

L'EVOLUTION DES RECHERCHES CONCERNANT L'UTILISATION DES RADIATIONS EN GENETIQUE ET AMELIORATION DES PLANTES.

par R. INAL, M. KOUIDER, I. NICOLAE et F. NICOLAE

Institut National Agronomique d'El-Harrach, Alger - Département de Phytotechnie.

L'utilisation des radiations ionisantes en génétique est la conséquence directe des grandes découvertes dans le domaine de la physique nucléaire de la fin du siècle dernier et de la première moitié du notre siècle.

La découverte des radiations X par RÖNTGEN (1895) a permis, dans le cadre de la génétique, de jeter les bases d'une discipline scientifique nouvelle qui connaît de nos jours un grand développement.

Parmi les agents mutagènes artificiels, les radiations ionisantes ont constitué la première source utilisée pour modifier expérimentalement l'hérédité des organismes vivants.

Les modifications génétiques produites par irradiation ne sont pas différentes de celles obtenues par les autres agents mutagènes comme le rayonnement non ionisant, les substances chimiques et les substances biologiques. Celles qui s'effectuent sous l'action du rayonnement en général, radioactif ou non, sont connues sous le nom de *radiomutations*, indiquant ainsi la nature de la mutation.

La réaction des organismes végétaux et animaux aux différentes radiations provenant de diverses sources, a été l'objet de nombreuses études, surtout dans la première partie du notre siècle.

L'intérêt manifesté par de nombreux chercheurs sur l'utilisation des radiations a augmenté en parallèle avec le développement continu des méthodes d'investigations en sciences physiques et biologiques qui se sont multipliées avec accuité au cours de ces trois dernières décennies.

L'apparition brusque des variations héréditaires a été soulignée déjà par DARWIN, qui les a présenté sous la forme de « sports ». Il considère que les variations héréditaires apparues spontanément, sont à l'origine de nombreuses variétés de plantes et de races d'animaux sélectionnés par l'homme.

Le terme de « mutation » introduit par WAGEEN en 1867 a été souvent repris par HUGO DE VRIES qui peut être considéré comme le père de la « radiomutagenèse ». A partir des observations effectuées sur *Oenothera lamarckiana seringe*, qui a connu de nombreuses modifications dénommées « mutations » HUGO DE VRIES a publié en 1901 l'ouvrage « La théorie mutationniste » dans lequel il a accordé aux mutations un rôle prépondérant dans l'évolution des espèces.

La conception mutationniste de HUGO DE VRIES peut être résumée ainsi: les mutations apparaissent brusquement sans formes de transition, ayant une fréquence très réduite de mutabilité naturelle, ce sont des modifications qualitatives *totale*ment héréditaires. Elles se produisent sur plusieurs directions et peuvent être utiles, indifférentes, ou bien défavorables à l'organisme. Elles sont le résultat de la modification des particules héréditaires et peuvent donner naissance immédiatement à de nouvelles espèces. C'est ainsi que le processus d'évolution se base seulement sur le processus mutationnel. En 1904, HUGO DE VRIES est arrivé même à proposer l'utilisation des radiations pour l'induction des mutations. En même temps il écrivait: « la mutagénèse doit être maîtrisée par l'homme dans la même mesure qu'il domine les processus de l'hybridation ».

La conception de HUGO DE VRIES a été vite acceptée par plusieurs naturalistes, qui en la formalisant, sont arrivés à certaines exagérations erronées. A mesure que les recherches se sont intensifiées dans ce domaine, une série de corrections a modifié la conception initiale de HUGO DE VRIES vis-à-vis de la notion de mutation.

Parmi les premiers chercheurs qui ont utilisé les radiations et étudié leurs effets sur la variabilité des plantes on trouve SCHOBER (1896), SECKT (1902), KOERNICHE (1908) et OMLEANSKI (1911) sur les végétaux. Les premiers effets des émanations du radium sur les végétaux supérieurs ont été étudiés par GAGER (1909), FALTA et SCHWARTZ (1911) et MOLISCH (1912). Plus tard, des résultats particulièrement intéressants ont été obtenus par NADSON et FILIPOV (1925) sur champignons et moisissures avec les quelles un accroissement considérable de la fréquence des mutations a pu être obtenu à l'aide des radiations X.

Deux années après, GAGER et BLAKESLEE (1927) recherchent la modification des chromosomes sur *Datura stramonium* L. sous l'influence des radiations; en 1929, GODSPED étudia le même phénomène sur *Nicotiana tabacum*.

