

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 26 (1935)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Chauffage électrique du sol dans les cultures forcées  
**Autor:** Strobel, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058489>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Consommation d'énergie dans les ménages de 1932 à 1934  
(chiffres valables pour les 3,5 millions d'habitants englobés par l'enquête).

Tableau IV.

Application	Consommation annuelle						Recettes annuelles						Prix moyen du kWh		
	1932		1933		1934		1932		1933		1934		1932	1933	1934
	10 <sup>6</sup> kWh	%	10 <sup>6</sup> kWh	%	10 <sup>6</sup> kWh	%	10 <sup>6</sup> Fr.	%	10 <sup>6</sup> Fr.	%	10 <sup>6</sup> Fr.	%	Rp./kWh	Rp./kWh	Rp./kWh
Cuisinières . . . . .	88,0	16,6	96,0	17,0	105,0	17,6	6,10	7,6	6,50	7,9	7,00	8,3	6,93	6,77	6,67
Chauffe-eau . . . . .	222,0	41,9	240,0	42,6	258,0	43,2	8,55	10,7	9,20	11,2	9,80	11,6	3,85	3,83	3,80
Appareils thermiques	73,6	13,9	77,8	13,8	81,0	13,6	8,84	11,1	9,35	11,4	9,65	11,5	12,00	12,00	11,90
Petits moteurs . . . . .	4,3	0,8	4,6	0,8	5,1	0,8	0,90	1,1	0,93	1,1	1,02	1,2	21,00	20,30	20,00
Lampes . . . . .	142,0	26,8	145,0	25,8	148,0	24,8	55,50	69,5	55,90	68,4	56,60	67,4	39,10	38,60	38,20
Total	529,9	100,0	563,4	100,0	597,1	100,0	79,89	100,0	81,88	100,0	84,07	100,0	15,10	14,55	14,10

Pour terminer, nous tenons à remercier ici tout ceux qui ont contribué à cette étude en remplissant

consciencieusement les questionnaires que nous leur avons adressés.

## Chauffage électrique du sol dans les cultures forcées.

Rapport \*) de C. Strobel, Gruppalto, établi pour la sous-commission de l'ASE et de l'UCS pour les applications thermiques de l'électricité.

(Traduction)

621.364.9 : 631.544.4

Liste des rapports et articles rassemblés par l'ASE au sujet des installations électriques des cultures forcées. Les données relatives au chauffage du sol dans ces installations ont été relevées et résumées dans 4 tableaux. Sur la base de ces données, les dispositifs de chauffage du sol sont discutés brièvement et comparés.

Angabe des Materials, das der SEV über elektrische Treibanlagen gesammelt hat. Die Daten über Bodenheizung im besondern sind daraus entnommen und in vier Tabellen zusammengefasst. Die Bodenheizeinrichtungen werden gestützt auf diese Angaben kurz besprochen und miteinander verglichen.

### Introduction.

On chauffe artificiellement les couches lorsqu'il s'agit d'obtenir des produits aussi précoces que possible, par «forçage». L'application de l'électricité comme source de chaleur est relativement récente dans ce domaine; dans nos régions, les premières installations de ce genre datent de 1927, c'est-à-dire quelques années après les premiers essais entrepris en Scandinavie.

L'Association Suisse des Electriciens (ASE) a rassemblé un nombre considérable de rapports et d'articles provenant des divers pays où l'on applique le chauffage électrique pour les cultures forcées, et dont voici la liste:

- |         |   |
|---------|---|
| No. 1)  |   |
| 1—7     | Forces Motrices de la Suisse Centrale, Lucerne, Rapport à l'ASE sur le chauffage du sol, du 2. III. 1932. |
| 8—17    | Services électriques du Canton de Zurich, Rapport à l'ASE sur le chauffage du sol, du 1. III. 1932.       |
| 18—29   | Forces Motrices Bernoises S. A., Berne, Rapport à l'ASE sur le chauffage du sol, du 6. VII. 1932.         |
| 30 a, b | Ringwald, Bull. ASE, 1925, No. 5 <sup>bis</sup> et 1927, No. 8.   |
| 30 c    | Ringwald, Elektrizitätswertung 1929/30, No. 6.  |
| 30 d    | Ringwald, Bull. ASE 1930, No. 1.  |
| 31      | Bull. ASE 1931, No. 26: Elektrische Heizung von Treibbeeten.  |
| 32 a    | Elektrizität 1933, No. 3: Neue elektrisch beheizte Treibbeetanlagen.                                      |

\*) Ce rapport est destiné à donner provisoirement une vue d'ensemble sur les expériences faites en Suisse et dans d'autres pays dans le domaine du chauffage électrique des couches. Des données plus récentes, rassemblées actuellement par l'ASE, seront publiées dans quelque temps dans une annexe au présent rapport. Les expériences ainsi réunies serviront à l'ASE pour l'établissement de certaines directives concernant les installations électriques des couches et serres.

1) Ces numéros correspondent à ceux qui figurent dans les tableaux.

- |         |   |
|---------|---|
| No.     |   |
| 32 b    | Schweizerische Bauzeitung, 2. IX. 1933: Der Elektrogartenbau an der «Züga».   |
| 33 a, b | Schweizer Elektro-Rundschau 1932, p. 32, et 1933, p. 24/5.  |
| 33 c, d | Schweizer Elektro-Rundschau 1933, numéro de la Züga, p. 74/5, texte d'introduction, et figure p. 61.  |
| 33 e    | Schweizer Elektro-Rundschau 1933, numéro de la Züga, p. 62/3.   |
| 33 f, g | Schweizer Elektro-Rundschau 1933, numéro de la Züga, p. 71—74.  |
| 33 h    | Schweizer Elektro-Rundschau 1934, p. 56/7: Elektrische Treibhauskulturen und Arbeitsbeschaffung.  |
| 34      | Rapport 161 du comité national norvégien à la 2 <sup>e</sup> Conférence Mondiale de l'Energie 1930 (Jacobsen).  |
| 35      | Kungl. Landbruksakademiens Handlingar och Tidskrift, Stockholm 1927: Edholm, The electric hotbed; Odén, Edholm, Lind et Palmgard, Elektriciteten och trädgardsodlingen. |
| 36      | Meddelanden fran Kungl. Vattenfallstyrelsen, Stockholm 15. IX. 1927: Edholm, Den elektriska drivbänken.   |
| 37      | Teknisk Tidskrift 1929, No. 14 et 16: Edholm, Elektrowärmet och trädgardsodlingen.  |
| 38      | Catalogue 61 T de Sieverts Kabelverk, Sundbyberg, Suède.  |
| 39—40   | Elektrizitätswirtschaft 1927, No. 433 (Petri).  |
| 41 a, b | Elektrizitätswirtschaft 1930, No. 522 (Kind).   |
| 42      | Elektrizitätswirtschaft 1931, No. 16 (Kind, Praktische Anwendungsgebiete der El. im Gartenbau).   |
| 43      | Elektrizitätswirtschaft 1930, No. 522 (Reinau, Elektro-Energie im Gartenbau).   |
| 44      | Elektrizitätswirtschaft 1931, No. 16 (Reinau).  |
| 45 a—c  | Elektrizitätswirtschaft 1929, No. 477 (Kühl).   |
| 46—60   | Elektrizitätswirtschaft 1931, No. 16 (Mörtzsch).  |
| 61 a, b | Elektrizitätswirtschaft 1931, No. 16 (Hilmer).  |
| 62—63   | AEG-Mitteilungen, V, 1930 (Riefstahl).  |
| 64      | AEG-Mitteilungen, VI, 1931 (Neubert).   |
| 65      | Voigt, Elektrische Beleuchtung bei der Tomatenzucht, Elektrizitätswirtschaft 1933, No. 9.   |
| 66      | Schneider et Vogl, Künstliche Beleuchtung von Pflanzen, Elektrizitätswirtschaft 1931, No. 16.   |
| 67 a—c  | Elektrizitätswirtschaft 1931, No. 16 (van de Stadt).  |
| 68      | Elektrotechnische Zeitschrift, 24. IV. 1930: Elektrische Frühbeetheizung (mêmes données que 30 c).  |

- No.  
69 a, b, c Elektrotechn. Zeitschrift, 16. X. 1930 (Feldmann).  
70 Elektrizitätsverwertung No. 1, IV. 1931: Erfahrungen mit der elektrischen Bodenheizung in Holland.  
71 Catalogue Gachnang, Zurich (Câbles pour le chauffage des couches).  
72 Thibert, Application de l'électricité au chauffage des couches, Bull. Inform. Propag. 1931, No. 1.  
73 Avenier, Un essai de chauffage de couches, Bull. Inform. Propag. 1932, No. VII—IX.  
74 Stroud, The experimental use of artificial light in connection with the growing of cucumbers in Denmark, Illuminating Engineer 1932, No. V.  
75 The Electrician, 28. IV, 1933 (Beavis).  
76 Zahour, Hot-beds heated by electric lamps, Electric Journal 1932, No. VIII.  
77 Faber, Electric heat quickens plant growth, Electric Journal 1932, No. IX.  
78 Publication du National Rural Electric Project, College Park, Maryland USA; cf. Le Paysan Fribourgeois, 22. XII. 1932: Chauffage électrique des châssis et serres.

