

À première vue, l'idée que la fécondation interne ait entraîné la diversification évolutive des arthrodires semble contre-intuitive. Le frai crée en effet des dizaines de milliers d'œufs, donc *a priori* beaucoup plus de descendants que la copulation et la mise au monde de quelques jeunes entièrement formés, pour lesquels la mère investit beaucoup d'énergie. Et plus la progéniture est importante, plus grandes sont les chances que l'un des descendants hérite d'une combinaison de gènes pouvant conduire au début d'une spéciation.

Cependant, au cours du Dévonien, la plupart des poissons se nourrissaient d'autres poissons, de sorte que les minuscules petits tout juste nés du frai représentaient des proies faciles. Produire moins de descendants, mais des descendants de plus grande taille capables de fuir ou de se défendre, donne de meilleures chances de survie aux jeunes, qui parviennent ainsi plus souvent à l'âge de se reproduire. Ce nouveau mode de reproduction pourrait donc avoir conféré aux arthrodires un avantage sélectif notable.

Protection rapprochée des œufs

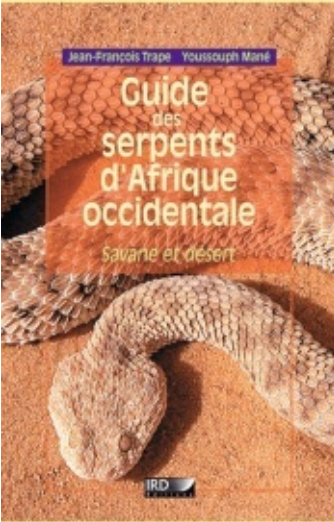
De nombreuses questions sur l'origine et l'évolution de la fécondation interne chez les vertébrés restent sans réponse. On ignore par exemple comment exactement les placodermes ont abandonné le frai pour la fécondation interne. Je ne peux que conjecturer la nature de ce changement. Cela a pu commencer par la sélection d'un comportement consistant pour les mâles et les femelles à frayer côte à côte, l'avantage de cette proximité étant un taux de fécondation plus élevé et la protection assurée aux œufs fécondés. Une étape intermédiaire est aussi envisageable : au lieu de déposer les œufs dans l'eau, la femelle ou le mâle aurait porté la masse d'œufs, comme le font les hippocampes qui couvent leurs œufs dans des poches incubatrices.

L'utilisation de nageoires pelviennes pour transférer le sperme avec plus de précision à la masse d'œufs a peut-être amené le mâle à se rapprocher de la femelle. Cette adaptation aurait créé une pression de sélection conduisant à des lobes de nageoires pelviennes plus grands et plus allongés, devenus *in fine* des ptérygopodes.

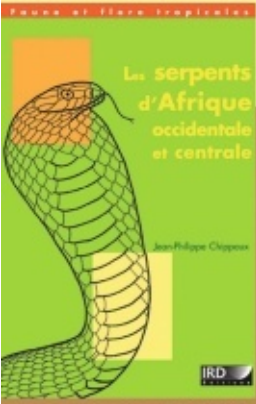
Quels sont les facteurs neurobiologiques qui ont rendu les mâles désireux d'insérer des parties de leurs nageoires pelviennes dans les femelles lors de l'accouplement ? L'apparition de cette pulsion résulte peut-être de la pression de sélection, qui poussait le mâle à féconder les œufs au plus vite, avant que la femelle ne les ait émis, notamment en raison de la compétition avec les autres mâles. Des études complémentaires des signaux chimiques et des déclencheurs neuronaux qui régissent le comportement d'accouplement des requins et des autres poissons pourraient nous éclairer sur l'apparition de cette première étape évolutive vers la copulation. ■


**Institut de recherche
pour le développement**

Un éditeur pour le développement



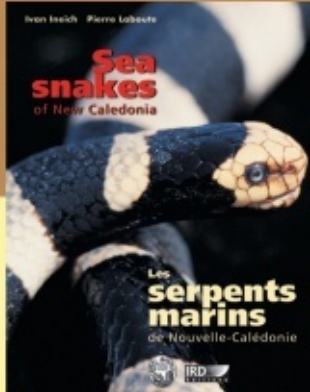
**Guide des
serpents
d'Afrique
occidentale**
Savane et désert
Jean-François Trape, Youssouph Mané
IRD
228 p. 29 €



