Alors, dans le chapitre 3, on a commencé à s'intéresser aux performances, donc à définir les performances du système et à définir ce que c'est qu'un système linéaire continu invariant. On a commencé justement par définir ce que c'est qu'un SLCI.

Pour définir un SLCI, on a commencé par dire : un système, c'est comme une boîte avec plusieurs entrées et plusieurs sorties. Un système avec plusieurs entrées et plusieurs sorties, c'est un système qui est assez complexe à modéliser parce que ça veut dire qu'il faudrait déterminer toutes les relations des sorties par rapport aux entrées. Ca, c'est un système qu'on appelle un système MIMO : Multiple Inputs, Multiple Outputs. Alors pour simplifier un peu, ce qu'on avait dit, c'est que, parmi ces entrées, on en choisit une, parmi toutes les sorties, on en choisit une également, on l'on se ramène à un système avec une entrée $e(t)$ et une sortie $s(t)$, qu'on appelle un système SISO : Single Input, Single Output. Et donc maintenant, l'objectif qu'on va avoir, c'est de trouver $s(t)$ en fonction de $e(t)$, c'est-à-dire de modéliser le système. Pour ça, on va commencer par regarder quel est le type de relation qui existe entre l'entrée et la sortie. Et donc, c'est pour ça qu'on a besoin de faire des hypothèses sur le système, donc notamment faire l'hypothèse que le système est linéaire, continu, et invariant.

Alors on avait commencé par la continuité. Donc dire qu'un système est continu, on avait vu dans le premier livre, ça revient à dire que l'espace d'état X est continu. Bon, sauf que là, on n'utilise pas la représentation d'état pour modéliser le système, on utilise une représentation entrée/sortie. Donc dire que l'espace d'état est continu, ça veut dire que le vecteur d'état est continu, et comme la sortie et l'entrée sont liées justement aux variables d'état, eh bien ça veut dire que l'entrée et la sortie sont continues, donc en général elles appartiennent à $\mathbb{R}$.

Bon, donc ensuite, la linéarité. Pour déterminer si un système est linéaire ou non linéaire, qu'est-ce qu'on fait ? Alors je vous avais dit : première étape, on impose une entrée. Cette entrée $e(t)$, on peut supposer qu'elle est constante : par exemple, je vais l'appeler E_1. Quand je vais imposer l'entrée, la sortie du système va commencer par varier, et au bout d'un moment elle va se stabiliser. Bon, ce moment, il peut être plus ou moins long, mais au bout d'un moment, la sortie va se stabiliser. Donc deuxième étape : j'attends que la sortie se stabilise. Troisième étape : je mesure la sortie. Par exemple, je vais trouver $s(t) = S_1$. Et ensuite, dernière étape : je trace le point, qu'on appelle un point de fonctionnement, M_1 dont les coordonnées sont E_1 et S_1. Et une fois que j'ai fait ça, je recommence. Je prends une autre entrée constante, j'attends que la sortie se stabilise, je mesure la valeur de la sortie, je trace un autre point de fonctionnement. Et l'ensemble de ces points de fonctionnement M_i qui sont définis par leurs coordonnées E_i et S_i, c'est ce qu'on appelle la courbe caractéristique statique. Donc cette courbe caractéristique statistique, elle consiste à tracer en abscisse la valeur de E, qui est la valeur de l'entrée (constante), et en ordonnée de tracer la valeur de S, sachant que S est la valeur de la sortie en régime permanent, quand elle s'est stabilisée, donc c'est la limite en l'infini de $s(t)$. Et ensuite, j'obtiens un ensemble de points. Si le système est linéaire, ces points seront alignés : ça veut dire que j'aurai un point de fonctionnement ici, un là, un là, un là, un là. Donc ça, c'est pour un système linéaire. Donc dans le cas d'un système linéaire, j'ai une relation qui est que $\frac{S}{E}$, la sortie sur l'entrée en régime permanent, est constante et égale à K. K, c'est ce qu'on appelle le gain statique.

