

Soil moisture and the infection of young potato tubers by *Streptomyces scabies* (common scab)

D. H. LAPWOOD¹ and T. F. HERING²

¹ Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts., England;

² School of Agriculture, Nottingham University, Sutton Bonington, Loughborough, Leics., England

Accepted for publication: 21 April, 1970

Zusammenfassung, Résumé p. 302

Summary

Majestic potatoes planted in soil naturally infested with *Streptomyces scabies* were trickle irrigated to prevent infection of the tubers except during consecutive 7-day periods in the first eight weeks when tubers were developing (28 May to 23 July).

During each interval without irrigation, lesions of scab affected an average of 4 internodes on the tubers but the later water was withheld, the closer to the apex of the tubers was the infection at final lifting. The tubers with most area scabbed were those unwatered between 11 and 18 June, the third week from tuber initiation, when the first-formed internodes, which expand more than later-formed ones, became infected.

Introduction

At Sutton Bonington in 1967, infection of tubers of the potato variety *Majestic* by *Streptomyces scabies* (Thaxt.) Waksman and Henrici, was prevented by regular trickle irrigation. Where watering was interrupted for 5, 10 or 15 days, at, or soon after, tuber initiation, the region of the tuber that became scabbed depended on how long the soil was allowed to dry, on the size of tubers at this period, and the number of tuber internodes affected (Lapwood and Hering, 1968). In the experiment we now report, the period of drying was kept constant (7 days) and different tubers were exposed to infection during the eight consecutive weeks after tuber initiation, to assess susceptibility to infection at different stages of tuber growth.

Materials and methods

Seed tubers, from a virus tested stock of the variety *Majestic*, were planted on 30 April 1969 at Sutton Bonington in a light sandy loam naturally infested with *S. scabies*; the same site as used in 1967. Sprouted tubers were planted 15 cm deep in flat ground, 30 cm apart and 60 cm between rows, and the ground sprayed before emergence with a paraquat-linuron mixture to control weeds. A 'dutch light' glasshouse kept rain off the plots, which were watered by trickle irrigation lines (Cameron Irrigation Co. Ltd., London N.W.6). The plots were of 3 rows with 8 plants in each, and there were six plots in each of the four randomised blocks.

From 15 May until 8 August one treatment (A) was watered whenever necessary, to keep soil moisture at 10 cm deep to less than 15 cm Hg tension, as measured by porous pot tensiometers (Gallenkamp & Co. Ltd., London E.C. 2). A further 8 treatments were irrigated similarly, except for the following periods when the soil was allowed to dry; 28 May–4 June (B), 4 June–11 June (C), 11 June–18 June (D), 18 June–25 June (E), 25 June–2 July (F). Because of the limited space, plots exposed to treatment B, C and D were re-exposed to a second drying, viz. B: 2 July–9 July; C: 9 July–16 July; and D: 16 July–23 July. Occasionally, when the soil was slow to dry (i.e. reach 60+ cm Hg tension), the period without water was extended to a maximum of 10 days.

One irrigation nozzle was placed close to each plant in the rows of the plots and in the guard row that separated the plots. Three plants per plot were lifted just before or after the period of drying, to see the stage of tuber development.

All haulm was removed on 12 August and 12 plants (3 rows and 4 plants per row) per plot were dug on 4 September. The fifty largest tubers per plot were examined and the surface area covered by scab lesions estimated using an amended pictorial key of Large and Honey (1955) as done previously (Lapwood and Dyson, 1966). Tubers from Treatment B, C and D usually had two bands of lesions because they had been twice exposed to drying soil, and the bands on these were assessed separately (it was assumed that the band nearer the stolon attachment resulted from the earlier, and that nearer the apex, the later infection period). The exact position of scab lesions relative to the phyllotaxy of nodes (eyes) was recorded on 20 tubers per plot.

