

464

LATVIJAS  
AUGSTSKOLAS RAKSTI  
ACTA UNIVERSITATIS LATVIENSIS

---

IV.

---

RĪGĀ, 1922. G.

PL 111  
144

8

S A T U R S.

|   |         |
|---|---------|
| Prof. agrégé Alfred Vitol: Essai d'établissement d'une théorie de l'écoulement des eaux pluviales . . . . . | 1—140   |
| Prof. C. Ballod: Quel maximum de population notre terre est-elle en état d'alimenter? . . . . .             | 141—177 |
| J. Plāķis: Daži attīstības puosmi latviešu un leišu akcenta vēsturē . . . . .                               | 179—222 |
| Prof. C. Blacher: Die pädagogische Systematisierung der feuerungstechnischen Einrichtungen . . . . .        | 223—233 |
| N. Malta: Über die Lebensdauer der Laubmoossporen . . . . .   | 235—246 |

643-24-88

# LATVIJAS AUGSTSKOLĀS RAKSTI

ACTA UNIVERSITATIS LATVIENSIS

---

## IV.

---

RĪGĀ, 1922. G.

LATVIJAS  
AUGSTSKOLAS PAKSĀ  
LATVIJAS UNIVERSITĀTES  
STATISTIKAS

---



---

RĪGA, 1928. G.

## ESSAI D'ÉTABLISSEMENT D'UNE THÉORIE DE L'ÉCOULEMENT DES EAUX PLUVIALES.

PAR L'INGÉNIEUR DES VOIES DE COMMUNICATION, PROFESSEUR AGRÉGÉ  
ALFRED VITOL.

Un des problèmes des plus sérieux, aussi bien que des plus difficiles, de la technique concernant la construction des routes, c'est la question d'évaluation avec une exactitude satisfaisante du maximum de débit produit par une ondée et devant être transmis par un aqueduc établi dans le remblai de la route. On sait que le niveau haussé des eaux près de l'aqueduc ainsi que la vitesse du courant dans l'aqueduc et ses environs immédiats ne doivent pas dépasser certaines limites afin que l'intégralité de l'établissement ne soit pas menacée. On sait également que la négligence de cette règle a des conséquences sérieuses: des lignes entières de communication peuvent être détruites, ce qui est suivi par fois de grandes catastrophes de chemins de fer. Cela coûte souvent la vie à un grand nombre de voyageurs et occasionne l'interruption des communications qui demandent, pour être rétablies, des frais assez considérables.

Malgré le grand nombre de formules et de méthodes proposées par divers auteurs depuis 1868, quand fut publiée la formule de Köstlin (Zeitschrift d. Ingenieur- und Architekt. Vereins, Wien), il ne cesse pas, cependant, d'apparaître de nouvelles formules, ce qui prouve que le problème n'est pas encore résolu jusqu'ici. Ce qui le prouve également, ce sont les catastrophes de chemins de fer et les destructions des routes, témoin celles qui ont eu lieu, l'été passé, dans l'Asie centrale, au Turkestan, où les chemins de fer ont été détruits par une ondée, ce qui a causé une assez longue interruption des communications avec la Russie européenne. De tous les pays, c'est la Russie véritablement qui, par suite de ses grandes dimensions territoriales, a le plus souffert et souffre encore le plus du désordre de la dite question. Un des journaux techniques russes, celui „Водные пути и шосейные дороги“ (Voies navigables et chaussées) dans le numéro 10 de l'année 1915 concluait l'article de l'ingénieur Alexandrof sous le titre: „Приспособление норм Кестлина к данным разных районов и попытки, сделанные в этом направлении“ (Accommodation des

normes de Köstlin aux données de diverses régions et essais faits à cet égard) dans les termes suivants:..... „tout ce qui vient d'être dit, dans le domaine de la technique si sérieux que celui de la construction des routes, a conduit à une situation inextricable dont la solution doit être réalisée dans le plus bref délai par les efforts communs, des sociétés scientifiques et ceux des ingénieurs. L'emploi dans ce cas des formules de Garguillet-Kutter, de Darcy et de celles de plusieurs autres a coûté très cher à divers ressorts“....

Admettons un instant que les pays dont les dimensions territoriales ne peuvent être envisagées comme très vastes, ont réussi, après bien des sacrifices, à parvenir à quelques normes de débit dont l'application n'a plus pour conséquence des destructions de routes de nature ci-dessus décrite, alors une autre extrémité peut se présenter, et il est impossible de s'en rendre compte. C'est la possibilité d'attribuer à l'établissement de l'aqueduc une ouverture exagérée, ce qui, en vertu des frais considérables qu'elle occasionne inévitablement, est également peu désirable. Il est donc évident qu'à défaut de méthodes de calcul, plus ou moins sûres, on est toujours exposé au danger de subir une des extrémités ci-dessus indiquées. Bien que des pays de moindre superficie soient parvenus par voie de sacrifices à quelques normes de débit, cela ne peut être atteint par les pays dont les dimensions territoriales sont plus ou moins considérables. L'exemple frappant de la Russie nous montre que ce sont les sacrifices (en argent et en vies humaines), qui ont le plus contribué à faire avancer la solution du problème.

Ce qui a le plus aidé, en Russie, à faire comprendre que les méthodes du calcul du débit, employées jusqu'alors, étaient insuffisantes, c'est l'affreuse catastrophe de Koukouïéf qui affecta profondément tous les esprits et qui fut cause que pendant quelques années les ingénieurs russes perdirent beaucoup dans l'estime de leurs compatriotes. On ne voulait pas croire que la technique ne disposât de moyens solides pour que de pareils événements devinssent impossibles. Cet état de choses resta le même jusqu'au moment où une autre catastrophe considérable eut lieu sur le chemin de fer Kharkof-Balaschof. Celle-ci força à se mettre au travail le Conseil des Ingénieurs du Ministère des communications pour élaborer, enfin, des méthodes solides du calcul du débit. Le résultat de ces travaux fut l'ordre du 2 Mars 1911 exigeant l'introduction dans la formule de Köstlin du coefficient nommé  $\beta$ , dont la destination était de tenir compte de l'influence de la pente longitudinale du bassin. Ces travaux eurent pour conséquence une littérature considérable, surtout sous forme d'avis présentés par les directions

des chemins de fer et dont les points essentiels sont exposés dans le rapport de l'année 1907, présenté au conseil des Ingénieurs du Ministère par le professeur L. Nicolaï, membre du conseil des Ingénieurs. L'introduction du coefficient  $\beta$  ne put rien changer à l'état des choses et les espérances qu'on en attendait, furent déçues pour les raisons que l'on va exposer. Dans son travail „Определение отверстий малых мостов“, Петроград, 1917 (Evaluation des coupures des petits ponts, Pétersbourg 1917) le professeur Doubelire (pages 44—46) critique également l'emploi du coefficient  $\beta$  dont l'introduction a été basée sur des suppositions assez arbitraires.

On se tromperait si l'on supposait que les travaux entrepris par le Conseil des Ingénieurs russes fussent incomplets et que celui-ci ne se fût occupé que de la transformation de la formule de Köstlin. La proposition originale d'un des membres du dit conseil (ingénieur Rippasse) prouve le contraire. Celui-ci proposa de tenter d'évaluer le débit comme fonction des coordonnées du centre de gravité de la surface du bassin. Mais l'on verra en lisant ce qui suit, combien peu solide était cette proposition.

Quant à la manière dont on se sert souvent en étudiant le problème du débit et par laquelle on cherche à résoudre la question, il faut remarquer que ce sont les éléments accompagnant véritablement le phénomène de l'écoulement des eaux qui s'introduisent l'un après l'autre dans les solutions postérieures du problème. C'est ainsi que quelques-uns des chercheurs postérieurs du problème (Frühling, Heckar, Kayser, Heyd, Vilani), au moins en ce qui concerne le problème de la canalisation, ont commencé à manipuler avec un nouvel élément du phénomène, celui du temps, quoique encore dans une forme très incomplète et rudimentaire. Il n'est pas douteux que cette manière de résoudre le problème doit être continuée, en prenant en considération tous les éléments accompagnant réellement le phénomène.

C'est l'étude du problème au moyen d'une méthode analytique, plus ou moins raffinée, qui consiste à introduire des schémas de l'écoulement pareils à ceux de l'hydraulique et à corriger les résultats par les coefficients dont les valeurs doivent être calculées par voie expérimentale — et tout cela, malgré le prétendu désordre du phénomène qui a contraint plusieurs chercheurs à renoncer aux méthodes analytiques. Car il ne peut exister aucun autre moyen de résoudre le problème, les éléments du phénomène étant trop nombreux pour qu'on puisse les réunir dans une formule simple, empirique, pareille à celles de Köstlin et de bien d'autres.

L'auteur de cet exposé, par une méthode dont l'explication fait le sujet de ce qui va suivre, est parvenu à trouver un certain nombre de formules d'importance capitale dont l'emploi, croit-il, pourrait assurer, aux aqueducs du remblai des routes, un service régulier.

## I. CLASSIFICATION HYDROLOGIQUE DES BASSINS.

En ce qui concerne les qualités hydrologiques des bassins, on peut diviser ceux-ci en deux catégories. En premier lieu, les bassins qui ne sont pas alimentés par des sources souterraines constantes ou périodiques; de sorte que dans cette catégorie ne sont pas compris les bassins avec des rivières et des ruisseaux dont l'existence n'est pas directement due aux pluies. Excepté pendant les périodes de pluies, ces bassins sèchent et leur distinction hydrométrique est que la quantité des eaux calculée pour toute la période de l'écoulement des eaux d'ondée dépasse celle tombée, en forme d'ondées, sur le terrain du bassin.

En second lieu, nous prendrons les bassins alimentés par quelques sources souterraines soit constantes sous forme de rivières, soit périodiques sous forme de ruisseaux fonctionnant périodiquement. La distinction hydrométrique de ce groupe est contraire à celle du premier. C'est à ce groupe également que se rapporte la combinaison des eaux provenant de la fonte des neiges et des ondées. Pour tous ces cas, la méthode de l'auteur ci-dessous expliquée peut être employée. La seule distinction consiste dans les conditions initiales. C'est la vitesse exprimée par la dérivée  $\frac{dy}{dt}$  où „y“ est l'ordonnée comptée le long du thalweg du bassin (ligne de croisement des deux versants du bassin),  $t$  — le temps et  $Q$  le débit qui au bord de la zone d'ondée doivent pour le premier groupe être posés:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{y=0} = 0, \quad (Q)_{y=0} = 0.$$

Quant au second groupe, la vitesse initiale  $\left(\frac{dy}{dt}\right)_{y=0}$  et le débit initial  $(Q)_{y=0}$  prennent des valeurs différentes de zéro = 0, spécifiques à chaque rivière ou ruisseau. Dans ce cas, la méthode proposée offre un point d'appui pour étudier les lois des crues des eaux fluviales, ce qui est d'une importance considérable dans le domaine de différentes exploitations des richesses d'eaux d'un pays.

## II. FORMULES DONT ON A FAIT USAGE JUSQU'ICI.

Pour notre commodité nous divisons en deux groupes les formules dont on a fait usage jusqu'ici, pour calculer le débit des eaux d'ondée. Ce sont: 1) les formules théoriques au moyen desquelles on tente de saisir le phénomène en se servant des schémas plus ou moins correspondant à la nature du phénomène; 2) celles empiriques ou pratiques, basées sur l'idée la plus simple et la plus élémentaire de la nature du phénomène.

