels ne permet pas toujours l'accès aux éléments qui assurent les différentes fonctions (dimensions, encombrement, ...). Le système ou le matériel didactique est un système ou un matériel isolé de son contexte, éventuellement instrumenté, mais mettant en œuvre les éléments ou organes réels de l'équipement industriel ou grand public. Il peut s'agir par exemple d'une direction assistée d'automobile ;
- **les systèmes maquetisés** - avec ces systèmes ou matériels, il y a un rapport d'échelle, une homothétie avec le matériel réel. Une maquette peut traduire une fonction globale, des données d'entrée, de sortie et de contrôle en termes qualitatifs. Elle peut traduire un processus global de fonctionnement sans pour autant prendre en compte la totalité des phénomènes et des grandeurs physiques du système réel homothétique. Pour un système automatique, la partie opérative peut être maquetisée et la partie commande peut être réelle ;
- **les systèmes simulés** - dans ce cadre, il s'agit de simulations à partir de logiciels permettant de visualiser le comportement d'un procédé, d'une commande, d'un mécanisme, d'une structure, d'un ouvrage ou encore un mode opératoire, afin d'appréhender le comportement du matériel ou du système et d'en faciliter le paramétrage en réponse à un cahier des charges.

Dans le cadre des objectifs pédagogiques poursuivis, ces différents supports pédagogiques se complètent. S'il est nécessaire de privilégier les supports mettant en œuvre des constituants réels, il n'est pas exclu de faire appel à des systèmes maquetisés pour valider certains comportements. Par ailleurs, les simulations informatiques facilitent l'analyse et la compréhension de systèmes techniques réels présents ou non sur le plateau technique.

De manière complémentaire, le développement de travaux pratiques mettant en œuvre des systèmes en situation réelle avec des liaisons à distance peut également être envisagé.



# GUIDE D'ÉQUIPEMENT DU LABORATOIRE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

---

## ✕ OBJECTIFS DU GUIDE D'ÉQUIPEMENT

Ce guide d'équipement vise à préconiser l'implantation, l'aménagement et l'équipement des locaux dédiés à l'enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur en série scientifique. Il est valable quelle que soit la nature du lycée dans lequel est implanté cet enseignement (lycée général, technologique, urbain, rural...). Il accompagne le programme paru au BOEN spécial N°9 du 30 septembre 2010 et le document ressources pour faire la classe. Il est destiné aux autorités académiques, aux instances régionales, aux architectes et bureaux d'études et aux responsables de l'équipement des laboratoires de sciences de l'ingénieur de la série scientifique.

Ce guide s'adresse également aux responsables pédagogiques. Il leur permettra, en relation avec les instances rectorales et régionales, de définir les besoins en équipement et en aménagement adaptés aux situations locales.

## ✕ ORGANISATION DE L'ESPACE DE FORMATION

L'espace de formation se compose de deux secteurs :

- un laboratoire de sciences de l'ingénieur ;
- une salle banalisée.

### Le laboratoire de sciences de l'ingénieur

#### Définition fonctionnelle

Le laboratoire est unique. Son aménagement doit pouvoir s'adapter facilement à toutes les activités pédagogiques engendrées par l'enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur. Les compétences à atteindre nécessitent un travail en groupes d'élèves donc une organisation du laboratoire en îlots. Pour de bonnes conditions de travail, le laboratoire de sciences de l'ingénieur aura une superficie utile d'au moins 100 m<sup>2</sup> pour pouvoir accueillir au maximum une division.

#### Les îlots

Les îlots permettent :

- aux élèves de travailler individuellement ou par équipes, d'avoir accès aux systèmes et aux outils informatiques dans chaque activité ;
- à l'enseignant d'intervenir face à tous les élèves par exemple lors des phases d'activation et de restitution.

Chaque îlot doit pouvoir accueillir six élèves au maximum.

La disposition du mobilier doit permettre aux élèves d'évoluer d'une activité à l'autre dans l'espace de l'îlot pour réaliser certaines tâches (exemple : observation, expérimentation, consultation, simulation, rédaction).

