

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 63 (1937)
Heft: 11

Artikel: Terrassement des lacs d'accumulation
Autor: Mathys, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-48450>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

long du courant, est valable avec une très bonne approximation. Ces expériences concernent, il est vrai, deux cas extrêmes de cette équation : celui d'un débit croissant, produit par un apport latéral dont la composante u^* parallèle au courant principal est égale à zéro, et celui d'un débit décroissant, produit par un prélèvement latéral dont la vitesse a une composante u^* sensiblement égale à la vitesse moyenne U de l'eau dans le canal. Mais si nous tenons compte des résultats de nos expériences pour un avant-projet des évacuateurs de crues du Boulder-Dam, dont une partie a été publiée, expériences où le courant était à débit croissant, avec apport latéral d'un seul côté et composante u^* comprise entre zéro et U^1 , tout nous porte à croire que *l'équation (3) est bien la loi qui régit, dans toute leur généralité, les mouvements gradalement variés de l'eau dans les canaux découverts à débit variable.*

En outre, nos expériences confirment la loi suivante : *un déversoir, où l'eau arrive avec une vitesse faisant, en plan, un angle sensible avec la normale à la paroi le délimitant, se comporte, au point de vue du débit, comme un déversoir ordinaire où cet angle est nul.* Cette loi n'est applicable que lorsque la hauteur de la nappe déversante est très petite par rapport à la longueur du déversoir et à la profondeur de l'eau dans le canal.

Ces conclusions donnent à l'ingénieur un moyen utile pour la résolution de toute une classe de problèmes.

Remarques : I. Dans un intéressant article, M. le professeur de Marchi a développé une théorie du mouvement de l'eau dans les canaux à débit variable, mais valable seulement dans le cas d'un prélèvement latéral². Cette théorie est fondée sur une hypothèse purement arbitraire. Elle revient à admettre que, dans le secteur où le débit varie, la pente de la ligne d'énergie est parallèle à celle du fond du canal. Il est facile de voir que la théorie de M. de Marchi revient à notre équation particulière (6), mais dans laquelle le terme dû à la rugosité des parois aurait une valeur qui dépend de la pente du fond du canal. Par exemple, dans le cas où cette pente est nulle, ce terme devrait être nul également. Or nos expériences, faites avec un canal de pente nulle, montrent précisément que le terme dû à la rugosité des parois est loin d'avoir une valeur nulle.

II. M. Velatta a donné récemment une formule, purement empirique, pour le calcul des mouvements à débit décroissant, basée sur une série d'expériences faites au laboratoire de Padoue³. Cette formule, si intéressante soit-elle, ne rend à notre avis qu'imparfaitement compte du phénomène. En effet, les points représentant les expériences de M. Velatta couvrent une surface très large de son diagramme principal (Fig. c). Ces points s'écartent en général sensiblement de la droite représentant les valeurs calculées d'après sa seconde équation fondamentale, qui ne peut donc représenter le phénomène que très grossièrement.

Si M. Velatta, comme il le dit à la page 10 de son mémoire, n'a pas trouvé, en comparant notre théorie à ses expériences, une concordance satisfaisante, cela nous

semble dû au fait qu'il s'est contenté de repérer la surface de l'eau en un nombre de points beaucoup trop faible. Les valeurs isolées qu'il indique pour ses niveaux sont alors influencées par les irrégularités locales dont nous avons parlé, ce qui explique les énormes perturbations de ses résultats. Pour se rendre compte du caractère exact du phénomène, il nous paraît indispensable de dessiner les profils en long de la surface, ce qui nécessite un très grand nombre de pointés¹.

III. Pour ne pas augmenter la longueur de ce mémoire, nous avons dû renoncer à publier les nombreuses mesures des vitesses au tube de Pitot que nous avons faites au cours des expériences. Pour la même raison, il nous a fallu renoncer à faire une description systématique des profils en travers de la surface de l'eau, qui ont d'ailleurs accusé des perturbations locales moins fortes que les profils en long.

Zurich, le 17 novembre 1936.