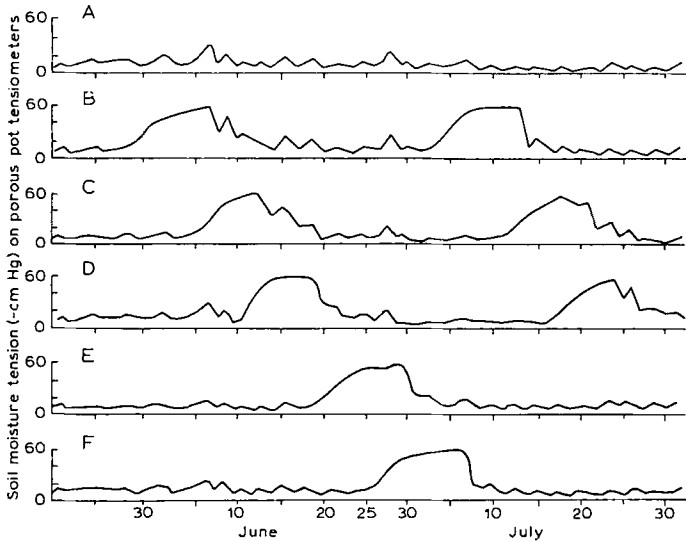
Results

Fig. 1 shows the soil-moisture tensions from the different treatments and Table 1 the development of tubers and the amount and distribution of scab on tubers at final harvest. Treatment B coincided with the start of tuber formation for, on 28 May, only three tubers were found and the largest was less than 5 mm in diameter and length. The scab on tubers from the control treatment (A) is probably attributable to tubers from the few plants where nozzles of the trickle line became temporarily blocked. Of the other treatments, drying soil between 11 and 18 June (the first exposure of Treatment D) produced the largest area of scab and between 16 and 23 July (the second exposure of Treatment D), the least.

The affected internodes on the tuber were identified from the eye (node) positions (numbered from the stolon attachment along the phyllotactic spiral) that contained them (Table 1). After lifting, in September, scab occurred on internodes closer to the tuber apex, the later the period without watering (Fig. 2 and 3). Usually 4 to 5 internodes were infected and later showed scab with each period of drying (Table 1), but because early-formed internodes expand more than later ones, infection of these, as between 11–18 June, produced the greatest proportion of tuber surface with scab.

The third week after the first tubers were found also seemed important in two experiments in 1968. The first, at Sutton Bonington, resembled the 1969 experiment except that soil was kept wetter (less than 10 instead of 15 cm Hg tension) and so did not

Fig. 1. Fluctuations in soil moisture in plots regularly watered by trickle irrigation (A) or with 7-day dry periods (B-F) at different times during the first 8 weeks of tuber growth. (Each record is a mean from four tensiometers.)



Soil moisture tension (-cm Hg) on porous pot tensiometers - *Saugspannung (-cm Hg), gemessen mit Tensiometern* - *Tension de l'humidité du sol (-cm Hg) sur la partie poreuse du tensiomètre*

Abb. 1. Schwankungen in der Bodenfeuchtigkeit von Parzellen mit regelmässiger Berieselung (A) oder mit 7 tägigen Trockenperioden (B-F) zu verschiedenen Zeiten während der ersten 8 Wochen des Knollenwachstums (jede Angabe gibt den Mittelwert aus vier Tensiometerwerten).

Fig. 1. Fluctuations de l'humidité du sol dans des parcelles régulièrement alimentées en eau par irrigation par infiltration (A) ou avec des périodes sèches de 7 jours (B-F) à différents moments pendant les 8 premières semaines de croissance (chaque donnée étant la moyenne de quatre tensiètres).

dry enough during the 7 days without water to allow much infection. However, the corresponding figures for the dates shown in Table 1 were 0.5 (Control), 1.8, 0.9, 5.1, 2.0, 0.4, 0.8, 0.3 and 0.4%, respectively, of the surface area affected for the first eight weeks of tuber growth. The second experiment (by D.H.L.) was in a field at Rothamsted, where rainfall was supplemented with overhead irrigation to keep the soil moist, and polyethylene film covers were placed over different plots for two weeks to promote infection by *S. scabies*, during each of the eight weeks from tuber initiation, starting on 1 June. After lifting on 28 August, the mean percent surface area scabbed was 3.7 (covered on 1 June), 5.0, 9.5 (14 June), 1.0, 1.2, 0.4, 0.3 and 0.4 (18 July). The growth of tubers was traced by lifting 8 plants (2 per plot) each week just before covering and recording the mean eye number, length and diameter of the 5 largest tubers on each plant. Eyes separated from the apical bud fastest during the first month from initiation

SOIL MOISTURE AND INFECTION OF YOUNG POTATO TUBERS BY COMMON SCAB

Table 1. The number of tubers eyes at different dates and the incidence and position of common scab lesions on tubers from the different treatments at final harvest.

