

# PHYSIQUE-CHIMIE. DEVOIR SURVEILLÉ 1

Samedi 13/09/2025. Durée : 2h

## CONSIGNES

- ▷ **La calculatrice est autorisée.** Les autres outils électroniques (téléphone, tablette...) et documents papier sont strictement interdits. Un brouillon est autorisé.
- ▷ Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- ▷ Ne pas utiliser de correcteur.
- ▷ Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.

Le sujet comporte **quatre parties indépendantes**.

## Partie I - Histoire d'eau

L'espèce chimique eau, indispensable à la vie telle que nous la connaissons, est constituée d'entités chimiques de formule chimique  $\text{H}_2\text{O}$ .

### Données :

- numéro atomique de l'hydrogène :  $Z(\text{H}) = 1$  ;
- numéro atomique de l'oxygène :  $Z(\text{O}) = 8$  ;
- électronégativité de l'hydrogène dans l'échelle de Pauling :  $\chi(\text{H}) = 2,1$  ;
- électronégativité de l'oxygène dans l'échelle de Pauling :  $\chi(\text{O}) = 3,5$  ;
- valeur du moment dipolaire de l'entité de formule  $\text{H}_2\text{O}$  :  $\mu(\text{H}_2\text{O}) = 1,85\text{D}$ .

**Q1.** Sélectionner le terme correct pour qualifier l'entité notée  $\text{H}_2\text{O}$  parmi "atome", "cation", "anion" et "molécule".

Il s'agit d'une molécule, car c'est un assemblage d'atomes non chargé.

**Q2.** Établir la configuration électronique d'un atome d'hydrogène, puis d'un atome d'oxygène. Indiquer alors, en justifiant, le nombre d'électrons de valence de chacun de ces atomes.

Le numéro atomique de l'hydrogène vaut  $Z = 1$ , ce qui signifie qu'un atome d'hydrogène contient 1 proton, donc 1 électron, du fait de son électroneutralité. Sa configuration électronique est donc  $1s^1$ . Il possède un électron de valence.

De même, un atome d'oxygène contient 8 électrons, sa configuration électronique est alors  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Les électrons de valence sont ceux de la dernière couche non vide, ici la 2, de sorte qu'un atome d'oxygène possède  $2 + 4 = 6$  électrons de valence.

**Q3.** Établir le schéma de Lewis de l'entité notée  $\text{H}_2\text{O}$ .

Les électrons de valence sont représentés autour du symbole de l'atome, si la couche électronique à laquelle ils appartiennent est plus qu'à moitié remplie les électrons supplémentaires s'apparient avec ceux déjà présents pour former des doublets non liants.

On établit ainsi les schémas de Lewis de l'atome d'hydrogène, d'oxygène, puis de la molécule d'eau en les combinant.

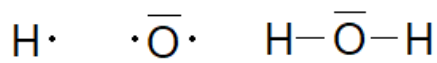


FIGURE 1 – De gauche à droite, schémas de Lewis de l'atome d'hydrogène, de l'atome d'oxygène, et de la molécule d'eau

**Q4.** Justifier qualitativement que l'entité notée  $\text{H}_2\text{O}$  a une géométrie coudée.

L'atome central de la molécule d'eau est l'atome d'oxygène. Il est entouré de quatre doublets au total, ce qui donne une géométrie tétraédrique d'après la théorie VSEPR qui prédit la géométrie à partir de la répulsion électrostatique entre doublets. Comme deux des doublets sont non liants, les atomes forment une structure coudée.

**Q5.** L'entité notée  $\text{H}_2\text{O}$  est-elle polaire ou apolaire ? Justifier votre réponse de deux façons différentes.

Comme  $\chi(\text{O}) \neq \chi(\text{H})$ , les deux liaisons de la molécule d'eau sont polarisées. Comme la molécule d'eau est coudée, les moments dipolaires des liaisons ne sont pas colinéaires, donc en les additionnant avec la relation de Chasles, on obtient un moment dipolaire total non nul : la molécule est polaire. Cela est confirmé par la donnée suivante : la valeur du moment dipolaire de la molécule d'eau est non nulle, puisqu'elle vaut 1,85 debye.