1) Nous rapportons au premier groupe des formules théoriques celles de:

Zbrosczek (Сток атмосферных осадков. Журн. Мин. Пут. Сообщ. 1901 №№ 8 и 9), Herbst (Ermittlung einer Beziehung zwischen der Niederschlagsmenge in einem Flussgebiete und der grösstmöglichen Abflussmenge in demselben. München 1905), Vodick (Wochenschrift des Oesterreich. Ing. und Architekt. Vereins 1882), Maier (Baker. A treatise on masonry construction, New-York, 1910), Bürkli-Ziegler (Grösste Abflussmengen bei städtischen Abzugkanälen, Zürich 1880), Talbot, Chamier, Dikense, Gering (Paul, Manual of Road Construction, Chatam, 1908), Buschman, de quelques administrations des chemins de fer russes, surtout celle de l'administration du chemin de fer de Catherine (voir le rapport cité du professeur Nicolaï), Doubelire (Определение отверстий малых мостов, Петроград 1917). On pourrait rapporter au même groupe quelques méthodes graphiques de calcul du débit celles de K. Meyer (Hütte 1909, III page 242), Heckar, Kayser, Heyd, Vilani (Technisches Gemeindeblatt 1907 page 33), Frühling (Forster, Taschenbuch 1911 pages 1606—1608), Lueger, Grunsky (Weyrauch, Hydraulisches Rechnen 1912 page 191) — et d'autres auteurs. Quelques-unes des formules susnommées proposées par des ingénieurs américains (de Mayer, Talbot, Dikens, Gering) sont construites d'après celles employées pour la canalisation (Bürkli-Ziegler) en y introduisant un coefficient de retard  $\varphi$  (Verzögerungskoeffizient)

Quelques-unes des formules sont basées sur un schéma si simple et élémentaire qu'il est difficile d'indiquer à quel groupe elles appartiennent. La critique de la plupart de ces formules se trouve dans les travaux plus haut cités des professeurs Nicolaï et Doubelire.

2) Groupe des formules empiriques. Ce sont les formules les plus simples et c'est la surface du bassin réduite d'une certaine manière qui est exprimée dans ces formules. La réduction est basée sur diverses suppositions arbitraires. D'après les uns (Köstlin, Tiefenbacher) la

réduction dépend de la longueur absolue du bassin, d'après les autres — de la valeur absolue de la surface du bassin (Lesle, Pouschetschnikof, baron Rosen). L'emploi de toutes ces formules est également risquant. L'histoire de la construction des routes dans divers pays nous en offre la preuve.

Ce qui est évident c'est que, par aucune transformation ou correction au moyen de divers coefficients, ces formules ne peuvent fournir aucune sécurité, l'idée conçue du phénomène étant trop primitive et élémentaire pour qu'on puisse se rapprocher quelque peu des conditions réelles. Malheureusement cette simplicité séductrice des formules empiriques que l'on craignait de perdre, n'a pas fait avancer la solution de la question, mais au contraire, elle l'a enrayée. Les travaux du Conseil des Ingénieurs russes qui se sont beaucoup occupés de la correction de la formule ancienne de Köstlin, prouve ce que nous avançons. Comme il est dit plus haut ces travaux ont eu pour conséquence l'introduction du coefficient  $\beta$  transformant l'ancienne formule de Köstlin  $Q = 1,875 F\alpha$  en celle de  $Q = 1,875 F\alpha\beta$  où  $Q$  indique le débit en mesures russes (sagènes cubiques),  $F$  — la surface en verstes carrées,  $\alpha$  et  $\beta$  — coefficients numériques.

Une critique détaillée des formules du groupe empirique est également contenue dans les travaux cités des professeurs Nicolaï et Doubelire. Sur le même sujet, voir le travail de l'ingénieur russe Dolgof (О нормах Кестлина и их несоответствии результатам наблюдений над ливнями на Екатеринбургской жел. дор.).

### III. QUELQUES REMARQUES SUR LA MÉTHODE DE L'AUTEUR.

Le but de l'auteur est d'élaborer une méthode qui, tant que possible, soit de nature à tenir compte de toutes les circonstances qui accompagnent le phénomène, et également à pouvoir être appliquée en tout cas pratique sans que le calculateur soit contraint à entreprendre une appréciation subjective de quelque coefficient numérique, excepté de celui caractérisant les qualités physiques de la surface du bassin. Celles-ci influenceront sans doute la quantité des eaux tant absorbée qu'accumulée par le sol du bassin.

Quant au temps de l'écoulement celui-là se divise en deux périodes principales: 1) celle de l'écoulement des versants du bassin et 2) celle de l'écoulement dans le collecteur le long du thalweg du bassin.

L'écoulement des versants du bassin que nous appellerons également par la suite l'écoulement latéral, se produit dans une épaisseur faible. Cette façon de l'écoulement est jusqu'ici peu étudiée par rapport à celle de l'écoulement dans les lits ouverts des rivières et des canaux se produisant dans une profondeur plus ou moins considérable. Cette dernière façon de l'écoulement est étudiée assez complètement. Ce sont les lois de celle-ci que suivra l'écoulement longitudinal dans le collecteur du bassin.

Quant à la nature hydraulique de l'écoulement en question, elle se représentera comme l'écoulement spécifié par les termes: écoulement des eaux non permanent, graduellement varié (d'après Boussinesque) ou lentement variable.

#### IV. ÉCOULEMENT DES VERSANTS DU BASSIN

(ÉCOULEMENT LATÉRAL).

Nous nous servons de l'équation hydraulique connue sous la forme intégrale:

$$z = \frac{v^2}{2g} + \int \frac{av + bv^2}{\delta_0 \cdot h} ds,$$

ou sous la forme différentielle:

$$dz = \frac{v \cdot dv}{g} + \frac{av + bv^2}{\delta_0 \cdot h} ds.$$

Les valeurs des lettres sont les suivantes:

$z$  — la différence de la hauteur du niveau de l'eau coulant entre deux points dont la distance le long du courant est  $s$ ,

$v$  — la vitesse,

$g$  — l'accélération de la force de gravité,

$\delta_0$  — le poids spécifique de l'eau,

$h$  — l'épaisseur du fil du courant,

$av + bv^2$  — l'expression pour la force de frottement rapportée à l'unité de surface.

Le système des mesures est celui de kg. mtr. sec. Les valeurs absolues de  $v$  ne dépasseront pas certaines limites qui ne pourront attribuer à l'expression  $\frac{v^2}{2g}$  que des valeurs très négligeables par rapport à  $z$ . Il en est naturellement de même en ce qui concerne la forme différentielle de la formule citée, et c'est pour cela que sans

qu'on subisse le danger de commettre une erreur de quelque façon considérable, on pourrait supposer que la force de gravité de l'eau n'est consommée que par le frottement contre les parois du lit, et poser:

$$z \cong \int \frac{av + bv^2}{\delta_0 h} ds.$$

En ce qui concerne l'expression de la force spécifique de frottement, c'est-à-dire  $av + bv^2$  on sait que par rapport aux courants qu'on rencontre dans la nature et qui se meuvent dans des lits serrés, il est possible de poser:  $av + bv^2 \cong bv^2$ , le premier membre par rapport au second étant négligeable. Quant aux courants dont la vitesse est considérablement moindre, le premier membre de l'expression commence à prévaloir le second, ce qui admet la supposition:  $av + bv^2 \cong av$ . En analysant la première période de l'écoulement, celle de l'écoulement latéral, nous sommes sortis de l'hypothèse dernière sans que les résultats obtenus par là manquent d'importance générale.

Il résulte de cette hypothèse que:

$$dz = \frac{av}{\delta_0 h} \cdot ds,$$

$$\frac{dz}{ds} = \sin \alpha = \frac{a}{\delta_0} \frac{v}{h},$$

$v = \frac{\delta_0}{a} h \cdot \sin \alpha = ch \sin \alpha$  ou:  $c = \frac{\delta_0}{a}$ ,  $\alpha$  — l'angle d'inclinaison de l'élément de la voie de la parcelle d'eau.

$\alpha$  est de nature à pouvoir varier le long du thalweg de même que le long des versants latéraux du bassin, cette loi de changement pouvant être respectée. A propos, il est d'importance d'apprendre quelle manière ont employée quelques auteurs en introduisant dans leurs formules cet élément de nature géométrique. C'est, par exemple, la méthode de l'évaluation de l'inclinaison moyenne du terrain proposée par Finsterwalder qu'a employée Herbst dans son oeuvre ci-dessus citée, en introduisant la valeur de  $\alpha$  calculée d'après la formule:

$\sin \alpha = \frac{e \sum \gamma}{F_0}$ , où  $e$  indique la différence de hauteur entre les lignes

horizontales,  $\gamma$  — la longueur de celles-là,  $F_0$  — la surface du bassin. Cette méthode, comme on voit, pourrait être considérée suffisante pour avoir l'image conditionnelle du relief du terrain, mais son rattachement à des recherches hydrauliques n'est pas irrécusable. L'auteur de cet

exposé se sert, au contraire, du modèle d'un bassin bilatéral avec le collecteur au milieu des deux versants du bassin. Ce collecteur reçoit des eaux affluant des deux versants du bassin,  $\alpha$  et tous les autres éléments géométriques pouvant changer de valeur tout à fait librement.

Outre cela, la méthode de l'auteur est de nature à pouvoir être appliquée dans le cas où il s'agira de l'influence des bassins secondaires s'embouchant dans les bassins capitaux. On sait que dans ce cas on ne dispose jusqu'ici d'aucun moyen de calcul du débit. La marque distinctive de chaque bassin, tant capital que secondaire, sera son collecteur formé par le croisement des lignes de l'écoulement latéral à l'axe du collecteur.

## V. EQUATIONS DIFFÉRENTIELLES DE L'ÉCOULEMENT LATÉRAL.

Indiquons par:

$\Delta_0$  — l'intensité moyenne de l'ondée,  
 $dx$  — la projection horizontale de la voie  $ds$  de la parcelle d'eau,  
 $q^1$  — le débit rapporté à l'unité de la largeur du courant latéral,  
 $dt$  — l'élément du temps.

Alors:

$$\begin{aligned} \Delta_0 \cdot dx &= \frac{dq'}{dx} dx; q' = vh = ch^2 \sin \alpha; \frac{dq'}{dx} \cdot dx = 2ch \sin \alpha \frac{dh}{dx} dx = \\ &= 2v \frac{dh}{dx} dx. \text{ Mais: } \Delta_0 dx = \Delta_0 v dt \cos \alpha = 2v \frac{dh}{dx} dx; \frac{dh}{dx} dx = dh = \\ &= \Delta_0 \frac{\cos \alpha dt}{2}; \int dh = h = \frac{\Delta_0 \cos \alpha}{2} \left[ \int dt + c \right] = \frac{\Delta_0 \cos \alpha}{2} \cdot [t + c]. \end{aligned}$$

Lorsque  $t = 0$ ,  $h = 0$  et par conséquent:  $h = \frac{\Delta_0 \cos \alpha}{2} t$ .

$$\int dx = x = \int v dt \cos \alpha + c = \int ch \sin \alpha \cos \alpha dt + c = \frac{c \Delta_0}{2} \sin \alpha \cos^2 \alpha.$$

$$\left[ \int t dt + c \right] = \frac{c \Delta_0}{8} \sin 2 \alpha \cos \alpha (t^2 + c^1). \text{ Lorsque } t = 0, x = 0, \text{ et par}$$

conséquent:  $c^1 = 0$ , et  $x = \frac{c \Delta_0}{8} \sin 2 \alpha \cos \alpha t^2$ .

