

## Grottes et cavernes :

### UN MONDE A L'ABRI DES INTEMPERIES ?

#### Deuxième partie :

#### **hygrométrie, composition et mouvements de l'air dans le milieu souterrain**

Alain AUBERT, docteur es Sciences

Résumé : La présente publication étudie de façon succincte l'hygrométrie, presque toujours élevée, du milieu souterrain. Elle traite aussi de la composition de l'air des cavernes et des mouvements qui, en certains lieux et dans certaines circonstances, peuvent affecter cette atmosphère réputée si calme.

#### **I) - Des milieux de vie très humides**

*A travers les rochers et les grottes s'infiltré la fluidité des eaux  
et les pierres y pleurent partout des larmes abondantes.*

*Lucrèce, De la nature - livre I*

*Les stalactites à la voûte  
Pendent en pleurs pétrifiés  
Dont l'humidité, goutte à goutte,  
Tombe lentement à mes pieds.*

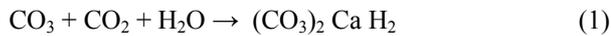
*SULLY – PRUDHOMME*

L'état hygrométrique de l'air est, aux dires de nombreux auteurs (Ginet et Decou<sup>17</sup>; Vandel<sup>33</sup>...), un des éléments les plus caractéristiques du milieu souterrain. Il existe, certes, des grottes totalement sèches, mais elles sont plutôt rares. Pour Lismonde<sup>25</sup>, l'air des cavités renferme toujours une certaine quantité de vapeur d'eau. En fait, la plupart des grottes sont humides, voire très humides. Les pluies extérieures sont en grande partie responsables de cette humidité : elles parviennent, par les fissures de la roche, au cœur même des cavités. De plus, les lacs souterrains, les stalactites, les stalagmites et les sols argileux enrichissent, par évaporation, la teneur en eau de l'atmosphère des cavernes (Jeannel<sup>22</sup>). Comme le note Gèze<sup>15</sup>, dans une grotte, le degré hygrométrique de l'air au repos est presque toujours très élevé. Pour Vandel<sup>33</sup>, il se situe entre 95 et 100 % ; pour Thinès et Tercafs<sup>32</sup>, l'humidité relative est toujours voisine de 100 %. La teneur en eau de l'atmosphère dépend de la température : à - 5° C, un mètre cube d'air peut renfermer 3,4 grammes de vapeur d'eau. Il peut en contenir 30,3 à +30°C. Bien entendu, l'air à l'intérieur d'une cavité souterraine atteint normalement des températures inférieures à 30° C. Les chiffres fournis par Thinès et Tercafs nous montrent toutefois que l'air chaud, même incomplètement saturé en vapeur d'eau, atteint très rapidement un niveau de saturation lorsqu'il pénètre dans une grotte froide.

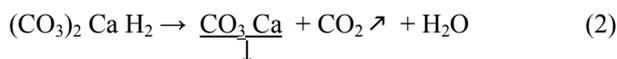
L'air extérieur qui pénètre sous terre en été, avec un degré hygrométrique de 50 % et une température de + 20 à + 30°C, se refroidit au contact des parois froides. Son degré hygrométrique augmente en conséquence. Il atteint bien vite, d'abord 80 ... 90... puis 100 %. La saturation étant atteinte, l'eau se condense sur les parois et le plafond de la cavité. Elle peut aussi former un brouillard, lorsque des poussières en suspension jouent le rôle de noyaux de condensation. En hiver, l'air extérieur froid, qui entre dans la grotte, commence par se réchauffer

et se déshydrater, mais, au contact des surfaces mouillées qu'il rencontre, il se sature très vite ensuite en vapeur d'eau. (Ginet et Decou<sup>17</sup>).

Les eaux d'infiltration creusent les cavités souterraines et les ornent de pendentifs de pierre. Elles exercent des actions déterminantes sur l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui se déroulent à l'intérieur de ces mêmes cavités. Les propriétés de l'eau chargée de gaz carbonique par la traversée du sol rendent compte de l'existence de tous ces processus. Le calcaire des roches, insoluble dans l'eau pure, se transforme, grâce à l'action de l'acide carbonique ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  équivaut à  $\text{CO}_3 \text{H}_2$ ), en bicarbonate de calcium, soluble, entraîné par l'eau :



Comme le fait remarquer Bertin<sup>9</sup>, le bicarbonate  $(\text{CO}_3)_2 \text{Ca H}_2$  est la forme de voyage du calcaire. Les eaux qui ont traversé la masse calcaire surplombante suintent au « plafond » et sur les parois des grottes. En bien des endroits, comme le constatent les spéléologues, c'est un ruissellement continu. Des gouttes, plus ou moins espacées, plus ou moins rapprochées, perlent en de nombreux points de la voûte et donnent naissance, en abandonnant la calcite qu'elles contiennent, à d'innombrables stalactites. Lorsque les gouttes arrivent au sol, elles déposent leur excédent de calcaire. Comme chacun sait, c'est là l'origine des stalagmites (Bellair et Pomerol<sup>8</sup>; Bertin<sup>9</sup>). Au cours de ces processus, le calcium, qui voyageait à l'état de bicarbonate dans l'eau d'infiltration, précipite sous forme de calcite. L'acide carbonique se dissocie en anhydride carbonique  $\text{CO}_2$ , qui s'accumule près du sol, et en eau, qui contribue à humidifier la grotte (Emmons, Allison, Stauffer, Thiel<sup>14</sup>; Partington<sup>28</sup>) :



