

# MÉMO RÉVISIONS

# *PASS* & L.AS

PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE, CHIMIE,  
MATHÉMATIQUES, BIostatISTIQUES



# MÉMO RÉVISIONS

# *PASS* & L.AS

PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE, CHIMIE,  
MATHÉMATIQUES, BIOSTATISTIQUES

**UE 1 Chimie générale, Chimie organique, Biochimie ;  
UE 3 Physique, Biophysique ;  
UE 4 Probabilités et Statistique.**

**EDISCIENCE**

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

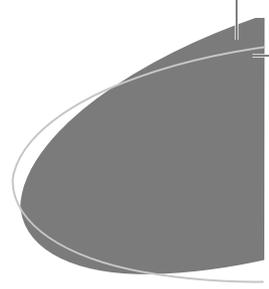


© Dunod, 2020, nouvelle présentation 2023  
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)  
ISBN 978-2-10-085283-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières



## Partie 1 – Physique – Biophysique

<b>Chapitre 1. Mécanique</b> . . . . .	<b>3</b>
1 Cinématique . . . . .	3
2 Mouvements relatifs et absolus . . . . .	6
3 Lois générales et théorèmes . . . . .	7
4 Chocs entre deux particules . . . . .	14
5 Mouvement d’une particule chargée dans un champ uniforme . . . . .	17
<b>Chapitre 2. Thermodynamique</b> . . . . .	<b>21</b>
1 Paramètres d’état d’un système – Transformations . . . . .	21
2 Théorie cinétique . . . . .	22
3 Coefficients thermoélastiques . . . . .	24
4 Propriétés des gaz aux faibles pression . . . . .	25
5 Modèle du gaz parfait . . . . .	26
6 Cas des gaz réels – Équation de Van Der Walls . . . . .	27
7 Libre parcours moyen – Section efficace . . . . .	27
8 Les différentes transformations . . . . .	28
9 Échanges d’énergie . . . . .	28
10 Changements de phases d’un corps pur . . . . .	32
11 Thermodynamique chimique . . . . .	35
12 Propriétés physiques des solutions – Lois de Raoult . . . . .	38
13 Machines thermiques . . . . .	40

<b>Chapitre 3. Transports transmembranaires</b> . . . . .	<b>43</b>
1 Phénomènes de transport . . . . .	43
2 Équilibre à travers une membrane . . . . .	45
3 Les phénomènes électriques . . . . .	46
4 Ultrafiltration . . . . .	47
<b>Chapitre 4. Mécanique des fluides</b> . . . . .	<b>49</b>
1 Statique des fluides ou hydrostatique . . . . .	49
2 Dynamique des fluides . . . . .	50
3 Dynamique des fluides réels . . . . .	52
<b>Chapitre 5. Les phénomènes de surface</b> . . . . .	<b>55</b>
1 Tension superficielle des liquides . . . . .	55
2 Liquide en contact d'un solide - Angle de raccordement . . . . .	57
3 Ascension capillaire - Loi de Jurin . . . . .	58
<b>Chapitre 6. Électrostatique-Électrocinétique</b> . . . . .	<b>59</b>
1 Champ et potentiel électrostatique . . . . .	59
2 Le dipôle électrostatique . . . . .	62
3 Flux du vecteur champ électrique . . . . .	63
4 Électrocinétique . . . . .	65
5 Conductivité - Mobilité . . . . .	70
6 Énergie électrique . . . . .	71
<b>Chapitre 7. Condensateurs – Capacité</b> . . . . .	<b>73</b>
1 Capacité de différents condensateurs . . . . .	73
2 Groupements de condensateurs . . . . .	75
<b>Chapitre 8. Électromagnétisme</b> . . . . .	<b>76</b>
1 Force de Laplace . . . . .	76
2 Champ d'induction magnétique créé par un élément de courant . . . . .	76

3	Flux d'induction magnétique . . . . .	79
4	Action d'un champ magnétique $\vec{B}$ sur un circuit fermé . . . . .	79
<b>Chapitre 9. Réponses d'un circuit R,C à un échelon de tension . . . . .</b>		<b>82</b>
1	L'échelon de tension . . . . .	82
2	Le dipôle R,C . . . . .	82
<b>Chapitre 10. Les ondes . . . . .</b>		<b>86</b>
1	Propagation des ondes . . . . .	86
2	Ondes stationnaires . . . . .	89
3	L'effet Doppler-Fizeau . . . . .	90
4	Ondes électromagnétiques . . . . .	91
<b>Chapitre 11. Interférences – Diffraction . . . . .</b>		<b>93</b>
1	Quelques dispositifs interférentiels . . . . .	93
2	Interférences constructive et destructive . . . . .	94
3	Diffraction . . . . .	96
<b>Chapitre 12. Optique géométrique . . . . .</b>		<b>99</b>
1	Indices de réfraction . . . . .	99
2	Les lois de Snell-Descartes . . . . .	99
3	Objet et image . . . . .	100
4	Dioptries . . . . .	102
5	Systèmes centrés . . . . .	106
6	Les lentilles . . . . .	106
7	Les différentes sortes de lentilles . . . . .	107
8	Marche des rayons lumineux . . . . .	108
<b>Chapitre 13. L'œil . . . . .</b>		<b>109</b>
1	Constitution . . . . .	109
2	Champ de l'œil-accomodation . . . . .	109
3	Pouvoir séparateur de l'œil . . . . .	110
4	Les défauts de l'œil . . . . .	110