	Control ¹	Start of non-watering period (approx. 7 days) ²								
		May			June			July		
		28	4	11	18	25	2	9	16	23
a) Tuber development ³										
Mean number of eyes ⁴		2.5 ^a	2.5 ^b	4.2	5.6	7.6	7.4	8.5	9.5	10.6 ^c
Range ⁵		(0-3) ^d	(0-4)	(1-7)	(2-8)	(2-10)	(3-11)	(4-14)	(4-14)	(3-16)
b) Scab infection ⁶										
% Scab ^e (S.E. ⁷ ± 1.34)	1.7	2.6	8.5	14.8	8.6	3.7	3.6 ^f	2.2	1.6	
Infection limits (Eye number) ⁸		0-3	0-3	1-5	3-9	5-9	5-11	7-13	8-12	

¹ Only 3 tubers formed on 12 plants – *Nur 3 Knollen an 12 Pflanzen gebildet – Seulement 3 tubercules formés sur 12 plantes*

² Number of eyes at beginning of non-watering period – *Anzahl Augen zu Beginn der Periode ohne Bewässerung – Nombre de yeux au début de la période sans irrigation*

³ Number of eyes at end of non-watering period – *Anzahl Augen am Ende der Periode ohne Bewässerung – Nombre de yeux à la fin de la période sans irrigation*

⁴ Number of eyes on largest and smallest tuber in sample – *Anzahl Augen auf der grössten und der kleinsten Knolle des Musters – Nombre de yeux sur le plus grand et le plus petit tubercule de l'échantillon*

⁵ Percentage surface area affected at final harvest (50 tubers per plot), for 28 May, 4 and 11 June based band nearest stolon attachment – *% Schorf; Prozent der befallenen Oberfläche bei der letzten Ernte (50 Knollen pro Parzelle), für den 28. Mai, 4. und 11. Juni, basierend auf dem Streifen nächst der Stolonenansatzstelle – % gale; Pourcentage de surface galeuse à la récolte finale (50 tubercules par parcelle), pour le 28 mai, 4 et 11 juin déterminé sur la bande la plus proche de l'attache du stolon*

⁶ Date for July analysed separately, S.E. ± 0.68 (based on band nearest the apex) – *Separate Analyse für den Juli, Standardfehler ± 0,68 (basierend auf dem Streifen nächst der Krone) – Données pour juillet analysées séparément, E.S. ± 0.68 (basées sur la bande la plus proche du sommet)*

⁷ Limits of scab lesions from eye position (see text), a mean based on 20 tubers per plot. 0 = stolon attachment – *Befallsgrenzen; Grenzen der Schorf-läsionen von der Augenposition aus (siehe Text), Mittelwert basierend auf 20 Knollen pro Parzelle. 0 = Stolonenansatz – Limites de l'infection; Limites des lésions galeuses en fonction de la position des yeux (voir texte), moyennes basées sur 20 tubercules par parcelle. 0 = attache du stolon*

¹ Kontrolle – *Témoin*

² Beginn der Periode ohne Bewässerung (ungefähr 7 Tage) – *Départ de la période sans irrigation (approx. 7 jours)*

³ Knollenentwicklung – *Développement du tubercule*

⁶ Schorfbefall – *Infection de gale*

⁴ Anzahl Augen (Mittel) – *Nombre de yeux (moyenne)*

⁷ Standardfehler – *Erreur standard*

⁵ Schwankungsbereich – *Ecart*

⁸ Augenzahl – *nombre de yeux*

Tabelle 1. Anzahl Knollenaugen zu verschiedenen Zeitpunkten sowie Auftreten und Lage der Flachschorf-Läsionen auf Knollen bei verschiedenen Verfahren bei der letzten Ernte.

