

### **L'ionisation atmosphérique naturelle et artificielle Son action sur les êtres vivants**

**par le Dr J. Métadier**

*(Ancien professeur de physique à la Faculté de  
médecine de Tours,  
Président de l'Institut international d'ionologie)*

L'électricité atmosphérique, depuis sa découverte par Franklin semblait être liée uniquement à l'orage. Lemonier, en 1752, découvrit que, même en l'absence d'orage, l'atmosphère était le siège d'un champ électrique continu. Par tous les temps, il existe en chaque point de l'atmosphère un potentiel. Théoriquement, toute surface parallèle au sol est une surface équipotentielle. En réalité, le potentiel varie non seulement avec l'altitude, mais aussi avec le lieu et le temps, dans les deux sens de ce mot : durée et état de l'atmosphère.

C'est seulement en 1899 que Elster et Geitel découvrirent dans l'air des charges libres : les ions atmosphériques. Ils sont la cause de la décharge spontanée de tout conducteur chargé et isolé (les feuilles de l'électroscope par exemple). Ils donnent à l'air sa conductivité qui est fonction de leur mobilité, elle-même fonction de leur grosseur et de courants divers : turbulence de l'air, mouvement brownien (pour les petits ions), convections, champ électrique, etc. Sous l'influence du champ, en air calme, les ions négatifs se dirigent vers le haut (car le sol est négatif) et les ions positifs vers le bas.

#### **Sources naturelles**

Les molécules (et les rares atomes) des gaz atmosphériques subissent les influences ionisantes suivantes :

Tout d'abord, celle des gaz radioactifs qui se dégagent des roches; les rayons ultraviolets du Soleil; les rayons cosmiques; les décharges orageuses qui sont plus importantes qu'on pourrait le croire : selon Brookes, il y a, pour l'ensemble du globe, 44 000 orages par jour, soit 36 000 éclairs par heure; énergie énorme, sans compter celle des décharges silencieuses !

Vient ensuite, l'effet Lénard : ionisation par projection et dispersion de gouttelettes d'eau, comme cela se produit dans les cascades, les jets d'eau, les vagues qui se brisent et donnent des embruns, les aérosols, etc. La pluie est ionisée, mais il ne semble pas, contrairement à ce qu'on affirme souvent, que ce soit dû à l'effet Lénard, mais plutôt parce que les gouttes

de pluie se forment autour de « noyaux » qui sont des ions.

Telles sont les principales sources naturelles. Nous verrons plus loin les procédés utilisés pour ioniser l'air artificiellement.

On voit que des ions sont créés dans l'atmosphère continuellement, mais il en disparaît non moins continuellement, soit par recombinaison (collision entre un ion positif et un ion négatif), soit par adsorption sur un corpuscule quelconque : goutte d'eau, grain de fumée ou de poussière et toute surface, soit encore par la respiration des êtres vivants.

### Concentrations

De ces deux phénomènes contraires, création et annihilation, résulte un équilibre statistique très variable, car il dépend, on le voit, de nombreux facteurs eux-mêmes fluctuants. Voici quelques chiffres qui donnent une idée de la concentration moyenne par  $\text{cm}^3$  : en pleine campagne, on trouve de 800 à 1 600 ions, exception faite pour certains lieux privilégiés, tels que la forêt, certaines stations climatiques où la concentration atteint 3 000 et 4 000, près des cascades où elle peut être de 10 000 et même beaucoup plus. Dans les rues des grandes villes, la concentration par  $\text{cm}^3$  n'est plus que de 150 à 350 selon l'heure, le quartier, etc. Enfin, dans les locaux à fenêtres fermées, elle tombe à quelques dizaines seulement. Elle ne peut pas tomber plus bas à cause des rayons cosmiques qui exercent leur action ionisante à travers toits et murs.

Dans une atmosphère fortement polluée, comme c'est le cas de certains « smogs », la concentration des seuls ions positifs peut s'élever à 30 000 par  $\text{cm}^3$  et même plus !

Il faut remarquer que toutes ces quantités d'ions sont infimes en comparaison du nombre de molécules neutres dans le même volume d'air, soit  $2,7 \cdot 10^{19}$ . Disons tout de suite que cette constatation a fait nier, a priori, toute influence des ions atmosphériques sur les organismes vivants ! C'était oublier que le mâle du papillon *Bombyx mori* détecte l'odeur de l'hormone de la femelle à la concentration de 250 molécules par  $\text{cm}^3$  et que l'œil humain décèle un seul photon !

Les ions se différencient donc entre eux par leur polarité électrique. Ils se différencient aussi par leur grosseur et, naturellement, par leur support chimique.

Leur grosseur s'étale d'une manière continue sur un vaste « spectre ». On distingue : les « gros ions » (dits de Langevin) qui vont de 0,03 à 0,10  $\mu$ , les ions « intermédiaires », de 0,003 à 0,03  $\mu$ , les « petits ions » qui vont de la grosseur de l'atome à 0,003  $\mu$ .

Toutes ces charges libres sont animées dans l'atmosphère de mouvements divers. Ces mouvements dépendent du champ électrique, et de leur masse. Dans un champ de 1  $\text{v cm}^{-1}$ , les gros ions ont une vitesse d'environ 0,005  $\text{cm s}^{-1}$ ; les ions intermédiaires parcourent 0,5  $\text{cm s}^{-1}$  et les petits ions : 1  $\text{cm s}^{-1}$ .

