

PREMIER MINISTRE

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

2.4

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET
D'UNE IRRADIATION GAMMA A FAIBLE DOSE
SUR LES GRAINES ET TUBERCULES
AVANT PLANTATION

par

André SILVY

Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache

Rapport CEA - R - 3509

1968

Da

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A

C.E.N - SACLAY B.P. n° 2, 91 - GIF-sur-YVETTE - France

(suite CEA-R-3509) 1

et les conditions de stockage des tubercules.

Les observations ont porté sur la germination, la croissance dans les jeunes stades, les phases de développement et le rendement en feuilles, racines et fruits.

Un certain nombre de cas de stimulation sont observés. On constate, sur tomate, qu'ils se produisent pour des teneurs en eau extrêmes et non dans la zone des teneurs en eau moyenne qui correspond au maximum de radiorésistance. La manifestation de ces effets dépend des variétés, des traitements complémentaires, des conditions de culture et des critères d'observation. Dans la plupart des cas, ils sont de courte durée et des modifications convenables du conditionnement des semences produisent sur les témoins des effets équivalents à ceux de l'irradiation.

./.

the storage conditions of tubers.

The observations concerned germination, growth at early stages, development phases and yield of leaves, roots and fruit.

Some stimulation cases are observed. For tomatoes, it is found that stimulation cases occur at extreme moisture content and not in the range of mean moisture content which corresponds to maximum radioresistance. The demonstration of these effects is related to varieties, complementary treatments, conditions of cultivation and observation criteria. In most cases, they are short-lived and suitable modifications of seed conditioning produce, upon controls, an effect equivalent to that of irradiation.

1

(suite CEA-R-3509) II

La conclusion du présent travail est que dans nos conditions de culture il paraît très peu probable que l'irradiation des graines et tubercules avant plantation puisse avoir un intérêt agricole.

1968

41 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

In conclusion, it seems very unlikely - considering our cultivation methods - that seed and tuber irradiation before planting could be of interest for agriculture.

1968

41 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

A partir de 1968, les rapports CEA sont classés selon les catégories qui figurent dans le plan de classification ci-dessous et peuvent être obtenus soit en collections complètes, soit en collections partielles d'après ces catégories.

Ceux de nos correspondants qui reçoivent systématiquement nos rapports à titre d'échange, et qui sont intéressés par cette diffusion sélective, sont priés de se reporter à la lettre circulaire CENS/DOC/67/4690 du 20 décembre 1967 que nous leur avons adressée, et qui précise les conditions de diffusion.

A cette occasion nous rappelons que les rapports CEA sont également vendus au numéro par la Direction de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, Paris 7^e.

PLAN DE CLASSIFICATION

- | | |
|---|--|
| 1. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES ISOTOPES ET DES RAYONNEMENTS | 8. PHYSIQUE |
| 2. BIOLOGIE ET MEDECINE | 8. 1 Accélérateurs |
| 2. 1 Biologie générale | 8. 2 Electricité, électronique, détection des rayonnements |
| 2. 2 Indicateurs nucléaires en biologie | 8. 3 Physique des plasmas |
| 2. 3 Médecine du travail | 8. 4 Physique des états condensés de la matière |
| 2. 4 Radiobiologie et Radioagronomie | 8. 5 Physique corpusculaire à haute énergie |
| 2. 5 Utilisation des techniques nucléaires en médecine | 8. 6 Physique nucléaire |
| 3. CHIMIE | 8. 7 Electronique quantique, lasers |
| 3. 1 Chimie générale | 9. PHYSIQUE THEORIQUE ET MATHEMATIQUES |
| 3. 2 Chimie analytique | 10. PROTECTION ET CONTROLE DES RAYONNEMENTS. TRAITEMENT DES EFFLUENTS |
| 3. 3 Procédés de séparation | 10. 1 Protection sanitaire |
| 3. 4 Radiochimie | 10. 2 Contrôle des rayonnements |
| 4. ETUDES DU DOMAINE DE L'ESPACE | 10. 3 Traitement des effluents |
| 5. GEOPHYSIQUE, GEOLOGIE, MINERALOGIE ET METEOROLOGIE | 11. SEPARATION DES ISOTOPES |
| 6. METAUX, CERAMIQUES ET AUTRES MATERIAUX | 12. TECHNIQUES |
| 6. 1 Fabrication, propriétés et structure des matériaux | 12. 1 Mécanique des fluides - Techniques du vide |
| 6. 2 Effets des rayonnements sur les matériaux | 12. 2 Techniques des températures extrêmes |
| 6. 3 Corrosion | 12. 3 Mécanique et outillage |
| 7. NEUTRONIQUE, PHYSIQUE ET TECHNOLOGIE DES REACTEURS | 13. UTILISATION ET DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE ATOMIQUE |
| 7. 1 Neutronique et physique des réacteurs | 13. 1 Centres d'études nucléaires, laboratoires et usines |
| 7. 2 Refroidissement, protection, contrôle et sécurité | 13. 2 Etudes économiques, programmes |
| 7. 3 Matériaux de structure et éléments classiques des réacteurs | 13. 3 Divers (documentation, administration, législation, etc...) |

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2 200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VII^e.

The C.E.A. reports starting with n° 2 200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VII^e.

- Rapport CEA-R-3509 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache
Département de Biologie
Service de Radioagronomie

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET D'UNE IRRADIATION GAMMA
A FAIBLE DOSE SUR LES GRAINES ET TUBERCULES AVANT PLANTATION

par

André SILVY

- Mai 1968 -

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET D'UNE IRRADIATION
GAMMA A FAIBLE DOSE SUR LES GRAINES ET TUBERCULES
AVANT PLANTATION

INTRODUCTION.

Parallèlement aux destructions de tissus et aux mutations chromosomiques ou géniques, les rayonnements ionisants produisent dans les organismes vivants des réactions physicochimiques qui peuvent avoir une répercussion sur le métabolisme. En généralisant aux rayonnements une observation classique sur les variations de la réaction d'un organisme à différentes concentrations d'un composant du milieu, certains auteurs ont pensé que de faibles doses de rayons X ou gamma pouvaient avoir un effet phénotypique utile. Cette hypothèse trouvait une confirmation dans les références bibliographiques signalant des cas de stimulation de croissance après irradiation, dès le début de la découverte des rayons X. En biologie végétale, depuis le regain d'intérêt suscité par les travaux de Breslavets (12) et Kuzin (31) on peut relever dans la littérature des vingt dernières années des références se rapportant à une cinquantaine d'espèces végétales différentes.

Pourtant cet effet est encore très controversé et de nombreux auteurs lui dénie toute réalité. Son utilisation pratique en agriculture qui paraît évidente à la lecture de certaines publications ne semble pas se développer même dans les pays d'origine de ses plus fervents partisans. Le but des essais dont les résultats sont donnés ici était d'étudier l'intérêt agricole de l'irradiation gamma

à faible dose des graines et tubercules avant plantation.

Le terme "stimulation" englobe en général tout un ensemble de phénomènes se rapportant :

- au métabolisme des graines et des plantes (température, échanges respiratoires, teneur en certains éléments : carotène, sucre, amidon..)
- à la germination,
- à la croissance dans les jeunes stades (apparition de la tige et de la racine)
- à la précocité,
- au rendement en fruits, racines, feuilles, tubercules.

Ces effets intéressent directement les agriculteurs car une amélioration de la germination et de la croissance est utile dans les conditions de culture marginales. Les horticulteurs et les maraîchers cherchent à augmenter la précocité autant que le rendement. Certains produits agricoles sont payés suivant leur teneur en carotène, sucre, etc... .

En réalité ces effets ont des origines très diverses. Les uns sont des phénomènes immédiats et élémentaires produits par une action directe des rayonnements sur la matière : modifications des structures chimiques, de la perméabilité des membranes par exemple. D'autres sont plus globaux et dépendent de l'interaction de nombreux facteurs souvent incontrôlables. Ainsi une augmentation de rendement peut être due à une accélération du métabolisme qui nécessite pour se manifester un milieu suffisamment riche en substances nutritives. Il peut s'agir aussi d'une modification de la nature de ce métabolisme conduisant à une meilleure utilisation des substances nutritives. Mais ce peut être tout simplement une germination plus rapide, qui avec le concours de circonstances externes bien précises, entraîne une avance qui se conserve jusqu'à la récolte. Dans beaucoup de cas, les différences n'apparaissent pas faute d'un critère de maturité pour mettre en évidence la précocité. Cette difficulté est particulièrement nette avec les plantes cultivées pour leurs feuilles et leurs racines, comme les radis et les carottes qui font l'objet de nombreuses publications. Les différences de rendement peuvent être, en fait, des différences de précocité ou de vitesse de croissance et le choix de la date de récolte a une grande importance sur la signification de l'expérience.

Dans les essais sur la stimulation on est amené à effectuer un grand nombre d'observations très diverses pour saisir les effets à tous les niveaux où ils peuvent se manifester. Les techniques utilisées sont variables. Pour un phénomène élémentaire il faut travailler dans des conditions très précises qui ne peuvent être réalisées qu'en laboratoire. Pour étudier un résultat final comme le rendement, qui dépend de nombreux intermédiaires en interaction constante avec les facteurs incontrôlables du milieu, on doit faire des essais en serre ou en plein champ sur un grand nombre d'individus.

MATERIEL - METHODE

On s'est efforcé de reprendre les protocoles expérimentaux signalés dans la littérature et de contrôler le plus de facteurs possible en vue d'obtenir des résultats reproductibles.

Cette étude étant entreprise dans un but d'application agricole, on a choisi des plantes couramment cultivées et des critères d'observation pouvant avoir une importance dans les différentes phases des cycles de culture. Il fallait aussi que les rayonnements utilisés ne puissent entraîner de radioactivité induite dans le matériel végétal. On s'est limité à l'irradiation gamma des graines et des tubercules avant plantation.

Les principales caractéristiques des 25 essais effectués sont répertoriées dans le Tableau I qui est commenté dans ce chapitre. Par la suite, les essais seront indiqués seulement par la référence donnée dans la colonne 2 (N° de l'essai) de ce tableau.

I. Matériel végétal.

On a travaillé avec 8 espèces végétales qui se répartissent suivant leur utilisation en :

- 2 plantes potagères cultivées pour leurs racines : Carotte, Radis
- 1 plante potagère cultivée pour son feuillage : Epinard
- 1 " " " " ses fruits : Tomate
- 1 " " " " ses tubercules : Pomme de terre
- 3 graminées : Orge, Riz, Maïs.

