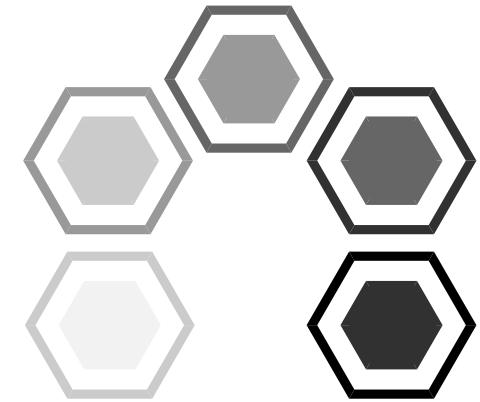




Division enseignement-formation

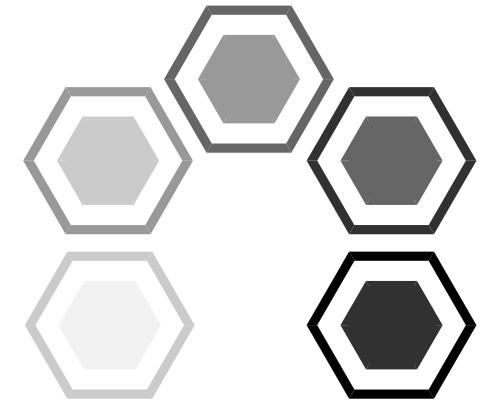
1825-2025
DE LA DÉCOUVERTE
DU BENZÈNE AU CONCEPT
D'AROMATICITÉ AUJOURD'HUI



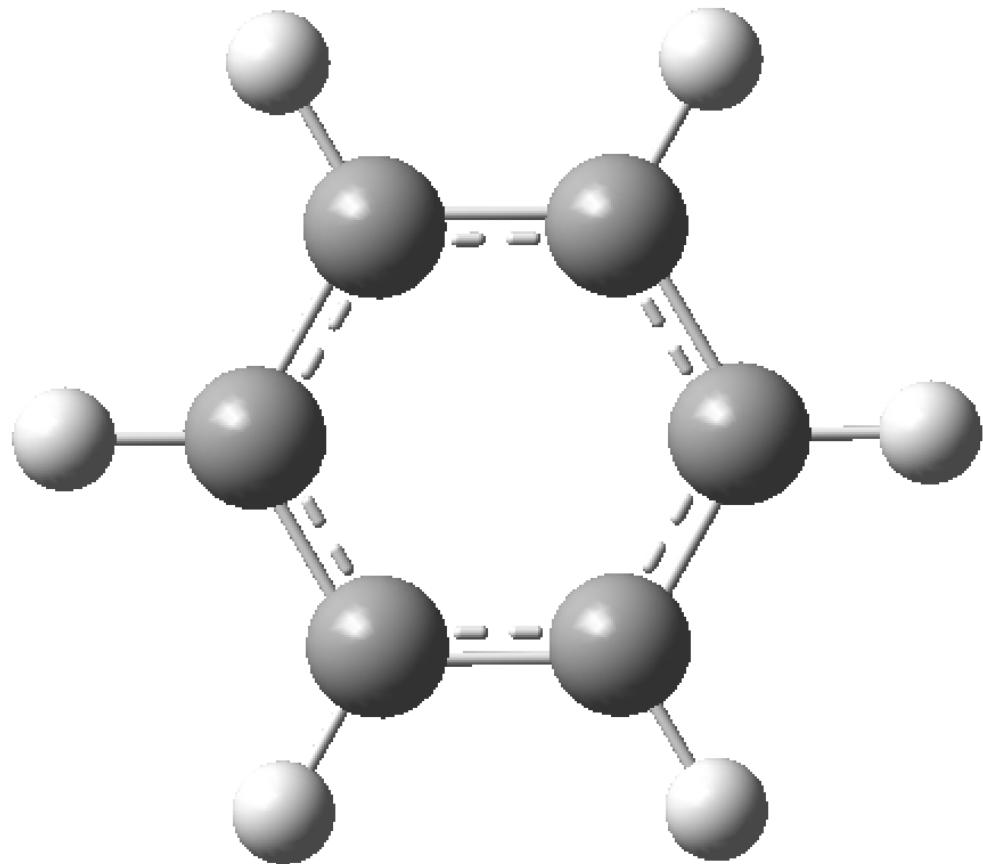


Division enseignement-formation

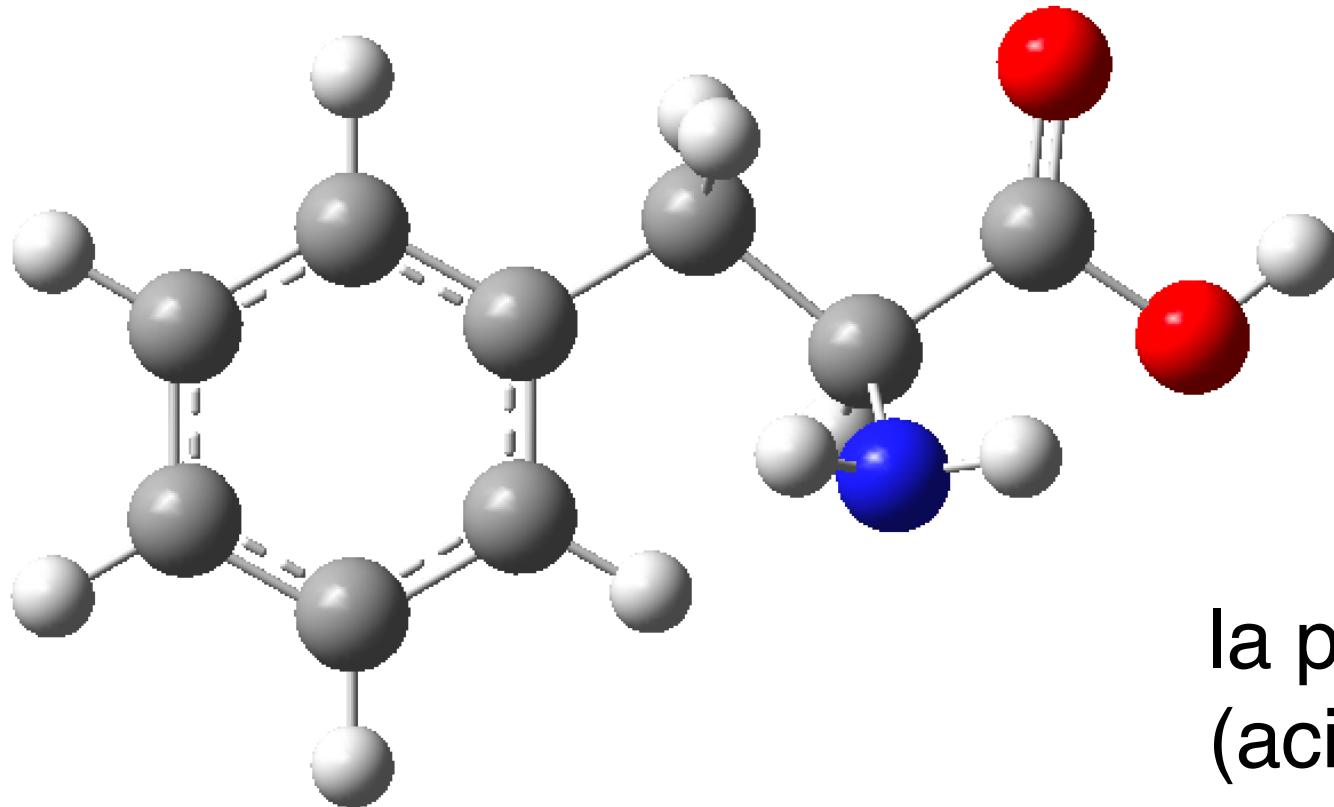
1825-2025
DE LA DÉCOUVERTE
DU BENZÈNE AU CONCEPT
D'AROMATICITÉ AUJOURD'HUI



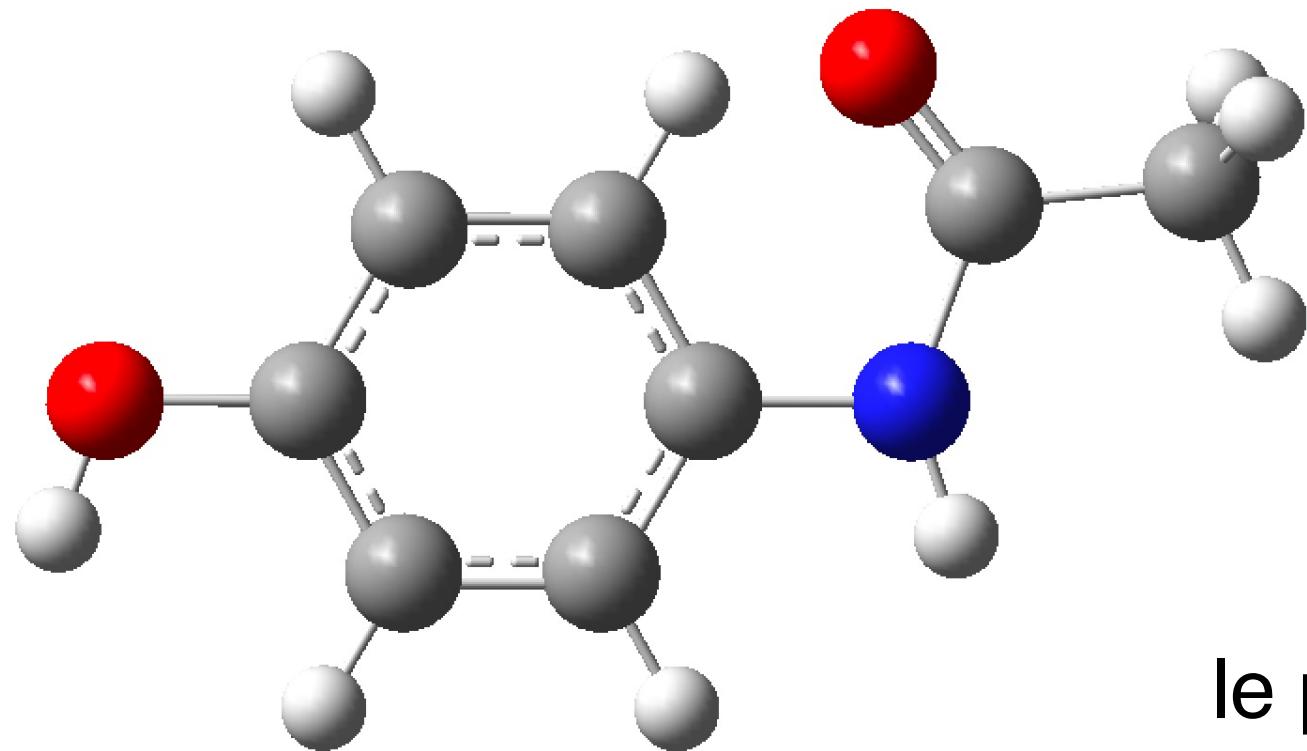
- Histoire de la découverte d'une molécule, Y. Coquerel, 13h45 – 14h45
- Histoire d'une rencontre avec la mécanique quantique, D. Hagebaum-Reignier, 14h45– 15h15
- Pause café & exposition de molécules aromatiques récentes, 15h15 – 16h
- Histoire du concept d'aromaticité, Y. Carissan, 16h – 16h30
- Histoire d'en apprendre, Pédagogie et Epistémologie, E. Jacques, 16h30– 17h30