Le mérite d'avoir posé les bases scientifiques pour l'obtention des mutations par l'utilisation des radiations revient à MÜLLER (1927) qui grâce à de nombreuses expériences sur *Drosophila melanogaster* (L), a démontré la possibilité de l'accroissement de la fréquence des mutations artificielles, en comparaison avec les mutations naturelles.

Les recherches de MÜLLER ont permis de mettre en valeur les caractères spécifiques qui individualisent cette nouvelle discipline scientifique qu'est la radiogénétique. La radiogénétique marque le passage de l'étude des dérèglements somatiques provoqués par les irradiations, à l'étude des processus de la mutation, processus beaucoup plus spécialisés et plus démonstratifs du fait qu'ils sont responsables de la transmission des caractères parentaux modifiés à la descendance.

Plus tard, dans la période de 1928 à 1935, une série de recherches a porté sur l'induction artificielle des mutations aux plantes de culture. Ces travaux ont été effectués par STADLER aux U.S.A.; NILSSON EHLE et GUSTAFSSON en Suède; DIDUS, SAPEGHIN et DELONE en U.R.S.S.; STUBBE et ERWIN BAUER en Allemagne.

C'est au cours de cette période qu'on remarque les premiers efforts concrets concernant la production de mutations artificielles utilisables en sélection des plantes. Cependant certains résultats négatifs quant à leur utilisation, obtenus par STADLER (U.S.A.), BURGHEFF (Allemagne) et d'autres chercheurs, ont fait que les travaux concernant la production artificielle des mutations sur plantes cultivées ont été abandonnés pendant quelques années.

C'est après la seconde guerre mondiale que l'utilisation de l'énergie nucléaire pour des fins pacifiques permit la création de nombreux Instituts et Laboratoires en vue de l'utilisation des rayons radioactifs pour l'obtention des mutations artificielles par irradiation des plantes.

Sur les plantes, les premières mutations utilisées ont été obtenues en Suède avec l'orge par NILSSON EHLE et GUSTAFSSON (1939), la moutarde blanche par ANDERSSON (1950), puis avec le petit pois par GELIN (1954) et enfin aux U.S.A. avec l'arachide par GREGORY (1959).

Actuellement dans le monde, il existe plus de 100 commerciales (dont 60 environ obtenues dans les cinq dernières années) qui sont issues de matériel végétal radié puis amélioré par différentes méthodes. Cela démontre l'efficacité de la mutagenèse expérimentale, comme partie intégrante de la radiogénétique.

En ce qui concerne les micro-organismes végétaux de nombreuses recherches récentes ont démontré l'effet favorable de l'irradiation en vue de l'obtention de souches mutées qui produisent des quantités élevées de substances actives intéressantes pour la médecine. Dans ce domaine la fréquence des mutations peut s'élever normalement jusqu'à 30 %.

Sur les animaux, HERTWING et SNELL ont réalisé les premières expériences utilisant des radiations sur les souris en 1933. Ultérieurement des recherches similaires ont été appliquées à de nombreuses autres espèces en abordant divers aspects de la biologie.

En ce qui concerne l'homme, les observations portant sur l'effet des radiations sur l'organisme en général et surtout sur l'hérédité sont de date récente. Les plus révélatrices dans ce sens, ont été les conséquences de l'explosion des bombes atomiques d'Hiroshima et Nagasaki, et de certains accidents dans différents Centres de Recherches Nucléaires, ainsi que celles qui découlent de certaines irradiations appliquées en thérapeutique. Quelques données résultant des expériences effectuées sur certains animaux, ont été extrapolées à l'homme.

DEFINITION DE LA NOTION DE MUTATION.

La modification des organismes sous l'action de certains facteurs du milieu a été signalée bien avant les ouvrages de BUFFON, WOLF et LAMARCK. Quelques études détaillées sur les facteurs qui influencent l'apparition de variations héréditaires, ont débuté juste après la publication des ouvrages de DARWIN.

La classification précise du terme de variabilité et des causes qui la déterminent, a été mise en évidence grâce aux recherches effectuées par JOHANSEN qui a abouti à l'élaboration de la théorie « des lignées pures », par laquelle il a réussi différencier le génotype du phénotype, ou autrement dit, l'unité fondamentale de l'organisme par rapport à sa superstructure.

Entre un organisme vivant et son milieu ambiant il existe toujours des interactions continues qui se concrétisent par un certain phénotype à un moment donné. La grande diversité des facteurs du milieu fait que dans la nature on ne pourrait rencontrer deux individus identiques, même s'ils possèdent le même génotype. C'est ainsi qu'un individu avec un génotype donné peut modifier son phénotype au cours des différentes étapes du son développement, sous la pression du milieu.