<b>Chapitre 14. Sons et ultrasons - Physique acoustique</b> . . . . .	<b>111</b>
1 Propagation des sons . . . . .	111
2 Ondes sonores et audition . . . . .	114
3 L'audition subjective . . . . .	118
4 Formation des échos - Impédance acoustique . . . . .	119
5 Atténuation du faisceau ultrasonore . . . . .	121
6 L'échographie Doppler . . . . .	122
<b>Chapitre 15. Le photon</b> . . . . .	<b>123</b>
1 Particules de grande énergie . . . . .	123
2 L'effet photoélectrique . . . . .	124
<b>Chapitre 16. Niveaux d'énergie dans un atome</b> . . . . .	<b>126</b>
1 L'atome de Bohr – Niveaux d'énergie des électrons . . . . .	126
2 Spectres des atomes – Cas de l'atome d'hydrogène . . . . .	128
<b>Chapitre 17. Le laser – Oscillateur à fréquence optique</b> . . . . .	<b>130</b>
1 Caractéristiques d'un faisceau laser . . . . .	130
2 Principe de fonctionnement . . . . .	130
3 Quelques applications du laser . . . . .	134
<b>Chapitre 18. Interactions des rayonnements avec la matière</b> . . . . .	<b>135</b>
1 Les interactions des particules chargées avec la matière . . . . .	135
2 Atténuation des rayons X et $\gamma$ . . . . .	137
3 La production des rayons X . . . . .	139
<b>Chapitre 19. Le noyau atomique</b> . . . . .	<b>143</b>
<b>Chapitre 20. Biophysique des solutions</b> . . . . .	<b>152</b>
1 Concentrations . . . . .	152
2 Dissolution d'un gaz dans un liquide . . . . .	153

3	Miscibilité des liquides . . . . .	154
4	Conductivité . . . . .	154
5	Électrolytes . . . . .	154
6	Concentration molaire particulière ou osmolarité . . . . .	155
7	Concentration équivalente . . . . .	155
8	Coefficient d'ionisation de Van't Hoof . . . . .	156
9	Diagramme de Davenport et troubles acido-basiques . . .	156

## Partie 2 – Chimie

<b>Chapitre 21. Atomistique . . . . .</b>	<b>163</b>	
1	Modèle actuel de l'atome . . . . .	163
2	Atome polyélectronique . . . . .	168
<b>Chapitre 22. Classification périodique . . . . .</b>	<b>171</b>	
1	Classification historique . . . . .	171
2	Classification actuelle . . . . .	171
3	Périodicité des propriétés chimiques . . . . .	173
<b>Chapitre 23. Cinétique chimique . . . . .</b>	<b>179</b>	
1	Vitesse et avancement de réaction . . . . .	179
2	Ordres des réactions :	
	relations vitesses, concentrations, temps . . . . .	181
3	Cas de réactions à ordres simples . . . . .	182
4	Dégénérescence de l'ordre . . . . .	185
5	Réactifs en proportions stœchiométriques . . . . .	186
6	État stationnaire de Bodenstein . . . . .	187
7	Détermination des vitesses et des ordres . . . . .	187
8	Constante de vitesse $k$ . . . . .	188
9	Catalyse . . . . .	190
10	Catalyse enzymatique . . . . .	190

