

Repères pour la formation terminale STL - SPCL

Systèmes et procédés

Le programme de physique – chimie en terminale STL, SPCL, est composé de quatre parties : la partie "physique-chimie" commune avec la série STI2D, "ondes", "chimie et développement durable", "systèmes et procédés" (S & P). Cette dernière partie ne constitue pas la composante technologique du programme et elle ne vise pas non plus à préparer à une formation de STS spécifique qui serait le prolongement naturel de cette filière.

Par une solide formation scientifique au spectre large rayonnant vers les méthodes de la science, les connaissances, les capacités expérimentales et la démarche de projet, la série STL SPCL prépare les élèves aux études supérieures - classes préparatoires, écoles d'ingénieur, IUT et STS.

Dès lors, le programme de systèmes et procédés est un programme de physique et de chimie qui **complète, prolonge et relie** les parties « physique-chimie », "ondes" et "chimie et développement durable". Il ne propose pas une étude de la technologie des systèmes choisis, cette dernière étant souvent appelée à évoluer avec les résultats de la recherche et les avancées technologiques. Il ne propose pas non plus une étude fine des procédés mis en place, ceux-ci évoluant pour s'adapter aux contraintes économiques, environnementales et sociétales.

Les notions et contenus de ce module peuvent être **en partie** traités, **lorsque le sujet s'y prête**, dans le cadre du cours de physique "ondes" ou de "chimie et développement durable".

L'enseignement de S & P oriente avant tout vers une approche globale des dispositifs complexes fabriqués par l'homme dans leur dimension technologique, sociétale, économique et environnementale. On pose ici que le système transforme de l'énergie, de la matière ou de l'information selon une méthode que l'on nomme le procédé.

Le système constitue l'entrée d'une étude sur laquelle s'adosse très concrètement les domaines de la physique et de la chimie qu'il permet d'aborder. Le système et les procédés mis en œuvre ne sont pas une fin en soi mais constituent des supports industriels ou de laboratoire, à usage public ou privé, dont l'étude vise à développer des connaissances et des compétences scientifiques.

S'il n'est pas toujours possible de pouvoir effectuer des mesures sur des systèmes réels, non didactisés, on étudiera sur des supports didactiques le principe de certaines des fonctions du système. Un support didactique n'est pas nécessairement constitué d'une "maquette" mais peut aussi prendre la forme d'un montage expérimental classique mis en œuvre dans les laboratoires de physique-chimie.

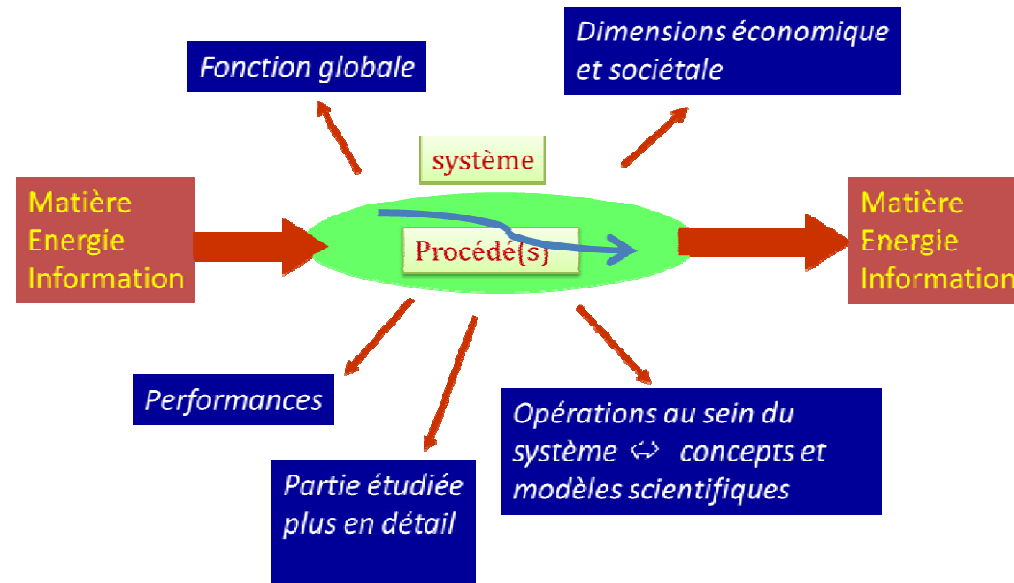
Si une "maquette" est utilisée, elle doit être vue et présentée comme un "modèle expérimental simplifié" d'un système réel, plus complexe, sur lequel l'étude n'est pas aisément possible. L'utilisation pédagogique de ces "modèles expérimentaux" doit permettre dans le cadre d'une démarche scientifique de retrouver ou de découvrir des propriétés générales des systèmes réels. Ainsi, par exemple dans la partie "contrôle et régulation", leur utilisation pour aborder certaines parties du programme ne devrait pas se traduire par des "travaux pratiques" "clés en main", "presse bouton", bannissant ainsi toute initiative de l'élève. Il n'y a pas, dans un enseignement qui vise à développer l'apprentissage de la démarche scientifique, une partie "cours" et une partie "T.P." déconnectées et dissociées. Les connaissances et les capacités se construisent dans ces "allers retours" entre l'expérimentation et la décontextualisation, elle-même indispensable à la conceptualisation et la formalisation.

