

LA PHOTOCHEMIE DE L'AVENIR

GIACOMO CIAMICIAN (1857-1922)

EXTRAIT DE « SCIENTIA »

VOL. XII, 6.ème ANNEE (1912), N. XXVI-6

La civilisation moderne est la fille du charbon fossile; la houille offre à l'humanité civilisée l'énergie solaire sous la forme la plus concentrée; de ce trésor accumulé pendant une longue suite de siècles, l'homme d'aujourd'hui s'est servi et se sert avec une avidité croissante et une prodigalité inconsciente pour conquérir le monde. Comme l'or mythique du Rhin, le charbon fossile est pour l'instant la source principale de la force et de la richesse.

La terre en possède encore d'énormes gisements; mais ils ne sont pas inépuisables. Le problème de l'avenir commence à intéresser, et la preuve en est que, l'an passé, il a été traité presque en même temps par sir William Ramsay, à la «British Association for the advancement of Science», à Portsmouth, et par le professeur Carl Engler, à la «Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte», à Karlsruhe. D'après les calculs de ce dernier, l'Europe posséderait un patrimoine d'environ 700 milliards de tonnes de charbon de terre, et l'Amérique autant; à ces gisements, il faut ajouter ceux qui sont encore en partie inconnus en Asie. La masse du dépôt est énorme, mais, à cause de l'accroissement dans la consommation, l'exploitation devient toujours plus coûteuse par suite des profondeurs de plus en plus grandes auxquelles il faut atteindre; dès lors, on ne peut négliger le problème, du moment que, en certains pays, les gisements peuvent devenir pratiquement inutilisables bien avant leur épuisement matériel.

L'énergie solaire fossile est-elle la seule à pouvoir servir à la vie et à la civilisation moderne? *That is the question.*

Un examen très soigné de ce problème envisagé du point de vue anglais a été fait par sir William Ramsay. Celui-ci a pris en considération les diverses sources d'énergie, telles que les marées, la chaleur intérieure du globe, la chaleur solaire, la houille blanche, l'extension des forêts et des tourbières, jusqu'à la désintégration atomique, et il est arrivé à la conclusion qu'aucune de ces sources n'apparaît comme pratiquement utilisable en Angleterre, étant donné les conditions orographiques et climatiques de ce pays.

Il est certain que l'énergie terrestre endogène, qui, au moyen des éruptions volcaniques et des tremblements de terre, peut causer d'épouvantables désastres, sera difficilement apprivoisée par l'homme, et il en est sans doute ainsi de l'énergie qui provient de la rotation de la Terre (marées), à cause de l'énorme quantité d'eau qu'il faudrait vaincre. La transmutation atomique a été récemment l'objet d'un brillant article dans cette Revue par Frédéric Soddy, se plaçant au point de vue de l'important phénomène ésoénergétique que cette transmutation représente: s'il est donné à l'homme de réaliser un rêve semblable et d'arriver à employer l'énergie interne des atomes, sa puissance dépassera de bien loin les limites qui lui sont imposés pour le moment. Ces limites sont présentement déterminées par l'énergie

solaire: voyons si l'énergie *actuelle* peut en général suppléer à celle qui se trouve enclose dans les combustibles fossiles. En admettant la constante solaire d'environ 3 petites calories à la minute par centimètre carré, ou 30 grandes calories par mètre carré à la minute et 1800 à l'heure, on peut comparer cette quantité de chaleur avec celle que donne la combustion complète d'un kilogramme de charbon, et qui est de 8000 grandes calories. Si l'on calcule pour les tropiques que la journée solaire est de six heures, on aura par jour une quantité de chaleur correspondant à celle que donne 1 Kg. 35 de charbon, ou, en chiffres ronds, 1 Kg. Pour un kilomètre carré, cette quantité de chaleur équivaut à celle que produit la combustion complète de 1000 tonnes de charbon seulement. La quantité d'énergie solaire qui arrive en une année, sur une étendue qui aurait une surface de 10.000 kq., si l'on calcule d'après un journée solaire de six heures, correspond ainsi à la chaleur fournie par 3650 millions de tonnes de charbon, c'est-à-dire par 3 milliards de tonnes en chiffres ronds. La quantité de charbon fossile produite annuellement (1909) par les mines d'Europe et d'Amérique est évaluée à 925 millions de tonnes, et, si l'on ajoute à ce chiffre 175 millions de tonnes de lignite, on arrive à 1100 millions, c'est-à-dire à un peu plus d'un milliard. Cependant, en tenant compte aussi de l'absorption par l'atmosphère et d'autres circonstances, on voit que la quantité d'énergie solaire qui arrive annuellement sur un petit territoire des tropiques, – ayant, par exemple, une superficie analogue à celle du Latium, – équivaut à la production annuelle de la houille pour toute la terre! Le désert du Sahara, avec ses 6 millions Kq., reçoit par jour ce qui correspond à 6 milliards de tonnes!