<b>Chapitre 24. Thermochimie</b> . . . . .	<b>196</b>
1 Définitions de base de la thermodynamique . . . . .	196
2 Notion de chaleur $Q$ . . . . .	197
3 Chaleurs de réaction : enthalpie de réaction . . . . .	197
4 Enthalpies de liaison . . . . .	200
<b>Chapitre 25. La liaison chimique – Propriétés électriques des molécules</b> . . . . .	<b>202</b>
1 Modèle de Lewis . . . . .	202
2 Structure tridimensionnelle des molécules : théorie de Gillespie ou V.S.E.P.R. . . . .	205
3 Polarité des molécules . . . . .	207
4 Interactions faibles . . . . .	209
5 Édifices ionique – liaison ionique . . . . .	212
6 Modèle ondulatoire de la liaison chimique . . . . .	213
7 Hybridation des orbitales . . . . .	220
<b>Chapitre 26. Acides et bases</b> . . . . .	<b>222</b>
1 Généralités . . . . .	222
2 Équilibres acido-basique . . . . .	223
3 Le $pH$ . . . . .	225
4 Calculs du $pH$ . . . . .	226
5 Solutions tampon . . . . .	228
<b>Chapitre 27. Équilibres de solubilité</b> . . . . .	<b>229</b>
1 Équilibre de solubilité . . . . .	229
2 Facteurs influençant la solubilité . . . . .	230
<b>Chapitre 28. Équilibres d'oxydoréduction</b> . . . . .	<b>231</b>
1 Généralités . . . . .	231
2 Le nombre d'oxydation $NO$ . . . . .	232
3 Piles électrochimiques . . . . .	233
4 Relation de Nernst . . . . .	234
5 Mesure des potentiels ; types d'électrodes . . . . .	236

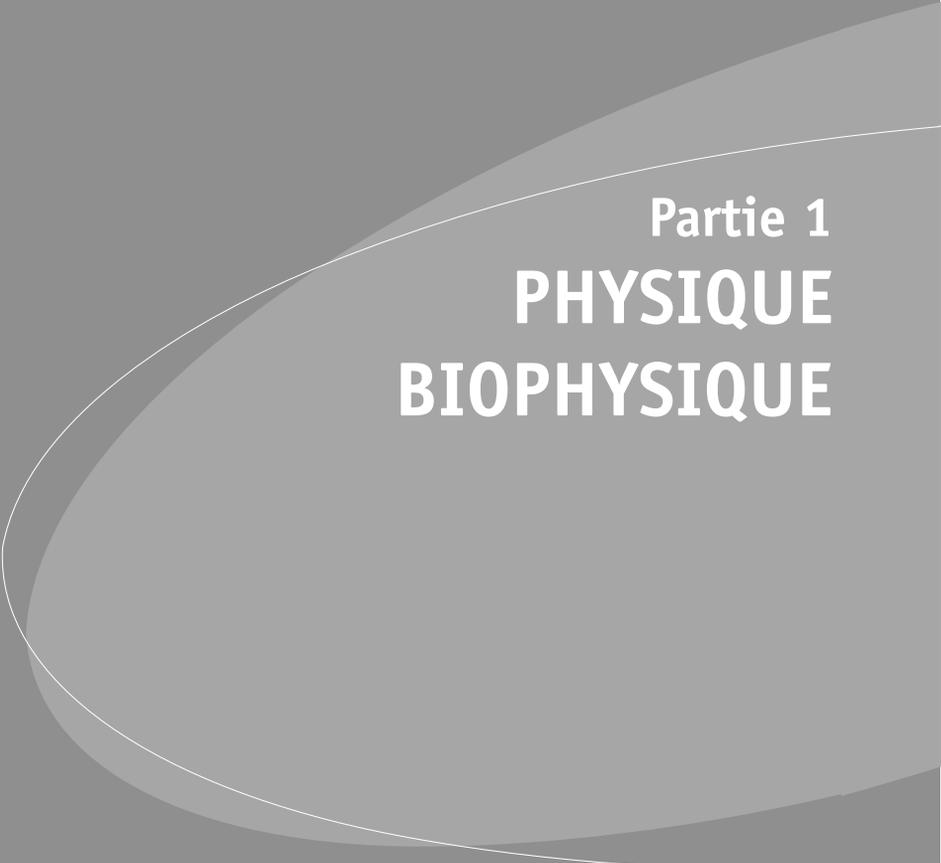
<b>Chapitre 29. Formules et représentations des molécules</b> . . . . .	<b>238</b>
1 Détermination des liaisons . . . . .	238
2 Formules planes . . . . .	238
3 Représentations tridimensionnelles . . . . .	241
<b>Chapitre 30. Isoméries, stéréoisoméries</b> . . . . .	<b>245</b>
1 Isoméries planes . . . . .	245
2 Stéréoisoméries . . . . .	246
3 Isoméries de conformation . . . . .	251
<b>Chapitre 31. Les halogénoalcanes – Mécanismes de substitution nucléophile SN1 et SN2 – Mécanismes d'élimination E1 et E2</b> . . . . .	<b>254</b>
1 Liaison carbone-halogène . . . . .	254
2 Nucléophilie . . . . .	255
3 Substitution nucléophile . . . . .	255
4 Compétition SN1 – SN2 . . . . .	257
5 Élimination E1-E2 . . . . .	257
6 Compétition SN – E . . . . .	259
<b>Chapitre 32. Les alcènes et les polymères</b> . . . . .	<b>260</b>
1 Généralités et présentation . . . . .	260
2 Additions électrophiles . . . . .	262
3 Additions radicalaires . . . . .	264
4 Hydroboration . . . . .	265
5 Hydrogénation catalytique . . . . .	266
6 Halogénéation . . . . .	268
7 Oxydation des alcènes . . . . .	270
8 Polymères . . . . .	274
<b>Chapitre 33. Les alcools</b> . . . . .	<b>277</b>
1 Présentation . . . . .	277
2 Oxydation des alcools . . . . .	280
3 Synthèse des éthers-oxydes dite synthèse de Williamson . . . . .	281