L'ennui, c'est que les systèmes linéaires, ça n'existe pas. C'est comme les droites, c'est comme les plans, c'est comme les sphères, les cercles : ça n'existe pas, ce ne sont que des outils théoriques qui vous permettent d'approcher la réalité. Donc, dans le cas réel, qu'est-ce que je vais avoir comme courbe caractéristique statique ? Donc dans le cas réel, je vais tracer ma courbe : je pars de 0. Si j'ai une entrée nulle, je n'ai rien en sortie, donc j'ai un point de fonctionnement ici. Si maintenant j'augmente la valeur de l'entrée, ce qui va commencer par se passer, c'est que au départ, je vais augmenter la valeur de l'entrée, et la sortie ne va pas bouger. Ca, c'est qu'on appelle un seuil. Et ensuite, passé une certaine valeur de l'entrée, la sortie va commencer à évoluer, mais de manière non linéaire, c'est-à-dire que par exemple, je vais avoir quelque chose qui est comme ça. Je continue à augmenter l'entrée, et au bout d'un certain moment, je vais obtenir ça : ça veut dire que, passé une certaine valeur de E, j'ai beau augmenter l'entrée, la sortie ne bouge plus. La sortie a atteint sa valeur maximale. Donc là, on dit qu'on a une saturation. Donc on a déjà deux types de non-linéarités : le seuil et la saturation. Il y en a une troisième : vous voyez qu'ici, j'ai une variation de pente, c'est ce qu'on appelle de la courbure. Donc cette courbe-là, je l'ai tracée quand E augmentait. Maintenant, je vais faire la même chose quand E diminue. Donc si E diminue, je pars de ce point-là, je diminue E, donc au départ, c'est la même chose, je sature, et passé une certaine valeur, j'ai ça : ça, c'est le genre de courbe que vous avez vue en TP de physique, en TP d'électronique l'an dernier, par exemple quand vous avez tracé la courbe caractéristique d'une diode. Ca veut dire que vous n'avez pas le même comportement pour le système quand l'entrée augmente et quand l'entrée diminue. Donc ce qu'on a ici, c'est ce qu'on appelle de l'hystérésis. Pour un système réel, vous aurez ces quatre types de non-linéarités : un seuil, la saturation du système, une courbure, et de l'hystérésis. Donc ça, c'est pour un système non linéaire, c'est-à-dire pour un système réel.

Alors maintenant, un système non linéaire, on a du mal à le modéliser. Donc ça veut dire qu'on aimerait bien se ramener d'un système non linéaire à un système qui est linéaire, c'est-à-dire passer de ça à ça. Donc pour faire ça, eh bien je vais prendre un point, par exemple ce point qui est ici, qui est un point de fonctionnement qui est le point M_1, et je sais que ce point M_1 correspond à une entrée E_1 et à une sortie S_1. Et maintenant, je vais regarder ce qui se passe au voisinage du point de fonctionnement. Donc j'ai le point M_1, j'ai mon repère (E, S), je sais que M_1 a pour abscisse E_1 et pour ordonnée S_1. Et au voisinage de M_1, eh bien la courbe va ressembler à ça. Donc l'idée consiste à dire : j'ai une évolution qui est à peu près linéaire entre ici et ici. Et donc je vais dire que je fais l'hypothèse que la courbe est à peu près égale à sa tangente en M_1 sur un certain intervalle, c'est-à-dire si je ne suis pas trop loin du point de fonctionnement M_1. Si je fais ça, eh bien l'évolution n'est pas encore linéaire, l'évolution est affine parce que vous voyez que j'ai une ordonnée à l'origine ici. Si je veux vraiment que l'évolution soit linéaire, non seulement il faut que je fasse l'hypothèse que la courbe est à peu près égale à sa tangente en M_1, mais en plus, il faut que je définisse un nouveau repère qui est centré sur M_1, et là je serai sûr que l'évolution sera linéaire, parce que ma droite passera par l'origine. Donc pour ça, ce que je vais observer ici, ce n'est plus E, mais c'est E décalé de E_1, c'est-à-dire c'est $E - E_1$: c'est ce qu'on avait appelé ΔE. Et de la même manière, ce que je vais observer ici, ce n'est plus S, c'est ΔS, qui est $S - S_1$. Et donc, je vais pouvoir écrire une relation qui est du même type que celle-ci quand le système était linéaire : je vais pouvoir écrire que $\dfrac{\Delta S}{\Delta E}$, au voisinage de M_1, est égal à une constante que je vais appeler K_1, et K_1 est le gain statique local. Pourquoi local ? Parce que vous voyez qu'il dépend du point de fonctionnement. Si je prends un autre point de fonctionnement que M_1, j'aurai une autre tangente, donc j'aurai une autre valeur de K. Donc ce gain K_1 dépend du point de fonctionnement que vous allez choisir. Et donc, ce que je vous avais déjà dit, c'est que pour rendre un système non linéaire à peu près linéaire, je prends un point de fonctionnement, et par la suite, tout ce qu'on devra faire, c'est considérer des variations de l'entrée et de la sortie du système par rapport aux valeurs de l'entrée et de la sortie au point de fonctionnement, et non plus les valeurs de l'entrée et de la sortie. C'est la seule raison pour laquelle je peux dire que le rapport de ces deux variations est à peu près constant au voisinage du point de fonctionnement.