En phase d'activation ou de restitution, la disposition du mobilier doit permettre aux élèves de se tenir assis à une place où ils pourront échanger avec le professeur et prendre des notes.

Il convient d'équiper chaque îlot :

- d'un support d'enseignement (système réel instrumenté ou non, système didactisé, maquette réelle ou virtuelle) ;
- de plusieurs postes informatiques, dont les performances permettent d'exécuter simultanément plusieurs logiciels d'ingénierie et de bureautique ;
- d'une gamme d'appareils de mesure<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Selon les activités expérimentales à réaliser, les appareils permettront d'effectuer des mesures, par exemple, de force, de déplacement, de vitesse, de débit, de pression, de tension, d'intensité, de résistance, de fréquence, de température, de lumière, de son, etc.

Tous les ordinateurs du laboratoire doivent être reliés au réseau de l'établissement afin de favoriser le travail collaboratif. Les postes doivent avoir accès à l'Internet et aux Espaces Numériques de Travail. Le laboratoire dispose de moyens de communication interactifs.

### Les supports d'enseignement

Les supports d'enseignement choisis pour éveiller la curiosité des élèves, doivent répondre à un besoin et être innovants. Ils permettent d'aborder des thèmes tels que la mobilité, le sport, la santé, l'habitat, les équipements publics, l'énergie, la communication, la culture et les loisirs, la bionique, la dématérialisation des biens et des services.

Il est recommandé de choisir des supports d'enseignement dans le champ des matériels grand public et de l'environnement des élèves. Le coût unitaire doit être compatible avec des achats multiples et permettre des renouvellements fréquents afin de suivre les évolutions technologiques.

Les supports d'enseignement retenus doivent permettre de caractériser les trois écarts mis en évidence dans le programme<sup>7</sup> ainsi qu'une approche pluri technologique externe.

Les supports d'enseignement sont constitués :

- d'un cahier des charges fonctionnel décrivant le besoin du client ;
- d'un système réel instrumenté ou non, d'un système didactisé ou d'une maquette réelle ou virtuelle ;
- des modèles de tout ou partie du système.

Il est indispensable de s'assurer que les performances attendues par le cahier des charges soient accessibles à la mesure et que les modèles nécessaires à la simulation existent ou puissent être développés.

### La salle banalisée

Les activités de cours, de travaux dirigés, de synthèse nécessitent un accueil dans une salle banalisée à proximité immédiate du laboratoire de sciences de l'ingénieur. Cette salle dispose d'un ensemble de vidéo projection et doit pouvoir accueillir une division.

## **✗ DIFFÉRENTS CAS D'IMPLANTATION D'UN LABORATOIRE**

### **Cas d'un établissement possédant déjà un enseignement de sciences de l'ingénieur**

L'aménagement des espaces existants nécessite en priorité :

- la mise en îlots du laboratoire de sciences de l'ingénieur, avec les déplacements de prises de courant, réseau et de colonnes à gérer, voire une harmonisation du mobilier ;
- l'évolution des supports d'enseignement existants, l'élimination de certains autres et un complément d'équipements pour faire entrer régulièrement de nouveaux systèmes conformes aux objectifs du programme.

### **Cas d'une création ou du maintien d'un enseignement de sciences de l'ingénieur dans un établissement proposant la série sti2d**

Dans le cas d'une création ou du maintien d'un enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur dans un établissement accueillant la série STI2D, une étude du taux d'occupation du laboratoire « étude des systèmes » est à mener pour savoir s'il faut un laboratoire « systèmes sciences de l'ingénieur » et un laboratoire « systèmes STI2D » ou un seul laboratoire qui accueille les deux enseignements sur des systèmes qui peuvent être en partie communs.

---

<sup>7</sup> Les équipements existants dans le lycée pourront être utilisés s'ils répondent aux critères énoncés ci-dessus.

## **✗ LA PRÉVENTION DES RISQUES**

La formation lors de l'enseignement spécifique des sciences de l'ingénieur au baccalauréat scientifique doit prendre en compte des risques inhérents aux interventions sur des chaînes d'énergie.

