

COURS PEDAGOGIQUE

MÉCANIQUE DES MILIEUX CONTINUS

Chapitre II : Introduction à la Mécanique des Milieux Continus

Mr. ZENNADI Karim

Enseignant Chercheur — ENP

17 mai 2026

- ① De la mécanique du point matériel à la MMC
- ② La MMC au centre des disciplines de l'ingénieur
- ③ Hypothèses principales de la MMC
- ④ Typologie des milieux continus
- ⑤ Esprit du cours

Section 1

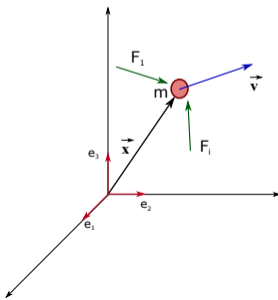
De la mécanique du point matériel à la MMC

- 1
- 2 La MMC au centre des disciplines de l'ingénieur
- 3 Hypothèses principales de la MMC
- 4 Typologie des milieux continus
- 5 Esprit du cours

1

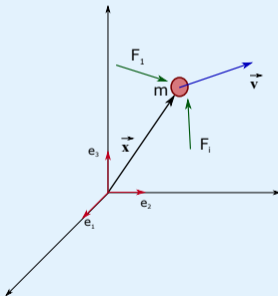
La **mécanique du point matériel** permet de prédire le mouvement d'un point soumis à un ensemble de forces.

Elle permet de déterminer la position, la vitesse et l'accélération d'un **point matériel**, c'est-à-dire d'un objet mathématique sans **forme** ni **volume**, mais muni d'une masse et soumis à des forces.



La relation entre force et mouvement (la seconde loi de Newton) :

$$\vec{f} = m \cdot \vec{a}$$





Sir Isaac Newton
1643 - 1727

Isaac Newton, né en 1643, est un philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome et théologien anglais.

Il a montré que le mouvement des objets sur Terre et des corps célestes sont gouvernés par les mêmes lois naturelles, et développa *la loi universelle de la gravitation*.

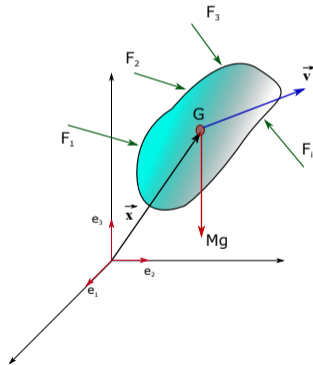
La mécanique du point matériel permet par exemple de calculer le trajet d'électrons dans un champ magnétique ou de prédire l'orbite d'une planète soumise aux forces gravitationnelles.

Inconvénients

Avec la mécanique du point matériel, on ne peut **pas** décrire les rotations d'un corps sur lui-même.

Cette théorie n'est donc pas adaptée pour étudier le trajet d'une boule de billard ou pour étudier la rotation d'une planète ou d'un satellite lors de son orbite.

La mécanique des solides indéformables ajoute au système d'étude une **forme**, donc un **volume** et une distribution spatiale de la masse. Elle introduit les notions de rotation, d'inertie et de moment.



La mécanique des solides indéformables permet de résoudre des problèmes importants de l'ingénieur comme l'étude des systèmes articulés (robotique, etc.).

Inconvénients — Cette mécanique ne peut traiter :

- ▶ Déterminer la force nécessaire pour emboutir une canette à partir d'une tôle mince
- ▶ Calculer l'écoulement de l'eau sous un pneu sur route mouillée afin d'optimiser son dessin
- ▶ Déterminer si une fissure détectée dans un réacteur ou sur un fuselage d'avion est critique

Reprenons chacun des exemples :

- ▶ La force nécessaire pour emboutir une canette dépend du **matériau** dont est constituée la tôle. La notion de matériau n'intervient pas en mécanique des solides indéformables.
- ▶ L'eau est le milieu qui par excellence se déforme facilement. Ceci est à l'opposé de la mécanique des solides qui considère les corps comme indéformables.
- ▶ Une fissure est une surface sur laquelle l'intégrité de la matière est perdue. En mécanique des solides, les corps sont indivisibles.

La **mécanique des milieux continus** doit être utilisée à la place de la mécanique des solides indéformables lorsque :

- ▶ Des **déformations** interviennent
- ▶ Le **comportement du milieu** (fluide ou solide) doit être pris en compte — il faut connaître la relation entre la déformation du corps et les efforts mis en jeu
- ▶ Des **phénomènes thermiques** interviennent

Section 2

La MMC au centre des disciplines de l'ingénieur

- ① De la mécanique du point matériel à la MMC
- ②
- ③ Hypothèses principales de la MMC
- ④ Typologie des milieux continus
- ⑤ Esprit du cours

2

- ▶ Le calcul des structures
- ▶ Les procédés de fabrication
- ▶ La biomécanique
- ▶ La mécanique des fluides
- ▶ Le génie civil
- ▶ Le design de nouveaux matériaux (la micro-structure d'un matériau peut être vue comme une structure à part entière)