De ces différences de mobilité, résultent des durées de « vie » différentes, puisque les risques de collision (et de recombinaison) croissent avec la mobilité. Les petits ions sont donc plus « fragiles » que les gros. Disons tout de suite que ce fait est fâcheux, parce que les gros ions ont, en général une influence défavorable sur la santé.

### Chimie des ions

Elle est très complexe et difficile à étudier. On voudra bien nous excuser de n'en dire ici qu'un mot.

Tous les gaz de l'air sont susceptibles d'être ionisés,

et chacun d'eux peut l'être positivement ou négativement. Néanmoins, chaque gaz a sa propre tendance pour une certaine polarité. Nous ne nous occuperons ici que de la formation des ions négatifs, qui sont importants à plus d'un titre.

D'après V. A. Mohnen,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , Ar,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ne forment pas d'ions négatifs stables, mais ces ions quoique instables participent à des processus de constitution d'amas moléculaires et aussi de réactions en chaîne et, finalement jouent un rôle important. Ci-dessous, à titre d'exemple, nous donnons, d'après ce travail théorique de V. A. Mohnen, une liste de réactions possibles. Elles font intervenir 2 corps ou 3 corps, ou des transferts de charges négatives, des réactions entre ions négatifs et des molécules neutres. Ne figurent pas dans cette énumération, les processus de détachement d'électrons ou de recombinaison. Mohnen, en effet, n'avait en vue dans ce travail que d'expliquer la formation des ions négatifs, qui jouent, en biologie, un rôle particulièrement important.

1.  $\text{O}_2 + \text{M} + e \rightarrow \text{O}_2^- + \text{M}$   
avec  $\text{M} = \text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2$ .
2.  $\text{O}_2^- + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_4^- + \text{M}$ .
3.  $\text{O}_2^- + \text{O}_2 (\Delta g) \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}_2 + e$ .
4.  $\text{O}_2^- + \text{CO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{CO}_4^- + \text{M}$ .
5.  $\text{O}_4^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_4^- + \text{O}_2$ .
6.  $\text{O}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2\text{H}_2\text{O}^- + \text{O}_2$ .
7.  $\text{O}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_2\text{H}_2\text{O}^- + \text{M}$ , ou :
8.  $\text{O}_2^- (\text{H}_2\text{O})_n + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_2^- (\text{H}_2\text{O})_{n+1} + \text{M}$   
avec  $n \leq 5$ .
9.  $\text{CO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{CO}_4^- (\text{H}_2\text{O}) + \text{M}$ .
10.  $\text{CO}_4^- (\text{H}_2\text{O})_n + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{CO}_4^- (\text{H}_2\text{O})_{n+1} + \text{M}$   
avec  $n \leq 4$ .
11.  $\text{NO}_2 + e \rightarrow \text{NO}_2^-$ .
12.  $\text{NO}_2 + e + \text{M} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{M}$   
avec  $\text{M} = \text{O}_2$  ou  $\text{N}_2$ .
13.  $\text{NO} + e + \text{M} \rightarrow \text{NO}^- + \text{M}$ .
14.  $\text{O}_3 + e \rightarrow \text{O}^- + \text{O}_2$ .
15.  $\text{O}_3 + e \rightarrow \text{O}_2^- + \text{O}$ .
16.  $\text{O}_2^- + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{O}_2$ .
17.  $\text{O}_2^- + \text{O}_3 \rightarrow \text{O}_3^- + \text{O}_2$ .
18.  $\text{O}_3^- + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{O}_3$ .
19.  $\text{NO}^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^- + \text{NO}$ .
20.  $\text{O}_3^- + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{O}$ .
21.  $\text{O}_3^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_3^- + \text{O}_2$ .
22.  $\text{CO}_3^- + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{CO}_2$ .
23.  $\text{CO}_3^- + \text{O} \rightarrow \text{O}_2^- + \text{CO}_2$ .
24.  $\text{O}_3^- + \text{O} \rightarrow \text{O}_2^- + \text{O}_2$ .
25.  $\text{O}_2^- + \text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}^-$ .
26.  $\text{O}^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}_2^-$ .
27.  $\text{O}^- + \text{NO}_2 \rightarrow \text{O} + \text{NO}_2^-$ .
28.  $\text{CO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{CO}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{M}$ .
29.  $\text{CO}_3^- (\text{H}_2\text{O})_n + \text{M} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_3^- (\text{H}_2\text{O})_{n+1} + \text{M}$ .
30.  $\text{NO}_2^- + (\text{H}_2\text{O}) + \text{M} \rightarrow \text{NO}_2^- (\text{H}_2\text{O})_2 + \text{M}$ .
31.  $\text{NO}_2^- (\text{H}_2\text{O})_n + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{NO}_2^- (\text{H}_2\text{O})_{n+1} + \text{M}$ .
32.  $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{NO}_3^- \cdot (\text{H}_2\text{O}) + \text{M}$ .
33.  $\text{NO}_2^- (\text{H}_2\text{O}) + \text{NO} \rightarrow \text{HN}_2\text{O}_4^- + \text{H}$ .
34.  $\text{O}_2^- (\text{H}_2\text{O})_n + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_4^- (\text{H}_2\text{O})_n$   
avec  $n \leq 3$ .