## Partie II - Carence en vitamine C

La vitamine C est apportée par l'alimentation, notamment par les fruits et les boissons aux fruits. À titre d'exemple, 250 mL de jus d'orange pressée contiennent 150 mg de vitamine C.

En cas de carence en vitamine C (apport insuffisant, susceptible de causer des problèmes de santé), les médecins peuvent prescrire des comprimés de vitamine C, à dissoudre dans de l'eau avant consommation. Un comprimé contient 500 mg de vitamine C.

**Q7.** Le pur jus d'orange est-il un corps pur ou un mélange ? Justifier.

Le solvant du pur jus d'orange est l'eau, comme pour toutes les boissons. Il contient une masse non négligeable de sucre, qui est le principal soluté. Comme le jus d'orange contient plusieurs espèces chimiques, il s'agit d'un mélange par définition.

**Q8.** Calculer la concentration en masse  $C_{m,1}$  de vitamine C dans le pur jus d'orange du commerce, puis sa concentration en masse  $C_{m,2}$  dans un jus d'orange pressée.

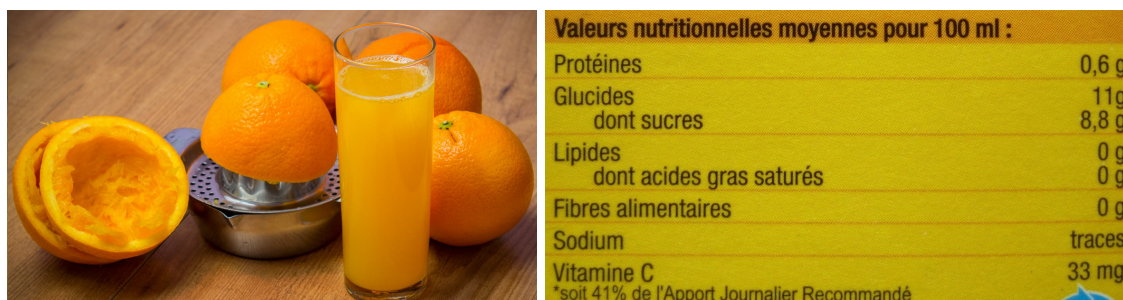


FIGURE 2 – Gauche : jus d'oranges pressées ; droite : étiquette d'une bouteille de pur jus d'orange du commerce

Par définition, la concentration en masse d'un soluté dans une solution est le quotient de la masse de soluté et du volume de solution, de sorte que  $C_{m,1} = \frac{m_{\text{sucres},1}}{V_1} = \frac{33\text{mg}}{100\text{mL}} = 0,33 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  et  $C_{m,2} = \frac{m_{\text{sucres},2}}{V_2} = \frac{150\text{mg}}{250\text{mL}} = 0,60 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**Q9.** Un médecin prescrit un comprimé de vitamine C par jour à un patient atteint d'une carence en vitamine C. Quel volume  $V_1$  de pur jus d'orange du commerce ou  $V_2$  de jus d'orange pressée faudrait-il boire pour remplacer ce comprimé ? Commenter.

On souhaite obtenir une masse  $m = 500 \text{ mg} = 0,50 \text{ g}$  de vitamine C avec du jus d'orange. On calcule alors le volume  $V_i$  de jus d'orange à consommer avec la relation  $V_i = \frac{m}{C_{m,i}}$ , où  $i = 1$  ou  $i = 2$  suivant la situation.

L'application numérique donne respectivement  $V_1 = \frac{m}{C_{m,1}} = \frac{0,50}{0,33} = 1,5\text{L}$  de jus d'orange du commerce et  $V_2 = 0,83\text{L}$  avec du jus d'orange pressée.

Il est possible de se passer du comprimé de vitamine C, mais boire 1,5L de jus d'orange du commerce chaque jour pendant le traitement n'est pas forcément agréable et entraîne une forte consommation de sucre. Le jus d'orange pressée est plus concentré, mais il faudra quand même en consommer l'équivalent de quatre verres, ce qui implique de presser plusieurs oranges, et donc d'avoir le temps de le faire à la main ou disposer du matériel nécessaire pour le faire plus vite.