Erratum : *Bulletin technique* du 10 avril 1937, page 96, équations (3) et 3 bis, remplacer S_m par S_m^2 .

Terrassement des lacs d'accumulation

par G. MATHYS, ingénieur, à Bâle.

D'une note récente, parue ici-même², il résulte que, pour assurer d'une façon certaine la continuité de la fourniture d'énergie électrique suisse en hiver, nous devrons équiper de nouvelles usines à accumulation, sans trop tarder. Nous allons examiner tout d'abord à quel prix maximum il eût fallu réaliser les terrassements de quelques-unes de nos retenues pour concurrencer la construction de barrages. Nous établirons ensuite le prix auquel reviendrait le terrassement d'une retenue bien définie exécuté à l'aide de différents engins modernes et pour finir nous étudierons la possibilité d'effectuer de tels terrassements à l'eau sous pression.

Pour une retenue, formée en partie par l'élévation d'un mur barrage et en partie par excavation, la limite du prix unitaire du terrassement peut être établie comme suit si on néglige le fait que l'eau accumulée par excavation agira sur les turbines d'une hauteur un peu moindre que celle accumulée en surélevant le barrage.

Soit :

O , le volume utile de la retenue sans terrassement, exprimé en m^3 ;

V , le volume du terrassement à établir, en m^3 ;

e , le prix unitaire de ce terrassement, en Fr. par m^3 ;

k , le nombre de kWh produits en moyenne par 1 m^3 d'eau accumulée ;

D , le capital de premier établissement de l'installation totale, sans le terrassement ;

C , les dépenses annuelles par Fr. de capital de premier établissement ;

¹ Ajoutons que le canal étudié était à forte pente et à profil variable.
² GIULIO DE MARCHI : *Saggio di teoria del funzionamento degli Stramazzi laterali*. Energia Elettrica, novembre 1934.

³ MASSIMO VELATTA : *Contributo sperimentale allo studio degli sfioratori laterali*. Energia Elettrica, Luglio 1934.

¹ Ajoutons, pour compléter, qu'une étude expérimentale sur les mouvements de l'eau à débit décroissant a été faite récemment à Vienne par M. Ehrenberger qui l'a publiée dans la revue « Die Wasserwirtschaft », N° 11-15, 1934.

² *Bulletin technique* du 8 mai 1937, page 124.

K , le nombre de kWh d'été produits, supposé le même dans les deux cas, les kWh étant comptés à Fr. 0,01 ;

A , les apports d'eau du bassin versant pendant l'hiver, en m³.

Le prix P du kWh d'hiver sans terrassement sera

$$P = \frac{D \cdot C - K \cdot 0,01}{(0 + A) k}$$

Après le terrassement, le prix du kWh d'hiver serait

$$P_1 = \frac{(D + V \cdot e) C - K \cdot 0,01}{(0 + V + A) k}$$

Le terrassement serait plus avantageux que le barrage si P_1 était plus petit que P . En égalant les deux expressions P et P_1 , on obtient $e = \frac{P_k}{C}$, prix-limite au-dessus duquel il y aurait désavantage à recourir au terrassement. En calculant la valeur de cette expression pour quelques-uns de nos barrages suisses, nous trouvons :

1. Barberine	Fr. 1,77 le m ³
2. Etzel	» 0,52 »
3. Grimsel, Handeck seul	» 0,57 »
4. Ritom	» 0,70 »
5. Dixence	» 1,22 »

En Suisse, les prix des terrassements ont toujours dépassé de beaucoup ces chiffres, ce qui tient probablement à ce que l'occasion d'exécuter de grands terrassements ne se présentait guère et que nous n'étions pas équipés pour cela, mais en Allemagne de tels prix étaient courants avant la guerre. Si, depuis lors, les salaires ont augmenté, les engins ont, en revanche, subi des améliorations considérables et la majoration de production a supplié à l'augmentation du prix de la main-d'œuvre. D'un compte rendu récent¹, il ressort qu'aux Etats-Unis, les prix de revient de grands terrassements varient entre 12 et 15 cents le m³, ce qui, avant la dévaluation du franc suisse, correspondait à 40 à 50 centimes le m³. Il va de soi qu'il n'est pas possible de tirer de ces rapprochements des conclusions définitives au sujet des prix qui nous intéressent, car trop d'éléments disparates entrent dans leur composition.