La capture par des éléments neutres d'électrons thermalisés pour former des ions négatifs conduit uniquement à la formation de  $\text{O}_2^-$  par la réaction de type 1. Les constantes de temps pour les réactions de ce type sont trop élevées pour donner des quantités appréciables d'ions négatifs ainsi formés. La réaction 3 peut être éliminée, parce que la concentration de  $\text{O}_2 (\Delta g)$ , même en atmosphère polluée, ne dépasse pas  $10^{11}$  molécules par  $\text{cm}^3$ .  $\text{O}_2^-$  va immédiatement donner  $\text{O}_4^-$  selon la réaction 2, bien que  $\text{O}_4^-$  puisse s'hydrater (7) ou s'associer à  $\text{CO}_2$  pour former  $\text{CO}_4^-$  (6).  $\text{O}_4^-$  et  $\text{O}_2^-$  peuvent exister dans un équilibre de concentration

approchant de  $O_4^-/O_2^- > 8$  (Conway et Nesbitt, 1968) dans les conditions de pression et de température normales.  $O_4^-$  forme alors  $O_2^-(H_2O)$  (6). A cause de la concentration de la vapeur d'eau dans la troposphère, la réaction 5 ne peut pas se produire, mais elle le peut dans la stratosphère. La vapeur d'eau joue un rôle important dans la détermination des réactions. C'est ainsi que  $O^-(H_2O)$  donne finalement  $O_2^-(H_2O)_n$ ,  $n = 4$  correspondant à l'ion le plus stable (réaction 8). Le nombre de molécules d'eau attachées à  $O_2^-$  change à chaque collision avec les molécules de gaz environnants, ce qui amène un équilibre de distribution de  $n$  ayant son maximum pour trois ou quatre. On sait aussi (Pack et Phelps, 1966) que  $CO_4^-$  est un ion très stable rencontré dans les mélanges de  $O_2$  et  $CO_2$ . Bien qu'on ne sache rien de l'affinité pour l'électron de  $CO_2^-(H_2O)_n$ , on peut penser qu'elle est inférieure à celle de  $CO_4^-(H_2O)_n$ . Mohnen pense que  $CO_4^-(H_2O)_n$  peut être formé par les réactions 9 et 10, mais aussi par les réactions de type 34. La formation de l'amas terminal ionisé  $O_2^-(H_2O)_n$  est obtenu en moins de 1  $\mu s$ , tandis que les réactions de type 34 sont en concurrence avec les réactions de type 8, ce qui ne permet qu'un accroissement très lent de la concentration en  $CO_4^-(H_2O)$ .

Il faut encore noter que les constituants mineurs de l'atmosphère :  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ , etc. ne participent pas au mécanisme de la formation des ions négatifs finals de la troposphère. Pour qu'il y ait participation, il faut que la concentration en vapeur d'eau tombe à moins de  $9.10^{-15}$  par  $cm^3$ . Mais il est possible que les ions négatifs terminaux décrits ci-dessus réagissent avec des quantités infimes de gaz électronégatifs présents dans les atmosphères polluées.

N'ayant pas l'intention ici de traiter de la chimie des ions, nous n'avons résumé les recherches théoriques ci-dessus qu'à titre d'exemple. Nous allons maintenant donner un exposé très bref — toujours à titre d'exemple — d'un travail expérimental — qui est d'un grand intérêt.

Si, pour certaines recherches (les pertes des diélectriques, par exemple), la connaissance des caractéristiques physiques des ions est suffisante, elle ne l'est plus quand il s'agit de connaître leur nature exacte et, notamment, leur réactivité chimique. Or, l'identification des ions présente de nombreuses difficultés, par exemple : la valeur élevée de la pression atmosphérique au sol empêche la spectrométrie de masse. Il y a aussi la nature complexe de l'air, l'infime durée de vie des espèces de charges opposées due à leur recombinaison, etc.

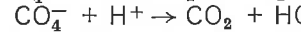
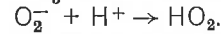
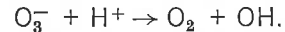
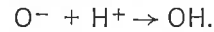
Une méthode chimique intéressante par sa simplicité a été élaborée et mise en œuvre par des chimistes français du C.N.R.S. : Michel Lecuiller, Renée Julien et Jacques Pucheault. Ils l'ont appliquée dans l'oxygène à la pression atmosphérique, en faisant passer une décharge entre une pointe négative et le plan d'une solution aqueuse acide.

Dans ce type de décharge, au delà d'une certaine distance (de l'ordre d'une dizaine de rayons de courbure de la pointe), la faible valeur du champ ne permet plus l'ionisation; la multiplication et la recombinaison entre les ions négatifs qui vont vers le plan et les ions positifs qui vont vers la pointe deviennent négligeables. Près de la zone du plan (liquide) où s'effectue l'analyse, subsistent seuls les ions négatifs qui se sont thermalisés.

Le choix de l'atmosphère d'oxygène va de soi, puisqu'il est le constituant électronégatif de beaucoup le plus important. Il est probable que dans l'air les ions négatifs proviennent toujours, plus ou moins, de ceux formés originellement avec ce gaz.