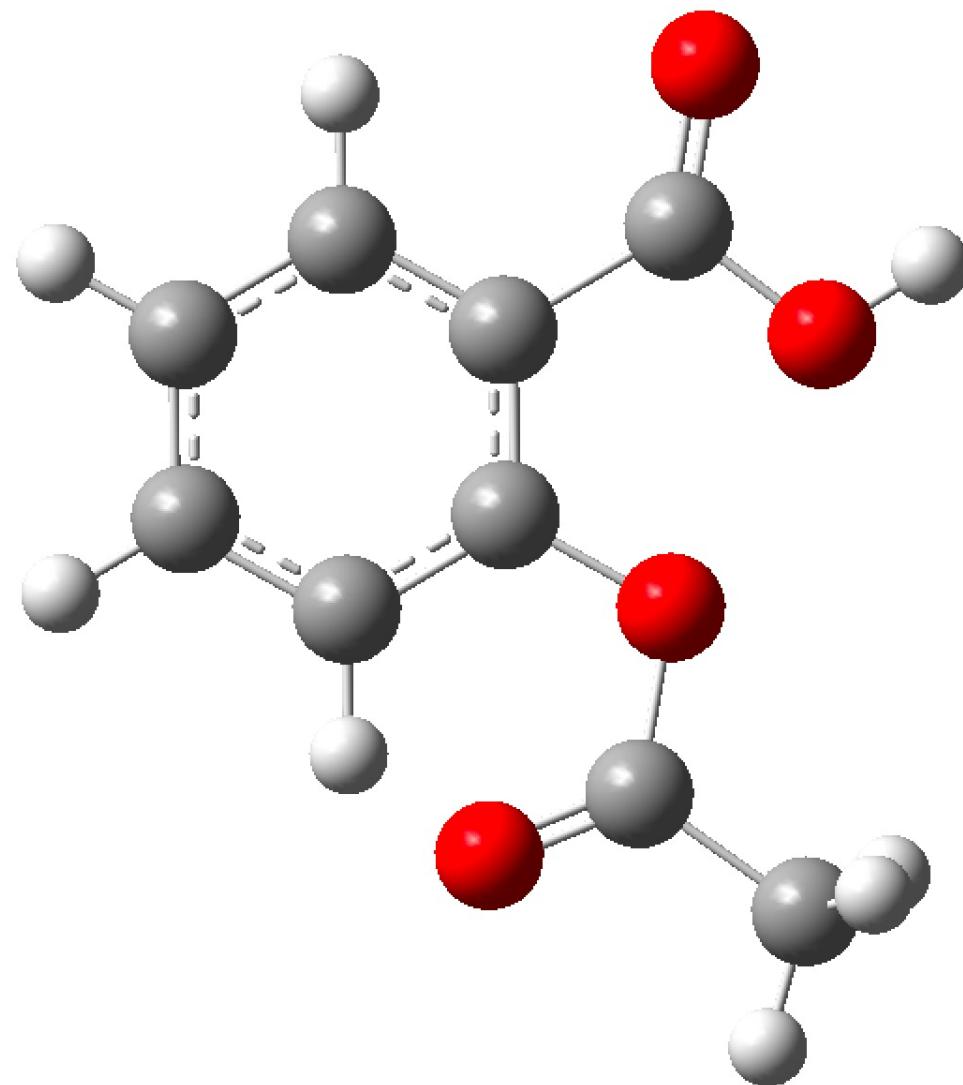
le benzène



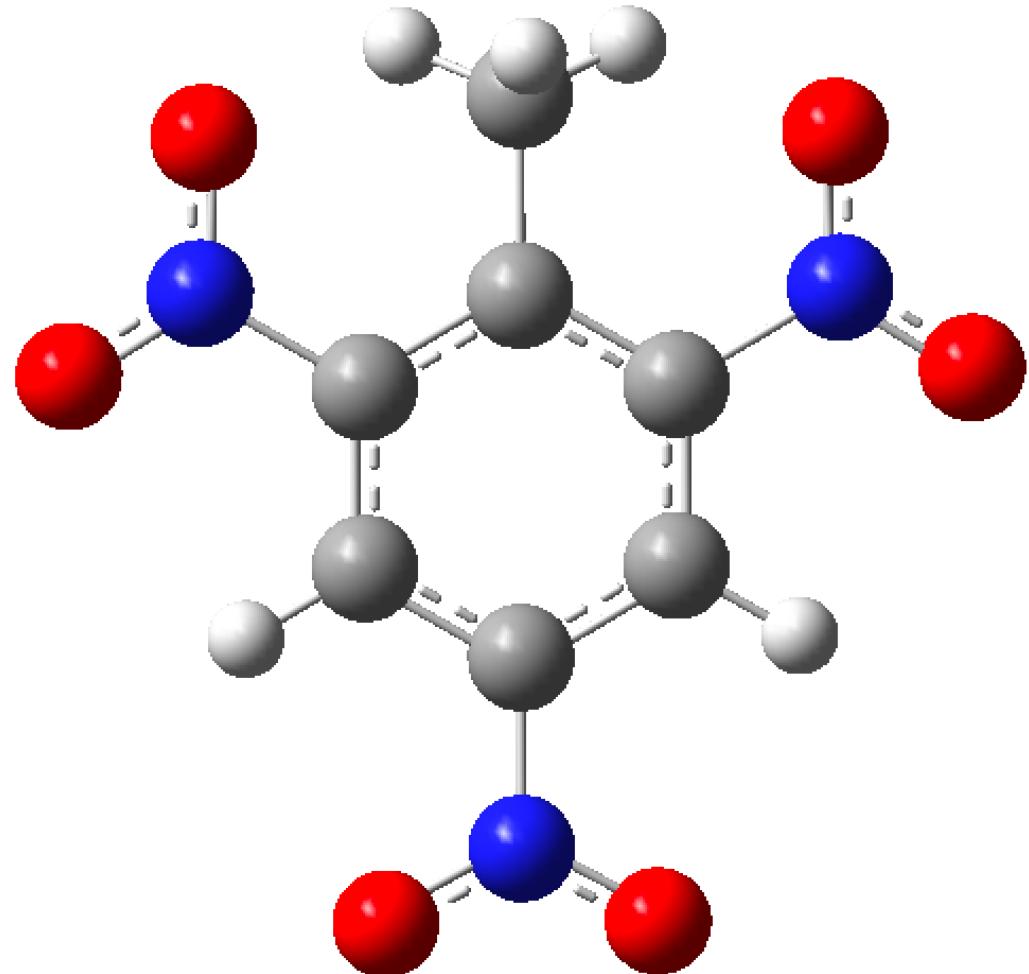
la phénylalanine
(acide aminé)



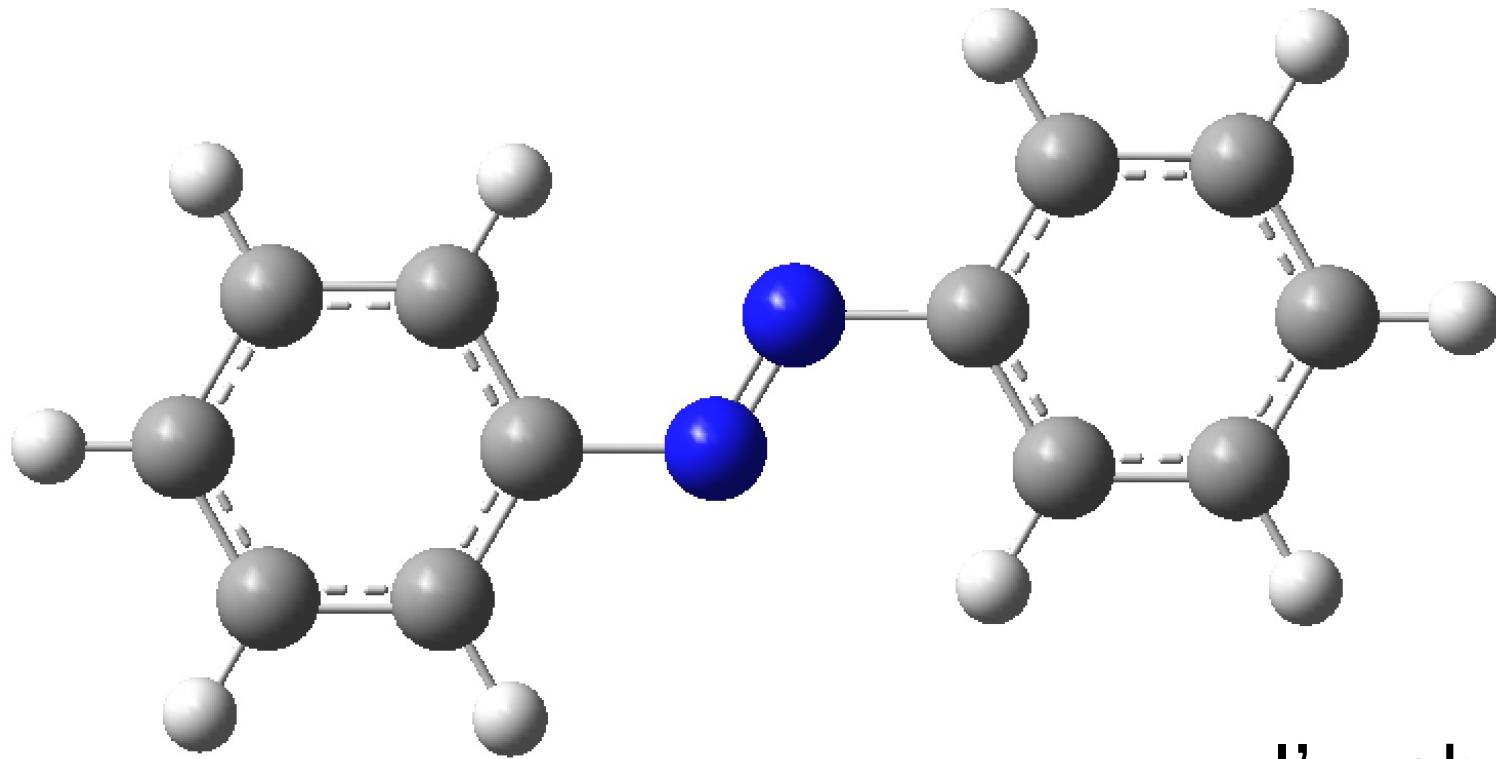
le paracétamol



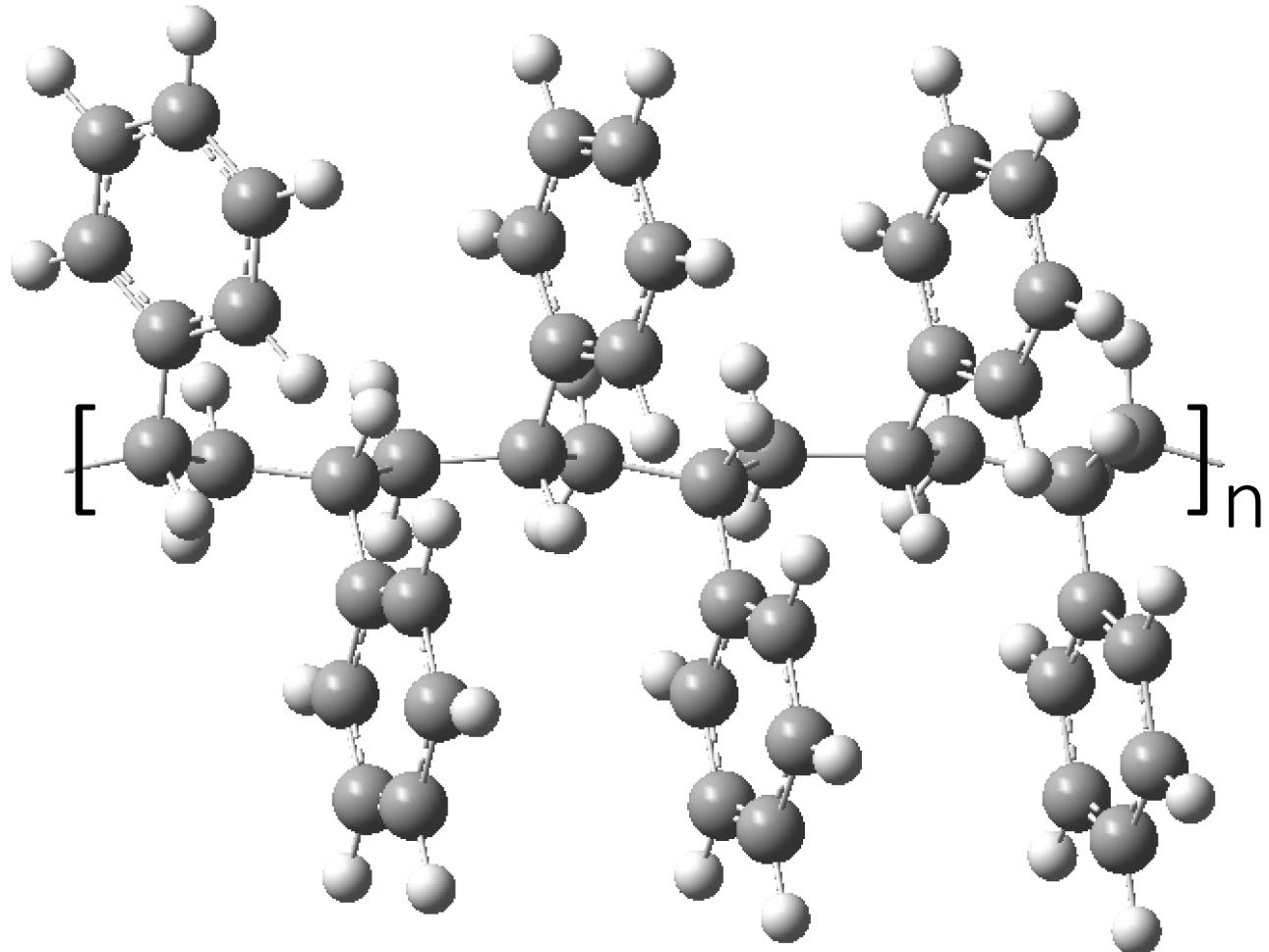
l'aspirine



le trinitrotoluène (TNT)



l'azobenzène



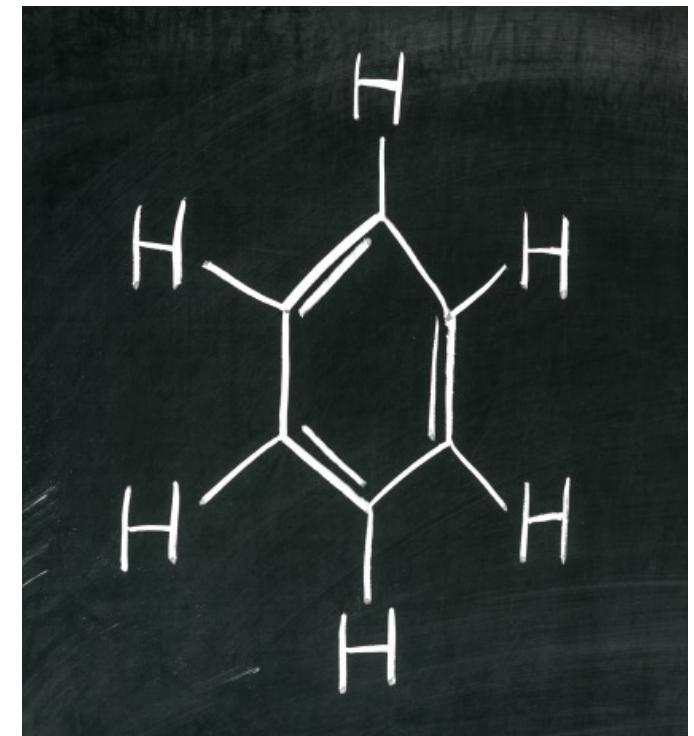
le polystyrène



Société Chimique de France
Le réseau des chimistes

Le benzène est partout !