Ce sont d'une part :

I. *Les dépenses annuelles*, qui comprennent : 1. les amortissements; 2. les frais d'installation, transport, montage, démontage, etc.; 3. *Les manutentions et réparations*; 4. *Les intérêts des capitaux engagés*.

II. *Les dépenses journalières*, telles que : 1. salaires de la main-d'œuvre et du personnel, frais d'assurance, etc.; 2. combustible, charbon, mazout, électricité; 3. graissage et entretien; 4. éclairage des chantiers.

III. *Les frais généraux de l'entreprise*.

IV. *Les prévisions pour divers et imprévus*.

V. *Le bénéfice*.

D'autre part, le nombre de mètres cubes qu'il est possible de réaliser en moyenne.

¹ «Der Bauingenieur» Nr. 31/32, du 7 août 1936. Neuere amerikanische Geräte für Erdgewinnung und Erdbewegung, Prof. H. Simons.

Cette simple nomenclature permet au lecteur de se rendre compte que chaque terrassement présente un cas particulier et que, pour en calculer le prix unitaire, il faut en connaître tous les éléments, en particulier : la nature du terrain à enlever, qui influence considérablement le rendement des engins; les dimensions approximatives de la fouille à creuser; la distance à laquelle les terres doivent être transportées; les dimensions approximatives de la décharge; le temps dont on disposera pour l'exécution; les salaires de la main-d'œuvre et les prix des matériaux et du courant électrique.

Au point de vue de leur excavation, on peut distinguer deux sortes de retenues : celles que nous appellerons du premier type, de forme allongée à bords escarpés, sur lesquels on ne saurait déposer de déblais et dont le fond est en général formé de gros graviers parsemés de galets plus ou moins volumineux, à transporter à l'aval de l'emplacement du barrage (Dixence, Barberine, Grimsel, etc.); celles que nous appellerons du deuxième type, de forme quelconque à rivages plats, sur lesquels on pourrait déposer les déblais et qui renferment en général des alluvions plutôt ténues (Etzel).

Nous avons supposé qu'il s'agirait dans le premier cas d'une retenue formée de gros graviers et de sable renfermant des galets dont le diamètre ne dépasse pas 30 cm, que la fouille à établir aurait une largeur moyenne de 500 m, une longueur de 4 km et une profondeur de 15 m répondant à un volume de 30 millions de m³ et que la décharge de 1000 m de long serait située à l'aval du barrage à établir. Dans le deuxième cas, nous admettons une fouille de même forme à creuser dans la tourbe, le sable et le limon, dont les déblais pourraient être déposés sur les bords mêmes de la retenue, sur une largeur de 150 m ou plus. Nous supposons en outre que dans les deux cas, on disposerait de 4 ans pour exécuter les travaux.

Les productions horaires effectives des pelles et excavateurs à godets ont été déduites des productions théoriques sur la base d'expériences faites sur de nombreux chantiers. Nous avons admis un amortissement annuel moyen des engins, rails, etc., de 12,5 % et un taux d'intérêt du capital engagé de 6 %. Les réparations annuelles ont été comptées à raison de 5 % du capital de premier établissement et les salaires horaires supposés de

Fr. 1,20 pour le manœuvre, le serre-frein et le chauffeur;

» 1,80 pour le chef d'équipe,

» 2,— pour le conducteur de locomotive,

» 3,— pour le conducteur d'excavateur.