Selon Moret<sup>27</sup>, cette dissociation du bicarbonate soluble en carbonate insoluble, eau et dioxyde de carbone, phénomène inverse du précédent, est due au changement de température et de pression qui se manifeste lorsque l'eau de ruissellement, qui a traversé la voûte, rencontre l'atmosphère de la caverne. Pour Rémy<sup>29</sup>, les réactions (1) et (2), inverses l'une de l'autre, sont des réactions ioniques : le dépôt de calcite, en particulier, se produit lorsque les ions calcium  $\text{Ca}^{++}$  se combinent aux ions carbonate  $\text{CO}_3^{--}$

L'état hygrométrique de l'air des cavités souterraines est soumis à certaines variations. Selon Gèze<sup>15</sup>, l'air en mouvement présente normalement un degré hygrométrique plus faible que celui de l'air immobile. La teneur en humidité de l'air souterrain subit des fluctuations saisonnières (Gèze<sup>15</sup>, Ginet et Decou<sup>17</sup>; Thinès et Tercafs<sup>32</sup>). En été, l'air présente une hygrométrie de 90 % à quelques mètres seulement de l'entrée. A quelques dizaines de mètres de cette dernière, on atteint facilement 100%. Ceci s'explique par le fait qu'avec l'abaissement notable de la température, la vapeur d'eau devient très rapidement saturante. En hiver, l'air extérieur possède un degré hygrométrique plus faible qu'en été (25 % d'humidité par ex.) (Gèze<sup>15</sup>). De plus, par une journée froide, l'atmosphère de la grotte est, normalement, plus chaude que l'atmosphère extérieure. Il résulte de tout cela que le degré hygrométrique à l'intérieur augmente plus lentement en hiver qu'en été. Il faut s'éloigner de plusieurs centaines de mètres de l'entrée, selon Gèze<sup>15</sup>, pour obtenir 100 % d'humidité. Dans certains cas, même, cette valeur n'est jamais atteinte. Ginet Decou<sup>17</sup> rapportent le même phénomène : l'air froid se réchauffe en hiver en pénétrant sous terre. Il demeure, en conséquence, sur une certaine distance, en deçà du niveau de saturation. Toutefois, et en fonction de sa vitesse, il se sature progressivement en vapeur d'eau par contact avec les suintements, les percolations, les cours d'eau et les lacs souterrains, les concrétions, l'argile humide et tous les objets mouillés qu'il rencontre.

Les fluctuations du degré hygrométrique sont, d'après Thinès et Tercafs<sup>32</sup>, particulièrement accentuées dans les couloirs d'entrée des grottes. L'humidité relative y est notablement plus faible en hiver qu'en été. Elle demeure très élevée plus en profondeur à l'intérieur du massif calcaire.

Dans les régions tempérées, le régime hygrométrique de l'air des cavernes et celui de l'air extérieur diffèrent notablement. Cette différence s'atténue dans les pays soumis à un climat équatorial humide. C'est le cas par exemple de certaines grottes du Congo dont l'humidité interne diffère peu, quantitativement, de l'humidité extérieure : au-dedans de la grotte comme au-dehors, le degré hygrométrique est très élevé, de 90 à 93 % (Vandel<sup>33</sup>). D'une manière générale, dans le milieu souterrain, le degré d'humidité de l'air varie plus que la température. Cette variation est fonction de la présence ou de l'absence de courants d'air, des percolations, des infiltrations plus ou moins intenses, de la proximité ou de l'éloignement des nappes phréatiques (Rewerski et Gilbert<sup>30</sup>).

L'humidité de l'air est, pour le biospéléologue, l'élément constitutif le plus important de l'écosystème souterrain (Jeannel <sup>22,23</sup>). L'humidité élevée et la basse température agissent conjointement avec l'absence de lumière pour inhiber la production de pigment dans le tégument des Insectes troglobies. Le haut degré hygrométrique de l'atmosphère des grottes contrarie les processus d'oxydation et, par voie de conséquence, la pigmentogenèse. La production des pigments tégumentaires dépendrait même davantage de l'humidité atmosphérique souterraine que de l'obscurité (Jeannel <sup>24</sup>).

