

# Méthodes indispensables

## 1 Mécanique – Application du PFD / TCM

Le PFD s'applique à un point matériel ( $m \vec{a} = \vec{F}$ ) tandis que le TCM s'applique à un système de points comme un solide ou une particule de fluide, ... ( $m \vec{a}_G = \vec{F}_{\text{ext}}$ , avec  $G$  le centre de masse du système de points). Ces deux théorèmes s'appliquent à **des systèmes fermés**.

1. **faire un schéma** ;
2. définir le système (est-il bien fermé? si non, voir "faire un bilan macroscopique") ;
3. définir le référentiel (est-il galiléen? si non, prendre en compte les forces d'inerties) ;
4. faire le bilan des forces (il peut être nécessaire ici de faire des calculs pour simplifier les expressions), et si possible les représenter sur le schéma ;
5. seulement ensuite, écrire le PFD/TCM puis projeter sur des axes si nécessaire.

Penser aussi que d'autres théorèmes existent : TMC et théorèmes énergétiques. Une **approche énergétique** est toujours bien vue des examinateurs, il faut donc y penser en premier.

## 2 Thermodynamique – Application des principes

Les deux principes s'appliquent à **des systèmes fermés**.

1. **faire un schéma pertinent**, c'est-à-dire du système ou des transformations (dans un diagramme  $(\ln P, h)$  ou un diagramme de Clapeyron par exemple) ;
2. définir le système (est-il bien fermé? si non, appliquer les principes industriels) ;
3. définir la transformation (est-elle infinitésimale?) ;
4. écrire le principe choisi (sous forme infinitésimale si la transformation l'est) ;
5. pour poursuivre, calculer les travaux reçus, ou préciser  $dU$  (ou  $dS$  qui serait redonnée par l'énoncé).

## 3 Induction – Couplage électromécanique

1. **faire un schéma** et définir le système et le référentiel ;
2. **orienter le schéma en orientant arbitrairement les courants** ;
3. faire le bilan des forces et calculer la force de Laplace ;
4. appliquer le TCM au conducteur (équation mécanique) ;
5. **faire un schéma du circuit électrique équivalent** (avec la même orientation que le schéma mécanique) ;
6. appliquer la loi de Faraday en calculant le flux avec l'orientation choisie puis écrire la loi des mailles sur le circuit (équation électrique) ;
7. découpler les deux équations mécanique et électrique et résoudre.

Il est bien vu de commenter à la fin que la solution trouvée correspond à la loi de modération de Lenz.

## 4 Électrostatique et magnétostatique – Théorèmes de Gauss et d'Ampère

1. **faire un schéma** ;
2. analyser les symétries de la distributions de charges (ou de courants) et déduire la direction de  $\vec{E}$  ou  $\vec{B}$  ;
3. analyser les invariances de la distributions de charges (ou de courants) et déduire les dépendances de  $\vec{E}$  ou  $\vec{B}$  ;
4. choisir une surface de Gauss (fermée orientée) ou un contour d'Ampère (fermé orienté) et le **représenter sur le schéma avec son orientation** ;
5. calculer le flux de  $\vec{E}$  à travers la surface de Gauss ou la circulation de  $\vec{B}$  le long du contour d'Ampère ;
6. appliquer enfin le théorème de Gauss ou le théorème d'Ampère.

Si la distribution est compliquée et que l'application de ces théorèmes n'est pas possible directement (pas assez de symétries), vous avez un autre outil à votre disposition : le théorème de superposition.

## 5 Faire un bilan macroscopique

Si on cherche une force, appliquer le TCM. Si on cherche une puissance, appliquer le TEC.

1. **faire un schéma** ;
2. définir le système ouvert ;
3. définir le système fermé par deux schémas, à  $t$  et à  $t + dt$  ;
4. calculer la variation de quantité de mouvement ou d'énergie cinétique entre  $t$  et  $t + dt$  **pour le système fermé**, en utilisant l'extensivité de ces quantités ;
5. faire le bilan des forces sur le système fermé ;
6. appliquer alors le TCM ou le TEC **au système fermé** ;
7. si besoin, appliquer la 3<sup>ème</sup> loi de Newton pour obtenir la force demandée par l'énoncé.

Ne pas oublier les forces de pression. Pour un système qui voit son énergie interne changer entre l'entrée et la sortie (variation de température par exemple), appliquer directement le premier principe industriel, qui est un bilan énergétique « tout fait ».

## 6 Faire un bilan mésoscopique

Il s'agit d'obtenir l'équation de conservation adaptée à l'énoncé (de particules, d'énergie thermique, d'énergie acoustique, de masse en mécanique des fluides, d'énergie électromagnétique,...)