Afin de faciliter les recherches, les données les plus importantes concernant le chauffage du sol ont été notées et disposées de façon à pouvoir être complétées au fur et à mesure et comparées aux résultats les plus récents. Les tableaux 1 à 4 ont donc été établis de cette manière; le numérotage de 1 à 78, utilisé dans ces tableaux et dans le texte suivant, se rapporte à la liste ci-dessus.

Sur les nouvelles cultures forcées en Suisse, on n'a que très peu de précisions. En ce qui concerne en particulier le motif principal, c'est-à-dire la différence de prix entre les primeurs et les produits normaux, il est presque impossible d'obtenir des données précises pour notre pays, contrairement à ce qui a lieu dans d'autres contrées<sup>2)</sup>. On sait toutefois qu'à l'époque de l'apparition des produits de pleine terre, les prix n'atteignent généralement sur les marchés qu'une fraction des prix payés peu auparavant pour les produits en question vendus comme primeurs (31, 48, 49, 50 a, 51, 52, 64, 65).

#### Installations de forçage en général.

Dans nos contrées également, le but est avant tout de disposer aussi tôt que possible de *produits de qualité* (61) et semblables aux primeurs d'importation<sup>3)</sup> au point de vue de la qualité uniforme et de la présentation. Il n'est pas possible d'obtenir ce résultat sans le chauffage des couches, car le maintien d'une température déterminée est une nécessité primordiale pour la maturité forcée des cultures (20—22, 39)<sup>4)</sup>.

La chaleur supplémentaire, ainsi que la lumière et les autres moyens indispensables à la croissance, s'appliquent de préférence dans des serres, des couches ou autres installations de ce genre, et l'on obtient ainsi, par rapport aux cultures sans chauffage artificiel:

1° une plus grande indépendance vis-à-vis des conditions climatiques et un moindre danger de mauvaise récolte. On peut ainsi cultiver des plantes qui ne croissent pas dans la région, ou des fleurs d'un prix élevé;

<sup>2)</sup> Cf. Liebe, Die Organisation des Berliner Obst- und Gemüsemarktes, Diss. Berlin, 1930.

<sup>3)</sup> Weibel, Concours de 1931 de l'Ecole d'Horticulture d'Oeschberg; en outre, Liebe, loc. cit.

<sup>4)</sup> Cf. Becker, Handbuch des gesamten Gemüsebaues.

- 2° des récoltes précoces et par suite des prix plus élevés sur le marché, donc des primeurs, asperges, fraises, melons, raisins, ainsi que des fleurs d'avant-saison, telles que les roses, œillets, muquets;  
3° un rendement plus élevé, au point de vue qualité et quantité, par plante et par unité de surface. Possibilité d'une suite de récoltes plus serrée et d'une meilleure utilisation de la surface plantée et des installations, surtout pour les primeurs et les plantes ornementales, vendues en grande quantité sur les marchés.

#### Chauffages en général.

En général, c'est le sol qui est chauffé, l'air au-dessus du sol étant ainsi tempéré; inversement, l'air seul peut être chauffé à proximité du sol (on ne peut obtenir en permanence des températures déterminées pour le sol et l'air qu'en combinant ces deux modes de chauffage, 34—37).

Parmi les installations chauffables, on considère tout d'abord les serres pour légumes, tomates, concombres et fleurs, où l'on peut appliquer le chauffage du sol ou de l'air. Ensuite, les couches forcées à parois en bois ou autre matériel résistant aux intempéries, avec châssis vitrés amovibles; ces couches peuvent être à une ou à deux rangées (35—37, 41). Certaines couches doubles présentent entre les deux rangées une excavation où l'on peut circuler (61). Dans ces couches, on applique également le chauffage du sol ou de l'air. Quant aux châssis plats, dits hollandais<sup>5)</sup>, ils constituent la transition avec les cultures en pleine terre et peuvent être chauffés par le sol, lorsque leur emplacement est suffisamment protégé (37, 70).

Selon la construction et grâce aux châssis vitrés, on est plus ou moins indépendant des conditions atmosphériques. Il va de soi que ces constructions doivent être bien protégées contre les fuites de chaleur et l'inétanchéité, que leur position doit être à l'abri des vents et amplement ensoleillée, et que l'approvisionnement en matières nutritives et en eau doit être assuré.

Il y a lieu de mentionner en outre les moyens suivants qui deviendront peu à peu indispensables: L'éclairage artificiel durant les périodes de faible insolation (30 d, 44, 45 c, 61, 65, 66, 67, 69, 74, 76) et l'enrichissement artificiel de l'air en acide carbonique, un des éléments les plus importants pour la croissance des plantes (33 g, 34—37, 43, 44, 45 c).

En pratique, on rencontre des dispositifs de chauffage de tous genres (41 a, 56, 77). Ainsi, dans les orangeries, le chauffage sert plutôt à la *protection* des plantes et à maintenir une chaleur tempérée; dans d'autres serres, on cultive des plantes élevées ou fortement ramifiées (67 b); ailleurs, on utilise de la chaleur perdue (45 c). Des couches avec chauffage particulier peuvent être logées dans des serres déjà chauffées, de sorte que l'une des sources de chaleur complète l'autre ou la remplace de temps à autre (40, 46, 63, 64). Dans cet aperçu, on peut se borner à trois procédés: La production

<sup>5)</sup> Becker, voir ci-dessus.

Abréviations:  
 e Chauffage électrique du sol  
 a Chauffage électrique de l'air  
 s supplémentaire  
 ChE Chauffage par eau chaude  
 ChV Chauffage par vapeur

C Couche  
 S Serre  
 T Pleine terre  
 f Lit de fumier  
 — pas d'indication  
 ind. indiqué

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

No.	Lieu	Objet de l'examen	m <sup>2</sup> chauffés	Culture de	Récoltes	Jours jusqu'à récolte	Remarques sur les récoltes	Avance Meill. qualité Quant. plus gr. Plus résist.	° C			
									1) Moyenne (graph.)	2) " " 2 <sup>e</sup>	1 <sup>re</sup> mol	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
									à l'ex- térieur	dans le sol	air de couc	
1	Horw	Ce	Petite culture maraîchère	—	—	1927/28	—	—	—	—	—	
2	Horw	Ce	Suite (extension de l'installation) pour comparer à Cf	180	s ép r Primeurs	1928 et suiv.	—	—	..+..	—	—	
3	Meggen	Ce	Culture privée	66	s ép r co m to et hivernage de fleurs	1929 et suiv.	—	—	..+..	—	—	
4	Meggen	Ce	Suite	66	id.	1929 et suiv.	—	—	..+..	—	—	
5	Emmenbrücke	Ce	—	160 ?	—	—	—	—	—	—	—	
6	Vitznau	Ce	Culture maraîchère pour comparer à Cf	120	s ép r Primeurs	Fin 1929	—	—	..+..	—	—	
7	Vitznau	Ce	Culture privée	7,5	—	—	—	—	—	—	—	
8	Affoltern a/A.	Ce	Couche 1. Remplace f	10,5	s	27. 12. 29	—	Sorte impropre	—	1) 4 2) 0	25 24	20 20
9	Affoltern a/A.	Ce	Couche 1. Remplace f Suite	{ 6 3 1,5	s Poireaux Lobélies	{ 24.—31. 3. 30 — —	26—33	—	..+..	{ 1) —1 2) 1	27 27	15 15
10	Affoltern a/A.	Ce	Couche 2. Remplace f	10,5	s	24.—31. 3. 30	26—33	—	..+..	—	—	—
11	Wald (Zurich)	Ce	Remplace f	5,4	s	18. 1. 31	63	pas de têtes	—	—	—	—
12	Wald (Zurich)	Ce	Suite	5,4	s	4. 4. 31	45	malgré neige	..+..	—	—	—
13	Wald (Zurich)	Ce	Suite	5,4	s	3. 5. 31	27	malgré mauvais temps	..+..	—	—	—
14	Affoltern a/A.	Ce	Couche 1 (Suite v. plus haut)	10,5	s	31. 3. 31	43	malgré neige	..+..	1) —3 2) —2	19 20	9 11
15	Affoltern a/A.	Ce	Couche 2 (Suite v. plus haut)	10,5	s	31. 3. 31	43	malgré neige	..+..	—	—	—
16	Affoltern a/A.	Ce	Couche 1 (Suite v. plus haut)	10,5	s	30. 4. 31	29	malgré mauvais temps	..+..	1) 4 2) 6	15 16	11 12
17	Affoltern a/A.	Ce	Couche 2 (Suite v. plus haut)	10,5	s	30. 4.—8. 5. 31	29—37	malgré mauvais temps	..+..	—	—	—
18	Würzbrunnen	Ce	Couche 1. Essais sur l'accumulation de chaleur	9	s	10. 4. 29	49	avec plus de terre: 42 jours = obtenue à temps normal	—	1) —4 2) —1	21 15	—
19	Würzbrunnen	Ce	Couche 2. Essais sur l'accumulation de chaleur	9	s	10. 4. 29	49	id.	—	1) —4 2) —1	21 15	—
20	Oeschberg	Ce	Couche 1	12,5	s ?	2. 30	—	—	—	—2 —4 —10	12	{ 5 2 —2
21	Oeschberg	Ce + a	Couche 1, complétée par a; pour comparer à Cf	12,5	s r	1. 4. 31	42	comme Cf	..+..	0 -5 (-6) -10 -15	12	{ 10 — 10 8— 7
22	Oeschberg	Ce Cf	Couche 2 Couche 3 Essais parallèles	14 —	{ s ex s ex	{ 30. 4. 32 10. 5. 8. 5. 32 18. 5.	{ 36 146 44 54	8 jours plus tôt que Cf	++ ++	—	—	—
23	Bremgarten (Berne)	Ce	2 parties de couche	27,5	r	31. 1.—15. 2. 32	80	par récolte	..+..	—	—	—
24	Bremgarten (Berne)	Ce	1 partie de couche	14	s	—	—	arrêté pour d'autres raisons	—	—	—	—
25	Bremgarten (Berne)	Ce	1 partie de couche	14	er	1 <sup>re</sup> récolte: 29. 11. 31	17	par récolte	..+..	—	—	—
26	Bremgarten (Berne)	Ce	1 partie de couche; pour comparer à Cf	14	Ciboulette	Récoltes: 3. 12.—30. 3. 32	21	par récolte; mieux que Cf	..+..	—	—	—
27	Bremgarten (Berne)	Ce	2 parties de couche	27,5	Géraniums en pots	Printemps 1932	—	mieux que dans serre	..+..	—	—	—
28	Bremgarten (Berne)	Ce	1 partie de couche	14	Pétunias Safrans	Printemps 1932	—	—	..+..	—	—	—