L'existence de certains dispositifs anatomiques et de certains mécanismes physiologiques propres aux troglobies -ces hôtes exclusifs des cavernes- est en corrélation avec la valeur élevée du degré hygrométrique de l'air souterrain. Certains Coléoptères cavernicoles présentent un arrière-corps enflé démesurément. Sous les élytres se trouve une vaste chambre sous-élytrale emplie d'air. Dans cette chambre, qui joue un rôle respiratoire, la paroi dorsale de l'abdomen a pris l'aspect d'une large membrane, mince et transparente. En contrepartie, le réseau trachéen est réduit. Chez les *Aphénops* (fig. 1) par exemple, des trachées existent, mais excessivement fines et peu nombreuses. Chez le *Leptodirus*, Coléoptère appartenant à la famille des Catopidés, la respiration s'effectue au moyen de la chambre sous-élytrale. Cette dernière régule la teneur en humidité de l'air respiré qui achève de se saturer d'eau avant de traverser la membrane abdominale (Jeannel <sup>24</sup>).

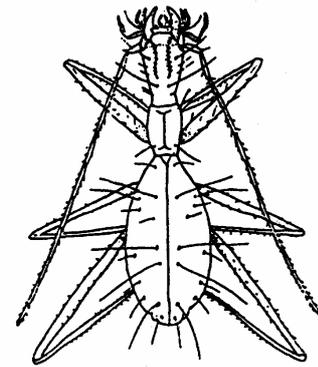


Fig. 1 – un *Aphaenops*, Coléoptère troglodyte (d'après Aubert, 2003)

Les Insectes troglobies ne peuvent vivre et respirer que dans l'air des grottes sursaturé d'humidité. Ce sont, pour reprendre le terme même de Jeannel <sup>22</sup>, des êtres sténohygrobies. Plus que l'obscurité, nous dit Jeannel, c'est la sténohygrobiose qui maintient les troglobies de façon étroite dans le milieu souterrain. De nombreux relevés, effectués pendant de longues années, ont montré que le degré hygrométrique atteignait toujours des valeurs très élevées dans les grottes habitées par les troglobies (Jeannel <sup>23</sup>). L'importance des rôles respectifs de l'obscurité et de l'humidité dans l'écologie des cavernicoles ressort d'une curieuse observation faite par Jeannel dans les Pyrénées ariégeoises : des Spéonomes (Coléoptères Catopidés troglobies) déambulaient en pleine lumière à l'entrée d'une grotte, attirés par une botte de paille, riche en nourriture, posée sur le sol détrempé par l'eau ruisselant le long des parois (Jeannel <sup>25</sup> ; Aubert <sup>7</sup>).

La saturation en eau de l'air souterrain donne lieu à de curieux phénomènes. La sténohygrobiose fait des cavernicoles terrestres ultra-évolués des êtres semi-aquatiques qui ne craignent pas, dans certaines circonstances, de pénétrer dans les étendues d'eau et de s'y déplacer tout à leur aise. Inversement, des sujets appartenant à des espèces normalement aquatiques peuvent sortir des lacs ou des cours d'eau souterrains pour effectuer sur le sol humide des parcours plus ou moins étendus (Jeannel <sup>21,24</sup>).

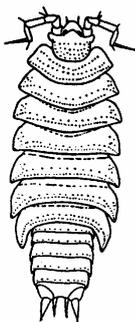


Fig. 2 – un Isopode cavernicole terrestre des grottes des Pyrénées : *Trichoniscus* sp. D'après Jeannel 1926

Certains Isopodes cavernicoles terrestres (fig. 2) n'hésitent pas à entrer dans l'eau et à y cheminer, en apparence sans aucune gêne. C'est le cas, par exemple, de certains Trichoniscides du groupe des *Titanethes* observés en Carniole. Ces Crustacés trottent prestement sur le sol de la grotte. Sans ralentir leur course, ils pénètrent dans les bassins pleins d'eau, dont ils parcourent le fond comme s'ils étaient à l'air libre. Des spéléologues ont noté le même comportement chez une espèce bulgare et une espèce algérienne

(Jeannel <sup>21</sup>). Nous rencontrons des faits comparables chez les Diplopodes. Parmi eux, des Polydesmes et des Brachydesmes cavernicoles entrent dans l'eau et s'y promènent de leur plein gré ! (Jeannel <sup>21</sup>).

Inversement, des espèces aquatiques peuvent quitter leur habitat « normal » et se déplacer sur le sol des cavités souterraines. Jeannel a observé

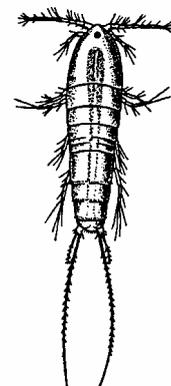
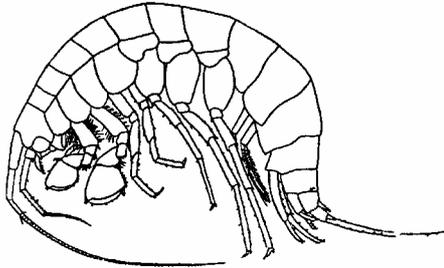


Fig. 3 – *Canthocamptus* sp. Certains Copépodes troglobies aquatiques du genre *Canthocamptus* sont susceptibles de se nourrir hors de l'eau. D'après Storch et Welsch 1997

des Copépodes aquatiques du genre *Canthocamptus* (fig. 3) sur des débris ligneux ou sur du guano de Chiroptères, hors de l'eau.