Le fait d'opérer à la pression barométrique évite la détente qui serait nécessaire pour le spectromètre de masse.

Dans ces conditions, les ions principalement formés sont :  $O^-$ ,  $O_2^-$ ,  $O_3^-$ ,  $O_4^-$ . Du fait d'impuretés, il peut se former aussi :  $CO_3^-$  et  $CO_4^-$ . Dans la solution, ces ions donnent naissance aux radicaux  $OH$  et  $HO_2$ , selon les réactions :



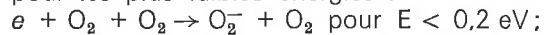
La méthode consiste à déterminer quantitativement ces deux radicaux. Cette détermination est effectuée par la technique des solutés basée sur les propriétés oxydo-réductrices des radicaux vis-à-vis de certains systèmes. Le soluté principalement utilisé est le sulfate ferreux en milieu sulfurique.

Les résultats sont les suivants :

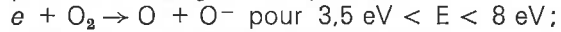
« Deux régimes de décharge ont été mis en évidence : pour une valeur du courant inférieure à un certain seuil (dont la hauteur semble dépendre du rayon de courbure de la pointe, seuls des ions d'un certain type ( $O^-$ ,  $O_3^-$ ,  $CO_3^-$ ) sont formés, tandis qu'au-dessus de ce seuil, des ions d'un autre type ( $O_2^-$ ,  $O_4^-$ ,  $CO_4^-$ ) apparaissent au détriment des premiers et le nombre des espèces neutres oxydantes décroît brusquement. »

Les processus primaires seraient principalement dus à des collisions au voisinage de la pointe entre des électrons de diverses énergies et les molécules du gaz le plus abondant, l'oxygène. On peut distinguer :

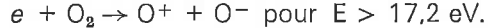
pour les plus faibles énergies :



pour des énergies un peu plus élevées :

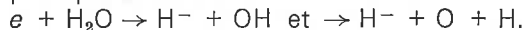


enfin, on a la production par paires :



De plus, le ralentissement d'ions suffisamment énergétiques produit des excitations avec formation d'espèces plus ou moins stables, telles que  $O_2(^1\Delta g)$  ou  $O_2(^1\Delta g^+)$ .

On peut négliger les actions primaires sur  $N_2$  et  $CO_2$  qui sont peu nombreux, mais on ne peut pas négliger la formation d'ions sur la vapeur d'eau, ions  $H^-$  principalement :



Des processus secondaires assument ensuite la transformation de ces entités primaires en produits plus stables qui permettent le transfert de charges sur l'anode.

En résumé, Lecuiller, Julien et Pucheault donnent un tableau qui présente l'ensemble des réactions en tenant compte de leurs constantes de vitesse. Elles conduisent aux deux types d'ions cités plus haut :  $O^-$ ,  $O_3^-$ ,  $CO_3^-$  formant en solution des radicaux  $OH$  et  $O_2^-$ ,  $O_4^-$ ,  $CO_4^-$ ,  $N_2O_2^-$  formant des radicaux  $HO_2$ .

Il faut remarquer que les processus primaires peuvent dépendre des conditions expérimentales (forme des électrodes, valeur locale du champ, etc.) et que d'autres possibilités existent de passer de l'un à l'autre groupe. Finalement, ces auteurs interprètent ces faits comme suit : avant leur thermalisation, les électrons émis par la pointe cathodique disparaissent en grande partie, par attachement dissociatif :  $e + O_2 \rightarrow O^- + O^-$ . La formation d'ions  $O^-$  ne pouvant avoir lieu qu'au stade thermique, les processus primaires conduiraient ainsi à l'apparition d'atomes  $O$ , de molécules excitées à vie relativement longue et d'ions  $O_2^-$  (les ions positifs étant immédiatement captés par la cathode).

Pour les faibles courants, les atomes  $O$  et les ions  $O^-$ ,

en concentrations relativement faibles, auraient toutes chances de réagir d'abord avec l'oxygène. Les ions parvenant à l'anode seraient donc  $O_3^-$ ,  $O_3^-$ ,  $CO^-$  plus ou moins hydratés et de nombreuses espèces neutres ( $O_3$  ou  $O_2^*$ ) y seraient entraînés par le vent électrique.

*Pour les courants plus élevés*, les espèces primaires  $O$ ,  $O^-$  et  $O_2^*$  (en plus grandes concentrations) pourraient, au contraire, réagir entre elles; les électrons lents libérés s'attachant selon :  $e + O_2 \rightarrow O_2^-$ , d'où l'apparition des ions  $O_2^-$ ,  $O_4^-$ ,  $CO_4^-$  alors que les ions  $O^-$ ,  $O_3^-$ ,  $CO_3^-$  ne se formeraient pratiquement plus et le nombre des espèces neutres  $O_3$  et  $O_2^*$  diminuerait considérablement.

Il faut remarquer que les impuretés ne modifient en rien le « type » des ions impliqués et ne peuvent donc pas modifier l'interprétation qualitative présentée ci-dessus.

### Influence des ions atmosphériques sur les êtres vivants

La connaissance des aéro-ions présente un grand intérêt, non seulement pour la recherche fondamentale (de la troposphère à l'ionosphère), mais pour les installations électriques et pour diverses industries, et surtout, pour leurs applications à l'hygiène et à la thérapeutique.