Nuit (tarif de nuit) s Salades  
 Amortissement ép Epinards  
 Intérêts r Radis  
 Entretien to Tomates  
 Cresson co Concombres  
 Choux-raves m Melons

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

Tableau 1.

A disposition: courant alternatif)	Dispositifs électriques	Puissance installée		Consommation		Rendement économique et remarques diverses RM en frs. s. à 1.25 Couronnes " " " à 1.40 Fr. français " " " à 0.20
		W	W/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup> par jour	
XI	XII	XIII		XIV		XV
—	—	—		—		—
h N { 3 cts/kWh en été 5 en hiver	Transformateur. Fil de chauffe nu 36 V, logé dans du bousin	25 000	130 à 200 v. à droite	4 trimestres 1931: } 0,8		200 W/m <sup>2</sup> semblent être trop élevés. Un chauffage de l'air n'est pas nécessaire.
h N { 3 cts/kWh en été 5 en hiver		7 000		4 trimestres 1930: } 0,9		
h N { 3 cts/kWh en été 5 en hiver		7 000		4 trimestres 1931: }		
—		—		—		
comme pour 2—4	comme pour 2—4	?		—		
240 V N	Câble de chauffe 240 V, dans gravier sous tubes terre cuite	1720		—		Cette installation est moins chère que celles ci-dessus à ten- sion peu élevée.
250 V N	Câble de chauffe 250 V, 70 m, 0,6 Ω/m; interrupt. horaire seul.	1500		—		
250 V N	Câble de chauffe 250 V, 70 m, 0,6 Ω/m; interrupt. horaire seul.	1500		tot. 280		
250 V N	1) Câble de chauffe 250 V, 83 m, 0,6 Ω/m 2) Câble de chauffe 250 V, 67 m, 0,9 Ω/m	2300 1) 2) parallèles 1250 1) seul 1050 2) seul 570 1) 2) en série		tot. 280		
220 V N	Câble de chauffe 220 V, 37 m, 1,8 Ω/m; interrupt. horaire seul.	730		315		
220 V N	Câble de chauffe 220 V, 37 m, 1,8 Ω/m; interrupt. horaire seul.	730		270		Installation: 25 à 30 fr./m <sup>2</sup> , pourrait être meilleur marché. Le chauffage électrique des couches peut concurrencer les autres systèmes.
220 V N		730		78		
250 V N	comme pour 8	1500		325		
250 V N	comme pour 10	comme pour 10		300		
250 V N	comme pour 8	1500		75		
250 V N	comme pour 10	comme pour 10		127		
250 V, 9 h N à 5 cts/kWh	Transformateur. Fil de chauffe nu 50 V, dans bousin; interrupt. horaire seulement	1000	110	395, pour 42 jours	1,04	Une tension peu élevée n'entre pas en ligne de compte. Des arrêts exceptionnels de chauffage ne gênent pas (arrêt de 32 h essayé). ~ 1 kWh/m <sup>2</sup> /jour et 8 h N suffit.
250 V, 9 h N à 5 cts/kWh	Spirales de chauffe nues 250 V, dans tubes terre cuite; inter- rupteur horaire seulement	1000	110	350	0,92	Rendement économique (rem- placement de f) est exclu pour une seule récolte, mais possible avec 3 récoltes, p. ex. melons. Calcul des frais d'exploitation avec A + Intérêts + Entretien, total env. 9,6 %.
220 V, 8 h N	Fil de chauffe nu 220 V, dans tubes terre cuite	1500		par jour fr. 0.50		
220 V, 8 h N	Fil de chauffe nu dans tubes terre cuite, éléments de chauffe pour l'air dans tubes acier, 220 V, services indépendants	1500 + 1200, v. à droite		par jour fr. 0.55		Température trop basse, sur- tout celle de l'air, pour 20. Le chauffage de l'air, pour 21, donnait trop de chaleur, tandis que celui du sol était trop faible. Bien que 22 ait donné de meil- leurs résultats que 20—21, il de- vrait y avoir 3 récoltes.
220 V, 8 h N	Deux câbles de chauffe 220 V, 47 m	1030 } max. 1030 } 2060	max. 146	340	0,67	
50 V N (parfois de pour au tarif haut)	Câbles de chauffe 250 V dans tubes terre cuite (2 câbles par partie de couche)	2100 + 2100	153	1250		~ 1 kWh/m <sup>2</sup> /jour pour 8 h N suffit. Installation complète fr. 37.50 par m <sup>2</sup> . Une réduction est possible. Les données pour 18—19 sur le rendement économique sont également valables dans ce cas.
		2100	153	—		
		2100	153	100 pour 1 <sup>re</sup> récolte		
		2100	153	150 pour 1 <sup>re</sup> récolte 866 au total		
		2100 + 2100	153	—		
		2100	153	—		

Abréviations: C Couche  
e Chauffage électrique du sol S Serre  
a Chauffage électrique de l'air T Pleine terre  
s supplémentaire f Lit de fumier  
ChE Chauffage par eau chaude — pas d'indicatio  
ChV Chauffage par vapeur ind. indiqué