Le travail sur les chaînes d'énergie peut amener les élèves à intervenir sur des flux d'énergie dangereux. Dans ces activités conduites à proximité d'énergies dangereuses, il est obligatoire de respecter les réglementations de protection et de sécurité en vigueur. Ces règlements prévoient en général une formation en deux étapes :

- une formation théorique aux risques et à leur prévention ;
- une formation pratique, et la mise en œuvre des mesures de protection adaptées dans le cadre des activités habituelles de travaux pratiques.

Les équipes pédagogiques devront analyser précisément les risques associés aux situations pédagogiques proposées et mettre en place toutes les conditions d'un travail en sécurité.

Une attention toute particulière sera apportée à la prévention des risques électriques.

### **Formation à la prévention des risques d'origine électrique**

La réglementation est fréquemment en cours d'évolution. Pour prendre en compte ces évolutions de la prévention des risques, il conviendra d'utiliser la dernière circulaire de mise en application éditée par le Ministère de l'Éducation Nationale et ses textes de mise en œuvre, en particulier :

- le référentiel de formation à la prévention des risques d'origine électrique ;
- les fiches de tâches à exécuter pour la formation.

Sans qu'il soit nécessaire de rendre « habilitables » les élèves, il est conseillé aux équipes enseignantes de s'inspirer des dispositions correspondant à la référence B1V<sup>8</sup>.

### **Remarques particulières**

Le laboratoire devra comporter des supports d'enseignements conformes à la réglementation en termes de protection collective. Les élèves pourront ainsi intervenir en sécurité vis-à-vis des flux énergétiques.

Si les élèves peuvent réaliser l'agencement de constituants « hors énergie » (système consigné), l'enseignant doit :

- s'assurer que la structure envisagée et l'agencement des constituants garantissent la sécurité des personnes avant d'effectuer la mise en énergie, la mise en service et l'utilisation ;
- s'assurer, et sans possibilité de délégation, de la mise en énergie du dispositif (déconsignation par l'enseignant) ;
- vérifier que le fonctionnement et l'utilisation du système répondent aux exigences de sécurité.

Les supports d'enseignements anciens réutilisés devront être expertisés et mis en conformité pour répondre aux exigences précédentes.

Les mesures faites sous énergies dans le cadre d'activités d'optimisation ou de mise au point d'un modèle de comportement devront être réalisées à partir d'un système d'acquisition ou de points de mesure accessibles sécurisés (le système peut être installé dans une armoire de confinement par exemple).

---

<sup>8</sup> **B1V\*** : **B** caractérise les ouvrages et les installations du domaine BT (basse tension) et TBT (très basse tension) ; **1** signifie qu'il s'agit de personnel exécutant des travaux d'ordre électrique (exécutant électricien) ; **V** indique que le titulaire peut travailler au voisinage ou en présence de tension. La référence B1V permet également d'effectuer des tâches relevant des références BE (intervention de mesurage) ou BP (intervention sur des panneaux photovoltaïques).

**✗ ANNEXE : QUELQUES ELEMENTS POUR L'ARCHITECTURE ET LES SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU LABORATOIRE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR**

**Zone du professeur**

2 points d'accès avec chacun 3 PC 230 V 10/16A + T et 3 Prises RJ 45 informatique (VDI).

**Pour chaque îlot**

6 PC 230 V 10/16A + T.

4 PC 230 V 10/16A + T, 4 Prises RJ 45 informatique (VDI).

**Équipements**

Un tableau.

Une surface de projection ou un tableau numérique interactif.

Des mobiliers pour construire 6 îlots de 6 élèves avec espace systèmes, mesurage et informatique.

Un bureau pour le poste informatique du professeur.

37 fauteuils à hauteur réglable et sur roulettes.

Des moyens de rangement pour les matériels.

Un vidéo projecteur fixe.

19 postes informatiques en réseau (configuration postes CAO, simulation, mesure).

Un ordinateur portable.

Un moyen pour scanner et imprimer en réseau.