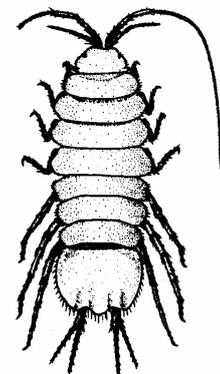
Dans les grottes pyrénéennes, les *Stenasellus*, Isopodes aquatiques, passent aisément d'un bassin aquifère à un autre, cheminant sur le sol humide. On les rencontre souvent sous les pierres, hors de l'eau, en



**Fig. 4 -** Amphipode du genre *Niphargus*  
Les *Niphargus*, proches parents des Gammarus, habitent les eaux souterraines. D'après Jeannel 1926.

compagnie d'Isopodes terrestres et de Coléoptères. Les *Niphargus* (fig.4), qui ressemblent aux Gammarus de nos sources et de nos fontaines, sont des Amphipodes. Ils comptent parmi les animaux les plus typiques de la faune aquatique cavernicole (Delamare-Deboutville<sup>13</sup>). On les rencontre, en grand nombre, dans les grottes, dans les ruisseaux et les bassins à fond argileux. Là, ils se nourrissent principalement du guano des Chiroptères. L'humidité à saturation de l'atmosphère souterraine leur permet de sortir de l'eau pour se disperser dans les grottes. Il n'est pas rare de les trouver sous les pierres mouillées. Ils partagent souvent cet habitat avec des troglobies terrestres. Parmi les Isopodes aquatiques il faut signaler les Asellidés qui habitent les mares et les lacs souterrains. Ces Crustacés peuvent changer de bassin en se déplaçant sur le sol humide (Jeannel<sup>21</sup>). *Caecidotea stygia* peut servir d'exemple d'Asellide troglobie aquatique. Il vit dans les eaux souterraines de certaines régions des Etats-Unis (Jeannel<sup>24</sup>).

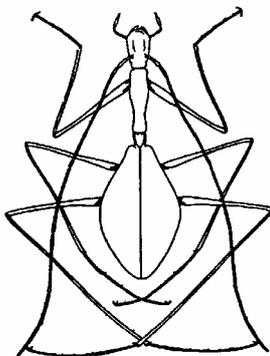
En Europe, habite *Asellus aquaticus* (fig. 5), qui fréquente aussi bien les eaux épiées à cours lent que les eaux souterraines. Dans les vastes réseaux hydrographiques souterrains, comme celui de la rivière Piuka, en Slovénie, et celui de la rivière Styx dans les gigantesques grottes du Mammoth dans le Kentucky, les crues provoquées par les pluies extérieures, inondent périodiquement les grandes galeries à fond argileux. En se retirant, les hautes eaux laissent la place à des biefs et lacs résiduels où se réfugient Poissons, Urodèles et Crustacés aquatiques. Ces derniers, nous l'avons vu, sont capables de passer sans difficulté d'un lac à un autre. L'atmosphère de leur biotope habituel, saturée d'humidité, leur permet de vivre aussi bien dans l'air que dans l'eau (Jeannel<sup>24</sup>). En outre, des Coléoptères habituellement terrestres, comme les Aphénops, les *Antroherpon*, (fig. 6), se laissent submerger sans en souffrir au moment des brusques inondations souterraines (Jeannel<sup>21</sup>).



**Fig. 5 -** L'Aselle aquatique, *Asellus aquaticus*, commun en Europe, fréquente les eaux de surface et les eaux souterraines. D'après Gruner, 1993.

En résumé, comme le note Ginet<sup>16</sup>, les troglobies aériens vivent en temps normal dans un bain d'humidité et les troglobies aquatiques peuvent

baigner dans l'humidité atmosphérique comme s'ils étaient dans l'eau ! Et le cas de l'influence des crues sur l'écologie des troglobies nous rappelle le rôle déterminant que peuvent exercer les pluies extérieures sur les processus météorologiques, hydrologiques, géologiques et biologiques qui se déroulent dans le milieu souterrain : météorologie de surface et météorologie souterraine contractent des liens étroits !



**Fig. 6 -** Les *Antroherpon*, sont des Coléoptères Tréichidés terrestres, susceptibles de se laisser submerger lors des crues souterraines. D'après Jeannel 1943.

Les biospéléologues se sont interrogés au sujet de l'origine des cavernicoles les plus spécialisés, les plus strictement inféodés au milieu souterrain. Jeannel<sup>23,24</sup> pense que les ancêtres des troglobies du sud de l'Europe et de la région méditerranéenne ont vécu dans les grandes forêts humides et froides de la fin de l'Ere Tertiaire et du Pliocène, lorsque s'accroissait le refroidissement général du climat. Des Coléoptères, en particulier, se sont progressivement habitués, au cours d'une longue série de générations, à vivre sur ou dans le sol imbibé d'eau de ces forêts, sous les

