

II. Les Urodèles subissent de nombreuses menaces

Il est à noter que la plupart des études réalisées l'ont été sur des Anoures. Cependant on peut considérer que les effets seront globalement les mêmes sur les Urodèles qui présentent les mêmes caractéristiques physiologiques, et qui vivent dans des conditions similaires.

A. Pesticides et autres contaminants chimiques

1. Pesticides

L'influence des substances chimiques, déversées dans l'environnement par l'homme, sur les Amphibiens est de plus en plus étudiée car ils sont les premiers touchés à cause des caractéristiques de leur peau, perméable à la plupart des molécules. Par ailleurs, de nombreuses populations d'Amphibiens vivent dans les milieux agricoles et sont donc directement concernées par ces polluants chimiques.

La plupart des études réalisées en premier lieu ont étudié les effets des contaminants chimiques à dose létale, or les animaux sont plus souvent confrontés à des doses sublétales, pour lesquelles peu de données étaient connues. A présent, on sait que ces doses peuvent induire des malformations embryonnaires, des croissances et des comportements anormaux (Bridges, 1997 ; Bridges, 2000). Tous ces troubles entraînent une moindre réactivité face aux prédateurs (Bridges, 1999a), une moins bonne compétitivité face aux autres espèces et une moins bonne capacité reproductrice (Bridges, 1999b ; Relyea et Mills, 2001 ; Boone et Semlitsch, 2002). Par ailleurs, ces substances chimiques altèrent l'immunité des animaux, les rendant plus sensibles aux autres menaces telles que les maladies et les rayons ultraviolet (Blaustein *et al.*, 2003 ; Christin *et al.*, 2003 ; Daszak *et al.*, 2003 ; Gendron *et al.*, 2003). Dans certains cas, les pesticides peuvent entraîner des troubles hormonaux et créer ainsi des individus hermaphrodites (Hayes *et al.*, 2002b ; Hayes *et al.*, 2003).

La tolérance aux pesticides (insecticides, fongicides et herbicides) est très variable selon l'espèce prise en compte (Bridges *et al.*, 2002). Cette variabilité induit une difficulté dans l'extrapolation des résultats obtenus sur un faible nombre d'espèces. Cependant, on peut tout de même en dégager de grandes lignes, tout en tenant compte que ces grandes lignes ne sont pas valables pour tous. Des études concernant le carbaryl, un carbamate, ont permis de mettre en évidence deux cas de figures. Une exposition ponctuelle à des doses supérieures à celle couramment trouvées dans la nature est suffisante pour entraîner la mort des larves (Bridges, 1999a). A l'inverse, une exposition chronique à des doses inférieures à celles trouvées dans l'environnement entraîne un accroissement de la mortalité larvaire et une augmentation des malformations embryonnaires. Cette exposition entraîne aussi un comportement de nage anormal qui favorise leur capture par les prédateurs et une baisse de la prise de nourriture amenant une taille plus petite à la métamorphose (Bridges, 2000). Le carbaryl a aussi un effet indirect sur les larves de salamandres car il élimine leur source de nourriture, les invertébrés aquatiques, entraînant ainsi une mortalité larvaire. Des études ont aussi été réalisées sur l'atrazine, l'herbicide le plus utilisé aux Etats-Unis. Bien que l'on ait longtemps considéré que cette substance n'avait pas d'incidence sur les animaux, des études en laboratoires ont montré l'apparition d'individus hermaphrodites chez *Xenopus laevis* et *Rana pipiens* adultes (Hayes *et al.*, 2002a ; 2002b et 2006a ; Tab. 1). En plus de cela, les populations sauvages de *Rana pipiens* ont été surveillées, et à chaque fois que la concentration en atrazine dépassait 0,1 ppm (particule par million), il a été retrouvé des individus hermaphrodites (Hayes *et al.*, 2003 et 2006a). La demi-vie de l'atrazine dans le sol est de 15 à 100 jours (selon la pluviométrie et le

type de sol), ce qui en fait un contaminant dangereux pour les amphibiens, d'autant plus que les pics de concentration coïncident avec les périodes de reproduction des animaux.