Que ce soit pour les plantes autogames (Tomate, Orge, Riz) ou allogames (Carotte, Radis, Epinard) la variabilité d'origine génétique des variétés utilisées (tableau II) était très faible.

Etant donné l'influence (20, 27), de la grosseur des graines sur la croissance des plantules et sur le rendement, tous les essais sur orge ont été effectués avec des semences triées au calibre. Pour les pommes de terre la comparaison a porté sur les tubercules germés et non germés.

bre de 84% alors que Caldecott a trouvé 52% pour l'orge. Cette différence n'apparaît pas quand on compare les teneurs en eau. En effet elles sont très voisines de 14% pour les deux espèces de graines.

Dans ce travail afin d'avoir une base de comparaison commune dans tous les essais, nous avons défini la teneur en eau des graines en pourcentage de la matière sèche.

La courbe représentant, à l'équilibre et à température constante, la teneur en eau d'une graine en fonction de l'humidité relative de l'air, ou isotherme de sorption, a la forme d'une sigmoïde. Travaillant sur la levure de boulangerie, Guilbot et Lindenberg (24) ont montré que les 3 parties de l'isotherme de sorption correspondent à deux phénomènes dans lesquels les liaisons entre l'eau et le substrat sont plus ou moins fortes. Pour les faibles humidités (figure 1a) on a une adsorption primaire en couche monomoléculaire avec des forces de liaison très grandes sur des points particuliers, la déshydratation complète pouvant entraîner des transformations irréversibles. La partie moyenne (figure 1b) correspond à une fixation d'eau de plus en plus libre qui se comporte finalement (figure 1c) comme un processus classique de condensation. Seule la fraction d'eau comprise entre la troisième partie de la courbe et la droite b prolongée est susceptible d'intervenir dans des réactions chimiques et biologiques.

Fig 1. Radiosensibilité des graines de Tomate. (Gladstones 1959).

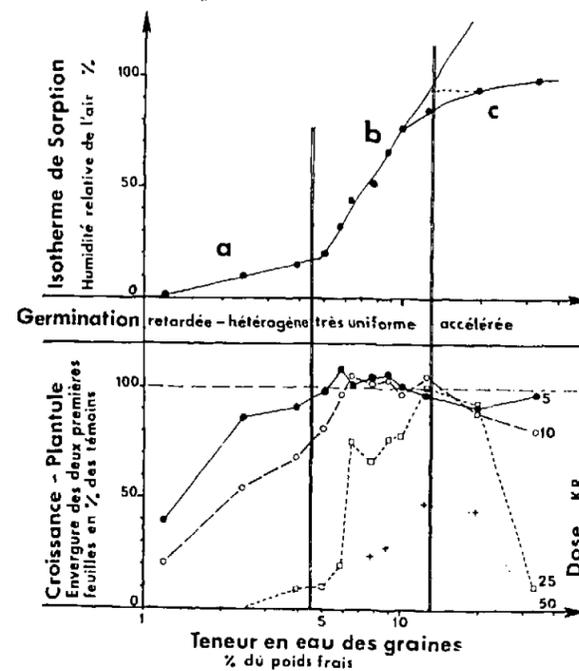
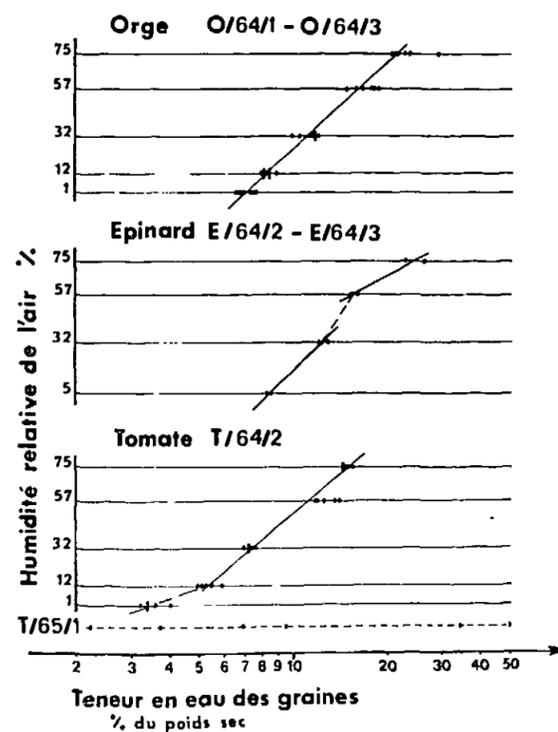


Fig 2. Teneur en eau des graines



Dans cette étude nous avons représenté les isothermes en coordonnées semi-logarithmiques afin de mettre en évidence la discontinuité entre les parties a - b et de mieux situer les équilibres réalisés.

En appliquant ces résultats à des travaux de radiobiologie comme ceux de Gladstones (19) sur la tomate, on constate effectivement que les 3 parties de la courbe de sorption que l'on obtient (figure 1) correspondent, d'après les données de l'auteur, à des comportements différents de la germination et de la radiosensibilité exprimée par l'envergure de la première paire de vraies feuilles à 35 jours. L'examen de la figure 1 permet d'expliquer, jusqu'à un certain point, les variations de radiosensibilité d'après la disponibilité de l'eau pouvant neutraliser les radicaux libres formés par l'irradiation. On constate aussi que pour la dose la plus faible, 5 KR, les valeurs du critère de radiosensibilité sont égales ou supérieures aux témoins dans la zone b des humidités. Cette dose de 5 KR est donnée comme stimulante par Vidal (58) et Konvicka (30). Il semble donc bien y avoir une relation entre teneur en eau et radiostimulation.

Nous avons conditionné les graines par une méthode dynamique en les mettant en contact avec de l'air d'humidité relative prédéterminée (36). Les appareils étaient fixés sur les plateaux d'une étude thermorégularisée (photo 1) pour éviter les variations de l'humidité relative de l'air consécutives à des variations de température de l'ambiance.

A la suite d'anomalies de germination on a remplacé les solutions de différents sels (40, 59) par des solutions de glycérine (36) contrôlées par leur densité.

L'équilibre était atteint en 15 jours. La teneur en eau des graines a été déterminée avec les méthodes de la Commission des Semences (23) : 18 h à 130°C dans une étuve multicellulaire isotherme (type Chopin) avec des échantillons de 5 g pour l'orge et l'épinard et 2 g pour la tomate. Les mesures étaient toujours répétées au moins deux fois. Des contrôles ont été faits à l'hygroétalon Chopin.

Dans le cas des faibles teneurs en eau, où les équilibres sont très longs à réaliser, on a également fait appel à la dessiccation sous vide suivie de stabilisation. Cette méthode ne donne pas d'indication sur la pression de vapeur correspondante, mais connaissant l'allure générale de la courbe il est possible de situer le résultat obtenu dans la zone de sorption convenable.

L'importance donnée dans ce travail au facteur teneur en eau limitait le choix du matériel végétal par élimination des graines "dures" (légumineuses) et des grosses graines qui, se mettent très lentement en équilibre et nécessitent des appareils plus volumineux.

Pour réaliser les équilibres donnés dans la figure 2 sur Orge, Epinard et Tomate on a utilisé les solutions indiquées dans le Tableau III.

Tab. III. Solutions utilisées pour le conditionnement des graines.

Sel	Glycérine + eau (densité)	Humidité relative (%)
Cl ₂ Ca (solide)		1
	1,26	5
Li Cl (dissous)	1,24	12
Mg Cl ₂ -	1,21	32,5
Na Br -	1,16	57,5
Na Cl -	1,11	75,5

Sur l'Orge les équilibres obtenus doivent correspondre à la partie b de l'isotherme de sorption classique. Pour les graines d'Epinard, les humidités seraient dans les zones a et c de l'isotherme. Dans l'essai T/64/2, sur tomate, l'humidité la plus faible doit se situer dans la zone a et les quatre autres dans la zone b. Enfin pour l'essai T/65/1, les six humidités semblent bien réparties, 2 par 2, dans les trois parties de l'isotherme de sorption.

Pour chaque essai on retrouve dans le tableau I, colonnes 4 et 5, les teneurs en eau extrêmes avec le nombre d'intermédiaire faisant l'objet de traitements différents.

Photo 1 - Ensemble pour le conditionnement des graines.

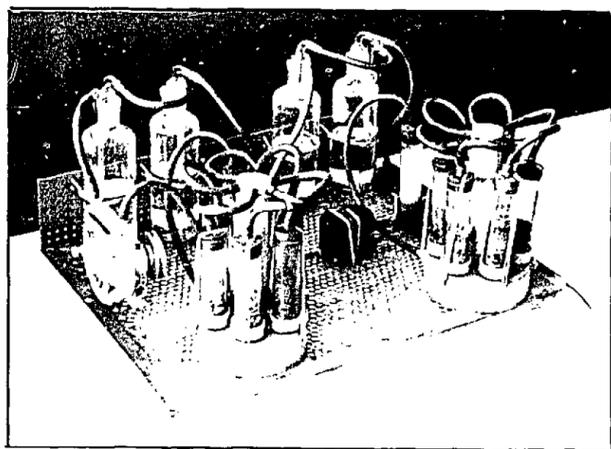
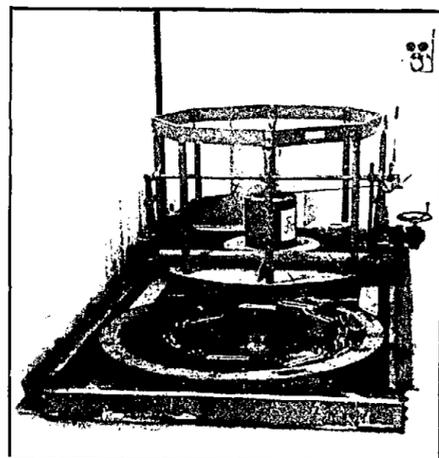


Photo 2 - Source de 1,5 Ci.



III. Irradiation.

Pour éviter les variations de teneur en eau au cours de l'irradiation les graines ont été placées dans des sachets de polyéthylène scellés.

Hormis les irradiations O/62/1-2-3 faites dans la casemate de désactivation des barreaux d'uranium du réacteur EL.3 à Saclay les sources de rayonnement gamma étaient du Cobalt 60.

Les appareils étaient de deux types : soit avec une source unique dans une enceinte circulaire où on plaçait l'objet à irradier à différentes distances :

- source de 1,5 Ci donnant des débits de 6 à 400 R/h dans une enceinte de rayon = 0,65 m (photo 2)
- source de 950 Ci donnant des débits de 50 à 1250 R/h dans une enceinte de rayon = 5 m.

soit avec plusieurs sources aux 8 sommets d'un cube ou tout autour d'un cylindre donnant un flux homogène dans un volume donné (220 et 83.000 R/h).