Bon. Donc a vu continuité, on a vu linéarité, et il nous reste la quatrième : invariance, la plus simple. Donc dire qu'un système est invariant, ça revient à dire que, si j'ai mon système, que je lui impose une entrée $e(t)$ et qu'il me fournit une sortie $s(t)$, si je prends le même système, que je lui impose le même type d'entrée mais décalée dans le temps d'une valeur τ, eh bien il va me fournir le même type de sortie s mais décalée dans le temps de τ. C'est tout ce que ça veut dire. Donc un système linéaire continu invariant, c'est ça.

Alors en pratique, les systèmes seront continus. Tous les systèmes physiques, en général, sont continus : les discontinuités, c'est rare qu'on en découvre en physique. La linéarité, non : ça veut dire que vous ne trouverez pas de système qui est linéaire. On arrivera juste à dire que le système est à peu près linéaire au voisinage d'un point de fonctionnement. Et de la même manière, je vous l'avais dit, un système invariant, ça n'existe pas non plus. Donc un système invariant, on arrivera juste à approcher l'invariance en considérant une durée suffisamment faible. Mais sur une durée suffisamment longue, votre système va évoluer, donc ça veut dire que votre système ne sera pas invariant.

Alors maintenant on va voir ce que ces trois hypothèses (linéarité, continuité, invariance) impliquent sur la relation qui existe entre $s(t)$ et $e(t)$, puisque ce qui nous importe, justement, c'est de trouver cette relation f entre l'entrée et la sortie. Alors ce qu'on avait vu, c'est que si un système est continu, la relation entre l'entrée et la sortie, comme les variables sont réelles (les variables d'entrée et de sortie), la relation entre les deux est une équation différentielle, c'est-à-dire que la relation est de la forme f de l'entrée et de ses dérivées jusqu'à la dérivée m-ième qui est égale à une fonction de la sortie et de ses dérivées jusqu'à la dérivée n-ième. Et l'on avait vu qu'il faut forcément que m soit inférieur ou égal à n, ça veut dire que l'ordre de dérivation de l'entrée doit être inférieur ou égal à l'ordre de dérivation de la sortie. Pourquoi ? C'est pour garantir la causalité du système. La causalité, c'est quoi ? Je vous rappelle que la sortie ne peut commencer à varier que après que l'entrée a commencé à varier. Première chose. Deuxième chose : si mon système est continu et qu'en plus il est linéaire. Là, j'ai un système continu ; là, j'ai un système linéaire continu. Si le système est linéaire est continu, j'ai une équation différentielle qui est en plus linéaire, donc ça veut dire que l'équation différentielle peut s'écrire sous la forme somme des dérivées i-ièmes de $e(t)$ que multiplient des coefficients $a_i(t)$, pour i de 0 à m, qui est égale à une somme des dérivées j-ièmes de $s(t)$ que multiplient des coefficients qu'on a appelés $b_j(t)$, pour j de 0 à n. Donc j'ai une équation différentielle d'ordre n, puisque parmi m et n, c'est n qui est le plus grand, donc équation différentielle d'ordre n linéaire. Et enfin, dernière chose : si mon système est linéaire, continu et invariant, ça veut dire que le comportement du système sera le même que ce soit maintenant ou dans 5 ans, dans 10 ans. Ca veut dire que les coefficients $a_i(t)$ et

$b_j(t)$ ne dépendent pas du temps. Donc mon équation différentielle devient somme des $a_i e^{(i)}(t)$, pour i de 0 à m, qui est égale à une somme de $b_j s^{(j)}(t)$ pour j de 0 à n. Donc ça veut dire que si notre système est linéaire, continu et invariant, eh bien la relation qui existe entre l'entrée et la sortie est une équation différentielle linéaire à coefficients constants et d'ordre n. Ca, c'est le type de relation que, vous vous souvenez, on va manipuler ensuite et l'on va chercher à résoudre.