Si la "maquette" est un modèle expérimental, le retour vers le système réel est indispensable, l'objectif n'étant pas d'étudier une maquette, objet purement scolaire ! C'est alors l'occasion de montrer les limites du modèle liées souvent au rapport d'échelle des grandeurs régulées ou commandées.

Dans les lycées équipés de pilotes de génie chimique ou de systèmes utilisés dans des sections de technicien supérieur ou dans d'autres disciplines – STI2D – les mesures peuvent être directement effectuées sur

ces systèmes en se gardant bien d'effectuer un traitement aussi détaillé que dans l'ancien programme de STL ou dans des programmes de STS.

L'introduction du programme de S & P précise que les systèmes peuvent ne pas être présents dans l'établissement mais qu'alors une documentation doit permettre les élèves d'en faire une analyse globale en termes de fonctionnalité et, dans une certaine mesure, une analyse des performances voire des choix effectués.



Thermodynamique

Notions et contenus	Capacités exigibles	Repères pour la formation
<p>Transfert d'énergie d'une source froide à une source chaude. Transfert d'énergie sous forme de travail et de chaleur. Modèle du gaz parfait. Premier principe et second principe de la thermodynamique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pour une pompe à chaleur, un climatiseur ou un réfrigérateur : décrire le principe de fonctionnement ; identifier les transferts d'énergie mis en jeu et réaliser le bilan énergétique. - Citer l'influence de la différence de température des deux sources sur le coefficient de performance d'une pompe à chaleur ou d'un climatiseur. - Distinguer un échange d'énergie par travail et par transfert thermique. - Expliquer comment une compression ou une détente augmente ou abaisse la température d'un gaz. - Appliquer le principe de conservation de l'énergie à une machine ditherme. - Énoncer le second principe de la thermodynamique comme l'impossibilité d'un transfert thermique spontané d'une source froide vers une source chaude. - Énoncer et exploiter, dans le cadre du second principe, la relation entre les énergies échangées par transferts thermiques et les températures des sources pour une machine ditherme. - Définir, exprimer et calculer le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique. - Distinguer le coefficient de performance d'une machine thermique de son efficacité thermodynamique. 	<p><i>Les capacités du programme ne sont pas nécessairement abordées dans leur ordre de présentation.</i></p> <p><i>Le modèle du "gaz parfait" n'est pas traité en tant que tel mais constitue un modèle mis en œuvre pour expliquer le lien entre une variation de pression et une variation de température lors des phases de compression ou détente d'un cycle d'une machine thermique.</i></p> <p><i>On limite l'utilisation du second principe à la définition qui en est donnée dans la capacité exigible correspondante. Ainsi, on s'abstient de tout développement mathématique, à partir du second principe, pour, par exemple, démontrer l'expression du rendement de Carnot.</i></p> <p><i>Le concept d'entropie n'est pas évoqué.</i></p> <p><i>Dans le cas d'une machine thermique, le système reçoit ou fournit du travail.</i></p> <p><i>Le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique sont définis par le rapport entre l'énergie constituant un "gain" pour l'utilisateur et celle constituant un "coût". L'efficacité thermique est abordée qualitativement.</i></p> <p><i>Le coefficient de performance prend en compte les pertes au niveau du compresseur (et il prend donc en compte les organes internes même si cela n'apparaît pas dans les calculs). C'est cette donnée que l'on trouve dans les documentations « constructeurs » des pompes à chaleur. On l'aborde de façon globale en</i></p>