Bien que débit de dose et durée de l'irradiation soient deux facteurs liés, on peut accorder la priorité à l'un ou à l'autre. Dans la plupart des cas nous avons défini d'abord la durée d'irradiation pensant que ce facteur était le plus important pour l'homogénéité entre les différents traitements et la précision des essais. Par exemple, pour des tubercules de pomme de terre conservés en chambre froide à 4°C, l'irradiation nécessite un changement de milieu qui peut entraîner un début de germination, car on ne peut pas toujours contrôler les conditions régnant dans l'enceinte de l'irradiateur. On a donc intérêt à avoir la même durée d'irradiation pour tous les traitements qui seront comparés à un témoin subissant les mêmes variations de milieu.

La dosimétrie a été faite par les soins du groupe de Mesures Nucléaires du Service de Radioagronomie. Les méthodes employées ont été de deux types suivant les doses d'irradiation et le volume des échantillons : dosimétrie chimique avec le sulfate ferreux, chambres d'ionisation (Baldwin et Victoreen). La précision était toujours meilleure que 5%.

Les conditions d'irradiation sont indiquées dans le tableau I, colonnes 6, 7 et 8. En général l'étalement des doses est suffisant pour encadrer les doses stimulantes signalées dans la littérature et permettre d'observer un début d'effet toxique (Tableau IV).

Tabl. IV - Doses d'irradiation et doses stimulantes signalées dans la littérature.

Plante	Doses (R)		Bibliographie
	en essai	stimulantes	
Orge	1 à 10000	4 à 5000	4, 11, 16, 38, 50, 51, 52, 53
Riz	200 - 1000	500 - 1000	1, 25, 54, 55
Maïs	1 - 5000	100 - 2000	3, 7, 10, 11, 26, 28, 32, 34, 38, 42, 47, 49, 52
Carotte	1000 - 9000	500 - 4000	5, 13, 14, 31, 32, 37, 46
Épinard	250 - 10000	600 - 1200	35, 58
Radis	500 - 1000	750 - 5000	9, 13, 14, 30, 31, 32, 39, 59
Tomate	175 - 10000	1000 - 5000	8, 14, 30, 58
Pomme de terre	250 - 3000	100 - 2000	2, 6, 17, 21, 29, 38, 45, 52, 58

Les traitements témoins ont été multipliés chaque fois que cela était nécessaire pour tenir compte des variations pouvant avoir une influence sur le résultat (durée d'irradiation, teneur en eau, date de plantation...).

IV. Conditions de culture - dispositifs expérimentaux.

Les essais ont été faits au laboratoire, dans les serres et en plein champ. Dans presque tous les cas on a planté les graines et tubercules immédiatement après l'irradiation.

Les essais effectués au laboratoire portaient sur les premiers stades de la germination. Les graines étaient disposées dans des boîtes de matière plastique sur papier filtre, coton ou sable de Fontainebleau, avec humidification constante (photo 3) et éclairage artificiel dans certains cas. Le maintien automatique d'une humidité convenable est indispensable pour éviter les anomalies dues au manque ou à l'excès d'eau (18).

Même dans ces conditions, les observations sur la croissance sont sujettes à caution. Les plantules ne disposent pour leur nutrition que des réserves contenues dans la graine. Or il est nécessaire de poursuivre les expériences assez longtemps pour éliminer les graines germées qui ne survivront pas. A ce moment, l'avance prise par un traitement disparaît quand les réserves sont épuisées.

La figure 3 montre l'histogramme des mensurations en longueur sur un plateau de 400 grains de riz (essai Ri/62/2), 17 jours après le semis. On obtient une courbe bimodale dont la moyenne générale (\bar{X}) n'a aucune signification. La comparaison entre les traitements ne peut se faire qu'entre moyennes (\bar{X}'_2), après élimination de la première population des graines qui germent mais ne poussent pas. Si nous avons fait un poids sec global au lieu de mesurer individuellement chaque plantule, cette anomalie ne serait pas apparue et tous les résultats auraient été faussés.

Photo 3. Essai de germination avec humidification contrôlée

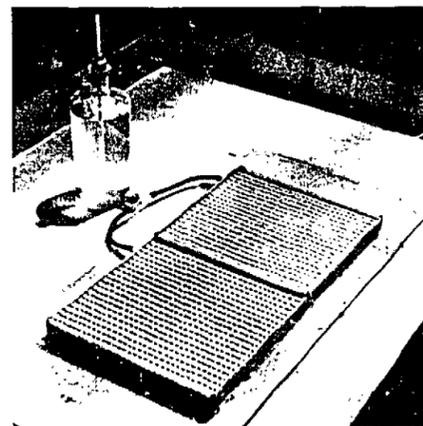
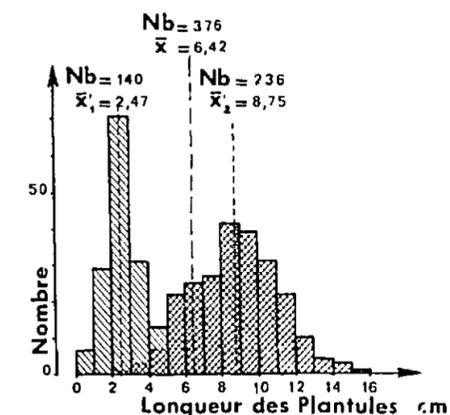


Fig 3. Ri/62/2. Histogramme des Longueurs



Les essais en pleine terre sont moins soumis à ces aléas. En serre, il est encore facile de contrôler le nombre de graines et la profondeur du semis. Un très grand soin doit être apporté à la disposition des parcelles, l'éclairage et l'arrosage, afin de permettre une analyse statistique rigoureuse. Plusieurs essais ont dû être arrêtés car il est apparu qu'un facteur externe qui semblait négligeable au départ avait un effet supérieur à celui des traitements.

En plein champ, les difficultés sont d'un autre ordre. Elles dépendent beaucoup des variations du milieu (sol, microclimat), des parasites et des conditions d'entretien. La variété de Tomate San Marzano, par exemple, a une croissance indéfinie et nécessite une taille. Celle-ci modifie les possibilités de la plante et fausse le rendement réel. En 1965, nous avons fait les essais avec la variété Waine Primabel qui a une croissance définie et n'a pas besoin de taille ou de tuteurage.

Les augmentations de rendement de 20 à 30% signalées dans la littérature (31) font supposer qu'un dispositif expérimental assez grossier suffit pour mettre en évidence les réactions de stimulation. Par suite de l'échec des premiers essais nous avons dû faire appel à des schémas statistiques de plus en plus poussés pour essayer de rendre significatives des différences aussi petites soient elles.

La méthode des Comparaisons de Moyennes a été utilisée dans un certain nombre de cas. Le plus souvent en groupant les traitements en série de 3 : 2 doses et 1 témoin. L'observation individuelle des plants a l'intérêt de nous permettre d'étudier à la fois les moyennes et les variances des populations, c'est-à-dire non seulement l'action du traitement sur la valeur moyenne d'un caractère mais aussi sa variabilité. Ces deux facteurs sont importants pour juger de la valeur d'un effet de stimulation (43).

La comparaison des différentes séries d'un seul essai étant difficile par la méthode des Comparaisons de Moyennes nous avons surtout utilisé la méthode des Blocs Fischer en parcelles simples ou subdivisées avec des observations par parcelle.

Dans le tableau I, colonnes 10, 11, 12, on indique pour chaque essai le dispositif expérimental, la dimension des parcelles élémentaires significatives exprimée en surface ou en nombre de plants et le nombre de répétitions.

V. Observations.

Nous nous sommes efforcés de faire un grand nombre d'observations à différents stades de développement (Tableau I, colonnes 13 à 17).

Chaque fois que l'on a pu contrôler le nombre de grains au semis on a fait des observations de germination (colonne 13) : germination vraie pour les expériences au laboratoire ou levée, c'est-à-dire apparition des plantules au-dessus du sol, dans le cas des essais en serre et en plein champ. La périodicité des observations, trois par semaine, était suffisante pour comparer la précocité et la vitesse de germination des différents traitements. La survie était éprouvée à l'apparition des premières feuilles.

De nombreuses observations ont été faites sur les plantules (colonne 14) : hauteur, longueur et largeur des feuilles, poids sec. Les prélèvements étaient uniques ou échelonnés dans le temps.

Les études sur le rendement en feuilles et en racines sont groupées dans la rubrique : Croissance - Plante adulte (colonne 15).

Un autre type d'observation concerne non plus la croissance pondérale mais le développement, c'est-à-dire le déroulement des différents stades (colonne 16) : croissance végétative, floraison, maturité des fruits.

Les analyses les plus complètes se rapportent au rendement en fruits, spécialement dans le cas des essais sur tomate dont on a suivi l'évolution de la production par des récoltes hebdomadaires des fruits mûrs.

RESULTATS

I. Germination - Levée - Survie.

De nombreux auteurs signalent une stimulation de la germination par irradiation. Le plus souvent il s'agit d'une accélération du gonflement des graines et du grandissement cellulaire sans rapport avec la vraie germination, c'est-à-dire le démarrage de la phase végétative active. Etant donné l'optique utilitaire de cette étude et les difficultés déjà signalées avec les cultures sur substrat inerte, ces essais de germination en laboratoire ont été peu nombreux.