Nous avons admis un prix de Fr. 7,— % kgs de briquettes rendues à pied d'œuvre et Fr. 0,05 le kWh d'énergie électrique d'été. Les salaires ont été majorés de 20 % pour assurances, dépenses de l'entreprise pour baraquements, cantine, etc., et les frais généraux, y compris l'éclairage des chantiers, supposés de 5 % de l'ensemble. Nous avons prévu 5 % pour divers et imprévu, les chiffres de production adoptés comportant déjà une certaine réserve. Enfin, nous avons supposé un bénéfice de 8 %

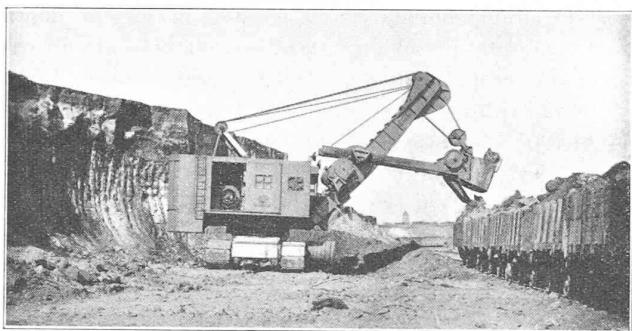


Fig. 1. — Pelle Menck et Hambrock, modèle « Md » de 1,9 m³ de contenance, équipée électriquement.

(Photographie de Menck et Hambrock.)

sur l'ensemble de chaque prix de revient. A l'altitude ordinaire des retenues alpines, il ne faut pas compter pouvoir travailler plus de 175 jours par an en moyenne. Quel que soit le système d'excavateur envisagé, nous avons admis 21 heures de travail productif par journée de 24 heures, les ouvriers étant payés pendant 24 heures, soit en trois équipes de 8 heures.

Nous avons établi les prix de revient sur la base d'offres fermes de fabricants. Les locomotives et les wagonnets sont supposés d'origine suisse et les excavateurs d'origine allemande. Le mark a été compté à Fr. 1,75, plus les frais de douane. Le but de la présente note étant de comparer les prix de revient entre eux, nous supposerons que les différentes machines dont nous envisageons l'emploi sont connues du lecteur.

Pelle mécanique.

La pelle mécanique n'entre en ligne de compte que pour une retenue du premier type. Nous avons prévu l'emploi de 12 pelles de 2,6 m³ de contenance de Menck et Hambrock équipées électriquement (fig. 1). Des wagonnets de 8 m³ de contenance sur voie de 90 cm, remorqués par des locomotives à vapeur de 180 ch dont le travail serait facilité par l'emploi de charrues ripeuses. Le terrassement d'une retenue du premier type exécuté à l'aide de pelles mécaniques reviendrait à

Dépenses annuelles	Fr. 0,47	type E II	Fr. 0,33
Salaires de la main-d'œuvre	» 0,24	» 0,18	» 0,14
Matériaux, courant électrique	» 0,17	» 0,07	» 0,07
Frais généraux, divers et imprévu, bénéfice	» 0,12	» 0,10	
Total	Fr. 1,05 p. m ³	Fr. 0,70	Fr. 0,63

Excavateur à godets.

L'excavateur à godets (fig. 2) ne pourrait pas, non plus être utilisé pour une retenue du deuxième typé, parce que comme la pelle, il exerce une pression trop forte sur le sous-sol. Pour le terrassement d'une retenue du premier type, nous avons admis que l'excavateur, les locomotives, les ripeuses et les charrees-ripeuses seraient équipés électriquement, car, à l'encontre de la pelle, l'excavateur à godets ne risque pas de court-circuiter la ligne de contact des locomotives. Il faudrait soit 8 excavateurs du

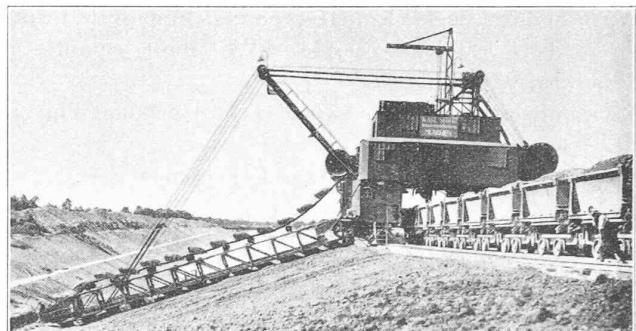


Fig. 2. — Excavateur à godets de Lübeck, type « E II », équipé électriquement.