		<i>faisant le rapport de l'énergie échangée avec la source chaude (ou froide selon la machine étudiée) par l'énergie consommée par la machine thermique. On peut utiliser un schéma de chaîne énergétique pour illustrer les notions d'efficacité ou de coefficient de performance.</i>
Irréversibilité.	- Identifier des causes d'irréversibilité.	<i>Cette partie sera traitée si le niveau de la classe le permet.</i>
Flux thermique en régime permanent. Échangeur thermique.	- Déterminer expérimentalement le flux thermique échangé par les fluides dans un échangeur liquide-liquide. - Évaluer à partir de données expérimentales le coefficient global d'échange.	<i>La notion de flux thermique abordée en tronc commun pour une paroi. On peut montrer le profil des températures des deux liquides en fonctions des sens de circulations dans un échangeur tubulaire à l'aide d'une simulation numérique. Aucune relation n'est exigible pour l'évaluation du coefficient global d'échange. On évitera les calculs de flux thermique à partir du débit massique.</i>
Phénomènes de transport.	- Mettre en évidence expérimentalement le phénomène de diffusion. - Mettre en évidence expérimentalement l'influence de la température sur la diffusion. - Mettre en évidence expérimentalement l'effet de la masse molaire moléculaire des espèces sur la diffusion.	<i>Aucun développement théorique n'est exigible. On se contente d'une mise en évidence qualitative. Le support de travail pourra être une vidéo illustrant la diffusion d'espèces différentes : comme le dibrome, le dioxyde d'azote. http://www.youtube.com/watch?v=H7QsDs8ZRMl</i>
Diagrammes binaires. Distillation.	- Réaliser et légender le tracé d'un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur d'un mélange binaire à partir des courbes d'analyse thermique et de la composition des phases liquide et gaz. - Exploiter un diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur pour identifier le composé le plus volatil et reconnaître la présence d'un azéotrope. - Dédurre d'un diagramme isobare d'équilibre liquide-	<i>La fraction molaire en composé le plus volatil (ou titre molaire) est à introduire. On peut aborder la notion de titre massique mais on n'exige pas le passage de l'un à l'autre. La notion d'hétéroazéotropie est hors programme. Pour les établissements disposant de hall de génie des</i>

	<p>vapeur, la composition des premières bulles de vapeur formées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévoir la nature du distillat et du résidu d'une distillation fractionnée avec ou sans azéotrope. - Analyser par réfractométrie la composition d'un mélange à partir d'une courbe d'étalonnage. - Identifier les paramètres agissant sur le pouvoir séparateur des colonnes. - Expliquer l'intérêt à réaliser une distillation sous pression réduite. - Identifier dans un système complexe les éléments constituant la distillation. 	<p><i>procédés, il est conseillé d'éviter de distiller des mélanges eau-butanol qui présentent ce phénomène.</i></p> <p><i>La notion de plateau théorique d'équilibre n'est exigible dans aucune distillation.</i></p> <p><i>Distillation fractionnée : on mentionne qu'au sein d'une colonne de distillation fractionnée, on effectue une suite de condensations/vaporisations. Ceci peut être illustré sur le diagramme isobare afin de montrer l'obtention d'un titre molaire dans le distillat plus élevé que pour une distillation simple.</i></p> <p><i>Le théorème des moments chimiques est hors programme.</i></p> <p><i>Le réfractomètre utilisé en 1ère STL (Chimie et développement durable) permet de réinvestir une méthode de mesure déjà étudiée. Il permet de déterminer la composition du liquide avec une faible quantité de produit contrairement au densimètre (qui peut être utilisé aussi).</i></p> <p><i>Sans toutefois introduire la notion de plateau théorique on peut s'appuyer sur des documents (ou une expérience) qui mettent en jeu deux colonnes différentes au moins. Ceci afin de mettre en évidence que la composition du distillat obtenu est différente.</i></p> <p><i>Pour les établissements disposant de hall de génie des procédés : à partir du même mélange de départ, on peut vérifier que la distillation en colonne semi-industrielle est plus performante qu'une distillation simple effectuée en laboratoire.</i></p>
--	--	---