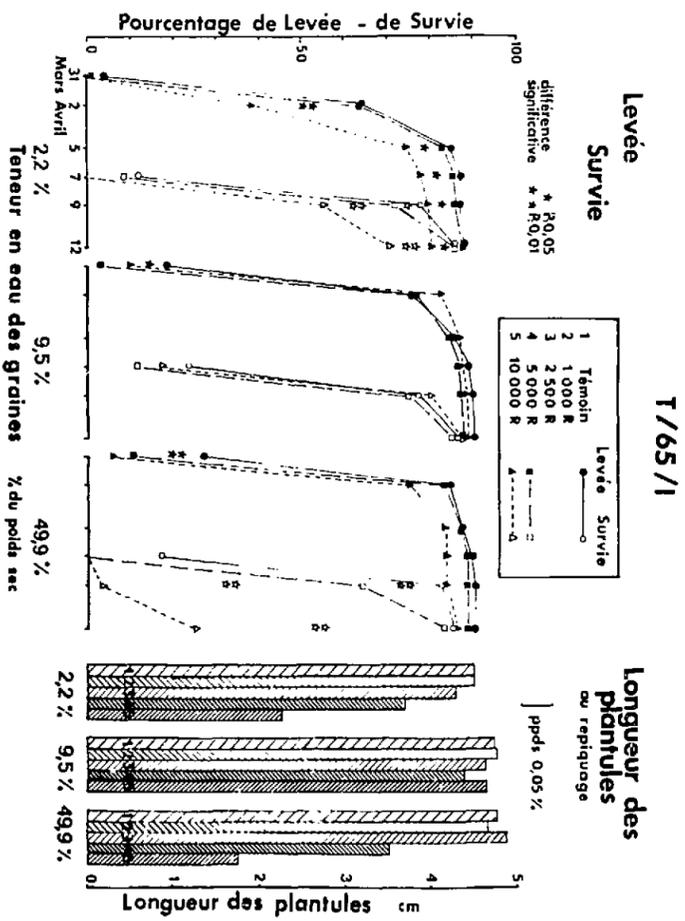
- Riz (Ri/62/1-2) : on n'a pas trouvé de différences entre les dates d'apparition de la tigelle et de la radicule. Par contre l'observation de l'émission de la première et de la deuxième feuille nous a montré des différences de précocité ($P = 0,01$) entre les variétés. Les doses d'irradiation n'ont eu aucune action.

Dans les cultures en terre, dans les serres ou en plein champ, les seules différences significatives observées pour la levée se rapportent aux essais sur l'interaction entre la dose d'irradiation et la teneur en eau des graines (Epinard, Tomate) ou avec les conditions de conservation des tubercules de semence (Pomme de terre).

- Epinard E/64/2-3. Des doses d'irradiation de 500 à 2000 R n'ont eu aucune action sur la levée. Par contre l'humidification diminue le pouvoir germinatif de façon différente suivant les variétés : à partir de 15% pour Géant d'hiver et 26% pour Monstreux de Viroflay.

- Tomate T/65/1. Comme critère de levée on a choisi le moment où les deux cotylédons se dégagent des enveloppes de la graine qui tombent sur le sol et comme critère de survie l'apparition des ébauches des deux premières feuilles. La figure 4 montre les courbes cumulées de levée et de survie pour les traitements les plus caractéristiques (teneur en eau des graines 2,2 - 9,5 - 49,9%; doses d'irradiation : 0 - 5.000 - 10.000 R) avec les différences significatives.

Fig. 4 - T/65/1. Levée, Survie, Croissance des plantules.



D'après l'analyse statistique au 31 Mars la levée est d'autant plus précoce que la dose d'irradiation est faible (0 - 1.000 - 2.500 > 5.000 - 10.000 R, $P = 0,05$) et que les graines sont plus humides (2,2 < 9,5 < 49,9%, $P = 0,01$).

La levée est plus lente ($P = 0,01$) pour les teneurs en eau faibles (2,2 et 3,4%) jusqu'au niveau 70%. On ne voit pas de différences entre les graines dont la teneur en eau dépasse 7%.

Les différences observées, en fonction des doses, au démarrage disparaissent rapidement sauf pour le cas 10.000 R - graines à 2,2% dont la levée est toujours en retard sur les autres traitements ($P = 0,05$).

Les pourcentages de levée supérieurs aux témoins que l'on a pu observer à certaines dates n'ont jamais été confirmés par l'analyse statistique.

Les observations sur la survie ne confirment pas exactement celles faites sur la levée. Au démarrage, le 7 avril, on constate une précocité ($P = 0,01$) des teneurs en eau moyennes. Par la suite les différences s'atténuent, spécialement entre les teneurs en eau faibles et moyennes.

Il y a un optimum de radiorésistance des graines aux teneurs en eau moyennes, pour lesquelles aucune dose ne diffère des témoins. Aux humidités faibles et fortes, les doses de 5.000 R ($P = 0,05$) et 10.000 R ($P = 0,01$) donnent des retards. Mais alors que celui de 5.000 R est passager, celui de 10.000 R persiste spécialement pour la teneur en eau la plus forte.

- Pomme de terre. L'essai P/64/1 avait été mis en place sans apporter une grande attention aux conditions au cours de l'irradiation. Il comportait deux durées d'irradiation (50 et 150 h) mais un seul traitement témoin. Nous avons observé une levée de plus en plus lente quand les doses d'irradiation augmentaient. Cet effet se produisait pour des doses d'autant plus faibles que la durée d'irradiation était plus courte, c'est-à-dire le débit de dose plus élevé (tableau V).

Tab. V. P/64/1. Levée.

Durée	Doses occasionnant un retard à la levée (R)
50 h	500 - 750 - 1 000 R
150 h	2 000 - 3 000 R

L'irradiation en 150 h provoquait de plus un retard au démarrage.

Dans l'essai P/65/1, nous avons cherché à préciser l'interaction de la dose d'irradiation avec les conditions de conservation des tubercules de semence avant plantation (tableau VI).

Tabl. VI - P/65/1. Conditions de conservation des tubercules.

Conditions de traitement après stockage à 4°C	Etat des semences à la plantation	Notation
1°) 20 jours avant plantation, irradiation suivie de : - conservation au froid à 4°C, - mise en germination à 20°C.	non germées	(A)
	germées	(B)
2°) Immédiatement avant plantation, irradiation de : - tubercules non germés (conservés à 4°C), - tubercules germés (20 jours à 20°C)	non germés	(C)
	germés	(D)

Les points portés sur la figure 5 représentent les conditions d'irradiation des différents traitements dont les effets sont éprouvés dans chaque série par comparaison avec des témoins de même durée. On donne ici les effets significatifs au seuil $P = 0,05$.

L'irradiation avant plantation des tubercules non germés (c) provoque un retard à la levée pour les doses situées dans la zone II, au dessus de la droite cc'. Comme dans l'essai P/64/1 ce retard se produit pour des doses d'autant plus faibles que l'irradiation a été de durée plus courte, donc avec un débit de dose plus fort. Quelle que soit la durée, l'importance du retard est proportionnelle à la dose :

$$500 < 750 < 1.000 < 2.000 \text{ R.}$$

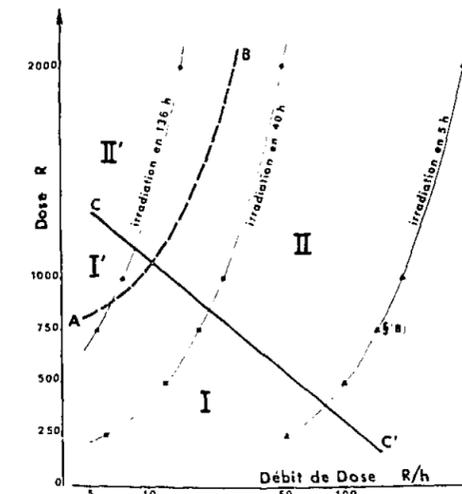
Pour la dose la plus forte le retard augmente avec la durée ainsi à 1000 R Retard 5 h = 40 h.

$$\text{à } 2000 \text{ R Retard } 5 \text{ h} < (40 \text{ h} = 136 \text{ h}).$$

Si la plantation ne suit pas immédiatement l'irradiation, les conditions de conservation interviennent. Pour les points situés à gauche de la courbe AB, le stockage au froid (A) augmente

le retard à la levée des tubercules irradiés en 136 h à 2000 R (zone II') et fait même apparaître un retard à 1000 R en 136 h (zone I'), alors qu'avec les tubercules (C) on ne l'avait que pour 5 h et 40 h. A droite de la courbe AB le stockage au froid ne modifie pas l'effet de l'irradiation.

Fig 5 - P/65/1. Levée - Modifications de l'effet initial sur les tubercules non germés (C), par des facteurs complémentaires (A-B).



La germination avant plantation (B) diminue le retard dû à l'irradiation dans la zone II' et le fait disparaître complètement dans la zone II. On observe même un cas significatif de précocité à 750 R en 5 h (§). Cet effet ne dure pas.

Les tubercules germés (D) sont très radiorésistants. On n'a aucun retard à la levée quelles que soient la dose et la durée. Comme pour les tubercules (B) on observe une stimulation passagère de précocité à 750 R en 5 h (§).

§ Tous les cas de stimulation signalés dans le texte sont marqués du signe §.

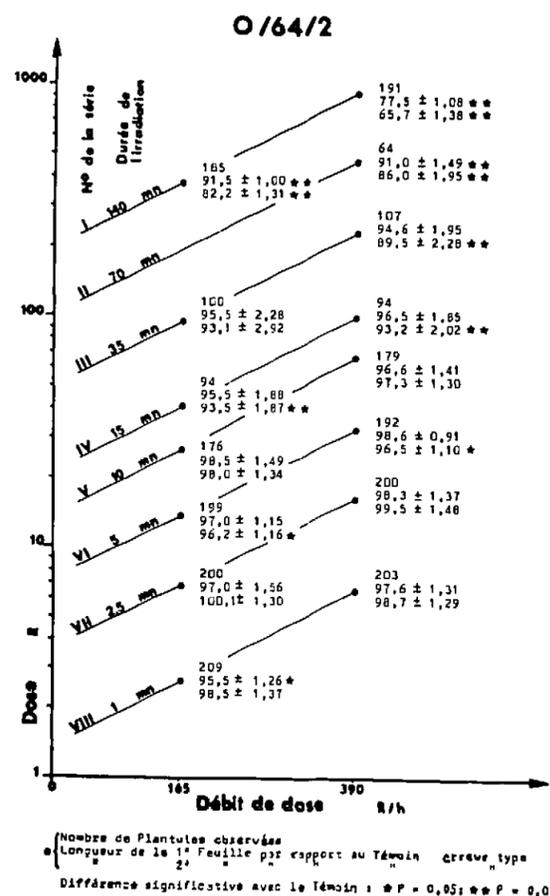
II. Croissance dans les jeunes stades.

Devant les différences constatées entre la levée et la survie, il est nécessaire de contrôler l'effet des rayonnements par des observations sur la croissance des plantules soit à une seule date Ri/62/1-2, O/64/1-2, T/64/1, T/65/1, soit par des prélèvements échelonnés pour essayer de mettre en évidence un phénomène fugace (49, 22) O/65/1, M/65/1.

- Riz (Ri/62/1-2). L'analyse portant sur les longueurs moyennes des plantules, 17 jours après le semis, confirme les observations de précocité sur l'apparition des deux premières feuilles (Balilla < RB = Césarriot, P = 0,01). On n'observe aucune différence en fonction des doses d'irradiation.

