



Centre de Recherche Public
Gabriel Lippmann

e-QUIZZ

CORRIGÉ DES QUESTIONNAIRES

Edition 2004



fonds national de la
recherche

Questionnaire 1

1. Que se passe-t-il lorsque l'on applique un champ électrique élevé à un gaz ? (niveau 1)

Le gaz s' .

Réponse : Le gaz s'ionise

Le terme d'ionisation se rapporte généralement aux atomes ; c'est l'action qui consiste à enlever un ou plusieurs électrons à la structure atomique. L'atome, en perdant une partie de ses charges négatives, n'est plus neutre électriquement. Il est alors appelé ion.

L'ionisation des gaz peut être réalisée grâce à

- un champ électrique intense :
La torche à plasma, encore appelée ICP (spectrométrie d'émission à couplage inductif), est une technique qui utilise un plasma, généré grâce à un intense champ électrique, pour vaporiser et ioniser les composés à analyser. Les éclairs sont un autre exemple d'ionisation électrique.
- une température très élevée :
La chaleur – typiquement plus de 10000 K – apporte l'énergie nécessaire à cette ionisation et produit un plasma, gaz partiellement ou complètement ionisé. Constitué d'un mélange d'ions, chargés positivement, et d'électrons, négatifs, le plasma est dans son ensemble électriquement neutre. Le Soleil est un plasma.
- un rayonnement électromagnétique :
L'ionisation radiative se produit sous l'action d'un rayonnement de courte longueur d'onde, dit ionisant, tels les rayons UV ou les rayons X : les gaz de la haute atmosphère, l'ionosphère, ionisés par le rayonnement solaire, participent à la formation de couches réfléchissant les ondes radio sur ondes courtes.
- un faisceau de particules :
Les collisions entre les molécules gazeuses de l'ionosphère avec les particules solaires de haute énergie peuvent générer des aurores polaires.

Réf. : http://fr.wikipedia.org/wiki/Potentiel_d'ionisation

2. Quel est le nom du seul instrument de Spectrométrie de Masse d'Ions Secondaires disponible au Laboratoire d'Analyse des Matériaux du CRP-Gabriel Lippmann qui permet une résolution spatiale inférieure à 50 nm ? (niveau 1)

Réponse : Nano SIMS 50

Les caractéristiques principales du Nanosims 50 peuvent être trouvées sur le site Internet du CRP – Gabriel Lippmann. Elles sont les suivantes :

- haute résolution latérale (~50nm en césium et ~150nm en oxygène),
- détection parallèle de cinq images ioniques distinctes provenant d'un même microvolume d'analyse et permettant une superposition parfaite des images et une mesure précise des rapports isotopiques,
- excellente transmission des ions secondaires, même à haut pouvoir séparateur en masse,

- possibilité d'observation optique de l'échantillon dans la chambre d'ionisation pour localiser les zones d'intérêt,
- compensation des charges pour les échantillons isolants.

La résolution latérale est le point fort de cet instrument essentiellement dépendant de la taille de la sonde ionique primaire. De manière routinière, la sonde possède un diamètre de 100 nm et peut atteindre des valeurs inférieures à 50 nm (Cs⁺).

Réf. : <http://www.crpgl.lu/>

3. Quel type de polluants est responsable de l'eutrophisation des eaux ? (niveau 1)

- a - les métaux lourds
- b - les nutriments azote et phosphore
- c - les pesticides organochlorés
- d - les hydrocarbures

Réponse : b

L'eutrophisation est un déséquilibre d'un écosystème aquatique dû à un excès de nutriments, qui se traduit par une croissance excessive des algues et une diminution de l'oxygène dissous. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore et l'azote.

Réf. : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>

4. La transcription est le processus par lequel : (niveau 1)

- a - l'ARN est converti en ADN
- b - l'ARN est copié à partir de l'ADN
- c - l'ARN est converti en protéines
- d - l'ADN est converti en protéines

Réponse : b

L'idée d'un flux d'information dans la biosphère a été baptisée « dogme central de la biologie moléculaire » par Francis Crick. Ce flux implique la transcription, par laquelle l'information contenue dans l'ADN est recopiée (transcrite) sous forme d'ARN en utilisant le principe de la complémentarité des bases, et la traduction, par laquelle l'information contenue dans l'ARN est traduite en chaînes linéaires d'acides aminés selon le code génétique.

Réf. : http://www.arpe.snv.jussieu.fr/coursvt/images_11/figure_1.html

5. Un technicien place un câble le long de l'équateur. Après l'installation, il remarque que les conditions d'utilisation de ce type de câble exigent que celui-ci soit placé un mètre au-dessus du sol. Si la Terre est considérée comme une sphère dont l'équateur mesure 40.000 km, de quelle longueur (au centimètre près) le câble devra-t-il être allongé pour que ce soit possible ? (niveau 1)

Réponse : 6,28 m

La mathématique est-elle une science ou une partie de la philosophie ? En tout cas, elle aide souvent à donner des réponses étonnantes à des questions simples.

Pour cette question-ci, d'une part la « petitesse » de la bonne réponse n'est pas évidente a priori, et d'autre part, il est amusant que la réponse est indépendante du rayon de la terre – elle serait la même pour un câble enroulé autour d'une pièce d'un Euro.

La seule formule qu'il faut connaître est évidemment celle qui donne la circonférence c d'un cercle en fonction de son rayon r : $c=2\pi r$. Ainsi, si r est le rayon de la terre exprimé en mètres, alors la longueur du câble le long de l'équateur est $2\pi r$ mètres.

Lorsque le technicien place le câble à un mètre au-dessus du sol, celui-ci décrit un cercle de rayon $r+1$ mètres, donc sa longueur est $2\pi(r+1)$ mètres. Par conséquent, le câble doit être allongé de $2\pi(r+1) - 2\pi r = 2\pi$ mètres, soit 6,28 mètres environ.

On constate donc bien que la valeur de r n'a aucune influence sur le résultat final !

6. Combien d'isotopes naturels stables compte l'élément étain ? (niveau 1)

Réponse : 10 isotopes naturels stables

Les 10 isotopes naturels stables de l'étain sont :

Isotope	Masse atomique relative	Abondance (%)
^{112}Sn	111,904821	0,97
^{114}Sn	113,902782	0,65
^{115}Sn	114,903346	0,34
^{116}Sn	115,901744	14,53
^{117}Sn	116,902954	7,68
^{118}Sn	117,901606	24,23
^{119}Sn	118,903309	8,59
^{120}Sn	119,902197	32,59
^{122}Sn	121,903440	4,63
^{124}Sn	123,905275	5,79

Il existe d'autres isotopes obtenus artificiellement par réactions nucléaires mais ils sont instables, c'est-à-dire que leur noyau atomique se désintègre spontanément par des réactions nucléaires.

Réf. :

- A.H. Wapstra, G. Audi, *The 1983 Atomic Mass Table*, Nuclear Physics 432, 1 (1985)
- International Commission on Atomic Weights, *Atomic Weights of the Elements – 1989*, Pure & Applied Chemistry 63 (1991).

<http://www.periodictableonline.org>

<http://elements.chimiques.free.fr>

<http://www.ktf-split.hr/periodni/fr>

7. Quel est le rapport entre le nombre d'adresses qui peuvent être représentées selon IPv6 et le nombre de celles qui peuvent être représentées en respectant IPv4 ? (niveau 1)

- a - 2^{16}
- b - 2^{32}
- c - 2^{64}
- d - 2^{96}

Réponse : d

Actuellement, la communication sur l'Internet se base (entre autres) sur le protocole IPv4 . Quand on parle d'une « adresse IP », il s'agit donc en principe d'une adresse à 32 bits (ou 4 octets).

Pour diverses raisons, notamment le manque grandissant d'adresses disponibles, IPv4 sera remplacé par IPv6 dans les prochaines années. Ce protocole prévoit des adresses de 128 bits (ou 16 octets). On passera donc de 2^{32} à 2^{128} adresses possibles, soit un gain d'un facteur 2^{96} .

Réf. : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ipv6>

8. Il a enseigné au fils d'un roi, mais cependant pas encore au Lycée. Plus tard, toujours enseignant, il a beaucoup marché. Kant a estimé que la science, dans laquelle il excellait, n'avait après lui pas fait le moindre pas. Quelle était la profession de son père ? (niveau 2)

- a - général
- b - philosophe
- c - médecin
- d - sculpteur

Réponse : c - (le père d'Aristote, Nicomaque de Stagire, était médecin)

L'énoncé de cette question donne une petite biographie du philosophe Aristote, dont les travaux sur la logique ont ultérieurement inspiré les fondements sur lesquels repose l'informatique.

Aristote est né en 384 avant Jésus-Christ et est mort en 322. Il était élève de Platon à Athènes jusqu'à la mort de ce dernier en 347. En 342, il est devenu précepteur d'Alexandre (le futur « Alexandre le Grand ») – *le fils du roi* Philippe II de Macédoine. Il n'était pas encore au Lycée. Cette information était probablement celle qui mettait le plus sur la voie de la réponse, car elle réfère à l'école philosophique fondée par Aristote à Athènes, et qui est l'origine du mot « lycée » utilisé aujourd'hui pour désigner les écoles secondaires. Cette Académie se trouvait dans un quartier appelé « Lycée », ainsi nommé d'après le dieu « Apollon Lykeios ».

L'information qui rapporte qu'Aristote a *beaucoup marché* fait référence à sa manière d'enseigner à ses élèves tout en se promenant. On appela pour cette raison les membres de son Académie les « péripatéticiens », d'après le mot grec signifiant « se promener ».

Décrire l'importance et les travaux d'Aristote en détail dépasse les ambitions de notre corrigé. Par exemple, il passe pour le fondateur de la logique comme *science* (On parle du « Syllogisme »).

Sur ce plan, plus de 2000 ans après, c'est Kant qui écrit dans la préface de la deuxième édition de son œuvre « Kritik der reinen Vernunft » : « [...]Daß die Logik diesen sicheren Gang schon von den ältesten Zeiten her gegangen sei, läßt sich daraus ersehen, daß sie seit dem Aristoteles keinen Schritt rückwärts hat tun dürfen, wenn man ihr nicht etwa die Wegschaffung einiger entbehrlichen Subtilitäten, oder deutlichere Bestimmung des Vorgetragenen, als Verbesserungen anrechnen will, welches aber mehr zur Eleganz, als zur Sicherheit der Wissenschaft gehört. Merkwürdig ist noch an ihr, daß sie auch bis jetzt *keinen Schritt vorwärts hat tun können*, und also allem Ansehen nach geschlossen und vollendet zu sein scheint. »

Trouver la profession du père d'Aristote n'était qu'un exercice simple : Nicomaque de Stagire était le médecin d'Amyntas III de Macédoine.