### Partie III - Isotopes de l'iode

L'iode, de symbole I, est l'élément chimique de numéro atomique  $Z = 53$ . On le retrouve au quotidien dans des contextes variés.

#### A. L'iode, un nutriment nécessaire

L'iode est indispensable à la glande thyroïde pour produire des hormones qui contribuent au bon développement du cerveau et à la régulation de la température corporelle. Les apports quotidiens recommandés en iode 127 sont de l'ordre de  $150\mu\text{g}$ . L'élément iode est naturellement présent dans certains aliments (poisson, fruits de mer, ...). En France, l'iodation du sel de table permet de pallier les insuffisances en élément iode.

#### B. L'iode en médecine

Un examen médical appelé scintigraphie peut être réalisé pour analyser le fonctionnement de la thyroïde, une glande située dans la gorge. Une très faible quantité d'iode 123 est injectée dans une veine du patient, et va se fixer sur les cellules de la thyroïde. L'iode 123, radioactif, émet un rayonnement qui, une fois mesuré, permet d'obtenir un cliché de la thyroïde.

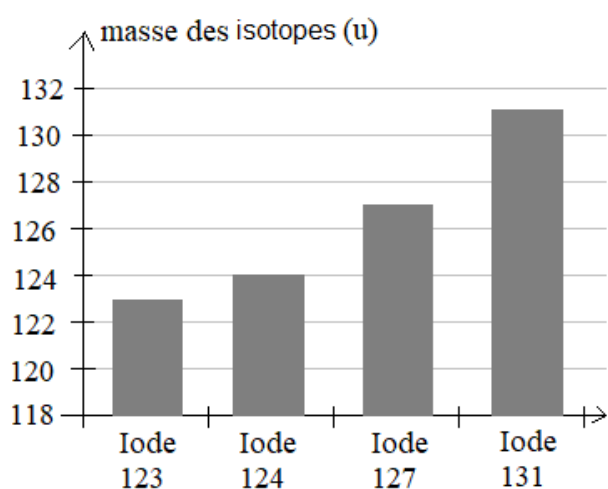
Dans le traitement d'une hyperthyroïdie ou d'un cancer thyroïdien, on utilise l'iode 131 radioactif afin de détruire les cellules cancéreuses.

### C. L'iode en radioprotection

En cas de fuite d'iode 131 dans une centrale nucléaire, l'Autorité de sûreté nucléaire recommande la prise de comprimés d'iodure de potassium qui contiennent de l'iode 127, non radioactif, pour saturer la thyroïde en iode. Ainsi, l'iode 131, potentiellement cancérigène, n'est pas fixé par la thyroïde.

### D. Masse de différents atomes d'iode

L'unité de masse atomique, notée  $u$ , est adaptée aux valeurs de la masse des atomes. La masse  $m_{\text{nucléon}}$  d'un nucléon est environ égale à 1 unité de masse atomique :  $m_{\text{nucléon}} = 1\text{ u} = 1,66 \times 10^{-27}\text{ kg}$ .



**Q10.** Les différents noyaux d'atome d'iode mentionnés dans les documents sont dits isotopes. Définir cette notion.

Deux noyaux sont isotopes s'ils appartiennent au même élément chimique (ils contiennent le même nombre de protons) mais n'ont pas le même nombre de masse, donc possèdent un nombre de neutrons différent.

**Q11.** Donner le nombre de masse  $A$  de chacun des isotopes de l'iode présentés dans les documents ci-dessus.

Le nombre de masse correspond au nombre total de nucléons. On le déduit du document D ou de son indication dans le nom de l'isotope (voir réponse commune avec la question 12).

**Q12.** Déterminer la composition de chacun des isotopes de l'élément iode mentionnés dans les documents et donner leur écriture conventionnelle.

Le numéro atomique de l'iode est  $Z = 53$ .

On obtient le nombre de neutrons par calcul :  $N = A - Z$ .