Tableau 1. Les nombres de yeux par tubercule à différentes dates, l'incidence et la position des lésions de gale commune sur les tubercules, déterminés à la récolte finale, en fonction de différents traitements.

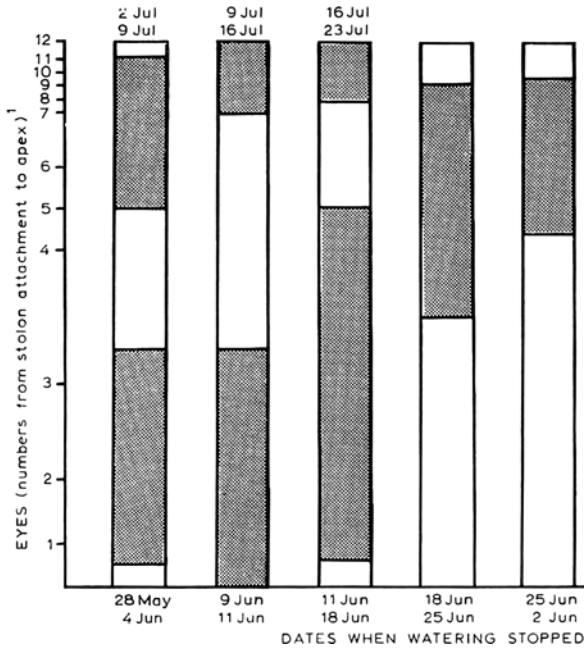


Fig. 2. The relative position of scabbed internodes on tubers from different treatments after final harvest.

Eyes (numbers from stolon attachment to apex) – Augen (Zahlen vom Stolonenansatz zur Krone) – Yeux (nombres à partir de l'attache du stolon jusqu'au sommet)

Dates when watering stopped – Zeitpunkte, an denen die Bewässerung unterbrochen wurde – Dates d'arrêt de l'humidification

¹ Relative eye (node) positions taken from a typical *Majestic* tuber – Lage des entsprechenden Auges (Nodium) einer typischen *Majestic*-Knolle – Positions relatives des yeux établies sur une tubercule *Majestic* de forme typique (Lapwood and Hering, 1968)

Abb. 2. Vergleich der Lage schorfiger Internodien auf den Knollen aus verschiedenen Verfahren nach der letzten Ernte.

Fig. 2. Positions relatives des entrenœuds galeux déterminés à l'arrachage final selon les différents traitements.

Fig. 3. The position of scab lesions on tubers at final harvest indicating the infection bands from different treatments (tubers selected to show band positions and not to represent the proportion of surface-affected). From left to right: Treatment A (control), B, C and D (two exposures) and E and F (one exposure to infection). See text and Fig. 2. Photograph: Rothamsted Experimental Station.