voici son histoire

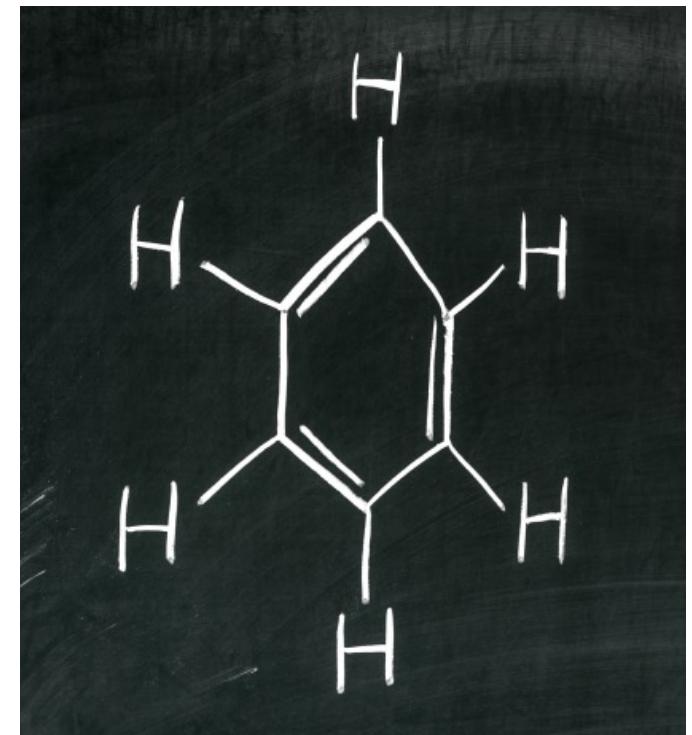




Société **Chimique** de France
Le réseau des chimistes

Histoire de la découverte d'une molécule

Yoann Coquerel, Paris, le 10 décembre 2025



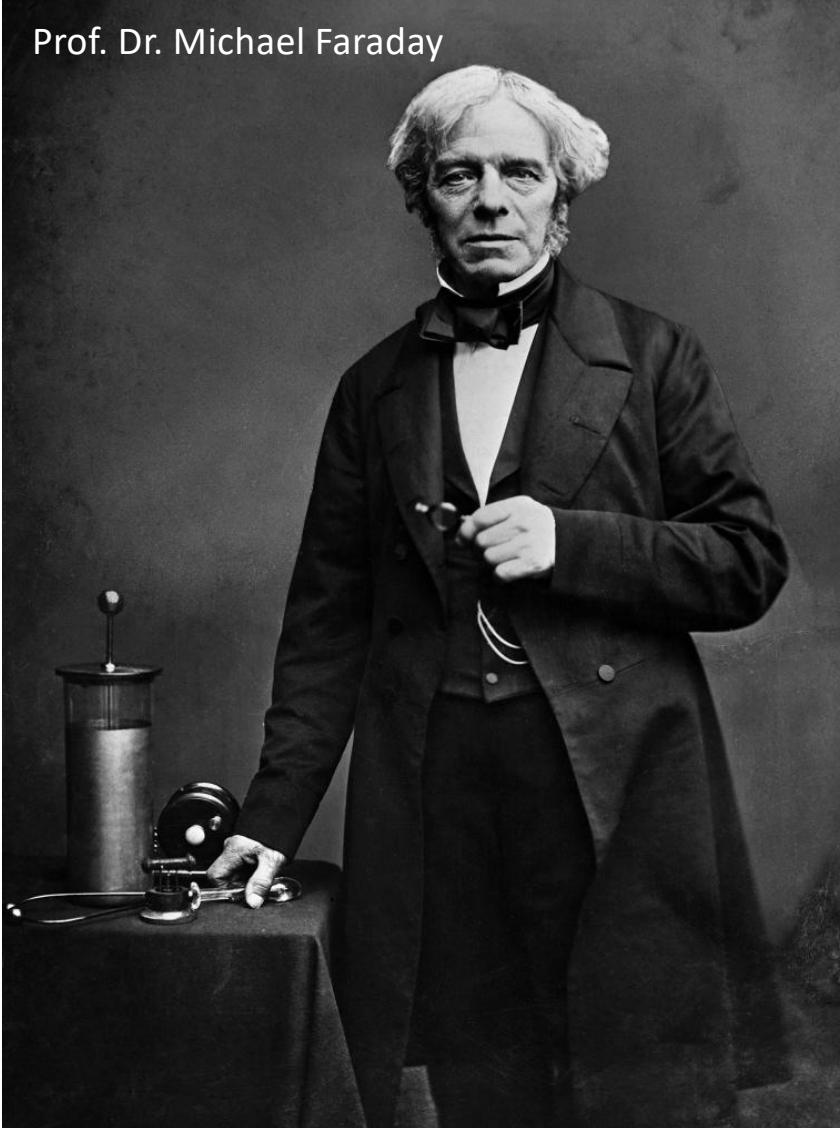
Prof. Dr. Michael Faraday



L'échantillon original de benzène
isolé par Michael Faraday (3 mL),
>99,9% pureté, conservé
au Musée Faraday (Londres)



Prof. Dr. Michael Faraday



L'échantillon original de benzène
isolé par Michael Faraday (3 mL),
>99,9% pureté, conservé
au Musée Faraday (Londres)



PHILOSOPHICAL
TRANSACTIONS

OF THE

ROYAL SOCIETY

OF

LONDON.

FOR THE YEAR MDCCCXXV.

PART I.

LONDON:

PRINTED BY W. NICOL, SUCCESSION TO W. BULMER AND CO.
CLEVELAND-ROW, ST. JAMES'S;

AND SOLD BY G. AND W. NICOL, PALL-MALL, PRINTERS TO THE
ROYAL SOCIETY.

MDCCCXXV.

[440]

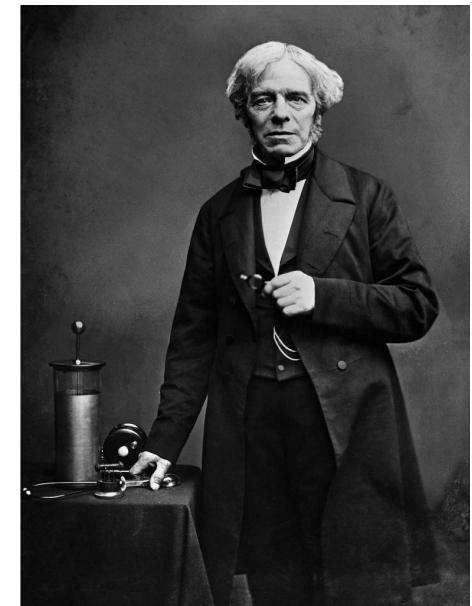
XX. *On new compounds of carbon and hydrogen, and on certain other products obtained during the decomposition of oil by heat.*

By M. FARADAY, F.R.S. Cor. Mem. Royal Academy of Sciences of Paris, &c.

Read June 16, 1825.

THE object of the paper which I have the honour of submitting at this time to the attention of the Royal Society, is to describe particularly two new compounds of carbon and hydrogen, and generally, other products obtained during the decomposition of oil by heat. My attention was first called to the substances formed in oil at moderate and at high temperatures, in the year 1820; and since then I have endeavoured to lay hold of every opportunity for obtaining information on the subject. A particularly favourable one has been afforded me lately through the kindness of Mr. GORDON, who has furnished me with considerable quantities of a fluid obtained during the compression of oil gas, of which I had some years since possessed small portions, sufficient to excite great interest, but not to satisfy it.

It is now generally known, that in the operations of the Portable Gas Company, when the oil gas used is compressed in the vessels, a fluid is deposited, which may be drawn off and preserved in the liquid state. The pressure applied amounts to 50 atmospheres; and in the operation, the gas previously contained in a gasometer over water, first passes into a large strong receiver, and from it, by pipes, into the



@Royal Institution, Musée Faraday

PHILOSOPHICAL
TRANSACTIONS
OF THE
ROYAL SOCIETY
OF
LONDON.
FOR THE YEAR MDCCCXXV.

PART I.

LONDON:

PRINTED BY W. NICOL, SUCCESSION TO W. BULMER AND CO.
CLEVELAND-ROW, ST. JAMES'S;
AND SOLD BY G. AND W. NICOL, PALL-MALL, PRINTERS TO THE
ROYAL SOCIETY.
MDCCCXXV.

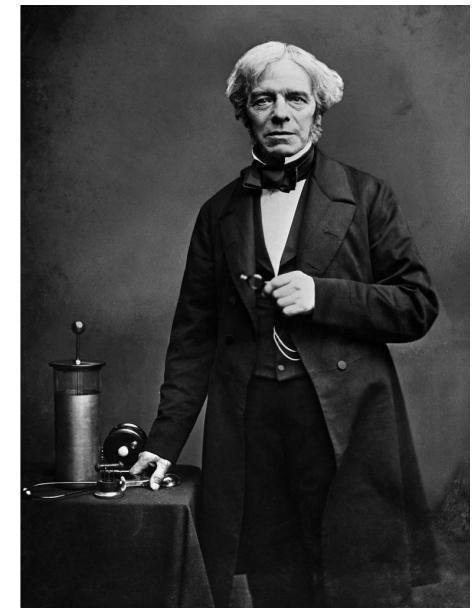
[440]

XX. *On new compounds of carbon and hydrogen, and on certain other products obtained during the decomposition of oil by heat.*
By M. FARADAY, F.R.S. Cor. Mem. Royal Academy of Sciences of Paris, &c.

Read June 16, 1825.

THE object of the paper which I have the honour of submitting at this time to the attention of the Royal Society, is to describe particularly two new compounds of carbon and hydrogen, and generally, other products obtained during the decomposition of oil by heat. My attention was first called to the substances formed in oil at moderate and at high temperatures, in the year 1820; and since then I have endeavoured to lay hold of every opportunity for obtaining information on the subject. A particularly favourable one has been afforded me lately through the kindness of Mr. GORDON, who has furnished me with considerable quantities of a fluid obtained during the compression of oil gas, of which I had some years since possessed small portions, sufficient to excite great interest, but not to satisfy it.

It is now generally known, that in the operations of the Portable Gas Company, when the oil gas used is compressed in the vessels, a fluid is deposited, which may be drawn off and preserved in the liquid state. The pressure applied amounts to 30 atmospheres; and in the operation, the gas previously contained in a gasometer over water, first passes into a large strong receiver, and from it, by pipes, into the



@Royal Institution, Musée Faraday

page 440

[440]

XX. Sur de nouveaux composés de carbone et d'hydrogène, et sur certains autres produits obtenus lors de la décomposition de l'huile* par la chaleur.

