

Clément Santamaria

Toute la
PHYSIQUE
dans un
VERRE D'EAU

ellipses

TABLE DES MATIÈRES

Comment expliquer l'accident de la navette Challenger le 21 janvier 1986
à l'aide d'un verre d'eau ?3

1. OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE 13

1. Comment se propage un rayon lumineux dans un verre d'eau salée ? ... 13
2. Pourquoi, lorsque l'on regarde un verre de côté, l'eau semble remplir le verre comme s'il n'y avait pas de paroi ? 16
3. Quel est le trajet d'un rayon lumineux pénétrant dans un verre d'eau ? 17
4. Pourquoi un objet placé dans un verre d'eau, et vu de dessus, semble-t-il plus proche de l'observateur ? 20
5. Quelle est l'origine de la tache observée sur la table, lorsqu'un rayon de lumière éclaire la surface libre d'un verre d'eau ? 23
6. Que devient un faisceau lumineux frappant normalement la paroi latérale d'un verre vide supposé sphérique ? Que se passe-t-il dans le cas d'un verre plein ? 25

2. ÉLECTROMAGNÉTISME 29

1. Comment se propage un rayon lumineux dans un verre d'eau ? 29
2. Comment se polarise la lumière lors d'une réflexion sur la surface libre d'un verre d'eau ? 33
3. Pourquoi la surface d'un verre d'eau peut-elle sembler être un miroir ? 35

4. Une onde électromagnétique pénètre-t-elle profondément dans l'eau ?	36
Complément : physique d'un plasma	38
5. Pourquoi peut-on chauffer de l'eau dans un four à micro-onde ?.....	40
Complément : optique non linéaire.....	42
6. À quoi est dû l'effet de dispersion de la lumière, provoqué par un verre d'eau ?.....	43
Complément : vitesse de phase, vitesse de groupe	46
7. Pourquoi une source de lumière nous paraît-elle orangée lorsqu'on la regarde à travers un verre d'eau contenant quelques gouttes de lait ?.....	47
8. Comment peut-on expliquer les effets d'irisation observés sur l'eau d'un verre contenant des traces d'huile ou de détergent ?.....	49

3. MÉCANIQUE DES FLUIDES..... 55

1. Quelle fraction du volume d'un glaçon émerge lorsqu'il flotte dans l'eau ?	55
2. Quelle est la fraction immergée d'un glaçon sphérique ?	57
3. Si l'on place la paroi d'un verre sous un filet d'eau, pourquoi ce dernier a-t-il tendance à y adhérer ?	57
4. Quelle force faut-il exercer pour décoller un hémisphère placé au fond du verre ?.....	58
5. Quelles sont les forces qui s'exercent sur les parois d'un verre contenant un fluide ?.....	60
6. Quelle est la pression à l'intérieur d'une bulle présente dans l'eau ?.....	60
7. Comment varie le rayon d'une bulle en fonction de sa hauteur de remontée ?	62
8. Pourquoi des grains de poivre déposés sur de l'eau ne coulent-ils pas ?.....	63
9. Pourquoi un insecte peut-il marcher sur l'eau ?	65

10. À quelle condition un cube en métal peut-il flotter sur l'eau ?.....	66
11. Pourquoi un liquide remonte-t-il légèrement sur les bords du verre ?.....	66
12. À quelle condition, un verre percé d'un trou, ne fuit-il pas ?	68
13. Que se passe-t-il si l'on retourne rapidement un verre contenant un liquide très visqueux ?	69
14. Quelle est l'expression du débit lors du siphonnement d'un verre ?	71
15. Quelle est la vitesse de sortie d'un liquide si on réalise un trou dans le verre ?.....	73
16. Que se passe-t-il si la vitesse de descente de la surface libre n'est pas négligeable ?	74
17. Lorsque l'on renverse un verre, on observe que le filet d'eau se rétrécit au fur et à mesure de sa chute. Quel est son rayon ?	75
18. Quelle est la forme d'un tourbillon créé par la vidange d'un verre ?	75
19. Comment varie, en fonction du temps, la vitesse d'un verre lancé sur une surface mouillée ?.....	78
Complément : l'eau sèche.....	79
20. Quels sont les effets de la viscosité sur l'écoulement d'un fluide ?.....	80
21. Quelle est la vitesse d'une bille tombant au fond d'un verre d'eau ?	82