Si  $t$  est compté jusqu'au moment où la parcelle d'eau se jette dans le collecteur,  $x$  représentera la projection horizontale de la trajectoire de la parcelle venant d'un des versants du bassin, comptée à partir du commencement du mouvement de la parcelle jusqu'au moment où celle-là se jette dans le collecteur. Si l'on comptait  $\alpha$  relativement petit (ces cas ne sont pas rares en réalité) les équations:

$h = \Delta_0 \frac{\cos \alpha t}{2}$  et  $x = \frac{c \Delta_0}{8} \sin 2\alpha \cos \alpha t^2$  se transforment en équations correspondantes:

$h = \Delta_0 \frac{t}{2}$  et  $x = \frac{c \Delta_0}{4} t^2$ . Si l'on en exclut  $t$ , nous obtenons la relation:

$h = \sqrt{\frac{x \Delta_0}{c \alpha}}$  sous la forme de la formule connue de Lueger, la seule différence en étant contenue dans la valeur de  $\Delta_0$ . C'est de quelque valeur de  $\Delta_0$  réduite par un coefficient d'absorption que ce sert Lueger. Mais nous essayons de rendre compte de ce phénomène d'absorption d'une manière différente de celle de Lueger, comme nous le verrons plus loin.

L'intégrale  $\int \Delta_0 dx = q^1 + c = \frac{c \Delta_0^2}{8} \sin 2\alpha \cos \alpha t^2 + C$ . Lorsque  $t = 0$ , la valeur correspondante de  $q^1 = 0$ , par conséquent,  $C = 0$ , et  $q^1 = \frac{c \Delta_0^2}{8} \sin 2\alpha \cos \alpha \cdot t^2$ . Pour généraliser la recherche, l'auteur fait introduire aussi l'angle  $\gamma$  qui est celui de l'inclinaison de la direction du mouvement de la parcelle vers la direction perpendiculaire à l'élément correspondant du collecteur. (Voir les des. N<sup>os</sup> 1 et 3.) Alors  $q = q^1 \cos \gamma = \frac{c \Delta_0^2}{8} \sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma \cdot t^2$  dans la direction perpendiculaire à l'élément correspondant du collecteur, ou, ce qui est la même chose, le débit rapporté à l'unité de longueur du collecteur.

## VI. EQUATIONS DIFFÉRENTIELLES DE L'ÉCOULEMENT LONGITUDINAL DANS LE COLLECTEUR DU BASSIN.

Comme il est déjà dit, on dispose d'observations assez nombreuses en ce qui concerne l'écoulement des eaux dans le collecteur du bassin. Pour exprimer la vitesse du courant on se sert souvent de la formule connue de Chezy sous la forme:  $v = c_1 \sqrt{Ri}$ , ici étant:

$R$  — le rayon hydraulique,  $i$  — la pente du collecteur,  $c_1$  — le coefficient dépendant des éléments géométriques autant que d'un coefficient physique  $n$  caractérisant le degré de rugosité de la paroi du canal.

C'est dernièrement que la formule de Chezy et ses pareilles commencent à être critiquées au point de vue de leur correspondance avec les résultats des observations. On dispose notamment d'assez de preuves que le coefficient physique  $n$  change de valeur dans le même lit conformément au changement du niveau des eaux, ce qui ne devrait pas avoir lieu, si la conception relative à la construction de la formule de Chezy et de ses pareilles était juste.

Quelques auteurs, dans ces derniers temps, essaient d'établir la relation entre  $v$  d'une part et les éléments  $R$  et  $i$  d'autre part, sous la forme:  $v = c_1 R^m i^{1/2}$ , où  $c_1$  est compté maintenant constant,  $m$  est une puissance variant entre les limites:  $0,5 \leq m \leq 1$ . C'est, par exemple, Hermaneck qui donne  $t$  exprimant la profondeur du courant:

$$v = 30,7 t i^{1/2} \text{ si } t < 1,50 \text{ mtr.}$$

$$v = 34 t^{0,75} i^{1/2} \text{ si } 1,50 \leq t \leq 6 \text{ mtr.}$$

$$v = 44,5 t^{0,6} i^{1/2} \text{ si } t > 6 \text{ mtr.}$$

(Voir *Hydraulik Ph.* Forcheimer 1914 page 76).

On trouve ibidem, pages 66 et 70, la seconde formule de Gauckler transformée par R. Mannig en:  $v = \frac{1}{n} \sqrt[3]{R^2} \sqrt{i}$ ,  $\frac{1}{n}$  correspondant aux valeurs du tableau de Ganguillet et Kutter qui caractérisent le degré de rugosité du lit. En cas d'un lit terrestre on a ainsi à poser  $\frac{1}{n} = 40$ .

C'est de la dernière formule que nous nous servons dans ces recherches, parce qu'à cause de  $\frac{1}{n}$  constant, elle est très apte à être employée pour établir des équations différentielles.

L'équation différentielle du mouvement longitudinal, dans le collecteur du bassin, sera établie de la manière suivante.

En ce qui concerne la section transversale du collecteur, nous lui supposons la forme d'un triangle isocèle avec les angles latéraux:  $\beta = \beta_1 = \beta_2$  (voir le des. N<sup>o</sup> 2). Cette supposition ne veut point dire que d'autres formes des sections des collecteurs ne puissent être choisies, mais en cas, par exemple, d'une section asymétrique la solution du problème deviendrait assez complexe sans qu'on en tirât

aucun avantage. Comme nous le verrons plus loin, l'expression des éléments géométriques du collecteur figurera dans la formule correspondante sous une racine du troisième degré ce qui amoindrira bien les conséquences d'un choix défectueux de  $\beta$ . En cas où la section transversale du collecteur devienne trop asymétrique et soit de nature à pouvoir être envisagée comme s'approchant de la moitié d'un triangle isocèle, on pourrait se servir de cette dernière. En tout cas, la question du choix de la section transversale du collecteur n'est pas d'importance particulière, et on pourra choisir  $\beta$  dans des limites assez larges, à moins qu'il y ait des cas où  $\beta$  devienne trop petit ce qui exigera plus d'attention.

Dans la suite nous introduisons les désignations suivantes:

- $p$  — le périmètre mouillé de la section,  
 $R$  — le rayon hydraulique (comme l'on sait, en cas d'un courant de faible profondeur  $R$  peut être remplacé par la profondeur moyenne du courant  $h$ , ce qui a lieu souvent par rapport aux fleuves),  
 $w$  — la section transversale du collecteur,  
 $y$  — la longueur variable du collecteur comptée de quelque point initial,  
 $s$  — la profondeur maximale du courant (voir le des. N° 2).

Alors on sait que:

$$R = \frac{w}{p}, \quad w = s^2 \operatorname{ctg} \beta, \quad p = \frac{2s}{\sin \beta}, \quad R = \frac{s^2 \operatorname{ctg} \beta \cdot \sin \beta}{2s} = \frac{s \cos \beta}{2}.$$

$$R^2 = \frac{s^2}{4} \cos^2 \beta, \text{ et en éliminant } s:$$

$$a) R^2 = \frac{\omega \cos 2\beta}{8},$$

$$b) Q = \omega v = \frac{\omega dy}{dt}, \quad Q \text{ étant le débit dans le collecteur,}$$

$$c) c_1 \sqrt[3]{R^2} = \frac{dy}{dt} = v.$$

L'accroissement du débit  $Q$  correspondant au moment  $dt$  où la parcelle d'eau parcourt la voie  $dy$  dans le collecteur est:

$$d) \frac{dQ}{dy} dy = \frac{c \Delta_0^2}{8} \sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma t^2 dy + \frac{c \Delta_0^2}{8} \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma' t^2 dy = \\ = \frac{c \Delta_0^2}{8} (\sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma') t^2 dy \text{ où } \alpha \text{ et } \alpha'$$

représentent les angles de l'inclinaison des deux versants du bassin,  $\gamma$

et  $\gamma^1$  ceux de l'inclinaison de la projection horizontale des trajectoires du mouvement des deux parcelles venant des deux versants du bassin, vers la direction perpendiculaire à l'élément  $dy$  du collecteur. En posant provisoirement  $\sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma' = \Phi$ , l'équation différentielle paraît sous la forme:

$$\frac{dQ}{dy} dy = \frac{c \Delta^2_0}{8} \Phi t^2 dy.$$

La dérivée de cette équation prise d'après  $t$  sera:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{c \Delta^2_0}{8} \Phi t^2 \frac{dy}{dt}.$$

Nous disposons maintenant de 4 équations  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  où entrent 7 variables:  $y$ ,  $t$ ,  $w$ ,  $R$ ,  $\frac{dQ}{dt}$ ,  $Q$  et  $\frac{dy}{dt}$ . Si l'on ajoute à ce système des équations les conditions que, lorsque:

$$t = 0, \frac{dy}{dt} = 0,$$

$$t = 0, y = 0,$$

nous en obtenons assez de relations pour établir une relation entre chacune de ces variables, deux à deux, et également entre  $y$  et  $t$ .

La solution du système précédent pourrait être la suivante:

$$\sqrt[3]{R^2} = \sqrt[3]{\frac{\omega \sin 2\beta}{8}} = \sqrt[3]{\frac{Q \sin 2\beta}{\frac{dy}{dt} 8}} = \frac{dy}{dt} \frac{1}{c_1 \sqrt{i}},$$

$$Q \frac{\sin 2\beta}{8} = \left(\frac{dy}{dt}\right)^4 \frac{1}{(c_1 \sqrt{i})^3}; \quad \frac{dy}{dt} = \sqrt[4]{\frac{Q}{8} (c_1 \sqrt{i})^3} \cdot \sqrt[4]{\sin 2\beta}.$$

La fonction  $\sqrt[4]{\sin 2\beta}$  est de nature à pouvoir varier entre des limites étroites  $\beta$  se changeant dans des limites assez larges. Si, par exemple,

$\beta$  varie entre les limites  $\beta = 10^\circ$  et  $\beta = 80^\circ$ , min.  $\sqrt[4]{\sin 2\beta}$  atteint dans

ces mêmes limites: min.  $\left(\sqrt[4]{\sin 2\beta}\right)_{\substack{\beta=10^\circ \\ \beta=80^\circ}} = 0,765$ , max.  $\left(\sqrt[4]{\sin 2\beta}\right)_{\beta=45^\circ} = 1$ .

Si nous choisissons pour la valeur de  $\sqrt[4]{\sin 2\beta}$  une valeur numérique moyenne s'éliminant de l'équation suivante:

$$\frac{x - 0,765}{0,765} = \frac{1 - x}{1}, \quad 1,3x - 1 = 1 - x, \quad x = \frac{2}{2,3} = 0,87$$

nous avons la certitude de ne pouvoir en aucun cas commettre, dans les limites  $\beta = 10^\circ$  et  $\beta = 80^\circ$  ( $10^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$ ), une erreur dont la valeur relative dépasserait:  $\frac{1 - 0,87}{1} \cdot 100\% = 13\%$ .

Si  $\beta$  reste au-dessous de la limite  $\beta = 10^\circ$  et varie considérablement le long du collecteur, il serait nécessaire de diviser le bassin le long de son collecteur en parties pour lesquelles la valeur de  $\beta$  pourrait être envisagée comme pratiquement constante. C'est dans la plupart des cas qu'on rencontre dans la pratique qu'on pourra se borner à quelque valeur moyenne, constante, de  $\beta$  — le long de tout le collecteur du bassin, et c'est pour cela que nous compterons à l'avance

la fonction  $\sqrt[4]{\sin 2\beta}$  constante.