		<p><i>La distillation sous vide est simplement citée pour rappeler que les températures d'ébullition des composés à séparer seront plus faibles qu'à pression atmosphérique. On pourra alors séparer des composés thermosensibles.</i></p> <p><i>Les schémas normalisés ne sont pas au programme, les différents éléments essentiels d'un dispositif de distillation industrielle (continue ou discontinue) seront nommés littéralement.</i></p> <p><i>Le principe et la fonction d'une colonne, d'un bouilleur et d'un condenseur sont à connaître.</i></p>
--	--	--

Mécanique des fluides

Notions et contenus	Capacités exigibles	Repères pour la formation
<p>Conservation de l'énergie. Fluide incompressible en mouvement. Puissance hydraulique. Pertes de charge.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer et exploiter la loi de conservation de l'énergie d'un fluide incompressible en mouvement. - Déterminer expérimentalement l'influence de quelques paramètres sur les pertes de charge : vitesse d'écoulement, longueur et section de la canalisation, singularités. 	<p><i>Le théorème de Bernoulli traduit la loi de conservation de l'énergie d'un fluide incompressible en mouvement ; le théorème de Bernoulli est à connaître. On ne multipliera pas les expressions du théorème de Bernoulli en fonction des unités choisies. On se limitera à une expression faisant apparaître clairement les différentes énergies (ou énergies par unité de volume).</i></p> <p><i>L'application de l'incompressibilité d'un fluide pour amplifier une force est à connaître.</i></p> <p><i>Aucune connaissance n'est exigible sur les pertes de charge singulières ou régulières</i></p>

Énergie électrique

Notions et contenus	Capacités exigibles	Repères pour la formation
Modèle d'un dipôle actif, limitation du modèle. Caractéristique d'un générateur. Caractérisation physique des grandeurs liées au transport de l'énergie électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer expérimentalement la caractéristique d'un générateur. - Visualiser une représentation temporelle d'une tension électrique, d'une intensité électrique en régime périodique et en analyser les caractéristiques. - Visualiser une représentation temporelle de la puissance instantanée consommée ou fournie par un dipôle en régime périodique et mesurer sa valeur moyenne. - Distinguer puissance moyenne et puissance instantanée. - Interpréter les données fournies par un analyseur d'énergie électrique industriel. 	<p><i>L'élève doit être en mesure de proposer un protocole en utilisant les appareils mis à sa disposition (voltmètre, ampèremètre, résistance réglable) : réaliser un schéma du montage et indiquer les grandeurs mesurées.</i></p> <p><i>La notion de facteur de puissance n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Aucune connaissance n'est exigible sur l'interprétation des données d'un analyseur industriel. Cette partie est traitée si le niveau de la classe le permet et si l'établissement est équipé en matériel.</i></p>
Conversion statique de l'énergie électrique.	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer et exploiter la loi de conservation de l'énergie pour un convertisseur statique idéal. - Associer l'onduleur à un convertisseur continu-alternatif. - Associer le redresseur à un convertisseur alternatif-continu. 	<p><i>Les convertisseurs sont à aborder de façon globale en termes d'entrée-sortie sans entrer dans la technologie utilisée pour les construire. Les connaissances exigibles se limitent à l'association d'un nom de convertisseur à la transformation de signaux effectuée et à l'existence d'un rendement de conversion.</i></p>