Cette énorme quantité d'énergie que la Terre reçoit du Soleil, et par rapport à laquelle celle qui a été emmagasinée par les plantes dans les périodes géologiques est pour ainsi dire négligeable, se trouve en grande partie dispersée. Elle est utilisée dans les chutes d'eau (houille blanche) et par les plantes. On a plus d'une fois songé à l'employer directement par des procédés thermo-mécaniques, au moyen de miroirs, et maintenant même l'on fait des expériences pleines de promesses en Égypte et au Pérou, mais ce côté fort intéressant du problème sort de ma compétence et conséquemment je n'entends pas le traiter. L'énergie produite par les chutes d'eau, selon les données contenues dans le beau discours du professeur Engler, équivaldrait annuellement, pour la surface entière de la Terre, à 70 milliards de tonnes de charbon. Comme l'on voit et comme il est naturel, c'est fort peu par rapport à la totalité de l'énergie solaire qui frappe annuellement la Terre. Voyons maintenant quelle est approximativement la quantité d'énergie solaire qui est annuellement fixée par les plantes: sur la surface continentale de la Terre, s'étendant sur 128 millions de kilomètres carrés, sont élaborés annuellement 32 milliards de tonnes de substance organique sèche, dont la combustion donnerait une quantité de chaleur correspondant à celle de 18 milliards de tonnes de charbon. C'est peu, mais cependant cette petite quantité est déjà dix-sept fois supérieure à la production annuelle de charbon fossile et de lignite, en un an, pour le monde entier.

I.

Et maintenant, abordons la première partie de notre sujet.

Est-il possible, ou, pour mieux dire, peut-on penser qu'il sera possible de faire augmenter cette production de matière l'on réfléchit que, depuis l'époque de Liebig, en se servant au fond seulement des moyens qu'il propose, la production a pu être pour le moins quadruplée, il reste aussi beaucoup à espérer de l'avenir, surtout quand on est poussé par la nécessité ou même par la simple utilité.

Maintenant, il n'est pas impossible de penser qu'en augmentant jusqu'à une certaine limite la concentration de l'anhydride carbonique¹ et en faisant usage de catalyseurs, on pourrait arriver à augmenter notablement la production de matière organique végétale, si l'on emploie naturellement de la façon la plus abondante les engrais minéraux opportuns et si l'on choisit des régions appropriées par leur climat et les conditions du sol. La récolte, séchée au soleil, devrait être convertie intégralement de la façon la plus parfaite en combustible gazeux, et l'on aurait soin de fixer durant cette opération l'ammoniacque (par exemple avec le système Mond), pour la restituer ensuite au sol comme engrais azoté, en même temps que toutes les substances minérales des cendres. Ainsi arriverait-on à former un cycle en ce qui concerne les matières minérales fertilisantes, sauf les pertes inévitables dans tout procédé industriel. Le gaz ainsi produit devrait être brûlé complètement sur place dans une machine thermique, et l'énergie mécanique qui y serait produite fixée pour être transportée ou être utilisée de toute autre façon, dont il n'importe pas de parler ici. L'anhydride carbonique de la combustion, au lieu de se perdre dans l'air, devrait être conduite dans les champs en culture. Ainsi, l'énergie solaire fixée par le moyen d'une culture rationnelle pourrait fournir de l'énergie mécanique à bon marché, et on y arriverait peut-être mieux de cette façon qu'au moyen de systèmes à base de réflecteurs thermo-mécaniques, parce que les plantes accumulent l'énergie reçue.

Mais le problème de l'utilisation des plantes en concurrence avec l'utilisation du charbon fossile présente une autre face beaucoup plus intéressante. Avant tout, il convient de rappeler les industries qui ont l'agriculture pour fondement: celles du coton et des fibres textiles, celles de l'amidon et des fermentations alcooliques, celles des matières grasses avec tous leurs dérivés, la distillation du bois, l'extraction du sucre, des matières tanniques, et autant d'autres moins importantes. Toutes ces industries sont susceptibles d'amélioration, non seulement dans le sens ordinaire de progrès ultérieurs réalisés dans les manipulations des matières premières, mais encore dans le sens d'une production plus grande de ces dernières. Qu'on pense par exemple aux progrès faits dans la production du sucre au moyen de la betterave.