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

No.	Lieu	Objet de l'examen	m <sup>2</sup> chauffés	Culture de	Récoltes	jours jusqu'à récolte	Remarques sur les récoltes	Avance Meill. qualité Quant. plus gr. Plus résist.	° C			
									1) Moyenne (graph.)	2) " " 1 <sup>re</sup> m <sup>2</sup>	2 <sup>me</sup> " "	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
29	Bremgarten (Berne)	Ce	Toutes les 5 parties de couche	68,5	—	—	—	—	—	—	—	—
30c	4 installations dans le réseau des Forces Motrices de la Suisse Centrale	Ce	4 installations, v. à gauche et en général pour comparer à Cf		s, ép, herbes, co, m et hivernage (contre le gel).	Printemps 1928	—	.. + ..	N 0 J 10	Jusqu'à 20	Jusqu'à 15	
30d		Ce	En général		id.			.. + ..		Jusqu'à 20	Jusqu'à 15	
31	en général	Ce + a Se s Sa	En général, détails sur câbles de chauffe du sol et de l'air, sur isolation du sol, sur vente des primeurs					+++				
32a	en général	Ce	En général; ind. installation de Heuried	800				.. + ..				
32b	«Züga» 1933	div.	Exposition d'installations modèles									
33a	en général	Se	En général; ind. Se comparé à ChE									
b	en général	Se	En général; ind. Se comparé à ChE et ChV									
c	«Züga» 1933	div.	Comme 32 b									
d	en général	Se	En général; ind. installation de Küssnacht	3000								
e	en général		En général									
f	en général		En général; ind. petites inst. p. raccord. à instal. intérieures									
g	en général		En génér.; ind. amenée d'acide carbon.					+				
h	en général		En général									
34	Installations en Norvège	Ce + a Se Te	En général; détails sur chauffage électrique du sol et de l'air, surtout des couches	div.	Ce: Légumes tous genres: to; m et co (meill. récolte) Se: id. Te: Oign., etc.			+		diverses données		
35	Installations en Suède	Ce + a Se Te	En général; détails sur chauffage électrique du sol et de l'air, surtout des couches	div.	Légumes tous genres, co, fraises, plantes orn. Te: Pommes de terre, to, co.			+		diverses données		
36	Installations en Suède	Ce + a Se Te	En général: détails sur id. et la question de l'acide carbonique Ind.: Hässelby, etc.	div.						diverses données		
37	Installations en Suède	Ce + a Se Te	En général; détails comme pour 36. Ind.: Hässelby avec 2000 m <sup>2</sup> . Ind.: Installations avec données sur période de froid. Ind.: Essais en T avec to, co, pommes de terre, fleurs.	div.						diverses données (v. gauche)		
38	en général		En général; Câbles de chauffe du sol et de l'air et données; appareillage et couplages pour = et ~	—								
39	Stettin	Ce + a	pour comparer à Cf	10,5	s, graines de r	15. 3. 27				{ Tableaux détaillés: 15, trop bas }		
40	Stettin	s Se	½ (pour comparer à Cf) av. chauff. du sol	2x18	co	16. 3. 27				{ Tableaux détaillés: ~ 28   ~ 21 }		



Abréviations: C Couche  
e Chauffage électrique du sol S Serre  
a Chauffage électrique de l'air T Pleine terre  
s supplémentaire f Lit de fumier  
ChE Chauffage par eau chaude — pas d'indicati  
ChV Chauffage par vapeur ind. indiqué

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

No.	Lieu	Objet de l'examen	m <sup>2</sup> chauffés	Culture de	Récoltes	Jours jusqu'à récolte	Remarques sur les récoltes	Avance Meill. qualité Quant. plus gr. Plus résist.	° C		
									1) Moyenne	2) " " 1 <sup>re</sup> mol	2 <sup>e</sup> " "
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
41a	Installations en Allemagne	Ce	En général; Pour comparer à Cf et au ChV du sol	—			en général: meilleures que f	..+..			
41b	Installations en Allemagne	Ce	Ind.: Ce de 16 m <sup>2</sup> (diagrammes de consommation et températures)			Printemps 1929					
44			En gén.; sur énergie absorbée p.l. plantes et sur l'éclair. électr. ainsi que la question acide carbonique								
45a	Helmstedt	Ce	En général; détails sur chauff. du sol, pour remplacer Cf (voir aussi 62)	6				..+..		62 indique diverse températures ind. 18	
45b	de 62	Ce	Détermination de la consomm. min. pour comp. à Cf (les valeurs entre parenthèses sont calculées)	8						62 indique diverse températures	
45c	Schöningen	s Se	Suppl. à chauffage par chaleur perdue; donn. en partie de 46. Ind.: div. installat. conc. amenée de CO <sub>2</sub> et éclairage électr.	2x50	co			très bonnes	..+..		
46	Installations en Allemagne	div.	En gén.; sur chauff. du sol et de l'air et exemples 47-60. Calcul détaillé des frais. Traite de 40, 41, 43, 45 c, 64, 70 et du chauffage des locaux d'hivernage								
47	en général	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance: Stuttgart et Francfort s/M.	—	Asparagus plum. ex, co						
48	Kirchwärder	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance. Comparaison avec Cf	—	s				++		
49	Fünfhausen	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance. Comparer avec Cf	—	co				++		
50a	Pirna	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance. Comparer avec Cf	—	s co				++		
50b	Pirna	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance (par Sächs. Werke A.-G.)	—					+++		
51	Francfort-Teller	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance	—	s				+		
52		Ce	Ind.: Augmentation de la croiss. (par EW Schlesien et Schles. El.- u. Gas A.-G., à Gleiwitz).	—	s				+		
53	Strehlen	Ce	Ind.: Augmentation de la croissance	—	s				+		
54	Gröba	Ce	{ Frais inst. électr.: } { fr. 9.20 par m <sup>2</sup> }	109							
	Halle	Ce	{ Frais inst. électr.: } { fr. 13.70 par m <sup>2</sup> }	67							
	Glückstadt	Ce	{ Frais inst. électr.: } { fr. 13.70 par m <sup>2</sup> }	35							
	Dresde	Ce	{ Frais inst. électr.: } { fr. 10.— par m <sup>2</sup> } (Ces chiffres peuvent être encore réduits)	46							
55	Dresde	Ce	Pour comparer à Cf	—							
56	Berlin	s Se	Pour comparer à S (sans chauff. du sol) pour compléter ChV de l'air	2x22	Roses	de 23. 9. 29 à 31. 7. 30 de 1. 9. 30 à 1. 6. 31				5 de plus	16 ÷
57	Brême	—	Champignonnière à chauff. él. p. comp. à champ. sans chauff.	2x2,5	Semis de champignons	20. 1. 31 à 15. 3. 31	35-88	en avance	+		

Nuit (tarif de nuit)	s	Salades
Amortissement	ép	Epinards
Intérêts	r	Radis
Entretien	to	Tomates
Cresson	co	Concombres
Choux-raves	m	Melons

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

Tableau 3.

A disposition: courant alternatif)	Dispositifs électriques	Puissance installée		Consommation		Rendement économique et remarques diverses RM en frs. s. à 1.25 Couronnes „ „ „ à 1.40 Fr. français „ „ „ à 0.20
		W	W/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup> par jour	
XI	XII	XIII		XIV		XV
220—380 V, 8 h N	Câble de chauffe du sol et exemples de dimensionnement selon méthodes graphiques. 24—30 W/m, si disposé dans l'air, dans des tubes ou dans la terre.	125 + 25 à 35 pour réserve		50 Wh/m <sup>2</sup> , ° C d'élévation de température et chauffage permanent donnent 1 kWh/m <sup>2</sup>		Détails sur construction et couplages. Diagrammes de températures à l'enveloppe du câble et dans la terre pour divers écarts des câbles et charges W/m. Exemples gén. de calculs. Inst. à 10—12.50 fr./m <sup>2</sup> . A 20 %. Equivalence 100 kWh et 1 m <sup>3</sup> f. Equivalence 7½ cts/kWh.
				1 kWh/m <sup>2</sup>		
4 h	Chauffage de l'air par lampes à filaments métalliques (1000 lux) de l'installation d'éclairage.			0,7		En général 50 Wh/m <sup>2</sup> , jour, ° C d'élévation de température (varient selon le vent, l'époque, les conditions des couches).
220 V, 4 h N	Câble de chauffe du sol, 50 m.	1100 au lieu de 1500 auraient suffi		1		Equivalence 10 cts/kWh.
3½ h 5 h seraient préférables)	Câble de chauffe du sol, 50 m.			0,7 (0,85 serait préférable)		
	8 câbles de chauffe du sol, à 48 m.	¼ de 2 × 4000, resp. 80, aurait suffi		0,18		
voir 41	Câble de chauffe du sol, voir 41.	En gén.: 125 + 25 W/m <sup>2</sup> pour sécurité		50 Wh/m <sup>2</sup> , ° C d'élévation de température et chauffage permanent = 1,25 kWh/m <sup>2</sup> = 1,0 kWh/m <sup>2</sup> (selon 50 b) pour 25, resp. 20° d'élévation de température.		L'auteur attend de meill. résultats à la suite d'autres essais. Avec Ce: Equivalence 5,6 cts par kWh; 7,5 selon indications du jardinier. A (câbles) 25 %. A (reste) 10 %. Installation en Allemagne, en moyenne 11,70 fr./m <sup>2</sup> . Chauffage de l'air pas nécess. Un manque d'acide carbon. est comp. de préfér. par ailleurs. Chauffage compl. de bâtiments n'est économique qu'avec prix de courant très faible.
	—					
	—					
	—					
	—					
	—					
	—					
	—					
	—					
	—					
						voir à gauche.
						Equivalence 7½ cts/kWh.
selon les besoins	2 câbles de chauffe du sol, à 60 m.	2 × 800	35	8400 + 9200	0,6 à 0,7 =	Elevé, car dimensionné pour couches à faible isolement.
		2 × 250	100		0,2	Installation (câbles) 4.40 fr./m <sup>2</sup> .