Tableau 1 : Contaminants chimiques et leurs effets sur certaines espèces d'Amphibiens (Amphibaweb, 2009)

Contaminant	Espèce	Effet	Référence
Atrazine	<i>Xenopus laevis</i>	Perturbation de la stéroïdogénèse entraînant une féminisation et des hermaphrodismes	Hayes <i>et al.</i> , 2002 et 2006a
Atrazine	<i>Rana pipiens</i> (Anoure)	Perturbation de la stéroïdogénèse entraînant une féminisation et des hermaphrodismes	Hayes <i>et al.</i> , 2003
Hydrocarbures chlorés	<i>Necturus maculosus</i>	Changement dans la sécrétion de corticoïdes perturbant la reproduction	Bishop et Gendron, 1998
Endosulfane (insecticide organochloré)	<i>Notophthalmus viridescens</i>	Altération de la morphologie des glandes hormonales femelles et interférence avec les signaux hormonaux nécessaires à l'accouplement	Hayes <i>et al.</i> , 2006b
Carbaryl	<i>Hyla versicolor</i> (Anoure)	Élimination de 60 à 98% des larves en présence de prédateurs	Reylea et Mills, 2001

2. Métaux lourds et acidification

L'agriculture intensive et l'exploitation des mines (notamment dans des régions riches en populations d'Amphibiens) entraînent un relargage de métaux lourds dans la nature et une acidification des sols. Cette acidification est aussi largement causée par les autres industries et les pluies acides. Les métaux pouvant ainsi être retrouvés sont : l'aluminium (Al), le plomb (Pb), le zinc (Zn), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), l'argent (Ag), le cuivre (Cu), l'arsenic (As), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo) et l'antimoine (Sb).

Ces divers contaminants peuvent affecter de manière néfaste le développement ou le comportement des Amphibiens (Tab. 2) qui y sont exposés (Blaustein *et al.*, 2003). L'acidification des sols seule peut induire des troubles lors du développement embryonnaire. Ainsi un pH très acide entraîne l'arrêt du développement (Freda *et al.*, 1990a et b) ; un pH moyennement acide ne bloque pas le développement mais inactive les enzymes permettant aux embryons d'éclore, entraînant ainsi le blocage des larves entièrement développées dans les œufs (Clark et Lazerte, 1987).

Ces deux facteurs, métaux et acidification, agissent en synergie car la solubilité des métaux dans l'eau est augmentée lorsque le pH est acide. Par conséquent, les métaux sont plus facilement emportés vers les points d'eau lorsque les eaux de ruissellement sont acides (Blaustein *et al.*, 2003).

Tableau 2 : Métaux, acidification et leurs effets sur certaines espèces d'Amphibiens
(Amphibaweb, 2009)

Contaminant	Espèce	Effet	Référence
Poussière de charbon	<i>Rana catesbeiana</i> (Anoure)	Augmente l'incidence de malformations buccales, un métabolisme plus élevé et une faible survie larvaire	Rowe <i>et al.</i> , 1996 et 1998
Poussière de charbon	<i>Bufo terrestris</i>	Faible survie larvaire ; si les larves sont implantées sur un site pollué, elles meurent toutes avant la métamorphose. Augmente les taux de corticoïdes et de testostérone	Rowe <i>et al.</i> , 2001 ; Hopkins <i>et al.</i> , 1997
Acidification	<i>Ambystoma tigrinum</i> (Anoure)	Entraine un déclin des populations au Colorado	Harte et Hoffman, 1989
Acidification	<i>B. calamita</i> (Anoure)	Entraine un déclin des populations en Angleterre	Beebee <i>et al.</i> , 1990
Aluminium et acidification	<i>B. americanus</i> et <i>R. sylvatica</i> (Anoures)	Diminue le taux d'éclosion	Clark et La Zerte, 1987

3. Composés nitrés

La pollution par les composants nitrés est un problème de plus en plus important, notamment à cause de leur utilisation massive dans l'agriculture, dont les conséquences restent malheureusement souvent inconnues (Tab. 3). Certains axes aquatiques importants d'Amérique du Nord présentent des concentrations en nitrates suffisantes pour entrainer la mort des Amphibiens (Rouse *et al.*, 1999). Ces composés nitrés parviennent jusqu'aux nappes phréatiques ou aux points d'eau par le biais du ruissellement : plus le sol en est chargé, plus la contamination est élevée. Ce problème est majeur dans les zones d'agriculture intensive où ils sont utilisés en tant qu'engrais et sont rejetés dans les déjections des animaux, se retrouvant ainsi dans le fumier ou lisier. Les zones où les champs ne sont pas bordés par des haies sont encore plus sensibles car les eaux de ruissellement ne sont pas stoppées et le lessivage des sols est plus important. On retrouve les composés nitrés sous quatre formes : l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates, l'ammonium (cités du plus toxique au moins toxique) (Amphibiaweb, 2009).