Maintenant, les plantes, outre qu'elles sont des maîtres indépassables ou, mieux encore, qu'elles constituent des officines admirables dans la synthèse photochimique des matières fondamentales, en partant de l'anhydride carbonique avec l'aide de l'énergie solaire, produisent avec une égale simplicité les substances dites secondaires. Ces dernières, qui se retrouvent presque toujours en petite

¹ L'*optimum* serait, d'après Kreuzler, entre 1 et 10% d'anhydride carbonique.

quantité dans les plantes sont précieuses pour d'autres raisons. Les alcaloïdes, les glucosides, les essences et les camphres, la gomme élastique, les matières colorantes, et d'autres substances encore ont intéressé et intéressent l'industrie organique beaucoup plus que les substances fondamentales, car il s'agit de produits d'une grande valeur commerciale. Dans ce domaine, une lutte s'est engagée entre l'industrie chimique et la nature, lutte qui fait vraiment honneur à l'intelligence et à la perspicacité humaines. Jusqu'à présent, le goudron tiré du charbon fossile a presque toujours remporté la victoire. Ce qu'ont été ces victoires, il n'y a pas lieu de le rapporter ici, mais cependant on ne peut faire moins que de penser qu'elles pourraient devenir des victoires à la Pyrrhus. Une grande autorité dans le domaine des industries organiques considérait, il y a quelque temps, le cas où, par suite de causes diverses, le prix du goudron tiré du charbon fossile, et en conséquence celui aussi des matières premières qui s'y trouvent contenues, pourrait subir une augmentation sensible, et il en tirait des conclusions évidentes pour l'avenir des industries qui reposent sur ces matières. Tout le monde rappelle avec admiration les grandes difficultés qui durent être surmontées à propos du choix de la matière première pour la production industrielle de l'indigo: on dut recourir à la naphthaline, parce qu'on ne pouvait trouver la quantité voulue de toluol. Mais ce n'est pas seulement l'exagération des prix des matières premières qui peut empêcher l'expansion de l'industrie; celle-ci peut pour le moins subir un arrêt, lorsque s'est épuisé l'intérêt scientifique à l'égard d'une branche donnée d'études. Comme on l'a hautement reconnu, l'industrie moderne est étroitement liée à la science pure: le progrès de l'une détermine nécessairement le progrès de l'autre. Aujourd'hui, évidemment, ce n'est plus la chimie du benzol et de ses dérivés qui constitue le thème favori, comme dans la seconde moitié du siècle passé, c'est bien davantage les matières et les problèmes relatifs à la biologie. C'est l'étude de la chimie organique des organismes qui s'impose toujours de plus en plus, et c'est sur des sujets de cette catégorie que se concentre l'intérêt actuel. Il y a de fortes chances que cette direction se manifeste à son tour dans la technique et qu'elle indique des voies nouvelles à l'industrie.

Du reste, dans les derniers temps, quelques industries organiques se sont développées rigoureusement en dehors de l'anneau benzylique du goudron. Les essences et les parfums, certains alcaloïdes, comme, par exemple, ceux de la coca, sont l'objet d'industries florissantes, où l'on cherche à employer ces matières que les plantes produisent en quantités relativement abondantes pour les convertir en produits de valeur plus grande.

Comme tout le monde sait, par exemple, c'est avec le citral du *lemongras oil* que se prépare l'essence de violette. C'est dans cette direction qu'on doit persévérer, parce qu'elle offre un gage de progrès assuré. Il faut espérer que la gomme élastique pourra bientôt être obtenue utilement par une méthode semblable.

Mais la question a une autre face, qui, je le crois, peut mériter la plus sérieuse attention: il s'agit de certaines expériences qui ont été faites récemment par moi et par M. Ravenna à Bologne. Non que je veuille attribuer à ces recherches une importance pratique quelconque; mais ces recherches montrent du moins comment on peut intervenir directement dans la vie des plantes et modifier en un certain sens

les processus chimiques qui s'accomplissent en elles. Dans une série d'expériences qui tendaient à déterminer la fonction physiologique des glucosides, nous avons réussi à les faire produire par des plantes qui n'en contiennent pas naturellement. Ainsi, par exemple, nous avons pu, avec des inoculations opportunes, contraindre le maïs à faire la synthèse de la salicine. Et plus récemment, en nous occupant de la fonction des alcaloïdes dans les plantes, nous avons pu arriver à modifier la production de la nicotine dans le tabac, de façon à obtenir une augmentation notable ou une diminution de l'alcaloïde que contient le tabac. Nous n'en sommes qu'au début, mais ne paraît-il pas dès maintenant possible que, grâce à des systèmes opportuns de culture et à des interventions, on puisse arriver à faire produire aux plantes, en quantité plus grande que ce qu'elles en produisent normalement, les substances qui sont utiles à la vie moderne et qu'avec des artifices si compliqués, nous cherchons aujourd'hui à extraire des modestes sous-produits, du goudron du charbon fossile? La crainte de soustraire les campagnes à la production des matières alimentaires pour favoriser la production industrielle ne mérite pas qu'on s'y arrête. Un calcul même approximatif démontre qu'il y a place largement sur la Terre pour tout et pour tous, surtout quand les cultures sont perfectionnées comme il faut, intensifiées et adaptées rationnellement aux conditions du climat et du sol. C'est cela même qui constitue justement le problème de l'avenir.