Abréviations:  
 e Chauffage électrique du sol  
 a Chauffage électrique de l'air  
 s supplémentaire  
 ChE Chauffage par eau chaude  
 ChV Chauffage par vapeur

C Couche  
 S Serre  
 T Pleine terre  
 f Lit de fumier  
 — pas d'indicat  
 ind. indiqué

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

No.	Lieu	Objet de l'examen	m <sup>2</sup> chauffés	Culture de	Récoltes	Jours jusqu'à récolte	Remarques sur les récoltes	Avance Meill. qualité Quant. plus gr. Plus résist.	° C		
									1) Moyenne (graph.)	1 <sup>re</sup> moi	2 <sup>e</sup> "
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
58	Eiche près Potsdam	Te	Indication des frais de courant par kg	250	Asperges	—	—		—		
59	Dresde	—	a pour éviter le gel des caisses d'hivernage	138	—	—	—		—	pas de ge	
60	Dresde	—	id. des locaux d'hivernage isolés de tous côtés. Ind. en outre: Complément du ChE de l'air.	1600	—	—	—		—20	pas de ge	
61a	Tapiau	1Ce+a et une hollandaise e+a	Pour comparer parallèlement avec une couche et une hollandaise, identique, mais avec f	42+42	ép Ind.: s. Ciboulette Choux-fleurs Cyclamens	Prin- temps { 1930 1931		..+..	1) -4 2) 5	19 17	8 11
61b	Tapiau		Ind.: Résultats de l'éclairage						du diagramme:		
62	en général	Ce Ce	{ En gén. sur câbles de chauffe du sol Ind.: 45 a, b								
63	en général	Se	Pour comparer à f		co, fleurs		Fleurs à racines plus rob.	..+..			
64	Siegmar	s Se	¼ avec chauffage él. du sol pour compl. ChE de l'air	$\frac{1000}{4} = 250$	s, graines de r puis to, ex.	20. 2. 31	65	+	0	16,5	10
67a	Naaldwijk (Pays-Bas)	Ce+a Ce Ce + f Cf	Pour comparer les 4 procédés	$\begin{matrix} 4 \times 16 \\ 4 \times 16 \\ 4 \times 16 \\ 16 \end{matrix}$	co	Printemps 1930		..+.. ..+.. ..+..			
67b	Westland (Pays-Bas)	Sa	Protection contre le gel	4x225	Raisins toute l'année	par exemple: printemps 1931					4 et plu:
67c	Naaldwijk (Pays-Bas)	Sa	Protection contre le gel	1000							
69b	Westland (Pays-Bas)	Sa	Protection contre le gel	1240			satisfaisantes				
69c		C comme 67a	En génér. sur câbles de chauffe du sol et de l'air p. rempl. f. Ind.: 67 a			en général: 1929/30					
70	Heemstede (Pays-Bas)	Te	Pour comparer: Rempl. de ChE	10000	Accélération du dessèchement des oignons de fleurs			..+..			
71	en général		En génér. sur câbles de chauffe du sol et de l'air, av. données et ex. pour dimens. Ind.: Instal. holland.								
72	Installation en France	Te + f	Couverture de fumier et chauffage du sol pour comp. à f seul	2x8	Endives à maturité	en hiver	15		4÷6	14	—
73	Installation en France	Ce	Pour comparer parallèlement à Cf	10	s, raves	1. 4. 32	51	en avance	..+..	15	
75	Petites inst. en Angleterre	Ce	En gén. p. comp. à couches non-chauff.	ind. 3							
76	Petites inst. en Angleterre	Ca	Avec lampes électr. pour comparer à Cf	2,2	Div. graines pour semis	15. 4. 32	47	..+..			
77	Connellsville	s S	Av. corps de chauffe; p. rempl. f ds. un bât. chauffé p. fourneau	6,2	Div. graines pour semis	10. 9. 32	46 (+ 46 serie ult.)	meilleures racines	..+..		
78	Installations aux E.-U.	Ce Se	En gén. sur chauffage du sol.	—							

Nuit (tarif de nuit) s Salades  
 Amortissement ép Epinards  
 Intérêts r Radis  
 Entretien to Tomates  
 Cresson co Concombres  
 Choux-raves m Melons

## Données concernant des couches à chauffage électrique installées.

Tableau 4.

A disposition: courant alternatif)	Dispositifs électriques	Puissance installée		Consommation		Rendement économique et remarques diverses RM en frs. s. à 1.25 Couronnes „ „ „ à 1.40 Fr. français „ „ „ à 0.20
		W	W/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup> par jour	
XI	XII	XIII		XIV		XV
	Rubans de chauffe «Wendler»	—	—	—		
	Corps de chauffe pour l'air, comme dans les églises, 250 W/m	8 × 250	15			
	—	—	—	0,014		Frais de courant 2/3 de la consommation de charbon p. ChE. Intéressant contre le gel dans ces locaux à 7 1/2—25 cts/kWh (3 3/4—7 1/2 pour serres froides). Chauffage complet de serres n'est économique qu'avec prix de courant très bas.
max. 10 h N	Câbles de chauffe du sol dans tubes terre cuite + câbles de chauffe de l'air aux deux bords extérieurs des couches	tot. 10 400 + 2600 124 + 31		{ Février 1,5 Mars 0,8 Avril 1,0		En gén.: Sans autre chauffage, f est trop incertain p. grandes serres. Recommande produits de qualité extra. récoltes plus rapprochées hiver/printemps. Chauffage de l'air pour climats rudes et plantes élevées seulement. Le développement naturel d'acide carbon. est suffisant. Equivalence 7 1/2—10 cts/kWh, avec récoltes plus rapprochées. Cultures en serres froides sont économiques avec chauffage él.
	Câbles de chauffe du sol.			en général s Se ~ 0,2		
220 V, 5—10 h N	11 Câbles de chauffe du sol, à 50 m, 30 W/m	16 500	65	(0,6 ÷ 0,3) ≅ 0,5		Calculs détaillés des frais pour une et plusieurs récoltes. A 10 %.
voir plus bas	Installat. de transform. 100 kW: Câbles de chauffe du sol et de l'air Câbles de chauffe du sol Câbles de chauffe du sol + f Seulement f					En gén. sur essais d'éclairage et sur les persp. des chauffages él. (en tenant compte du climat spécial des Pays-Bas). En gén.: Economie de courant par isolement latéral des couches 20—30 %.
4 et 8 h N	4 × { 8 câbles de chauffe de l'air au-dess. du sol ≅ 1040 m, 8 câbles de chauffe de l'air à mi-hauteur ≅ 1040 m, 4 câbles de chauffe de l'air tout en haut ≅ 530 m.	4 × 4500		4 × 5300		En général: Peut être plus économique que ChE pendant les périodes de transition. En général: Le chauffage complet des serres n'est pas économique avec les tarifs habituels élevés pour le courant.
	2 × 4 câbles de chauffe de l'air au-dessus du sol, en 2 groupes	2 × 25 000 (dont 20 000 superflus)				Economique malgré 12—18 cts par kWh.
	Câbles de chauffe de l'air peu au-dessus du sol, en 2 groupes	2 × 24 000				Economique.
9 h N		150 ÷ 180 + 60 ÷ 100				
10 V charge pendant la journée impossible	Installation de transformateurs 2 × 200 kVA. Câbles de chauffe du sol démontables, 17 W/m, dans tubes terre cuite, à env. 30 cm de profondeur et 40 cm d'écartement	367 200	37	Par jour 0,1 kWh/m <sup>2</sup> , ° C d'élévation de température		Déclaré économique, bien que seulement pendant quelques semaines en service, et que le prix de l'énergie fût élevé. Installation, environ 1/4 de l'ancien ChE.
127, 220, 380 V	Câbles de chauffe du sol et de l'air	(5 W/m <sup>2</sup> , ° C d'élévation de température)		1,5 kWh/m <sup>2</sup> , ~ 15° C d'élévation de température		
Δ 380 V	Tubes de chauffe «Sauter», commutables Δ/Y	7500 max.		~ 45		
220 V, 9 h N	3 câbles de chauffe du sol, à 27 m	1800		1		Installation 38 fr./m <sup>2</sup> . A 20 %. Equivalence avec 3 récoltes: 0,8 cts/kWh.
En génér. = ou ~ jusqu'à 240 V	En général: Câbles de chauffe du sol			Ind.: Essais avec 1,6 ÷ 3,2		
	8 lampes électriques	200		15		Equivalence 30 cts/kWh.
110 V	Corps de chauffe mobiles sous les tablettes	3 × 300		350		
	Câbles de chauffe du sol. Evtl. corps de ch. sous les tabl. d. S			Couche 1,2 Serre 0,6 ÷ 1,2		

de chaleur par la décomposition de lits de fumier frais, le chauffage par circulation d'eau chaude ou de vapeur et le chauffage électrique. Ce dernier système permet de réaliser complètement les trois points mentionnés à la fin du chapitre précédent et présente en outre les divers avantages décrits plus loin. Il peut donc remplacer les deux autres systèmes<sup>6)</sup> (sauf pour le chauffage permanent des serres, 31, 37, 46, 60, 67 b).