La seconde dérivée de  $\frac{dy}{dt}$  a la forme:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{dy}{dt}\right) = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{4} \sqrt[4]{\frac{\sin 2\beta}{8} (c_1 \sqrt{i})^3} \cdot Q^{-3/4} \cdot \frac{dQ}{dt} \text{ mais:}$$

$$Q = 8 \left(\frac{dy}{dt}\right)^4 \frac{1}{(c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta}, \quad Q^{3/4} = \sqrt[4]{\frac{8^3}{(c_1 \sqrt{i})^9 (\sin 2\beta)^3}} \cdot \left(\frac{dy}{dt}\right)^3;$$

$$Q^{-3/4} = \sqrt[4]{\frac{(c_1 \sqrt{i})^9 (\sin 2\beta)^3}{8^3}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{dy}{dt}\right)^3} \text{ après quoi:}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{4} \frac{\sin 2\beta (c_1 \sqrt{i})^3}{8 \left(\frac{dy}{dt}\right)^3} \cdot \frac{c \Delta^2_0 \Phi t^2}{8} \left(\frac{dy}{dt}\right) \text{ ou:}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \frac{1}{3} \frac{d}{dt} \left\{ \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 \right\} = \frac{c \Delta_0^2}{8.32} (c_1 V i)^3 \Phi \sin 2\beta \cdot t^2$$

$$\text{ou: } \frac{1}{3} \frac{\frac{d}{dt} \left\{ \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 \right\}}{\Phi \sin 2\beta (V i)^3} = \frac{c \Delta_0^2}{8.32} c_1^3 t^2.$$

L'expression  $\Phi \sin 2\beta (V i)^3$  représente la caractéristique complète géométrique du bassin qui, au moyen du dessin du bassin, peut être évaluée comme une fonction de  $y-f(y)$ , en appliquant la méthode graphique suivante. (Voir le des. N° 3.)

Faisons coïncider avec le plan du dessin celui de la section transversale du bassin contenant quelque trajectoire du mouvement latéral de la parcelle, alors on obtiendra l'angle  $x$  dans le plan du dessin.

Tournons maintenant cet angle-ci autour du point  $O$  du collecteur jusqu'à ce que la projection de la trajectoire,  $MO$ , coïncide avec la direction  $OP$  perpendiculaire à l'élément du collecteur au point  $O$ . De celui-ci comme centre décrivons l'arc dont le rayon est 1. Sur cet arc, traçons  $2\alpha$ , alors  $kl = k'o = \sin 2\alpha$ . Si la projection du point  $L$  ( $m$ ) est projetée à son tour sur  $OP$ ,  $m'o = \cos \alpha \cos \gamma$ , la longueur de la droite  $ON$  étant 1. Relions  $N$  à  $m'$ , et menons à travers de  $k'$  la droite parallèle à la  $m'N$ . La longueur de la droite  $m_2o$  est reliée par la relation suivante:

$$\frac{m_2o}{m'o} = \frac{k'o}{1} \text{ ou: } m_2o = k'a m'o = \sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma.$$

On construit de la même manière, au point  $o$  la fonction  $\sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma'$  appartenant à l'autre versant du bassin, et la somme  $\sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma' = \Phi$  est obtenue à la foi sous la forme de la droite  $m_2m'$ . Il n'y a qu'à multiplier celle-là par  $\sin 2\beta$ , ce qui peut être accompli facilement, et le résultat obtenu aura la forme de la droite  $OS''$ :

$$\frac{\sin 2\beta}{1} = \frac{OS'}{ON'} = \frac{OS''}{OR} = \frac{OS''}{m_2m'_2} d' \text{ où il résulte que:}$$

$$OS'' = m_2m'_2 \sin 2\beta = (\sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma') \sin 2\beta = \Phi \sin 2\beta.$$

Les longueurs des  $OS''$  tracées dans la direction perpendiculaire aux points caractéristiques du collecteur, en ce qui concerne le change-

ment de la fonction  $\Phi \sin 2\beta$ , rendront compte des qualités géométriques des sections transversales du bassin.

Il y a encore d'autres manières pour construire la fonction  $\Phi \sin 2\beta$ . On peut, par exemple, construire les courbes de  $\sin 2\alpha$  et  $\sin 2\alpha \cos \alpha$  comme fonctions de l'angle  $\alpha$  dans les limites de changement qui le plus souvent se présentent en pratique. On pourrait aussi choisir, comme variables indépendantes,  $\sin \alpha$  et  $\sin 2\alpha$  qui peuvent être pris directement du dessin du bassin.

L'expression de l'équation différentielle montre que  $\Phi \sin 2\beta$  doit être multiplié encore par  $(\sqrt{i})^3$  après quoi on obtiendra l'expression  $\Phi \sin 2\beta (\sqrt{i})^3$  représentant la caractéristique complète géométrique de tout le bassin.  $\Phi \sin 2\beta (\sqrt{i})^3$  peut être représenté comme une courbe, en traçant le long du thalweg du bassin les longueurs correspondantes du collecteur désignées par  $y$ . (Voir le des. N° 3 bis.) On pourrait diviser la courbe en parties rectilignes dont les équations auraient la forme générale:  $\Phi \sin 2\beta (\sqrt{i})^3$ ,  $a$  et  $b$  étant des coefficients particuliers à calculer, et voilà la forme qu'aurait obtenue l'équation différentielle fondamentale:

$$\frac{d}{dt} \left\{ \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 \right\} \frac{1}{ay + b} = \frac{3c\Delta_0^2}{8.32} c_1^3 \cdot t^2.$$

En pratique, on ne se servira presque jamais de cette manière assez compliquée, mais on pourra toujours choisir pour toute la partie du bassin couverte de nuage une valeur moyenne de  $\Phi \sin 2\beta (\sqrt{i})^3$  et constante; après quoi l'intégration de l'équation précédente sera accomplie sans aucun embarras.

Après ces remarques l'intégrale de l'équation différentielle pratique (à l'opposé du cas théorique où on sera contraint à tenir compte des moindres nuances du changement de la fonction géométrique, pour obtenir, par exemple, les valeurs numériques des coefficients hydrauliques) se représentera sous la forme:

$$\frac{1}{3} \int d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \frac{c\Delta_0^2}{8.32} \Phi \sin 2\beta (c_1 \sqrt{i})^3 \int (t^2 dt + C) \text{ où „} C \text{” est une constante d'intégration.}$$

Il faut remarquer encore un avantage de l'équation précédente. Nous y avons introduit  $\Delta$ , — l'intensité moyenne de l'ondée, mais celle-ci varie, en réalité, comme une fonction de  $t$ , c'est-à-dire on peut poser:

$\Delta = f(t)$ . Cette fonction peut être introduite dans l'équation différentielle précédente sans que l'intégration en devienne impossible. Ce sera fait aussitôt que la météorologie aura établi la relation  $\Delta = f(t)$ .

Après avoir établi l'équation différentielle fondamentale du mouvement dans le collecteur du bassin, occupons nous de quelques circonstances physiques accompagnant l'écoulement des eaux pluviales.

## VII. INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOL ET MOYENS POUR EN RENDRE COMPTE.

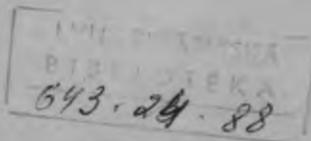
On est accoutumé à rendre compte de ce phénomène de manière à réduire l'intensité  $\Delta_0$  par un coefficient  $< 1$ , en raisonnant qu'une certaine partie de l'intensité d'ondée est absorbée par le sol et par ses végétaux.

Mais il est évident que cette idée élémentaire du phénomène n'est pas de nature à pouvoir satisfaire aux conditions réelles du phénomène, car l'infiltration et l'accumulation des eaux dépend considérablement du degré de saturation du sol. C'est au commencement de l'ondée que l'infiltration et l'accumulation des eaux se produisent intensivement en devenant très faible vers la fin de l'ondée. Nous essayons ici de rendre compte du dit phénomène par des moyens différents de ceux jusqu'ici employés.

Si l'on suit le développement du phénomène de l'ondée dès son commencement, on s'aperçoit avant tout que l'écoulement des eaux retarde, c'est-à-dire les premières parcelles d'eau parviennent à l'aqueduc quelque temps après le commencement de l'ondée. Cela prouve que la surface du bassin infiltre et accumule toute la quantité des eaux tombées sur le terrain jusqu'à ce que le sol et ses végétaux en soient saturés et que les accidents du terrain soient remplis de manière que toute quantité d'eaux qui tombe sur le sol par la suite, ne tarde pas à s'écouler des versants du bassin pour s'amasser dans le collecteur et parvenir à l'aqueduc.

On sait que la quantité d'eau infiltrée dans le sol rejoint les courants souterrains, tandis que celle ayant mouillée le monde végétal, est rendue à l'atmosphère sous la forme de l'évaporation, ce qui se produit indépendamment du temps de l'écoulement des eaux pluviales.

Il résulte de tout ce qui précède que si la durée de l'ondée est  $\tau_0$ , celle de l'écoulement ne sera que  $\tau_0 (1 - \varepsilon)$ ,  $\varepsilon$  exprimant le coeffi-



cient du retard. On voit que cette conception du phénomène est commode en ce qui en concerne les observations pouvant être faites directement et indépendamment de l'ondée de calcul elle-même. Si, par exemple, une ondée quelconque est observée dont l'intensité est  $\Delta'_0$ , la durée —  $\tau'_0$  et qui pour un certain bassin a donné le coefficient du retard  $\varepsilon_1$ , le même coefficient calculé pour l'ondée de calcul dont l'intensité est  $\Delta_0$  et la durée —  $\tau_0$ , aura la valeur:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 \tau'_0 \Delta'_0}{\tau_0 \Delta_0}$$

supposé que dans tous les deux cas le degré de saturation initiale du sol soit le même.

Tous les accidents du terrain, ne pouvant pas être remplis à ras du bord jusqu'au bout de l'ondée, l'existence d'un coefficient particulier, réduisant la surface mouillée du bassin a lieu. C'est par les réflexions élémentaires suivantes qu'on peut prouver que ce coefficient de nature géométrique dépend de l'inclinaison des versants du bassin, c'est-à-dire qu'il représente une fonction de  $\alpha$ . Car la profondeur des accidents du terrain dépendra en général de l'angle d'inclinaison naturel du terrain  $\varphi$ , comme le montre le croquis N° 4 dans l'annexe.

Il en résulte que pour les terrains qui le plus souvent se rencontrent dans la nature et dont le  $\varphi$  pourrait être posé  $\varphi = 30^\circ$ , l'inclinaison la plus extrême au-dessus de laquelle le coefficient géométrique devient = 1, est =  $(tg\varphi)_{\varphi=30^\circ} = 0,60$ .

Si l'on ignore la réduction de la surface du bassin par le coefficient géométrique en lui posant 1, on attribue par là une certaine sécurité aux bassins dont les versants accidentés ont une faible inclinaison.

Si le coefficient géométrique est employé, il faudrait le rapporter à l'expression de la surface du bassin. Mais puisque l'expression du débit, comme nous le verrons par la suite, se représente comme le produit des valeurs  $\Delta_0$  et celle de la surface du bassin, on pourrait aussi rapporter ce coefficient à  $\Delta_0$ , ce qui rappelle l'idée de Lueger et de bien d'autres.