4	Synthèse des halogénoalcanes . . . . .	282
5	Déshydratation intra moléculaire . . . . .	283
6	Déshydratation inter moléculaire . . . . .	284
<b>Chapitre 34. Acides carboxyliques et dérivés . . . . .</b>		<b>285</b>
1	Présentation . . . . .	285
2	Synthèse des fonctions dérivées des acides carboxyliques : activation . . . . .	288
3	Hydrolyse des esters en milieu basique : saponification . . . . .	289
<b>Chapitre 35. Dérivés carbonylés : aldéhydes et cétones . . . . .</b>		<b>291</b>
1	Présentation . . . . .	291
2	Acétalisation – Cétalisation . . . . .	293
3	Hydratation . . . . .	295
4	Réduction du carbonyle . . . . .	295
5	Allongement des chaînes carbonées . . . . .	296
6	Aldolisation – Cétolisation – Crotonisation . . . . .	297
<b>Chapitre 36. Les hydrocarbures aromatiques . . . . .</b>		<b>301</b>
1	Présentation . . . . .	301
2	Substitutions électrophiles aromatiques . . . . .	302
3	Polysubstitutions aromatiques . . . . .	304
<b>Chapitre 37. Les organomagnésiens . . . . .</b>		<b>306</b>
1	Généralités . . . . .	306
2	Propriétés basiques . . . . .	307
3	Substitutions nucléophiles . . . . .	307
4	Additions nucléophiles . . . . .	308
<b>Chapitre 38. Les amines . . . . .</b>		<b>309</b>
1	Généralités . . . . .	309
2	Propriétés nucléophiles . . . . .	310

**Partie 3 – Mathématiques – Probabilités et statistique**

<b>Chapitre 39. Analyse</b> .....	<b>315</b>
1 Opérations sur les nombres .....	315
2 Équations et inéquations .....	316
3 Fonctions .....	317
4 Dérivées - Différentielles .....	318
5 Étude de la variation d'une fonction .....	321
6 Intégrales .....	322
7 Équations différentielles .....	324
8 Quelques courbes importantes en biologie .....	327
9 Suites .....	328
10 Séries .....	329
11 Développement de fonctions en séries entières .....	331
<b>Chapitre 40. Trigonométrie</b> .....	<b>333</b>
1 Fonctions trigonométriques .....	333
2 Formulaire .....	334
<b>Chapitre 41. Probabilités et statistique</b> .....	<b>337</b>
1 Probabilités .....	337
2 Statistique .....	348
<b>Tableaux</b> .....	<b>352</b>
<b>Index</b> .....	<b>357</b>





**Partie 1**  
**PHYSIQUE**  
**BIOPHYSIQUE**



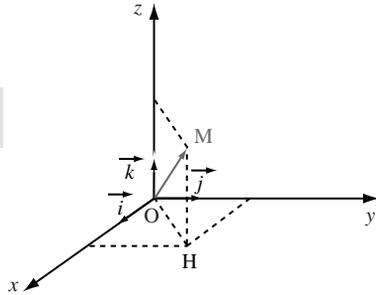
## 1 CINÉMATIQUE

### En coordonnées cartésiennes

#### Vecteur position

$$\overrightarrow{OM} = \vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

$(x, y, z)$  : coordonnées du point M



#### Vecteur vitesse

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$$

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{dx}{dt} \\ \dot{y} = \frac{dy}{dt} \\ \dot{z} = \frac{dz}{dt} \end{cases}$$

#### Vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ \ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2} \\ \ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2} \end{cases}$$

## En coordonnées polaires planes

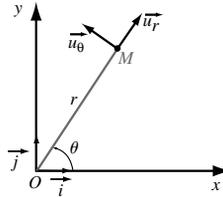
### Vecteur position

$$\overrightarrow{OM} = \vec{r} = r\vec{u}_r \quad \left| \begin{array}{l} \vec{r} : \text{rayon vecteur} \\ \theta : \text{angle polaire} \end{array} \right.$$

$O$  : origine ou pôle

$Ox$  : axe polaire

$(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$  : base locale mobile, orthonormée directe, liée au point  $M$