Réf. : <http://www.uni-giessen.de/~gm1020/material/propaedeutikum/Logik.pdf>
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Aristote>

9. Quelle longueur « occupe » un bit lors de sa transmission dans un câble de fibre optique à 4 Gbps ? (niveau 2)

- a - entre 1 et 10 microns
- b - entre 1 et 10 dixièmes de millimètres
- c - entre 1 et 10 centimètres
- d - entre 1 et 10 mètres

Réponse : c

Dans un câble en fibre optique, la vitesse de transmission du signal est idéalement égale à la vitesse de lumière c . En pratique, les câbles ne transmettent la lumière qu'à environ les deux tiers de cette vitesse, ce qui ne change pas l'ordre de grandeur du résultat obtenu.

Le taux de transfert est de 4 Gbps, c'est-à-dire de 4 milliards de bits par seconde. Or, pendant une seconde, la lumière parcourt 300 millions de mètres (approximativement). Par conséquent, chaque bit « occupe » un espace de $(3 \cdot 10^8) / (4 \cdot 10^9) = 0,075$ m, ou encore 7,5 cm.

Réf. : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique

10. Un « fumeur noir » est : (niveau 2)

- a - une roche pyroclastique de couleur noire et de petite taille
- b - une source d'eau chaude, chargée de cendres, à jaillissement intermittent
- c - un événement hydrothermal situé près des dorsales océaniques
- d - un tube de lave

Réponse : c

Les événements hydrothermaux sont des fissures dans la croûte terrestre desquels s'échappe de l'eau chauffée par la proximité du magma. Sur les continents, on rencontre des sources chaudes, des fumerolles et des geysers. Un geyser est *une source d'eau chaude, chargée de cendres, à jaillissement intermittent* (réponse b). Les événements continentaux les plus fameux sont sans doute les geysers d'Islande et du Parc National de Yellowstone aux Etats-Unis.

Il existe des événements sous-marins que l'on appelle des *fumeurs noirs*. Ces fumeurs noirs n'ont été découverts qu'en 1977. Cela est dû au fait que ces événements sont localisés à grande profondeur le long des dorsales océaniques.

Malgré leur localisation difficile d'accès, beaucoup de fumeurs noirs ont été aujourd'hui explorés. Par rapport au reste des fonds abyssaux, les zones de fumeurs noirs sont très productives d'un point de vue biologique malgré l'absence de lumière et les températures élevées. La base des chaînes alimentaires des fumeurs noirs sont des archéobactéries chémosynthétiques qui utilisent du sulfure d'hydrogène (H_2S) comme source d'énergie. Certaines de ces bactéries vivent en symbiose avec des vers géants dont les fameux vestimentifères.

Réf. : http://fr.wikipedia.org/wiki/Mont_hydrothermal

11. Leur découverte est d'une importance considérable pour les sciences de la vie. Ils ont obtenu le prix Nobel de médecine avec un troisième collègue. La première publication de leur découverte est parue dans « Nature » en 1953. Quels sont les noms de ces deux scientifiques ? (niveau 2)

Réponse : Dr Francis Crick et Dr James (dit Jim) Watson

Francis Crick et James Watson se sont rendus célèbres en publiant, en avril 1953, un article dans la célèbre revue scientifique « Nature » décrivant pour la première fois la structure en double hélice de la molécule d'ADN (acide désoxyribonucléique).

En 1962, Crick, Watson et le biophysicien Maurice Wilkins, qui a montré par cristallographie aux rayons X que l'ADN était composé de structures en spirale se répétant, ont reçu le Prix Nobel de médecine.

Francis Crick est mort durant l'été 2004.

Réf. : <http://www.nature.com/genomics/human/watson-crick/>

12. Un ion initialement au repos Al^{3+} de masse 26.980 uma est soumis à un champ électrostatique uniforme créé par une différence de potentiel de 3300 V. Quelle est (au km/s près) la vitesse de cet ion à la sortie du champ ? (niveau 3)

Réponse : $v = 266 \text{ km/s}$ (selon les arrondis, on trouve environ 266195 m/s)

Le théorème de l'énergie cinétique, appliqué à une particule chargée électriquement et soumise au champ électrostatique, indique que l'énergie cinétique E_c de cette particule est égale au travail W_F de la force électrostatique (les autres forces étant ici négligeables) :

$$E_c = W_F$$

ou encore

$$\frac{1}{2} mv^2 = qU$$

où m est la masse de la particule, v sa vitesse, q sa charge, et U est la différence de potentiel à laquelle la particule est soumise. On en déduit l'expression de la vitesse :

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

avec $q = 3$ charges élémentaires $= 3 \cdot 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,
 $m = 26,980 \text{ uma} = 26,960 \cdot 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$,
 $U = 3300 \text{ V}$.

On trouve alors

$$v^2 = (2 \cdot 3 \cdot 1,60219 \cdot 10^{-19} \cdot 3300) / (26,960 \cdot 1,66057 \cdot 10^{-27}) \text{ (m/s)}^2,$$
$$v^2 = 70,86 \cdot 10^9 \text{ (m/s)}^2.$$

D'où $v = 266,2 \text{ km/s}$.

Réf.: [http://perso.wanadoo.fr/physique.chimie/Cours_de_physique/Physique 11 PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP ELECTRIQUE.htm](http://perso.wanadoo.fr/physique.chimie/Cours_de_physique/Physique_11_PARTICULE_CHARGEE_DANS_UN_CHAMP_ELECTRIQUE.htm)
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie de masse](http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_masse)

Questionnaire 2

1. Quels sont les organismes chlorophylliens qui permettent d'aider à diagnostiquer la mort par noyade dans un plan d'eau naturel ? (niveau 1)

Réponse : les diatomées

Les diatomées sont des algues microscopiques qui vivent dans l'eau, principalement à la surface des substrats durs tels que les pierres, les végétaux immergés, etc. La communauté de diatomées (= ensemble des différentes espèces) qui est rencontrée en un endroit donné est fonction de la qualité de l'eau, de la vitesse du courant, du couvert végétal, etc. Lorsqu'une personne se noie, elle avale une quantité non négligeable d'eau ainsi que, si la noyade a lieu dans un plan d'eau naturel, les diatomées qui s'y trouvent.

Les diatomées gagnent alors le système sanguin, les poumons, la moelle, etc. L'étude de la présence de ces algues dans ces différents tissus permet d'affiner le diagnostic. Elle permet également de déterminer s'il y a eu ou non déplacement du corps.

L'étude seule des diatomées ne suffit pas à caractériser la mort par noyade. Toutefois, cette technique se révèle efficace pour détailler certaines circonstances de la noyade.

Réf. : <http://www.thonon.inra.fr/phyto/druart/diatomees.htm>

2. Quel est l'ordre de grandeur typique de la tension d'accélération utilisée dans la technique SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) ? (niveau 1)

- a - mV
- b - V
- c - kV
- d - MV

Réponse : c

L'analyse ionique par émission secondaire (SIMS) est l'une des méthodes d'analyse des matériaux fondées sur le bombardement par des ions. Elle peut être qualifiée de méthode de microanalyse au sens où le volume analysé instantanément possède une de ses dimensions bien inférieure au micromètre. Elle se base sur une irradiation par des ions lourds (éventuellement par des particules neutres monoatomiques) de moyenne et basse énergie (1 à 50 keV). L'interaction du faisceau incident avec le matériau se traduit par une cascade de collisions, conduisant à la fois à l'implantation des particules primaires et à la pulvérisation de la cible sous forme de particules, chargées (ions secondaires) ou non. Ce sont ces particules chargées (ionisées au cours du processus de pulvérisation ou parfois obtenues par post-ionisation des particules neutres pulvérisées) qui sont filtrées en masse (éventuellement en énergie) pour accéder à la composition de l'échantillon cible. Les performances générales propres de l'analyse ionique par émission secondaire des matériaux solides peuvent se résumer comme suit :

- une très grande sensibilité (de très faibles limites de détection) pour la quasi-totalité des éléments de la classification périodique (analyse de traces) ;
- l'accès à l'analyse isotopique élémentaire (emploi de traceurs isotopiques) ;
- la détermination, en régime dynamique, de profils de concentration à partir de la surface sur des profondeurs très réduites (analyse de couches minces ou de profils de diffusion) ;

- la possibilité, en régime statique, d'accéder à la composition, éventuellement moléculaire, des premières couches atomiques ou moléculaires ;
- la localisation spatiale avec une bonne résolution, latérale et en profondeur, des éléments, ou, dans certains cas, des espèces chimiques ;
- l'utilisation des effets chimiques « de matrice » pour identifier, éventuellement quantifier, des composés chimiques.

Une description plus détaillée des techniques SIMS peut être trouvée sur les sites du CRP – Gabriel Lippmann, des constructeurs d'instruments, et d'autres encore. On y trouve aisément l'information demandée, à savoir que les tensions d'accélération utilisées sont généralement de quelques milliers de V. Bien que cela ne soit pas explicitement indiqué dans l'énoncé, la question 12 du premier questionnaire provenait d'un exemple bien concret en spectroscopie de masse. La tension indiquée (3300 V) suggérerait donc la bonne réponse !

Réf. : <http://www.techniques-ingenieur.fr/>

3. Quel type de cellule fait partie du xylème ? (niveau 1)

- a - les cellules criblées
- b - les cellules épidermiques
- c - les cellules compagnes
- d - les trachéides

Réponse : d

Le xylème, responsable du transport de la sève brute chez les végétaux supérieurs, est constitué de deux types de cellules, les éléments de vaisseaux et les trachéides. Les trachéides sont des cellules allongées fusiformes. Les éléments de vaisseaux sont plus courts et plus larges que les trachéides et leurs extrémités sont ouvertes.

La maturation des deux types de cellules de xylème implique la mort des cellules. Donc, les cellules du xylème n'ont ni membrane ni organite, mais sont composées d'épaisses parois cellulaires lignifiées qui forment des tubes creux à travers lesquels l'eau peut circuler avec une résistance relativement faible.

Le phloème est constitué de deux types de cellules, les cellules criblées et les cellules compagnes. Ces deux types de cellules sont vivantes et sont spécialisées dans le transport de la sève élaborée. Les cellules épidermiques forment la couche cellulaire la plus externe des tissus végétaux.