Donc ça, c'est pour la définition d'un système linéaire continu invariant. Maintenant, venons-en aux performances. Alors les performances, on les a déjà vues. Vous vous souvenez qu'il y en a quatre (ou cinq, puisqu'il y en a une qui est double). Donc la plus importante, la première, c'est la stabilité. Et on a vu que pour la stabilité, il existe deux définitions. La première, c'est ce qu'on appelle la stabilité à consigne nulle. Donc cette définition, elle consiste à dire : un système est stable si, quand je lui impose une entrée $e(t)$ qui est une impulsion de Dirac, sa sortie $s(t)$ vérifie que la limite de s en l'infini, c'est 0. Donc ça veut dire que si vous prenez un système, que vous lui imposez une entrée qui est une impulsion de Dirac, si la sortie tend asymptotiquement vers 0 (ça veut dire qu'en l'infini elle tend vers 0), alors votre système est stable. Alors petit rappel sur ce que c'est que $\delta(t)$, l'impulsion de Dirac. Pour ça, on avait commencé par définir $\delta_T(t)$, l'impulsion physique de surface unitaire. Et $\delta_T(t)$, on avait dit que c'est une fonction qui vaut $\dfrac{1}{T}$ si t est compris entre 0 et T et qui vaut 0 sinon. Ca veut dire que si je trace $\delta_T(t)$, entre 0 et T, elle vaut $\dfrac{1}{T}$, et le reste du temps, elle vaut 0. Et on l'appelle de surface unitaire parce que vous voyez que la surface qui est ici est égale à 1. Ca, c'est l'impulsion physique de surface unitaire. Et ensuite, pour arriver à trouver $\delta(t)$, on avait dit : $\delta(t)$, qui est l'impulsion de Dirac, je l'obtiens à partir de l'impulsion physique de surface unitaire en faisant tendre T vers 0. Ca veut dire que je prends mon impulsion physique de surface unitaire, et je fais tendre T vers 0, donc ça veut dire que pendant un temps qui est infiniment court, je vais avoir une impulsion qui est infiniment grande, puisque je veux que, malgré tout, la surface que j'ai ici reste égale à 1 quand T va tendre vers 0, donc il faut que $\dfrac{1}{T}$ tende vers l'infini. Donc ce que vous voyez ici, c'est que cette stabilité, c'est une stabilité théorique parce qu'une impulsion de Dirac, je vous l'ai dit, ça n'existe pas. Une impulsion physique de surface unitaire, on sait faire, mais une impulsion de Dirac, ça n'existe pas physiquement. Donc c'est juste une stabilité théorique qu'on n'arrivera jamais à vérifier en pratique. Donc c'est pour ça qu'on utilise en général une deuxième définition, et cette définition c'est la stabilité EBSB. EBSB, je vous rappelle, ça veut dire Entrée Bornée, Sortie Bornée. Donc qu'est-ce que ça consiste à dire ? Ca consiste à dire : je prends un système et ce système sera stable si, quand je lui applique une entrée bornée, la sortie est bornée. Et donc on avait vu que, dans ce cas-là, on avait trois types de sorties possibles. Premier type : j'avais une sortie qui est de ce type-là, ça veut dire une sortie qui est bornée, effectivement, qui ne converge pas, mais qui ne diverge pas. On avait dit que dans ce cas-là, on est à la limite de la stabilité. On avait dit aussi que c'était un système quasi-instable. Deuxième cas : je peux avoir une sortie, par exemple, qui évolue comme ça. Ca veut dire que là je serai instable : la sortie diverge. Et enfin, je peux avoir un troisième cas de figure, où j'ai une sortie qui, par exemple, est comme ça. Donc d'une part la sortie est bornée, puisque j'ai bien un maximum ici et un minimum ici, et elle converge vers une valeur donnée. Donc ici, je suis stable. Donc quelle que soit la définition, que ce soit la définition théorique, c'est-à-dire à consigne nulle, ou la définition entrée bornée, sortie bornée, on a une chose qu'il faut retenir, c'est que la définition de stabilité est liée à la notion de convergence, et en particulier la convergence de la sortie. Si la sortie converge, le système est stable ; si la sortie diverge, le système est instable ; si c'est ni l'un ni l'autre, ça veut dire si la sortie ne converge pas, ne diverge pas et est bornée, alors je suis quasi-instable, c'est-à-dire à la limite de la stabilité. Donc ça, c'est la performance la plus importante justement parce qu'un système sera stable si sa sortie converge. Et si la sortie ne converge pas, alors on ne peut pas définir les trois autres performances. C'est pour ça que je vous ai dit : la stabilité, c'est la performance la plus importante. C'est pour ça qu'on l'étudie en premier : si le système est instable, ce n'est pas la peine de regarder les autres performances. Par contre, si le système est stable, alors on peut passer à la suite.