Les êtres vivants sont, en effet, très sensibles à l'état d'ionisation de l'atmosphère. Disons tout de suite que les ions négatifs sont les « bons » et les ions positifs les « mauvais ». Bien sûr ! c'est là une conception manichéenne des faits; la réalité est plus nuancée, mais néanmoins, on peut s'en tenir à cette règle simple dans la pratique.

Depuis les temps les plus reculés on connaît l'influence de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques sur notre santé et notre état de malaise ou de bien-être. Elle est due, presque exclusivement à l'état ionique de l'atmosphère, c'est-à-dire de l'air que nous respirons. Citons quelques exemples :

1. Le malaise provoqué par le temps orageux. Il est dû à des fluctuations très rapides (de minute en minute) de l'état ionique de l'atmosphère, avec prépondérance d'ions positifs. Il cesse dès les premiers coups de foudre et la pluie violente qui produisent des ions négatifs et stabilisent les concentrations.
2. Le malaise provoqué par certains vents, tels que le Foehn, le Kamshin, l'Autan, etc. qui sont surchargés d'ions positifs.
3. Le malaise dû à la chute brusque de la pression barométrique qui en facilitant le dégazage du sol, produit un excès d'ions positifs dans la couche la plus basse de l'atmosphère.
4. Les « coups » de folie (meurtre, viol, suicide) de certains psychopathes au moment de la Nouvelle Lune, qui produit un phénomène analogue au précédent.
5. Le malaise ressenti par des sujets sensibles, les femmes notamment, au moment des équinoxes. Elles sont « patraques » et ne peuvent (ni le médecin non plus) définir ce malaise. « C'est le changement de saison ! » disent-elles. Et elles ont raison. L'état ionique de l'atmosphère est bouleversé bien qu'à un degré moindre que dans les cas précédents.
6. La mortalité qui s'élève brusquement certains jours que rien ne distinguent apparemment des autres. Elle est due à des troubles de l'ionisation atmosphérique conséquences d'une éruption solaire.
7. Le malaise provoqué par l'air conditionné, ou climatisé, qui est dû au fait que les filtres, ventilateurs et gaines détruisent les ions négatifs.
8. Le bien-être ressenti en forêt où la fonction chlorophyllienne donne en abondance de l'oxygène ionisé (négativement).
9. Le bien-être éprouvé après la pluie, auprès d'une cascade ou même d'un jet d'eau ou encore sous la

douche, qui est dû à la création d'ions négatifs par effet Lénard.

10. Le « bon » air des stations climatiques réputées qui est chargé d'ions négatifs, dus, en général à la radioactivité du sol.

Mais les ions font plus que de donner une sensation de malaise ou de bien-être, ils sont indispensables à la vie : des animaux (de toutes espèces) dont l'air est privé d'ions (toutes autres conditions étant rigoureusement les mêmes) meurent dans un délai de 3 à 11 jours selon l'espèce. A l'autopsie, on constate qu'ils sont morts *asphyxiés*, alors qu'ils disposaient de l'air *normal* du laboratoire. C'est qu'en effet, l'oxygène n'est fixé sur l'hémoglobine que par l'action catalytique des ions négatifs. Et l'on s'explique ainsi qu'il en suffit de fort peu pour que les molécules neutres d'oxygène oxydent l'hémoglobine.

Mais cela explique aussi le « besoin d'air », de « s'oxygéner », des citadins et des sédentaires. Ce n'est pas tant l'oxygène qu'ils vont chercher à la campagne (car il ne manque jamais, pas même dans un local mal ventilé !), c'est l'ion négatif, ce catalyseur indispensable à la respiration.

L'expérience de Bonnevie en est une illustration. Il a fait construire pour des souris des chambres qui communiquent entre elles par un couloir. Certaines de ces chambres contiennent de l'air ionisé positivement; d'autres de l'air ionisé négativement et d'autres encore l'air du laboratoire. Lâchant des souris dans cet « ensemble », elles vont fureter partout dans toutes les chambres. Après quelques heures, quand elles restent tranquilles, on constate que les chambres à ions positifs sont désertes, que celles à air normal (du laboratoire) sont un peu fréquentées et que celles à ions négatifs sont pleines !

### Ions et phénomènes météorologiques

Des investigations de longue durée (douze ans) sur l'état d'ionisation de l'atmosphère ont été faites en Estonie par Prüller et Reinet. Ils ont trouvé que la concentration moyenne des petits ions est minimale en hiver. Elle est maximale de mai à juillet et coïncide avec le réchauffement du sol. Il se crée alors un courant d'air ascendant, d'où dégagement des gaz radioactifs des roches. Elle est aussi en corrélation avec l'ensoleillement. Après une averse, cette concentration en petits ions (négatifs) est environ le double de celle des ions positifs. Si l'air est pur, sans produits de combustion, ni de poussières, ni de vapeur d'eau excessive, la concentration des petits ions est plus grande que celle des gros ions. Dans une atmosphère polluée, ce rapport est inversé.