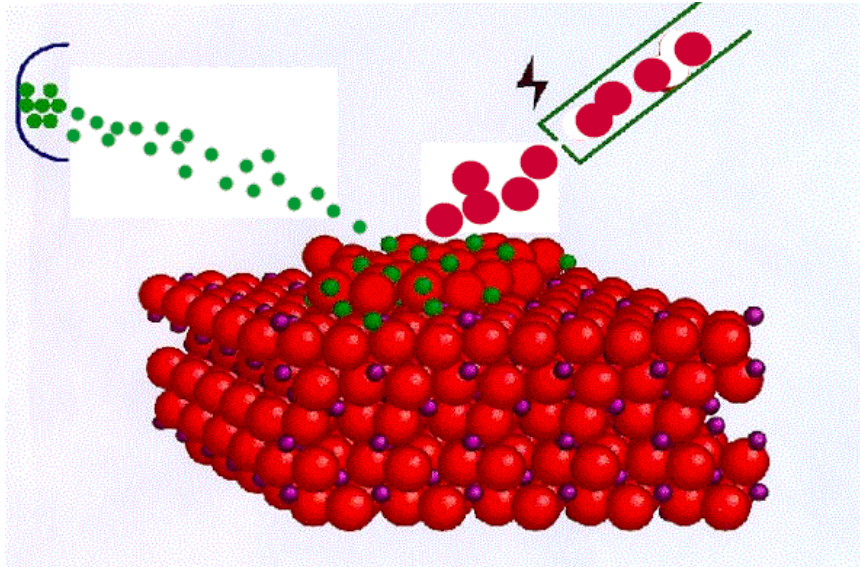
Réf. : <http://www.ustboniface.mb.ca/cusb/abernier/Biologie/Taxinomie/Anatomie-veg.html>

4. Avec quelle technique élabore-t-on des couches minces par épitaxie à partir de jets moléculaires ? (niveau 1)

- a - MBE
- b - CVD
- c - PVD
- d - plasma desorption

Réponse : MBE (molecular beam epitaxy)

La technique de l'épitaxie par jets moléculaires, ou MBE en anglais (Molecular Beam Epitaxy), a été développée initialement pour la croissance cristalline des semi-conducteurs. Il s'agit d'une technologie ultravide ($P < 10^{-6}$ mbar) basée sur l'évaporation séquentielle des constituants élémentaires placés dans des cellules à effusion de Knudsen. Un des avantages de cette méthode repose sur le contrôle de la croissance en temps réel grâce à l'utilisation in situ de la diffraction d'électrons de haute énergie en incidence rasante ou RHEED.



Réf. : http://www-drecam cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_visu.php?id_ast=192
<http://www.eudil.fr/eudil/tec35/ejm/introduc.htm>

5. Le 12 août 1981 est une date importante pour lui. Ce jour-là, un communiqué de presse annonce que sa société a été choisie pour livrer un important composant d'un produit qui a grandement influencé le travail de nombreux scientifiques, tout en bénéficiant lui-même du travail de certains d'entre eux. Ce qui avait commencé au Nouveau Mexique s'est poursuivi dans l'état de Washington, et a produit une fortune colossale qui a permis récemment à certains de voler dans l'espace. Comment s'appelle-t-il ? (niveau 2)

Réponse : Paul Allen, co-fondateur de Microsoft

Pour un chercheur, il est évidemment utile de connaître les racines de la science. Mais il est également important de s'informer des découvertes les plus récentes. Dans cet esprit, l'information à la fin de la question concernant *un vol récent dans l'espace de certains* faisait référence aux efforts récents en vue d'effectuer un vol privé dans l'espace – événement qui a été couvert par tous les médias pendant l'automne 2004. Et c'est bien cette information qui détermine Paul Allen comme réponse correcte – et pas Bill Gates –, alors que les autres indices sont valables pour les deux hommes.

Le 12 août 1982 est la date du communiqué de presse d'IBM qui annonce l'« IBM PC », et c'est l'entreprise Microsoft qui en a livré le système d'exploitation. La firme Microsoft a été fondée à Albuquerque, New Mexico en 1975 par Bill Gates et Paul Allen, et est basée aujourd'hui à Redmond (Seattle), Washington.

Paul Allen, détenteur d'une fortune colossale, a sponsorisé l'équipe du « Space Ship One », qui vient de gagner le prix *Ansari X* récompensant le premier vol privé dans l'espace.

Réf. : <http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft>
<http://www.xprize.org/>
<http://www.scaled.com/projects/tierone/>
<http://www.ibm.com/ibm/history/documents/pdf/pcpress.pdf>

6. Quelle famille de polluants organiques est issue de la combustion de composés organiques ? (niveau 2)

- a - les PCB
- b - les CFC
- c - les HAP
- d - les PVC

Réponse : c

Les HAP, ou Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, sont des polluants générés par la combustion de molécules organiques (combustion automobile, incinération, fumée de cigarette, etc.). Ce sont des polluants relativement persistants, qui peuvent être présents dans l'atmosphère, les eaux ou encore les sols.

Comme leur nom l'indique, les HAP sont uniquement constitués de carbone et d'hydrogène. Ils comportent un ou plusieurs noyau(x) benzénique(s). Il existe de très nombreux HAP, de toxicité variable. Certains sont cancérigènes et sont donc particulièrement surveillés.

Les PCB (PolyChloroBiphényles) sont des molécules chlorées très polluantes, utilisées dans les transformateurs électriques et les appareils hydrauliques. Les CFC (ChloroFluoroCarbones) sont principalement utilisés comme gaz propulseurs dans les aérosols. Le PVC (polychlorure de vinyle) est un polymère plastique très répandu.

Réf. : <http://www.atmo-poitou-charentes.org/polluants/hydrocarbures.lasso>

7. Un biologiste veut expliquer à ses enfants, prénommés Antoine, Guy et Ursule et tous trois amateurs d'informatique, que la vie a développé des systèmes de transport d'information longtemps avant l'apparition des CDs, de l'ADSL et du WWW. Au cours de ses explications, il parle de $C_5H_{11}NO_2S$ et, comme il aime les explications vivantes, il place ses trois fils en file indienne. Dans quel ordre ? (niveau 2)

- a - Antoine, Guy, Ursule
- b - Guy, Antoine, Ursule
- c - Antoine, Ursule, Guy
- d - Ursule, Guy, Antoine

Réponse : c – (AUG est le codage ARN de la méthionine, dont la formule est $C_5H_{11}NO_2S$)

En biologie, un flux d'information existe. Il implique la transcription, par laquelle l'information contenue dans l'ADN est copiée (transcrite) sous forme d'ARN en utilisant le principe de la complémentarité des bases, et la traduction, par laquelle l'information contenue dans l'ARN est traduite en chaînes linéaires d'acides aminés selon le code génétique. Vingt acides aminés différents constituent les éléments des chaînes protéiques. Les protéines exécutent le programme dont les gènes commandent le déroulement.

L'ARN contient les ribonucléotides d'adénine (A), de cytosine (C), de guanine (G) et d'uracile (U). Comme un ensemble de 4 nucléotides ne suffit pas à spécifier l'enchaînement des 20 acides aminés potentiels, une combinaison de nucléotides est utilisée. Ainsi, l'ARN transmet l'information de l'ADN sous forme d'un code génétique à trois lettres. Il existe donc 64 codons potentiels.

Le codon **AUG**, code pour la méthionine dont la formule – $C_5H_{11}NO_2S$ – était donnée dans l'énoncé, est un acide aminé hydrophobe.

Réf. : <http://www.biokurs.de/skripten/13/bs13-5.htm>

8. Un défoliant, utilisé par l'armée américaine lors de la guerre du Vietnam, tire son nom de la bande orange qui marquait les fûts dans lesquels il était transporté. Quels sont les deux pesticides qui le composent ? (niveau 2)

- a - l'atrazine et le glyphosate
- b - le 2,4-D et le 2,4,5-T
- c - l'isoproturon et le DDT
- d - le 2,4-D et le DDT

Réponse : b

Nommé « agent orange », ce défoliant était principalement constitué de 2,4-D (acide 2,4-dichlorophenoxyacétique) et de 2,4,5-T (acide 2,4,5-trichlorophenoxyacétique), sous forme d'esters. Ces deux pesticides étaient mélangés à du carburant diesel ou du kérosène avant d'être pulvérisés par avion. Malheureusement, ce produit était également contaminé par une dioxine très toxique, la TCDD (2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine).

L'atrazine, le glyphosate (Roundup®) et l'isoproturon sont des herbicides beaucoup moins polluants, qui sont parmi les plus utilisés actuellement. Le DDT (Dichloro-Diphényl-Trichloroéthane) est un pesticide très polluant, aujourd'hui interdit dans de nombreux pays.

Réf. : <http://www.lewispublishing.com/orange.htm>

9. Dans un spectre de masse classique, à quelle valeur, exprimée en m/z et arrondie au dixième le plus proche, apparaît l'ion sodium Na^{2+} ? (niveau 2)

Réponse : 11,5 m/z

La spectrométrie de masse (MS) est une technique de détection extrêmement sensible qui permet de déterminer des structures moléculaires. Le spectromètre de masse est souvent couplé à un système de chromatographie en phase gazeuse (méthode séparative). Cette association permet d'étudier des mélanges complexes à l'état de traces (quelques nanogrammes de mélange).

La spectrométrie de masse analyse la matière sous forme ionisée. Il existe plusieurs méthodes d'ionisation donnant naissance à différentes techniques d'analyses (Impact électronique EI-MS, Ionisation chimique CI-MS, désorption de champ FD-MS, Ionisation par plasma chaud ICP-MS, bombardement par atomes rapides FAB ou ions accélérés SIMS, ionisation par désorption plasma PDMS, ionisation par ablation laser LAMS, ionisation par désorption laser assistée par matrice MALDI). Chacune de ces techniques permet l'analyse de molécules ou de matériaux différents dans les états solides, liquides ou gazeux selon les processus mis en jeu.

Dans toutes ces techniques, les ions produits sont séparés en fonction de leur rapport masse/charge (m/z ou m/q selon les auteurs) par l'application d'un champ magnétique et/ou électrique, puis collectés et comptés par un détecteur. Au total, un spectromètre de masse se décompose donc en trois parties distinctes :

- la source d'ions où a lieu l'ionisation des molécules et la fragmentation des ions ;
- le système dispersif (ou analyseur de masse) qui assure la séparation des ions suivant leur rapport masse/charge ;
- le détecteur qui mesure l'abondance relative (comptage) de chaque ion.

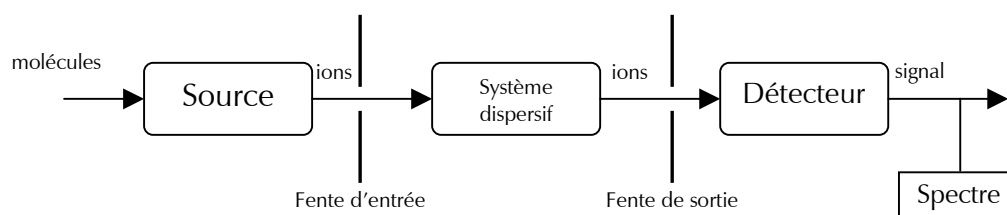


Schéma de principe d'un spectromètre de masse

Ainsi, un ion sodium de Na^+ portant une seule charge apparaît dans le spectre à la masse apparente 23 m/z (le sodium est mono-isotopique ^{23}Na). Un ion Na^{2+} portant deux charges apparaît donc dans le spectre à la position 23/2 soit 11,5 m/z.