### Relation entre coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires

$$\left| \begin{array}{l} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{array} \right. \quad \text{avec } x^2 + y^2 = r^2$$

### Vecteur vitesse

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(r\vec{u}_r) = \frac{dr}{dt}\vec{u}_r + r\frac{d\vec{u}_r}{dt} = \dot{r}\vec{u}_r + r\dot{\theta}\vec{u}_\theta$$

### Vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\vec{u}_r + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\vec{u}_\theta$$

## En coordonnées cylindriques

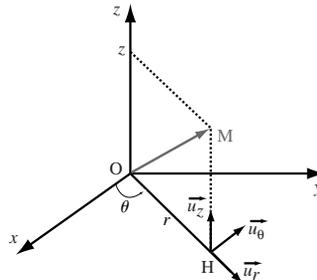
### Vecteur position

$$\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{HM} = \vec{r} = r\vec{u}_r + z\vec{u}_z$$

$(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$  : base orthonormée

directe mobile liée au point  $H$

$(r, \theta, u_z)$  : coordonnées cylindriques du point  $M$



## Vecteur vitesse

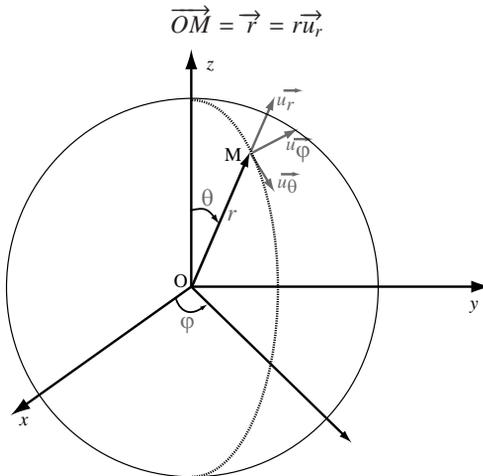
$$\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \dot{r}\vec{u}_r + r\dot{\theta}\vec{u}_\theta + \dot{z}\vec{u}_z$$

## Vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\vec{u}_r + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\vec{u}_\theta + \ddot{z}\vec{u}_z$$

## En coordonnées sphériques

## Vecteur position



$$\vec{u}_r = \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \varphi \\ \sin \theta \sin \varphi \\ \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\vec{u}_\theta = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \varphi \\ \cos \theta \sin \varphi \\ -\sin \theta \end{pmatrix}$$

$$\vec{u}_\varphi = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \\ 0 \end{pmatrix}$$

## Correspondance entre coordonnées cartésiennes et coordonnées sphériques

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \varphi \\ y = r \sin \theta \sin \varphi \\ z = r \cos \theta \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} \theta \in [0, \pi] \\ \varphi \in [0, 2\pi] \end{array} \right.$$

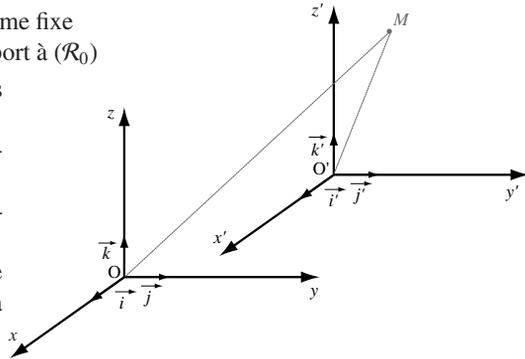
## 2 MOUVEMENTS RELATIFS ET ABSOLUS

$(\mathcal{R}_0)$  : référentiel considéré comme fixe

$(\mathcal{R})$  : référentiel mobile par rapport à  $(\mathcal{R}_0)$

Si  $M$  est un point mobile dans  $(\mathcal{R})$ , on appelle :

- mouvement relatif, le mouvement de  $M$  par rapport à  $(\mathcal{R})$ ,
- mouvement absolu, le mouvement de  $M$  par rapport à  $(\mathcal{R}_0)$ ,
- mouvement d'entraînement, le mouvement de  $(\mathcal{R})$  par rapport à  $(\mathcal{R}_0)$ .