Les variations qui apparaissent dans les phénotypes entre certains individus de même génotype, sous l'effet des facteurs de milieu, sont appelées *phéno-variations*, *modifications* ou bien *fluctuations*. Ces variations n'ont pas de message génétique, elles ne se manifestent que sur les caractères quantitatifs.

Les variations résultant de la modification de certains gènes constituant le génotype s'appellent des *variations héréditaires* ou *variations génétiques*. Ces variations possèdent le message génétique, et sont transmissibles à la descendance. Elles caractérisent l'importance particulière de l'évolution des organismes végétaux et animaux, ainsi que des programmes d'amélioration des plantes et des races animales.

Les variations héréditaires qui résultent de l'influence des facteurs naturels ou artificiels sans être le résultat de l'hybridation ont été dénommées *mutations* au sens large.

Actuellement on sait que le nombre des agents mutagènes artificiels est extrêmement grand. Le niveau des recherches actuelles, permet d'affirmer que tout agent physique, chimique ou biologique, qui peut causer un effet nocif en affectant l'équilibre existant entre l'organisme et le milieu, peut avoir un effet mutagène.

La recherche des mutations a contribué au développement des connaissances sur l'hérédité, ainsi qu'à l'approche des secrets de l'évolution et l'élaboration de quelques systèmes de classification des plantes sur des bases génétiques. En outre grâce aux mutations on est arrivé à clarifier le méca-

nisme du code génétique, ce qui représente l'une des plus sensationnelles découvertes du notre siècle.

L'apparition de quelques modifications brusques dans la nature, a été remarquée par plusieurs chercheurs et praticiens à partir de XVIème siècle. Jusqu'au début du notre siècle, le terme de mutation a été utilisé dans tous les cas pour dénommer une variation sur un individu qui diffère dès-lors des individus normaux de la population initiale.

Ce terme a été expliqué pour la première fois sur des bases scientifiques par HUGO DE VRIES dans son ouvrage « *La théorie mutationniste* » (1901), après quoi il a été répandu de plus en plus.

ERWIN BAUR, qui s'est occupé longtemps de l'étude des mutations, a défini celle-ci comme étant une variation héréditaire sans être le résultat d'un croisement. Selon GUENOT, la mutation représente une variation brusque, d'amplitude différente, totalement et immédiatement héréditaire pouvant apparaître spontanément ou comme résultat d'une action expérimentale. Plus récemment, ZOLYNEAK (1968) montre que par mutation on entend toute variation brusque, qui apparaît dans la structure de l'appareil génétique d'un individu grâce à certaines modifications qui affectent la constitution des gènes. Les mutations sont le résultat des déviations profondes ou superficielles, rares et accidentelles du fonctionnement habituel de l'appareil génétique et qui sont provoquées par des facteurs mutagènes naturels ou artificiels. CRACIUN (1970) définit la mutation comme étant une modification chimique spécifique du gène.

L'historique de la mutations est aussi ancien que le gène lui même. Les mutations représentent l'une des particularités fondamentales du gène.

Probablement que tous les gènes peuvent être modifiés et par conséquent, la mutation peut se produire chez tous les organismes. C'est pour cela que la mutation est considérée comme la base de l'évolution des plantes et des animaux.

A partir de l'expression phénotypique les premières explications tirées des recherches sur les mutations géniques ont été attribuées seulement à des modifications destructrices des gènes. Autrement dit les mutations apparues ont des effets nuisibles pour l'organisme à travers une vigueur faible, prolificité réduite, etc... et en général une moindre capacité d'adaptation aux conditions de milieu, par rapport au parent normal. Cependant les recherches plus récentes ont montré que les mutations peuvent conduire aussi à l'apparition de particularités intéressantes en ce qui concerne la valeur biologique et économique. La découverte de tels mutants constitue des preuves pour le rôle des mutations dans l'évolution et dans l'amélioration des plantes et des animaux.

Dans la nature, les mutations favorables sont conservées par la sélection naturelle. Pour les espèces domestiques les mutations apparues peuvent être

conservées à la fois grâce à la sélection naturelle et à la sélection artificielle. De nombreuses variétés de plantes et races d'animaux, survivent encore, grâce à la protection de l'homme.

Les mutations géniques naturelles ne manifestent aucune spécificité évidente par rapport au milieu ou au locus affecté. Toutefois les modifications de certains paramètres du milieu peuvent influencer la fréquence des mutations géniques. Par exemple, les changements de température peuvent modifier la fréquence des mutations géniques: avec chaque accroissement de 10 °C, de la température, la fréquence de certaines mutations géniques est augmentée approximativement de 5 fois.