Si l'on choisit  $\varepsilon$  un peu plus grand qu'il doit être, on pourra compter le coefficient hydraulique „c“ indépendant des qualités physiques de la surface du bassin (y compris la rugosité du terrain, sa couverture végétale etc.).

### VIII. LE PROCÈS DE L'ÉCOULEMENT JUSQU'AU BOUT DE L'ONDÉE.

Cette phase dure à partir du moment  $t=0$  jusqu'à celui de  $t=\tau_0(1-\varepsilon)$  ( $\varepsilon\tau_0$  unités de temps étant consommées par la période d'accumulation). L'équation fondamentale du mouvement a la forme:

$$\frac{1}{3} \int d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \frac{c\Delta_0^2}{8.32} \Phi \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 \int (t^2 dt + C).$$

Mesurons le temps par l'unité  $\tau_0(1-\varepsilon) = 1$ , alors:

$$t = m\tau_0(1-\varepsilon); \quad t^2 dt = m^2 \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2 \tau_0(1-\varepsilon) dm = \{\tau_0(1-\varepsilon)\}^3 m^2 dm,$$

$$\begin{aligned} \text{et: } \int d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 &= \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \frac{c\Delta_0^2}{8.32} \Phi \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 \tau_0^3 (1-\varepsilon)^3 \frac{1}{3} \int (dm^3 + C) = \\ &= \frac{c\Delta_0^2}{8.32} \Phi \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 \tau_0^3 (1-\varepsilon)^3 (m^3 + C). \end{aligned}$$

La parcelle d'eau après avoir coulé  $m=n$  unités de temps le long des versants du bassin, le long de la zone de l'ondée (voir les schémas du tableau I) parvient au collecteur où elle entreprend l'écoulement avec la vitesse initiale  $\left( \frac{dy}{dt} \right)_{y=0} = 0$ . Pour cela:

$$\left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \frac{1}{32} \Delta_0 \tau_0 (1-\varepsilon) \frac{c\Delta_0}{8} \Phi \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 (m^3 - n^3).$$

L'équation précédente peut être simplifiée en attribuant aux expressions  $y$  faisant partie quelque sens physique ou géométrique de la manière suivante.

L'expression  $\frac{c\Delta_0}{8} \Phi \{\tau_0(1-\varepsilon)\}^2$  où  $\varphi = \sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma'$  représente, par exemple, comme il résulte du chapitre V, la projection horizontale des trajectoires du mouvement des deux parcelles d'eau venant de tous les deux versants du bassin pour se rencontrer simultanément au même point dans le collecteur. Introduisons pour cette expression la désignation suivante:

$$\frac{c\Delta_0}{8} \Phi \{\tau_0(1-\varepsilon)\}^2 = b_0.$$

On voit directement que l'expression dernière se rapporte à la trajectoire parcourue par les deux parcelles d'eau, à partir du moment du commencement de l'écoulement, ( $\varepsilon \tau_0$  unités de temps après le commencement de l'ondée) jusqu'au bout de l'ondée, c'est-à-dire durant le temps  $\left\{ \tau_0 (1-\varepsilon) m \right\}_{m=1} = \tau_0 (1-\varepsilon)$ . Il en résulte que la projection d'une trajectoire quelconque correspondant au moment  $m$ , sera exprimée par  $b = b_0 m^2$ . Considérons encore l'expression  $\Delta_0 \tau_0 (1-\varepsilon) = D'_0$ . Le sens physique en est l'épaisseur de la couche d'eau tombée sur le terrain du bassin durant tout le temps de l'écoulement (non de l'ondée!). Après ces définitions l'expression précédente prend la forme:

$$\begin{aligned} \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 &= \frac{1}{32} D'_0 b_0 \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 \sin 2\beta (m^3 - n^3) \text{ et:} \\ \frac{dy}{dt} &= \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 b_0 \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 \sin 2\beta (m^3 - n^3)} = \\ &= c_1 \sqrt{i} \cdot \sqrt[3]{\sin 2\beta} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 b_0} \cdot \sqrt[3]{m^3 - n^3}. \end{aligned}$$

Lorsque  $n = 0$  et  $m = 1$ , c'est-à-dire, si la parcelle d'eau au moment du commencement de son écoulement est tombée directement dans le collecteur, et qu'ensuite son mouvement ait duré jusqu'au bout de l'ondée, la vitesse finale du mouvement est:

$$\left( \frac{dy}{dt} \right)_{n=0}^{m=1} = V_0 = c_1 \sqrt{i} \cdot \sqrt[3]{\sin 2\beta} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 b_0}.$$

Appelons cette vitesse, vitesse spécifique; après cela l'expression générale d'une vitesse quelconque prend la forme simple:

$$\frac{dy}{dt} = V_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3}.$$

Il en résulte que l'élément de la voie dans le collecteur  $dy$ , est exprimé par:

$$dy = V_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3} dt = V_0 \tau_0 (1-\varepsilon) \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm,$$

et que toute la voie est représentée par l'intégrale

$$\int dy = y = V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) \int \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm + C.$$

Cette intégrale n'a pas une forme finie, et il est nécessaire de se borner à sa valeur approximative.

Mais considérons auparavant l'intégrale:

$$\begin{aligned} \int dy = y = V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) \left( \int \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm + C \right)_{n=0} &= V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) \left( \int m dm + C \right) = \\ &= \frac{V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)}{2} (m^2 + C). \end{aligned}$$

Au moment du commencement du mouvement dans le collecteur  $y = 0$  et  $m = 0$ , c'est pour quoi il y aura:  $y = \frac{V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) m^2}{2}$ .

La valeur:  $\left( y \right)_{m=0}^{m=1} = \left| \frac{V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)^2 m}{2} \right|_{m=1} = \frac{V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)}{2} = L_0$  également a une valeur mécanique représentant la longueur de toute la voie parcourue dans le collecteur par la parcelle d'eau à partir du commencement du mouvement générale dans le bassin, après la fin de l'infiltration jusqu'au bout de l'ondée. En désignant cette valeur-là par  $L_0$ , appelons-la, la longueur spécifique du collecteur. C'est après cette définition que l'expression de l'élément de la voie et son intégrale prennent

les formes:  $dy = 2L_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm$  et  $\int dy = y = 2L_0 \int \left( \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm + C \right)$

Cherchons la valeur approximative de l'intégrale précédente sous la forme:

$y = k 2L_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3} (m - n)$ ,  $k$  étant un coefficient correctif dont la valeur numérique est encore à calculer. On peut représenter la valeur

de l'intégrale  $\int \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm$  graphiquement en traçant le long d'une axe horizontale les différentes valeurs de  $(m - n)$  et en traçant celles de

$\sqrt[3]{m^3 - n^3}$  en direction verticale (voir le dessin N° 5). Il est évident

que la surface déterminée par la courbes des valeurs de  $\sqrt[3]{m^3 - n^3}$

et par l'axe horizontale ainsi que par une ordonnée verticale quelconque représentant une valeur quelconque de  $\sqrt[3]{m^3 - n^3}$  correspondant à une valeur particulière de  $(m - n)$ , représentera l'intégrale  $\int_n^{m^3} \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm$ . On voit que les figures déterminées de telle manière se rapprochent d'un côté ( $n = 0$ ) à celle du triangle, de l'autre côté à celle de la parabole, en même temps, le coefficient  $k$  se change en  $k = 1/2$  jusqu'à  $k = 2/3$ .

Construisons maintenant la courbe  $\left. \sqrt[3]{m^3 - n^3} (m - n) \right|_{m=1} =$   
 $= \sqrt[3]{1 - n^3} (1 - n)$  dont nous aurons à nous servir, car on pourra éviter tout à fait l'emploi de tous les autres cas ( $m < 1$ ) excepté  $m = 1$ , comme l'on verra dans la suite. L'expression  $\sqrt[3]{1 - n^3} (1 - n)$  (voir le des. N<sup>o</sup> 6) suit la loi de près  $\sqrt[3]{1 - n^3} (1 - n) \cong (1 - n)$ , excepté les valeurs de  $(1 - n)$  proches de 0 où elles deviennent un peu moindres de  $(1 - n)$ , mais c'est pour ces limites que le coefficient  $k$  s'accroît jusqu'à  $4/3$ , ce qui fera encore  $\sqrt[3]{1 - n^3} (1 - n)$  s'approcher de  $(1 - n)$ . On voit ainsi que l'intégrale  $y = 2k L_0 \int_{m=n}^{m=1} \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm$  peut être enfin posée  $\left( y \right)_{m=n}^{m=1} = L_0 (1 - n)$ .

Après avoir introduit la définition de la vitesse spécifique, avant que nous passions à ce qui suit, transformons l'équation différentielle fondamentale en nous servant de la vitesse spécifique. Elle prendra maintenant la forme simple:

$$\frac{1}{3} d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \frac{C \Delta^2_0}{8 \cdot 32} \Phi \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 t^2 dt =$$

$$= \frac{1}{32} D'_0 b_0 \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 \sin 2\beta m^2 dm \text{ ou: } d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = 3 V_0 m^2 dm = V_0 dm^3.$$

### IX. L'EXPRESSION DU DÉBIT; L'INTERPRÉTATION GÉOMÉTRIQUE DE CELUI-LÀ.

L'expression du débit rapporté à l'unité de la longueur du collecteur est connue par le chap. VI, et elle est:

$$\frac{dQ}{dy} dy = \frac{c \Delta_0}{8} \Phi \cdot t^2 dy = \Delta_0 b_0 m^2 dy$$

en se servant de la définition  $b_0$  ci-dessus introduite.

Pour avoir le débit entier qu'amassera le collecteur en partant d'un point initial dont l'ordonnée est  $y=0$  jusqu'à celui dont l'ordonnée est  $y=y$ , on doit intégrer l'équation différentielle:  $dQ = \Delta_0 b_0 m^2 dy$  dans les limites de temps  $m = m$ , lorsque la parcelle se trouve au point du collecteur  $y=y$ , et  $m = n$ , lorsque elle se trouve au point  $y=0$ . L'intégrale de cette équation est:

$$\int_n^m dQ = Q = \Delta_0 b_0 \int_n^m m^2 dy = \Delta_0 \int_n^m b dy.$$

On voit que c'est sous le signe d'intégrale qu'est contenue l'expression de quelque surface. Appelons cette surface qui n'a rien de commun ni avec celle du bassin contenue dans la plupart des formules empiriques, ni avec celle de la zone de l'ondée, surface d'écoulement. On peut ainsi toujours exprimer le débit comme le produit de l'intensité de l'ondée et de la surface d'écoulement. C'est cette interprétation géométrique qui fait apprendre facilement tout le procès de l'écoulement des eaux d'ondée. Pour pouvoir intégrer l'équation précédente, il est nécessaire d'exprimer toutes les variables sous-intégrales par  $m$ , ce qui se fait de la manière suivante:

$$\begin{aligned} dy &= 2L_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm, \text{ et } \int_n^m dQ = (Q)_n^m = \int_n^m \Delta_0 b_0 m^2 2L_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm = \\ &= \Delta_0 b_0 2L_0 \int_n^m m^2 \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm = \frac{\Delta_0 b_0 2L_0}{4} \int_n^m d(m^3 - n^3)^{4/3} = \\ &= \frac{\Delta_0 b_0 2L_0}{4} \left[ (m^3 - n^3)^{4/3} \right]_n^m = \frac{\Delta_0 b_0 2L_0}{4} (m^3 - n^3)^{4/3}. \end{aligned}$$

On voit que cette expression atteint son maximum, lorsque  $m = 1$  et  $n = 0$ , c'est-à-dire lorsqu'au commencement de l'écoulement (non de l'ondée!) la parcelle d'eau la plus éloignée de l'aqueduc dans la direction longitudinale du bassin, est tombée directement dans le collecteur (voir le des. N<sup>o</sup> 7 point 0), sans consommer  $n$  unités de temps pour parcourir une voie latérale quelconque le long des versants du bassin, et lorsqu' on a laissé la dite parcelle se mouvoir dans le collecteur jusqu' à la fin de l'ondée, ce qui exige la consommation de 1 unité de temps  $m = 1$ .