pierres ou parmi la mousse et les débris végétaux. Le ralentissement des oxydations endogènes qui en est résulté a provoqué la dépigmentation de leur corps et l'amincissement de leur tégument. Ces êtres, devenus incapables de respirer en dehors d'une atmosphère très humide, se sont réfugiés, lors de l'assèchement ultérieur de leur biotope, dans les grottes creusées par l'action dissolvante des eaux d'infiltration. Ils ont, selon le cas, emprunté les entrées de ces grottes ou les réseaux étendus des fentes, diaclases et fissures qui parcourent l'épaisseur des massifs calcaires. Parvenus dans le domaine souterrain, les Coléoptères troglobies ont poursuivi, sous l'action conjuguée de l'obscurité, de la basse température et de la forte humidité, une évolution orthogénétique exagérée, une véritable ultra-évolution. Tréhidés et Catopidés cavernicoles ont acquis, de la sorte, les extraordinaires caractères qui les distinguent des espèces épigées : réduction ou absence des yeux, allongement démesuré des pattes et des antennes, dépigmentation du corps, amincissement du tégument, acquisition, chez certains d'entre eux, d'une chambre respiratoire sous-élytrale. A n'en pas douter, le facteur « humidité » a joué dans cette évolution un rôle déterminant. La sténohygrobie a fait des troglobies des êtres paradoxaux !

Les Chiroptères ne sont pas des troglobies : ils peuvent ou non hiberner dans les grottes ou y prendre leur repos diurne, mais ils ne sont nullement inféodés de façon stricte au milieu souterrain. L'essentiel de leur activité se déroule au-dehors. Dans les grottes, ils recherchent une retraite paisible, une température pas trop basse (Aubert <sup>7</sup>) et une très forte humidité atmosphérique (Griffin <sup>18</sup>). Le degré hygrométrique mesuré dans les gîtes d'hibernation atteint 75 à 98 % d'après Bourlière <sup>10</sup>, 90 à 100 % d'après Maywald et Pott <sup>36</sup>. Dans les carrières souterraines du Bugeois, le taux d'humidité est souvent supérieur à 80 % (Aubert <sup>5</sup>). Lorsque la température et le degré hygrométrique diminuent de façon sensible, les hibernants peuvent rechercher un emplacement plus favorable. A cause de la grande surface de peau de leur patagium, les « Chauves-souris » se déshydrateraient dans une atmosphère dont la teneur en eau ne serait pas très élevée (Arthur et Lemaire <sup>2</sup>; Aubert <sup>3</sup>; Hainard <sup>19</sup>). Dans diverses grottes d'Ile-de-France, le degré d'humidité est de 85 % pour une température de +8 à +9°C (Aubert <sup>4</sup>). Ces conditions conviennent parfaitement à diverses espèces de Vespertilionidés et aux Rhinolophidés. En Belgique, Nerynx, cité par Rode <sup>31</sup>, indique un taux de 85 % d'humidité. Pendant leur sommeil léthargique hivernal, les Chiroptères ne boivent pas. Ce fait explique qu'ils se trouvent dans la nécessité absolue de se percher dans un endroit très humide lorsqu'ils commencent leur hibernation (Heim de Balsac, Bourlière et Grassé <sup>20</sup>). En été, les « Chauves-souris » boivent ; elles peuvent donc adopter des lieux de repos plus secs (Rode <sup>31</sup>).

## II) – Un air de composition variable :

*C'est donc au moyen de corps invisibles  
Que la nature fait sa besogne.*

*Lucrèce, De la nature. – livre I*

Il ne semble pas, *a priori*, que l'air dans le milieu souterrain ait une composition spéciale (Jeannel <sup>21,22,24</sup>). Effectivement, l'atmosphère d'une grotte régulièrement ventilée diffère peu, chimiquement, de l'atmosphère extérieure (Ginet et Decou <sup>17</sup>; Vandel <sup>33</sup>). Mais dans les cavités creusées dans les terrains éruptifs, l'air peut être pollué par des émanations d'origine volcanique. En pays calcaire, lorsque la topographie souterraine gêne la libre circulation des gaz, ceux-ci stagnent ou circulent lentement (Ginet et Decou <sup>17</sup>). En raison de sa densité - 1,52 par rapport à l'air - l'anhydride carbonique s'accumule dans les bas-fonds et les puits (Vandel <sup>33</sup>). Il en résulte une concentration accrue de ce gaz et une diminution corrélative de la quantité relative d'oxygène. Le dioxyde de carbone est même tellement abondant dans certaines parties basses des cavernes, qu'il y forme de véritables lacs gazeux particulièrement impropres à la vie (Jeannel <sup>22,24</sup>). Bien entendu, les teneurs élevées en CO<sub>2</sub> créent un risque certain pour les spéléologues (Ginet et Decou <sup>17</sup>). Au-dessus du niveau supérieur des lacs gazeux ci-dessus mentionnés, le gaz carbonique peut s'écouler en « ruisseaux aériens » qui rendent l'air irrespirable pour l'explorateur des cavernes, même si certains Arthropodes troglobies n'y sont nullement incommodés. Jeannel <sup>24</sup> a prospecté une grotte ardéchoise où le CO<sub>2</sub> coulait en abondance, empêchant la combustion des bougies et provoquant divers troubles physiologiques : oppression, maux de tête et goût métallique. Des *Speotrechus mayeti* (Coléoptères), des *Stygioglomeris duboscqi* (Diplopodes) et des *Oritoniscus cebenicus* (Isopodes), fréquentaient en nombre ces lieux dangereux pour l'Homme ! Selon Ginet et Decou <sup>17</sup>, lorsque la teneur en gaz carbonique atteint ou dépasse 10 %, la lampe à acétylène s'éteint et l'Homme commence à ressentir de sérieux malaises. Il n'en est pas de même des Araignées du genre *Meta*. Ces Arachnides supportent pendant une heure, sans manifester le moindre trouble, une atmosphère contenant 15 à 25 % d'anhydride carbonique...L'anesthésie provoquée par ce gaz chez les *Meta* cesse dès que les animaux sont replacés dans une atmosphère normale (Vandel <sup>33</sup>).