Réf. : <http://www.culture.gouv.fr/culture/conservation/fr/methodes/spectrom.htm>

10. Nathalie veut communiquer à Danièle un nombre important, aussi décide-t-elle de chiffrer ce nombre à l'aide du cryptosystème RSA. Elle lui fait donc parvenir le « message » chiffré 7108707851160700458.

La clef publique de Danièle est :

- **module : $N = 17401143680338538557$**
- **exposant : $e = 65537$**

Ces nombres sont évidemment trop petits pour assurer une réelle confidentialité ! Retrouvez donc l'exposant privé d de Danièle, ainsi que le nombre chiffré par Nathalie. (niveau 3)

Réponse : $d = 99834139809107233$ et le nombre est 864258521679854265

Le cryptosystème RSA est un exemple de cryptosystème asymétrique, en ce sens que des clefs différentes sont utilisées pour le chiffrement et le déchiffrement d'un message. Voyons en détail son principe de fonctionnement. Nous aurons besoin d'un tout petit peu de vocabulaire, que nous présentons rapidement. On écrit « $a = b \bmod c$ », pour indiquer que a est le reste de la division entière de b par c . Par exemple, $2 = 17 \bmod 5$, car lorsqu'on effectue la division entière de 17 par 5, le reste est 2 (puisque $17 = 5 \cdot 3 + 2$).

Tout d'abord, Danièle doit choisir deux nombres premiers p et q , dont elle calcule le produit $N = p \cdot q$. Elle calcule également le produit $\phi(N) = (p-1) \cdot (q-1)$, puis choisit un exposant privé d , qui est un nombre naturel inférieur à $\phi(N)$. Elle détermine ensuite l'exposant public correspondant e , qui est l'unique nombre naturel inférieur à $\phi(N)$ tel que $1 = e \cdot d \bmod \phi(N)$. La clef publique de Danièle est alors formée des deux nombres N et e , qui permettront à quiconque de chiffrer un message à l'intention de Danièle. La clef privée de Danièle est l'exposant privé d , et seule la connaissance de ce dernier permet de déchiffrer un message qui a été chiffré à l'aide de la clef publique correspondante.

Pour chiffrer un message M à l'aide de la clef publique de Danièle, Nathalie doit calculer le message chiffré

$$C = M^e \bmod N.$$

Ainsi, Nathalie peut-elle envoyer sans crainte le message C à Danièle, car sans information supplémentaire il est impossible à qui que ce soit de retrouver M à partir de C . Nathalie elle-même en serait d'ailleurs incapable si elle venait à oublier la teneur du message qu'elle avait envoyé ! Cependant, Danièle dispose d'une information supplémentaire, l'exposant privé d , qui lui permet de retrouver M très facilement à partir de C . En effet, il lui suffit de calculer

$$M = C^d \bmod N.$$

La sécurité du système repose sur le fait qu'il est facile pour Danièle de calculer N et e à partir de p , q et d , mais qu'il est pratiquement impossible (si ces trois nombres sont bien choisis) d'inverser le processus et de retrouver l'exposant privé d à partir de la clef publique e et N . En effet, si Danièle peut facilement calculer N en multipliant p par q , il est beaucoup plus difficile de factoriser N pour retrouver les nombres premiers p et q qui le composent.

Dans l'exemple ci-dessus, cependant, les nombres p et q sont trop petits pour assurer une réelle confidentialité : il est possible de factoriser N dans un temps raisonnable (avec l'aide d'un ordinateur). Ainsi on trouve que

$$N = 4073496071 \cdot 4271795867,$$

d'où on déduit que

$$\phi(N) = 17401143671993246620 \text{ et } d = 99834139809107233,$$

valeur avec laquelle on calcule que le nombre de Nathalie est

$$M = 864258521679854265.$$

Tous ces calculs se programment aisément à condition de choisir un langage de programmation capable de traiter des nombres aussi grands (64 bits). Alternativement, il était possible de télécharger un des nombreux logiciels de démonstration RSA disponibles sur le Web, et de l'utiliser pour effectuer les calculs. Par exemple, voir <http://www.cryptool.de>.

Réf. : http://www.devhood.com/tutorials/tutorial_details.aspx?tutorial_id=544
http://fr.wikipedia.org/wiki/Rivest_Shamir_Adleman

11. Suite à sa participation à un concours électronique, un élève luxembourgeois s'intéresse au fonctionnement des différents moteurs de recherche Internet. Comme les requêtes qu'il soumet à ces moteurs de recherche lui fournissent souvent des liens vers des pages qu'il trouve inutiles, il décide d'inventer quelques paramètres qui lui permettront de comparer leurs performances.

Tout d'abord, il décrète qu'un document est « pertinent » par rapport à sa requête si ce document contient des informations qu'il juge utiles. Sinon, le document est « non pertinent ». Ensuite, il constate que chaque réponse à une de ses requêtes se compose de liens vers des documents pertinents (et il appelle p le nombre de tels liens) et de liens vers des documents non pertinents (et il appelle n le nombre de tels liens). Enfin, il réalise que la réponse qu'il reçoit à sa requête ne contient pas forcément les liens vers la totalité des documents pertinents disponibles dans la base de donnée derrière le moteur de recherche. Il appelle t le nombre total de tels documents pertinents disponibles dans la base de donnée.

Il définit alors deux critères de comparaison des moteurs de recherche :

- la complétude $x = p / t$,
- la concentration $y = p / (p+n)$.

Alors qu'il fouille un peu la littérature existante, l'élève a la surprise de constater que, non seulement ses deux critères avaient déjà été définis, mais qu'en plus ils portent en fait d'autres noms. Quels sont les noms anglais des deux critères ? (niveau 3)

Réponse : « Recall » (pour x) et « Precision » (pour y)

Pour les participants d'e-quizz, les moteurs de recherche sur Internet ont très probablement été une importante source d'information. En fait, le stockage électronique de documents, et la recherche d'information parmi ceux-ci, est un problème antérieur au Web.

Au niveau de la recherche dans les systèmes de documents électroniques (comme par exemple dans les bibliothèques électroniques, où plus largement sur le WWW), on parle d'« Information retrieval systems ». Il y a toute une théorie scientifique pour décrire ces systèmes et pour déterminer quels algorithmes utiliser ou comment améliorer leur convivialité.

Notre question concerne deux paramètres utilisés pour évaluer un tel système de recherche. La principale difficulté était de formuler une requête dont les réponses mettent sur la piste du concept d'« information retrieval », puisqu'avec ces mots, on peut trouver beaucoup d'informations sur le sujet – dont la plupart sont disponibles en anglais.

Les paramètres cherchés étaient « recall » et « precision » – dont les définitions sont données dans l'énoncé. En fait, ces paramètres permettent de mettre en évidence une problématique qui se pose aux moteurs de recherche d'Internet et à ses utilisateurs : la requête nous donne-t-elle assez

d'informations utiles par rapport à toutes les informations pertinentes qui se trouvent dans la base et n'y a-t-il pas trop d'informations inutiles parmi les réponses obtenues ?

Définition des notions de « recall » et « precision » d'une requête à l'aide d'un tableau

<i>documents</i>	<i>trouvés</i>	<i>non trouvés</i>	<i>Total</i>
<i>pertinents</i>	p	$(t-p)$	t
<i>non-pertinents</i>	n		
<i>Total</i>	$n+p$		
<i>recall</i>	p/t		
<i>precision</i>	$p/(n+p)$		

Notons que ces paramètres deviennent vite fort théoriques lorsque le nombre de documents concernés est important. En effet, l'utilisateur d'un moteur de recherche ne consulte généralement que les quelques premières réponses fournies, alors que le moteur lui en suggère parfois plusieurs millions ! On pourrait donc considérer des notions de « recall » et de « precision » pratiques, c'est-à-dire qui ne tiennent compte que des quelques premières dizaines de réponse proposées par le moteur de recherche.

Dans ce contexte, l'effort développé par de nombreuses entreprises pour positionner leurs sites commerciaux en tête des réponses fournies à des requêtes classiques risque de diminuer la « precision » pratique de ces requêtes.

On se rend également compte immédiatement que pour calculer la valeur du « recall » d'une requête, il est en principe nécessaire de connaître le nombre total de documents pertinents par rapport à cette requête dans la base de documents – ce qui n'est généralement pas possible en pratique. De plus, la définition ne porte que sur une seule requête, ce qui ne permet pas une comparaison très complète des différents moteurs. Cependant, il existe des diagrammes precision-recall qui regroupent les résultats en fonction de plusieurs requêtes standardisées, et constituent donc un critère de comparaison entre algorithmes utilisés par les moteurs de recherche.

Réf. : http://en.wikipedia.org/wiki/Information_retrieval
<http://www.dcs.gla.ac.uk/Keith/pdf/Chapter7.pdf>

(Le dernier lien donne une explication approfondie des paramètres cherchés et d'autres concepts.)

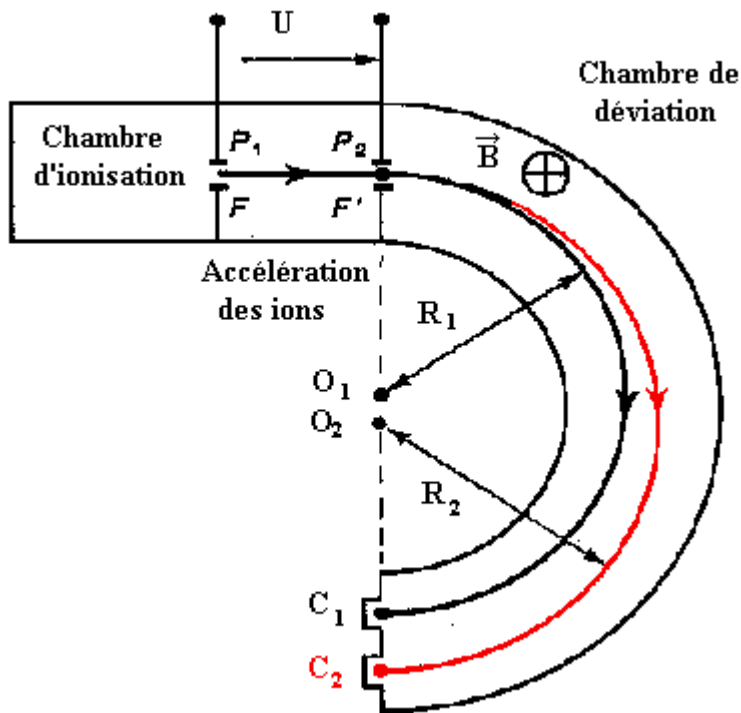
12. L'opérateur d'un spectromètre de masse veut programmer son spectromètre afin d'analyser les ions H^+ , C^+ , $^{56}Fe^+$ et Cs^+ . Sachant que les ions entrent dans son analyseur à secteur magnétique avec la même énergie cinétique de 4.5 keV et qu'une trajectoire circulaire de rayon 22.0 cm est nécessaire à leur détection, quelles sont les valeurs du champ magnétique qu'il doit utiliser pour analyser successivement ces quatre ions ?