Sans être absolument complètes, les matières relevées dans ce rapport sur le *chauffage électrique* renferment un nombre suffisant de données sur les chauffages des serres, des couches et en pleine terre (dans les tableaux, S = Serre, C = Couche et T = en pleine terre), permettant d'appuyer par des constatations précises les caractéristiques indiquées ici d'une manière générale.

Les dispositifs de chauffage électrique sont utilisés fréquemment et avec beaucoup d'avantages dans le cas des couches, généralement comme chauffage du sol en remplacement des lits de fumier (f), ainsi que comme chauffage combiné du sol et de l'air (voir tableaux, colonne III: Ce, resp. Ce + a). Ces dispositifs se rencontrent également parfois dans le cas des cultures en pleine terre, comme chauffage du sol, ainsi que dans le cas de serres chauffées encore par un autre système, comme le chauffage électrique supplémentaire du sol (sSe).

On peut chauffer exclusivement à l'électricité les serres pendant les périodes de transition et dans des cas spéciaux (Se, 31, 33, 34—37, 67, 68). Le chauffage électrique de l'air seul s'applique par exemple dans les locaux d'hivernage (59, 60), ainsi

<sup>6)</sup> Nous rappellerons brièvement leurs caractéristiques:

L'application de *lits de fumier* était le mode le plus pratiqué dans les contrées campagnardes et avant que les automobiles aient supplanté les animaux de trait. Le fumier est tassé au fond (et parfois sur le côté) avant de mettre le terreau; il chauffe ainsi les couches voisines et assure un plus grand développement d'acide carbonique.

Au début, la température monte jusqu'à 45° C environ, ce qui est désirable pour dégeler la terre vers la fin de l'hiver. Cette température s'abaisse toutefois assez rapidement, de sorte qu'il est parfois nécessaire de renouveler les lits de fumier. Quand il s'agit d'une durée de forçage de deux mois au début du printemps, quand l'insolation et la température extérieure augmentent et compensent la diminution de la chaleur de décomposition, on peut ainsi obtenir des légumes précoces, 1 à 2 semaines avant l'époque normale.

Ce procédé est intéressant lorsqu'il est facile de se procurer des quantités appréciables de fumier pouvant être réutilisé, et que l'on se contente d'un forçage printanier. La courbe de température des couches va en effet en diminuant, de sorte qu'un forçage en d'autres saisons ne donne pas d'aussi bons résultats, car la courbe de la température extérieure a une autre allure.

Ses désavantages sont les suivants:

En hiver, il est de plus en plus difficile de se procurer à bon marché du fumier de cheval frais, surtout à proximité des villes (30 d, 41, 45, 46, 62).

L'emploi de ce procédé est limité à une brève période et est presque impossible en plein air avant le mois de février, à cause du gel (34, 62).

Le travail exigé pour la mise en place et l'enlèvement du lit de fumier et de la terre est très considérable; en outre, ce procédé exige une surveillance spéciale, pour l'aération, la couverture, le renouvellement du lit de fumier; il est salissant et occasionne une plus grande usure du matériel (43, 46).

L'effet thermique n'est pas réglable; il est empirique et ne se laisse localiser que dans une faible mesure. Si la tem-

que dans les serres hollandaises (67 c, 69), pour éviter le gel, ici parfois sous forme de chauffage supplémentaire (S<sub>a</sub>, resp. sS<sub>a</sub>).

### Construction des couches à chauffage électrique.

Le chauffage électrique s'adapte, sans nécessiter un accroissement de la hauteur du terreau, aux installations de forçage des types habituels et de matériaux courants. Les couches chauffées électriquement ne se salissant et ne s'usant que très peu, les parois peuvent être en matériaux résistants aux intempéries — l'étanchéité est meilleure et l'installation se monte mieux — et des couches calorifuges peuvent être disposées latéralement dans le sol (37, 41 a, 67 a), voire même horizontalement lorsque cet écran n'est pas trop cher par rapport à l'économie d'énergie (37, 46, 62) ou qu'il n'est pas nuisible aux plantes (31, 67).

Pour établir une couche à chauffage électrique, on procède le plus simplement comme suit: Sur la terre du fond, on aménage tout d'abord une couche poreuse, mais conduisant mal la chaleur, puis on place les conducteurs de chauffe dans un lit de sable ou dans des tubes, et enfin le terreau (31, 41). Avec des tubes en terre cuite, on peut obtenir simultanément une bonne protection contre les avaries d'ordre mécanique, la possibilité de changer un jeu de conducteurs pendant le service et une circulation d'air réglable (23—28, 37, 41, 70, 71). Les conducteurs pour le chauffage de l'air sont montés librement sur des galets ou autres (31, 34 à 37, 41, 61, 67 b, c, 69). En pleine terre, les câbles

perforés augmentent fortement, il faut donc les réduire en aérant (danger de courants d'air). Le manque de chaleur doit être compensé par une couverture (suppression de l'insolation), si l'on veut éviter un renouvellement du lit de fumier. La récolte, qui doit être disponible peu avant le début de la vente des produits normaux, peut être facilement retardée par suite d'un temps défavorable et exiger même un nouveau lit de fumier, d'où ventes à des prix moins intéressants (61, 73).

Une trop grande humidité peut aisément s'établir dans le sol; l'acide carbonique se produit également en trop grande quantité (43).

Le chauffage par *circulation d'eau chaude ou de vapeur* s'appuie sur la pratique des grandes serres, où c'est généralement l'air qui est réchauffé (Becker, voir plus haut); dans les couches forcées, ce système n'est pas souvent appliqué (41, 73). On a même tenté d'introduire directement la vapeur dans le sol (36, 41). Le chauffage par circulation s'utilise avec avantage lorsqu'il s'agit de chauffer longtemps et en permanence des grandes serres, et lorsque l'on dispose d'un combustible bon marché ou de chaleur perdue (45). Ce procédé présente les désavantages suivants (41, 64, 70):

Installation fixe d'un prix élevé; frais considérables en cas de transformations ou d'extensions.

Transports de combustible et déchets; parfois chauffage de nuit.

Entretien compliqué des chaudières, tuyauteries, etc. Danger de gel des conduites d'eau.

Une mise en service rapide n'est pas toujours possible, par exemple lors du danger de gel, de même le réglage rapide de la chaleur pendant le service, d'où chaleur perdue pendant le jour aux époques de transition et par temps clair. Les tuyauteries sont moins chaudes aux extrémités qu'à l'entrée.

Avec la circulation de vapeur, l'air et la terre se dessèchent rapidement. Avec l'injection de vapeur, il peut facilement se produire trop d'eau de condensation dans le sol; les fenêtres se couvrent de buée et dégouttent.

de chauffe sont logés près des racines et à une profondeur suffisante (37, 70).

#### Jardinage avec couches à chauffage électrique.

A côté des nombreuses installations dont la surface n'est pas très grande (colonne V), il s'en trouve quelques-unes dont l'importance est plus considérable (32, 33 d, 60, 67 b, c, 69, 70). Les espèces forcées à l'électricité sont à peu près les mêmes que celles forcées par les autres modes de chauffage: la colonne VI mentionne la plupart des produits que l'on cultive également dans les autres forçages (Becker, voir plus haut).

Là où l'on a observé dans les saisons correspondantes (colonnes VII et VIII) une durée de croissance réellement plus brève, une amélioration de la qualité, un rendement plus élevé, une réduction des déchets (déformations ou parasites, 61) par rapport aux anciens procédés, la colonne IX porte la mention + + + + (un résultat généralement satisfaisant est signalé par · · + · ·). Il faut mentionner également le fait que le chauffage électrique permet d'obtenir 2 à 3 récoltes pendant la saison d'hiver (22, 36, 62, 64, 73) et de maintenir également les couches en service pendant le reste de l'année avec des frais très réduits (36, 61).

#### Production de la chaleur dans les couches à chauffage électrique.

Toutes les températures habituelles exigées pour l'exploitation des cultures forcées pour le sol et l'air peuvent être maintenues; elles varient entre 15 et 25° C (colonne X). Les spécialistes savent exactement quelle est la température nécessaire pour telle plante et à telle époque (Becker, voir plus haut). Une baisse de quelques degrés arrête la croissance (20, 21, 39); une température par trop élevée provoque des déformations et une augmentation des parasites (21).