Donc, justement, passons à la suite. La deuxième plus importante, c'est la précision et la robustesse. Donc la précision, on avait dit que c'est la capacité du système à répondre à la consigne. Alors qu'est-ce que ça veut dire ? On avait dit que commander le système, c'est faire en sorte que la sortie du système tende vers la valeur que je souhaite. Si le système est stable, je sais que la sortie converge, mais je ne sais pas vers quoi. Donc la question qui se pose maintenant, c'est est-ce que la sortie converge vers la valeur que je souhaitais ? Si c'est le cas, je dirai que mon système est précis ; si ce n'est pas le cas, je dirai que mon système n'est pas précis. Et la robustesse, eh bien on a vu tout à l'heure que tous les composants du système (que ce soit les pré-actionneur, actionneur, transmetteur, effecteur, processus, capteur, conditionneur, correcteur, adaptateur), tous ces composants-là sont perturbés. Donc la robustesse traduit la capacité du système à résister aux perturbations. Ca veut dire que si j'ai un système dont la sortie, en régime permanent, n'est pas influencée par la perturbation, je dirai que le système est robuste.

Alors, troisième performance. Donc la troisième performance, c'est la rapidité, c'est-à-dire est-ce qu'un système est rapide ou pas. Alors répondre est-ce qu'un système est rapide ou pas, ça, c'est difficile. Est-ce qu'une seconde, c'est lent ? Est-ce qu'une seconde, c'est rapide ? C'est toujours la même réponse : c'est par rapport à quoi ? Donc ça veut dire que si vous voulez pouvoir répondre à cette question "est-ce que le système est rapide ?", eh bien déjà il faut savoir par rapport à quoi. Ca veut dire : quelle doit être la valeur de la rapidité du système pour que le système soit suffisamment rapide ? Et pour répondre à cette question, eh bien ce qu'il nous faut, c'est un cahier des charges. Donc ça veut dire que si l'on vous demande d'évaluer la rapidité du système, on vous donnera toujours un cahier des charges qui vous dit : je veux que le système ait une sortie qui converge en tant de secondes, ou tant d'heures, ou tant de jours. On vous donnera une durée, et l'on cherche justement à ce que la rapidité du système soit inférieure à cette durée qui est imposée dans le cahier des charges. Et maintenant, comment on évalue, justement, la rapidité du système ? Alors je vous ai dit qu'il y avait principalement deux caractéristiques qui permettent d'évaluer la rapidité. La première, c'est le temps de montée. Le temps de montée, en anglais, c'est rise time. Alors pourquoi je vous donne le nom anglais, c'est parce qu'en général, on le note t_r, "r" pour "rise". Et donc le temps de montée, comment on fait pour le trouver ? Si j'ai un système qui est stable, c'est-à-dire dont la sortie converge, par exemple supposons que la sortie est comme ça. Donc la sortie converge vers cette valeur que je vais appeler S. Donc pour calculer le temps de montée, je vais chercher quand est-ce que la sortie est égale à 10% de S, je vais chercher