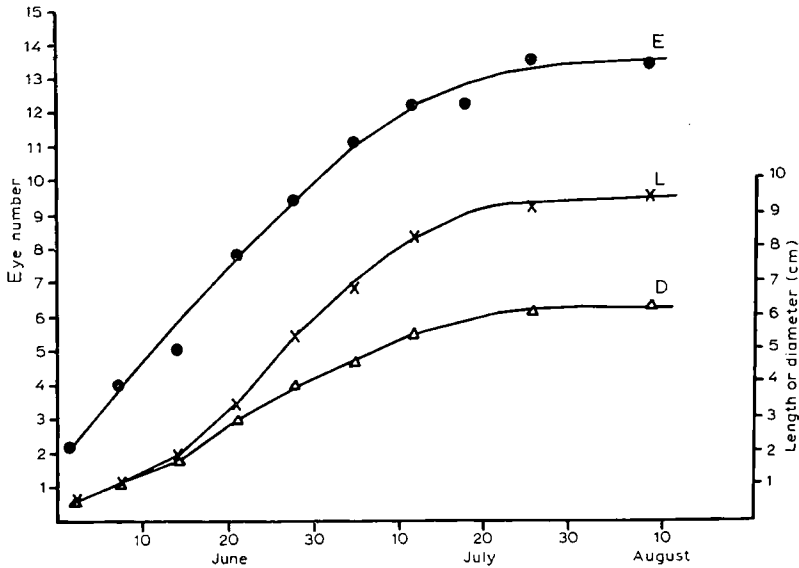


Abb. 3. Lage der Schorfläsionen auf den Knollen bei der letzten Ernte. Die Knollen zeigen die in den verschiedenen Verfahren infizierten Streifen (ausgesuchte Knollen, um die Streifenposition zu zeigen und nicht um den Anteil der befallenen Oberfläche darzustellen).

Von links nach rechts; Verfahren A (Kontrolle), B, C und D (zwei Trockenperioden) und E und F (eine Trockenperiode). Siehe Text und Abb. 2. Photographie; Rothamsted Experimental Station.

Fig. 3. Positions des lésions galeuses sur les tubercules à l'arrachage final montrant les bandes infectées suivant les différents traitements (tubercules choisis pour montrer la position des bandes et non pour représenter la proportion de surface galeuse). De gauche à droite; traitements A (témoin), B, C et D (deux expositions à l'infection) et E et F (une exposition à l'infection). Voir texte et Fig. 2. Photographie; Station Expérimentale de Rothamsted.

Fig. 4. The growth of potato tubers: eye number, including apical bud (E), length (L) and diameter (D), at Rothamsted in 1968.



Eye number – Anzahl Augen – Nombre de yeux
 Length or diameter (cm) – Länge oder Durchmesser (cm) – Longueur ou diamètre (cm)

Abb. 4. Das Wachstum der Kartoffelknollen: Anzahl Augen (einschliesslich Endknospe) (E), Länge (L) und Durchmesser (D), in Rothamsted, 1968.
 Fig. 4. Le développement des tubercules; nombre de yeux (E), y compris le bourgeon apical (E), longueur (L) et diamètre (D), à Rothamsted en 1968.

(Fig. 4), so this was when many internodes were formed and exposed. However, increase in length and diameter of tubers, and therefore internode expansion, was at first slow, and fastest between the second and sixth week.

Discussion

Lapwood and Hering (1968) concluded that the surface blemishing of tubers following infection by *S. scabies* depended on the rate internodes formed, the number at a susceptible stage when the soil was dry, and on the extension growth of each internode. The results in 1969 showed that, when soil was allowed to dry during consecutive 7-day periods in the first 8 weeks of growth of *Majestic* tubers, an average of 4 internodes became scabbed during each period, that the later the period the closer was the scabbed region to the apex of the mature tubers, and that the third week after tuber initiation mattered most, because it was then that the tuber internodes that expand most became infected.

Only the 3 tuber internodes nearest the apex (i.e. excluding those which form during the period of dry soil) of actively growing tubers seem susceptible to infection (Table 1 and Lapwood and Hering, 1968). At first, eyes separate from the apical bud every $3\frac{1}{2}$ to 5 days (Fig. 4 and Lapwood and Hering, 1968), so the first of the 3 susceptible internodes must begin forming 10 to 15 days previously. This suggests that the tissue of each internode remains susceptible for 10 to 15 days, possibly because the transition of stomata to lenticels takes this time.

The apex of a tuber is likely to be infected by *S. scabies* so long as the tuber grows, but the later the infection the less the blemishing (Table 1). It is only when the early-formed internodes become scabbed that *Majestic* crops are so extensively blemished that they may be unsaleable. Wet soil prevents scab infection but to be most effective it must occur during the first month of tuber growth when eyes are separating fastest (Fig. 4) and especially when about the first 5 internodes are formed (the period when 4 eyes separate from the apical bud). If 5 internodes need protecting to produce a tuber commercially acceptable, and if each internode remains susceptible for 10 to 15 days, then the soil must still be kept wet for 10 to 15 days after the 5th internode has formed, i.e. until 7 eyes have separated from the apical bud, or a further 3 internodes have formed.