### Composition des vitesses

$$\vec{v}_a = \vec{v}_r + \vec{v}_e \quad \left| \begin{array}{l} \vec{v}_a = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \vec{v}(M)/(\mathcal{R}_0) \\ \vec{v}_r = \frac{d\vec{O'M}}{dt} = \vec{v}(M)/(\mathcal{R}) \\ \vec{v}_e = \frac{d\vec{OO'}}{dt} = \vec{v}(\mathcal{R})/(\mathcal{R}_0) \end{array} \right.$$

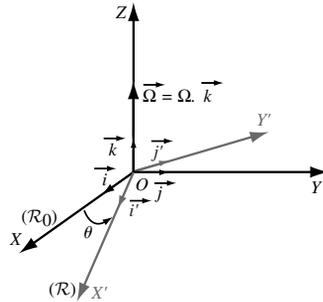
### Composition des accélérations

Le mouvement d'entraînement est rectiligne sans rotation de  $(\mathcal{R})$

$$\vec{a}_a = \vec{a}_r + \vec{a}_e$$

$(\mathcal{R})$  est en rotation par rapport à  $(\mathcal{R}_0)$

$$\vec{a}_a = \vec{a}_r + \vec{a}_e + \vec{a}_c \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{a}_a = \frac{d^2 \overrightarrow{OM}}{dt^2} \\ \vec{a}_r = \frac{d^2 \overrightarrow{O'M}}{dt^2} \\ \vec{a}_e = \frac{d^2 \overrightarrow{OO'}}{dt^2} \\ \vec{a}_c = 2\vec{\Omega} \wedge \vec{v}_r \end{array} \right.$$



$\vec{\Omega}$  : vecteur rotation

### 3 LOIS GÉNÉRALES ET THÉORÈMES

#### Vecteur quantité de mouvement

Cas d'un point matériel

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$\vec{p}$  : vecteur quantité de mouvement  
 $m$  : masse du point matériel  
 $\vec{v}$  : vecteur vitesse du point matériel

Cas d'un système

$$\vec{p} = m\vec{v}_G$$

$\vec{p}$  : vecteur quantité de mouvement  
 $m = \sum_i m_i$  : masse totale du système  
 $\vec{v}_G$  : vecteur vitesse du centre d'inertie

#### Principe d'inertie (1<sup>re</sup> loi de Newton)

Le centre d'inertie d'un solide (pseudo) isolé est tel que :

- s'il est au repos, il reste au repos ;
- s'il est en mouvement, son mouvement est rectiligne uniforme.

$$\sum \vec{f}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \begin{array}{l} \text{système isolé} \\ \text{ou} \\ \text{pseudo-isolé} \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} \vec{v}_G = \vec{cste} \\ (\vec{p} = \vec{cste}) \end{array}$$

### Théorème du centre d'inertie (2<sup>e</sup> loi de Newton)

$$m\vec{a}_G = \sum \vec{f}_{ext}$$

$m$  : masse du solide

$\vec{a}_G$  : vecteur accélération du centre d'inertie

$\sum \vec{f}_{ext}$  : ensemble des forces s'exerçant sur le solide

### Principe des actions réciproques (3<sup>e</sup> loi de Newton)

Si un système (A) exerce sur un système (B) une force  $\vec{F}_{A/B}$  alors (B) exerce sur (A) une force  $\vec{F}_{B/A}$  telle que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

■ Ce principe est vrai, que (A) et (B) soient au repos ou en mouvement.

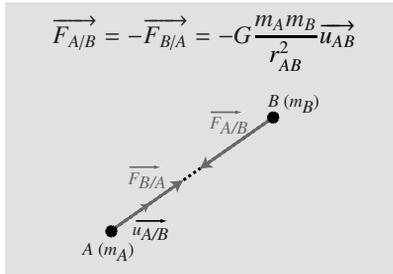
### Les actions à distance

#### Les interactions fondamentales de l'Univers

- Les différentes interactions
  - L'interaction nucléaire forte : elle est de courte portée (1 fm) et agit sur les particules possédant une charge, les quarks, ainsi que les particules constituées de quarks (les hadrons : neutrons et protons).
  - L'interaction électromagnétique : d'intensité de l'ordre du 1/100 par rapport à l'interaction nucléaire forte. Elle est de portée infinie et agit sur toute particule chargée.
  - L'interaction gravitationnelle : elle est de portée infinie, d'intensité relative  $10^{-39}$ , et agit sur toute particule possédant une « masse gravitationnelle ».
- Domaines d'action

Types d'interaction	Domaine d'action
interaction nucléaire forte	nucléons dans les noyaux
interaction électromagnétique	atomes et molécules
interaction gravitationnelle	astres et planètes

### Loi d'interaction gravitationnelle (loi de Newton)



$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \frac{m_A m_B}{r_{AB}^2} \vec{u}_{AB}$$

$m_A$  : masse du point matériel A

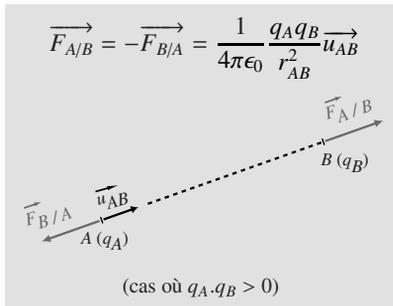
$m_B$  : masse du point matériel B

$G$  : constante de gravitation  
en  $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