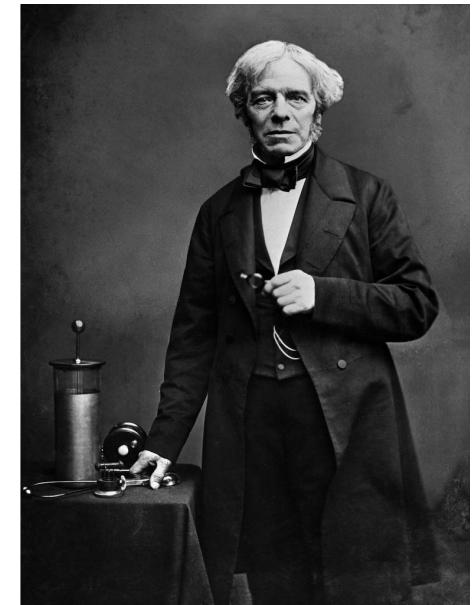
Par M. FARADAY, Membre de la Société Royale, Membre correspondant de l'Académie royale des sciences de Paris

Lu le 16 juin 1825.

L'objet de l'article que j'ai l'honneur de soumettre à l'attention de la Société Royale est de décrire en particulier deux nouveaux composés de carbone et d'hydrogène, et plus généralement d'autres produits obtenus lors de la décomposition de l'huile par la chaleur. C'est en 1820 que j'ai été attiré pour la première fois par les substances formées dans l'huile à des températures modérées et élevées, et depuis lors, je me suis efforcé de saisir toutes les occasions d'obtenir des informations sur le sujet. Une occasion particulièrement favorable m'a été offerte récemment grâce à la gentillesse de M. GORDON, qui m'a fourni des quantités considérables d'un fluide obtenu lors de la compression du gaz d'huile*, dont je possédais depuis quelques années de petites quantités, suffisantes pour susciter un grand intérêt, mais pas pour le satisfaire.

Il est désormais généralement connu que, dans les opérations de la *Portable Gas Company*, lorsque le gaz d'huile utilisé est comprimé dans les récipients, un fluide se dépose, qui peut être soutiré et conservé à l'état liquide. La pression appliquée s'élève à dix atmosphères ; et au cours de l'opération, le gaz précédemment contenu dans un gazomètre au-dessus de l'eau passe d'abord dans un grand récepteur solide, puis de là, par des tuyaux, dans le ...

*ndr : huile de baleine ou de poisson, plus tard huile de goudron et pétrole



@Royal Institution, Musée Faraday

[440]

XX. Sur les nouveaux composés de carbone et d'hydrogène, et sur certains autres produits obtenus lors de la décomposition de l'huile* par la chaleur.

Par M. FARADAY, Membre de la Société Royale, Membre correspondant de l'Académie royale des sciences de Paris

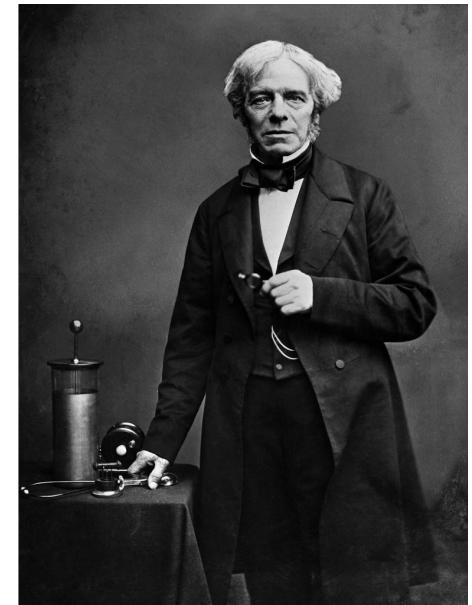
Lu le 16 juin 1825.

L'objet de l'article que j'ai l'honneur de soumettre à l'attention de la Société Royale est de décrire en particulier deux nouveaux composés de carbone et d'hydrogène, et plus généralement d'autres produits obtenus lors de la décomposition de l'huile par la chaleur. C'est en 1820 que j'ai été attiré pour la première fois par les substances formées dans l'huile à des températures modérées et élevées, et depuis lors, je me suis efforcé de saisir toutes les occasions d'obtenir des informations sur le sujet. Une occasion particulièrement favorable m'a été offerte récemment grâce à la gentillesse de M. GORDON, qui m'a fourni des quantités considérables d'un fluide obtenu lors de la compression du gaz d'huile*, dont je possédais depuis quelques années de petites quantités, suffisantes pour susciter un grand intérêt, mais pas pour le satisfaire.

Il est désormais généralement connu que, dans les opérations de la *Portable Gas Company*, lorsque le gaz d'huile utilisé est comprimé dans les récipients, un fluide se dépose, qui peut être soutiré et conservé à l'état liquide. La pression appliquée s'élève à dix atmosphères ; et au cours de l'opération, le gaz précédemment contenu dans un gazomètre au-dessus de l'eau passe d'abord dans un grand récepteur solide, puis de là, par des tuyaux, dans le ...

*ndr : huile de baleine ou de poisson, plus tard huile de goudron et pétrole

une collaboration
industrielle



@Royal Institution, Musée Faraday

[440]

XX. Sur les nouveaux composés de carbone et d'hydrogène, et sur certains autres produits obtenus lors de la décomposition de l'huile* par la chaleur.

Par M. FARADAY, Membre de la Société Royale, Membre correspondant de l'Académie royale des sciences de Paris

Lu le 16 juin 1825.

L'objet de l'article que j'ai l'honneur de soumettre à l'attention de la Société Royale est de décrire en particulier deux nouveaux composés de carbone et d'hydrogène, et plus généralement d'autres produits obtenus lors de la décomposition de l'huile par la chaleur. C'est en 1820 que j'ai été attiré pour la première fois par les substances formées dans l'huile à des températures modérées et élevées, et depuis lors, je me suis efforcé de saisir toutes les occasions d'obtenir des informations sur le sujet. Une occasion particulièrement favorable m'a été offerte récemment grâce à la gentillesse de M. GORDON, qui m'a fourni des quantités considérables d'un fluide obtenu lors de la compression du gaz d'huile*, dont je possédais depuis quelques années de petites quantités, suffisantes pour susciter un grand intérêt, mais pas pour le satisfaire.

Il est désormais généralement connu que, dans les opérations de la *Portable Gas Company*, lorsque le gaz d'huile utilisé est comprimé dans les récipients, un fluide se dépose, qui peut être soutiré et conservé à l'état liquide. La pression appliquée s'élève à dix atmosphères ; et au cours de l'opération, le gaz précédemment contenu dans un gazomètre au-dessus de l'eau passe d'abord dans un grand récepteur solide, puis de là, par des tuyaux, dans le ...

*ndr : huile de baleine ou de poisson, plus tard huile de goudron et pétrole

une collaboration
industrielle



@Royal Institution, Musée Faraday

saut de la page 440 à la page 443

le processus de purification

The heat continued gradually to rise, and before the substance was all volatized, it had attained 250° .

With the hope of separating some distinct substances from this evident mixture, a quantity of it was distilled, and the vapours condensed at a temperature of 0° into separate portions, the receiver being changed with each rise of 10° in the retort, and the liquid retained in a state of incipient ebullition. In this way a succession of products were obtained ; but they were by no means constant ; for the portions, for instance, which came over when the fluid was boiling from 160° to 170° , when redistilled, began to boil at 130° , and a part remained which did not rise under 200° . By repeatedly rectifying all these portions, and adding similar products together, I was able to diminish these differences of temperature, and at last bring them more nearly to resemble a series of substances of different volatility. During these operations I had occasion to remark, that the boiling point was more constant at, or between 176° and 190° , than at any other temperature ; large quantities of fluid distilling over without any change in the degree ; whilst in other parts of the series it was constantly rising. This induced me to search in the products obtained between these points for some definite substance, and I ultimately succeeded in separating a new compound of carbon and hydrogen, which I may by anticipation distinguish as bi-carburet of hydrogen.

Bi-carburet of hydrogen.

This substance was obtained in the first instance in the following manner : tubes containing portions of the above rectified products were introduced into a freezing mixture at

(...) et j'ai finalement réussi à isoler un nouveau composé de carbone et d'hydrogène, que je peux d'ores et déjà qualifier de bicarburet d'hydrogène.

saut de la page 443 à la page 448

le processus d'analyse

With regard to the composition of this substance, my experiments tend to prove it a binary compound of carbon and hydrogen, two proportionals of the former element being united to one of the latter. The absence of oxygen is proved by the inaction of potassium, and the results obtained when passed through a red hot tube.

The following is a result obtained when it was passed in vapour over heated oxide of copper. 0.776 grains of the substance produced 5.6 cubic inches of carbonic acid gas, at a temperature of 60° , and pressure 29.98 inches; and 0.58 grains of water were collected. The 5.6 cubic inches of gas are equivalent to 0.711704 grains of carbon by calculation, and the 0.58 grains of water to 0.064444 of hydrogen.

Carbon . . . 0.711704 or 11.44

Hydrogen . . . 0.064444 or 1.

These quantities nearly equal in weight the weight of the substance used; and making the hydrogen 1, the carbon is not far removed from 12, or two proportionals.

those bodies which have elasticity enough to exist as vapours when alone at common pressures, are absorbed. No sulphurous acid is produced; nor when the acid is diluted, does any separation of the gas, vapour or substance take place, except of a small portion of a peculiar product resulting from the action of the acid on the substances, and dissolved by it. The acid combines directly with carbon and hydrogen; and I find when united with bases forms a peculiar class of salts, somewhat resembling the sulphovinates, but still different from them. I find also that sulphuric acid will condense and combine with olefiant gas, no carbon being separated, or sulphurous or carbonic acid being formed; and this absorption has in the course of 18 days amounted to 84.7 volumes of olefiant gas to 1 volume of sulphuric acid. The acid produced combines with bases, &c. forming peculiar salts, which I have not yet had time, but which it is my intention, to examine, as well as the products formed by the action of sulphuric acid on naphtha, essential oils, &c. and even upon starch and lignine, in the production of sugar, gum, &c. where no carbonization takes place, but where similar results seem to occur.

[448]

En ce qui concerne la composition de cette substance, mes expériences tendent à prouver qu'il s'agit d'un composé binaire de carbone et d'hydrogène, deux proportions du premier élément étant unies à une du second. L'absence d'oxygène est prouvée par l'inaction du potassium et les résultats obtenus lorsqu'il est passé à travers un tube chauffé au rouge.

—> *la substance* est un hydrocarbure

—> pas d'atome d'oxygène dans *la substance*

[448]

En ce qui concerne la composition de cette substance, mes expériences tendent à prouver qu'il s'agit d'un composé binaire de carbone et d'hydrogène, deux proportions du premier élément étant unies à une du second. L'absence d'oxygène est prouvée par l'inaction du potassium et les résultats obtenus lorsqu'il est passé à travers un tube chauffé au rouge.

Le résultat suivant a été obtenu en faisant passer la vapeur dans un tube de cuivre chauffé. 0,776 grain (*nd*a : 50.3 mg) de la substance a produit 5,6 pouces cubes (*nd*a : 81.9 cm³) de gaz carbonique, à une température de 60 °F (*nd*a : 15.6 °C) et une pression de 29,98 pouces (*nd*a : 1015 hPa) ; et 0,58 grain (*nd*a : 37.6 mg) d'eau a été recueilli. Les 5,6 pouces cubes de gaz équivalent à 0,711704 grain (*nd*a : 46.1 mg) de carbone selon les calculs, et les 0,58 grain d'eau à 0,064444 d'hydrogène (*nd*a : 4.2 mg).

Carbone : 0,711704 soit 11,44

Hydrogène : 0,064444 soit 1

→ *la substance* est un hydrocarbure

→ pas d'atome d'oxygène dans *la substance*

→ proportion des masses de chaque élément dans *la substance*

**nd*a : le nombre (invraisemblable!) de chiffres après la virgule fourni par Faraday résulte sans doute d'une conversion du système duodécimal en système décimal.

[448]

En ce qui concerne la composition de cette substance, mes expériences tendent à prouver qu'il s'agit d'un composé binaire de carbone et d'hydrogène, deux proportions du premier élément étant unies à une du second. L'absence d'oxygène est prouvée par l'inaction du potassium et les résultats obtenus lorsqu'il est passé à travers un tube chauffé au rouge.

Le résultat suivant a été obtenu en faisant passer la vapeur dans un tube de cuivre chauffé. 0,776 grain (*nd*a : 50.3 mg) de la substance a produit 5,6 pouces cubes (*nd*a : 81.9 cm³) de gaz carbonique, à une température de 60 °F (*nd*a : 15.6 °C) et une pression de 29,98 pouces (*nd*a : 1015 hPa) ; et 0,58 grain (*nd*a : 37.6 mg) d'eau a été recueilli. Les 5,6 pouces cubes de gaz équivalent à 0,711704 grain (*nd*a : 46.1 mg) de carbone selon les calculs, et les 0,58 grain d'eau à 0,064444 d'hydrogène (*nd*a : 4.2 mg).