Tableau 3 : Les composants nitrés et leurs effets sur certaines espèces d'Amphibiens
(Amphibaweb, 2009)

Contaminant	Espèces	Effet	Référence
Nitrates	<i>Rana aurora</i> (Anoure) et <i>Ambystoma gracile</i>	Diminue la prise alimentaire, la nage est moins vigoureuse, entraîne des troubles de l'équilibre, induit des malformations pouvant aller jusqu'à la non viabilité	De Solla <i>et al.</i> , 2002
Engrais à base d'Urée	<i>R. cascadae</i> et <i>B. boreas</i> (Anoures)	Les jeunes récemment métamorphosés voient leur comportement alimentaire altéré	Blaustein <i>et al.</i> , 2003
Perchlorate d'Ammonium	<i>X. leavis</i>	Inhibition du développement des membres postérieurs, modifie le <i>sex ratio</i> , dérègle le fonctionnement de la thyroïde, diminue le taux d'éclosion	Goleman <i>et al.</i> , 2002
Ammonium	<i>B. americanus</i> , <i>Pseudachris triseriata</i> , <i>R. pipiens</i> et <i>R. clamitans</i> (Anoures)	Diminue le taux de survie des larves, diminue l'activité, entraîne des pertes de poids rapides	Hecnar, 1995

B. Remaniements des habitats

Le remaniement des habitats reste très certainement la cause majeure et prédominante du déclin rapide des Amphibiens, et donc des Urodèles, tout autour du globe. Cette cause est d'autant plus importante que les Urodèles ont colonisé de nombreux milieux différents (forêts, lacs, rivières, plaines). De plus, de nombreuses espèces nécessitent la présence d'un milieu aquatique et d'un milieu terrestre pour pouvoir survivre, ce qui accentue l'importance des remaniements de l'habitat : la perte de l'un des deux entraîne la disparition de l'espèce. Ces remaniements peuvent être de trois types : tout d'abord la destruction de l'environnement, puis l'altération de cet environnement et enfin la fragmentation des espaces disponibles pour les animaux.

1. Destruction de l'habitat

La destruction de l'habitat se définit comme l'élimination complète d'un écosystème et la perte de sa fonction biologique (Dodd et Smith, 2003). Un bon exemple serait la transformation d'une zone forestière humide en une zone urbaine. L'exploitation des zones forestières pour le commerce du bois fait donc partie des actes entraînant la destruction d'un habitat. Les effets de ce type d'exploitation ont été étudiés aux Etats-Unis, dans les Appalaches, où une étude a mesuré la quantité de salamandres présentes dans les zones exploitées et celle dans les zones de forêt plus reculées et donc épargnées par l'activité humaine (Petranka *et al.*, 1993). Les résultats ont montré que les salamandres étaient cinq fois plus nombreuses dans les forêts reculées que dans les zones exploitées. A partir de cette étude, il a été estimé que ce type d'exploitation forestière avait entraîné la perte de quatorze millions de salamandres par an. On voit donc bien à travers cet exemple l'effet délétère très important et rapide de la perte de l'habitat sur les populations d'Urodèles.