**Les serpents d'Afrique
occidentale et centrale**
Jean-Philippe Chippaux
IRD
312 p. 28 €



**Venins de serpent
et envenimations**
Jean-Philippe Chippaux
IRD
288 p. 28 €



**Les serpents marins
de Nouvelle-Calédonie**
Y. INEICH, P. LABOUTE
304 p. 51 €

Diffusion libraires : Eyrolles/Géodif
Vente par correspondance : IRD Diffusion
 32, av. Varagnat - F 93143 Bondy cedex
 Tél : 01 48 02 56 49 Fax : 01 48 02 79 09
 diffusion@ird.fr
www.ird.fr



L'ESSENTIEL

✓ Le serpent à tentacules est un petit serpent aquatique qui vit en Asie du Sud-Est. Il porte deux appendices, situés de chaque côté de ses narines.

✓ En cherchant le rôle des tentacules, l'auteur a découvert que ce serpent dispose dès sa naissance de plusieurs stratégies complexes de chasse.

✓ Le serpent anticipe les déplacements de ses proies, un comportement qui est inné.

✓ Ses tentacules captent les vibrations de l'eau causées par les poissons.

Kenneth Catania

Le serpent à tentacules, un tueur né

Le serpent à tentacules utilise ses appendices pour repérer sa proie et d'ingénieuses stratégies pour la capturer. Et ce, dès la naissance : son comportement de chasse est ancré dans ses gènes.

L'homme ne devrait jamais sous-estimer les capacités des animaux parfois qualifiés de primitifs ; la complexité du comportement d'un reptile, le serpent à tentacules, en est un exemple surprenant ! Cet animal, *Erpeton tentaculatus*, vit dans l'eau et ne mesure pas plus de 60 centimètres à l'âge adulte. Il est originaire de Thaïlande, du Cambodge et du Sud du Vietnam. Vivipare, il donne naissance directement à des petits indépendants, et il ne se nourrit que de poissons. Son nom lui vient d'une caractéristique physique remarquable : il a un petit tentacule de chaque côté des narines.

J'ai découvert ce serpent il y a environ dix ans dans un aquarium du zoo de Washington, aux États-Unis. Il y était immobile, aux aguets, semblable à un morceau de bois en forme de J, une attitude caractéristique que les serpents prennent quand ils chassent. En l'observant, je me demandai à quoi pouvaient servir ses tentacules dont aucun autre serpent n'est pourvu. Sont-ils des détecteurs de poissons ? À l'époque, on l'ignorait, puis-

que toutes les hypothèses formulées à ce sujet – y compris la mienne – n'avaient jamais été testées de façon expérimentale. Je décidai donc de résoudre le mystère de la fonction de ces tentacules.

Mais à mesure de mes recherches, le serpent à tentacules s'est révélé encore plus intéressant. Il utilise différentes stratégies d'attaques complexes pour capturer ses proies. Même les tout jeunes serpents de cette espèce disposent de ce savoir-faire ; voilà un exemple de comportement inné – et non acquis par apprentissage.

Poussé au suicide ?

Avant de tester mon hypothèse – les tentacules seraient des détecteurs de poissons –, je devais observer avec attention la technique de chasse du serpent. Ce n'était pas facile. Le serpent à tentacules agit à une vitesse incroyable, et la célérité de sa proie, le poisson, est aussi impressionnante. Le combat des deux protagonistes dure à peine 40 millisecondes. Pour observer la scène, j'ai enregistré plusieurs scènes de

chasse avec une caméra rapide qui peut prendre de 500 à 2000 images par seconde. Puis j'ai regardé les vidéos au ralenti. J'ai alors constaté une chose étrange : le poisson semblait se suicider.

À plusieurs reprises, le poisson se tournait vers les mâchoires du serpent, se jetant parfois dans sa gueule. Cela n'avait aucun sens. Mets de choix de nombreux prédateurs, le poisson est en général un expert de l'esquive. Il a développé des circuits de neurones et une capacité de réaction très rapides, qui lui permettent de détecter l'ennemi et de lui échapper. Lorsqu'il capte les ondes acoustiques et les vibrations de l'eau engendrées par un prédateur, il fuit en six ou sept millisecondes. Pour ce faire, il recourbe son corps, puis se détend, ce qui le propulse loin de son prédateur. Alors pourquoi les poissons fonçaient-ils droit dans la gueule du serpent ?