4. MÉCANIQUE..... 85

1. Quelle est la forme de la surface libre d'un liquide en rotation ?.....	85
2. Un verre est soumis à une accélération le long d'un plan incliné. Quel angle fait la surface libre avec l'horizontale ?.....	87
Complément : accélération dans un référentiel mobile	87
3. Décrire l'allure de la surface libre d'un verre d'eau, placé dans un manège tournant :	90
4. Comment se dirige un écoulement produit par un verre d'eau dans un manège ?.....	90
5. Comment oscille un cube à la surface de l'eau ?.....	92

6. Comment oscille une bille dans un verre vide ?	94
7. Quelle doit être la vitesse de rotation angulaire minimale d'une bille dans un verre, si l'on souhaite qu'elle ne tombe pas au fond ?	97
8. Quelle doit être la forme d'un verre, pour qu'une bille tombe le plus vite possible au fond ?	99
9. Quel est l'angle maximal au-delà duquel un verre plein, écarté de sa position initiale, n'y revient pas ?	102
10. Comment oscille un verre autour d'un axe passant par un de ses diamètres ?	103
11. Comment roule un verre sur un plan incliné en présence de frottements ?	105

5. MÉCANIQUE QUANTIQUE 109

1. Comment interpréter la réflexion et la réfraction de la lumière à la surface de l'eau en termes de photons ?	109
2. Que deviennent les photons qui pénètrent dans l'eau, ou dans le verre ?	113
3. La lumière est polarisée par réflexion sur la surface de l'eau. Que signifie un état de polarisation, rectiligne ou circulaire, en termes de photons ?	114
Complément : l'équation de Schrödinger	115
4. Comment peut-on décrire, à l'aide du formalisme de Dirac, les propriétés de la lumière réfléchie par la surface de l'eau ?	118
5. Quelle est la probabilité pour qu'une molécule d'eau sorte du verre, sans évoquer l'évaporation naturelle ?	119
6. La glace est-elle conductrice de l'électricité ?	122
7. Pourquoi un aimant n'attire pas un objet en cuivre tombé au fond du verre ?	122
8. L'eau a-t-elle des propriétés magnétiques ?	124
Complément : pourquoi les moments magnétiques restent-ils alignés dans un corps ferromagnétique ?	125
Complément : le modèle de Potts	127

6. PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT 129

1. Comment peut-on décrire la diffusion d'un colorant dans un verre d'eau ? 129
2. Pourquoi un morceau de sucre va-t-il finir, tôt ou tard, par former un mélange homogène avec l'eau ? 131
3. Pourquoi le sucre se diffuse mieux dans un verre d'eau que dans un verre d'huile ? Quelle est l'influence de la température ? 132
4. Comment se propage la chaleur dans la glace ? 135

7. THERMODYNAMIQUE 139

1. Si on chauffe un verre d'eau, la température d'ébullition de l'eau sera exactement de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, dans les conditions normales de pression. Les manuels de physique indiquent une valeur de $99,974\text{ }^{\circ}\text{C}$. Comment peut-on expliquer ce désaccord ? 139
Complément : définition de la température 140
2. Lequel, d'un verre d'eau ou d'un verre d'huile, subira la plus grande augmentation de température, pour un chauffage similaire ? 142
3. Pourquoi un glaçon refroidit-il un verre d'eau ? Car après tout, pourquoi ne pourrait-il pas se refroidir, en cédant de la chaleur à l'eau, et donc la réchauffer ? 145
4. Comment évolue un glaçon placé dans un verre d'eau ? 147
5. Quelle quantité de chaleur faut-il fournir à un glaçon pour le faire fondre ? 151
6. Quelle est la température d'ébullition de l'eau contenue dans un verre placé en haut du Mont Blanc ? 152
7. Comment évolue la taille des gouttelettes d'eau, formant de la buée sur la paroi froide d'un verre ? 153
8. Pour refroidir un verre d'eau, on prépare dans un récipient un mélange d' $1/3$ de sel et de $2/3$ de glace pilée. La température descend à $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pourquoi ? 155
9. Si on compare un verre d'eau chaude et un verre d'eau froide, on peut dire que leurs énergies internes sont différentes. Comment peut-on imaginer récupérer du travail à l'aide de ces deux sources de chaleur ? ... 157