(Photographie de la Fabrique de machines de Lübeck.)

type E II à production horaire théorique de 510 m³, soit 4 excavateurs du type ND I à production horaire théorique de 900 m³, tous deux de la fabrique de machines de Lübeck. Le prix de revient du m³ de terrassement s'établirait comme suit :

	type E II	type ND I
Dépenses annuelles	Fr. 0,33	Fr. 0,32
Salaires de la main-d'œuvre	» 0,18	» 0,14
Matériaux, courant électrique	» 0,07	» 0,07
Frais généraux, divers et imprévu, bénéfice	» 0,12	» 0,10
Total	Fr. 0,70	Fr. 0,63

Ce résultat confirme un fait, prouvé par les expériences de chantier, qu'il est, en général, préférable d'utiliser des engins aussi grands que le permet l'importance des terrassements à réaliser.

Dragline ou benne à câble.

Les draglines allemands ne sont pas équipés de bras aussi longs que les draglines américains. Les deux draglines à bras de 42 m de long qui ont été utilisés aux travaux du canal de Kembs étaient du type Bucyrus (fig. 3). On pourrait placer deux de ces engins l'un derrière l'autre et on arriverait, de cette façon, à réaliser une fouille d'environ 100 m de largeur et à déposer les déblais sur la rive. A l'aide de draglines, on pourrait établir une tranchée

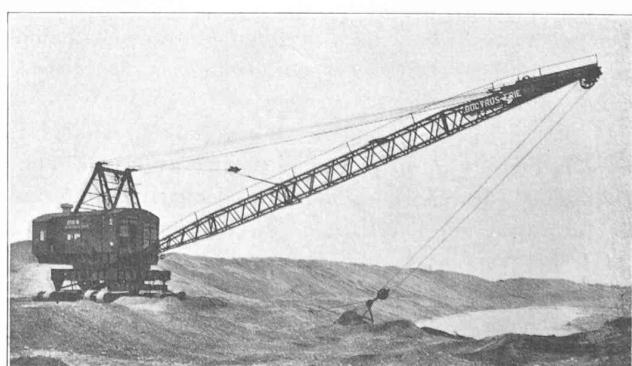


Fig. 3. — Grand Dragline électrique aux travaux du canal d'aménée de Kembs.

(Photographie de l'Energie électrique du Rhin.)

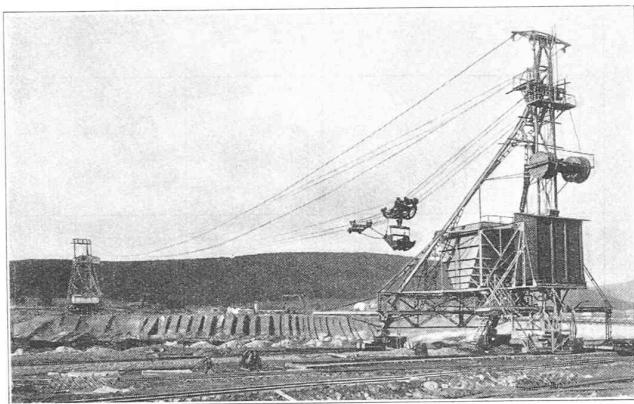


Fig. 4. — Téléférage à benne monté sur rails.
(Photographie de la Maison Bleichert.)

tout autour d'une retenue étroite du deuxième type, mais ces engins ne se prêtent pas à exécuter le terrassement d'une retenue du premier type.

Le prix de revient s'établirait comme suit :

Dépenses annuelles	Fr. 0,21
Salaires de la main-d'œuvre »	0,11
Matériaux, courant électrique »	0,19
Frais généraux, divers et imprévu, bénéfice.	» 0,10
Total	Fr. 0,61/m ³

Téléférage à benne.

Le téléférage à benne (fig. 4) ne pourrait être utilisé que pour une retenue du deuxième type. Il faudrait 10 téléférages de 420 m de portée à bennes de 8 à 12 m³ de contenance. Les téléférages se déplaçant sur rails fondés sur pilotis, disposés dans le sens longitudinal de la retenue, seraient répartis en deux groupes. Tous les téléférages utiliseront un rail commun placé dans l'axe de la retenue et soit un rail sur la rive gauche, soit un rail sur la rive droite. Les déblais seraient enlevés du milieu de la retenue vers les bords et déposés sur ceux-ci.