D'où provient le gaz carbonique rencontré dans les grottes ? Selon Ginet et Decou <sup>17</sup>, la source principale en est l'activité biochimique du sol superficiel. La respiration des végétaux, les fermentations humiques, les sécrétions des racines, la décomposition des matières organiques contribuent certainement dans une large mesure à enrichir en CO<sub>2</sub> l'air confiné du sol. Entraîné par la circulation de l'air et par son propre poids, le dioxyde de carbone emprunte le réseau des fentes et des fissures qui parcourt la roche sous-jacente. C'est ainsi qu'il parvient dans les salles et les galeries des grottes. Pour leur part, les eaux d'infiltration se chargent aussi de CO<sub>2</sub> qu'elles transportent à l'état dissous (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O ⇌ CO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>). Lors de la précipitation du carbonate de calcium, principalement, comme nous l'avons vu plus haut, sous forme de calcite donnant naissance aux stalactites et aux stalagmites, le gaz carbonique se dégage dans l'atmosphère des cavernes. (cf. plus haut, l'équation 2). Tous ces processus agissent plus ou moins de façon synergique : ils génèrent et régulent la quantité de CO<sub>2</sub> présente dans le milieu souterrain (Ginet et Decou <sup>17</sup>).

En réalité, les fortes concentrations en anhydride carbonique sont sujettes à des variations en quantité et en localisation. Elles sont en effet influencées par la circulation de l'air et de l'eau et le degré, plus ou moins changeant, du colmatage des fissures environnantes. En période de dépression barométrique, l'air interne d'un massif calcaire, plus chargé en CO<sub>2</sub>, diffuse au-dehors où il se disperse, ou se propage dans le dédale des cavités souterraines dont il modifie la composition chimique de l'atmosphère (Ginet et Decou <sup>17</sup>). La corrélation existant entre la météorologie extérieure et la météorologie souterraine apparaît, une fois de plus évidente.

### **III ) – Des courants d'air furtifs ... ou violents**

Der vorwelt heil'ge Lüfte  
Umwehn sein Angesicht...

Les effluves sacrés des premiers temps  
Soufflent autour de son visage...

*Novalis, Henri d'Ofterdingen*

Dans de nombreuses grottes l'atmosphère est calme, dénuée de toute turbulence. L'air se renouvelle avec une vitesse extrêmement faible. Dans les parties les plus profondes des cavernes, il est généralement immobile (Jeannel <sup>21,22,23,24</sup>). Il existe, toutefois, des exceptions notoires. En fait, il faut distinguer, avec Ginet et Decou <sup>17</sup> des grottes « statiques », où les courants aériens sont faibles ou inexistantes, et des grottes « dynamiques » où règnent des courants d'air sensibles et fréquents. L'auteur de ces lignes connaît dans le Bugeois deux carrières souterraines où la température des parties les plus éloignées de l'orifice d'accès varie de + 10 à + 12 °C, selon les emplacements, pendant l'hiver. Lorsque, les observations chiropérologiques terminées, on se dirige vers la sortie, on perçoit très bien dans l'axe de la galerie qui conduit vers celle-ci, une indéniable sensation de fraîcheur, due à un léger courant d'air.

Les causes génératrices des déplacements de l'air souterrain sont multiples. Nous savons qu'un même volume d'air est d'autant plus léger qu'il est plus chaud, d'autant plus lourd qu'il est plus froid. Or, la différence existant entre la température de l'atmosphère extérieure et la température de l'atmosphère d'une caverne est, dans certains cas, suffisamment élevée pour provoquer la naissance d'un courant aérien. La vitesse de ce dernier varie avec les dimensions et la topographie de la cavité, la grandeur de ses ouvertures, la section de ses galeries et l'importance de la réserve calorifique du massif calcaire qui la contient. La réserve calorifique est d'autant plus élevée que le karst est peu fissuré (Ginet et Decou <sup>17</sup>).