La réponse est liée à cette posture inhabituelle en forme de J que prennent les serpents quand ils chassent : elle forme une sorte de piège. Les reptiles préfèrent attaquer les poissons qui sont entrés dans la partie concave du J formé par leur tête et l'avant de leur corps (voir la figure 2). En examinant minutieusement les vidéos, j'ai constaté que, juste avant d'attaquer, le serpent déplace une partie de son corps vers sa proie et le plus loin possible de sa propre tête. Il fait alors sursauter le poisson qui bondit dans sa gueule grande ouverte.

J'ai aussi enregistré les sons dans l'aquarium, et j'ai montré que le mouvement du corps du serpent, juste avant l'attaque, propage une onde de pression assez forte pour faire sursauter le poisson.

Cette stratégie est ingénieuse, car elle utilise la rapidité du système nerveux des poissons contre eux. Les poissons ont une paire de cellules géantes, nommées neurones de Mauthner, de chaque côté du cerveau. Leur prolongement ou axone émet des signaux vers le côté opposé du corps du poisson. C'est la rapidité relative de ces deux neurones qui détermine la direction de fuite. Si un son arrive de la gauche, les vibrations stimulent d'abord le neurone de Mauthner gauche, qui à son tour active les neurones moteurs du côté droit du corps :



1. LES TENTACULES COUVERTS d'écaillés détectent le moindre mouvement de l'eau à l'approche d'un poisson (photographie obtenue par microscopie à balayage électronique).

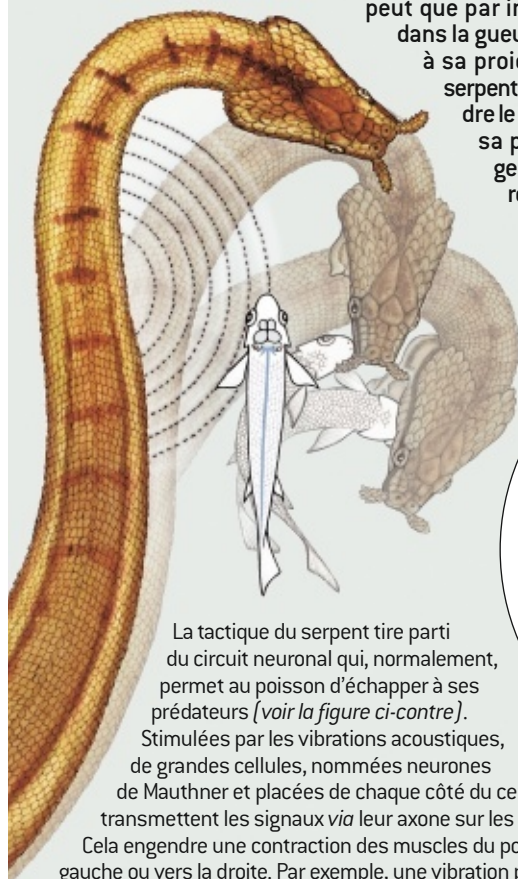
la contraction musculaire qui en résulte courbe le poisson vers la droite.

En même temps, des neurones inhibiteurs empêchent les muscles de se contracter à gauche, de sorte que rien ne s'oppose à l'esquive sur la droite. La fuite est alors rapide, à moins que le poisson ne se trouve près d'un serpent à tentacules... Dans ce cas, le mouvement du corps du serpent déclenche des réactions nerveuses en cascade qui aboutissent à une fuite dans la mauvaise direction. Et l'activation simultanée des circuits inhibiteurs du poisson, qui fonctionnent normalement comme un système de sécurité, ne lui laisse aucune possibilité de revirement.

Cette ruse étonnante du serpent permet d'expliquer le comportement suicidaire du poisson. En 1999, John Murphy, du Musée Field d'histoire naturelle de Chicago, avait déjà constaté l'extrême rapidité avec laquelle le serpent avale le poisson. Mes vidéos montrent que le virage que le poisson effectue permet la plupart du temps au serpent de l'avaler tête la première, la façon la plus rapide pour ce type de prédateurs d'ingurgiter leur proie. Par ailleurs, cette tactique permet au serpent de manger souvent et de ne pas dévoiler son identité : en effet, comment pourrait-il être un morceau de bois inoffensif si d'autres poissons le voient manger ? En outre, les serpents ont aussi des prédateurs. Ne pas être aperçu en train d'avaler sa proie diminue le risque d'être lui-même chassé.