Les préoccupations sont les suivantes

- ▶ **Résistance** : La pièce ou structure doit pouvoir supporter et transmettre les charges externes imposées.
« *Un pont ne doit pas s'écrouler lors du passage d'un camion.* »
- ▶ **Rigidité** : La pièce ou structure ne doit pas subir de déformation excessive lorsqu'elle est sollicitée.
« *Un pont ne doit pas s'enfoncer lors du passage d'une voiture.* »

- ▶ **Stabilité** : Un léger changement des conditions extérieures ne doit pas conduire à une réponse catastrophique.
« *Une brise légère ne doit pas conduire à la ruine d'un pont.* »
- ▶ **Endurance** : La pièce ou structure soumise à un chargement cyclique doit pouvoir supporter un nombre important de cycles sans rupture.
« *Un réacteur d'avion doit tenir un maximum de vols sans se fissurer.* »

Après réflexion, l'ajout essentiel de la **MMC** est d'introduire la possibilité pour le système de **se déformer**.

Bien entendu, ceci complique énormément la théorie et va notamment rendre nécessaires des outils mathématiques beaucoup plus sophistiqués que pour les deux premières mécaniques.

Section 3

Hypothèses principales de la MMC

- ① De la mécanique du point matériel à la MMC
- ② La MMC au centre des disciplines de l'ingénieur
- ③**
- ④ Typologie des milieux continus
- ⑤ Esprit du cours

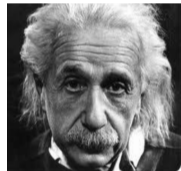
3

La **MMC** est une mécanique dite **classique**, ce qui signifie que :

- ▶ L'échelle du problème est très grande devant la taille des particules élémentaires. La MMC n'est donc pas **quantique**.
- ▶ La vitesse de la matière est très faible devant celle de la lumière. La MMC n'est donc pas **relativiste**.



Max Planck
1858 - 1947



Albert Einstein
1879 - 1955

L'hypothèse principale de la **MMC** est l'hypothèse de **continuité**. Elle stipule que les propriétés de la matière (densité, propriétés mécaniques, etc.) sont **continues**.

Ceci implique qu'elles peuvent être décrites par des objets mathématiques continus et dérivables (au moins par morceaux).

Notion de champ

On nommera ces objets des **champs**, et ils dépendront à la fois de l'espace et du temps.

D'une manière générale, la **MMC** s'intéressera à des **moyennes locales**.

Comme il est impossible de déterminer le mouvement de chacune des particules élémentaires constituant un système physique, on devra s'intéresser à un volume suffisamment grand pour le considérer continu.

Par la suite, on introduira progressivement d'autres hypothèses au sein de la théorie : hypothèses des petites perturbations, conservation de la masse, principe fondamental de la dynamique, etc.

Section 4

Typologie des milieux continus

- ① De la mécanique du point matériel à la MMC
- ② La MMC au centre des disciplines de l'ingénieur
- ③ Hypothèses principales de la MMC
- ④
- ⑤ Esprit du cours

4

La matière que l'on connaît dans le monde physique est souvent considérée comme étant dans l'un des trois états bien connus :

- ▶ **Solide**
- ▶ **Liquide**
- ▶ **Gazeux**

Ces trois états peuvent prétendre, sous diverses conditions, au statut de milieu continu.

États intermédiaires

Pâteux, mou, épais, plastique, visqueux, etc. — Les frontières entre les trois états classiques de la matière sont finalement assez floues.

La **MMC** se place au-dessus de ces considérations. Dans un premier temps, on va mettre de côté toute notion de **consistance**, et proposer une modélisation mathématique de la déformation d'un milieu qui ignore complètement cette notion.

Dans un deuxième temps, on introduira le concept de **modèle de comportement**, et on imaginera des modèles mathématiques (fondés sur l'expérience et/ou sur des considérations physiques) propres à chaque application dans le monde physique.

Section 5

Esprit du cours

- ① De la mécanique du point matériel à la MMC
- ② La MMC au centre des disciplines de l'ingénieur
- ③ Hypothèses principales de la MMC
- ④ Typologie des milieux continus
- ⑤

5

La plupart des équations présentées lors de ce cours sont d'une grande complexité mathématique. Pour la grande majorité d'entre elles, il est impossible de les résoudre analytiquement à la main.

D'ailleurs, dans le cadre de ce cours, ce n'est pas nécessaire. Notre intérêt premier dans cette initiation à la **MMC** sera de poser des équations, et non pas de les résoudre.

Méthodes numériques

Les ingénieurs disposent d'un arsenal de **méthodes numériques** pour effectuer cette résolution (ce qui est rassurant quant à l'utilité de la théorie).

Merci de votre attention !

Mr. ZENNADI Karim

Enseignant Chercheur — ENP

MMC