Le sens des courants d'air, dans le domaine souterrain, varie en fonction du cycle annuel des saisons. Il s'agit d'un effet différentiel : l'air extérieur est plus chaud en été et plus froid en hiver que l'air des grottes, même si la température de l'atmosphère de ces grottes reste constante tout au long de l'année. En règle générale, dans une cavité horizontale, l'air intérieur, plus froid, s'écoule par la partie inférieure du porche d'entrée, tandis que l'air extérieur, plus chaud pénètre par la partie supérieure de l'ouverture, pendant la saison estivale. Bien entendu, en hiver, c'est le phénomène inverse qui se produit : l'air intérieur, plus tiède, s'élève, grâce à sa légèreté et sort par la partie supérieure du porche. Dans le même temps, l'air extérieur, plus froid envahit la cavité en passant au niveau du sol de l'entrée (Ginet et Decou <sup>17</sup>).

Si la température de l'air extérieur, le jour, est nettement supérieure à la température de l'air de la grotte, et que la nuit –à cause du refroidissement nocturne- elle lui est nettement inférieure, alors le courant aérien se dirige pendant le jour comme en été et pendant la nuit comme en hiver. Le sens de la circulation aérienne s'inverse le matin, équivalent du printemps, et le soir équivalent de l'automne (Ginet et Decou <sup>17</sup>).

Il existe des grottes dont les orifices sont situés de part et d'autre d'un même massif, sur deux versants montagneux dont l'orientation diffère, l'une regardant vers le nord, l'autre vers le sud. ; Dans ce cas, l'ouverture située au nord est plus froide que celle placée au sud et la circulation de l'air a toujours lieu du nord vers le sud dans la journée, alors qu'elle est nulle durant la nuit. Lorsqu'une grotte est orientée est-ouest, le courant d'air se dirige vers l'est le matin, vers l'ouest l'après-midi. Comme dans le cas précédent, aucun courant ne circule au cours de la nuit (Ginet et Decou <sup>17</sup>).

Dans les cavités souterraines de grandes dimensions s'ouvrant au dehors par de petits orifices, la circulation de l'air dépend des variations de la pression barométrique extérieure (Ginet et Decou <sup>17</sup>).

Lismonde<sup>25</sup>, enfin, attire l'attention sur le rôle de la pluie dans la circulation de l'air d'une cavité. Une chute de pluie entraîne dans le karst une certaine quantité d'air. Il en résulte une surpression dans l'atmosphère souterraine. L'air de la grotte cherche alors à s'échapper à l'extérieur par l'orifice d'entrée et les fissures de la roche encaissante. Notons encore avec Lismonde que le vent extérieur soufflant près de l'entrée d'une grotte peut influencer le régime des courants d'air à l'intérieur de cette grotte.

Lorsque les orifices qui font communiquer une caverne avec l'extérieur sont de dimensions minimales, la circulation de l'air souterrain peut être très violente. Et selon les saisons, ces orifices se comporteront comme des trous « souffleurs » ou des trous « aspirateurs » (Vandel <sup>33</sup>).

Le régime interne des courants aériens influe de façon très nette sur l'écologie des cavernicoles ultra – spécialisés que sont les troglobies. Les Arthropodes troglobies, par exemple, ne peuvent vivre dans une atmosphère agitée. Leurs longues et délicates phanères sensibles leur permettent de détecter les plus légers mouvements de l'air ambiant. Les Coléoptères troglobies fuient les parties des grottes soumises aux courants d'air (Jeannel <sup>21,22,23,24</sup> ; Ginet et Decou <sup>17</sup> ; Vandel <sup>33</sup>).

Les Chiroptères, qui ne sont pas strictement inféodés au milieu souterrain comme le sont les Insectes troglobies, choisissent, pour hiberner dans les grottes et les carrières souterraines les emplacements les plus abrités. Ils évitent, en général, les courants d'air (Brosset <sup>11</sup>). Cela est particulièrement vrai des petites espèces de Vespertilionidés qui logent parfois dans des anfractuosités des parois ou de la voûte. Les Rhinolophes, qui s'enveloppent de leurs ailes comme d'un manteau avant d'entrer en léthargie, semblent moins exigeants vis-à-vis des courants d'air.

D'une manière générale, nous avons vu, tout au long de cet exposé, que les phénomènes météorologiques externes influaient, par toute une série de réactions en chaîne, sur le déroulement des processus physico-chimiques, géologiques et biologiques se déroulant à l'intérieur des grottes. Les antres souterrains ne sont pas totalement isolés du monde extérieur. Leur tranquillité est parfois troublée par des perturbations d'origine exogène. Ils n'en constituent pas moins un monde merveilleux où l'Homme trouve une certaine sérénité et de nombreux animaux, un refuge.

Il importe à tout prix, comme le rappelle Delamare-Deboutville <sup>12</sup>, de respecter et de protéger cet univers où tant d'êtres vivants respirent, se déplacent, se nourrissent et se reproduisent !