UN COMPORTEMENT DE CHASSE COMPLEXE

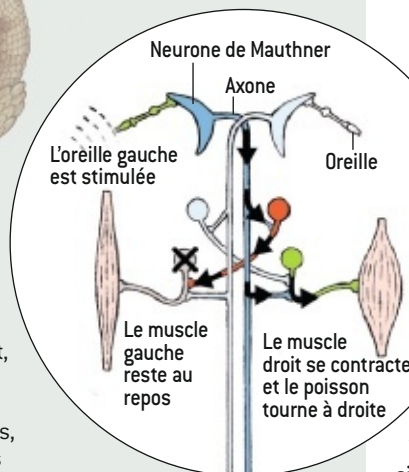
Le serpent à tentacules, lorsqu'il est à l'affût, tend son piège en adoptant la forme incurvée d'un J. Quand le poisson, peu méfiant, s'engouffre dans la partie concave formée par la tête et le haut du corps, le serpent effectue un mouvement qui propage une onde de pression. Celle-ci fait sursauter le poisson et le fait fuir dans la direction opposée. Si le poisson est placé parallèlement aux mâchoires du serpent lors de cette feinte, il se peut que par inadvertance il atterrisse droit dans la gueule du serpent. S'il fait déjà face à sa proie (voir la figure ci-contre), le serpent anticipe la direction que va prendre le poisson dans sa fuite. Avant que sa proie n'ait eu le temps de bouger, le serpent déplace ses mâchoires à l'endroit même où le poisson se positionnera, prêt à l'avaler.



La tactique du serpent tire parti du circuit neuronal qui, normalement, permet au poisson d'échapper à ses prédateurs (voir la figure ci-contre).

Stimulées par les vibrations acoustiques, de grandes cellules, nommées neurones de Mauthner et placées de chaque côté du cerveau, transmettent les signaux via leur axone sur les flancs opposés du poisson.

Cela engendre une contraction des muscles du poisson qui se tourne alors vers la gauche ou vers la droite. Par exemple, une vibration perçue par l'oreille gauche stimule le neurone de Mauthner gauche, dont l'axone envoie le signal sur le côté droit du corps du poisson : la contraction des muscles à droite dirige l'animal sur la droite. En même temps, des neurones inhibiteurs (en rouge) empêchent les muscles du côté gauche de se contracter, assurant que rien ne puisse entraver le virage à droite du poisson.



Anticiper la fuite

« Quand vous tombez sur quelque chose d'intéressant, abandonnez tout le reste et consacrez-vous à son étude. » C'est dans l'esprit du psychologue américain Burrhus Skinner que j'ai décidé d'étudier le comportement du serpent en tant que prédateur, avant de comprendre le rôle de ses tentacules. Car ce serpent a plus d'une ruse dans son sac.

Bien que le sursaut du poisson vers la gueule du serpent soit impressionnant, il ne fonctionne que lorsque le poisson est situé au bon endroit, entre la tête et le cou du serpent, parallèlement à ses mâchoires. Parce que la réaction de fuite du poisson le propulse soit à droite, soit à gauche, le serpent ne peut pas faire sauter le poisson dans sa gueule si celui-ci est face à ses mâchoires. Que se passe-

t-il alors dans ce cas ? Le serpent à tentacules anticipe la réaction du poisson (*voir l'encadré page ci-contre*).

D'abord, il utilise une feinte pour l'éloigner de son corps et l'envoyer sur une trajectoire parallèle à ses mâchoires. Puis, avant que le poisson ne bouge, le serpent se dirige vers la future position de sa tête, de sorte que ses mâchoires soient en place avant que le poisson n'arrive. Les événements se succèdent si vite que le serpent ne peut pas utiliser d'informations visuelles pour localiser la proie pendant l'attaque : il doit les anticiper. Dans certains cas, le poisson ne bouge pas ou ne tourne pas dans la direction attendue (une feinte ne réussit pas toujours !), mais le serpent part quand même se placer là où il devrait être pour avaler le poisson (si celui-ci bougeait). Ce comportement confirme que le serpent attaque par anticipation plutôt qu'en pistant sa proie.