Le tableau ci-dessous récapitule les réponses attendues.

| isotope de l'iode                 | iode 123              | iode 124              | iode 127              | iode 131              |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| contenu du noyau                  | 53 protons            |                       |                       |                       |
|                                   | 70 neutrons           | 71 neutrons           | 74 neutrons           | 78 neutrons           |
| notation conventionnelle du noyau | $^{123}_{53}\text{I}$ | $^{124}_{53}\text{I}$ | $^{127}_{53}\text{I}$ | $^{131}_{53}\text{I}$ |

**Q13.** Proposer un argument pour justifier l'usage médical des isotopes radioactifs de l'iode, alors qu'ils sont potentiellement dangereux.

L'iode 123 et l'iode 131 sont cancérogènes du fait de leur radioactivité. Il faut impérativement limiter l'exposition à ces isotopes. Toutefois, en cas de suspicion de cancer, une injection ciblée et localisée d'iode 123 permet de visualiser par scintigraphie une tumeur, ce qui constitue une méthode non invasive de détection du cancer. Le traitement peut s'appuyer sur une injection, elle aussi localisée et ciblée, d'iode 131 afin de détruire la tumeur. Le bilan bénéfice/risque est favorable au patient, ce qui justifie l'utilisation de ces deux isotopes en médecine.

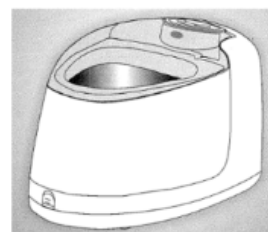
#### Partie IV - Les ultrasons au service du nettoyage

On trouve dans le commerce des appareils de nettoyage utilisant les ultrasons. Le document 1 décrit la première page de la notice d'un exemple d'appareil de ce type.

##### Document 1 : notice simplifiée d'un appareil de nettoyage à ultrasons

###### Descriptif :

- réservoir amovible en acier inoxydable
- fréquence des ultrasons 42 kHz à  $\pm 2\%$
- nettoyage facile des objets immergés dans l'eau sous l'effet des ultrasons
- utiliser de préférence de l'eau fraîchement tirée du robinet.



Référence : nettoyeur à ultrasons CD-3900

###### Données :

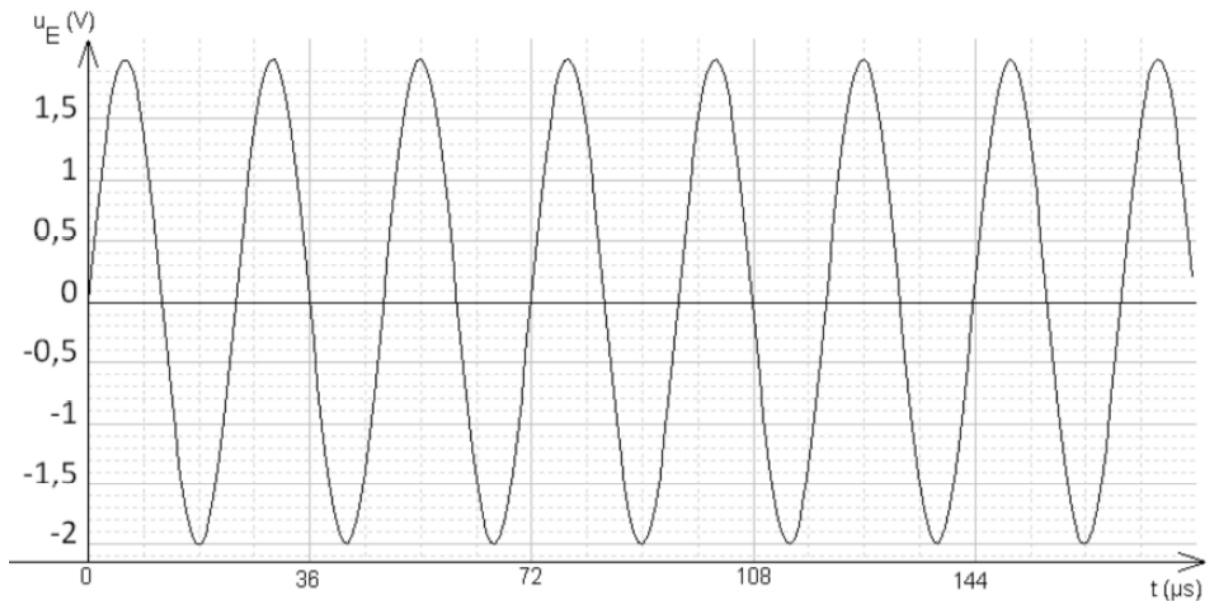
- célérité des ultrasons dans l'air :  $v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ .
- célérité des ultrasons dans l'eau :  $v' = 1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