L'état d'ionisation de l'air donne donc une précieuse indication sur le degré de pollution de l'air, dans son ensemble. Si le rapport de la concentration des ions positifs à celle des ions négatifs dépasse ou atteint 50, le danger est grave, mortel, comme on l'a vu lors de certains brouillards (smogs) à Londres, Los Angelès et ailleurs.

Prüller et Reinet ont suivi les variations de l'état d'ionisation de l'atmosphère selon les phénomènes météorologiques. Ils ont aussi étudié l'influence des ions aériens sur la mortalité et sur les affections cardio-vasculaires. La mortalité et le nombre des affections en questions sont moins élevés lors des fortes concentrations en petits ions négatifs. Les courbes de la mortalité et aussi celle des affections cardio-vasculaires suivies pendant deux ans, ont été l'inverse des courbes de concentration moyenne mensuelles des petits ions négatifs.

Ces auteurs ont magistralement prouvé que la recherche des effets biologiques des phénomènes

météorologiques ne devait pas se borner à l'étude de la température, de l'humidité, de la pression barométrique, au vent, aux précipitations et à la radiation solaire, mais qu'il faut aussi tenir compte de l'état ionique de l'atmosphère.

### Actions biologiques et physiologiques des aéro-ions

De nombreux travaux américains et russes ont permis de préciser l'influence des ions aériens sur les organismes vivants et les recherches d'un Français, Oliveau, les ont étendus à la psycho-physiologie.

Sur les microorganismes, l'action, en gros, est la même que les ions soient positifs ou négatifs : ils sont tués. Mais, il semble que cette action microbicide soit simplement l'effet d'un excès de charge électrique, autrement dit d'une électrocution.

Sur les plantes, on note une stimulation de la croissance et de la production de protéines par les ions négatifs. Les ions positifs ont l'action contraire. Il en est de même chez les insectes : la larve grandit plus vite. Chez les vers à soie, par exemple, le cocon se forme plus tôt et il contient davantage de soie.

Sur les mammifères et l'Homme, en particulier, on peut poser en règle générale que l'action des ions négatifs est opposée à celle des ions positifs. Celle des anions est favorable et celle des cations nocive. Bien qu'elle ne soit pas absolue, cette règle peut être utilisée dans la pratique. Aussi ne donnerons-nous, ci-dessous, que l'action des ions négatifs, étant entendu que celle des ions positifs lui est opposée.

Les ions négatifs possèdent la curieuse et précieuse propriété de stimuler et, surtout, finalement, de normaliser les diverses fonctions physiologiques, de rétablir les équilibres fonctionnels qui ont été dérangés. C'est ainsi, par exemple, qu'ils font monter ou descendre la tension artérielle selon qu'elle est trop élevée ou trop basse et qu'ils restent sans action sur une tension normale.

Par le jeu de la stimulation et de l'homéostasie, ils régularisent et re-équilibrent le système hormonal. Par exemple : ils ont un effet diurétique de courte durée chez l'Homme ou l'animal normal, car ils stimulent en même temps la sécrétion par l'hypothalamus de l'hormone anti-diurétique, mais cette sécrétion de l'hypothalamus ne se produit pas semble-t-il chez le sujet atteint d'une insuffisance diurétique.

Voici quelques actions protectrices de l'organisme :

1. On sait que la trachée et les bronches sont recouverts de cils vibratiles qui ont pour fonction d'empêcher les poussières de pénétrer dans les alvéoles pulmonaires en les faisant remonter enrobées par un mucus. Les ions positifs ralentissent ce mouvement vibratoire des cils et les ions négatifs l'accélèrent, renforçant donc la protection. Cette expérience due à Krueger a été infirmée par Badré et ses collaborateurs, mais elle a été confirmée par d'autres chercheurs à l'étranger. Sans doute les conditions d'expérience n'étaient-elles pas rigoureusement identiques ?

2. Les ions négatifs renforcent le système d'immuno-défense qui nous protège des maladies infectieuses propagées par l'air notamment la grippe. Des souris inoculées de doses mortelles d'un virus grippal survivent si elles sont placées dans une atmosphère ionisée négativement.

3. Les ions négatifs évitent et même enlèvent la fatigue, aussi bien cérébrale que musculaire. C'est pourquoi ils sont utilisés en U.R.S.S. pour éviter les accidents du travail de la fin de la journée et aussi pour éviter les erreurs des dactylos, standardistes et programmeurs (qui travaillent souvent dans des locaux mal ventilés).

4. Ils corrigent les effets des « stress » de la vie dans les

grandes villes et sont particulièrement précieux contre la nervosité, l'agressivité, la dépression nerveuse et l'insomnie.

5. Ils stimulent les fonctions sexuelles et accroissent les performances des sportifs et athlètes.

6. Ils conservent l'état de jeunesse et exercent même un effet rajeunissant, grâce, probablement, à leur action anti-sclérose.

On voit qu'ils ont d'innombrables applications en hygiène et en thérapeutique.

### Les ioniseurs

Avant de terminer cet exposé bien long et pourtant trop sommaire, disons un mot des procédés utilisés pour obtenir des ions artificiels.

Un premier procédé consiste à utiliser la propriété ionisante des rayonnements des corps radioactifs (le tritium notamment). Ils ne sont évidemment pas sans danger. Aux États-Unis, la radioactivité de ces appareils a été limitée de telle sorte que leur production d'ions est trop faible.