La chasse est innée

Parfois, le serpent à tentacules se jette sur un poisson même s'il n'a pas réussi à l'orienter dans la direction escomptée. Toutefois, la plupart du temps, il attend patiemment que sa proie entre dans le piège que représente sa posture en forme de J. J'ai découvert aussi que le serpent a plusieurs types d'attaques anticipées, selon la position du poisson. Par exemple, variant les contorsions, le serpent place sa tête sous son corps pour attraper de face un poisson en fuite. Il semble donc que le serpent choisisse sa stratégie selon la situation. Cette technique d'anticipation soulève une question intéressante : les serpents à tentacules apprennent-ils à anticiper la réaction de fuite du poisson grâce à l'expérience, ou cette capacité est-elle innée, présente dès la naissance ?

Plusieurs des serpents que nous avons au laboratoire ont donné naissance à des petits. Les tests réalisés avec ces serpents nouveau-nés ont montré leur capacité immédiate à anticiper la réaction de fuite du poisson (quand celui-ci est dans la position adéquate) et leur don inné pour les piéger.

En 2010, nous avons observé que cette aptitude innée témoigne de la longue évolution des serpents à tentacules, en tant que prédateurs. Elle soulève une question fondamentale en biologie, celle des rôles respectifs de l'inné et de l'acquis dans le comportement. Le serpent à tentacules se situe à l'extrémité de ce *continuum*, au moins



2. QUAND IL CHASSE, le serpent à tentacules prend une posture en forme de J. Les poissons entrant dans la partie concave de ce J sont alors piégés.

Kenneth C. Catania

en ce qui concerne la capacité d'attaque des serpents nouveau-nés. La réaction prévisible du poisson aux vibrations soudaines de l'eau a entraîné l'apparition d'un comportement inné du serpent – ses attaques anticipées – qui tire profit d'un autre comportement inné du poisson – ses réactions de fuite.

Le fait que le poisson n'ait pas développé de contre-stratégie suggère que le serpent à tentacules agit, comme l'indiquait le paléontologue américain Stephen Jay Gould, en « ennemi rare » : il exploite un comportement qui, d'habitude, est très bien adapté. Les poissons ont de nombreux prédateurs. En général, ce qu'ils ont de mieux à faire quand ils détectent un mouvement suspect de l'eau, c'est de fuir dans le sens opposé. Et ce n'est vraiment pas de chance s'ils tombent nez à nez avec un serpent à tentacules qui a anticipé leur comportement et les prive d'échappatoire.

Quant aux tentacules du serpent, sont-ils utiles à la chasse ? En 2010, avec mes collègues Duncan Leitch et Danielle Gauthier, nous avons déterminé leur fonction. En examinant l'anatomie des terminaisons nerveuses de ces appendices, leurs réactions à divers types de stimulations, ainsi que la façon dont elles communiquent avec le cerveau, nous avons montré que les tentacules sont des organes très sensibles qui captent le moindre mouvement de l'eau (*voir la figure 1*).

Nous avons aussi filmé des serpents en lumière infrarouge : ils sont capables d'attraper un poisson sans le voir. Apparemment, les tentacules permettent au serpent de détecter et de capturer sa proie la nuit ou dans une eau trouble, en captant les vibrations dans l'eau. Ce sont donc d'excellents organes sensoriels qui aident le serpent à « voir » les poissons et à les ingérer. ■

L'AUTEUR



Kenneth CATANIA est professeur de biologie et neurobiologiste au Département de biologie de l'Université Vanderbilt de Nashville, aux États-Unis.

✓ SUR LE WEB

Vidéo sur le serpent à tentacules : www.ScientificAmerican.com/apr2011/catania

✓ BIBLIOGRAPHIE

K. C. Catania, **Born knowing : Tentacled snakes innately predict future prey behavior**, *PLOS ONE*, vol. 5, e10953, 16 juin 2010.

K. C. Catania et al., **Function of the appendages in tentacled Snakes (*Erpeton tentaculatus*)**, *Journal of Experimental Biology*, vol. 213, pp. 359-367, février 2010.

K. C. Catania, **Tentacled snakes turn C-Starts to their advantage and predict future prey behavior**, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 106, pp. 11 183-11 187, juillet 2009.

HISTOIRE DES SCIENCES

La controverse du gaz d'éclairage

En 1823, la construction d'une immense usine à gaz rue du Faubourg Poissonnière, à Paris, déclenche une si vaste polémique que le gouvernement demande une expertise à l'Académie des sciences...