2. Altération de l'habitat

L'altération de l'environnement se définit comme un remodelage partiel de l'environnement permettant à l'écosystème de toujours assurer au moins une partie de sa fonction biologique. Ce remodelage peut être permanent ou temporaire (Dodd et Smith, 2003). Une bonne illustration de cet effet sur les Urodèles est la mise en pâture de bovins dans des zones où il y a des étangs. Ces étangs sont des sites de ponte, de vie pour les larves voire même de vie pour les adultes selon les espèces. L'intégrité des berges et de la végétation présente à sa périphérie est primordiale pour leur survie. Si des bovins viennent régulièrement s'abreuver et s'alimenter autour de l'étang, il en résulte une altération de la végétation et des berges, rendant ainsi difficile la survie des Urodèles présents dans ce milieu. Si les bovins pâturent près d'une rivière, l'érosion des berges de celle-ci est encore plus marquée et rend difficile les déplacements des individus entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Cependant, si l'on empêche les bovins d'accéder aux berges, la végétation initiale repousse rapidement et les berges finissent par redevenir praticables pour les Urodèles. Le remaniement est là temporaire, mais n'en est pas moins délétère tant que ce qui le cause est présent.

3. Fragmentation de l'habitat

La fragmentation des habitats résulte de la destruction de ceux-ci. En effet, la destruction des habitats coupe les voies de communication entre les diverses populations initialement présentes sur le site et les isole ainsi les unes des autres. Beaucoup d'espèces d'Urodèles présentent des populations distinctes les unes des autres au sein d'une même espèce, populations qui évoluent peu puisqu'il n'y a pas de brassage génétique avec les autres (Marsh et Trenham, 2001). Les modèles statistiques d'étude prédisent une disparition sur le long terme de ce type d'espèce qui, contrairement à celles où un brassage, et donc une diversité génétique, reste important. Ces espèces sont moins susceptibles de pouvoir s'adapter aux changements défavorables de l'environnement.

C. Introduction d'espèces

L'homme n'a eu de cesse d'apporter avec lui des espèces qui lui paraissaient profitables d'un point de vue nutritif ou d'un point de vue esthétique. C'est ainsi que de nombreuses espèces animales et végétales se sont disséminées dans des lieux où elles se sont retrouvées sans prédateurs et capables d'exercer une forte pression sur les populations endémiques.

Les Urodèles n'ont pas échappé à ces invasions. Dans de nombreux lieux, ils se sont trouvés confrontés à la Grenouille Taureau (*Rana catesbeiana*), espèce de grande taille capable de coloniser de nombreux milieux et exerçant dans ceux-ci une pression de sélection en soustrayant de nombreuses proies aux espèces déjà présentes. Dans certains lacs et rivières, des réintroductions plus ou moins massives de Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) ont entraîné la raréfaction voire la disparition de certaines populations d'Urodèles à cause de la prédation que les truites exercent sur les larves et les adultes. Un autre exemple, végétal celui-ci, est la Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), plante d'ornement qui a été disséminée en Europe et qui induit un assèchement des plans d'eau sur lesquels elle se développe, ce qui à long et moyen terme entraîne une disparition des lieux de vie et/ou de ponte des Urodèles.

Il est aussi intéressant de noter que l'introduction de plusieurs espèces dans un écosystème stable renforce le phénomène de perturbation de celui-ci. Ainsi, il a été montré que la présence de poissons exotiques (dans le sens non endémiques), facilite la dissémination des grenouilles taureau (Adams *et al.*, 2003). En effet, ces poissons exercent une forte prédation sur les insectes et notamment sur les libellules, or, les larves de celles-ci constituent des

prédateurs pour les têtards. Cela facilite l'implantation des grenouilles taureau au détriment des autres espèces d'Amphibiens endémiques au site.

D. Changements climatiques

Les changements climatiques, que ce soit au niveau des températures ou de l'hygrométrie, influent directement ou indirectement sur la vie des Amphibiens et donc des Urodèles. Le problème qui se pose pour mettre en évidence une telle relation de cause à effet est l'absence de données préexistantes à comparer aux données actuelles (Carey et Alexander, 2003). Il existe en effet des bases de données concernant le climat mais celles-ci ne remontent qu'à quelques décennies. Quant aux données concernant les Urodèles dans leur milieu naturel, elles sont presque inexistantes. Cependant, quelques faits ont déjà été étudiés, et les derniers résultats disponibles montrent que des extinctions d'espèces apparaissent dans des zones où l'habitat n'est pas remanié, suggérant fortement l'influence des changements climatiques (Amphibiaweb, 2009).