Acknowledgments

We thank Mr J. Topham for help with irrigation and crop management and Mrs G. M. Parkes and Mr A. Weston for assistance.

Zusammenfassung

Bodenfeuchtigkeit und Infektion junger Kartoffelpflanzen durch Streptomyces scabies (gewöhnlicher Schorf)

Kartoffeln der Sorte *Majestic* wurden in flachgründigen, natürlich mit *Streptomyces scabies* versuchten Boden ausgepflanzt. Um den Regen abzuhalten, wurden sie mit einem Glashaus (Holländertyp) abgedeckt. Zur Vermeidung einer Infektion der Knollen wurden die Pflanzen berieselt, ausgenommen während Zeitperioden von jeweils 7 Tagen (unterschiedlich nach Verfahren) im Laufe der ersten acht Wochen des Knollenwachstums von 28. Mai bis 23. Juli (Abb. 1). Das Austrocknen des Bodens zwischen dem 11. und 18. Juni, d.h. in der dritten Woche, nachdem erste Knollenbildung beobachtet wurde, bewirkte die grösste Ausdehnung der zur Zeit der letzten Ernte festgestellten, von Schorf befallenen Fläche der Knollen. Der geringste Befall wurde bei Austrocknen des Bo-

dens in der Zeit zwischen dem 16. und 23. Juli ermittelt (Tabelle 1).

Die befallenen Internodien auf der Knolle wurden nach der Lage des Auges (Nodium) bestimmt (numeriert von der Ansatzstelle des Stolons der phyllotaktischen Spirale entlang, Tabelle 1). Je später die Periode ohne Bewässerung war, um so mehr trat der Schorf bei Internodien auf, die sich näher beim Kronenende befanden (Abb. 2 und 3). Gewöhnlich waren 4–5 Internodien befallen und zeigten später bei jeder Trockenperiode Schorf (Tabelle 1); da aber früh gebildete Internodien weiter auseinanderliegen als später entstandene, wurde durch deren Infektion zwischen dem 11. und 18. Juni der grösste Teil der Knollenoberfläche mit Schorf bedeckt.

Zwei weitere Versuche werden erwähnt, in

denen Knollen, in der dritten Woche nach Beginn der Knollenbildung der Trockenheit ausgesetzt, am stärksten von Schorf befallen wurden. In einem Versuch (in Rothamsted durch D.H.L.) wurde der Knollenentwicklung nachgegangen, indem jede Woche 8 Pflanzen (2 pro Parzelle) geerntet und die durchschnittliche Augenzahl (inklusive Endknospe) sowie Länge und Durchmesser der 5 grössten Knollen pro Pflanze festgestellt wurden. Die Augen entfernten sich während des ersten Monats nach dem Beginn der Knollenbildung am schnellsten von der Endknospe (Abb. 4), aber die Zunahme an Länge und Durchmesser der Knollen war zuerst langsam und am schnellsten zwischen der zweiten und sechsten Woche.

Zuerst trennten sich die Augen von der Endknospe alle $3\frac{1}{2}$ bis 5 Tage (Abb. 4 und Lapwood & Hering, 1968), und da nur die drei der Krone am nächsten liegenden Knolleninternodien

jederzeit für eine Infektion anfällig zu sein scheinen (ausgenommen jene Internodien, die sich während der Trockenperiode entwickeln), muss das erste dieser Internodien 10 bis 15 Tage früher entstehen. Dies weist darauf hin, dass das Gewebe eines jeden Internodiums möglicherweise 10 bis 15 Tage anfällig bleibt, weil die Umwandlung der Stomata in Lentizellen diese Zeit benötigt.

Der grösste Schaden entsteht bei der Infektion der ersten 4 oder 5 Internodien, und da feuchter Boden die Infektion verhütet, muss um 5 Internodien zu schützen (d.h. bis zur Zeit, wo sich 4 Augen von der Endknospe getrennt haben), während 10 bis 15 Tagen nachdem sich das 5. Internodium gebildet hat, d.h. bis sich 7 Augen von der Endknospe abgesetzt oder sich weitere 3 Internodien gebildet haben, eine hohe Bodenfeuchtigkeit aufrecht erhalten werden.