Carbone : 0,711704 soit 11,44

Hydrogène : 0,064444 soit 1

A partir d'une simple expérience de combustion



en collectant le CO₂ gazeux (mesure du volume) et l'eau liquide (mesure de la masse) générés à partir de 50.3 mg de *la substance*, Michael Faraday conclut que *la substance* contient, en masse :

Carbone = 0,711704 gr (46,1176 mg) soit 11,44
Hydrogène = 0,064444 gr (4,1759 mg) soit 1

Aujourd'hui, on sait que le résultat théorique de cette expérience serait de 11,92:1 vs 11,44:1 déterminé expérimentalement par M. Faraday il y a 200 ans. Pas mal, non?

**nd*a : le nombre (invraisemblable!) de chiffres après la virgule fourni par Faraday résulte sans doute d'une conversion du système duodécimal en système décimal.

[448]

En ce qui concerne la composition de cette substance, mes expériences tendent à prouver qu'il s'agit d'un composé binaire de carbone et d'hydrogène, deux proportions du premier élément étant unies à une du second. L'absence d'oxygène est prouvée par l'inaction du potassium et les résultats obtenus lorsqu'il est passé à travers un tube chauffé au rouge.

Le résultat suivant a été obtenu en faisant passer la vapeur dans un tube de cuivre chauffé. 0,776 grain (*ndt* : 50.3 mg) de la substance a produit 5,6 pouces cubes (*ndt* : 81.9 cm³) de gaz carbonique, à une température de 60 °F (*ndt* : 15.6 °C) et une pression de 29,98 pouces (*ndt* : 1015 hPa) ; et 0,58 grain (*ndt* : 37.6 mg) d'eau a été recueilli. Les 5,6 pouces cubes de gaz équivalent à 0,711704 grain (*ndt* : 46.1 mg) de carbone selon les calculs, et les 0,58 grain d'eau à 0,064444 d'hydrogène (*ndt* : 4.2 mg).

Carbone : 0,711704 soit 11,44

Hydrogène : 0,064444 soit 1

A partir d'une simple expérience de combustion



en collectant le CO₂ gazeux (mesure du volume) et l'eau liquide (mesure de la masse) générés à partir de 50.3 mg de *la substance*, Michael Faraday conclut que *la substance* contient, en masse :

Carbone = 0,711704 gr (46,1176 mg) soit 11,44
Hydrogène = 0,064444 gr (4,1759 mg) soit 1

Aujourd'hui, on sait que le résultat théorique de cette expérience serait de 11,92:1 vs 11,44:1 déterminé expérimentalement par M. Faraday il y a 200 ans. Pas mal, non? Mais ...

$$0,711704 / 0,064444 = 11,044 \text{ et pas } 11,44 \dots$$

[448]

En ce qui concerne la composition de cette substance, mes expériences tendent à prouver qu'il s'agit d'un composé binaire de carbone et d'hydrogène, deux proportions du premier élément étant unies à une du second. L'absence d'oxygène est prouvée par l'inaction du potassium et les résultats obtenus lorsqu'il est passé à travers un tube chauffé au rouge.

Le résultat suivant a été obtenu en faisant passer la vapeur sur de l'oxyde de cuivre chauffé. 0,776 grain (*ndt* : 50.3 mg) de la substance a produit 5,6 pouces cubes (*ndt* : 81.9 cm³) de gaz carbonique, à une température de 60 °F (*ndt* : 15.6 °C) et une pression de 29,98 pouces (*ndt* : 1015 hPa) ; et 0,58 grain (*ndt* : 37.6 mg) d'eau a été recueilli. Les 5,6 pouces cubes de gaz équivalent à 0,711704 grain (*ndt* : 46.1 mg) de carbone selon les calculs, et les 0,58 grain d'eau à 0,064444 d'hydrogène (*ndt* : 4.2 mg).

Carbone : 0,711704 soit 11,44

Hydrogène : 0,064444 soit 1

Ces quantités sont presque égales en poids au poids de la substance utilisée ; et en prenant l'hydrogène comme base 1, le carbone n'est pas loin de 12, soit deux proportions.

Restons sur le rapport de masse de 11,44:1 déterminé par Faraday ≈ 12:1.

La proportion en masse du carbone par rapport à l'hydrogène « n'est pas loin de 12:1 » d'après les expériences de Faraday.

En 1825, on estimait que la masse atomique du carbone était d'environ 6, et celle de l'hydrogène environ 1.

Donc Michael Faraday conclut que le rapport carbone / hydrogène dans la substance est de 2:1, « soit deux proportions ».

Dans la page suivante [449], il propose donc de nommer *la substance* : **bicarburet d'hydrogène**.

saut de la page 448 à la page 450

le processus d'analyse (suite)

has combined with the hydrogen to form water, and which with the 0.34 of vapour nearly make the diminution of 0.9.

It will be seen at once that the oxygen required for the carbon is four times that for the hydrogen; and that the whole statement is but little different from the following theoretical one, deduced partly from the former experiments.

1 volume of vapour requires 7.5 volumes of oxygen for its combustion; 6 of the latter combine with carbon to form 6 of carbonic acid, and the 1.5 remaining combine with hydrogen to form water. The hydrogen present therefore in this compound is equivalent to 3 volumes, though condensed into one volume in union with the carbon; and of the latter elements there are present six proportionals, or 36 by weight. A volume therefore of the substance in vapour contains

$$\text{Carbon} \quad - \quad 6 \times 6 = 36$$

$$\text{Hydrogen} \quad - \quad 1 \times 3 = 3$$

—
39

and its weight or specific gravity will be 39, hydrogen being 1. Other experiments of ~~at~~ the same kind gave results according with these.

Among the liquid products obtained from the original fluid was one which, procured as before mentioned, by submitting to 0° the portion distilling over at 180° or 190°, corresponded with the substance already described, as to boiling points, but differed from it in remaining fluid at low temperatures; and I was desirous of comparing the two together. I had no means of separating this body from the

[450]

(...)

On constate immédiatement que la quantité d'oxygène nécessaire pour le carbone est quatre fois supérieure à celle nécessaire pour l'hydrogène, et que l'ensemble de cette affirmation ne diffère que très peu de la suivante, qui est théorique et déduite en partie des expériences précédentes. **1 volume de vapeur nécessite 7,5 volumes d'oxygène pour sa combustion ; 6 de ces derniers se combinent avec le carbone pour former 6 d'acide carbonique, et les 1,5 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau.** L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ; (...)

Une autre expérience de combustion de *la substance*, maintenant en mesurant le volume d'oxygène (O_2) consommé :



Faraday identifie que 6 volumes de O_2 « se combinent avec le carbone pour former 6 volumes de CO_2 », et que les « 1,5 volumes de O_2 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau ».

[450]

(...)

On constate immédiatement que la quantité d'oxygène nécessaire pour le carbone est quatre fois supérieure à celle nécessaire pour l'hydrogène, et que l'ensemble de cette affirmation ne diffère que très peu de la suivante, qui est théorique et déduite en partie des expériences précédentes. 1 volume de vapeur nécessite 7,5 volumes d'oxygène pour sa combustion ; 6 de ces derniers se combinent avec le carbone pour former 6 d'acide carbonique, et les 1,5 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau. L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ; (...)

Une autre expérience de combustion de *la substance*, maintenant en mesurant le volume d'oxygène (O_2) consommé :



Faraday identifie que 6 volumes de O_2 « se combinent avec le carbone pour former 6 volumes de CO_2 », et que les « 1,5 volumes de O_2 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau ».

Et il conclut « L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ».

[450]

(...)

On constate immédiatement que la quantité d'oxygène nécessaire pour le carbone est quatre fois supérieure à celle nécessaire pour l'hydrogène, et que l'ensemble de cette affirmation ne diffère que très peu de la suivante, qui est théorique et déduite en partie des expériences précédentes. 1 volume de vapeur nécessite 7,5 volumes d'oxygène pour sa combustion ; 6 de ces derniers se combinent avec le carbone pour former 6 d'acide carbonique, et les 1,5 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau. L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ; (...)

Une autre expérience de combustion de *la substance*, maintenant en mesurant le volume d'oxygène (O_2) consommé :



Faraday identifie que 6 volumes de O_2 « se combinent avec le carbone pour former 6 volumes de CO_2 », et que les « 1,5 volumes de O_2 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau ».

Et il conclut « L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ».

Il n'y a pas un truc qui vous dérange ici ? (moi oui)

[450]

(...)

On constate immédiatement que la quantité d'oxygène nécessaire pour le carbone est quatre fois supérieure à celle nécessaire pour l'hydrogène, et que l'ensemble de cette affirmation ne diffère que très peu de la suivante, qui est théorique et déduite en partie des expériences précédentes. 1 volume de vapeur nécessite 7,5 volumes d'oxygène pour sa combustion ; 6 de ces derniers se combinent avec le carbone pour former 6 d'acide carbonique, et les 1,5 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau. L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ; (...)

Une autre expérience de combustion de *la substance*, maintenant en mesurant le volume d'oxygène (O_2) consommé :



Faraday identifie que 6 volumes de O_2 « se combinent avec le carbone pour former 6 volumes de CO_2 », et que les « 1,5 volumes de O_2 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau ». Et il conclut « L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ».

Il n'y a pas un truc qui vous dérange ici ? (moi oui)

1,5 vol $O_2 \Rightarrow 3$ vol $H_2O \Rightarrow 6$ vol H ... et pas 3 ...

[450]

(...)

On constate immédiatement que la quantité d'oxygène nécessaire pour le carbone est quatre fois supérieure à celle nécessaire pour l'hydrogène, et que l'ensemble de cette affirmation ne diffère que très peu de la suivante, qui est théorique et déduite en partie des expériences précédentes. 1 volume de vapeur nécessite 7,5 volumes d'oxygène pour sa combustion ; 6 de ces derniers se combinent avec le carbone pour former 6 d'acide carbonique, et les 1,5 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau. L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ; (...)

biais de confirmation ?

ou

formule de l'eau = HO ?

ou

oxygène gaz = O

et 'acide carbonique' = CO ?

Une autre expérience de combustion de *la substance*, maintenant en mesurant le volume d'oxygène (O_2) consommé :



Faraday identifie que 6 volumes de O_2 « se combinent avec le carbone pour former 6 volumes de CO_2 », et que les « 1,5 volumes de O_2 restants se combinent avec l'hydrogène pour former de l'eau ». Et il conclut « L'hydrogène présent dans ce composé est donc équivalent à 3 volumes ».

Il n'y a pas un truc qui vous dérange ici ? (moi oui)

1,5 vol $O_2 \Rightarrow 3$ vol $H_2O \Rightarrow 6$ vol H ... et pas 3 ...

saut de la page 450 à la dernière phrase

les perspectives

It is possible that, at some future time, when we better understand the minute changes which take place during the decomposition of oil, fat, and other substances by heat, and have more command of the process, that this substance,

466 *Mr. FARADAY on new compounds, &c.*

among others, may furnish the fuel for a lamp, which remaining a fluid at the pressure of two or three atmospheres, but becoming a vapour at less pressure, shall possess all the advantages of a gas lamp, without involving the necessity of high pressure.

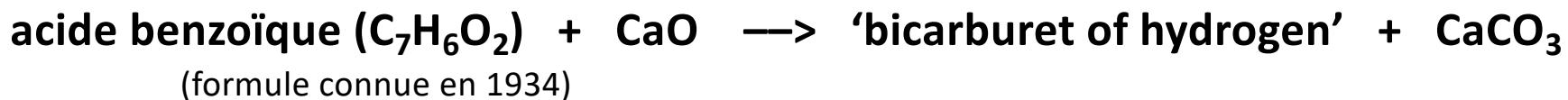
Royal Institution, June 7, 1825.

“Il est possible que [...] cette substance puisse servir de combustible pour une lampe, en restant liquide à une pression de deux ou trois atmosphères, mais en se transformant en vapeur à une pression inférieure, et qu'elle possède tous les avantages d'une lampe à gaz, sans nécessiter une pression élevée.”

⇒ **Nous avons maintenant un meilleur combustible pour les lampes à gaz!**

1834: Synthèse du ‘bicarburet d’hydrogène’ de Faraday à partir de l’acide benzoïque par le Prof. Dr. [Eilhard Mitscherlich](#)

Ann. Pharm. **1834**, 9, 39

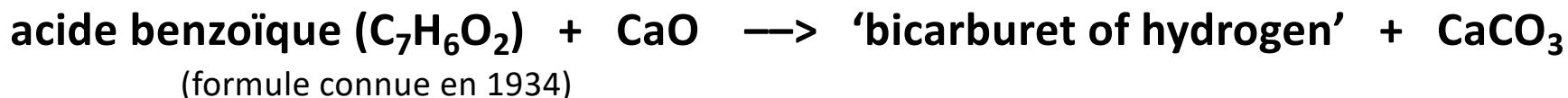


Par cette expérience Mitscherlich établit de manière indiscutable que la formule brute du bicarburet d’hydrogène de Faraday est C_6H_6 .