- Orge. L'essai O/64/2 a été fait sur grains germés afin d'avoir une bonne homogénéité physiologique du matériel végétal. Il comportait 8 séries de trois traitements (2 doses et un témoin) (fig.6). Par une réduction progressive des temps d'irradiation, à

Fig 6 - O/64/2. Croissance des Plantules.



Tabl. VII - O/64/1. Croissance des plantules.

O/64/II

Dose		Teneur en Eau des Graines (% du poids sec)				
(R)		7,4	8,2	11,3	18,1	28,2
T.	1	248	254	252	268	197
	2	9,64 ± 0,114	10,26 ± 0,072	9,92 ± 0,075	10,36 ± 0,087	9,61 ± 0,124
	3	14,78 ± 0,198	16,48 ± 0,122	13,91 ± 0,111	13,67 ± 0,128	12,68 ± 0,177
	4	19,66	20,26	21,30	16,98	17,10
385	1	258	256	244	258	207
	2	9,58 ± 0,118	10,20 ± 0,078	9,81 ± 0,111	10,34 ± 0,106	10,47 ± 0,122 **
	3	14,38 ± 0,210	15,72 ± 0,149 **	13,32 ± 0,154 **	13,95 ± 0,142	13,88 ± 0,157 **
	4	18,71	10,01	20,28	20,12	18,71
905	1	260	266	267	270	178
	2	8,82 ± 0,132 **	9,46 ± 0,112 **	9,81 ± 0,081	10,07 ± 0,078 *	10,06 ± 0,092 **
	3	13,69 ± 0,228 **	14,54 ± 0,200 **	13,01 ± 0,116 **	13,72 ± 0,109	13,71 ± 0,117 **
	4	18,15	18,59	20,25	19,20	18,95

O/64/12

		7,3	11,5	10,9
T.	1	270	273	267
	2	10,80 ± 0,134	11,18 ± 0,109	11,51 ± 0,095
	3	14,33 ± 0,197	13,97 ± 0,148	11,93 ± 0,117
	4	16,69	16,50	15,38
165	1	266	278	260
	2	10,62 ± 0,143	11,19 ± 0,111	11,55 ± 0,137
	3	15,02 ± 0,203 *	15,06 ± 0,157 **	13,98 ± 0,205
	4	18,33	17,39	17,81
385	1	259	269	
	2	9,80 ± 0,146 **	11,11 ± 0,107	
	3	12,25 ± 0,216 **	13,81 ± 0,157	
	4	16,33	16,81	

O/64/13

		6,9	8,4	10,9	18,5	21,1
T.	1	270	264	261	258	254
	2	13,00 ± 0,117	12,30 ± 0,107	11,64 ± 0,111	11,87 ± 0,102	11,74 ± 0,100
	3	17,65 ± 0,166	17,27 ± 0,0,143	16,45 ± 0,158	17,17 ± 0,148	17,63 ± 0,156
	4	22,21	21,05	20,32	22,79	
195	1	266	272	269	267	255
	2	12,77 ± 0,146	12,61 ± 0,122	12,07 ± 0,098 **	11,96 ± 0,105	11,65 ± 0,125
	3	18,39 ± 0,196 **	16,67 ± 0,166 *	17,08 ± 0,119 **	16,27 ± 0,147 **	17,53 ± 0,187
	4	21,90	20,91 ±	20,92	21,20	22,56
460	1	279	279	265	268	254
	2	12,68 ± 0,136	12,08 ± 0,108	11,49 ± 0,122	11,93 ± 0,107	11,89 ± 0,094
	3	16,87 ± 0,187	15,85 ± 0,147 **	15,88 ± 0,152 *	16,87 ± 0,151	17,76 ± 0,138
	4	20,78	19,82	20,29	21,44	22,99

1 Nombre de plantules observées
 2 Longueur de la 1^o feuille ± erreur type (cm.)
 3 - 2^o - - - (cm.)
 4 Poids sec moyen

Différence significative avec le témoin : * P = 0,05 ** P = 0,01
 - - - - - positive - - - - -

partir d'une dose toxique de 1000 R, on espérait mettre en évidence les doses stimulantes. On a observé la longueur des deux premières feuilles au bout de 15 jours de culture. On constate une meilleure réponse de la deuxième feuille qui n'a pas terminé sa croissance au moment du prélèvement. Les analyses montrent toujours une action néfaste de l'irradiation même pour une dose de 2,5 R.

L'interaction de la teneur en eau des graines et de la dose d'irradiation a été étudiée sur Orge dans l'essai O/64/1 qui comportait 3 séries. Les résultats sont donnés dans le tableau VII. Comme pour l'essai O/64/2, la deuxième feuille montre plus de variations que la première. On a des différences significatives dans chaque série. Mais seuls les traitements 165 R à 7,3% - 11,5% (O/64/12) et 195 R à 6,9% (O/64/13) donnent des valeurs significativement supérieures à tous les témoins de leur série et pourraient être considérés comme des cas de stimulation (§).

- Tomate. Contrairement à l'essai précédent, dans T/64/1 (tableau VIII) la mise en place n'a pas permis des comparaisons entre humidités différentes. Les mensurations ont été faites 20 jours après le semis. Suivant les caractères observés, les variations significatives n'ont pas toujours lieu dans le même sens. Elles concordent positivement pour les traitements 32% à 900 R et 57% à 900 - 1800 R (§).

Tabl VIII - T/64/1. Croissance des Plantules.

Dose (R)	Humidité relative de l'air					
	1 %	12 %	32 %	57 %	75 %	
T	1	92	96	99	94	87
	2	75	76	79	76	66
	3	25,17 ± 0,297	26,60 ± 0,375	28,26 ± 0,376	28,43 ± 0,375	28,88 ± 0,339
	4	75,53 ± 0,505	81,38 ± 1,197	88,54 ± 0,946	83,39 ± 1,364	89,19 ± 0,487
	5	7,19 ± 0,067	7,90 ± 0,060	8,16 ± 0,064	7,65 ± 0,083	7,91 ± 0,064
	6	19,68	19,68	37,32	21,92	25,36
900	1	93	89	99	95	96
	2	76	70	77	76	76
	3	23,62 ± 0,371 **	27,10 ± 0,390	28,42 ± 0,329	32,17 ± 0,476 **	28,51 ± 0,299
	4	77,53 ± 0,430 **	83,57 ± 1,202	92,88 ± 0,930 **	93,95 ± 1,193 **	89,66 ± 0,453
	5	7,37 ± 0,090	7,84 ± 0,077	8,50 ± 0,062 **	8,90 ± 0,072 **	8,12 ± 0,064
	6	19,09	20,11	27,02	26,31	25,63
1800	1	93	92	95	85	93
	2	75	73	76	76	74
	3	23,98 ± 0,408 *	24,60 ± 0,335 **	28,85 ± 0,361	28,30 ± 0,455	27,36 ± 0,425 **
	4	81,12 ± 0,493 **	82,08 ± 1,042	90,45 ± 1,091	88,71 ± 0,982 **	89,00 ± 0,447
	5	7,33 ± 0,099	7,41 ± 0,071 **	8,28 ± 0,076	8,10 ± 0,065 **	8,17 ± 0,066 **
	6	21,28	22,12	26,06	25,27	24,13

T/64/1
 1 Pourcentage de levée
 2 Nombre de Plantules observées
 3 Hauteur de l'hypocotyle ± erreur type (mm)
 4 Somme des longueurs des 2 cotylédons ± erreur type (mm)
 5 Largeur d'un cotylédon ± erreur type (mm)
 6 Poids sec moyen d'un Plantule (cg)
 Différence significative avec le témoin : * P : 0,05 ** P : 0,01

Dans l'essai T/65/1 (figure 4), pour trois teneurs en eau caractéristiques, l'analyse statistique sur la longueur des plantules au repiquage confirme exactement les observations sur la survie. On n'observe pas de stimulation. Le classement des traitements par ordre de radiosensibilité croissante donne 4 groupes significativement différents entre eux :

(2,2%; 0-1-2,5 KR) - (9,5%; 0-1-2,5-5-10 KR) - (49,9%; 0-1-2,5 KR)
 (2,2%; 5 KR) - (49,9%; 5 KR)
 (2,2%; 10 KR)
 (49,9%; 10 KR)

Les essais avec des prélèvements échelonnés (O/65/1 - M/65/1) ont montré que la teneur en eau a une plus grande influence que l'irradiation.

- Orge O/65/1. L'analyse a porté sur le poids sec de 30 plantules par parcelles, 8, 15 et 22 jours après le semis. Aux trois prélèvements on n'observe pas de différence entre les doses (1 à 100 R) mais une meilleure croissance des graines les plus humides 13,1% (P = 0,01).

- Maïs M/65/1. La dose de 5000 R provoque un retard (P = 0,01) qui augmente du premier prélèvement (9 j.) jusqu'au dernier (15, 21, 26 j). A ce moment on commence à observer un retard avec 2.500 R (P = 0,05). La croissance est meilleure pour les graines à 44% que pour celles à 67% (P = 0,01).

III. Croissance - Plante adulte.

Les rendements en feuilles ou en racines d'une plante adulte, mais toujours au stade végétatif, sont en fait des mesures de croissance. Sur radis et carotte, de nombreux rapports signalent des augmentations de rendement pouvant atteindre 30%. Nous espérons pouvoir les reproduire en utilisant les mêmes variétés et les mêmes conditions d'irradiation. Mais devant les difficultés pratiques rencontrées pour réaliser ces essais avec toutes les précautions requises pour une analyse statistique valable nous ne les avons pas beaucoup développés.

Radis. D'après le premier essai de cette étude (Ra/62/1) fait dans des conditions très sommaires, une dose de 700 R semblait

effectivement donner une augmentation de poids des racines de 30%. Mais aucune différence significative n'est apparue à l'analyse statistique du poids des racines et des fanes dans les essais Ra/63/1 et 2 réalisés avec les mêmes doses.

Carotte. Sur carotte aussi (C/63/1) des doses de 1000 à 9000 R n'ont pas entraîné de différence significative entre traitements pour le nombre de racines, leur poids total et moyen ainsi que pour le poids des fanes.

Epinard. Des doses de 500 à 2000 R ne modifient pas le rendement en feuilles (E/64/2-3). Par contre la teneur en eau des graines au moment du semis a une action très significative :

E/64/2 : Géant d'hiver 8,2 > 12,9 > 15,8 - 22,6%
E/64/3 : Monstrueux de Viroflay 8,5 > 12,1 - 15,4 > 25,9%

Comme pour la levée, la réaction en fonction de la teneur en eau est différente suivant les variétés. Pour les deux essais les rendements maximaux sont obtenus par 750 R à 8,2 et 8,5% mais les différences avec les témoins de même teneur en eau ne sont pas significatives.