(niveau 3)

- a - 0.4 mT, 5.1 mT, 23.7 mT, et 56.4 mT
- b - 0.1 mT, 5.7 mT, 123.7 mT et 698.6 mT
- c - 44.1 mT, 152.1 mT, 328.3 mT et 506.1 mT
- d - 60.6 mT, 209.0 mT, 451.3 mT et 695.6 mT

Réponse : c

Le schéma de principe d'un spectromètre de masse est fourni au corrigé de la question 9 de ce questionnaire. Nous donnons ici un diagramme qui permet de se faire une idée plus précise de son fonctionnement. A la sortie de la chambre d'ionisation, les ions sont accélérés à l'aide d'un champ électrostatique uniforme (cf. Question 12 du questionnaire 1). Ensuite, ils entrent dans l'analyseur à secteur magnétique (la chambre de déviation), où ils sont soumis à un champ magnétique uniforme. Sous l'action de ce champ magnétique, ils adoptent une trajectoire circulaire, dont le rayon varie (notamment) en fonction de l'intensité du champ.

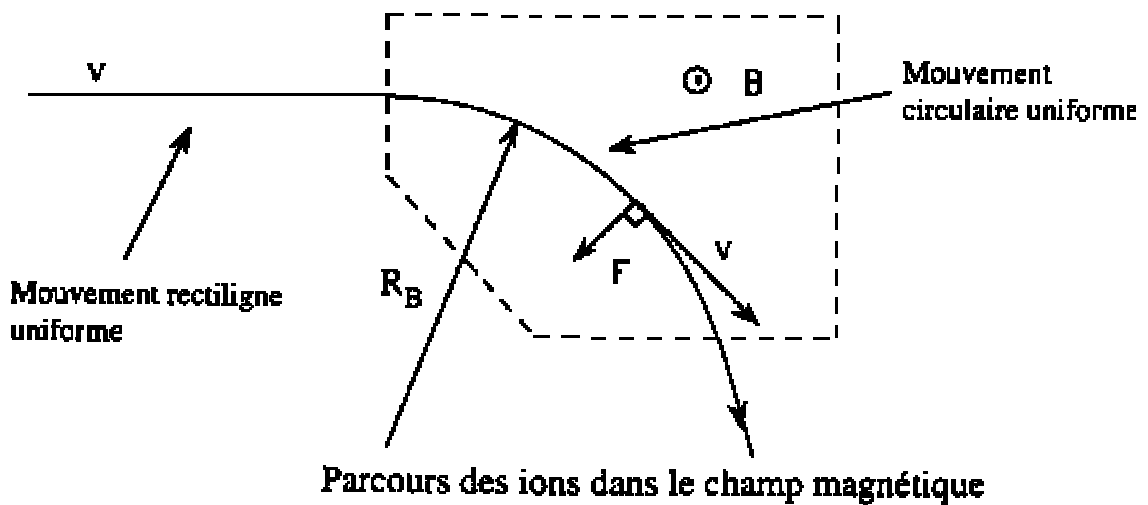


L'énergie cinétique acquise par les ions après leur accélération est, comme nous l'avons déjà vu à la question 12 du premier questionnaire, égale au travail de la force électrostatique, i.e.

$$\frac{1}{2} mv^2 = E_c = qU \quad (1),$$

où m est la masse de la particule, v sa vitesse, q sa charge, et U est la différence de potentiel à laquelle la particule est soumise.

Tous les ions de même charge, quelle que soit leur masse, possèdent donc la même énergie cinétique E_c à la sortie du champ d'accélération. Comme ces ions possèdent des masses différentes et une énergie cinétique identique, ils ont donc des vitesses différentes. La déflexion magnétique est le moyen le plus utilisé pour les séparer. Il existe d'autres analyseurs de masse : quadripôle, trappe ionique, temps de vol, ...



Dans le champ magnétique \mathbf{B} de l'instrument, les ions sont soumis à la force de Lorentz d'intensité

$$F = qvB.$$

Cette force est constante et constamment perpendiculaire à la trajectoire ; c'est donc la force centripète d'un mouvement circulaire uniforme de rayon R_B , d'intensité égale à mv^2/R_B . Dès lors,

$$mv^2/R_B = qvB \quad (2).$$

Des équations (1) et (2), on en déduit que

$$2mE_c = m^2v^2 = q^2B^2R_B^2,$$

d'où on obtient finalement que
$$B = \frac{\sqrt{2mE_c}}{qR_B} = \frac{\sqrt{2U}}{R_B} \cdot \sqrt{\frac{m}{q}}.$$

Le rayon R_B étant constant, on constate que pour séparer les ions selon leur rapport masse/charge, il suffit de faire varier le champ magnétique B tout en gardant constant le potentiel d'accélération U , donc l'énergie cinétique E_c . On obtient ainsi un spectromètre de masse à déflexion magnétique et simple focalisation.

Dans le cas qui nous occupe, nous savons que $R_B = 0,22$ m, que $E_c = 4500$ eV et que tous les ions portent une seule charge élémentaire. Si la masse m est exprimée en uma, alors on trouve que l'intensité B du champ magnétique, exprimée en tesla, vaut

$$B = 0,0439 \cdot m^{1/2} \text{ T}.$$

Pour les ions H^+ , C^+ , $^{56}Fe^+$ et Cs^+ on obtient les valeurs suivantes pour B :

	H^+	C^+	$^{56}Fe^+$	Cs^+
Masse atomique	1.0078 uma	12.0000 uma	55.9349 uma	132.9054 uma
B en mT	44.07	152.1	328.3	506.1

Ce qui correspond aux valeurs de la proposition c.

Rappel : L'unité internationale (MKS) permettant de quantifier l'intensité du champ magnétique est le tesla (T). Cependant de nombreux physiciens emploient encore le gauss (G) qui appartient au système C.G.S. d'unités. Un champ magnétique de 1G est 10.000 fois moins intense qu'un champ de 1T. Le champ magnétique terrestre est un bon repère pour avoir une idée de l'intensité des champs magnétiques, puisqu'il vaut environ 0,5G. Un champ de 1T est donc 20.000 fois plus intense que le champ magnétique terrestre.

$$1 \text{ tesla} = 1 \text{ kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

Ref. : <http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/CHIMIE/SPECMAS/specmas3.htm>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_masse

Questionnaire 3

1. **Un air malicieux dans le regard, ton professeur d'informatique te demande d'écrire un programme en Delphi qui permettra de vérifier si un autre programme quelconque contient une boucle infinie. Flairant le piège, tu effectues quelques recherches et tu reviens le lendemain avec le nom du chercheur anglais qui a prouvé en 1936 qu'il est impossible d'écrire un tel programme. Qui est ce chercheur ? (niveau 1)**

Réponse : Alan Turing

L'article dont il est question, « On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem », est paru dans les *Proceedings of the London Mathematical Society 1936*. Pour les participants trop pressés, il était facile de trouver la bonne réponse sans trop réfléchir en entrant les mots « boucle infinie 1936 » dans un moteur de recherche. Cette requête donne rapidement Alan Turing comme réponse correcte.

Bien entendu, le but de notre petit concours est autre. En fouillant un peu dans les nombreux documents sur Turing et sur l'informatique théorique disponibles en ligne, on peut aussi apprendre des choses intéressantes et, dans le cas présent, même fondamentales pour l'informatique.

Pour un informaticien, un risque est de développer des programmes qui contiennent une boucle infinie potentielle. Cela voudrait dire que dans certaines conditions, le programme ne se termine pas. Si cela n'est pas voulu, il s'agit d'une erreur de programmation grave. Étant donnés les dégâts potentiels d'une telle situation (penser à l'équipement technique en médecine, dans les avions, etc.), les informaticiens doivent trouver des moyens pour prévenir les fautes de ce type dans leurs programmes.

Heureusement, il existe des méthodes et des outils qui aident le programmeur à améliorer et vérifier son code. Mais l'idée d'écrire un programme général qui soit capable de déterminer si un autre programme quelconque se termine ou non n'est pas réalisable – ce que nous savons grâce à Alan Turing. D'ailleurs, ce constat ne dépend pas du langage choisi.

Le fait qu'il y ait des problèmes (comme *le problème de l'arrêt* dont il est question ici, et qui est équivalent au problème décrit dans notre question) qui ne sont *en principe* insolubles a signifié un bouleversement dans la mathématique du siècle passé. Puisque l'informatique s'occupe de la calculabilité des problèmes en utilisant des algorithmes, les résultats de Turing et d'autres théoriciens de son époque forment toujours la base théorique de l'informatique comme science.

D'ailleurs, à côté des problèmes théoriquement insolubles, il existe des problèmes dont la résolution est pratiquement impossible, parce que la mise en œuvre de toutes les solutions connues serait trop coûteuse en ressources ou en temps. Mais l'informatique s'occupe également de rechercher quand même des solutions heuristiques pour traiter ce genre de question : une approche qui fournit une solution acceptable dans 90% des cas est souvent meilleure que pas de solution du tout.

Expliquer la preuve de Turing ici demanderait de donner trop d'informations supplémentaires. Le type de la preuve développée par Turing est néanmoins courant en mathématique : supposer l'existence d'un objet mathématique (ici : un algorithme) mène à une contradiction – ce qui prouve que la supposition n'était pas correcte.

Réf. : <http://www.abelard.org/turpap2/tp2-je.asp>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Probl%C3%A8me_de_l%27arr%C3%AAt

2. Laquelle de ces affirmations est erronée ? (niveau 2)

- a - les trois méristèmes primaires de la racine sont le protoderme, le procambium et le méristème fondamental
- b - le procambium se transforme en épiderme
- c - le méristème fondamental est situé entre le procambium et le protoderme
- d - le phelloderme est un tissu protecteur localisé dans l'écorce des plantes

Réponse : b

Le protoderme est le méristème qui donne naissance à l'épiderme. Le procambium est le méristème qui donne naissance aux tissus vasculaires primaires et au cambium vasculaire. Le troisième méristème primaire, le méristème fondamental, localisé entre protoderme et procambium, produit le futur cortex et l'endoderme.

Réf. : <http://www.ustboniface.mb.ca/cusb/abernier/Biologie/Taxinomie/Anatomie-veg.html>

3. Dans les conditions normales, quelle est la forme cristalline stable du fer ? (niveau 2)

- a - cubique à face centrée
- b - cubique centré
- c - orthorhombique
- d - rhomboédrique

Réponse : b

Selon la pression et la température, un corps pur peut être gazeux, liquide ou solide. S'il est solide, il peut cristalliser de différentes manières selon la pression et la température. Par exemple, le fer peut cristalliser sous forme cubique centré (fer α) ou cubique à faces centrées (fer γ). Un solide peut aussi être amorphe. Par exemple, la silice SiO_2 peut être cristalline (quartz, cristoballite) ou amorphe (verre).