quand est-ce que la sortie est égale à 90% de S, donc ça me donne ce temps-là et ce temps-là. Et l'écart entre ces deux dates, c'est justement t_r. Donc ça veut dire que le temps de montée est le temps qui est nécessaire au système, la durée qui est nécessaire au système, pour passer de 10% de S à 90% de S, donc 10% de la valeur en régime permanent à 90% de la valeur en régime permanent. Et comme je vous ai dit, ça, en général, on ne l'utilisera pas : c'est surtout dans les livres anglais qu'on utilise le temps de montée. Dans les livres français, donc dans les méthodes françaises, en général on utilise le temps de réponse à 5%. Et là, je vous avais dit, c'est le temps de réponse à 5% dans les livres français, mais dans les livres anglais vous pourrez trouver aussi 2% ou 1%. Donc dans les livres chinois, je ne sais pas ce qu'il en est, mais nous on s'intéressera uniquement au temps de réponse à 5%. Le principe, c'est le même, c'est-à-dire que si j'ai un système stable, dont la sortie converge, par exemple la sortie est de ce type-là, je commence par chercher quelle est la valeur en régime permanent, donc cette valeur-là que j'appelle S, et ensuite je trace deux droites : une droite qui vaut $1,05S$, et une droite à $0,95S$, c'est-à-dire S plus ou moins 5% de S. Ensuite, je cherche tous les points d'intersection de ma courbe de sortie avec ces deux droites, et ensuite, je cherche la date qui correspond au max, donc au dernier point d'intersection, de tous ces points. Et cette date, c'est le temps de réponse à 5%. Et ce que je vous avais dit, ce qu'on a rappelé juste avant l'examen de fin de semestre, c'est qu'en fait cette durée, ce temps de réponse à 5%, elle a une signification physique qu'on peut trouver mathématiquement puisque je sais que, passé le temps de réponse à 5%, la courbe restera entre ces deux droites à plus ou moins 5%. Ca veut dire que si je me place à n'importe quel temps supérieur ou égal au temps de réponse à 5%, eh bien je sais que $s(t)$ restera compris entre $1,05S$ et $0,95S$. Ca, c'est équivalent à dire que j'ai $s(t) - S$ qui sera compris entre $0,05S$, c'est-à-dire 5% de S, et -5% de S. Et ça, c'est équivalent à dire que $\left|\dfrac{s(t) - S}{S}\right|$, c'est-à-dire l'écart relatif de $s(t)$ par rapport à sa valeur en régime permanent, sera inférieur ou égal à 0,05. Donc ça, qu'est-ce que ça veut dire ? Ca veut dire que $s(t)$, la sortie, variera très très peu par rapport à sa valeur en régime permanent. Et ça, comment vous avez appelé ça en physique ? C'est ce qu'on appelle le régime établi, ou le régime permanent. Ca veut dire qu'après la date qui correspond au temps de réponse à 5%, j'aurai atteint le régime permanent puisque la sortie ne variera presque plus par rapport à la valeur en régime permanent. Et avant, j'ai le régime transitoire. Donc le temps de réponse à 5%, c'est en fait la durée du régime transitoire, et après avoir attendu une durée qui est égale au temps de réponse à 5%, je sais que je serai en régime permanent.