IV. Développement.

L'irradiation peut entraîner une modification du rythme de développement : stade végétatif, floraison, nouaison, maturité des fruits.

Epinard. Le passage du stade végétatif au stade floral correspond très souvent à un stimulus externe. Les jours longs de l'été déclenchent la floraison de l'épinard. Les semis sont faits habituellement après le 15 Août et les plantes produisent des feuilles jusqu'à l'été suivant. L'essai E/64/1 a été semé en juin afin d'étudier l'influence de l'irradiation sur la floraison après un semis précoce. Des doses de 250 à 10.000 R, sur deux variétés, n'ont eu aucune action sur la levée et sur la floraison. Au début septembre la floraison atteignait 75% sur toutes les parcelles sans qu'il y ait eu une production utile de feuilles.

Tomate. La floraison de la Tomate, au contraire, dépend surtout du niveau de croissance des plants. Dans l'essai I/65/1,

les différences significatives déjà signalées à propos de la survie et de la croissance des plantules se retrouvent dans la floraison et la nouaison. Les traitements qui retardent la croissance retardent aussi la floraison.

Les teneurs en eau de 3,4 à 31,8% donnent une floraison très homogène quelles que soient les doses. Pour la teneur en eau la plus faible, seule la dose de 10.000 R donne un retard de 5 jours (P = 0,01) sur les autres traitements pendant toute la floraison. Pour des graines de teneur en eau 49,9%, la dose de 5000 R donne un retard initial de 6 jours (P = 0,01) qui disparaît au niveau 80% de floraison. Pour 10.000 R la floraison est très ralentie. Le retard est de 15 jours au niveau 50% et 25 jours au niveau 95%.

La dose de 10.000 R entraîne une certaine stérilité qui se manifeste par la coulure des fleurs et l'allongement de l'intervalle floraison-nouaison (P = 0,05 pour 3,4 - 6,9 - 31,8% et P = 0,01 pour 2,2 - 49,9%). Pour la teneur en eau de 9,5% on n'a pas d'allongement de l'intervalle avec 10.000 R. Il est même significativement (P = 0,05) le plus court à 5000 R (§).

A la nouaison les différences entre traitements sont accentuées :

- teneur en eau 2,2% (figure 7) : 10.000 R (P = 0,01), retard de 7 j. du niveau 30% au niveau 90%.
- teneur en eau 3,4 - 6,9 - 31,8% : 10.000 R (P = 0,05), retard de 2 j.
- teneur en eau 9,5 : pas de retard quelles que soient les doses.
- teneur en eau 49,9 : 5000 et 10.000 R (P = 0,01) retard croissant (figure 8) :

Tabl. IX - T/65/1. Teneur en eau 49,9%. Retard à la nouaison par rapport au témoin.

Dose R.	Pourcentage de nouaison			
	25 %	50 %	75 %	90 %
5000	3 jours	5	8	9
10000	17	24	27	27

A certaines dates d'observation on a trouvé des cas de stimulation : 5000 R - 31,8% au niveau 50% de nouaison : 5000 R - 6,9% de 25 à 60% de nouaison. Ces différences sont de courte durée.

Fig.7 - T/65/1. Nouaison et Récolte
Teneur en eau 2,2%.

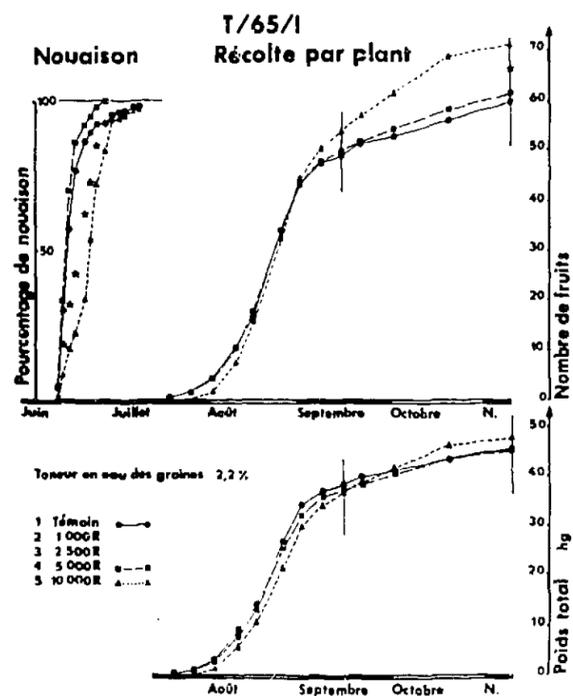
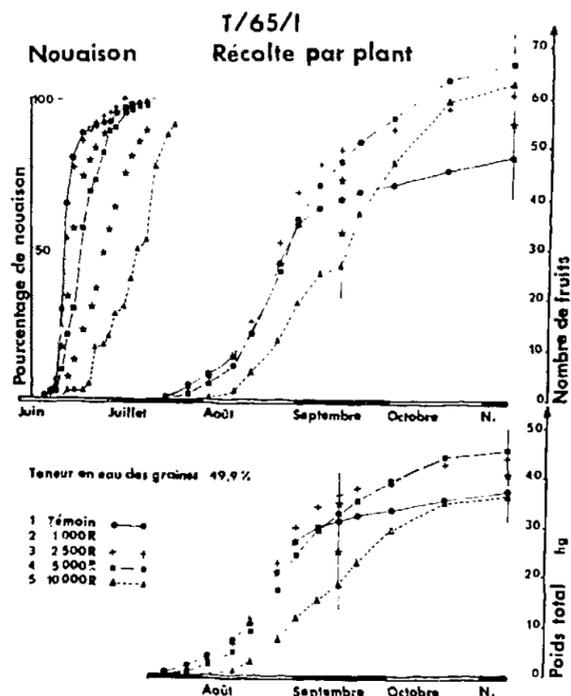


Fig.8 - T/65/1. Nouaison et Récolte
Teneur en eau 49,9%.



Pomme de terre. Sur pomme de terre, les résultats ont été très différents suivant les essais. La floraison a atteint 90% en moyenne avec la variété Fin de Siècle (P/64/1), mais n'a pas dépassé 50% avec Bintje (P/65/1).

P/64/1. On a eu une stimulation passagère de la floraison par une irradiation de 1000 R en 50 h (§). Les plus fortes doses provoquent un retard initial (P = 0,01). Toutes les différences disparaissent à partir du niveau 50% de floraison.

P/65/1. Etant donné les faibles pourcentages de floraison on ne peut étudier l'action des traitements complémentaires. Dans les trois blocs où la floraison dépasse 30%, toutes les doses donnent des pourcentages supérieurs aux témoins (P = 0,05) (§). Le maximum est obtenu par la dose la plus faible : 250 R (P = 0,01).

V. Rendement à maturité.

Ces observations concernent les essais sur tomate dont les fruits ont été récoltés une fois par semaine au stade tournant et les essais sur orge et sur pomme de terre récoltés en une fois à maturité complète.

Orge. Les rendements en grain et paille, exprimés en pourcentage des témoins, des essais sur Orge (O/62/1-2-3-4 et O/64/4) sont résumés dans la figure 9. Pour l'essai O/62/3 on observe une stimulation (P = 0,05) du rendement en grain par toutes les doses d'irradiation 500 à 5000 R (§). Cette action ne se retrouve pas dans les trois autres essais de la même année. On a, au contraire, une diminution significative pour les plus fortes doses (3000 à 5000 R dans O/62/1, 5000 à 8500 R dans O/62/4).

Fig 9 - Essais sur Orge. Rendement en grain (G) et en paille (P) en % des témoins.

Dose	O / 62						O/64/4							
	1		2		3		4		Dose		Dose			
	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P		
10000										•	36	38		
									•	86	103	•	56	60
									•	84	96	•	57	68
5000	•	75	97	93	101	109	120	•	84	100	•	135	95	
	•	84	90	94	89	114	104	•	101	98	•	100	95	
	•	84	99	93	90	113	106	•	103	109	•	95	74	
R	•	98	101	100	97	125	107	•	94	99	•	93	78	
	•	90	90	97	93	105	111	•	90	99	•	110	108	
	•	90	95	94	88	113	112	•	93	98	•	112	97	
1000	•	85	95	103	98	114	100	•	93	98	•	187	113	
	•	92	95	112	99	122	106	•	108	101	•	114	103	
500														
D.S.	{ P=0,05 *	**			*		*		*	*	*	*		
	{ P=0,01**													
ppds		12			4		14				70	35		

au lieu des 75 de l'essai T/64/2 et un étalement plus important (teneur en eau de 2,2 à 49,9% - dose de 1000 à 10 000 R) nous a donné des résultats très intéressants. Cet essai comportait 2520 plants significatifs sur lesquels on a récolté 165.898 fruits d'un poids total de 10 863,3 kg. La précision de chaque pesée était de 5 g. Les analyses statistiques ont été faites à deux dates : 14 Septembre et 9 Novembre (tableau XI). Comme pour les observations déjà étudiées, l'homogénéité est très grande pour toutes les doses aux teneurs en eau 6,9 et 9,5%. On a représenté sur les figures 7 et 8 (page 24) l'évolution du nombre de fruits et du poids total cumulés pour les doses présentant des différences significatives, aux teneurs en eau 2,2 et 49,9%.

L'irradiation n'entraîne aucune réaction de précocité.

A l'analyse du 14 Septembre, globalement, l'augmentation de la teneur en eau provoque une diminution du poids total. Par contre, quand la dose croit, le nombre de fruits augmente (§) mais leur poids moyen diminue si bien que le poids total ne varie pas.

Pour la teneur en eau de 49,9%, la dose de 1 KR n'est pas différente du témoin. 2,5 et 5 KR donnent une augmentation de 20% du nombre de fruits (§). Le poids moyen diminuant dans une proportion moins importante on a une augmentation significative du poids total pour 2,5 KR (§). La dose de 10 KR entraîne une diminution à la fois du nombre de fruits, de leur poids moyen et du poids total. La stimulation produite par la dose de 2,5 KR n'est qu'apparente car les rendements ainsi obtenus ne sont pas supérieurs à ceux des autres témoins. Il en est de même pour la stimulation du poids total observée pour 10 KR à 3,9%.

En fin de récolte, le 9 Novembre, l'homogénéité des poids moyens est très grande à part leur diminution avec la dose, significative pour 10 KR.