II.

L'industrie organique peut attendre beaucoup de secours de la phytochimie, entendue dans le sens indiqué tout à l'heure, et la concurrence entre la phytochimie et la chimie du goudron pourra être la source de nouveaux progrès. Au reste, l'idée de progresser avec ses propres forces sourira toujours à l'esprit humain, et il n'y a point de doute que le grand développement pris par l'industrie du goudron a été en partie causé par cet esprit superbe d'indépendance. Le problème se pose ainsi de savoir s'il n'y a pas d'autre mode de production qui puisse rivaliser avec les procédés photochimiques des végétaux. La réponse se trouve dans l'avenir de la photochimie industrielle, sur laquelle je voudrais exprimer brièvement quelques idées. Les procédés photochimiques n'ont fourni jusqu'à présent aucun emploi pratique intéressant en dehors de la photographie. La photographie a joui dès ses débuts de la plus vive attention; la technique en a pris possession, et, comme il arrive toujours, il en est résulté pour elle un développement rapide et brillant. Malgré leurs larges applications, les méthodes, photographiques ne forment au surplus qu'un canton restreint de la photochimie. Celle-ci a été en général peu cultivée, peut-être aussi parce que les chimistes en ont été distraits par d'autres problèmes qui paraissaient plus urgents. Ainsi, par exemple, tandis que la thermochimie et l'électrochimie peuvent se vanter d'avoir traversé des périodes déjà florissantes de développement, la photochimie en est restée à ses débuts. On constate cependant aujourd'hui une sorte de réveil dû à une série de recherches relatives aux problèmes généraux et aux processus particuliers, surtout dans le domaine organique, recherches auxquelles mon ami le docteur Paul Silber et moi avons pris une part active; ce progrès est également avéré par deux récents traités,

celui de Plotnikow et celui de Benrath. Il reste cependant beaucoup à faire tant en photochimie théorique qu'en photochimie appliquée.

Les réactions photochimiques suivent les lois fondamentales de l'affinité, mais elles possèdent des caractères particuliers. Elles se distinguent particulièrement par leur petits coefficients de température, et elles sont ainsi comparables, – le fait, au point de vue technique, n'est pas sans importance, – aux réactions qui surviennent à des températures très élevées. D'après une idée remarquable de Plotnikow, les radiations lumineuses provoqueraient une ionisation différente de l'ionisation électrolytique; la séparation d'un ion exige une quantité de lumière qui est déterminée par la théorie de Plank et Einstein; la question se rattache ainsi aux spéculations les plus récentes et les plus élevées de la physique mathématique.

En ce qui touche nos propres considérations, le problème fondamental, au point de vue technique, est celui de fixer l'énergie solaire au moyen de réactions photochimiques opportunes. Pour ce faire, il suffirait de pouvoir imiter le processus d'assimilation des plantes. Les plantes transforment, comme on sait, l'anhydride carbonique de l'atmosphère en matières sucrées (amidon) avec dégagement d'oxygène. Elles invertissent en d'autres termes le processus ordinaire de la combustion. Il est toujours apparu comme très probable que le premier produit de l'assimilation est l'aldéhyde formique; Curtius en aurait maintenant enfin démontré la présence dans les feuilles de hêtre. Le docteur D. Berthelot a déjà réalisé la reproduction artificielle d'un semblable processus au moyen des rayons ultraviolets; grâce à des perfectionnements appropriés, ne pourrait-on arriver à utiliser ce désormais processus sur les plateaux tropicaux? Au surplus, la véritable solution serait de trouver le moyen d'employer les radiations qui arrivent avec le plus d'abondance, à travers l'atmosphère tout entière, sur la surface de la Terre. Que la solution de ce problème soit possible, c'est ce que prouvent parfaitement les plantes. Grâce à des sensibilisateurs et à des catalysateurs convenables, on devrait pouvoir transformer le mélange de vapeur d'eau et d'anhydride carbonique en oxygène et en méthane, ou suivre d'autres procédés endoénergétiques analogues. Les régions désertiques des tropiques, où les conditions du sol et du climat rendent impossible n'importe quelle culture ordinaire, seraient ouvertes à l'exploitation par l'énergie solaire qu'elles reçoivent toute l'année dans une mesure assez grande pour correspondre à des milliards de tonnes de houille.