1. **faire un schéma du système infinitésimal** ;
2. définir le système (qui peut être ouvert) ;
3. calculer le flux entrant entre  $t$  et  $t + dt$ , le flux sortant entre  $t$  et  $t + dt$ , et la variation de la quantité considérée entre  $t$  et  $t + dt$  (il y a parfois plusieurs flux entrants/sortants) ;
4. écrire le bilan « ce qui a changé = ce qui est entré – ce qui est sorti (+ ce qui a été créé – ce qui a disparu) ».

Tous les  $dt$ ,  $dx$ , ... doivent disparaître à la fin du bilan. Une équation de conservation a toujours la même forme

$$\frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial j_a}{\partial x} = \text{sources} \quad (\text{en 1D})$$

Si nécessaire, poursuivre avec une équation phénoménologique (loi de Fourier ou Fick) jusqu'à l'équation de la diffusion.

## 7 Optique ondulatoire - Obtention de l'intensité sur un écran

1. **faire un schéma** ;
2. déterminer les sources en jeu et montrer qu'elles vérifient (ou non) les trois critères de cohérence ;
3. si elles ne sont pas cohérentes, l'intensité totale est la somme des intensités de chaque source

$$I_{\text{tot}} = \sum_{k=0}^N I_k$$

4. si elles sont cohérentes, utiliser le théorème de superposition pour calculer la vibration lumineuse totale

$$\underline{a}_{\text{tot}} = \sum_{k=0}^N \underline{a}_k \quad \text{avec} \quad I_k = |\underline{a}_k|^2 = \underline{a}_k \underline{a}_k^*$$

où  $\underline{a}_k = A_k e^{i\varphi_k}$  ; puis déterminer l'intensité totale par la formule en complexe

$$I_{\text{tot}} = |\underline{a}_{\text{tot}}|^2 = \underline{a}_{\text{tot}} \underline{a}_{\text{tot}}^* \quad \text{avec} \quad \varphi_k - \varphi_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta_k$$

S'il s'agit d'interférences à deux ondes, on peut aussi utiliser directement la formule de Fresnel

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{2\pi \delta}{\lambda_0}\right)$$

5. calculer les différences de marche  $\delta_k$ , géométriquement et/ou à l'aide du théorème de Malus.

## 8 Capacités exigibles

On veillera toujours à bien vérifier les hypothèses avant d'utiliser un théorème (il faut les mentionner même si elles sont trivialement respectées : cela permet de montrer à l'examineur que vous maîtrisez le cours).

Quelques exemples : les 5 (ou 4) hypothèses du théorème de Bernoulli (restreint à une ligne de courant), l'hypothèse de cohérence des deux sources pour la formule de Fresnel, l'hypothèse quasi-statique pour écrire  $\delta W = -P dV$  au lieu de  $\delta W = -P_{\text{ext}} dV$ , ou pour écrire  $\delta S_{\text{éch}} = \delta Q/T$  au lieu de  $\delta S_{\text{éch}} = \delta Q/T_{\text{ext}}, \dots$

Enfin, on liste ci-dessous les capacités « indispensables au physicien » d'après le programme de PC :

1. contrôler l'homogénéité d'une expression ;
2. contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère scalaire ou vectoriel des grandeurs en jeu ;
3. contrôler la compatibilité d'une expression avec le caractère infinitésimal ou non des grandeurs en jeu ;
4. interpréter/commenter le sens de variation d'une expression par rapport à un paramètre ;
5. interpréter/commenter les limites d'une expression pour une valeur nulle ou infinie d'un paramètre ;
6. repérer et interpréter la nullité d'une expression pour une certaine valeur d'un paramètre ;
7. repérer et interpréter la divergence d'une expression pour une certaine valeur d'un paramètre ;
8. calculer sans outil l'ordre de grandeur d'une expression simple ;
9. afficher un résultat numérique avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec les données, et avec l'unité dans le cas d'un résultat dimensionné ;
10. commenter un résultat numérique (justification d'une approximation, comparaison avec des valeurs de référence,...) ;
11. transposer un texte en une figure schématisant les éléments essentiels ;
12. comparer en OdG différents termes d'une équation différentielle ou aux dérivées partielles ( $\rightarrow$  Reynolds).

Il sera particulièrement bien vu de mettre en oeuvre dès que possible (dans la limite du raisonnable) chacun de ces 12 points de **manière autonome**, c'est-à-dire même si l'énoncé ne le demande pas.