On souhaite étudier les ultrasons émis par l'appareil décrit dans le document 1. Pour cela, on isole l'émetteur à ultrasons E de cet appareil et on visualise le signal émis à l'aide d'un capteur relié à la voie 1 d'un oscilloscope. Les mesures sont faites dans l'air à la température de  $20^\circ\text{C}$ .

On obtient le signal  $u_E$  suivant :

**Q14.** Déterminer la période T du signal  $u_E$ . Expliquer la méthode.

Par définition, la période d'un signal périodique est la plus petite durée au bout de laquelle il se répète identique à lui-même. Graphiquement, on constate que le premier passage par la valeur 0 a lieu à l'instant initial, et qu'à partir de là lors trois motifs élémentaires correspondent à  $72\mu\text{s}$  (valeur facile à lire car sur les graduations). La période



du signal vaut alors  $T = \frac{72}{3} = 24\mu\text{s}$ .

**Q15.** En déduire la fréquence  $f$  des ultrasons. Commenter.

La fréquence en hertz correspond au nombre de répétitions du signal par seconde, de sorte que  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{24 \times 10^{-6}} = 42000\text{Hz}$ . Ce résultat est compatible avec la fréquence de 40000Hz indiquée dans la notice en tenant compte des incertitudes. Elle l'est aussi avec le fait que les ultrasons ont une fréquence supérieure à 20000Hz.

On souhaite déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  des ultrasons. Pour cela, on visualise à la fois le signal émis par l'appareil et appliqué sur la voie 1 d'un oscilloscope et le signal  $u_R$  reçu par un récepteur à ultrasons R connecté sur la voie 2 de cet oscilloscope.

On part d'une situation où les signaux délivrés par l'émetteur E et par le récepteur R placé en face sont en phase. On s'aperçoit que lorsque l'on éloigne le récepteur R tout en restant en face de l'émetteur fixe E, la courbe qui correspond au récepteur se décale vers la droite.

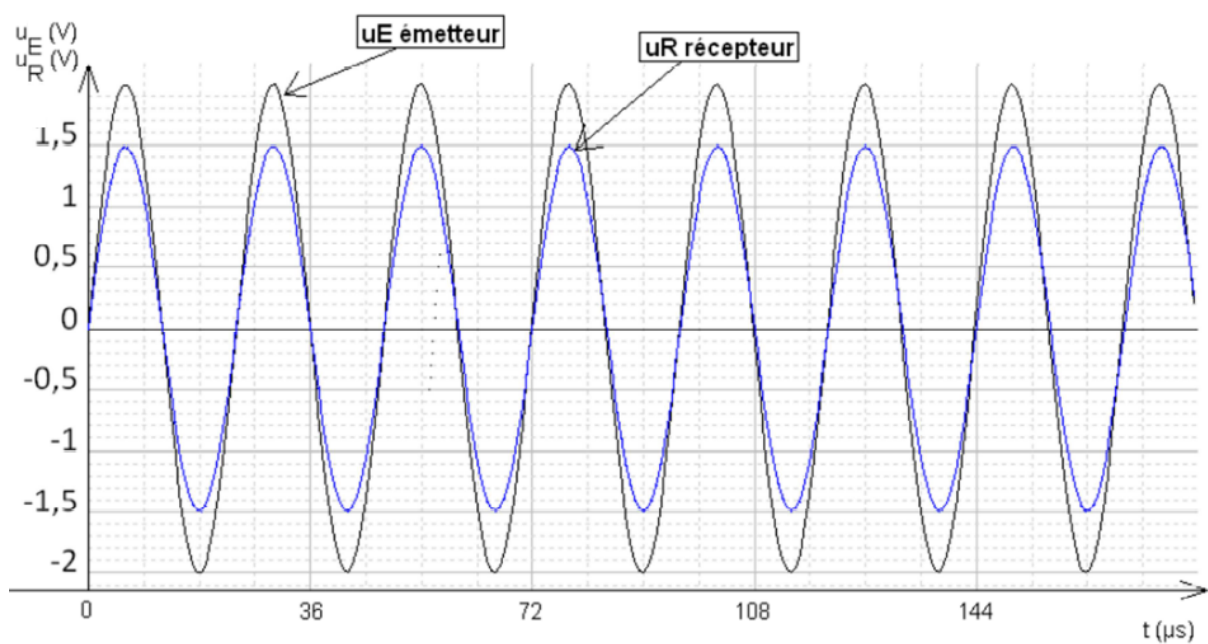
Les signaux obtenus sont représentés sur la figure ci-dessous lorsque les courbes reviennent pour la première fois en phase. On détermine la distance dont on a déplacé le récepteur R lorsque l'on obtient ce graphe et on mesure une distance égale à 8 mm.