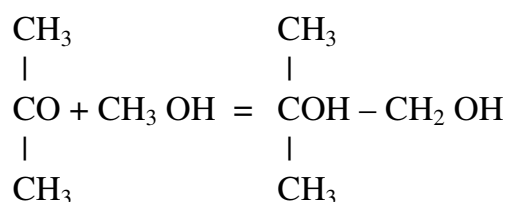
En dehors de ce procédé, qui remettrait en valeur les produits perdus de la combustion, on en connaît d'autres, qui sont déterminés par les radiations ultraviolettes, et qui pourraient, par l'emploi de sensibilisateurs appropriés, devenir, accessibles aux radiations ordinaires. La synthèse de l'ozone, de l'anhydride sulfurique, de l'ammoniaque et des oxydes d'azote, tant d'autres encore pourraient devenir l'objet de procédés photochimiques industriels.

On pourrait aussi imaginer diverses piles photoélectriques ainsi que des piles à base de processus photochimiques².

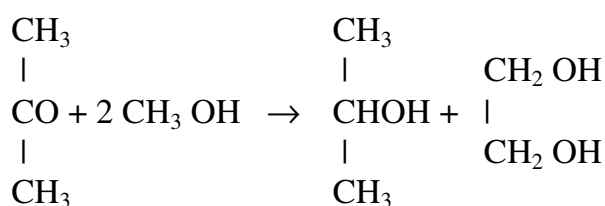
Si l'on passe dans le domaine de la chimie organique, les réactions qui se trouvent déterminées par la lumière sont si nombreuses qu'il ne doit pas être

² Comme, par exemple, dans les expériences de Ch. Winther.

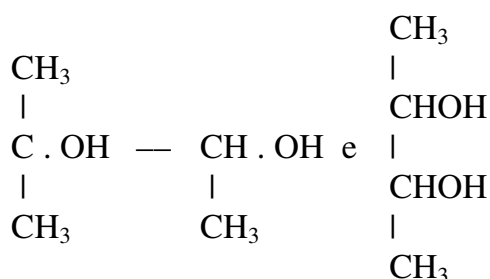
impossible d'en trouver qui soient pratiquement utilisables. La lumière favorise d'une façon spéciale les processus d'oxydations réciproques et de réductions qui impliquent des phénomènes de condensation ou qui sont associés à des phénomènes de condensation. Et comme la condensation préférée est fort souvent celle du type aldolique, il y a beaucoup à espérer pour l'avenir, parce que la condensation aldolique est la réaction fondamentale de la synthèse organique. Quelques expériences poursuivies récemment par mon ami Silber et par moi peuvent servir à cet égard d'illustration et d'exemple. Le cas le plus simple est fourni par l'action de la lumière sur un mélange d'acétone et d'alcool méthylique, où:



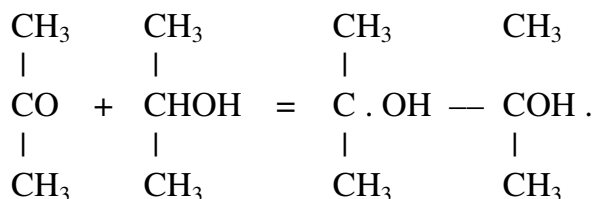
se produit le glycol isobutylénique. Mais cette condensation, qui peut être par elle-même considérée comme un processus d'oxydation et de réduction simultanées, est accompagnée par la réduction de l'acétone en alcool isopropylique et par l'oxydation de l'alcool méthylique en aldéhyde formique, laquelle, d'ailleurs, ne subsiste point dans les produits de l'insolation, parce qu'elle se condense avec l'alcool méthylique et se transforme en glycol éthylénique:



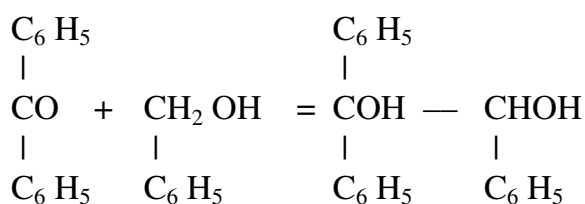
Si l'on applique la même réaction photochimique au mélange d'acétone et d'alcool éthylique, on a les produits analogues: le glycol triméthyléthylénique et en même temps que celui-ci l'alcool isopropylique et le glycol diméthyléthylénique :