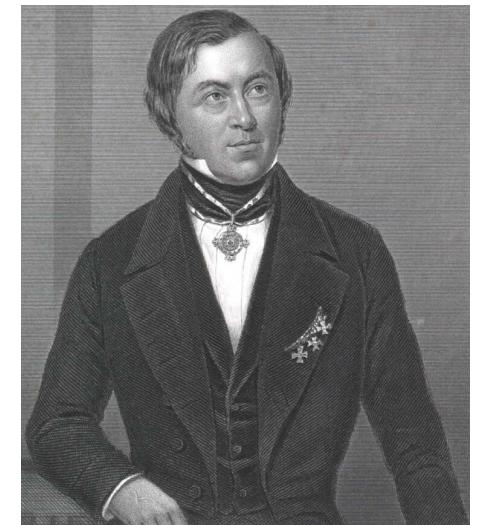
1834: Synthèse du ‘bicarburet d’hydrogène’ de Faraday à partir de l’acide benzoïque par le Prof. Dr. [Eilhard Mitscherlich](#)

Ann. Pharm. **1834**, 9, 39



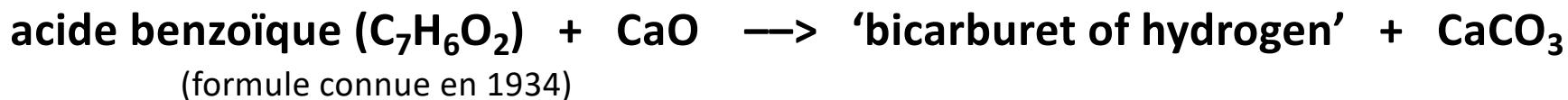
Par cette expérience Mitscherlich établit de manière indiscutable que la formule brute du bicarburet d’hydrogène de Faraday est C_6H_6 .

Il réalise des expériences de combustion du benzène similaires à celles de Faraday et obtient des résultats très comparables, avec une proportion C/H = 12,26 (théoriquement 11,92). Faraday avait trouvé 11,44 – en fait 11,04 – 9 ans plus tôt.



1834: Synthèse du ‘bicarburet d’hydrogène’ de Faraday à partir de l’acide benzoïque par le Prof. Dr. [Eilhard Mitscherlich](#)

Ann. Pharm. **1834**, 9, 39



Par cette expérience Mitscherlich établit de manière indiscutable que la formule brute du bicarburet d’hydrogène de Faraday est C_6H_6 .

Il réalise des expériences de combustion du benzène similaires à celles de Faraday et obtient des résultats très comparables, avec une proportion C/H = 12,26 (théoriquement 11,92). Faraday avait trouvé 11,44 – en fait 11,04 – 9 ans plus tôt.



Ceci démontre que le rapport des masses atomiques du carbone et de l’hydrogène est de 12 et pas de 6 ! Et aussi les formules O_2 et H_2 pour l’oxygène et l’hydrogène ! Et pourtant...

1834: Synthèse du ‘bicarburet d’hydrogène’ de Faraday à partir de l’acide benzoïque par le Prof. Dr. [Eilhard Mitscherlich](#)

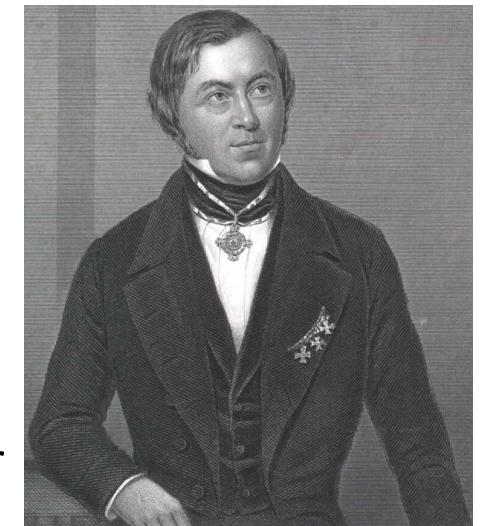
Ann. Pharm. **1834**, 9, 39



Par cette expérience Mitscherlich établit de manière indiscutable que la formule brute du bicarburet d’hydrogène de Faraday est C_6H_6 .

Il propose de nommer la substance “benzin” (en allemand).

Note : Le Prof. Dr. [Justus von Liebig](#), alors éditeur du journal *Annalen der Pharmacie* dans lequel Mitscherlich soumet l’article correspondant à ces travaux, suggère (impose!) de nommer la substance “benzol” car les suffixes “–in” et “–ine” devraient être réservés aux amines.



1834: Synthèse du ‘bicarburet d’hydrogène’ de Faraday à partir de l’acide benzoïque par le Prof. Dr. Eilhard Mitscherlich

Ann. Pharm. **1834**, 9, 39



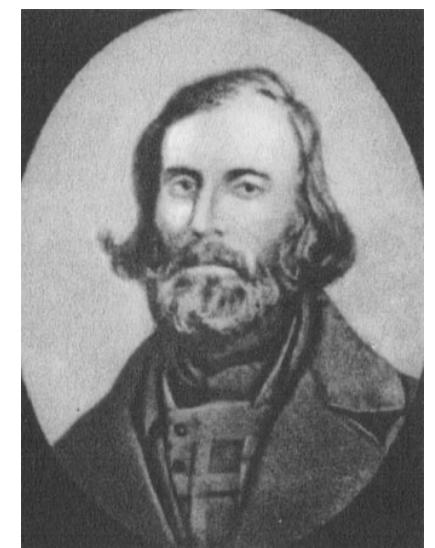
Par cette expérience Mitscherlich établit de manière indiscutable que la formule brute du bicarburet d’hydrogène de Faraday est C_6H_6 .

Il propose de nommer la substance “benzin” (en allemand).

1836: Le Prof. Dr. Auguste Laurent (à Paris) propose le préfixe “phèn-” et le suffixe “ène” donnant le nom “phène” (phényle, phénol...)

Ann. Chim. Phys. **1836**, 63, 27

depuis 1836: en Allemagne —> benzol, toluol, xylol
en France/UK —> benzène, toluène, xylène



1855: le terme “aromatique” est introduit par le Prof. Dr. August Wilhem von Hofmann pour désigner collectivement les substances apparentées au benzène, *en raison de leur forte odeur.*

1856: On ne sait rien de la structure moléculaire du benzène. Le concept de « liaison entre les atomes pour former des molécules » est inconnu à l'époque.

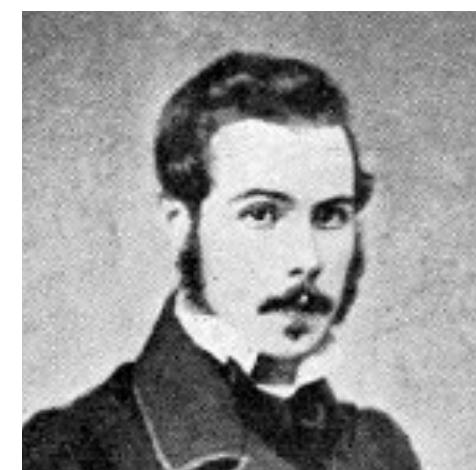
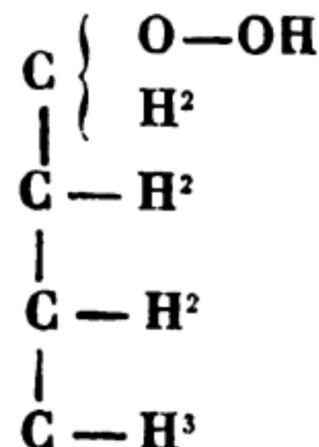
1855: le terme “aromatique” est introduit by Prof. Dr. [August Wilhem von Hofmann](#) pour désigner collectivement les substances apparentées au benzène, *en raison de leur forte odeur.*

1856: On ne sait rien de la structure moléculaire du benzène. Le concept de « liaison entre les atomes pour former des molécules » est inconnu à l'époque.

1857-1858: Le Prof. Dr. [Friedrich August Kekulé](#) propose une théorie des structures chimiques basée sur la **tétravalence des atomes de carbone** et leur **capacité à se lier entre eux**. La même idée est proposée simultanément par le Prof. Dr. [Archibald Scott Couper](#), avec les premières formules moléculaires où des lignes symbolisent les liaisons entre les atomes.



n-butanol de
Couper (1858)



la structure chimique du benzène

KONSTITUTIONS-FORMELN
DER ORGANISCHEN CHEMIE IN
GRAPHISCHER DARSTELLUNG

von

J. Loschmidt

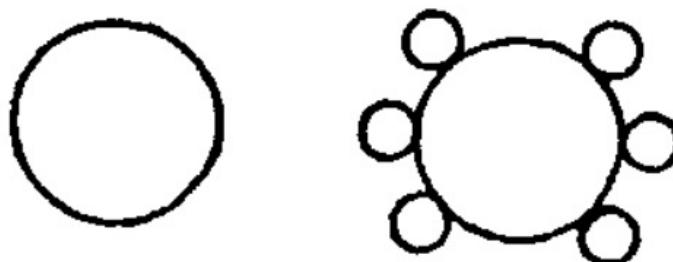
Mit 384 Figuren im Text und einem Bildnis

Herausgegeben
von
Richard Anschütz

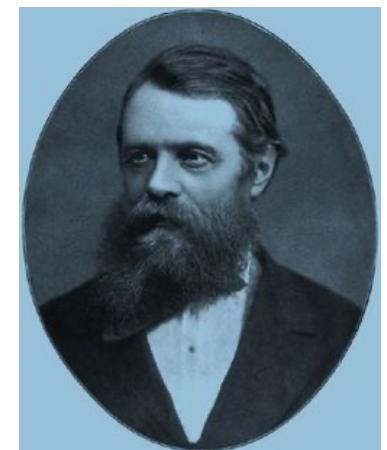


Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann

1861: Le Prof. Dr. Josef Jan Loschmidt propose le premier une structure correcte pour le benzène, un composé cyclique hexavalent! Et aussi celles de 120 autres composés aromatiques, presque toutes correctes. Je vous laisse apprécier sa proposition.

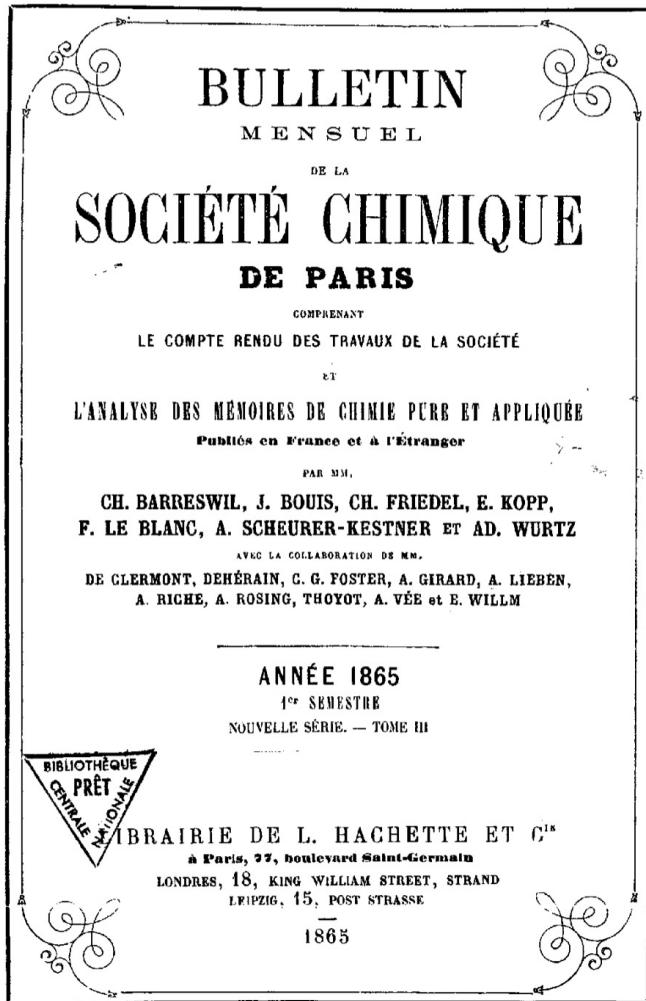


Schema 184, 185.



p. 59: “Nous attribuons le symbole 184 au noyau C_6^{VI} et le traitons comme s'il s'agissait d'un élément hexavalent”