8. PHYSIQUE STATISTIQUE..... 161

1. Imaginons de numéroter les molécules d'un verre d'eau.
On vide ce verre dans l'océan, le brassage est supposé parfait.
On recueille ensuite un verre de l'océan. Combien de molécules
numérotées contiendra-t-il ?..... 161
2. Est-il possible de décrire précisément la trajectoire
d'une molécule d'eau ? 162
3. Un observateur a-t-il une influence sur le trajet des molécules d'eau ? ... 163
4. Quelle est l'entropie de la glace ? 166
5. On suppose que l'eau contient des microparticules en suspension.
Comment évolue leur concentration dans le verre, en fonction
de la hauteur et de la température ? 168
Complément : distribution des vitesses de Maxwell-Boltzmann..... 172

9. ÉLECTROSTATIQUE 175

1. Quelle énergie est mise en jeu, lors de la dissolution de sel
dans l'eau ? 175
2. Comment sont modifiées les interactions électrostatiques
entre les ions du chlorure de sodium, lors d'une dissolution
dans l'eau ? 178
Complément : particules colloïdales 181
3. Pourquoi un mince filet d'eau est-il attiré par un corps électrisé ? 183
Complément : dipôle et polynômes de Legendre 185
4. Un glaçon flotte dans l'eau.
Pourquoi a-t-il donc une masse volumique plus faible
que l'eau liquide ? 188
Complément : les liaisons de Van der Waals..... 189
Complément : cohésion de l'eau..... 191

10. RHÉOLOGIE 193

1. Quelle force faut-il exercer pour casser un verre ? 193
2. Quelle flexion peut subir un verre à pied ?196
3. Quelle flexion subit une tige de verre soumise à une contrainte ?199
Complément : le flambage.....200
4. Pourquoi le verre est-il dur ?..... 202

11. CRISTALLOGRAPHIE..... 205

1. Quelle est l'organisation des molécules d'eau constituant un glaçon ?..... 205
Complément : les différents systèmes cristallins possibles de la glace...206
2. Pourquoi les glaçons dans un verre s'agglomèrent-ils ? 209
3. Comment peut-on déterminer la structure cristalline de la glace ?.....210
Complément : diffraction par un réseau 212
Complément : le problème de la symétrie pentagonale214

12. PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES 217

1. Comment se propage une onde sonore dans l'eau ?..... 217
Complément : l'approximation acoustique 221
2. Un son sera-t-il perceptible par un récepteur placé au fond du verre ?223
3. Comment peut-on améliorer la pénétration d'un son dans l'eau ?..... 224
4. Comment se propage une onde sonore dans le verre ? 226
5. Pourquoi peut-on obtenir un son en passant son doigt humide sur le bord d'un verre en cristal ?227
6. Que peut-il se passer, si une onde acoustique et une onde électromagnétique pénètrent simultanément dans l'eau ? 230

13. PHYSIQUE NUCLÉAIRE..... 233

- 1. Quelle énergie peut-on récupérer, en théorie,
à partir d'un verre d'eau ?..... 233
Complément : l'énergie en relativité235
- 2. Un verre d'eau est-il radioactif ?.....236
Complément : durée de vie des particules.....240

14. PHÉNOMÈNES CRITIQUES..... 243

Quel point commun existe-t-il entre un verre d'eau et un aimant ?243

INDEX..... 249