Pour les faibles teneurs en eau l'augmentation du nombre de fruits avec la dose devient significative à 10 KR (§) mais sans répercussion notable sur le poids total.

Du côté des fortes teneurs en eau, l'augmentation significative du nombre de fruits entraîne une augmentation significative du poids total pour les doses de 2,5 et 5 KR (§). Pour 10 KR elle compense la baisse de poids moyen et on a le même poids total que pour le témoin.

Les poids totaux obtenus par les traitements 10 KR - 3,4 et 31,8%; 2,5 et 5 KR - 49,9% sont significativement supérieurs aux témoins de 3,4 à 49,9% (§) mais non au témoin 2,2%.

DISCUSSION

Le bilan de ces essais se traduit par un certain nombre de cas de stimulation par irradiation :

- Stimulation de la levée des tubercules	P/65/1
- Stimulation de la croissance des plantules	O/64/1 - T/64/1
- Précocité de la floraison	P/64/1 - P/65/1
- " " " nouaison	T/65/1
- Raccourcissement de l'intervalle floraison-nouaison	T/65/1
- Augmentation du rendement en grains	O/62/3 - O/64/4
- " " poids moyen des tubercules	P/64/1 - P/65/1
- " " nombre de fruits et du poids total.	T/65/1

Les analyses statistiques nous montrent l'importance du choix des dates et des critères d'observation. Au cours de la levée et de la nouaison (T/65/1) on observe des différences uniquement à certaines dates. Sur plantule d'Orge (O/64/1-2) une feuille en cours de croissance paraît un meilleur test qu'une feuille adulte. Les essais sur Epinard, Carotte, Radis n'ont montré aucune action des doses d'irradiation. Ce peut-être dû au choix des dates d'observation (9).

Sur Tomate (T/64/1), l'envergure et la largeur des cotylédons sont préférables à la hauteur de l'hypocotyle. De même, Gladstones (19) utilise l'envergure de la première paire de vraies feuilles et non la hauteur des plantules. Süss (53) insiste sur les précautions à prendre dans le choix des critères d'observation. Quand les essais deviennent un peu complexes, il est difficile de faire des mensurations individuelles sur un très grand nombre de plants. On doit faire des mesures globales comme le poids sec. A priori, c'est le meilleur critère de croissance, mais sa signification est différente de celle des mesures linéaires. Des variations de longueur peuvent être causées seulement par une élongation cellulaire alors que le poids sec est lié à la synthèse de matière vivante. On a déjà montré (Ri/62/2) les précautions nécessaires pour interpréter un poids sec de plantules. La survie n'ayant pas été affectée dans les essais O/65/1 et M/65/1, l'absence de résultats positifs par comparaison avec les travaux de Stein (49) et Süss (52-53) peut être imputée aux dates d'observation, au critère choisi ou aux variétés.

Alors que les essais sur pomme de terre donnent des résultats très voisins, les essais sur Riz, Epinard et Tomate montrent l'importance des différences variétales. Sur Riz (Ri/62/1) cette influence se manifeste dans la précocité d'apparition des feuilles et dans la longueur des plantules. Sur Epinard, (E/64/2-3) la teneur en eau a une action différente suivant les variétés aussi bien sur la levée que sur le rendement en feuilles. Les courbes de récolte cumulée de Tomates (T/65/1) montrent les variations au cours du temps de l'effet d'un traitement. La taille pratiquée sur la variété San Marzano (T/64/1) a pu empêcher la manifestation de l'action des traitements.

Dans un même essai, les réactions de stimulation sur plusieurs caractères correspondent à des conditions très variables de dose et de teneur en eau : (48)

T/65/1. Nouaison	5.000 R	à 6,9 et 31,8%
Intervalle Flo-Nouai.	5.000 R	à 9,5%
Nombre de Fruits 14/9 - 9/11	2.500 - 5.000 R	à 49,9%
14/9 - 9/11	10.000 R	à 3,4 et 31,8%
9/11	10.000 R	à 2,2 et 49,9%
Poids total 14/9 - 9/11	2.500 R	à 49,9%
9/11	5.000 R	à 49,9%
4/9 - 9/11	10.000 R	à 3,4 et 31,8%

Quelle que soit la teneur en eau, 1.000 R n'a pas d'effet. Au contraire le sens de l'action de la dose maximale, 10.000 R, dépend de la teneur en eau des graines. 10.000 R ne peut pas d'ailleurs être rangé dans les "faibles doses" faisant l'objet des études classiques sur la stimulation.

Birecka (10) signalait déjà en 1959 que l'on pouvait obtenir des effets de stimulation aussi importants par le trempage des graines que par l'irradiation. Tout au long de l'exposé des résultats on a pu voir l'importance du facteur teneur en eau des graines. Des teneurs en eau croissantes améliorent la précocité des graines de Tomate (T/65/1) mais diminuent le pouvoir germinatif des graines d'Epinard (E/64/2-3). La croissance des plantules d'Orge provenant de grains à 13,1% (O/65/1) est meilleure qu'à 8,5%, mais celle des plantules de maïs à 67% est moins bonne qu'à 44% (M/65/1). Sur Tomate (T/65/1), conformément aux résultats de Gladstones (19), la croissance est optimale pour les teneurs en eau moyennes (figure 4). On observe même un raccourcissement de l'intervalle floraison-nouaison à 9,5% - 5.000 R. Quand la teneur en eau des graines augmente le rendement en feuilles d'Epinard (E/64/2-3) et le rendement en tomates, que ce soit leur nombre, le poids total ou le poids moyen, diminuent.

Dans l'essai T/65/1 hors le raccourcissement de l'intervalle floraison-nouaison (5000 R - 9,5%) tous les autres cas de stimulation correspondent non pas à des teneurs en eau de la zone b de l'isotherme de sorption où nous pensions observer ces effets mais aux zones extrêmes a et c. Les teneurs en eau 6,9 et 9,5% donnent aux graines une grande stabilité aussi bien vis-à-vis des effets toxiques que des effets de stimulation. On trouve des effets de stimulation équivalents dans les zones a et c. Mais tandis que 10 000 R à 2,2% donnent un effet de stimulation absolue du nombre de fruits, les cas de stimulation du poids total sont seulement relatifs aux témoins de même humidité et non différents du témoin 2,2%. Les cas de stimulation observés dépendent de conditions expérimentales particulières. Une modification de ces conditions peut entraîner chez les témoins des variations supérieures à celles produites par l'irradiation dans d'autres séries.

Sur pomme de terre, on constate la grande radiorésistance des germes bien développés. Les effets de stimulation de la levée (750 R en 5 h) sont observés seulement avec des tubercules germés au moment de la plantation (P/65/1) que l'irradiation ait été faite immédiatement avant la plantation (D) ou avant la mise en germination (B). Les traitements complémentaires influent beaucoup sur la manifestation des effets de l'irradiation. D'après Kuzin (33) les réactions de stimulation ou d'inhibition dépendent des substances qui se forment dans la masse des tubercules au cours de l'irradiation. L'essai P/65/1 montre que la concentration de ces produits augmenterait avec la dose et la durée. Ils seraient conservés à 4°C, mais détruits progressivement au cours de la prégermination.

Les conditions de stockage et les traitements qui accompagnent l'irradiation sont aussi importants sur les graines que sur les tubercules.

La réaction la plus typique de stimulation est donnée par l'essai T/65/1 dans l'analyse du nombre et du poids total des fruits produits par les graines de teneur en eau 49,9%. L'effet se manifeste à partir d'un seuil compris entre 1000 et 2500 R. Il est maximal à 5000 R et diminue ensuite. Mais des graines témoins à 2,2% donnent des rendements aussi élevés que le maximum à 5000 R - 49,9%.

Le caractère commun à tous les effets de stimulation observés est leur relativité. Une même dose de rayons gamma peut avoir un effet très variable suivant les variétés utilisées, les traitements complémentaires, les conditions de culture (sol, climat) et les critères d'observation. De plus dans la majorité des cas on obtient une

réaction de stimulation équivalente en faisant varier les conditions expérimentales.

Nous avons constaté que l'irradiation gamma des graines et tubercules avant plantation a parfois une action stimulante qui peut se maintenir dans certains cas jusqu'à la récolte. L'influence déterminante du milieu montre qu'il n'est pas possible de généraliser à la culture en plein champ des expériences faites dans des conditions bien précises (44). Bien que la résolution finale de la Conférence sur l'Irradiation des Semences à Moscou en 1961 (38) ait conclu au grand avenir de cette méthode qui demandait seulement encore quelques mises au point, nous pensons que dans nos conditions de culture il est très peu probable que l'irradiation des graines et tubercules avant plantation avec de faibles doses de rayonnement gamma puisse avoir une application pratique agricole.

REFERENCES

1. AOKI A., MORITAS (1962). Growth and nutrient absorption of rice plant affected by gamma ray radiation on seed (en japonais). Sci. Rep. Kyoto Univ. Agr., Jap., 14, 110-112.
2. AVAKYAN T.M., SEMERDZHAN S.P., ATAYAN R.R. (1964). Quelques résultats d'essais de sortie provoquée de l'état de dormance des tubercules de pomme de terre fraîchement récoltés (en russe). Radiobiologiya, S.S.S.R., 4, 463-464.
3. BABAYAN V.O., AVAKYAN D.O., AZATYAN R.A. (1964). Radiosensibilité de différentes formes de maïs (en russe). Izvest. Akad. Nauk arm. S.S.R., Biol., 17 (8), 93-96.
4. BATYGIN N.F., (1962). Action simultanée d'une irradiation ionisante et des substances stimulatrices de croissance sur la plante (en russe). Byull. nauch. tekh. inform. Agron. Fiz. 10, 38-39.
5. BEREZINA N.M., SHCHIBRYA G.J., RIZA-ZADE R.R. (1962). Traitement de la graine de carotte avant le semis à l'aide des rayons X et gamma afin d'accroître la productivité de ce légume (en russe). Vest. selskokhojajstv. Nauki, S.S.S.R., 12, 31-33.
6. BEREZINA N.M., SHCHIBRYA G.J., DROZHINA V.V., RIZA-ZADE R.R. (1963). Influence de l'irradiation avant plantation des tubercules de pomme de terre à l'aide de rayon gamma du cobalt 60 sur la récolte et la teneur de la pomme de terre en vitamine C (en russe). Radiobiologiya S.S.S.R., 3(1), 139-142.
7. BEREZINA N.M., RIZA-ZADE R.R. (1965). Radiations ionisantes en traitements des graines de maïs avant semis (en russe). Vest. selskokhojajstv. Nauki, S.S.S.R., 1, 10-14.
8. BIANCHI A., MARCHESI G., SORESSI G.P. (1963). Some results in radiogenetical experiments with tomato varieties. Rad. Bot. 3, 333-343.
9. BILQUEZ A.F. (1958). Résultats d'un essai de stimulation de croissance chez le radis par application de faibles doses de rayons X aux graines avant le semis. J. Agric. trop. Bot. Appl., 5 (4-5), 365-371.
10. BIRECKA H., SZYMANSKA W., SAWICKA A. (1959). The effect of low applications of X rays on some plant species (en polonais). Roczn. Nauk roln., Ser.A, 79, 911-927.