La reproduction des Urodèles est très influencée par les pluies et les températures. Une hypothèse a donc été formulée par de nombreux scientifiques que la légère montée des températures observées actuellement pourrait entraîner une sortie d'hibernation et une saison de reproduction plus précoces. Cette précocité pourrait être préjudiciable aux pontes qui seraient plus exposées à une nouvelle gelée ou aux pluies entraînant une augmentation des flux torrenticoles. Pour vérifier si cette hypothèse est exacte, de nombreuses prospections ont été effectuées en Angleterre et en Amérique du Nord pour mettre en évidence une précocité dans les pontes. Ces études réalisées dans les années 90 ont pris comme bases les moments de reproduction répertoriés au début du XXème siècle. Ces études ont montré des résultats très variables, certaines espèces semblent en effet se reproduire plus tôt, mais pas toutes les populations au sein de ces espèces. Il semble que ces variations soient dépendantes des lieux de vie des populations. Concernant les Urodèles, seules deux espèces dans le même lieu ont montré une précocité dans les pontes, il s'agit de *Triturus cristatus* et *Triturus vulgaris* dans la province du Sussex en Angleterre (Beebee, 1995).

Une autre menace directe pèse sur les Amphibiens : les sécheresses et les gelées qui entraînent des disparitions des populations. Des études sud-américaines et australiennes ont mis en évidence ce phénomène, certes plus sur des Anoures que des Urodèles, mais on est en droit de supposer qu'il n'y a pas de différences avec les populations d'Urodèles exposées au même phénomène. Ainsi, au Brésil, il a été montré que des périodes de gelée anormales coïncidaient avec des disparitions de certaines populations de grenouilles (Heyer *et al.*, 1988). En Australie, il a été établi une corrélation entre des périodes de sécheresse intense et la disparition des Amphibiens inféodés au milieu forestier tropical (Ingram, 1990 et Laurance *et al.*, 1996). Enfin, il a été remarqué que les endroits du globe où la température s'était quelque peu élevée depuis les dernières décennies sont aussi des lieux où les populations d'Amphibiens déclinent (Pounds *et al.*, 2006).

Concernant les effets indirects, l'un d'eux a été bien étudié et constitue un fléau pour les Amphibiens à travers le monde : le chytride (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Ce champignon, responsable de la mort de nombreux Amphibiens tout autour du globe, ne cesse de s'étendre sans que rien ne semble pouvoir stopper sa progression. La température favorable à sa croissance se situe entre 6 et 28°C et il supporte mal des températures excédant 32°C. Il est fortement probable que les changements de température et d'humidité dans de nombreuses régions du globe ont favorisé sa dissémination. Ainsi, au Costa Rica, il a été remarqué que les

températures ont évolué avec une diminution de la température maximale journalière et une augmentation de la température maximale nocturne. Ces changements ont amené des températures correspondant parfaitement à celles favorables au développement du chytride.

Par ailleurs, les sécheresses entraînent une diminution de la profondeur des plans d'eau où se reproduisent les Amphibiens. De fait, les embryons sont plus exposés aux rayons UV-B, ce qui crée une baisse d'immunité et favorise l'implantation de maladies telles que des mortalités dues à *Saprolegnia ferax* (Kiesecker *et al.*, 2001).

Enfin, il est certainement probable que l'effet le plus délétère pour les Amphibiens au regard des changements climatiques sera certainement le manque de disponibilité d'eau, plus que l'augmentation des températures (Araujo *et al.*, 2006).

E. Rayons ultra-violet

Il existe plusieurs types de rayons ultraviolets, les UV-A (315-400 nm) qui ne sont pas absorbés par presque tous les organismes, les UV-B (280-315 nm) qui sont les plus dangereux pour les êtres vivants, et les UV-C (200-280 nm) qui sont presque totalement absorbés par la couche d'ozone. Du fait de leur peau fragile et de l'absence de coquille autour de leurs œufs, les Urodèles sont doublement sensibles aux UV-B. Si l'on combine ce fait à l'augmentation de la quantité de rayons UV-B traversant la couche d'ozone dû à son amincissement, il en résulte que les Urodèles ont certainement dû en pâtir durant ces dernières décennies (Blaustein *et al.*, 2003).