**Q16.** Donner une définition de la longueur d'onde  $\lambda$  adaptée au protocole expérimental décrit ci-dessus.

La longueur d'onde d'une onde sinusoïdale est la plus petite distance à partir de laquelle le signal redevient en phase (non décalé temporellement du fait de sa périodicité) avec celui de départ.

**Q17.** Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  à partir de l'expérience précédente. Que peut-on faire pour augmenter la précision de la mesure ?

Au vu de la définition donnée plus haut,  $\lambda = 8\text{ mm}$ . L'incertitude associée à cette mesure est sans doute essentiellement due à la précision limitée de l'instrument de mesure (peut-être un réglet), qui dans l'absolu ne varie pas si on mesure une longueur



plus élevée, donnant ainsi lieu à une incertitude relative plus faible. Plutôt que de mesurer une longueur d'onde, on tâchera d'en mesurer plusieurs (typiquement, 5 à 10), puis on divisera par le nombre de longueur d'onde mesurées.

**Q18.** Calculer la célérité  $v$  des ondes ultrasonores dans l'air. Expliquer un écart éventuel avec la valeur attendue.

Pour une onde sinusoïdale,  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ , soit  $v = 8 \times 10^{-3} \times 42000 = 3 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , où on a arrondi le résultat pour le donner avec un seul chiffre significatif, comme la mesure de longueur d'onde. L'écart avec la valeur attendue, de  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , peut s'expliquer par l'existence de cette incertitude. Il y a aussi un effet de la température sur la célérité qui pourrait expliquer un écart résiduel en cas de précision accrue.

**Q19.** En utilisation normale de l'appareil, la longueur d'onde des ultrasons est différente de la valeur obtenue à la question **Q18.** et vaut environ 4 cm. Justifier cette dernière valeur par un calcul.

En utilisation normale de l'appareil, les ultrasons se propagent dans l'eau, où leur célérité est différente et vaut  $v' = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . On obtient alors  $\lambda = \frac{v'}{f} = \frac{1500}{42000} = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$  en donnant le résultat avec un seul chiffre significatif.

**Q20.** Les ondes ultrasonores sont-elles des ondes mécaniques ? Justifier.

D'après le document 2, les ondes ultrasonores correspondent à des compressions et dépressions successives dans le liquide qui se propagent sans déplacement de matière. Ce sont donc des ondes, de nature mécanique car elles nécessitent l'existence d'un milieu matériel pour se propager.

**FIN**



**Document 2 : comment cela fonctionne ?**

Le bain à ultrasons est composé d'une cuve contenant de l'eau dans lequel sont plongées les pièces à nettoyer. Sur les parois, un transducteur à ultrasons génère des phases successives de compression et dépression dans le liquide qui se propagent de proche en proche dans le liquide. Des microbulles apparaissent, on appelle ce phénomène la « cavitation acoustique ». L'implosion<sup>1</sup> de ces bulles, pendant la phase de compression, crée des turbulences qui détachent les impuretés de la pièce à nettoyer.

<sup>1</sup> Implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure.

**Processus d'élimination de la saleté**