Traitement du signal

Notions et contenus	Capacités exigibles	Repères pour la formation
Modèle d'un dipôle actif, limitation du modèle. Caractéristique de transfert statique d'un capteur. Conditionneur de capteur.	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer expérimentalement la caractéristique de transfert statique d'un capteur. - Visualiser la réponse temporelle d'un capteur. - Déterminer le temps de réponse d'un capteur. - Visualiser et exploiter la caractéristique de transfert d'un ensemble capteur-conditionneur. 	<p><i>La réponse temporelle se limite à la réponse de l'ensemble {capteur, conditionneur} à un échelon de la grandeur à mesurer.</i></p> <p><i>L'élève doit pouvoir expliquer l'intérêt du conditionnement du signal.</i></p>
Filtrage et amplification de tension. Gabarit.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la courbe du coefficient d'amplification en fonction de la fréquence d'un amplificateur pour déterminer ses limites d'utilisation. 	<p><i>L'élève n'a pas à connaître l'expression des fréquences de coupure ; pour la réponse fréquentielle, les critères de limites d'utilisation d'un amplificateur sont fournis.</i></p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Dédire les propriétés d'un filtre de la courbe représentant le coefficient d'amplification en fonction de la fréquence. - Proposer un gabarit de filtre pour répondre à un cahier des charges. 	<p><i>On se limitera à quelques exemples de mise en œuvre dans des cas concrets pour des filtres passe-bas, passe-bande et passe-haut. La notion de sélectivité est hors programme.</i></p> <p><i>Pour le gabarit, on se limite au filtre passe-bas utilisé pour extraire une valeur moyenne.</i></p>
Numérisation d'une tension.	- Citer les caractéristiques utiles d'un CAN : nombre de bits, quantum, fréquence de conversion.	

Contrôle et régulation

Notions et contenus	Capacités exigibles	Repères pour la formation
<p>Aspect fonctionnel. Boucle de régulation. Schéma fonctionnel, chaînes d'action et de retour, correcteur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier, nommer et connaître la fonction des éléments constitutifs d'une boucle de régulation. - Établir le schéma fonctionnel d'une boucle de régulation. - Citer la nature des signaux d'interconnexion des éléments constitutifs des chaînes d'action et de retour ainsi que les valeurs normalisées les plus courantes. 	<p><i>On se limite au schéma fonctionnel de la boucle.</i></p> <p><i>Le tracé et l'analyse du schéma d'une installation en représentation normalisée (schéma TI) ne font pas partie des capacités exigibles. On pourra se limiter à une représentation où le nom des organes constituant le système sont cités littéralement (en toutes lettres) sans exigence particulière sur la symbolisation.</i></p> <p><i>La grandeur perturbatrice apparaît dans le schéma fonctionnel comme grandeur intervenant sur le système.</i></p> <p><i>Par nature des signaux on entend grandeur physique (tension, débit, température, ...) ; ainsi une "boucle 4-20 mA" n'est pas citée en tant que telle : c'est un courant continu dont les valeurs extrêmes de l'intensité sont 4 mA et 20 mA.</i></p> <p><i>On peut regrouper dans un seul ensemble le capteur et le transmetteur. Dans un premier temps, il peut être</i></p>

		<p><i>important de les distinguer en précisant le rôle de chacun au regard des grandeurs physiques respectives.</i></p> <p><i>On choisit de nommer "régulateur" l'ensemble {soustracteur ou comparateur, correcteur}.</i></p> <p><i>On pourra faire appel aux valeurs relatives (en %) sans que cette notation soit exigible. On indique alors à l'élève les raisons de ce choix.</i></p>
<p>Grandeurs fonctionnelles : grandeurs réglées, réglantes et perturbatrices.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les grandeurs fonctionnelles d'une boucle de régulation. - Placer les grandeurs fonctionnelles sur un schéma fonctionnel. 	<p><i>Les grandeurs fonctionnelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie de chaque bloc fonctionnel.</i></p>
<p>Caractéristiques statiques et dynamiques. Systèmes stable et instable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer les définitions d'un système stable ou instable. 	<p><i>La notion de stabilité peut se définir ici à partir d'une variation finie de la grandeur d'entrée. Si la variation de la grandeur de sortie est finie, le système est considéré comme stable.</i></p> <p><i>On pourra à partir d'exemples et pour un signal du type "échelon" présenter des systèmes stables et instables.</i></p>
<p>Caractéristique statique : gain statique ; point de fonctionnement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer et exploiter la caractéristique statique d'un procédé stable. Calculer, au point de fonctionnement, le gain statique. - Mettre en évidence expérimentalement le déplacement du point de fonctionnement quand la perturbation varie. 	<p><i>La caractéristique statique d'un procédé stable est la représentation graphique des valeurs prises par la grandeur de sortie en fonction des valeurs de la grandeur d'entrée en l'absence de perturbation.</i></p>
<p>Caractérisation des modèles comportementaux : caractéristiques dynamiques des procédés, comportement autour d'un point de fonctionnement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Différencier le comportement des systèmes par leur réponse à un échelon de commande. - Déterminer les paramètres intrinsèques des procédés : <ul style="list-style-type: none"> . pour un système stable : le gain statique, la constante de temps, le temps mort, . pour un système instable ou intégrateur : le gain dynamique et le temps mort. 	<p><i>On se limite à l'échelon de commande.</i></p> <p><i>Ces paramètres sont définis lorsqu'il devient nécessaire de les introduire, c'est-à-dire lors de la réalisation d'une régulation. On peut ainsi vérifier que le choix des paramètres d'un régulateur nécessite une connaissance à minima du système à réguler ; dans ce programme, cette connaissance se limite à quelques paramètres.</i></p>