Les effets délétères des UV-B varient en fonction de l'espèce considérée et même du stade de développement (embryonnaire, larvaire, adulte). Il arrive aussi que les effets varient au sein des diverses populations qui constituent l'espèce. On a pu ainsi observer des malformations, des déficiences immunitaires et des faibles taux de croissance dus à l'exposition aux rayons UV-B.

Citons quelques résultats des études réalisées. Il a pu être observé un accroissement de la mortalité embryonnaire chez *Ambystoma gracile* (Blaustein *et al.*, 1995). Chez *Taricha granulosa*, les UV-B accroissent l'activité des individus, réduisant ainsi les comportements de protection vis-à-vis des prédateurs et entraînent aussi un noircissement de la peau (Blaustein *et al.*, 2000 ; Belden et Blaustein, 2002). Chez *Triturus cristatus*, les études ont montré que les UV-B entraînent des lésions cutanées et des comportements anormaux avec, notamment, des animaux qui nagent de manière atypique (Langhelle *et al.*, 1999). Il en est de même pour les larves de *Triturus alpestris* (Nagl et Hofer, 1997).

F. Maladies :

De nombreuses maladies sont susceptibles d'affecter les Urodèles et cela de manière tout à fait naturelle. Cependant, ces maladies aggravent la situation de certaines espèces déjà menacées par les autres facteurs, et parmi ces maladies, une se détache des autres en se propageant à grande vitesse et en tuant un grand nombre d'Amphibiens : la chytrido-mycose.

1. Chytride

Cette fameuse maladie est une mycose due au chytride (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Cette mycose est actuellement la plus sévère connue pour les amphibiens et

décime un nombre important d'amphibiens tous les ans. L'affection a touché le continent européen depuis quelques années et est actuellement sous surveillance un peu partout dans le monde. Au départ, le champignon était endémique à l'Afrique du Sud chez *Xenopus laevis*, puis a été disséminé suite au commerce des animaux à partir de 1930.

Le champignon se développe sur l'épiderme des amphibiens et puise son énergie dans la kératine présente dans la couche cornée. Les amphibiens sont les seuls vertébrés connus pour permettre le développement du chytride, les autres peuvent le véhiculer mais ne souffrent d'aucune lésion. Certains amphibiens peuvent vivre en harmonie avec ce champignon, mais pour la plupart la présence, même minime, du chytride est synonyme de maladie. Les sources de champignons sont les animaux infectés, le milieu environnant et le matériel présent. Les spores ne résistent pas à la dessiccation.

Le chytride a été identifié comme la maladie présentant le plus grand danger infectieux pour les Amphibiens au niveau mondial, les régions les plus touchées étant l'Australie, l'Amérique centrale, l'Amérique du sud et l'Espagne (Amphibiaweb, 2009).

2. Syndrome « Red legs »

Il est aussi important de citer une maladie d'origine bactérienne qui tout en ayant un impact moins fort que le chytride met en péril le devenir de populations déjà fragilisées par d'autres facteurs. Cette maladie est le syndrome "Red legs" qui est rencontré couramment dans la nature chez les Urodèles et les Amphibiens en général. Ce syndrome tire son nom des symptômes qu'il entraîne. En effet, il est associé à des hémorragies cutanées que l'on observe sur presque tous les animaux affectés et qui se voient particulièrement sur les pattes. Ce syndrome est dû à une dermatosepticémie, c'est-à-dire une infection bactérienne d'allure septicémique et dont les symptômes sont localisés au niveau cutané. Cette maladie se contracte suite à un épisode de stress tel que des mauvaises conditions d'élevage, un changement d'environnement, une maladie concomitante, une surcharge en individus, ...

Cette dermatosepticémie est due à des bactéries ubiquitaires dans l'environnement telles que : *Flavobacterium indologenes*, *Chryseobacterium meningosepticum*, *Pseudomonas sp*, *Acinetobacter sp*, *Citrobacter freundii*, *Proteus sp*, *Streptococcus* non hémolytique du groupe B, ... Ce sont donc des agents commensaux des amphibiens qui provoquent ce syndrome, l'équilibre étant rompu à la suite d'une baisse d'immunité. Cette maladie n'est *a priori* pas contagieuse, mais peut le sembler car il est rare qu'un seul animal soit soumis à un stress important dans la même aire (Chai *et al.*, 2008).