Des essais entrepris à plusieurs reprises dans des couches à chauffage électrique ont prouvé que le chauffage peut être interrompu (par exemple pendant la journée, en raison des tarifs d'énergie) sans désavantages, grâce à une bonne accumulation de la chaleur dans le sol (18, 19, 31, 41, 46, 73).

En cas de chauffage combiné du sol et de l'air ou de chauffage de l'air seulement, l'échauffement du sol exige une consommation d'énergie beaucoup plus considérable qu'en cas de chauffage du sol seulement (34—37). Le chauffage supplémentaire de l'air dans les couches forcées n'est d'ailleurs généralement prévu que comme réserve contre les grands froids et dans le cas de plantes élevées (31, 46, 61), sauf toutefois dans les installations des pays nordiques. Il ne faut pas oublier que là où l'on utilise l'éclairage supplémentaire des cultures par lampes à filament métallique, la chaleur dégagée par ces lampes constitue un chauffage supplémentaire de l'air (35, 44, 76).

Dans notre région, la consommation de chaleur journalière pour une couche forcée (colonne XIV, chiffres de droite) est d'environ 50 Wh par m<sup>2</sup> de surface et par °C de surélévation de température

(41, 46). Ainsi, lorsque la température du sol doit passer de 0 à 20° C, la consommation journalière sera d'environ 1 kWh par m<sup>2</sup> (18, 19, 23—28, 41, 45 a, 46, 61, 73), cette chaleur pouvant être appliquée pendant les heures de nuit, grâce à la capacité calorifique de la couche forcée. Dans la plupart des cas, on a tablé sur cette valeur; cette valeur est plus faible (2—4, 22, 30, 45 b) ou au contraire plus élevée (46, 61), lorsque les différences de température sont respectivement plus faibles ou plus fortes. La différence qui se présente au printemps est d'environ 20° C; on doit éventuellement tenir compte de différences plus considérables, vents, autres pertes accrues (56), en augmentant en conséquence la valeur ci-dessus.

Pendant la belle saison et dans les serres, la consommation d'énergie sera plus faible, tandis qu'elle sera plus forte en plein champ. En Scandinavie, les chiffres de consommation observés sont sensiblement plus élevés que chez nous. Dans les pays nordiques, le chauffage de l'air est indispensable, car l'air extérieur peut atteindre des températures beaucoup plus basses (34—37).

Le courant utilisé provient presque toujours d'un réseau de distribution à 220—250 volts et le chauffage a lieu pendant la nuit à des tarifs réduits (colonnes XI et XII). Dans les études générales sur les couches à chauffage électrique (34, 31, 62, et en détail sur les installations de Suède, 35—37), on indique diverses dispositions pour la répartition et le réglage de l'énergie. On préfère en général les systèmes permettant de procéder aux couplages près des couches elles-mêmes, c'est-à-dire qu'en plus des raccords entre l'amenée de courant et les conducteurs de chauffe, on prévoit également près des couches des interrupteurs et des coupe-circuit, et non pas seulement sur un tableau central (34, 41, 61, 62).

Là où l'on désire réduire les frais d'installation, la durée de chauffage peut être fixée à volonté ou à l'aide d'un interrupteur horaire à certaines heures déterminées (8, 9, 11—13, 18, 19); dans les installations comportant des conducteurs de chauffe en parallèle, le réglage a lieu par enclenchement et déclenchement des diverses sections, par exemple automatiquement à l'aide de limiteurs de température (41, 45, 62, 67). Un réglage automatique assurant une répartition régulière de la chaleur dans la couche peut être obtenu par le couplage des conducteurs de chauffe par groupes en série et en parallèle, le réglage des différentes allures de chauffe étant alors commandé par thermostats (35—37).

Depuis 1926, on utilise des câbles de chauffe pour tensions usuelles, au lieu des conducteurs nus placés directement dans le sol, comme cela se faisait au début, et qui exigeaient, à cause de la faible tension de 25 à 36 volts, des transformateurs renchérisant l'installation (2—4, 6, 18, 30, 34—37). Les tensions de 380 et 500 volts, ainsi que le courant continu, ne sont pas exclus (30 c, 31, 32 a, 35, 38, 41, 71, 75). Dans le cas de courant triphasé avec neutre mis à la terre, l'installation est particulière-

ment simple, car l'enveloppe en plomb sert de conducteur de retour (38, 70) <sup>7)</sup>.

La disposition des câbles en boucles parallèles se présente très fréquemment dans les figures. Ces boucles, disposées à des distances d'environ 20 cm par exemple, assurent une répartition régulière de la chaleur dans le terreau (41). Un câble de longueur normale de 50 m suffit ainsi pour une surface de 10 m<sup>2</sup>. Chargé à 25 W par mètre courant, il apporte 125 W par m<sup>2</sup> dans le sol, ce qui correspond bien à l'énergie moyenne de 1 kWh par m<sup>2</sup> pour une durée de chauffage de 8 heures par jour. Dans les moyennes et grandes installations, il est donc tout indiqué de brancher deux ou plusieurs câbles de longueur normale dans la même couche et de les mettre sous tension, groupés de diverses manières comme indiqué précédemment, de façon que la puissance totale ou seulement une partie de celle-ci puisse être, autant que possible, débitée à volonté par tous les câbles simultanément. On trouve à divers endroits des exemples de calcul; dans les études générales (34, 37, 62), des couplages sont indiqués en vue de répartir la chaleur aussi régulièrement que possible dans toute la couche à chaque échelon de réglage.

Pour les couches chauffées en moyenne pendant 8 heures de nuit, les puissances raccordées (colonne XIII) varient entre 110 et 160 W/m<sup>2</sup> (2—6, 18—29, 30, 33 f, 36, 41, 46). Lorsque le chauffage du sol est complété par un chauffage de l'air, il y a lieu d'augmenter ces chiffres de 15 à 50 % (37, 61, 69). Lorsque le chauffage du sol ne doit compenser que des différences de température plus faibles que les différences habituelles, comme c'est le cas dans les serres chauffées également par un autre système, les puissances nécessaires sont beaucoup plus faibles (40, 45 c, 56, 64). Dans le cas du chauffage de l'air seul et dans le cas de cultures en pleine terre, la puissance raccordée dépend complètement du but à atteindre (35, 59, 70).

Les conducteurs de chauffe doivent répondre à des exigences spéciales au point de vue de leur résistance à la corrosion et aux actions d'ordre mécanique (31, 34—38, 70, 71). Les câbles de chauffe normaux sont en principe tous du même genre, sous forme de câbles à enveloppe de plomb comportant un conducteur de chauffe en nickeline isolé à l'amiante et au papier.

Pour les câbles logés directement dans la terre, la charge par mètre courant s'estime à 30 W/m, ainsi que les essais l'ont montré (41). Lorsque les câbles se trouvent dans des tubes ou dans l'air calme (chauffage de l'air), la capacité de charge se réduit à 20—25 W/m (34—38, 41, 70, 71). L'installation et les mises à la terre doivent être très soigneusement exécutées (31, 34—37, 41, 70). Enfin, la disposition doit être simple, pour que les frais d'installation restent dans les limites acceptables.

<sup>7)</sup> En Suisse, selon le § 16 des Prescriptions de l'ASE relatives aux installations électriques intérieures, il est interdit d'utiliser l'enveloppe de plomb comme conducteur de retour.

### Rendement économique et avantages des couches à chauffage électrique (Colonne XV).

Dans notre pays, les frais d'installation pour toute la partie électrique atteignent environ 15 francs par m<sup>2</sup> de surface des couches (8—17, 30 c, 31). Dans les milieux maraîchers (8—17, 20), on s'attendait à un chiffre beaucoup moins élevé (34 à 37, 41, 46, 54) en se basant probablement sur les données et les exécutions de l'étranger, comportant une amenée d'énergie tout à fait simple. Il sera certainement possible de trouver des solutions acceptables à ce point de vue, car jusqu'ici il s'agit soit d'exécutions individuelles (8—17, 23—28). Le réglage automatique souvent désiré devrait être mentionné séparément dans les devis, sauf dans le cas des grandes installations (23—28).

Les calculs des frais d'exploitation sont souvent basés sur des chiffres très différents en ce qui concerne le taux de l'amortissement et des intérêts (18—19, 30, 31, 34—36, 41, 46, 64, 73). Dans d'autres cas, il manque également des données sur l'entretien et le prix de l'énergie. Par contre, on calcule souvent le prix du kWh pour lequel le chauffage électrique est équivalent au chauffage par l'ancien procédé, généralement celui à lits de fumier (chiffres équivalents, voir 30, 31, 33, 35—37, 39, 40, 41, 45, 46, 50, 55, 60—62, 73, 76).