Ces différentes formes que peut prendre un corps pur (gaz, liquide, solide amorphe, solide cristallin de tel ou tel type) sont appelées phases. À l'équilibre, un corps pur ne peut être que dans une phase donnée.

On peut tracer une « carte » des phases, c'est-à-dire la phase dans laquelle est le système pour des conditions déterminées (pression, température, composition). Une telle carte est appelée diagramme de phase.

En physico-chimie, l'expression « Conditions normales de température et de pression » (abréviation CNTP) spécifie une température de 0°C (273,15 K) et une pression de 1atm (définie comme étant 101,325 kPa).

On trouve que le fer se trouve dans les conditions CNTP sous sa forme fer α et que sa structure cristalline est « cubique centré » (bcc en anglais pour body cubic centered). Une bonne illustration de cette structure cristalline est donnée par l'Atomium de Bruxelles.

Réf. : <http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Fer>
<http://www.physics.ohio-state.edu/~wilkins/group/phases/>
<http://www.atomium.be>

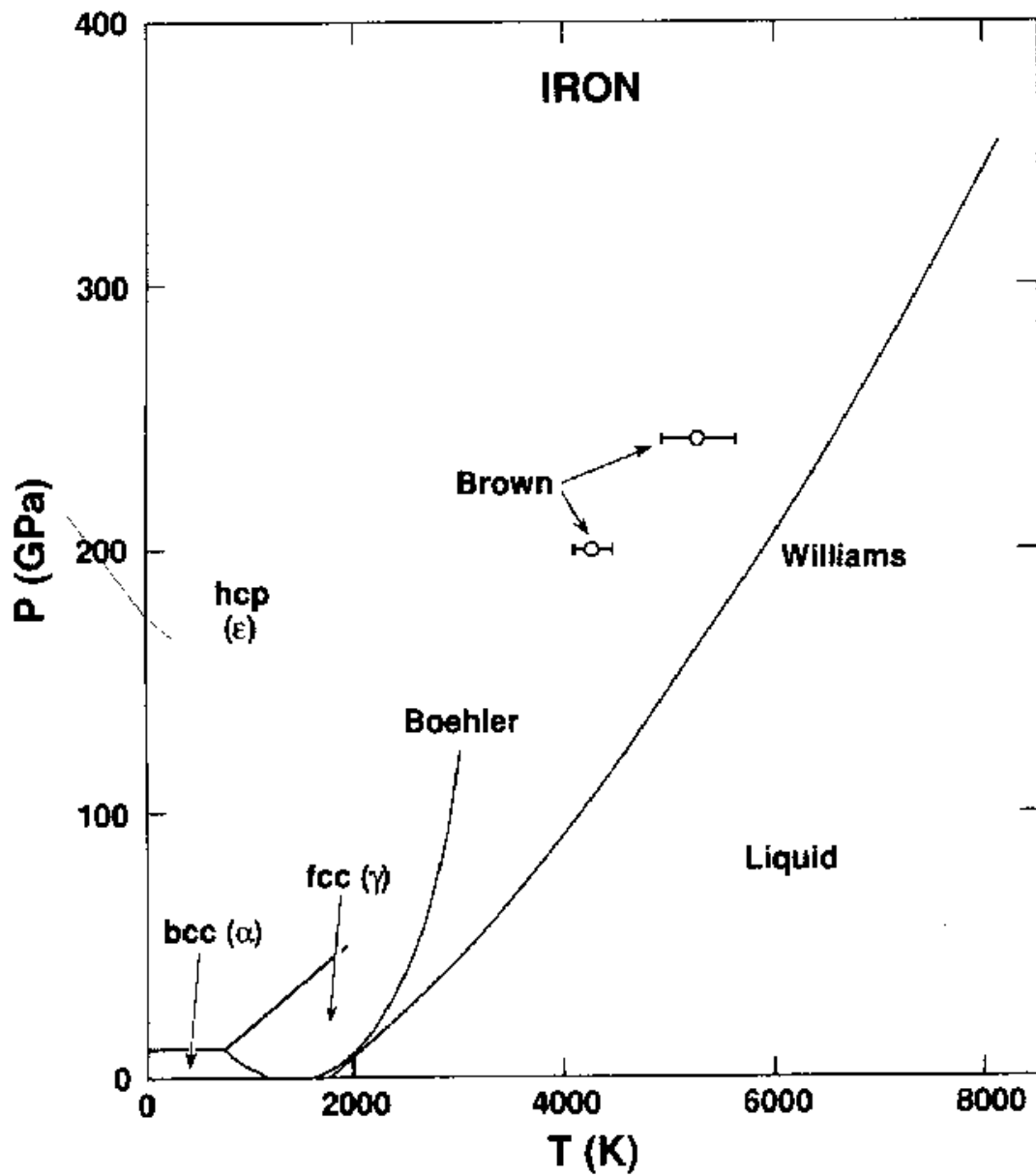


Diagramme de phase du fer pur

4. Un chercheur luxembourgeois s'intéresse à l'expansion de la ville de Luxembourg pendant les dernières décennies. Par hasard, il apprend d'un collègue américain qu'il existe une carte de la ville, publiée en 1962, dans une grande bibliothèque américaine située à Washington. D'après cette bibliothèque, la carte a un format de 56x65 cm. Sur cette carte, que trouve-t-on tout en haut directement à gauche de la lettre F ? (niveau 2)
- a - une statue
 - b - un pont
 - c - une rivière
 - d - un bâtiment

Réponse : d

Des siècles durant, les bibliothèques ont constitué la plus importante source d'informations pour le travail des scientifiques. Elles conservent aujourd'hui encore un rôle prépondérant. L'accès à l'immense savoir qu'elles stockent s'est beaucoup simplifié grâce aux technologies modernes.

Mais il faut faire attention : les moteurs de recherche Internet connus comme « Google », « Yahoo » et d'autres n'ont pas remplacé les bibliothèques. En fait, bien que les algorithmes et technologies utilisés par ces moteurs soient impressionnants et intelligents, les moteurs de recherche restent « aveugles » même pour des grandes parties de l'Internet – pour ne pas parler des informations indisponibles sous forme électronique.

C'est parce que leurs « robots », qui collectent les informations, ne suivent que les liens sur les pages web qu'ils trouvent. Mais ces robots ne savent pas, par exemple, comment utiliser le catalogue en ligne interactif de la « Library of Congress » (LOC) à Washington.

C'était bien elle, la grande bibliothèque américaine en question – une des plus grandes bibliothèques du monde. Parmi les millions de documents qui y sont disponibles se trouve la carte cherchée. Le catalogue de la bibliothèque disponible en ligne conduit au plan de la ville par les mots clés suivants : « Luxembourg » et « 1962 ». La carte est le plan de la ville de Luxembourg d'Hermann Bollmann. Malheureusement, la carte n'est pas disponible en ligne depuis la LOC.

Au lieu de se rendre à Washington, il était recommandé de continuer alors la recherche en utilisant un moteur de recherche sur Internet. Avec les informations du catalogue de la LOC, (« Bildstadtplan » et « Luxembourg ») la carte était facile à trouver à l'ETH de Zurich – et cette fois, avec une image qui montre le bâtiment à côté de la lettre « F ».

Comme alternative, une visite aux Archives Nationales du Luxembourg aurait été possible aussi : elles hébergent un exemplaire de la carte.

Réf. : La LOC : <http://www.loc.gov/> (« Search our catalogs »)

Les archives nationales : <http://www.an.etat.lu/>

La carte sur le site de l'ETH de Zurich : <http://www.maps.ethz.ch/Titelaufnahme1G.html>

5. Quel est l'acronyme anglophone communément utilisé pour qualifier la réaction qui est réalisée par certaines bactéries dans les boues d'épuration ou dans les sédiments marins et qui conduit à la transformation de quantités équimolaires d'ammonium et de nitrite en azote moléculaire et en eau ? (niveau 2)

Réponse : ANAMMOX

Dans les années 80 et 90, certaines observations faites dans les stations d'épuration donnèrent à penser qu'à côté des microorganismes capables de réaliser la nitrification de l'azote ammoniacal et la dénitrification des nitrates, il devait exister des microorganismes capables d'oxyder l'azote ammoniacal en azote gazeux sans apport d'oxygène. Des chercheurs hollandais et allemands ont été les premiers à identifier ces microorganismes. Il s'agit de bactéries de l'ordre des planctomycètes : *Brocadia anammoxidans* et *Kuenenia stuttgartiensis*. Malgré le fait que l'on ait identifié ces organismes, personne n'est encore parvenu à obtenir de cultures pures de ces

organismes à l'aide des méthodes traditionnelles de la microbiologie. Il est pourtant primordial d'isoler ces microorganismes qui sont très utiles dans le cadre de l'épuration des eaux.

La réaction ANAMMOX peut être représentée comme suit :



Réf. : <http://www.ias.ac.in/currsci/jun252003/1507.pdf>

6. Lors de l'introduction d'un échantillon dans le vide d'un microscope électronique, le dispositif de pompage fait descendre la pression du sas jusqu'au vide de l'instrument. Quel type de jauge peut être utilisé pour mesurer précisément la pression dans le sas entre la pression atmosphérique et un vide de 10^{-3} mbar ? (niveau 2)

- a - une jauge McLeod en verre.
- b - une jauge Penning
- c - une jauge Pirani
- d - une jauge Bayard-Alpert

Réponse : c

Les principes de mesure du vide sont nombreux, mais l'on retrouve majoritairement sur les marchés de la technologie du vide les principes suivants :

1. Les manomètres absolus

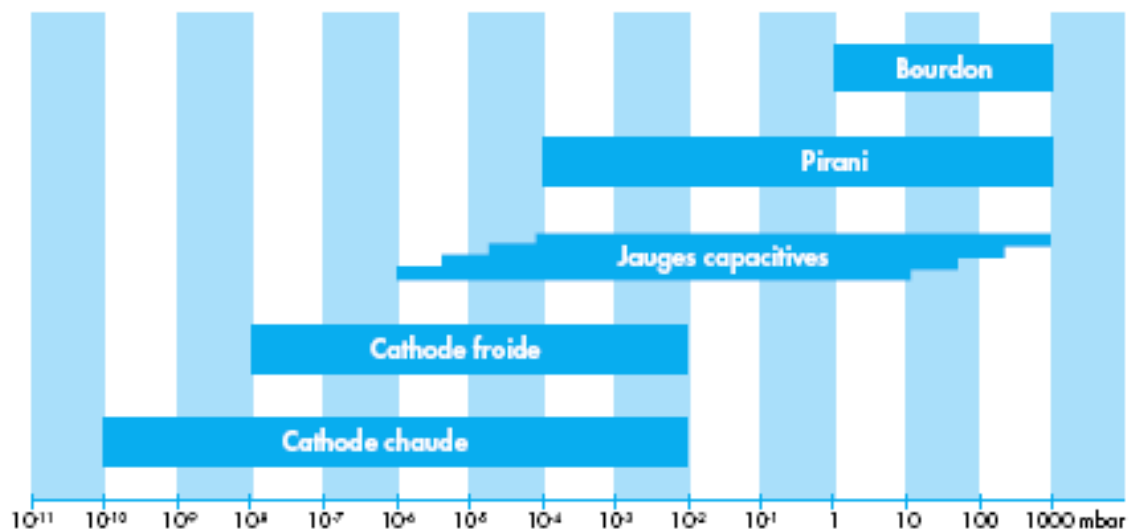
- Manomètre Bourdon
- Jauges Capacitives

2. Les manomètres partiels

- Jauge Pirani
Un filament très fin étiré dans un tube est chauffé par un courant : il forme un bras d'un pont de Wheatstone ; les molécules de gaz refroidissent d'autant plus le filament que la pression est élevée. Pour maintenir le filament à température constante, le courant injecté varie : il est donc fonction de la pression.
- Cathode froide ou jauge Penning
Le capteur, sous l'effet d'une haute tension, ionise le gaz dans lequel la pression doit être mesurée. Le courant d'ions ainsi créé est soumis à l'effet combiné d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Il est ensuite collecté par une électrode : ce courant électrique est fonction de la pression.
- Cathode chaude ou jauge Bayert Alpert
Un filament chauffé à haute température émet des électrons qui sont accélérés par une grille cylindrique. Le courant d'ions ainsi créé est collecté par un filament central qui génère un courant proportionnel à la pression.