Résumé

Humidité du sol et infection des jeunes tubercules de Pomme de terre par Streptomyces scabies (gale commune)

Des pommes de terre *Majestic* plantées en terrain plat naturellement infecté par *Streptomyces scabies*, dans une serre hollandaise pour éliminer la pluie, sont irriguées par infiltration pour prévenir l'infection des tubercules, sauf pendant des périodes de 7 jours durant les huit premières semaines du développement des tubercules du 28 mai au 23 juillet (Fig. 1). Le dessèchement du sol entre le 11 et le 18 juin, soit la troisième semaine après la formation des premiers tubercules, produit la plus grande surface de gale sur les tubercules observée à l'arrachage final et le dessèchement entre le 16 et le 23 juillet produit la plus faible (Tableau 1).

Les entrenœuds atteints sont identifiés sur le tubercule en fonction des positions des yeux qui les limitent (les yeux sont dénombrés à partir de l'attache sur le stolon le long de la spirale phyllotaxique) (Tableau 1). Plus tardive est la période sans humification, plus concentrés au sommet du tubercule sont les entrenœuds sur lesquels la gale apparaît (Fig. 2 et 3). Habituellement 4 à 5 entrenœuds sont infectés et montrent plus tard de la gale à chaque période de sécheresse (Tableau 1), mais étant donné que les entre-

nœuds les premiers formés se développent davantage que les autres, l'infection de ceux-ci, notamment entre le 11 et 18 juin, produit la plus grande proportion de surface galeuse.

Deux autres expériences sont résumées dans lesquelles les tubercules exposés à la sécheresse pendant la troisième semaine après l'initiation sont les plus sévèrement atteints. Dans un essai (à Rothamsted par D.H.L.), le développement des tubercules est précisé par arrachage de 8 plantes chaque semaine (2 par parcelle) et les déterminations sont faites du nombre de yeux (y compris le bourgeon apical), de la longueur et du diamètre des 5 plus gros tubercules de chaque plante. Les yeux se distancent du bourgeon apical le plus rapidement durant le premier mois après l'initiation (Fig. 4), mais l'accroissement des tubercules en longueur et en diamètre est d'abord lent et devient le plus rapide entre la seconde et la sixième semaine.

En premier lieu les yeux s'éloignent du bourgeon apical à chaque période de $3\frac{1}{2}$ à 5 jours (Fig. 4 et Lapwood et Hering, 1968) et comme seulement les trois entrenœuds les plus proches du sommet semblent être susceptibles à l'infec-

tion à tout moment (à l'exclusion des entrenœuds qui se développent pendant la période de sécheresse), le premier de ces entrenœuds doit commencer à se former 10 à 15 jours plus tôt. Ceci suggère que le tissu de chaque entrenœud reste probablement susceptible pendant 10 à 15 jours pour la raison que la transformation des stomates en lenticelles prend ce délai.

La plupart des blessures proviennent de l'infection des 4 ou 5 premiers entrenœuds et comme

l'humidité du sol prévient l'infection, pour protéger 5 entrenœuds (c'est-à-dire jusqu'au moment où 4 yeux se sont distancés du bourgeon apical), une teneur élevée en humidité du sol doit être maintenue pendant 10 à 15 jours après la formation du 5^e entrenœud, c'est-à-dire jusqu'à ce que 7 yeux se soient distancés du bourgeon apical ou que les 3 entrenœuds ultérieurs se soient formés.

References

- Lapwood, D. H. & Dyson, P. W., 1966. An effect of nitrogen on the formation of potato tubers and the incidence of potato common scab (*Streptomyces scabies*). *Pl. Path.* 15: 9-14.
- Lapwood, D. H. & Hering, T. F., 1968. Infection of potato tubers by common scab (*Streptomyces scabies*) during brief periods when soil is drying. *Eur. Potato J.* 11: 177-187.
- Large, E. C. & Honey, J. K., 1955. Survey of common scab potatoes in Great Britain 1952 and 1953. *Pl. Path.* 4: 1-8.