$r_{AB}$  : distance entre A et B

$\vec{u}_{AB}$  : vecteur unitaire dirigé de A vers B

### Loi d'interaction électrostatique (loi de Coulomb)



$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} \vec{u}_{AB}$$

$q_A$  : charge du point matériel A

$q_B$  : charge du point matériel B

$\epsilon_0$  : permittivité du vide en  $\text{m} \cdot \text{F}^{-1}$

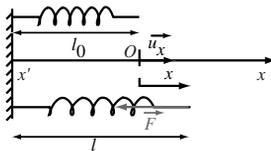
$r_{AB}$  : distance entre A et B

$\vec{u}_{AB}$  : vecteur unitaire dirigé de A vers B

### Quelques actions de contact

#### Action exercée par un ressort

$$\vec{F} = -kx\vec{u}_x \text{ soit } F = k|x|$$



$F$  : tension du ressort en N

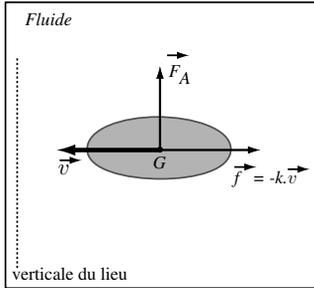
$x$  : allongement en m

$x > 0$  : ressort étiré,

$x < 0$  : ressort comprimé

$k$  : constante de raideur du ressort en  
 $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$

## Action exercée par un fluide sur un solide

**Poussée d'Archimède**
 $\vec{F}_A = -m_{f,d} \vec{g}$  : poussée d'Archimède

 $m_{f,d}$  : masse du fluide déplacé

**Force de frottement fluide** (cas des faibles vitesses)

 $\vec{f} = -k \vec{v}$  : vecteur force de frottement

 $\vec{v}$  : vecteur vitesse

 $\vec{g}$  : champ de pesanteur

Dans le cas d'un solide sphérique, la force de frottement fluide est donnée par :

$$\vec{f} = -6\pi\eta r \vec{v} \quad \left| \begin{array}{l} \eta : \text{coefficient de viscosité du fluide en Pa} \cdot \text{s} \\ r : \text{rayon de la sphère en m} \\ \vec{v} : \text{vecteur vitesse du centre d'inertie du solide} \end{array} \right.$$

(loi de Stokes)

**Moment cinétique**

Moment cinétique en un point O :

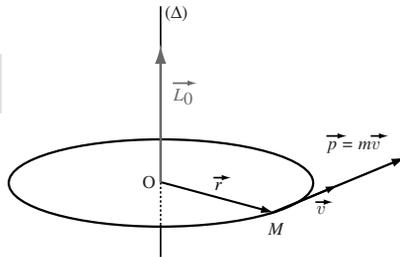
$$\vec{L}_O = \vec{OM} \wedge \vec{p} = m \vec{OM} \wedge \vec{v}$$

$m$  : masse en kg

$L_O$  : moment cinétique en  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$p$  : quantité de mouvement en  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$v$  : vitesse en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$



La grandeur  $\vec{L}_O$ , comme la vitesse  $\vec{v}$ , dépend du référentiel dans lequel elle est définie.

**Théorème du moment cinétique**

$$\frac{d\vec{L}_O}{dt} (\mathcal{R}_0) = \vec{OM} \wedge \vec{F} = \mathcal{M}_O(\vec{F})$$

$\vec{L}_O$  : moment cinétique au point O

$\mathcal{M}_O(\vec{F})$  : moment de la force  $\vec{F}$  au point O

## Travail d'une force

### Travail élémentaire

$$\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$\delta W$  : travail élémentaire entre  $t$  et  $t + dt$   
 $\vec{F}$  : vecteur force  
 $d\vec{l}$  : vecteur déplacement élémentaire

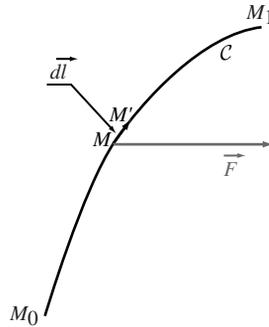
### Travail d'une force $\vec{F}$ le long d'une courbe $C$

$$W(\vec{F})_{M_0 \rightarrow M_1} = \int_{M_0}^{M_1} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

avec

$$d\vec{l} = \overrightarrow{MM'} = \vec{v} dt$$

$W(\vec{F})_{M_0 \rightarrow M_1}$  : travail en J



## Puissance d'une force

$$\mathcal{P} = \frac{\delta W}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$\mathcal{P}$  : puissance de la force  $\vec{F}$  en W  
 $\vec{F}$  : force  
 $\vec{v}$  : vecteur vitesse