3. Jauge Combinée

La jauge combinée associe deux principes de mesure complémentaires pour offrir une plage plus large de mesure du vide avec une seule et même jauge.



Gamme de mesure des différentes jauges à vide

Réf. : http://perso.wanadoo.fr/michel.hubin/physique/couche/chap_cm7.htm
http://www.lure.u-psud.fr/Seminaires/Anneaux/P-Rommeluer_041001.pdf

7. « C'est amusant !, s'exclame Guy. J'ai effectué la division euclidienne d'un nombre à 9 chiffres successivement par 919, puis 997, et enfin 1061, et j'ai obtenu comme restes de ces divisions respectivement 485, puis 707, et enfin 81. » Après avoir lui-même effectué quelques calculs, Thomas lui répond : « Quant à moi, j'ai aussi choisi un nombre à 9 chiffres, et les restes que j'ai obtenus sont 918, puis 996, et enfin 1060 ». Quels sont les nombres choisis par Guy et par Thomas ? (niveau 2)

Réponse : 141592653 et 972133822

Il s'agit d'une instance d'un problème dont le résultat général est connu sous le nom de « Théorème des Restes Chinois » : connaissant les restes de la division d'un même nombre par différents diviseurs, retrouver ce nombre. Remarquons d'emblée que si un tel problème possède une solution, alors il en possède une infinité. En effet, si on ajoute à une solution au problème n'importe quel multiple commun des diviseurs considérés, alors on obtient encore une solution au problème, puisque les restes des divisions seront évidemment les mêmes.

Le théorème proprement dit affirme que si les diviseurs sont premiers entre eux deux à deux, alors quels que soient les restes des divisions, il existe une unique solution comprise entre 1 et le produit de ces diviseurs. Il donne également une méthode explicite de résolution à l'aide de l'algorithme d'Euclide étendu. Dans l'application numérique ci-dessus, les nombres sont assez petits pour qu'il soit possible d'effectuer tous ces calculs à la main.

Une approche par recherche exhaustive pouvait aussi être envisagée, vu que les diviseurs proposés sont relativement petits. Par exemple, pour trouver le nombre de Guy, il suffit de rechercher quel nombre supérieur à 100000000 (puisque l'énoncé indique qu'il s'agit d'un nombre à 9 chiffres) et de la forme $1061k + 81$ donne 485 et 707 comme restes lorsqu'on le divise successivement par 919 et 997. Une approche similaire fournissait le nombre de Thomas.

Voici un exemple d'implémentation en Pascal.

```
program equizz_Q3_7;
var x:longint;
begin
  x:=100000000 div 1061 * 1061 + 81;
```

```

if x<100000000 then x:=x+1061;
while (x<1000000000) do begin
  if x mod 997 = 707 then
    if x mod 919 = 485 then
      writeln('Solution pour Guy: ',x);
    x:=x+1061;
end;

x:=100000000 div 1061 * 1061 + 1060;
while (x<1000000000) do begin
  if x mod 997 = 996 then
    if x mod 919 = 918 then
      writeln('Solution pour Thomas: ',x);
    x:=x+1061;
end;

readln
end.

```

Notons enfin que le nombre de Thomas pouvait être déterminé encore plus facilement. En effet, si x est ce nombre, alors au vu des indices fournis, nous obtenons immédiatement que $x+1$ est un multiple de 919, 997 et 1061. Par conséquent, $x+1$ doit être un multiple de leur produit, puisque ces nombres sont premiers entre eux deux à deux. Donc, $x+1$ est un multiple de $919 * 997 * 1061 = 972133823$, et comme x est un nombre à 9 chiffres, la seule possibilité est $x = 972133822$.

Réf. : <http://www.cut-the-knot.org/blue/chinese.shtml>

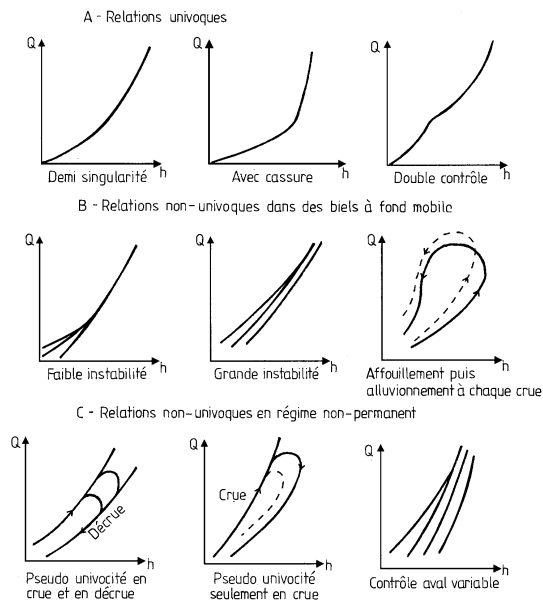
8. Qu'entend-on par « hystérésis » dans une courbe de tarage ? (niveau 3)

- a - une erreur dans l'allure de la courbe de tarage, induite par un dysfonctionnement des appareils de mesure des hauteurs d'eau dans le lit du cours d'eau
- b - un effet hydraulique qui fait correspondre, à une hauteur donnée à l'échelle, des débits différents suivant qu'on est à la crue ou à la décrue
- c - un changement dans l'allure de la courbe de tarage, induit par le débordement du cours d'eau vers la plaine alluviale en période d'inondation
- d - une modification récurrente de l'allure de la courbe de tarage sous l'effet d'un creusement répété du lit du cours d'eau lors de périodes de hautes eaux

Réponse : b

Pour établir le tarage d'une station hydrométrique, l'ingénieur ou le technicien cherche à établir la relation qui existe entre les hauteurs relevées sur une échelle limnimétrique, ou enregistrées par un limnigraphe, et les débits qui leur correspondent. La relation entre hauteurs et débits $Q(h)$ est délicate à établir lorsque le bief hydrométrique concerné présente une grande instabilité géométrique et/ou hydraulique. Pour définir cette relation, l'hydrologue dispose d'un ensemble d'informations sur le bief et la station hydrométrique, de la chronique limnimétrique et de jaugeages en nombre et qualité variables.

Les courbes de tarage se rapprochent de l'un des schémas théoriques représentés sur la figure suivante :



On distingue trois grandes catégories de tarages :

- les tarages univoques des stations à géométrie stable et à contrôle hydraulique permanent (A)
- les tarages non-univoques des stations situées dans des biefs à géométrie plus ou moins rapidement variable (B)
- les tarages non-univoques des stations situées dans des biefs à régime hydraulique non permanent (C)

L'analyse de la répartition des points sur le graphique de tarage permet d'associer la relation étudiée à l'un de ces schémas théoriques. Sous le terme d'hystérésis on entend dans ce cas une instabilité de type hydraulique. Lorsque la pente superficielle n'est pas la même en crue qu'en décrue pour une cote donnée, une organisation cyclique des points, en forme de raquette, apparaît généralement de manière assez nette. L'hystérésis dépend de la vitesse, du nombre d'onde, du déphasage et des caractéristiques d'atténuation de l'onde de crue.

Réf. : <http://medhycos.mpl.ird.fr/en/data/hyd/Drobot/6C.htm>

9. Dans un spectromètre de masse d'ions secondaires en régime statique, les masses des ions secondaires produits peuvent être déterminées par un analyseur à temps de vol. Dans notre analyseur linéaire à temps de vol de 2,5 mètres de long, les ions entrent dans la zone libre de champ avec une énergie de 3,3 keV. Quel est, en microsecondes et au dixième près, le temps de vol de l'ion hydrogène H^+ ? (niveau 3)

Réponse : $t = 3,1 \mu s$

Le diagramme présenté dans le corrigé de la question 12 du questionnaire 2 décrit un spectromètre de masse à secteur magnétique, dans lequel les différents ions sont séparés par l'action d'un champ magnétique dans une chambre de déviation (partie semi-circulaire du diagramme). Par contre, un spectromètre de masse à temps de vol utilise les différences de temps de transit à travers une zone de dérive pour séparer les ions de masses différentes.

Le principe essentiel de la spectrométrie de masse de temps de vol consiste à accélérer tous les ions à la même énergie cinétique. Leurs vitesses sont alors inversement proportionnelles à la racine carrée de leurs masses, puisque $E_c = \frac{1}{2}mv^2$. Les ions plus légers (de grande vitesse) arrivent au détecteur plus rapidement que les ions plus lourds (à faible vitesse). Tous les ions produits sont donc accélérés par un même champ électrique, puis traversent un tube où il y a absence de champ (la zone libre de champ), dans laquelle leur vitesse reste constante.

La résolution de cette question est très semblable à celle de la question 12 du questionnaire 1. D'une part, on tire de

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 ,$$

où m est la masse de la particule, v sa vitesse, et E_c son énergie cinétique, que

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} .$$

Puisque la vitesse est constante dans la zone libre de champ, le temps t nécessaire à l'ion pour parcourir une distance d (temps de vol) est simplement donné par $t = d/v$, d'où on déduit que

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{m}{2E_c}} ,$$

avec $d = 2,5 \text{ m}$,
 $m = 1,007825 \text{ uma} = 1,007825 \cdot 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$,
 $E_c = 3300 \cdot 1.60219 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

On trouve $t = 3,145 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

Réf. : http://hiq.linde-gas.fr/International/Web/LG/FR/likeIsgspgr.nsf/DocByAlias/appl_masse
<http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/CHIMIE/SPECMAS/specmas1.htm>
http://www.roccler.qc.ca/pdubreui/masse/Ms1/spectro_masse1.html
http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_masse
http://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie_ionique

**10. La suite de Frobonacci $frob(n)$ (dont le nom a été inventé pour les fins de cette question) est définie comme suit : les termes initiaux sont $frob(0)=0$, $frob(1)=0$, $frob(2)=1$, et la relation suivante est vérifiée pour tout entier positif n : $frob(n+3) = fib(n+2) + fib(n+1) + fib(n)$.
Quelle est la somme des chiffres de $frob(1000)$? (niveau 3)**

Réponse : 1114

Il s'agit d'un exercice de programmation, qui peut être fort simple si on procède à une analyse préalable efficace de la situation – ce qui est souvent le cas en pratique !