Avec l'acétone et l'alcool isopropylique, comme il était à prévoir, se forme simplement le pinacone:

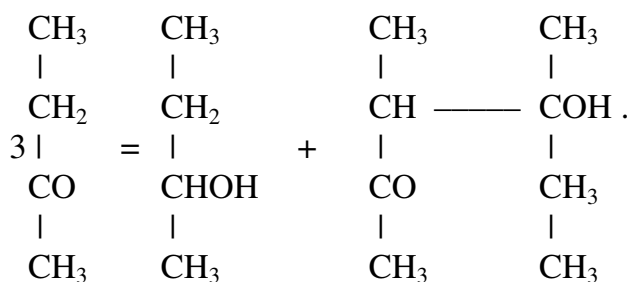


Dans la série aromatique, le benzophénone et l'alcool benzilique donnent, en même temps que d'autres produits, le glycol triphényléthylénique:



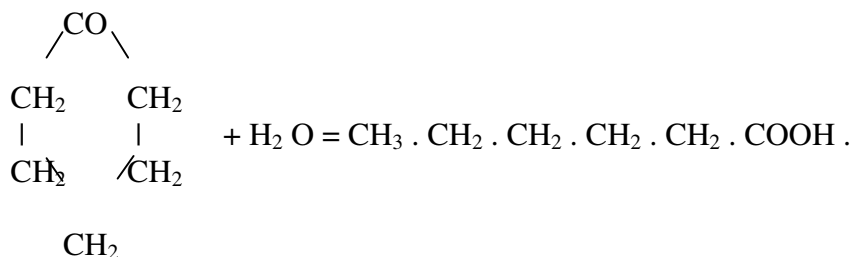
Tel a été le premier cas où une semblable condensation s'est trouvée observée: à la suite de celle-ci, d'autres encore ont été étudiées par Paternò, lorsqu'il a employé, à la place de l'alcool benzilique, diverses autres substances aromatiques. Que les aldéhydes donnent naissance à des processus de condensation, la chose a été démontrée avant tout par les observations de Klinger, après lesquelles sont venues celles de Benrath.

Pour avoir une idée de la variété des réactions photochimiques, il suffirait même de se restreindre à l'étude systématique des cétones et des alcools. Dans la chimie organique ordinaire, les réactions se répètent souvent selon un mode schématique; les réactions photochimiques présentent au contraire des surprises et sont par là même parfois très divergentes. Depuis nos premières expériences, nous savions, par exemple, que le benzophénone susmentionné ne s'ajoute pas à l'alcool éthylique, mais qu'il se transforme au contraire intégralement en pinacone, aux dépens de l'alcool, qui s'oxyde en aldéhyde. En poursuivant dans l'étude des cétones aliphatiques homologues de l'acétone, nous avons constaté cette année un fait bien remarquable. La méthyléthylcétone se condense avec elle-même, pour former une paradécétone, en se réduisant en même temps en alcool butylique secondaire:



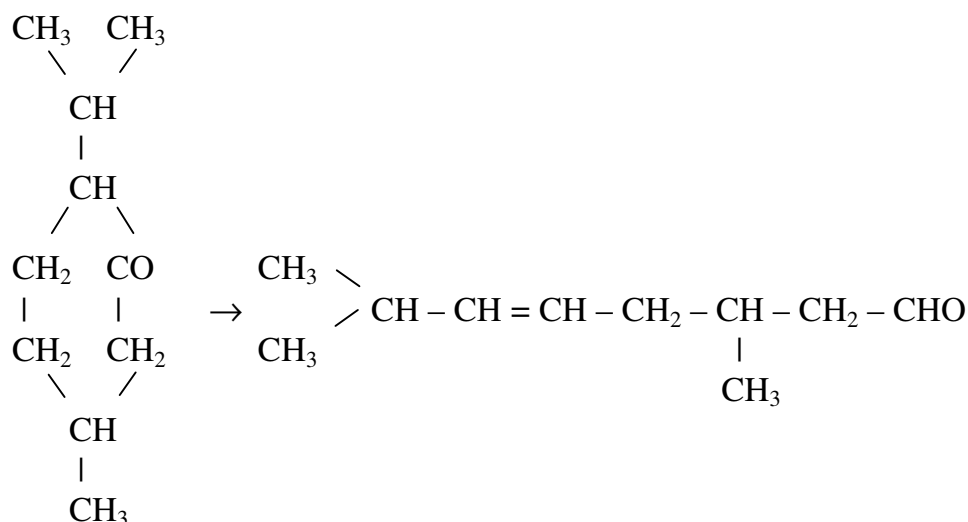
Bien entendu, la synthèse des dicétones à la lumière ne pouvait constituer une réaction exceptionnelle; une autrefois déjà, nous avons noté la formation du diacétyle; l'acétonilacétone se trouve, comme nous le savons maintenant, parmi les produits qui proviennent de l'acétone dans une solution d'alcool éthylique, et il est possible que les métadicétones, l'acétylacétone, par exemple, puissent également être obtenus par des procédés photochimiques. Ces processus ont une importance évidente en ce qui touche les caractères particuliers des dicétones, qui sont en état de subir les métamorphoses les plus variées; c'est en partant d'elles qu'on peut obtenir des dérivés du benzol; du pirrazol et de l'isosazol; de la quinoline, du furane, du tiophène et du pirrol. Et même à propos de cette dernière métamorphose, je voudrais rappeler que le tétraméthylpirrol correspond à notre paradicétone plus haut mentionnée. Si l'on voulait être hardi, on pourrait songer aux relations qui existent entre les pirrols qui peuvent se substituer aux radicaux alcooliques et la chlorophylle, et voir dans ces réactions la possibilité de réaliser la synthèse de cette substance fondamentale par un procédé de photochimie artificielle. La formation de la chlorophylle dans les plantes est due à un processus photochimique analogue à sa fonction; on ne sait cependant pas si et en quelle mesure la lumière intervient dans tous les processus synthétiques des végétaux, qui donnent naissance à toutes les substances qu'on retrouve dans les plantes. Les recherches devraient être poussées en partant de l'idée que la phytochimie et la photochimie trouveront une aide salutaire dans des rapports réciproques entre elles deux. Une semblable coopération pourrait avoir, au point de vue industriel, un grand avenir. Les produits bruts formés par les plantes pourraient être perfectionnés au moyen de procédés photochimiques industriels.

Dans ces derniers temps, nous nous sommes occupés fort attentivement des modifications que certaines substances, qui appartiennent au groupe des terpènes et du camphre, subissent à la lumière, particulièrement au moyen de procédés hydrolytiques. Jusqu'ici, nos expériences nous ont vraiment montré comment la lumière peut gâter les essences, au lieu de les améliorer. Ainsi, par exemple, les cyclocétones s'hydrolysent pour donner les acides gras correspondants: le cyclohexanone donne l'acide capronique, le menthone l'acide décilique:

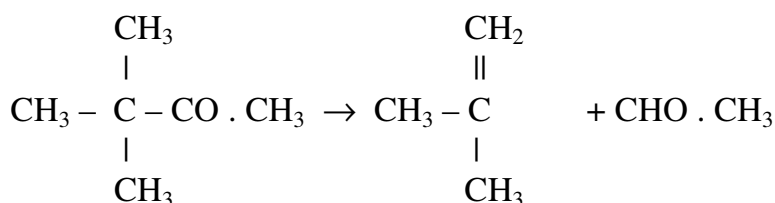


Toutefois, en photochimie, une action n'en exclut pas une autre; les réactions peuvent être interverties, comme le démontrent quelques expériences récentes avec la lumière ultraviolette, laquelle, dans certains cas, intervertit les réactions que déterminent les radiations moins réfrangibles. Il s'agirait d'employer des sensibilisateurs ou des catalysateurs appropriés. Du reste, la photolyse des cétones,

qui accompagne souvent l'hydrolyse, grâce à laquelle, par exemple, avec le menthone on obtient l'isocitronenal,



la réduction du camphre et sa transformation en un cyclocétone non saturé, d'autres faits semblables encore font déjà prévoir ce que l'avenir pourrait donner. La scission analogue de la pinacoline en butylène et aldéhyde acétique,



est digne de remarque, parce qu'elle prouve quelles violentes décompositions peut produire la lumière. La lumière peut être notre ennemie, mais il faut justement bien connaître les armes des adversaires quand on veut les soumettre pour utiliser leurs forces.

Je ne crois pas d'ailleurs que la technique doive attendre encore longtemps, pour tirer parti des effets chimiques de la lumière. Les processus de polymérisation, les transformations isomériques, les hydrolyses, les processus de réduction et d'oxydation par les interventions organiques et inorganiques, les auto-oxydations que la lumière provoque si facilement doivent aboutir à de profitables applications à l'industrie, dès que les recherches se trouveront dirigées dans ce but de façon appropriée. L'attitude des composés nitriques et nitrosyliques à la lumière, telle que nous l'a déjà fait connaître l'expérience, pourra se prêter à des métamorphoses utilisables. La transformation qu'on sait bien que nous avons réalisée de l'aldéhyde orthonitrobenzoïque en acide nitrosobenzoïque, – transformation qui a eu tant de conséquences grâce au travail de divers expérimentateurs jusqu'à la toute récente application qui est due à Pfeiffer, lequel obtient avec le chlorodinitrostilbène un nitrophénylisatogène, – doit nous rappeler la transformation, qui n'est pas moins connue, par Engler et Dorant, du benzilidène orthonitroacétophénone en indigo et