Un autre procédé consiste à utiliser l'effet Lénard par projection ou pulvérisation d'eau. Les appareils de ce type ne sont pas très puissants non plus et ils sont peu maniables.

Le dernier procédé (utilisé notamment en France) fait appel à l'effluve électrique, ou effet de pointe, ou « corona ». Ils sont puissants et pratiques, mais ils ont le grave inconvénient de produire de l'ozone et des oxydes de l'azote qui sont irritants pour les voies respiratoires et, surtout, reconnus, maintenant, comme étant très toxiques et d'autant plus dangereux que cette toxicité est insidieuse. Mais on a trouvé, depuis peu, le moyen d'éviter cet inconvénient.

### Conclusion

La connaissance des ions atmosphériques et de leur influence sur les organismes vivants permet d'expliquer l'influence de certains phénomènes météorologiques sur les êtres vivants. Leur production artificielle est des plus précieuses pour la thérapeutique et pour l'hygiène, pour lutter, dans une certaine mesure, contre la pollution de l'atmosphère, pour la prophylaxie de maladies infectieuses et celle de la fatigue et de la sénescence.

Mais si des applications pratiques extrêmement nombreuses sont immédiatement possibles, il reste encore à élucider le mécanisme de leur action, à préciser leur nature exacte et les processus de leur production. Malheureusement, ce sont des recherches qui font appel à diverses disciplines : physique (et même mathématiques), chimie, biologie, physiologie et psychophysiologie, hygiène, thérapeutique, écologie, météorologie, urbanisme, etc. C'est pourquoi a été créé l'Institut International d'Ionologie qui groupe les chercheurs les plus éminents du monde entier. Il a pour buts :

1. D'informer les chercheurs des travaux faits en tous pays et dans toutes les disciplines.
2. D'informer les utilisateurs : médecins, hygiénistes, ingénieurs, urbanistes, agriculteurs, etc.
3. D'informer les Pouvoirs publics en leur fournissant des normes auxquelles devraient être soumis les appareils producteurs d'ions (de façon à éviter le charlatanisme) et aussi les appareils de mesures.
4. Enfin d'informer le Public.

L'auteur de cet article se fera un devoir et un plaisir de donner toutes informations sur cette science nouvelle de grand avenir qu'est l'ionologie. Il lui consacre pour sa part ses dernières années d'activité.