Quelques essais numériques permettent de vérifier que $frob(1000)$ comporte plus de chiffres que la plupart des outils (tableurs, par exemple) ou langages de programmation ne permettent de gérer aisément. Mais il est possible de s'en sortir « avec les moyens du bord » sans trop de problème.

En effet, si un nombre est trop grand pour tenir dans une variable de type entier, il suffit de le définir comme un tableau d'entiers, dont chaque élément représente un chiffre, puis de programmer les calculs demandés sur de tels nombres. Ici, la seule opération requise est l'addition, qui est très facile à implémenter en traduisant simplement la disposition pratique pour l'addition écrite apprise à l'école primaire : on additionne chiffre par chiffre, en commençant par le chiffre des unités, puis des dizaines, etc., et en n'oubliant pas l'éventuel report.

La seule difficulté, si nous n'utilisons pas un langage capable de gérer dynamiquement les tableaux, consiste à déterminer combien de chiffres comportent les nombres que nous devons manipuler, afin de définir des tableaux d'entiers assez grands. L'analyse suivante, très grossière mais suffisante, répond à cette question.

Notons tout d'abord que la suite $frob(n)$ est croissante, puisque chaque terme est obtenu en ajoutant au précédent des termes positifs. Dès lors, on a que chaque terme est inférieur à trois fois le terme précédent : puisque

$$frob(n) \leq fib(n+1) \leq fib(n+2),$$

on déduit que

$$frob(n+3) = fib(n+2) + fib(n+1) + fib(n) \leq 3 \cdot fib(n+2).$$

Par conséquent, $frob(1000) \leq 3 \cdot fib(999) \leq 9 \cdot fib(998) \leq \dots \leq 3^{998} \cdot fib(2) = 3^{998}$. Comme $3^2 = 9 < 10$, nous savons donc que $frob(1000) < 10^{499}$, ce qui veut dire que $frob(1000)$ comporte moins de 500 chiffres. Ce petit raisonnement nous permet de déterminer que les nombres que nous aurons à manipuler (à savoir $frob(0)$, ..., $frob(1000)$) comportent tous moins de 500 chiffres. Voici un exemple d'implémentation en Pascal de ces idées.

```

program fibonacchi;

const nmax=500; (* les nombres générés auront <500 chiffres *)

type bigint=array[1..nmax] of integer;

var t: array[0..3] of bigint;
    i,j: integer;
    s: longint;

begin
  for i:=0 to 2 do
    for j:=1 to nmax do t[i][j]:=0;
  t[2][1]:=1; (* fib(2)=1 *)
  for i:=3 to 1000 do begin
    t[3][1]:=0;
    for j:=1 to nmax-1 do begin
      t[3][j] := t[3][j]+t[2][j]+t[1][j]+t[0][j];
      t[0][j] := t[1][j];
      t[1][j] := t[2][j];
      t[2][j] := t[3][j] mod 10;
      t[3][j+1] := t[3][j] div 10
    end
  end;
  s:=0;
  for i:= 1 to nmax do s:=s+t[2][i];
  writeln(s);
  readln
end.

```

Réf. : http://fr.wikipedia.org/wiki/Suite_de_Fibonacci
<http://mathworld.wolfram.com/FibonacciNumber.html>

11. Dans les lacs, la profondeur de compensation pour la photosynthèse phytoplanctonique correspond à la profondeur à laquelle il ne reste plus que 1% de l'intensité lumineuse mesurée à la surface de l'eau. Quelle est la valeur du coefficient d'extinction vertical d'un lac ayant une profondeur de compensation égale à 10 m ? (niveau 3)

Réponse : 0,461 m⁻¹

Dans l'eau, l'intensité lumineuse ne décroît pas de manière linéaire, mais de manière exponentielle par rapport à la profondeur atteinte. Ainsi, on a

$$E(z) = E(0) \cdot e^{-kz},$$

où $E(z)$ représente l'intensité lumineuse à la profondeur z , et k est le coefficient d'extinction vertical recherché. Si on connaît la valeur $E(z_0)$ de l'intensité lumineuse à une profondeur z_0 donnée, alors on peut déduire la valeur de k de l'équation ci-dessus :

$$k = (\ln E(0) - \ln E(z_0)) / z_0,$$

où \ln est la fonction logarithme népérien, inverse de l'exponentielle.

Or, nous savons qu'à une profondeur de 10 m, l'intensité lumineuse vaut $0,01 \cdot E(0)$. Donc,

$$k = (\ln E(0) - \ln (0,01 \cdot E(0))) / 10 = -\ln 0,01 / 10 = 0,4605 \text{ m}^{-1}.$$

Réf. : http://waterontheweb.org/under/lakeecology/04_light.html

12. Dans le spectre en ions secondaires négatifs de la surface d'un wafer de phosphore d'indium, le pic de masse 193.8624 et d'intensité 45620 cps a été identifié comme correspondant à l'ion InPO_3^- . Quel est l'ion à la masse 191.8626 dont l'intensité fait environ 1980 cps dans le même spectre ? (niveau 3)

- a - InPO_3^- .
- b - InPO_3^+ .
- c - InPO_2^- .
- d - InPO_2^+ .

Réponse : a

La spectrométrie de masse détecte les isotopes, ainsi un élément tel l'indium présent naturellement sous deux isotopes produit dans les spectres de masse deux pics correspondant respectivement aux deux isotopes ^{113}In et ^{115}In aux masses 112,904056 et 114,903875 et d'abondances respectives 4,2% et 95,8%.

De plus, l'intensité des pics, exprimée en nombre de coups (cps), dépend du nombre d'ions arrivant sur le détecteur. Ainsi les rapports d'intensité des pics isotopiques d'un même élément correspondent aux rapports des abondances isotopiques.

Pour l'indium, le rapport d'intensité des pics $^{115}\text{In}/^{113}\text{In}$ doit correspondre, aux erreurs instrumentales près à celui du rapport des abondances isotopique $95,7/4,3 \approx 22,3$.

A la masse 193,8624, l'ion InPO_3^- détecté correspond en fait au pic isotopique $^{115}\text{In}_1^{31}\text{P}_1^{16}\text{O}_3^-$.

En effet, $193,8624 = 114,9038 + 30,9737 + 3 \cdot 15,9949$

avec 30,9737 masse de l'isotope ^{31}P (élément mono-isotopique),

et 15,9949 masse de l'isotope ^{16}O (isotope principal de l'oxygène).

Par ailleurs, on constate que

$$191,8626 = 112,9040 + 30,9737 + 3 \cdot 15,9949$$

Ainsi, le pic de la masse 191,8626 correspond à l'ion isotopique $^{112}\text{In}_1^{31}\text{P}_1^{16}\text{O}_3^-$. Ceci est confirmé par le rapport d'intensité ($45620/1980 \approx 23$), qui correspond, aux erreurs instrumentales près, au rapport des abondances isotopiques.

L'espèce chimique du pic 191,8626 est donc bien l'ion InPO_3^- . Elle est identique à celle du pic 193,8624 du fait de la présence de deux isotopes de l'indium.

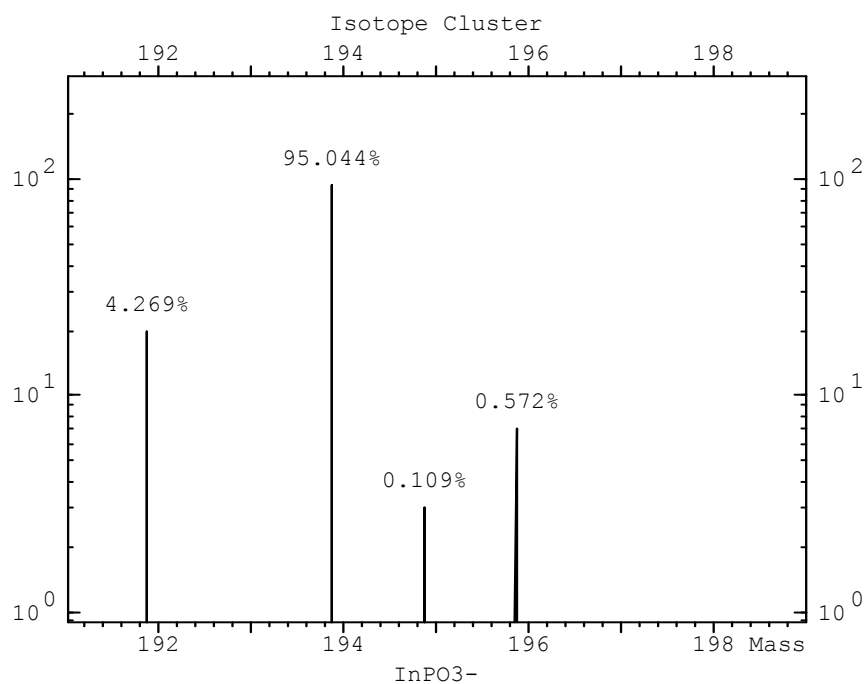
Remarque 1 :

L'ion positif InPO_3^+ ne peut être détecté dans le spectre en ions négatifs.

Remarque 2 :

L'oxygène existe naturellement sous trois isotopes stables (^{16}O 99,762%, ^{17}O 0,038% et ^{18}O 0,200%). Ainsi, l'espèce InPO_3^- est présente dans le spectre d'ions négatifs au travers de plusieurs pics de masse correspondant aux différentes combinaisons des isotopes de l'indium et de l'oxygène (le phosphore étant présent uniquement sous forme de ^{31}P). L'abondance des ions ^{17}O

et ^{18}O étant très faible, certaines combinaisons d'isotopes sont d'intensités relatives trop faibles pour pouvoir être détectées, selon les performances de l'instrument.



Principaux pics isotopiques du l'ions InPO_3^-

Remarque 3 :

Les espèces InPO_2 apparaissent aux masses 175,8676 et 177,8674.

Réf. : <http://www.cnrs.fr/Cnrspresse/n386/html/n386a05.htm>

13. Question subsidiaire :

Quelle sera, au dixième de degré près, la première température mesurée le mardi 30 novembre 2004 à 9 heures ou après à la station météorologique de l'aéroport du Findel ?

La température relevée le mardi 30 novembre à 9 heures précises à la station météo de l'aéroport du Findel était de 2,6°C.