Bon, donc on a vu stabilité, précision/robustesse, rapidité. Il nous reste la dernière : amortissement. Alors on avait dit : l'amortissement, c'est lié aux oscillations, et c'est inversement lié aux oscillations. Ca veut dire que si j'ai beaucoup d'oscillations, on dit que le système est mal amorti. Si j'ai peu d'oscillations, on dit que le système est bien amorti. Si je n'ai pas du tout d'oscillations, on dira que le système est bien amorti, mais on dira même qu'il est trop amorti. Alors pourquoi trop amorti ? Je vous rappelle quelque chose qu'on avait vu après avoir expliqué tout ça. Ce qu'on vient de rappeler, c'est qu'il y a quatre performances : stabilité, précision/robustesse, rapidité, amortissement. Parmi ces quatre performances, deux sont définies en régime permanent, deux sont définies en régime transitoire. Alors les deux qui sont définies en régime permanent, eh bien vous devinez lesquelles c'est, de toute façon on les a déjà vues : le régime permanent, c'est quand la sortie ne varie plus, donc ça veut dire que c'est la stabilité, puisqu'il faut que la sortie converge, et la précision et la robustesse. Donc ça ce sont les deux performances qui sont définies en régime permanent. On a deux performances qui sont définies en régime transitoire, donc ce sont les deux autres : l'amortissement et la rapidité. Alors pourquoi elles sont définies en régime transitoire ? Ca, on peut le deviner facilement. L'amortissement, on a dit que c'est lié aux oscillations, et les oscillations, vous n'en aurez que pendant le régime transitoire. En régime permanent, je n'ai plus d'oscillations, ou j'ai encore des oscillations, mais elles sont tellement faibles, en général, elles sont inférieures à 5%, donc on les néglige. Donc l'amortissement, c'est lié aux oscillations, et la rapidité, on a vu juste ici que c'est la durée du régime transitoire. Donc j'ai ces quatre performances qui sont définies avec stabilité et précision en régime permanent, amortissement et rapidité en régime transitoire. Et ce qu'on observe en pratique, ce qu'on va démontrer, alors ça pour le démontrer il faudra qu'on attende d'avoir terminé le chapitre 8, donc ce qu'on observe en pratique, c'est qu'on a une concordance entre ces deux performances et qu'on a également une concordance entre ces deux performances. Qu'est-ce que ça veut dire qu'il y a concordance ? Ca veut dire que si j'en améliore une, j'améliore l'autre. Donc ça veut dire que si j'améliore la stabilité, automatiquement, l'amortissement va être meilleur. Et de la même manière, si mon système devient de plus en plus précis, eh bien il sera de plus en plus rapide. Ca, c'est bien. Mais bien entendu, tout n'est pas rose, ça veut dire qu'il y a un petit problème : ces deux performances sont concordantes, ces deux performances sont concordantes, mais au sein d'un même régime, eh bien ces deux performances, on dit qu'elles sont antagonistes, donc on a un antagonisme entre ces deux performances, et on a un autre antagonisme entre ces deux performances. Qu'est-ce que ça veut dire ? Ca veut dire que si j'améliore la stabilité, certes je vais améliorer l'amortissement, mais je vais aussi dégrader la précision et je vais dégrader la rapidité. Et inversement, si j'améliore la précision, je vais améliorer la rapidité, mais je vais aussi dégrader la stabilité, dégrader l'amortissement. Bon, et pour en revenir à ce que je disais ici, si vous n'avez pas du tout d'oscillations, eh bien le système sera très bien amorti, sauf que s'il est très bien amorti, ça veut dire qu'il sera très lent et ça veut dire qu'il sera pas précis, en général. Donc ce n'est pas bon d'avoir un système qui est trop amorti, parce que vous savez que si vous avez une performance qui est très très bonne, eh bien il y en a d'autres qui vont être moins bonnes justement à cause de ça. Donc l'idée, qui sera surtout l'idée du chapitre 9, eh bien c'est d'arriver justement à contrer ces antagonismes pour arriver à améliorer un peu toutes les performances en même temps, que ce soit la stabilité, la précision, la robustesse, la rapidité, et l'amortissement.

Donc voilà pour le chapitre 3, qui résumait les performances d'un système, et qui résumait ce que c'est qu'un système linéaire continu invariant. Alors sachant que ces performances, eh bien on vient de voir qu'elles sont toutes définies à partir d'une seule et même chose : c'est la sortie. Puisque votre système sera stable si la sortie converge, précis si la sortie converge vers la valeur que je souhaite qui correspond à la consigne, robuste si la sortie n'est pas influencée par la perturbation en régime permanent, amorti si la sortie a peu d'oscillations en régime transitoire, et enfin rapide : eh bien justement, ça va être quel est le temps que met la sortie pour atteindre le régime permanent, quelle est la durée du régime transitoire de la sortie. Donc ces quatre performances, du moins quatre et demie à cause de la robustesse, ces quatre performances sont toutes définies à partir de la sortie. Donc ça veut dire que si je veux arriver à déterminer les performances d'un système, il faut forcément que j'arrive à trouver la sortie du système. Et cette sortie, on a vu juste avant que la relation qui existe entre l'entrée et la sortie, c'est une équation différentielle linéaire à coefficients constants. C'est donc une somme de $a_i e^{(i)}(t)$ qui est égale à une somme de $b_j s^{(j)}(t)$ avec i qui varie de 0 à m et j qui varie de 0 à n. Donc ça veut dire que si je veux trouver les performances, il faut que je trouve s, donc il faut que je résolve cette équation différentielle linéaire à coefficients constants d'ordre n. Et ça, ça va être l'objectif du chapitre 4.