<p>Régulation à action discontinue (TOR).</p>	<p>- Tracer et exploiter l'évolution des grandeurs à partir d'une consigne fixe pour les régulations TOR à un seuil et à deux seuils de basculement.</p>	<p><i>La régulation TOR est une régulation "tout ou rien". La technologie des régulateurs n'est pas au programme. L'analyse ou la réalisation d'un schéma d'électronique analogique de régulateur ne font pas partie des capacités exigibles. L'élève doit pouvoir déterminer les seuils du comparateur à partir des courbes relevées ou fournies, c'est-à-dire que l'élève relève et exploite l'évolution des grandeurs à partir d'une consigne fixe pour une régulation TOR.</i></p>
<p>Régulation à action continue (PI) : critères de performance d'une boucle d'asservissement ou de régulation : - précision ; - rapidité ; - amortissement.</p>	<p>- Mesurer les critères de performance en boucle fermée, autour d'un point de fonctionnement, suite à un échelon de consigne : . l'écart statique, . le temps de réponse à 5 %, . la valeur du 1^{er} dépassement. - En asservissement et en régulation, pour un échelon de consigne ou de la perturbation : . Mettre en évidence expérimentalement l'influence du gain sur l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et le dépassement pour une correction proportionnelle. . Mettre en évidence expérimentalement l'influence d'une correction intégrale sur l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et le dépassement. - Comparer l'intérêt relatif d'une régulation à action discontinue et d'une régulation à action continue (avec correcteur PID) dans un contexte donné.</p>	<p><i>Les capacités exigibles relativement à la correction se limiteront aux correcteurs "proportionnel" et "proportionnel intégral". Afin d'étudier l'influence des différents paramètres, il pourra être fait appel à la simulation. On distingue "l'asservissement" comme la réponse à une consigne de la "régulation" comme la réponse à une perturbation. Aucun développement mathématique n'est exigé sur le temps de réponse ou la valeur du 1^{er} dépassement. L'étude est uniquement graphique ou expérimentale. La correction intégrale est introduite qualitativement et sans aucun développement mathématique. On abordera la correction PID seulement si le niveau de la classe le permet. On pourra montrer sur des exemples que la régulation peut rendre instable un système initialement stable. La différenciation du comportement des systèmes par</i></p>

		<p><i>leur réponse à un échelon de commande sera faite selon les 3 critères que l'élève doit utiliser : précision, rapidité, amortissement.</i></p> <p><i>Les critères de performance en boucle fermée à mesurer autour d'un point de fonctionnement, suite à un échelon de consigne, sont l'écart statique, le temps de réponse à 5 % (sortie stabilisée dans la bande à 5%) et la valeur du 1^{er} dépassement correspondants respectivement aux 3 critères à évaluer : précision, rapidité, amortissement.</i></p> <p><i>Pour évaluer les critères de performance, on attend des élèves qu'ils choisissent les relevés qu'il conviendrait de faire et qu'ils les exploitent.</i></p> <p><i>En asservissement et en régulation avec une correction proportionnelle, (ou proportionnelle intégrale) l'élève doit exploiter des courbes enregistrées pour un échelon de consigne ou de perturbation afin de mettre en évidence expérimentalement l'influence du gain (ou de la correction intégrale) sur l'écart statique, le temps de réponse à 5 % et le dépassement.</i></p>
--	--	---