fait entrevoir une nouvelle direction photochimique en ce qui concerne les matières colorantes artificielles. Le but des travaux entrepris à cet égard ne doit pas être limité à la préservation des matières colorantes contre les processus de décoloration et de blanchiment et en général contre les altérations produites par la lumière. La photochimie des matières colorantes doit être la source de nouvelles méthodes de préparation et de teinture. On a déjà fait de précieuses expériences à ce sujet, en ce qui touche les composés diazoïques, et il convient de mentionner l'observation faite récemment par Baudisch, d'après lequel l' α -nitrosonaph-thylhydroxylamine se transforme par l'insolation de la fibre en azoxynaphtaline. L'auto-oxydation des substances renfermant des colorants blancs à la lumière est un procédé antique, dont se sont déjà servis les Anciens pour la pourpre; aujourd'hui, le mécanisme en est éclairé grâce aux recherches connues de Friedländer, mais il est évident que, dans ce domaine, il reste encore beaucoup à faire.

Les substances phototropiques qui prennent à la lumière des colorations souvent très intenses pour revenir, dans l'obscurité, à leur couleur primitive, se prêteraient à des applications d'un grand effet. Encore plus que les matières fluorescentes, qui donnent aux tissus des couleurs changeantes, les tissus teints avec des substances phototropiques appropriées pourraient attirer l'attention de la mode. Les vêtements d'une femme qui seraient préparés de cette façon changeraient de couleur selon l'intensité de la lumière. Lorsqu'elle passerait de l'ombre au soleil, on verrait s'allumer les couleurs grâce auxquelles les vêtements s'harmoniseraient avec le milieu d'une façon automatique: «le dernier cri de la mode à venir».

* * * * *

L'énergie solaire ne se répand pas également sur toute la terre; il y a des régions privilégiées et d'autres que leur latitude et les conditions de leur climat rendent moins favorisées. L'avenir serait réservé aux premières, quand l'industrie saurait utiliser, selon le mode que j'ai cherché à esquisser, l'énergie que le soleil y fait tomber. Les pays chauds et tropicaux se verraient ainsi conquis à la civilisation, qui reviendrait à ses origines: les nations les plus avancées, en pressentant, presque inconsciemment, cette nécessité, rivalisent dans la conquête des régions ensoleillées.

Là où la végétation est abondante, là où la photochimie peut être abandonnée aux plantes, on pourra, au moyen de cultures rationnelles, comme je l'ai déjà noté, se servir des radiations solaires pour promouvoir la production industrielle. Pour les régions désertiques au contraire, où les conditions du climat et du sol interdisent toute culture, c'est la photochimie industrielle qui les mettra en valeur. Sur le sol aride surgiront des colonies industrielles sans fumée et sans cheminées; des forêts de tubes de verre et des serres de toute dimension, – chambres de verre, – s'élèveront vers le soleil, et c'est dans ces appareils transparents que s'accompliront ces processus photochimiques, dont jusqu'à présent les plantes seules possédaient le secret et le privilège, mais que l'industrie humaine aura su leur ravir: l'industrie saura faire fructifier ces processus bien autrement que la nature,

parce que la nature n'a pas de hâte, tandis que l'humanité est pressée. Et s'il arrive, dans un avenir lointain, un moment où le charbon fossile sera complètement épuisé, ce ne sera pas une raison pour que la civilisation s'arrête: la vie et la civilisation dureront tant que le soleil resplendira! Et si même à la civilisation du charbon, civilisation sombre, nerveuse, et agitée jusqu'à l'épuisement de notre époque, devait succéder la civilisation peut-être plus calme de l'énergie solaire, il n'en résulterait pas un grand dommage pour le progrès et le bonheur des hommes.

La photochimie de l'avenir ne doit pas d'ailleurs être réservée pour une échéance aussi lointaine: je crois que l'industrie fera quelque chose de sensé en employant même à l'heure actuelle toutes les énergies que la nature met à sa disposition; jusqu'à, présent, la civilisation moderne a progressé presque exclusivement au moyen de l'énergie solaire fossile: ne serait-il pas opportun d'utiliser mieux aussi l'énergie solaire actuelle?

Bologna, Università.

(Traduit par M. Georges Bourgin - Paris).