11. BORISSOVA N.I. (1958). Action sur la plante du traitement des semences par les rayons gamma du Cobalt 60 et par les neutrons (en russe). C.R. Conf. Sci. sur l'application des isotopes radioactifs stables et sur l'irradiation en agriculture, Acad. Sci. Agr., S.S.S.R., Moscou, 1958, 51.
12. BRESLAVETS L.P. (1946). Plants and X rays. Acad. Sci. S.S.S.R., Press, Moscou (Trans. Amer. Inst. Bio. Sci. 1960).
13. BRESLAVETS L.P. (1958). Augmentation de la récolte de radis et de carottes à l'aide d'un traitement des semences par les rayons X et gamma (en russe). C.R. conf. Sci. sur l'application des isotopes radioactifs stables et sur l'irradiation en agriculture, Acad. Sci. Agr., S.S.S.R., Moscou, 1958, 52.
14. BRESLAVETS L.P., BEREZINA N.M., SHCHIBRYA G.J., ROMANCHIKOVA M.L., IAZIKOVA V.A., MILESHKO Z.F. (1960). Increase in the yield of radishes and carrots by X or gamma irradiation of the seeds before sowing. Biophysics, S.S.S.R., 5 (1), 86-87.
15. CALDECOTT R.S. (1955). Les rayonnements ionisants au service de la sélection végétale. Conf. intern. N.U. Utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. I. Genève 1955, 12, 44-50.
16. DUMANOVIC J., EHRENBERG L. (1965). Growth inhibition in cereal seedlings induced by gamma irradiation at different oxygen tensions. Rad. Bot., 5, 307-319.
17. FISCHNICH O., PATZOLD C., HEILINGER F. (1960). Influence of low doses of irradiation (X rays and gamma rays of ^{60}Co) on potato seed. Proc. Symposium on the Effects of Ionizing Radiation on seeds, Karlsruhe, I.A.E.A., 1961, 552-564.
18. GILLET C. (1963). Action des rayons X sur le phénomène de "water sensitivity" chez l'orge. C.R. Soc. belge Biol. 157 (6), 1323-1326.
19. GLADSTONES J.S., HUNTER A.W.S. (1959). Effects of seed moisture content and post irradiation storage on the growth and survival of X₁ tomato plants. Canad. J. Genet. Cytol., 1, 339-46.
20. GONZALES C.L., FREY K.J. (1959). Effect of seed size and hulls upon X ray sensitivity of oats seed. Proc. Iowa Acad. Sci., 66, 123-128.
21. GRECHUSHNIKOV A.I., SEREBRENIKOV V.S., KIRYUKHIN V.P. (1964). Modifications physiologiques et biochimiques subies par les tubercules et les plantes sous l'action des rayons gamma (en russe). Biokh., Plod. Dvoshch., S.S.S.R., 191-201.

22. GUILBOT A. (1952). Le problème de l'eau "liée" dans les colloïdes biologiques. Industr. aliment. agric., 1, 7-13.
23. GUILBOT A. (1952). Détermination de la teneur en eau des céréales et des produits dérivés. Commission des Semences et des progrès techniques de la production des céréales.
24. GUILBOT A., LINDENBERG A.B. (1960). Eau non solvante et eau de sorption de la cellule de levure. Biochim. biophys. Acta, 39, 389-397.
25. HORVAT F. (1961). Radiobiological investigations of oryza sativa. II. Effects of X rays, neutrons and gamma rays. Agricultura, 9, 165-214.
26. KERSTEN H.V., MILLER H.L., SMITH G.F., (1943). Stimulative effects of X rays on plants. Plant Physiol., 18, 8-18.
27. KAUFMANN M.L., Mc FADDEN A.D. (1963). The influence of seed size on results of barley yield trials. Cand. J. Plant. Sci., 43, 51-58.
28. KIECE V. (1959). Influence de l'irradiation par ^{60}Co sur la germination des graines et la croissance du maïs (en finnois). Latv. P.S.R. Zinat. Akad. Vestis., 5, 131-134.
29. KIRYUKHIN V., SEREBRENIKOV V. (1964). Irradiation des tubercules de pomme de terre avant plantation (en russe). Kartoffel, ovoshchi, 12, 17.
30. KONVICKA O. (1963). Résultats d'études sur la radiosensibilité de certaines espèces végétales (en russe). Rostiinna Vyroba, 9, 989-994.
31. KUZIN A.M. (1955). Utilisation des rayonnements ionisants dans l'agriculture. Conf. intern. N.U. Utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. I. Genève 1955, 12, 169-178.
32. KUZIN A.M. (1960). Sur l'utilisation dans l'agriculture de l'irradiation gamma des semences avant le semis (en russe). Vestn. s.h. Nauki, 7, 127-130.
33. KUZIN A.M., KASYMOV A., KRYNKOVA L.M. (1964). Mécanisme d'action stimulante et inhibitrice d'une radiation gamma du ^{137}Cs sur le tubercule de la pomme de terre (en russe). Radiobiologiya, 4 (3) 144-149.
34. KUZIN A.M., DUBONOSOV T.S., BEREZINA N.M., RIZA-ZADE R.R. (1964). Possibilités d'utilisation des radiations ionisantes en hydroponique (en russe). Radiobiologiya, 4 (3), 457-459.
35. MESSERI P. (1957). Sviluppo vegetativo e maturita riproduttiva in piante ottenute da semi irradiati con raggi X. Nuovo giorn. botan. ital., 64 (1), 261-265.

36. OSBORNE T.S., BACON J.A. (1961). Two improved and inexpensive systems for moisture stabilization in seeds or other tissues. *Plant Physiol.*, U.S.A., 36 (3), 309-312.
37. PALAMARCHUK A.S. (1959). The effects on yields of carrot roots of irradiation seeds with radium rays (en russe). *Selekc. Semenov.* S.S.S.R., 24 (4), 69-70.
38. PATSKEVICH V.M. (1961). Conference on seed irradiation prior to sowing. *Soviet J. Atomic Energy* (trans. by Consultant Bureau Enterprises, New York, 10 (5), 541-543).
39. PREOBRAZHENSAYA E.V. (1962). Corrélation entre la radiorésistance générale et la radiostimulation chez les différentes espèces de plantes cultivées (en russe). *Byull. nauch-tekh. Inform. Agron. Fiz.*, 10, 47-52.
40. ROCKLAND L.B. (1960). Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5° and 40°C. *Anal. Chem.*, 32 (10), 1375-1376.
41. SARIC M.R. (1958). Influence des propriétés biologiques des graines sur les effets de l'irradiation. *Conf. Intern. N.U. Utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. 2.* Genève 1958., 9, 329-344.
42. SARIC M.R., MIHAJLOVIC M. (1961). A study of the effect of radiation on maize and wheat yields. *Arch. poljopr. Nauk.*, 14, 101-107.
43. SARMA V.S., ROY CHOUDHURY A.K. (1962). Increased variability in first generation tomato plants following beta-ray (³²P) irradiation. *Trans. Bose. Res. Inst. Calcutta*, 25, 17-20.
44. SAX K. (1963). The stimulation of plant growth by ionizing radiation. *Rad-Bot.*, 3, 179-186.
45. SEREBRENIKOV V.S. (1965). Amélioration des qualités germinatives des tubercules de la pomme de terre après irradiation avec des rayons γ (en russe). *Selekc. semenov.*, S.S.S.R., 2, 39-40.
46. SHCHIBRYA G.L., YAZYKOVA V.A., BRESLAVETS L.P., BEREZINA I.M. (1959). L'effet de l'irradiation ionisante sur quelques plantes à vitamines (en russe). *Trudy Vsesoyuz Nauch. Issledovatel' Vitanin. Inst.*, 6, 184-189.
47. SHULL C.A., MITCHELL J.W. (1933). Stimulative effects of X rays on plant growth. *Plant Physiol.*, 8, 287-296.

48. SILVY A. (1967). Etude des effets de stimulation obtenus par irradiation aux rayons gamma des graines de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) var. Primabel. *C.R. Acad. Sci., Fr., Sér. D.* 264, 1653-1656.
49. STEIN O.L., STEFFENSEN D.M. (1959). The activity of X - rayed apical meristems : a genetic and morphogenetic analysis in *Zea mays*. *Z. Vererb.-Lehre*, 90, 483-502.
50. SUSS A. (1959). The effect of ionizing radiation on plant growth and yield (en allemand). *Atompraxis*, 5, 219-223.
51. SUSS A. (1961). Über die Wirkung Kleiner Strahlendosen auf das Pflanzenwachstum. *Naturwissenschaften*, 48, 650.
52. SUSS A. (1963). Über die Wirkung Kleiner Strahlendosen bei Saatgubestrahlung. *Atompraxis*, 9, 86-92.
53. SUSS A., MAISCH A. (1964). Der Einfluss einer Saatgubestrahlung mit Kleinen Strahlendosen auf die Jugendentwicklung von Weizen und gerste. *Rad. Bot.*, 4, 439-453.
54. THAUNG M.M. (1960). Stimulating effects of nuclear radiations on development and productivity of rice plants. *Nature*, 186, 982-983.
55. THAUNG M.M. (1961). Use of radioisotopes in biological work in Burma. *Nature*, 191, 875-876.
56. TOUZARD M.J. (1961). La conservation des semences. *Congrès National des Semences. Paris 1961*, 133-151.
57. VAZILIEV I.M. (1962). Effect of ionizing radiations on plants (en russe). *Acad. Sci. S.S.S.R., (Trans. U.S., A.E.C. 1963)*.
58. VIDAL P. (1959). Augmentation du rendement et des qualités des cultures par irradiation des semences. *Rev. Indus. atom.* 1-2, 1-8.
59. WINSTON P.W., BATES D.H. (1960). Saturated solutions for the control of humidity in biological research. *Ecology*, 41, 232-237.

Manuscrit reçu le 7 mars 1968

FIN