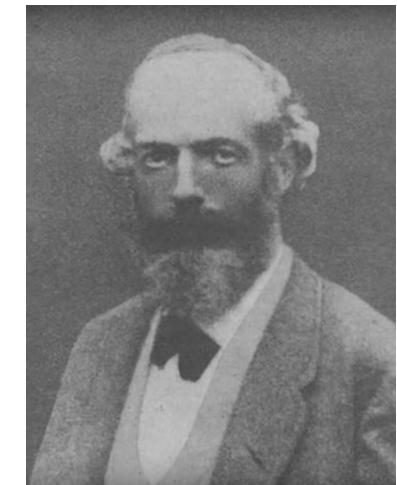
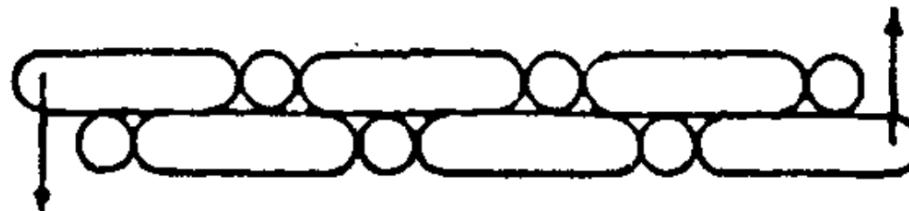
la structure chimique du benzène



98

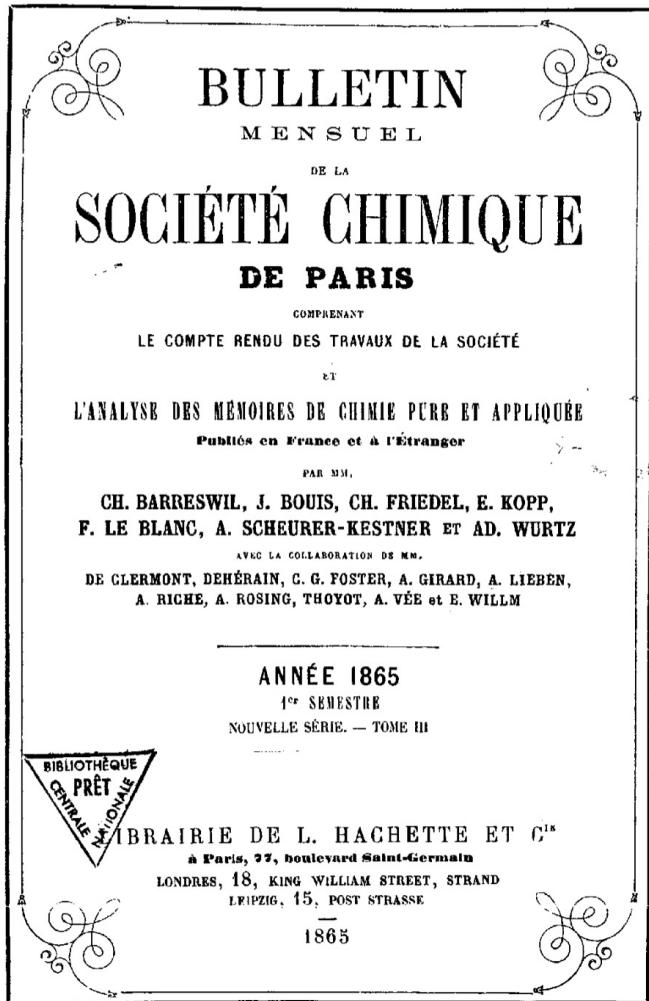
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE.

Sur la constitution des substances aromatiques,
par M. Aug. KEKULÉ.



1865: Le Prof. Dr. [Friedrich August Kekulé](#) propose aussi le premier (!), une structure correcte du benzène, un composé cyclique! La représentation de Kekulé met l'accent sur la tétravalence des atomes de carbone.

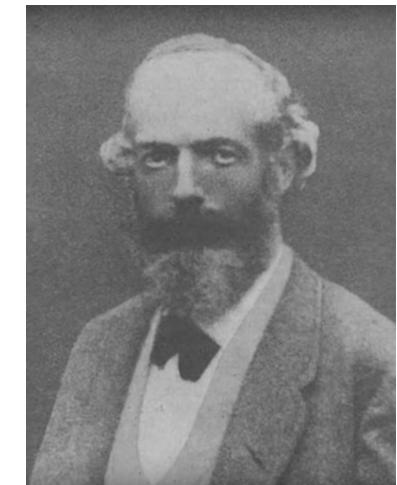
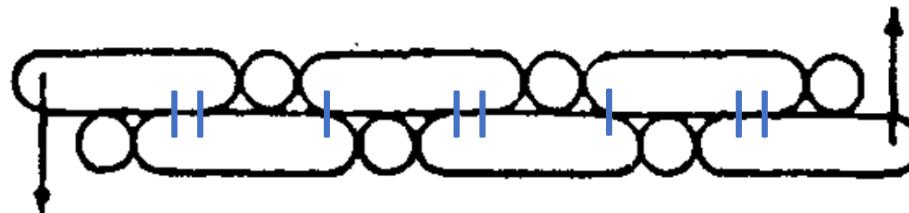
la structure chimique du benzène



98

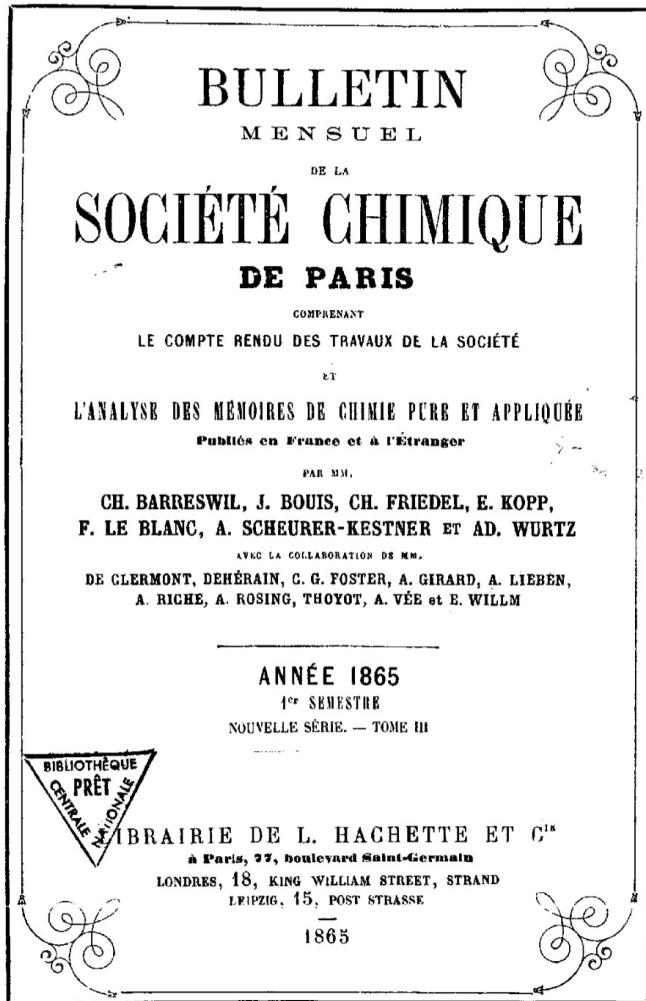
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE.

Sur la constitution des substances aromatiques,
par M. Aug. KEKULÉ.



1865: Le Prof. Dr. [Friedrich August Kekulé](#) propose aussi le premier (!), une structure correcte du benzène, un composé cyclique! La représentation de Kekulé met l'accent sur la tétravalence des atomes de carbone.

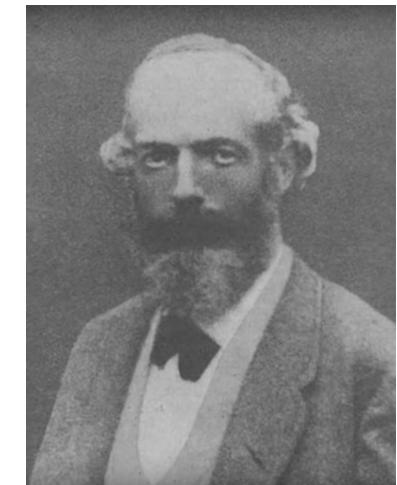
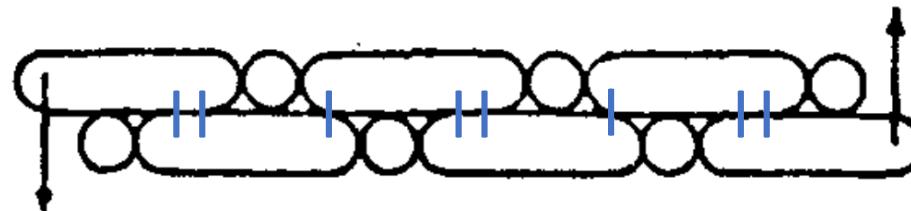
la structure chimique du benzène



98

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE.

Sur la constitution des substances aromatiques,
par M. Aug. KEKULÉ.



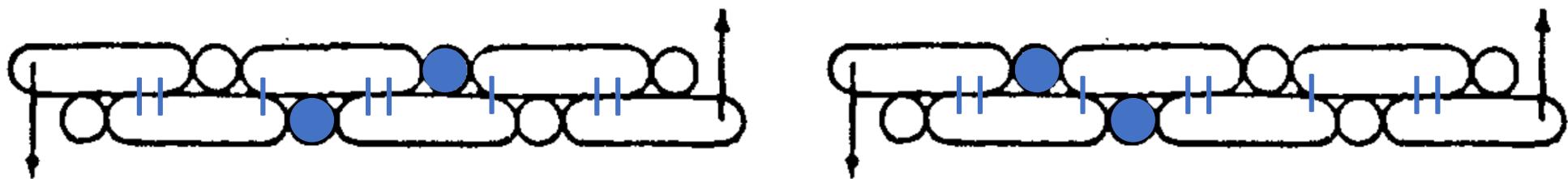
1865: Le Prof. Dr. [Friedrich August Kekulé](#) propose aussi le premier (!), une structure correcte du benzène, un composé cyclique! La représentation de Kekulé met l'accent sur la tétravalence des atomes de carbone.

Note: Kekulé n'a jamais reconnu la contribution de Loschmidt, bien qu'il en ait eu connaissance dès 1865 (cf note de bas de page), laquelle l'a certainement influencé.

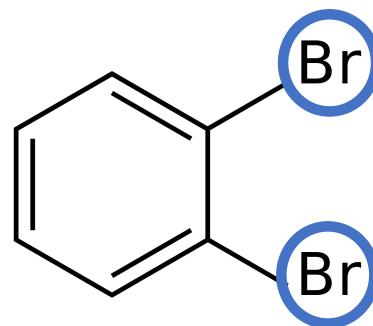
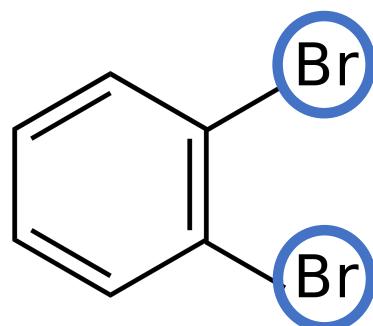
(2) Pour plus de clarté je présente à la fin de cette note un tableau donnant des formules graphiques pour la plupart des substances mentionnées. L'idée que ces formules sont destinées à exprimer est assez connue maintenant; il ne sera donc pas nécessaire d'insister. Je conserve la forme que j'avais adoptée en 1859, en exprimant pour la première fois mes vues sur la constitution atomique des molécules. Cette forme est d'ailleurs presque identique avec celle dont M. Wurtz s'est servi dans ses belles leçons de philosophie chimique. Elle me paraît préférable aux modifications proposées par MM. Loschmidt et Crum-Brown.

Je dois faire remarquer seulement que, pour la chaîne fermée G^6A^6 , j'ai préféré conserver la ligne horizontale, et que j'ai représenté par des flèches les affinités (terminantes) qui sont censées se saturer mutuellement. Les points des deux premières formules indiquent les affinités non saturées.

la structure chimique du benzène



Mais il y a un problème : si la structure du benzène « en saucisse » proposée par Kekulé dans les années 1865–1867 est correcte, alors 2 molécules *ortho*-dibromobenzène devraient exister ...



... mais les expériences montrent qu'il n'en existe qu'une.

la structure chimique du benzène

77

ANNALEN
DER
CHEMIE
UND
PHARMACIE.

HERAUSGEgeben UND REDIGIRT

von

F. WÖHLER, J. LIEBIG, H. KOPP,
E. ERLENMEYER, J. VOLHARD.

BAND CLXII.

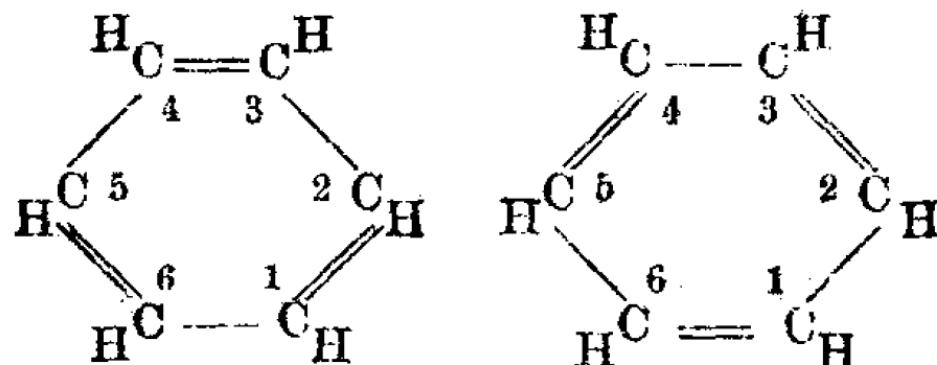
LEIPZIG UND HEIDELBERG.
C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.