## Bibliographie

- Adams N. G., Bohne D. K., Dunkin D. B., Fehsenfeld F. C. and Ferguson E. E. : Flowing Afterglow Studies of Formation and Reactions of Cluster Ions of  $O_2^+$ ,  $O_2^-$  and O, *J. Chem. Phys.*, 1970, **52**, n° 6, 3133.
- Boness M. J. W. and Schulz G. J. : Structure of  $O_2$ , Mason Laboratory, Yale Univers., New Haven, Connecticut 06529 (May 1970).
- Bulatov P. K. : Treatment of bronchial asthma with air ions (en russe), *Klinicheskaia Meditsina*, 1950, **28**, 72.
- Callahan, Sagalyn R., Faucher G. A. : Aircraft investigation of the large ion content and conductivity of the atmosphere and their relation to meteorological factors, *J. Atmospher. Terrest. Phys.*, 1954, **5**, 253.
- Casirola G., de Ponti E. : Effetti della inalazione nell' individuo sano di aria ionizzata negativamente, *Atti. I<sup>e</sup> Congr. Nazion. Soc. Ital. Aero ionobiol., Aero ionotter.*, 1967, p. 122 (Maccari Ed. Parme).
- Chalmers J. A. : The ionization in the lowest region of the atmosph., *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1946, **72**, 199.
- Ciani G., Torelli L., Visintini O. : Action du stress météorologique sur la croissance des souris nouveau-nées, *Méd. Term. Climatol.*, 1969, **4**, 216.
- Chiles W. D., Fox R. E., Rush J. H. and Stilson D. W. : Effects of ionized air on decision making and vigilance performance, Wright, Patterson, Air Force Base, Ohio, *Tech-Rep. MRL-TDR 62-51* (May 1962).
- David T. A., Deran J.V., Kornblueh J. H. McGurk F. C. J. and Minehart J. R. : Ionization of the air. The sedative effect of polarized air, *In Biometeorology*, p. 481 (Oxford 1962).
- Davis F. K., Swope J. T., Fisher A., Kornbluch L. H. : Measured ion densities, *Int. J. Biometeor.*, 1967, **11**, Suppl. 3, 318.
- Deleanu M., Catalin O. : L'influence de l'aéro-ionisation négative sur le métabolisme énergétique, *Int. J. Biometeor.*, 1969, **13**, Suppl. 4, 136.
- Fehsenfeld F. C., Ferguson E. E. : Further laboratory measurements of negative reactions of atmospheric interest, *Planet. Space Sci.*, 1968, **16**, 701 (Pergamon Press).
- Ferguson E. E. : Negative ion-molecule reactions. Aeronomy laboratory, Environmental Sciences Services Administration research laboratories, Boulder (Colorado, U.S.A.).
- Ferguson, Eldon E. : Thermal-Energy Negative Ion-Molecule Reactions. Aeronomy Laboratory, Environmental Sciences Services Administration Research Laboratories, Boulder (Colorado, May 1970).
- Good A., Durden D. A. and Kebarle P. : Mechanism and Rate Constants of Ion-Molecule Reactions Leading to Formation of  $H^+(H_2O)_n$  in Moist Oxygen and Air, Departt of Chemistry, Univ. of Alberta, Edmonton (Alberta, Canada, 25 July 1969).
- Gualtierotti I. : Generatori di ioni e meccanismo d'azione, *Atti 1<sup>e</sup> Congr. Nazion. Soc. Ital. Aero ionobiol., Aero ionoterap.*, 1967, **b**, p. 89 (Macari Ed. Parme).
- Guillerm R., Badr R., Vogt J. J. et Hee J. : Effets physiologiques et psychophysiologiques, chez l'Homme d'un séjour de 24 h en atmosphère chargée en ions négatifs et positifs, *Int. J. Biometeor.*, 1967, **11**, Suppl. 3, 319.
- Kebarle P., Arshadi M. and Scarborough J. : Hydratation of negative Ions in the gaz phase, *J. of Chem. Phys.*, 1968, **19**, n° 2.
- Kornbluch I. H. : The third intern. biometeor. Congress, *Amer. J. Phys. Med.*, 1964, **43**, 95 ; et Aero-ionotherapy of burns, in *Bioclimat. biometeor. and aero-ionotherap.*, 110-112 (C. Erba Foundation, Milan, 1968).
- Krueger A. P. : Small air ions : their effects on blood levels of serotonin in terms of modern physical theory, *Int. J. Biometeor.*, 1968, **12**, 225.
- Krueger A. P. et Kotaka S. : The effects of air ions on brains levels of serotonin in mice, *Int. J. Biometeor.*, 1969, **13**, 25.
- Krueger A. P. : Effects of gazeous ions on tracheal ciliary rate, *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, 1958, **b**, **98**, 412.
- Langevin A. : Les ions atmosphériques et la vie, *La Nature*, 1962, p. 401.
- Langevin P. : Les ions dans l'atmosphère, *C. R. Ac. Sci.*, 1905, **140**, 232.
- Law J. : The ionization of the atmosph. near the ground in fair wether, *Quart. J. Roy Meteorol. Soc.*, 1963, **89**, 107.
- Lecuiller Michel, Julien Renée et Pucheault Jacques : Étude par voie chimique des ions produits par décharge couronne, *J. Chim. Phys.*, 1972, **9**, 1353.
- Lorenz Ph. J. : Air ion densities in a smoke filled room' *Proc. Iowa Ac. Sc.*, 1961, **68**, 458.
- Minkh A. A. : Highly ionized air as a factor increasing work capacity (en russe), *Vest. Akad. Med. Nauk, S.S.S.R.*, 1963, **b**, **18**, 33.
- Mohnen W. A., Preliminary Results on the Formation of Negative Small Ions in the Troposphere, State Univ. of New York at Albany, N.Y. 12203.
- Oliverreau J. M. : Incidences psychophysiologiques des facteurs climatiques de l'environnement, *Bull. Psychol.*, 1971, **b**.
- Payzant J. D. and Kebarle P. : Kinetics of Reactions Leading to  $O_2^-(H_2O)_n$  in Moist oxygen, *J. of Chem. Phys.*, 1972, **56**, n° 7.
- Prüller P. et Reinet J. : Biometeorological significance of the study of atmosph. ionization, *Int. J. Biometeor.*, 1969, **13**, Suppl. 4, 138.
- Rapp D. and Briglia D. D. : Total Cross Sections for Ionization and Attachment in Gases by Electron Impact. II. Negative-Ion Formation. *J. Chem. Phys.*, 1965, **43**, n° 1.
- Schreiber G. O. S. : Space charge and atmospheric pressure, *Int. J. Biometeor.*, 1967, **a**, **11**, Suppl. 3, 323.
- Shahin M. M. : Nature of charge carriers in negative coronas, Xeros Corpor. Research and Engineering Sc. Divis. (Rochester, N.Y. 14003).
- Sokolova Z. A. : Quelques indices des processus oxydo-réductifs dans le sang des chiens avec athérosclérose expérimentale sous l'action de l'aéro ionisation négative (en russe), *Vop. Kurort-Fizioer.*, 1965, **30**, 297.
- Spolverini L. : L'aero ionoterapia nella distrofia del lattante, *Radiologia*, 1945, **1**, 18.
- Strauss H., Deleanu M. et Florea E. : L'amélioration des résultats de l'entraînement chez les sportifs sous l'influence de l'aéro ionisation négative modérée, *Med. Sport.*, 1965, **5**, 171.
- Tchijevski A. L. : The electrical factor in atmospheric air maintaining the life of animals, *Rev. Acad. Columb.*, 1941, **4**, 182.
- Tchijevski A. L. : Application de l'aéroionisation dans l'économie nationale (en russe), Gosplanisdat, Moscou (1960).
- Vasiliev L. : The physiological mechanism of aerious, *Amer. J. Physiol.*, 1960, **39**, 124.
- Volkov G. K., Shesterkina N. V., Oglobin N. E. et Kasjuk I. I. : L'ionisation de l'air stimule l'activité sexuelle des taureaux (en russe), *Veterinarija, S.S.S.R.*, 1963, **40**, 47.