## Énergie cinétique

### Pour un point matériel $M_i$

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m_i v_i^2$$

$\mathcal{E}_c$  : énergie cinétique en J

$m_i$  : masse du point matériel  $M_i$  en kg

$v_i$  : vitesse du point matériel  $M_i$  en  $m \cdot s^{-1}$

**Pour un solide en translation**

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} \left( \sum_i m_i \right) v_G^2 = \frac{1}{2} m v_G^2$$

$\mathcal{E}_c$  : énergie cinétique en J

$m = \left( \sum_i m_i \right)$  : masse du solide en kg

$v_G$  : vitesse du centre d'inertie en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

**Pour un solide en rotation**

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} J_\Delta \omega^2$$

$\mathcal{E}_c$  : énergie cinétique en J

$J_\Delta = \sum_i m_i r_i^2$  : moment d'inertie du solide par rapport à l'axe ( $\Delta$ ), en  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$\omega$  : vitesse angulaire du solide en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

**Théorème de l'énergie cinétique****Entre les instants  $t$  et  $t + dt$** 

$$d\mathcal{E}_c = \mathcal{P} dt = \delta W$$

$\mathcal{E}_c$  : énergie cinétique

$W$  : travail des forces appliquées au système

$\mathcal{P}$  : puissance des forces appliquées au système

**Entre deux instants quelconques  $t_1$  et  $t_2$** 

$$\Delta \mathcal{E}_c = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot \vec{v} dt = \sum_i W(\vec{F})$$

$\Delta \mathcal{E}_c$  : variation de l'énergie cinétique

$\sum_i W(\vec{F})$  : travail des forces appliquées au système

**Force conservative**

Une force  $\vec{F}$  est dite force conservative s'il existe une fonction  $\mathcal{E}_p$  dépendant uniquement des coordonnées de position telle que :

$$\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}} \mathcal{E}_p, \text{ soit } d\mathcal{E}_p = -\vec{F} \cdot \vec{dl}$$

## Énergie potentielle

### Énergie potentielle de pesanteur

$$\mathcal{E}_{pp} = mgz + cste$$

$\mathcal{E}_{pp}$  : énergie potentielle de pesanteur en J

$m$  : masse du système en kg

$g$  : accélération de la pesanteur en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

$z$  : côte du centre d'inertie du système en m

### Énergie potentielle élastique

$$\mathcal{E}_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$$

$\mathcal{E}_{pe}$  : énergie potentielle élastique en J

$k$  : constante de raideur du ressort en  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$

$x$  : allongement du ressort en m

### Énergie potentielle électrique

$$\mathcal{E}_{pel} = qV$$

$\mathcal{E}_{pel}$  : énergie potentielle électrique en J

$q$  : charge en C

$V$  : potentiel au point où se trouve la charge  $q$ , en V

### Énergie potentielle gravitationnelle

$$\mathcal{E}_{pg} = -G \frac{mm'}{r} + cste$$

$\mathcal{E}_{pg}$  : énergie potentielle gravitationnelle en J

$m$  et  $m'$  : masses en interaction en kg

$G$  : constante universelle de gravitation en  $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

$r$  : distance entre les deux masses en m

## Énergie mécanique

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$$

$\mathcal{E}_m$  : énergie mécanique

$\mathcal{E}_c$  : énergie cinétique

$\mathcal{E}_p$  : énergie potentielle

## 4 CHOCS ENTRE DEUX PARTICULES

### Impulsion-Percussion

Pour une particule de masse  $m$  et animée d'une vitesse  $\vec{v}$  à l'instant  $t$ .

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

$\vec{F}$  : résultante des forces agissant sur la particule entre les instants  $t$  et  $t + \Delta t$   
 $\vec{I}$  : Impulsion de la force  $\vec{F}$

- Si  $\vec{F}$  reste constante dans l'intervalle de temps  $\Delta t = t_2 - t_1$  et si  $\Delta t$  est très petit alors  $\vec{I}$  est appelé percussion.
- Comme  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ , alors :

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} d\vec{p} = \Delta\vec{p}$$

L'impulsion reçue par un point matériel est égale à la variation de la quantité de mouvement de ce point matériel.

### Chocs entre deux particules

Soient deux particules (1) et (2) de masses  $m_1$  et  $m_2$ .

Si les deux particules viennent à se rencontrer, on dit qu'il y a **collision** ou **choc entre les deux particules**.

Au cours d'un choc :

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{0}$$

soit

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{cste}$$

$\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$  : vecteur quantité de mouvement de la particule (1) de masse

$m_1$   
 $\vec{p}_2 = m_2 \vec{v}_2$  : vecteur quantité de mouvement de la particule (2) de masse

$m_2$

Le système constitué par deux particules qui entrent en collision est un système isolé.