Après ces précisions l'expression du débit prend la forme:

$$(Q)_{n=0}^{m=1} = Q_0 = \frac{\Delta_0 b_0 L_0}{2},$$

$b_0$  étant la projection de toute la voie latérale des deux parcelles d'eau,  $L_0$  — la longueur spécifique, déjà déterminée ci-dessus. On voit que  $\frac{b_0 L_0}{2}$ , la surface d'écoulement, représente la surface d'un triangle dont la base est  $b_0$  et la hauteur —  $L_0$ . Appelons cette surface, surface spécifique, mais le débit y correspondant — débit spécifique. Il est clair que ces valeurs seront différentes pour différents bassins, et que par elles les qualités hydrauliques, autant que géométriques d'un bassin quelconque seront déterminées assez complètement.

Après avoir introduit la définition du débit spécifique, un débit quelconque se représentera sous la forme:

$$(Q)_n^m = Q_0 \sqrt[3]{(m^3 - n^3)^4} = Q_0 (m^3 - n^3)^{4/3}.$$

De telle manière sont calculées les expressions de tous les éléments hydrauliques, autant qu' hydrologiques pour la première période de l'écoulement, c'est-à-dire jusqu' au bout de l'ondée, et c'est en supposant que l'étendue de différents  $b$  n'est soumise à aucunes des conditions restrictives, dont il s'agira ci-dessous.

## X. RESTRICTIONS DE CONTOURS.

En attribuant différentes valeurs au temps du mouvement  $n$  de la parcelle le long du bord extrême de la zone de l'ondée, on aura différentes surfaces d'écoulement s'appuyant contre le bord extrême de la zone de l'ondée (voir les schémas du tableau I). Les surfaces d'écoulement seront, par conséquent, quelques figures ressemblant à

des trapèzes. Les limites dans lesquelles les surfaces d'écoulement peuvent s'étendre librement, sont celles des contours du bassin ou celles de la zone de l'ondée; cela dépend des limites qui sont les plus étroites, parce qu' aucune parcelle d'eau ne peut arriver d'au-delà des contours du bassin ni de ceux de la zone de l'ondée. Il en résulte que les contours de la figure à l'intérieur de laquelle se produit l'écoulement, seront déterminés de sorte qu' on couvrira de la figure de la zone de l'ondée celle du bassin, comme cela se passe en réalité, et ensuite les contours des deux figures les plus proches seront marqués, tant dans la direction longitudinale du bassin que dans sa transversale. Les contours dans la direction transversale de cette figure ne peuvent être dépassés par  $b = b_0 m^2$ , ainsi que ceux dans la direction longitudinale — par différentes longueurs du collecteur  $y$ .

#### XI. QUELQUES REMARQUES SUR LES CIRCONSTANCES DE NATURE MÉTÉOROLOGIQUE.

Pour faire mieux comprendre ce qui suit, il est d'importance de rendre compte des circonstances météorologiques du phénomène. Ce sont, en premier lieu, l'intensité  $\Delta$ , la durée  $\tau_0$ , les dimensions de la zone de l'ondée, puis la loi de l'intensité  $\Delta = f(t)$  et les éléments dynamiques, dont on parlera plus loin. Nous supposons le nuage immobile ce qui pourrait être admis dans la plupart des cas qu'on rencontre dans la pratique.

C'est parmi les éléments ci-dessus mentionnés, que les météorologues et les techniciens ont essayé de trouver quelques relations analytiques pour étudier le phénomène de l'écoulement des eaux pluviales et c'est, en premier lieu, pour l'intensité moyenne de l'ondée qu'ils ont établi quelques relations  $\Delta_0 = f(\tau_0)$  où  $\tau_0$  indique la durée de l'ondée.

Une de ces relations est:  $\Delta_0 = 3,522 \tau_0^{2/3} = 0,311 \tau_0$  (compté:  $\Delta_0$  — en milim.,  $\tau_0$  — en minutes) établie par Hellman pour l'Allemagne du Nord (Hellman, die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten, Berlin, 1906). En général, la relation entre  $\Delta_0$  moyenne et  $\tau_0$  suit une loi hyperbolique. C'est aux Etats-Unis d'Amérique du Nord que les observations météorologiques sont exécutées de la manière la plus complète et la plus parfaite. En étudiant les données météorologiques de Folwell (Blanchard and Drowne, Text-book on highway engineering, New-York, 1913) on parvient à conclure que la

dite relation est de nature à suivre une loi hyperbolique dont la forme analytique pourrait être trouvée facilement. Il en est de même en ce qui concerne la Russie du Sud (Ливни и большие дожди, Метеорологический Вестник №№ 2—3, 1899 г., результаты десятилетних наблюдений 1886—1895 гг., Воейков). En comparant les diagrammes des ondées de la Russie avec ceux de l'Amérique, on voit (voir le diagramme qu' on trouve dans le travail ci-dessus cité du professeur Doubelire, page 9) que le phénomène de l'ondée dans l'Amérique du Nord est moins intensif que le même phénomène dans la Russie du Sud, du moins pour les ondées dont la durée ne dépasse pas une heure.

Quant à la valeur relative des différents éléments météorologiques, il faut contester l'avis commun selon lequel ce serait l'intensité de l'ondée qui avant toutes choses déterminerait le débit. ( $\Delta_0$  est le plus souvent contenue dans des formules empiriques). Après être parvenu à l'expression du débit spécifique  $Q_0$ , quoique ce ne soit que pour la première période de l'écoulement, celle jusqu'au bout de l'ondée, il n'est pas difficile de contester cet avis. L'expression du débit  $Q_0$  peut être représentée sous la forme :

$$\begin{aligned}
 Q_0 &= \frac{L_0 b_0 \Delta_0}{2} = \frac{V_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{2 \cdot 2} b_0 \Delta_0 = c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 b_0^4} \\
 \Delta_0 \tau_0 (1-\varepsilon) &= \frac{1}{4} c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0} \cdot D'_0 b_0^{3/4} = \frac{1}{4} c_1 \sqrt{i} \\
 &\cdot \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0} \cdot D'_0 D_0^{1/3} = c^{1/3} \Phi^{1/3} \{\tau_0 (1-\varepsilon)\}^{1/3} = \\
 &= \frac{1}{256} \sqrt[3]{\frac{1}{4}} \left( c_1 c^{1/3} \right) \left( \Phi^{1/3} \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt{i} \right) \cdot \left\{ D_0'^2 \tau_0 (1-\varepsilon) \right\}^{1/3}
 \end{aligned}$$

On voit par la formule précédente que l'expression de  $Q_0$  est le produit de 4 groupes de coefficients. Le premier est celui de nombres abstraits, le deuxième — celui des coefficients hydrauliques, le troisième — celui des coefficients géométriques et, enfin, le quatrième — celui des coefficients ombrométriques. Il est évident que toute l'expression devient maximum, lorsque  $\{D_0'^2 \tau_0 (1-\varepsilon)\}^{1/3}$  le devient; mais cette dernière devient maximum, lorsque  $\tau_0$  le devient, parce qu'à cause

de la loi hyperbolique,  $\Delta_0 \tau_0 = D_0 = \text{constant}$ ,  $D_0'$  le plus souvent peut être compté constant. C'est pour cela que les ondées les plus nuisibles et les plus dangereuses sont les ondées les plus faibles quant à leur intensité, mais les plus durables, au contraire, ce que les observations prouvent également. Comme l'on verra plus loin,  $Q_0$  sera contenu dans toutes les expressions de  $Q$ , le maximum y compris; par conséquent, la remarque faite tout à l'heure a le sens général.

La considération de l'expression  $Q_0$  permet de faire encore une conclusion. Le groupe de coefficients ombrométriques peut être représenté sous la forme  $\{D'^2 \tau_0 (1-\varepsilon)\}^{1/3} = \{\Delta_0^2 \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2 \tau_0 (1-\varepsilon)\}^{1/3} = \Delta_0^{2/3} \tau_0^4 (1-\varepsilon)^4$  d'où on voit que le coefficient du retard  $(1-\varepsilon)$  est contenu dans cette expression dans la quatrième puissance, ce qui rend l'expression du débit très sensible à la durée de la période d'accumulation et d'infiltration. Nous finirons la question de l'intensité en citant les différentes normes d'intensité dont se sont servi différents auteurs. C'est, par exemple, Köstlin qui pose  $\Delta_0 = 0,96$  mm./min.; en corrigeant la formule de Köstlin, le professeur Nicolaï propose de laisser l'intensité telle qu'elle est et d'augmenter la durée jusqu'à 30 minutes. Le professeur Doubelire propose différentes intensités selon l'importance des voies de communication. Suivant le dit professeur, on pourrait, par exemple, accepter pour les chaussées, l'intensité  $\Delta_0 = 1$  mm/min; tandis que, pour assurer autant que possible la sécurité de communication sur les voies ferrées, cette norme devrait être doublée. Tout cela peut être reconnu comme très juste. Quant aux dimensions du nuage et à la loi de changement de l'intensité, comme fonction de la durée  $\tau_0$ , il y a peu d'observations, et cette question est peu éclaircie. La formule de Köstlin est basée sur la largeur de la zone de l'ondée égale à 3,5 verstes  $\approx 4$  klmtr. environ. Il est connu que l'intensité et les dimensions du nuage se trouvent en raison inverse l'un par rapport à l'autre. En Russie, où la question du calcul du débit était et reste critique, on a essayé d'établir une relation entre ces quantités. C'est, par exemple, la direction du chemin de fer de Catherine II qui a publié les résultats de plus de 100 observations qui étaient faites dans le but d'établir la dite relation. On est parvenu à observer que l'intensité de l'ondée diminue à partir du centre du nuage vers ses périphéries. Si l'on suppose que le changement de l'intensité suit une loi linéaire, on pourrait construire une courbe hyperbolique par rapport à laquelle les droites, représentant la loi de changement de l'intensité, sont les tangentes. (Voir les des. 8.)

D'après l'avis de la dite direction, l'équation de cette courbe serait:

$$x = \frac{8(a^2 - 1) + 0,25 \pm \sqrt{[8(a^2 - 1) + 0,25]^2 - 4(a + 1)^2[16(a^2 - 1) - 1,90]}}{2(a^2 + 1)^2}$$

où  $a = 0,0145 y^{3/4}$

En se basant sur les données du professeur Klosowsky publiées dans son oeuvre connue, la direction a établi la formule empirique donnant la relation entre  $\max \Delta$  mm/min qui se fait observer au centre du nuage, (de la zone de l'ondée) et la durée de l'ondée  $t$  comptée en secondes. Les formules sont:

$$a) \max \Delta \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 3,18 + \frac{1800 - 2t\text{sec}}{900 + t\text{sec}} \left[ 1,08 + 0,09 \sqrt{\frac{t\text{sec}}{600} - 1,5} \right]$$

ayant lieu pour les ondées dont la durée ne sort pas des limites: 15 min — 6 heures;

$$b) \max \Delta \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 3,18 + \frac{1800 - 2t\text{sec}}{900 + t\text{sec}} 1,08 - \text{ayant lieu pour les ondées dont la durée ne dépasse pas 15 min.}$$

L'équation dernière donne lorsque  $t$  devient 0,  $t = 0$ :

$\max \Delta \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 5,34 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$  ce qui correspondrait aux résultats des observations. Après avoir donné les relations ci-dessus exposées, la méthode de la dite direction consiste en ce qui suit. On calcule d'après l'équation établie la valeur de l'intensité maximale qu'on trace ensuite sur l'axe des  $Y$ .