Le prix de revient du terrassement serait :

Dépenses annuelles	Fr. 0,46
Salaires de la main-d'œuvre »	0,06
Courant électrique, graissage. . . . »	0,05
Frais généraux, divers et imprévu, bénéfice.	» 0,11
	Fr. 0,68/m ³

(A suivre.)

Nombre de consommateurs homogènes simultanément admissibles dans une installation centrale à eau chaude

par le Dr W. KUMMER,
professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, à Zurich.

Dans une étude « Der Gleichzeitigkeitsfaktor in Warmwasser-Versorgungs-Anlagen », parue, en octobre 1936, dans la revue mensuelle « Heizung und Lüftung », éditée à Berlin par le « V. D. I. », le Dr-Ing. K. Schultze vient

de publier des résultats de recherches très intéressants relatifs au nombre de consommateurs homogènes simultanément admissibles dans les installations centrales à eau chaude. Sur des installations en service, desservant respectivement 12, 23, 36, 96, 136, 197 et 202 appartements, on a mesuré la quantité d'eau et les températures de l'eau en amont et en aval de la chaudière de chacune des centrales, et cela pendant les périodes des plus hauts débits, les périodes variant de 1 minute jusqu'à 3 heures. Les consommateurs peuvent être désignés comme assez homogènes, la surface des appartements variant seulement de 44 à 108 m² et le nombre des habitants de 2,4 à 3,6 personnes par appartement. Chaque recherche expérimentale a été répétée plusieurs fois, de façon que les résultats, réunis dans le tableau A suivant, en donnent des valeurs choisies, tel qu'il a été nécessaire pour arriver effectivement à des débits à considérer comme maximum ; les résultats relevés sont exprimés en Kcal/h, par appartement.

TABLEAU A : Kcal/h, par appartement.

Nombre des appartements.	12	23	36	96	136	197	202
Durées D des débits :							
D = 3 h.	1 900	2080	1670	—	—	1350	1400
D = 2 h.	—	2480	2060	1560	1450	1350	—
D = 1 h.	—	3300	2550	1710	1540	1500	—
D = 30 min.	—	4700	3330	2040	1670	1530	—
D = 15 min.	—	6250	3950	2390	1940	1620	—
D = 10 min.	—	7000	4320	2500	2270	1950	1760
D = 5 min.	9 900	7320	5000	—	2880	2160	1910
D = 1 min.	12 400	7700	6000	—	3400	2750	2540
Numéros de la courbe, fig. 4.	I	II	III	IV	V	VI	—

Dans son étude, le Dr-Ing. K. Schultze se sert de ces chiffres pour établir des règles de dimensionnement de la chaudière, des réservoirs, des tuyauteries et des accessoires de telles installations centrales ; ses conclusions sont très utiles pour la pratique.

Par contre, dans ce qui suit, nous nous occupons du principe même de la compensation de charge, telle qu'elle ressort des recherches, résumées ci-dessus.

Dans notre étude « Sur l'application du calcul des probabilités dans les projets de l'ingénieur », que le « Bulletin technique » a publiée en 1933¹, nous avons donné, pour les installations centrales en général, la règle de calcul du rapport de la puissance maximum à la puissance moyenne, c'est-à-dire l'inverse du facteur de charge. En effet, partant de la probabilité p , pour qu'un consommateur, dont le nombre total soit n , fasse réellement un usage de la consommation, on trouve la probabilité P pour l'usage simultané de la fraction r des consommateurs, d'après la formule de Poisson :

$$P = e^{-m} \cdot \frac{m^r}{r!}$$

où : $m = n \cdot p$; $e = 2,718\dots$

¹ N° 11, du 27 mai, page 129, et N° 12, du 10 juin, page 141. Des « tirés à part » sont encore en vente à la librairie Rouge & Cie, S. A., à Lausanne.