Il faut toutefois remarquer que les frais d'énergie ne constituent qu'une faible partie des frais d'exploitation (2—4, 18—21, 31, 46) et que la plupart de ces calculs sont basés sur des comparaisons qui ne tiennent compte que de l'époque du printemps relativement au procédé par lits de fumier. Or, le nombre des récoltes annuelles qui peuvent être obtenues avec les couches chauffées électriquement a une grande importance. Selon les rares calculs comparatifs (18—28, 64) qui tiennent compte de ce fait, le *procédé de chauffage électrique est supérieur à l'ancien procédé au point de vue économique*. Cette supériorité est d'ailleurs prouvée également dans certaines applications spéciales (61, 67, 69, 70). Dans toutes les études figurant dans ce rapport et menées à bonne fin, le procédé électrique est considéré comme étant au moins capable de soutenir la concurrence (8—28, 39, 61). En outre, on a constaté par rapport aux autres systèmes (voir note 6) les avantages suivants, qui ne peuvent généralement pas être évalués par des chiffres:

*Travail et surveillance moins considérables*, construction plus durable qu'avec le système à lits de fumier; exploitation plus propre.

*Service très commode*: Commande depuis un endroit quelconque; mise en service immédiate. Grande sûreté en cas de service automatique. Aucun danger de gel. Contrôle facile et correct de la consommation.

Réglage aisé à la main ou automatique à des températures basses ou élevées; la quantité de chaleur désirée pour le sol ou l'air peut être réglée avec précision (adaptation aux conditions atmosphériques et aux exigences des plantes). Il en résulte le *maximum de récolte dans le délai le plus bref* ou à une époque déterminée. Possibilité d'étudier et de mettre en valeur les combinaisons de toutes les conditions donnant les meilleurs résultats pour la croissance.

Les récoltes peuvent être déplacées à différentes saisons, permettant ainsi une adaptation immédiate à l'état des mar-

chés, aux fêtes, aux changements de mode, aux importations.

Exploitation durant toute l'année: jusqu'à 3 récoltes en hiver, forçage des melons en été par exemple, protection contre le gel des cultures et produits tardifs à la fin de l'automne et en hiver, avec possibilité d'un forçage subséquent.

Des surplus d'énergie imprévus pendant l'hiver ou d'autres occasions de fourniture de courant peuvent être immédiatement utilisés. Il est plus facile de brancher des accumulateurs d'eau chaude servant par exemple à tempérer l'eau d'arrosage (32 a, 35—37).

Risques de mauvaises récoltes réduits à un minimum; très intéressant pour les petites exploitations. Les cultures qui exigent le maintien d'une température déterminée pendant une longue durée peuvent être entreprises sous châssis, au lieu de l'être dans des serres d'un prix élevé.

Le montage dans des installations existantes et les extensions sont faciles à exécuter. Les conducteurs de chauffe peuvent être prévus pour leur enlèvement, leur révision, leur pose à d'autres endroits (70).

Aucun excès d'humidité dans le sol, d'acide carbonique et d'ammoniaque, ce qui n'oblige pas de prévoir une ventilation à des moments inopportuns. Si la couche à chauffage électrique ne donne pas suffisamment d'acide carbonique, il est facile d'en produire par ailleurs les quantités exactement nécessaires (33 g, 43, 46).

Outre ces avantages de jardinage, les avantages généraux suivants sont également en faveur des cultures forcées à chauffage électrique:

Diminution des importations. Nouvelles possibilités d'occupation dans le pays. Amélioration de la production; ceci également là où l'exploitation du sol n'offre que peu de chances de succès (petites surfaces dans les villes, terrains de drainage, endroits élevés).

On peut disposer à toute époque de produits parfaits au point de vue hygiénique, plus appétissants que certaines qualités importées, car mieux venus à maturité.

La production utilise l'énergie caractéristique de notre pays de houille blanche, toujours disponible.

Cette énergie reste constante durant toute la nuit, présente un bon facteur de puissance et s'utilise dans les cas favorables pendant toute l'année. Les couches forcées à chauffage électrique sont des consommateurs peu sensibles, grâce à leur capacité d'accumulation thermique.

Les centrales ont ainsi la possibilité de mieux utiliser leurs installations et même d'obtenir de nouveaux débouchés. Cette application de l'électricité pourrait faire comprendre à certains milieux que l'électricité est chez nous un produit national et également un précieux auxiliaire.

On peut conclure que les couches chauffées à l'électricité deviendront de plus en plus nombreuses, car les opposants ne contestent que le prix de l'énergie et de l'installation. Dès que des solutions parfaites existeront, cette application de l'électricité s'étendra rapidement dans les exploitations appropriées.

## Einige Methoden und Resultate moderner Mikrozeitmessung.

Vortrag, gehalten am 27. Mai 1935 in der Physikalischen Gesellschaft Zürich,  
von K. Berger, Zürich.

531.761 : 621.317.755

*Der Vortragende beschreibt einige Methoden der modernen Mikrozeitmessung. Dabei wird unterschieden zwischen der ausschliesslichen Bestimmung kurzer Zeitdauern als Selbstzweck und der impliziten Zeitmessung bei der Ausmessung rasch verlaufender Vorgänge (Zeitfunktionen). Bei den zweiten Methoden wird als universelles Messinstrument («Zeit-Mikroskop») der Kathodenstrahl-Oszillograph beschrieben. Die Mikrozeitmessung der zweiten Art erlaubt das Eindringen der Erkenntnis in Zeiträume bis herunter zu  $10^{-7}$  bis  $10^{-8}$  s für all jene Naturereignisse, die sich formgetreu in elektrische Spannungen umformen lassen. Sie lässt dabei erkennen, dass im physikalischen Naturgeschehen, besonders bei den elektrischen Erscheinungen, die Wellenvorgänge eine grosse Rolle spielen. Einige technisch bedeutsame Wirkungen elektrischer Leitungsstellen werden beschrieben und durch einige Mikrozeit-Oszillogramme belegt.*

*L'orateur décrit quelques méthodes modernes de mesure «microscopique» du temps. Il distingue entre la détermination proprement dite de brefs intervalles de temps et le relevé de phénomènes rapides (fonctions du temps). C'est l'oscillographe cathodique qui sert d'instrument universel («microscope de temps») pour ce dernier genre de mesures, permettant d'explorer des intervalles de l'ordre de  $10^{-7}$  à  $10^{-8}$  seconde pour tous les phénomènes qui se laissent traduire fidèlement sous forme de tensions électriques. Ces observations montrent que les processus ondulatoires jouent un grand rôle dans les phénomènes physiques naturels, notamment dans les phénomènes électriques. L'orateur décrit enfin à l'aide d'oscillogrammes quelques effets importants d'ondes électriques le long des lignes aériennes.*

### I. Zeitmessung.

Von Mikrozeitmessung, d. h. Messung kleiner Zeiten, kann man in zweifachem Sinne sprechen. Man kann darunter zunächst die Bestimmung kurzer Zeitdauern verstehen; diese Aufgabe ist lediglich eine Aufgabe der Zeitmessung. Im weiteren Sinne aber erstrebt die Mikrozeitmessung nicht nur die Messung eines irgendwie definierten Zeitintervalles, sondern die Registrierung irgendwelcher rascher Aenderungen einer Grösse als Ordinate über der Zeit als Abszisse. Es ist nicht möglich, die Fülle von Methoden und Resultaten der neuern Mikrozeitmessung in einem einzigen Vortrag erschöpfend zu besprechen; man muss sich auf einige Beispiele beschränken und daher jene bevorzugen, die besondere technische Bedeutung erlangt haben.

Zunächst soll das erste Problem kurz gestreift werden, um dann etwas ausführlicher das zweite Problem zu behandeln, das technisch ungleich wichtiger und interessanter ist.

Wenn man heute von Zeitmessung spricht, so geschieht dies seit dem Bekanntwerden der speziellen Relativitätstheorie mit mehr Bescheidenheit als früher. Man gibt sich keine Mühe mehr im Suchen einer absoluten Zeit; man nimmt den Zeitbegriff rein relativ hin, wie er der Erfahrung des Sonnenumlaufes, der Jahre, Monate und Tage entspricht. Wissenschaftliches Interesse hat vor allem die genaue und unbedingt konstante Unterteilung dieser uns von der Natur vorgezeichneten Intervalle. Diese Unterteilung beginnt mit der Erfindung der Pendeluhr von Huyghens im Jahre 1657; sie nimmt ihren Weg über die Federuhren (1660), Chronometer und Stoppuhren und erlaubt heute die Abstopfung von Zeitintervallen bis herunter zu  $\frac{1}{100}$  s mit einer Präzision bis ca.  $\frac{1}{1000}$  s. Zur Messung kürzerer Zeiten bedient man sich sehr mannigfacher, dem jeweiligen Zweck entsprechender Methoden der Zeitdauer-messung. Drei Gruppen, nämlich mechanische, elektrische und optische Zeitmessung seien angeführt.