Du point qu'on a ainsi obtenu, on trace la tangente à la courbe. Le point de croisement de la tangente avec l'axe des  $X$  donne la valeur du rayon de la zone de l'ondée qui est imaginée sous la forme d'un cercle.

Voilà d'autres données concernant la relation entre l'intensité et les dimensions du nuage. Selon l'ingénieur Wischnitzky la longueur de la zone est  $\frac{1}{2}$  verste pour l'intensité 4 mm/min, 5 verstes pour l'intensité 1 mm/min. Ces données se rapportent à la Russie du Sud.

En tout cas, si les dimensions de la zone de l'ondée sont aussi connues, le calcul du débit devient déterminé.

En ce qui concerne la loi  $\Delta = f(t)$ , il n'y a presque pas du tout de données. C'est d'ailleurs Frühling qui emploie un coefficient particulier appelé „Regenbeiwert“, dont le but est de tenir compte de

cette qualité de l'ondée. Ce coefficient est de nature à refléter la qualité connue de l'ondée qui est de présenter une intensité diminuant à partir du centre de la zone vers ses périphéries. Frühling s'imagine la loi de changement de l'intensité comme parabolique, ce qui paraît être juste. (Voir Handbuch d. Ing. Wissenschaften Teil III. Der Wasserbau. 4 Bd. Seite 23, 1903.)

## XII. CAS PARTICULIERS.

Après avoir donné les expressions de tous les éléments hydrauliques et hydrométriques jusqu'au bout de l'ondée, on peut examiner différents cas particuliers.

Voilà le relèvement des formules capitales:

Une vitesse quelconque dans les limites de temps est exprimée par:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_n^m = V_0 \sqrt[3]{m^3 - n^3}.$$

La longueur du collecteur parcourue par la parcelle d'eau dans les limites de temps  $m = 1$  et  $m = n$  est:

$$(y)_n^{m=1} = L_0 (1 - n).$$

Le débit amassé par la dite longueur du collecteur est:

$$(Q)_n^m = Q_0 (m^3 - n^3)^{4/3}.$$

Les relations entre  $m$  et  $n$  sont de sorte que  $n$  en aucun cas ne peut dépasser  $m$ , c'est-à-dire que toujours  $m > n$ , car, au cas contraire, la parcelle d'eau ne pourrait parvenir au collecteur, et resterait sur la surface des versants du bassin.

### 1) Cas $m = n$ .

Toutes les quantités deviennent égales à 0, parce que la parcelle n'a réussi qu'à parvenir au collecteur.

### 2) Cas $m = 1, n = 0$ .

La parcelle la plus éloignée de l'aqueduc, au commencement de l'ondée est tombée directement dans le collecteur, sans parcourir aucune distance latérale. Le mouvement dans le collecteur s'est produit jusqu'au bout de l'ondée.

Les expressions correspondantes des éléments de l'écoulement prennent la forme:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{dy}{dt}\right)_{n=0}^{m=1} &= (V_0 m)_{m=1} = V_0 \\ (y)_{n=0}^{m=1} &= (L_0 m^2)_{m=1} = L_0 \\ (Q)_{n=0}^{m=1} &= (Q_0 m^3)_{m=1} = Q_0 \end{aligned} \right\} \text{Expressions des quantités spécifiques.}$$

3) Cas  $m = m$ ,  $n = 0$ .

La parcelle est tombée directement dans le collecteur, sans parcourir aucune voie latérale le long des versants du bassin ( $n = 0$ ). Le mouvement a duré à partir du commencement de l'écoulement jusqu'à un moment quelconque  $m$ .

$$\begin{aligned} \left(\frac{dy}{dt}\right)_{n=0}^m &= V_0 m \\ (Q)_0^m &= Q_0 m^3. \end{aligned}$$

4) Cas  $m = 1$ ,  $n = n$ . (Voir le des. № 7.)

Les surfaces d'écoulement sont coupées par le bord extrême de la zone de l'ondée le long duquel la parcelle d'eau s'est mue  $n$  unités de temps avant qu'elle soit parvenue au collecteur.

A partir du moment  $n$  où la parcelle est parvenue au collecteur, elle s'est mue dans le collecteur jusqu'au bout de l'ondée.

$$\begin{aligned} \left(\frac{dy}{dt}\right)_n^{m=1} &= V_0 \sqrt[3]{1-n^3} \\ (y)_n^{m=1} &= L_0 (1-n) \\ (Q)_n^{m=1} &= Q_0 \sqrt[3]{(1-n^3)^4}. \end{aligned}$$

5) Cas  $m = m_1$ ,  $n = n$ . (Voir le des. № 9.)

$m$  et  $n$  prennent des valeurs quelconques entre les limites de temps 0 et 1, étant toujours  $m > n$ . C'est le cas général d'où proviennent tous les autres cas particuliers.

Pour trouver l'équation des contours de la surface d'écoulement dans quelque cas, il faut éliminer  $m$  des équations:  $b = b_0 m^2$ , et  $y = f(m)$ . Dans le cas mentionné au p. 2, par exemple, ont lieu:

$b = b_0 m^2, y = L_0 m^2$  d'où:  $b = y \frac{b_0}{L_0}$ . Cela veut dire que le contour de la surface d'écoulement dans ce cas est celui d'un triangle supposé  $\Phi \sin 2\beta \sqrt{V \bar{i}} = \text{constant}$ .

### XIII. L'INFLUENCE DES BORDS DU BASSIN SUR LE PROCÈS DE L'ÉCOULEMENT DE LA PARCELLE ET SON EXPRESSION ANALYTIQUE.

Désignons par  $l$  la projection de quelque trajectoire du mouvement latéral d'une des deux parcelles. (En cas de symétrie  $l = \frac{b}{2}$ .)

Alors,  $l = l_0 m^2$  où  $l_0 = (l_0 m^2)_{m=1}$ .  $l_0$  représente ainsi la projection de la trajectoire du mouvement latéral comptée à partir du commencement du mouvement (non de l'ondée!) jusqu'au bout de l'ondée.

Supposons le cas de symétrie géométrique du bassin, au moins en ce qui en concerne la partie comptée du bord extrême (le plus éloigné de l'aqueduc dans la direction longitudinale du bassin) de la zone de l'ondée jusqu'au point du collecteur où se fait manifester l'influence des bords du bassin qui commencent à couper les trajectoires.

La projection horizontale de la vitesse du mouvement latéral sera exprimée dans un instant quelconque par:

$$v \cos \alpha = \frac{d \cdot (l_0 m^2)}{dt} = \frac{2l_0 m dm}{dt} = \frac{2l_0 m dm}{\tau_0(1-\varepsilon)dm} = \frac{2l_0 m}{\tau_0(1-\varepsilon)}$$

Si les circonstances du mouvement latéral sont de sorte qu'après s'être mue,  $m$  unités de temps jusqu'au bout de l'ondée, la parcelle d'eau aura la possibilité de se mouvoir encore  $\mu$  unités de temps après la fin de l'ondée, la projection horizontale de la trajectoire du mouvement latéral après l'ondée sera:  $\frac{2l_0 m \mu \tau_0 (1-\varepsilon)}{\tau_0 (1-\varepsilon)} = 2l_0 \mu m$ , mais celle de toute la trajectoire comptée à partir du commencement du mouvement, lorsque la parcelle d'eau est tombée sur le bord du bassin, jusqu'au moment ( $m + \mu$ ) sera:

$$l_0 m^2 + 2l_0 m \mu. \quad (\text{Voir le des. N}^\circ 7.)$$

Ce sont les bords du bassin qui déterminent les limites du changement de  $m$  et  $\mu$ . Si la parcelle a consommé  $m$  unités de temps

en se mouvant des bords du bassin jusqu'au bout de l'ondée et  $\mu$  unités de temps en se mouvant après la fin de l'ondée jusqu'au moment où elle se jette dans le collecteur, il y a la relation

$$l_0 m^2 + 2l_0 \mu = \frac{B}{2} \text{ où } B \text{ indique la largeur du bassin, ce qui en cas}$$

de symétrie donne la relation:  $b_0 = 2l_0$ . Après cela  $l_0 m^2 + 2l_0 \mu = \frac{B}{2}$

$$\text{se transforme en: } m^2 + 2\mu - \frac{B}{b_0} = 0.$$

Il y a à mettre en relief que dans l'équation précédente  $m$  indique le temps compté à partir du moment où la parcelle d'eau est tombée sur le bord du bassin, ce qui ne coïncide pas avec le moment du commencement du mouvement général dans tout le bassin qui a lieu  $\varepsilon\tau_0$  unités de temps après le commencement de l'ondée.

#### XIV. L'IDÉE DE DIFFÉRENTES PHASES DE L'ÉCOULEMENT.

Il résulte de ce qui précède que les formules jusqu'ici établies ne peuvent être appliquées qu'au cas particulier jusqu'à ce que  $b_0 m^2$  puissent s'élargir tout librement, dans l'espace du bassin limité par ses bords. La marque distinctive géométrique de libre élargissement sera la relation:  $B \geq b_0$  (parce que toujours  $b_0 m \leq b_0$ ) ou  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ .

En cas contraire, notamment si  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$ , les formules ne sont applicables que jusqu'au point du collecteur où se fait manifester la dite influence des bords du bassin (voir le des N° 9). A partir de ce moment toutes les expressions pour les éléments de l'écoulement obtiennent une autre forme selon le changement des circonstances du phénomène.

Il est aussi évident que le changement des circonstances de l'écoulement, en cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$ , se produira avant la fin de l'ondée, car on pourra trouver  $m$  satisfaisant à l'équation:  $b_0 m^2 = B$ ,  $m = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = m_1 \leq 1$ . On pourrait obtenir cette valeur de  $m_1$  également

de l'équation générale:  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$  en y posant  $\mu = 0$  puisque: 1)  $m$  ne peut jamais dépasser:  $m \leq 1$ , et 2)  $\mu$  ne peut jamais devenir négatif. Pour cela, si  $m = 1$  rend  $\mu$  négatif par l'équation  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$ , cette dernière n'est applicable que jusqu'à la valeur de  $\mu = 0$ , ce qui transforme l'équation précédente en:  $m^2 - \frac{B}{b_0} = 0$ .

On voit, par conséquent, qu'on dispose de moyens pour indiquer différents moments du changement des circonstances de l'écoulement en se servant d'une marque analytique donnée par l'équation distinctive:  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$ .

Nous aurons ainsi différentes espèces d'écoulement distinguées par différentes circonstances du phénomène et limitées par certains moments de temps. Ces derniers seront déterminés par l'équation distinctive:  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$ ; chaque espèce d'écoulement sera incarnée dans certaines expressions analytiques.

Nous appellerons phases ces espèces d'écoulement, chacune d'elles durant une période de temps tout à fait déterminée.