1872.

Ueber einige Condensationsproducte des
Aldehyds *)
von Aug. Kekulé.

(Mittheilung aus dem chemischen Institut der Universität Bonn.)

(Eingelaufen den 14. Februar 1872).



1872: Kekulé a proposé que le benzène a une structure symétrique unique, dans laquelle « chaque atome de carbone (...) a exactement la même relation avec ses deux voisins ».

La proposition de Kekulé est que le benzene est de symétrie D_{6h} !

la structure chimique du benzène

1928–1929: En utilisant la DRX sur un monocristal d'hexaméthylbenzène, la Prof. Dr. Kathleen Lonsdale (la reine de la cristallographie) a démontré expérimentalement que

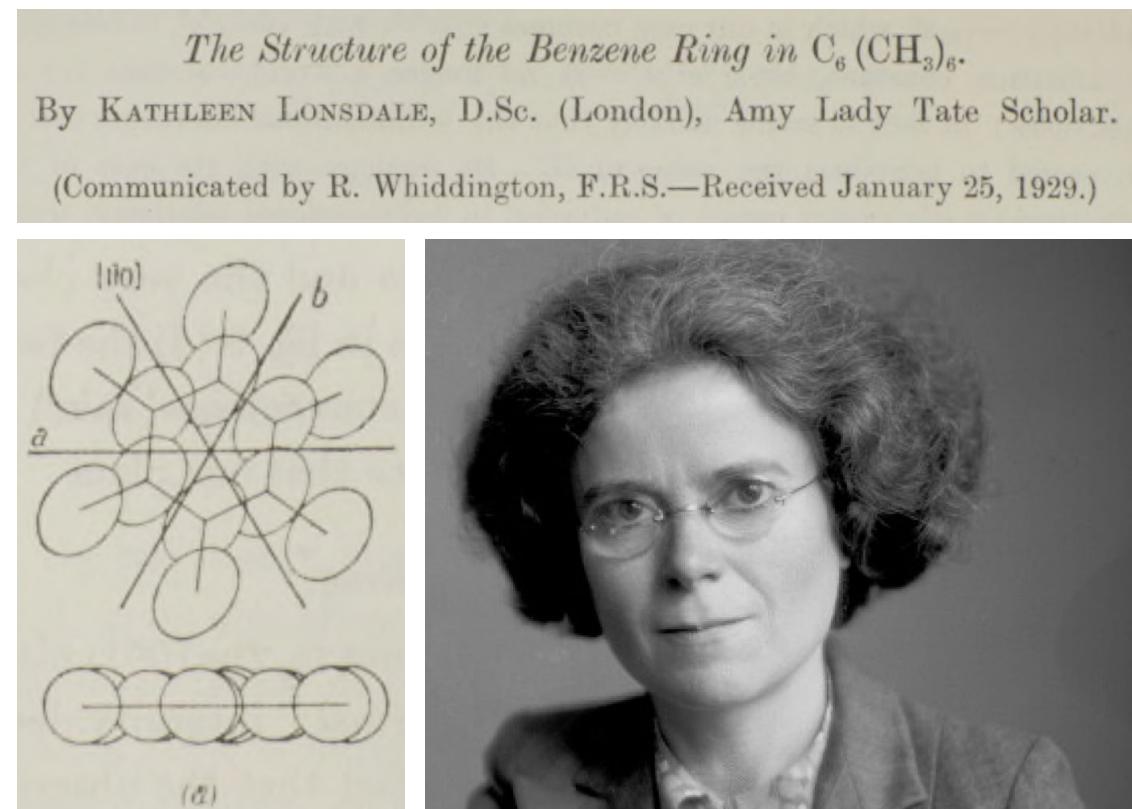
- le benzène est une **molécule bidimensionnelle** (plate)
- les **liaisons C–C ont toutes la même longueur** (1.42 Å), intermédiaire entre une liaison simple (1.54 Å) et une liaison double (1.34 Å)

Cette analyse met un terme définitif à la quête de la structure du benzène **103 ans après son isolement par Michael Faraday!**

Nature **1928**, *122*, 810

Proc. R. soc. Lond. Ser. A **1929**, *123*, 494

Trans. Faraday Soc. **1929**, *25*, 352



comprendre la structure chimique du benzène

Le **benzène** de formule C_6H_6 est un hydrocarbure très insaturé (faible proportion de H par rapport à C). Dans les années 1830-1870, on sait que les hydrocarbures insaturés (c'est-à-dire les alcènes) sont sujets à des **réactions d'addition** avec le brome (Br_2). Cependant, le **benzène** s'est rapidement révélé exceptionnellement résistant aux **réactions d'addition** avec le brome, ce qui n'avait aucun sens à l'époque.

comprendre la structure chimique du benzène

Le **benzène** de formule C_6H_6 est un hydrocarbure très insaturé (faible proportion de H par rapport à C). Dans les années 1830-1870, on sait que les hydrocarbures insaturés (c'est-à-dire les alcènes) sont sujets à des **réactions d'addition** avec le brome (Br_2). Cependant, le **benzène** s'est rapidement révélé exceptionnellement résistant aux **réactions d'addition** avec le brome, ce qui n'avait aucun sens à l'époque.

Dans les années 1870-1920, on observe que le **benzène** préfère subir des **réactions de substitution** avec le brome (c'est-à-dire une ‘simple’ réaction d’échange $H \leftrightarrow Br$) plutôt que l'addition de deux atomes de Br comme on pourrait s'y attendre pour un alcène.

comprendre la structure chimique du benzène

Le **benzène** de formule C_6H_6 est un hydrocarbure très insaturé (faible proportion de H par rapport à C). Dans les années 1830-1870, on sait que les hydrocarbures insaturés (c'est-à-dire les alcènes) sont sujets à des **réactions d'addition** avec le brome (Br_2). Cependant, le **benzène** s'est rapidement révélé exceptionnellement résistant aux **réactions d'addition** avec le brome, ce qui n'avait aucun sens à l'époque.

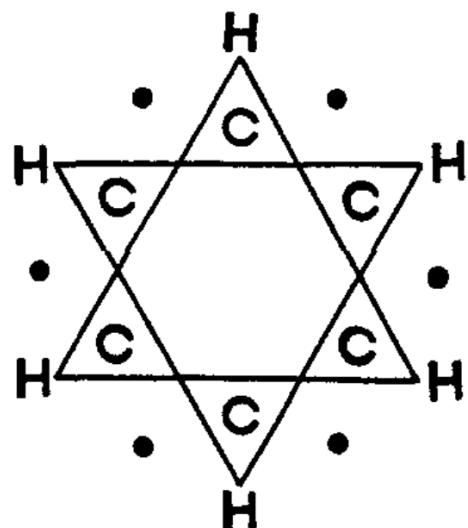
Dans les années 1870-1920, on observe que le **benzène** préfère subir des **réactions de substitution** avec le brome (c'est-à-dire une ‘simple’ réaction d’échange $H \leftrightarrow Br$) plutôt que l'addition de deux atomes de Br comme on pourrait s'y attendre pour un alcène.

Un autre fait curieux à propos du benzène est son enthalpie d’hydrogénéation :

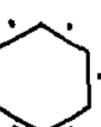
- cyclohexène + $H_2 \rightarrow$ cyclohexane, correspond à une stabilisation de -120 kJ/mol
- 1,3-cyclohexadiène + 2 $H_2 \rightarrow$ cyclohexane, correspond à une stabilisation de -232 kJ/mol
- **benzène** + 3 $H_2 \rightarrow$ cyclohexane, correspond à une stabilisation de seulement -208 kJ/mol!
=> le **benzène** est beaucoup plus stable (≈ 152 kJ/mol) que le **1,3,5-cyclohexatriène**!

la structure électronique du benzène

1922: En s'appuyant sur la théorie récente de « la règle de l'octet » (Lewis, 1916-1921), Ernest C. Crocker a proposé une formule du benzène selon laquelle les « six électrons aromatiques » confèrent sa stabilité au benzène.



Les sommets de chaque triangle représentent des valences de carbone avec deux électrons chacune. Les points sont « les six électrons aromatiques qui vibrent continuellement dans le plan de l'anneau, s'appariant alternativement de manière momentanée avec l'un puis l'autre des deux électrons aromatiques adjacents ».

Fig. 3.—Benzene: •

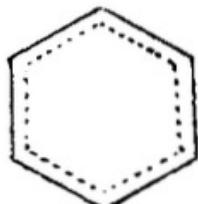
J. Am. Chem. Soc. 1922, 44, 1618.

la structure électronique du benzène

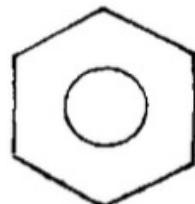
1925: le Dr. James Wilson Armit et le Prof. Dr. Robert Robinson publient leur célèbre article sur *le sextet aromatique* ... sans mentionner le travail antérieur de Ernest C. Crocker.

En fait, ils ont juste renommé « les six électrons aromatiques » de Crocker en “sextet aromatique”, et ont proposé une représentation plus pratique.

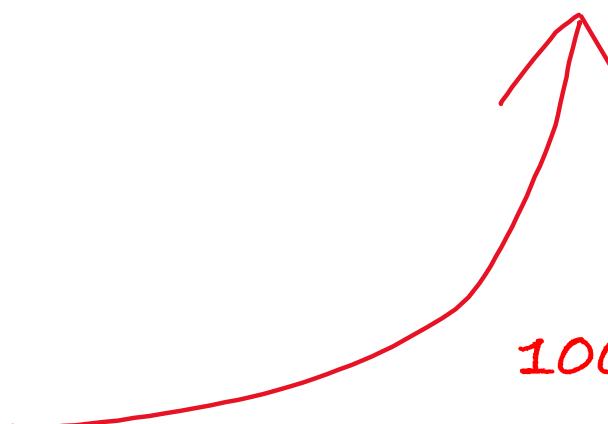
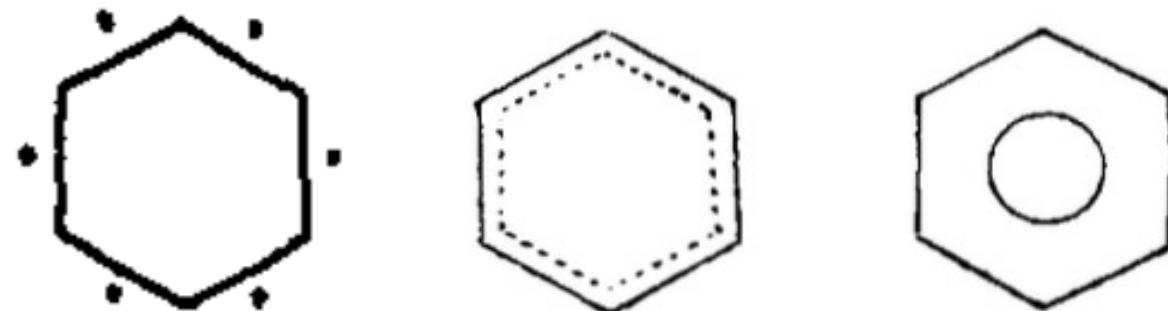
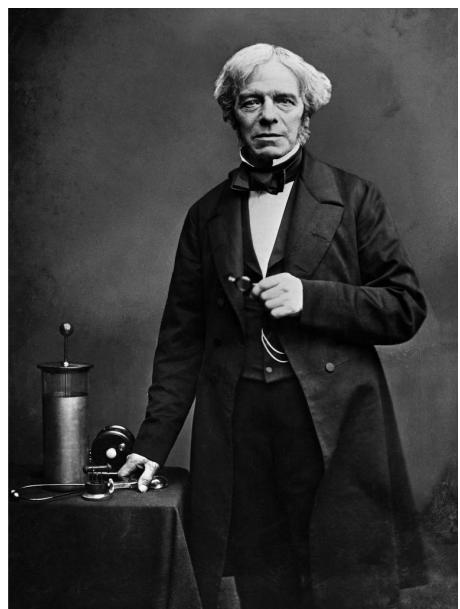
“six électrons sont capables de former un groupe qui résiste à la rupture, et peuvent être appelés *le sextet aromatique*. (...) Le cercle dans le cycle symbolise l'idée que six électrons dans la molécule de benzène produisent une association stable qui est responsable du *caractère aromatique* de la substance.”



and



J. Chem. Soc. **1925**, 127, 1604–1618.



100 ans : 1825 - 1925

Joyeux anniversaire Benzène !!!