Jean-Baptiste Fressoz

Demandez à tout bon Français qui lit tous les jours son journal dans son estaminet ce qu'il entend par progrès, il répondra que c'est la vapeur, l'électricité et l'éclairage au gaz.

Charles Baudelaire,
Curiosités esthétiques,
Exposition universelle, 1855.

Symbole de progrès au même titre que les machines à vapeur ou le chemin de fer, le gaz d'éclairage fut aussi l'innovation de la première révolution industrielle la plus controversée. Éclairer n'est pas anodin et remplacer le foyer, symbole de la sphère privée, par des becs à gaz reliés au monde industriel par un vaste réseau technique fait partie des transformations technologiques et domestiques que l'on peut qualifier d'historiques, au même titre que l'électricité, la télévision ou Internet. Et bâtir dans Paris, au milieu des habitations, d'immenses et étranges bâtiments nommés gazomètres, contenant des millions de litres de gaz inflammable, n'allait pas non plus se faire sans discussions.

Car à l'inverse des machines à vapeur ou des usines chimiques reléguées dans les faubourgs industriels, à partir de 1816, le gaz d'éclairage conquiert les lieux à la mode, les théâtres et les opéras, les restaurants et les cafés, les salons de lecture et les passages. Le public parisien est donc directement concerné par ses mauvaises odeurs et par le risque d'explosion. D'où l'extension de la controverse : des articles de journaux, des pamphlets, des ouvrages de

vulgarisation, une pièce de théâtre et même un opéra sont écrits pour défendre ou condamner cette innovation. En 1823, l'écrivain romantique Charles Nodier et le médecin Amédée Pichot publient un important *Essai critique contre le gaz hydrogène*. L'innovation est accusée, entre autres, d'enlaidir le monde en supprimant les ombres et leurs mystères, d'infecter Paris en introduisant l'air miasmatique des marais et de faire perdre le contrôle de la lumière en la rendant dépendante du fonctionnement d'un vaste réseau technique. Nodier et Pichot imaginent ainsi la panique dans un théâtre soudain privé d'éclairage. À l'inverse, une publicité de 1823 met en avant la maîtrise que permet le nouveau mode d'éclairage : dans le même instant, grâce au gaz, un homme saute hors de son lit, allume sa lampe et met en joue des brigands, protégeant ainsi le lit conjugal.

L'utilisation du gaz à des fins insurrectionnelles est aussi débattue. À Londres, le Parlement se demande si des insurgés pourraient faire exploser un gazomètre. Dans le Paris des années 1820, théâtre d'attentats et de complots contre le roi (une dizaine sont déjoués entre 1820 et 1823), le nouveau mode d'éclairage, avec ses tuyaux souterrains conduisant une matière explosive, semblait particulièrement menaçant.

En 1823, la controverse se focalise sur un énorme gazomètre que la Compagnie française du gaz d'éclairage, sous la direction d'Antoine Pauwels, a installé rue du Faubourg Poissonnière, un quartier de Paris très en vogue à l'époque. En examinant les raison-

nements et arguments des partisans et des opposants de ce gazomètre, nous allons voir que l'histoire des controverses techniques est bien plus riche qu'un simple duel entre conservateurs et progressistes.

Explosif en pratique... et en politique

Contenant 5 500 mètres cubes de gaz, ce réservoir est dix fois plus volumineux que les plus grands gazomètres construits par les ingénieurs anglais, qui jouissaient pourtant d'une expérience bien plus longue. Les habitants du quartier Poissonnière qui s'opposent à Pauwels emploient un argument analogue à notre principe de précaution. Certes, admettent-ils, une explosion est improbable, mais ses conséquences seraient telles (certains imaginent Paris entièrement rasé) qu'on ne peut accepter aucune incertitude et il est donc nécessaire d'interdire les gazomètres dans Paris. Malgré les rapports rassurants des académiciens, les opposants défient le gouvernement de prendre la responsabilité morale de l'incertitude scientifique, aussi infime soit-elle.

Politiquement, le gazomètre est aussi un objet explosif. En 1821, le gouvernement libéral du duc de Cazes, renvoyé par Louis XVIII, a cédé le pouvoir à un gouvernement ultraroyaliste. Or le gazomètre, autorisé par le gouvernement précédent, a été financé par des hauts partisans du parti libéral, des nobles d'empire et des francs-maçons – bref, par ceux que déteste le nouveau pouvoir en place. Aussi, lorsqu'en