En comparaison avec les mutations géniques naturelles la fréquence des mutations induites par différents agents mutagènes peut augmenter jusqu'à 150 % du nombre d'individus ou d'organes traités, ce qui démontre ainsi l'efficacité des agents mutagènes artificiels.

Toutefois cette grande différence entre les fréquences des mutations naturelles et artificielles, n'implique pas en général, une différence entre leur spectre (distribution des fréquences dans chaque population).

En résumé, les mutations géniques représentent une modification de la structure des gènes, qui conduit à l'apparition de nouveaux allèles responsables des différents phénotypes constatés, et qui se transmettent aux générations suivantes. D'habitude, la détermination d'un gène, de par son action dans le résultat de la mutation, se base sur la comparaison des phénotypes obtenus par des mutations induites.

Avec toutes les interprétations des résultats de recherches probantes on n'est pas encore arrivé à préciser exactement tous les processus et la notion de la mutation.

Les définitions données jusqu'à présent aux mutations doivent être considérées comme temporaires, toujours reflétant les connaissances acquises sur certaines étapes de l'évolution de ce phénomène.

L'ADN constitue le principal élément sujet aux mutations dans l'appareil héréditaire. On a admis que les mutations apparaissent brusquement au niveau du matériel génétique, mais leur manifestation ne peut être mise en évidence qu'après des observations directes sur le phénotype (aspect extérieur, analyses biométriques, etc.) ou indirectes (analyses biochimiques, physiologiques, etc.) avec un temps plus ou moins long en fonction des nombreux facteurs tels la structure génétique (haploïde, polyploïdes) des individus, l'organe irradié (bouture, pollen, graine ...) le type de mutation (récessive ou dominante), l'agent mutagène utilisé, etc.

Les mutations apparaissent sur tous les organismes et représentent une source très importante de variations héréditaires. L'individu qui a souffert d'une mutation s'appelle un *mutant*, et les gènes modifiés par mutations s'appellent des *gènes mutants*.

Le processus de mutations sur le matériel génétique est connu sous la dénomination de *mutagénèse*. Le facteur physique, chimique ou biologique qui agit sur le matériel génétique en produisant des mutations, porte la dénomination d'*agent mutagène*. Le gène normal duquel dérive un gène mutant s'appelle *de gène de type sauvage, gène standard* ou, *gène nitial*.

Les gènes qui ont une grande fréquence de mutation s'appellent des gènes *labiles*.

En ce qui concerne la terminologie et le mode de dénomination des mutants, on utilise en général la première ou les premières lettres du mot qui désigne le gène respectif modifié. Par exemple, le mutant recessif qui présente des yeux blancs de la *Drosophila melanogaster* est matérialisé avec par la lettre « w » dérivant du mot anglais « white » = blanc, tandis que le type sauvage est symbolisé par « W » ou « w+ » ou bien par le signe « + » seulement. Dans certains cas les lettres initiales sont accompagnées de chiffres placés en exposant ou à la base de la lettre principale. Cette dernière manière de symboliser les mutants est très fréquente surtout dans les séries d'allèles multiples.

Pour mettre en évidence la dominance ou la recessivité d'un caractère le plus souvent on utilise des lettres majuscules pour les dominants et des lettres minuscules pour les gènes recessifs.

INTERACTION ENTRE LES STADES DU CYCLE ONTOGENIQUE ET L'AMPLEUR DES MUTATIONS.

L'ampleur de la manifestation des mutations dépend beaucoup du stade dans le cycle ontogénique pendant lequel s'effectue l'irradiation du matériel biologique. Actuellement il est prouvé que les mutations peuvent apparaître à tous les stades du développement de l'organisme, soit au stade embryonnaire ou sur les cellules somatiques de certains organes ou tissus, dans les cellules présexuelles ou bien même sur les gamètes.

Dans de nombreux cas, la mutation peut affecter une seule cellule somatique, qui par divisions ultérieures produit des variations sur certains organes.

Plus le stade ontogénique est précoce au moment de l'induction des mutations, plus les mutations affectant les cellules somatiques ont la chance d'atteindre de nombreux tissus au cours du développement de l'organisme. Ce type de mutation a une importance particulière pour les plantes à multiplication végétative surtout dans le domaine de la production de nouvelles variétés arboricoles. Quand ces mutations affectent les cellules présexuelles ou sexuelles elles se transmettent à la descendance.