-----

## BIBLIOGRAPHIE

- 01 Aellen (V.), Strinati (P.), 1975 – Guide des grottes d'Europe. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, Paris : 11- 26
- 02 Arthur (L.), Lemaire (M.), 1999 – Les chauves-Souris, maîtresses de la nuit. Delachaux et Niestlé, Lausanne, Paris : 74-78
- 03 Aubert (A.), 1962 – Ce monde si mal connu des Chauves-Souris. *La vie des bêtes*. n° 51 (octobre) : 16-19
- 04 Aubert (A.), 1978 – De précieux auxiliaires de l'agriculture : les Chauves-Souris. *Bull. int. nat. et progr. Seine-et-Marne* n° 4 : 10-13 : 12
- 05 Aubert (A.), 2000 – De vieux habitants de nos contrées : les Chiroptères. *Bull. ann. Comité Météo. M-et-L.*, Angers-Beaucouzé n° 50 : 26-33.
- 06 Aubert (A.), 2001 – Les Mammifères volants (2<sup>ème</sup> partie) : une extraordinaire diversité. *Cours de l'Institut Municipal, Angers* (7 mars).
- 07 Aubert (A.), 2003 – Grottes et cavernes : un monde à l'abri des intempéries ? – 1<sup>ère</sup> partie : lumière, obscurité et température dans le domaine souterrain. *Bull. ann. Comité Météo du Maine-et-Loire*. Angers – Beaucouzé n° 53 : 20-38.
- 08 Bellair (P.), Pomerol (Ch.), 1965 – Eléments de géologie. Armand Colin, Paris : 351-361
- 09 Bertin (L.), 1939 – Géologie et Paléontologie. Larousse, Paris. : 59-65.
- 10 Bourlière (F.), 1951 – Vie et mœurs des Mammifères. Payot, Paris. : 192-193.
- 11 Brosset (A.), 1966 – La biologie des Chiroptères. Masson, Paris. : 103
- 12 Delamare Deboutville (Cl.), 1967 – Un monde à préserver : le domaine cavernicole. *Atomes*, Paris, n° 245 (juillet – août) : 447-450.
- 13 Delamare Deboutville (Cl.), 1971 – La vie dans les grottes. Presses Universitaires de France, Paris.
- 14 Emmons (W.), Allison (I.S.), Stauffer (C.R.), Thiel (G.A.), 1960 – Geology : principles and processes. Mc Graw Hill, New-York. : 315-334
- 15 Gèze (B.), 1965 – La spéléologie scientifique. Seuil, Paris. : 122-136.
- 16 Ginet (R.), 1966 – La faune des eaux souterraines. *Atomes*, n° 232 : 231-239.
- 17 Ginet (R.), Decou (V.), 1977 – Initiation à la biologie et à l'écologie souterraine. Jean-Pierre Delarge, Paris : 47-79
- 18 Griffin (D.R.), 1958 – Listening in the dark. The acoustic orientation of bats and men. Yale University Press, New-Haven. : 32-56 : 41
- 19 Hainard (R.), 1948 – Les Mammifères sauvages d'Europe (I). Insectivores, Chéiroptères, Carnivores. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, Paris. : 92-93
- 20 Heim de Balsac (H.), Bourlière (F.), Grassé (P.P.), 1955 – [Ordre des Chiroptères]. Biologie et éthologie. in Grassé (P.P.), *Traité de Zoologie*. Masson, Paris : XVII (II) : 1780-1805.
- 21 Jeannel (R.), 1926 – Faune cavernicole de la France avec une étude des conditions d'existence dans le domaine souterrain. Paul Lechevalier, Paris
- 22 Jeannel (R.), 1937 – Le domaine souterrain in *Encyclopédie française*, 2<sup>ème</sup> partie, section B, ch V : 5-54 : 11-16.
- 23 Jeannel (R.), 1942 – La genèse des faunes terrestres. Presses Universitaires de France, Paris
- 24 Jeannel (R.), 1943 – Les fossiles vivants des cavernes. Gallimard, Paris.
- 25 Lismonde (B.), 2002 – Climatologie du monde souterrain (II) Aérologie des systèmes quarstiques. Edition du Comité Départemental de Spéléologie de l'Isère, Grenoble : 35, 99, 111, 112, 285.
- 26 Maywald (A.), Pott (B.), 1989 – Les Chauves-Souris, les connaître, les protéger. Ulisse, Paris. : 43-45.
- 27 Moret (L.), 1962 – Précis de géologie. Masson, Paris. : 212-213.
- 28 Partington (J.R.), 1957 – A text book of inorganic chemistry. Mac Millan, Londres. : 182-183.
- 29 Rémy (H.), 1956 – Treatise on inorganic chemistry. Vol. I. Elsevier, Amsterdam. : 274-278.
- 30 Rewerski (J.), Gilbert (Ch.), 1986 – Le monde souterrain de l'Anjou. La Nouvelle République, Tours. : 147-150.
- 31 Rode (P.), 1947 – Les Chauves-Souris de France. N. Boubée, Paris. : 59-60
- 32 Thinès (G.), Tercafs (R.), 1972 – Atlas de la vie souterraine. Les animaux cavernicoles. Albert de Vischer, Bruxelles. N. Boubée, Paris :
- 33 Vandel (A.), 1964 – Biospéologie. La biologie des animaux cavernicoles. Gauthier-Villars, Paris. :