Il en résulte par exemple, que la première phase de l'écoulement distinguée par l'élargissement libre des  $b_0 m^2$  jusqu'au moment  $m = m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$  aura les expressions suivantes à la fin de la phase:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{m=m_1} = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = V_0 \sqrt[3]{(m^3 - n^3)}_{m=m_1} = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = V_0 \sqrt[3]{\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}}\right)^3 - n^3} = V_1.$$

$$(Q)_{m=m_1} = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = Q_0 \sqrt[3]{(m^3 - n^3)^4}_{m=m_1} = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = Q_0 \sqrt[3]{\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}}\right)^3 - n^3}^4 = Q_1.$$

Si l'élargissement des  $b_0 m^2$  n'est pas dérangé jusqu'au bout de l'ondée ( $m = 1$ ) dont la marque distinctive géométrique sera:  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ ,

les expressions ci-dessus citées prennent la forme suivante:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{m=m_1} = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = V_0 \left( \sqrt[3]{m^3 - n^3} \right)_{m=m_1=1} = V_0 \sqrt[3]{1 - n^3} = V_1.$$

$$(Q)_{m=m_1} = \sqrt{\frac{B}{b_0}} = Q_0 \left[ \sqrt[3]{(m^3 - n^3)^4} \right]_{m=m_1=1} = Q_0 \sqrt[3]{(1 - n^3)^4} = Q_1.$$

(Voir le cas particulier:  $m = 1$ ,  $n = n$  expliqué dans le chapitre XII.)

## XV. LA DEUXIÈME PHASE DE L'ÉCOULEMENT.

(Voir le des. N<sup>o</sup> 9.)

A) Le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$  ou:  $\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1\right)$ .

Pour mieux comprendre ce qui va suivre, arrêtons nous encore un peu au sens mécanique de l'écoulement se produisant dans deux directions, l'une latérale, l'autre longitudinale. Ce mouvement est distingué par la rencontre simultanée de toutes les parcelles d'eau parvenues au collecteur en amont d'une section transversale du collecteur, à partir du commencement de l'écoulement jusqu'au moment  $m$ . Les parcelles se rencontrent à cette section transversale au moment de temps  $m$ . Il en résulte que jusqu'au moment  $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$  le contour de la surface d'écoulement représentera une courbe où les parcelles d'eau, se réunissant dans la même section transversale du collecteur, sont tombées au commencement de l'écoulement,  $\varepsilon_0$  unités de temps après le commencement de l'ondée. C'est à partir du moment  $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$  que cet ordre se dérange, la marque distinctive géométrique étant maintenant le croisement du contour de la surface d'écoulement, située en amont de la dite section transversale, avec les contours du bassin. A partir de ce moment de temps et du point correspondant du collecteur il commence une autre phase de l'écoulement spécifiée par l'influence des contours du bassin sur l'écoulement, la seule distinction en étant que  $l_0 m^2$  restent constants jusqu'au bout

de l'ondée:  $l_0 m^2 = \frac{B}{2}$  ou  $2l_0 m^2 = b_0 m^2 = B$ . Cela veut dire qu'en aval du point du collecteur où se trouvent les parcelles au moment de temps  $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$  celles-ci seront rejointes par les parcelles qui sont tombées sur le bord du bassin,  $m_1$  unités de temps, avant la fin de l'ondée (à l'opposé des parcelles tombées sur le contour de la surface d'écoulement au commencement de l'écoulement pendant la première phase. Il est facile de comprendre ce que devient l'équation différentielle du mouvement donnée sous la forme:  $d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = 3V_0^3 m^2 dm = V_0^3 dm^3$ . (Voir le chap. VIII.)

La deuxième partie de l'équation précédente comprend  $b_0 m^2$  qui deviennent  $b_0 m^2 = B = \text{constant}$  pendant toute la deuxième phase.

$V_0^3$  se transforme en:

$$V_0^3 = \frac{1}{32} D_0' B (c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta = \frac{B}{b_0} \cdot \frac{1}{32} D_0' (c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta = \frac{B}{b_0} V_0'^3, \text{ et pour cela l'équation différentielle du mouvement sera pour la deuxième phase:}$$

$$d \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3 = 3 \frac{B}{b_0} V_0'^3 dm \text{ (on a attribué à } y \text{ l'index „2“ pour distinguer la deuxième phase).}$$

L'intégrale en est:

$$\int_{m_1}^m d \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3 = \left[ \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3 \right]_{m_1}^m = \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_m^3 - \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_{m_1}^3 = \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_m^3 - V_1^3 = \frac{3B}{b_0} V_0'^3 \int_{m_1}^m dm = \frac{3B}{b_0} V_0'^3 (m - m_1)$$

d'où il résulte que:

$$\left( \frac{dy_2}{dt} \right)_m^3 = V_1^3 + \frac{3B}{b_0} V_0'^3 (m - m_1) = V_0'^3 (m_1^3 - n^3) + \frac{3B}{b_0} V_0'^3 (m - m_1) =$$

$$\begin{aligned}
 &= V_0^3 \left\{ m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1) \right\} = \\
 &= V_0^3 \left\{ \left( \frac{\sqrt{B}}{b_0} \right)^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} \left( m - \frac{\sqrt{B}}{b_0} \right) \right\} \text{ et } \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_m = \\
 &= V_0 \sqrt[3]{m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1)} \text{ où } m_1 = \frac{\sqrt{B}}{b_0}.
 \end{aligned}$$

La vitesse au bout de la phase lorsque  $m = m_2 = 1$

$$\left( \frac{dy_2}{dt} \right)_{m=m_2=1} = V_2 = V_0 \sqrt[3]{m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (1 - m_1)}.$$

L'élément de la voie dans le collecteur,  $dy$ , sera:

$$\begin{aligned}
 dy_2 &= \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_m dt = \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_m \tau_0 (1 - \varepsilon) dm = \\
 &= V_0 \sqrt[3]{m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1)} \tau_0 (1 - \varepsilon) dm. \text{ Puisque } V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) = \\
 &= 2L_0, dy_2 = 2L_0 \sqrt[3]{m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1)} dm = \\
 &= 2L_0 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{b_0}{3B} d \left\{ m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1) \right\}^{4/3} \\
 \int_{m_1}^m dy_2 = y_2 &= \frac{L_0 b_0}{2B} \int_{m_1}^m d \left\{ m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1) \right\}^{4/3} = \\
 &= \frac{L_0 b_0}{2B} \left[ \left\{ m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (m - m_1) \right\}^{4/3} - \left\{ m_1^3 - n^3 \right\}^{4/3} \right].
 \end{aligned}$$

Toute la longueur du collecteur pendant la deuxième phase:

$$(y_2)_{m=m_2=1} = (L_2)_{m=1} = \frac{L_0 b_0}{2B} \left[ \left( m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (1 - m_1) \right)^{4/3} - \left( m_1^3 - n^3 \right)^{4/3} \right].$$

L'accroissement du débit pendant toute la phase:

$$\begin{aligned} \int_{m_1}^m dQ_2 &= Q_2 = \Delta_0 B L_2 = \frac{\Delta_0 B L_0 b_0}{2B} \cdot \\ &\cdot \left[ \left( m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (1 - m_1) \right)^{4/3} - \left( m_1^3 - n^3 \right)^{4/3} \right] = \\ &= Q_0 \left[ \left( m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} (1 - m_1) \right)^{4/3} - \left( m_1^3 - n^3 \right)^{4/3} \right]. \end{aligned}$$

Telles sont les expressions pour les éléments de l'écoulement si le contour de la surface d'écoulement de la première phase est coupé par celui du bassin avant la fin de l'ondée.

B) Le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$  ou:  $\left( \sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1 \right)$ .

C'est en ce cas que le croisement du contour de la surface d'écoulement avec celui du bassin ne peut avoir lieu avant le moment  $m = 1$  (fin de l'ondée), c'est-à-dire les  $b_0 m^2$  ont la possibilité de libre élargissement jusqu'au bout de l'ondée et encore plus loin jusqu'au moment qui se déterminera de l'équation distinctive:  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$  prenant maintenant la forme:  $1 + 2\mu - \frac{B}{b_0} = 0$  parce que  $m$  doit être posé:  $m_1 = 1$ . Il résulte de cette équation que  $\mu_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$ . Cela veut dire que le croisement des contours correspondants aura lieu,  $\mu$  unités de temps, après la fin de l'ondée. (Voir le des. N° 7.)

Puisque jusqu'ici nous avons trouvé toutes les expressions pour les différents éléments de l'écoulement dans les limites  $n \leq m \leq 1$ , il faudra partager maintenant le temps du phénomène jusqu'au croisement des contours en deux périodes: celle qui dure jusqu'au moment

$m_1 = 1$  et celle qui dure de  $m_1 = 1$  jusqu'à  $\mu_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$ . Nous parvenons de cette manière à deux phases de l'écoulement.

Quant à la première phase on obtiendra les expressions pour les éléments hydrauliques en posant  $m_1 = 1$  au lieu de  $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$  dans toutes les formules du cas  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$ , ce qui est déjà fait dans le chap. XII concernant les cas particuliers. (Le cas  $m = 1$ ,  $n = n$ .)

Après avoir déterminé les limites de temps pour la deuxième phase, donnons les expressions correspondantes des éléments hydrauliques de cette phase. L'équation différentielle du mouvement se transforme en:  $d \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3 = 3 V_0^3 d\mu$  ( $\mu$  est compté après la fin de l'ondée).

L'intégrale en est:

$$\int_{\mu=0}^{\mu} d \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3 = \left[ \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3 \right]_{\mu=0}^{\mu} = \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3_{\mu} - \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3_{\mu=0} = \left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3_{\mu} - V_1^3 = 3 V_0^3 \int_{\mu=0}^{\mu} d\mu = 3 V_0^3 \mu$$

d'où il résulte que:

$$\left( \frac{dy_2}{dt} \right)^3_{\mu} = V_1^3 + 3 V_0^3 \mu = V_0^3 (1 - n^3) + 3 V_0^3 \mu = V_0^3 (1 - n^3 + 3\mu), \text{ et:}$$

$$\left( \frac{dy_2}{dt} \right)_{\mu} = V_0 \sqrt[3]{1 - n^3 + 3\mu}.$$

La vitesse au bout de la phase, au moment  $\mu_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$  est:

$$\left( \frac{dy_2}{dt} \right)_{\mu_1} = V_0 \sqrt[3]{1 - n^3 + 3\mu_1} = V_0 \sqrt[3]{1 - n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)}.$$

L'élément de la voie,  $dy_2$ :

$$dy_2 = \left( \frac{dy_2}{dt} \right)_{\mu} dt = V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) \sqrt[3]{1 - n^3 + 3\mu} d\mu = 2L_0 \sqrt[3]{1 - n^3 + 3\mu} d\mu =$$

$$= 2 L_0 \cdot \frac{3}{4 \cdot 3} d (1 - n^3 + 3\mu)^{4/3} = \frac{L_0}{2} d (1 - n^3 + 3\mu)^{4/3}.$$

L'intégrale en est:

$$\int_{\mu=0}^{\mu} dy_2 = y_2 = \frac{L_0}{2} \int_{\mu=0}^{\mu} d(1 - n^3 + 3\mu)^{4/3} = \\ = \frac{L_0}{2} \left[ 1 - n^3 + 3\mu \right]_0^{\mu} = \frac{L_0}{2} \left\{ (1 - n^3 + 3\mu)^{4/3} - (1 - n^3)^{4/3} \right\}.$$

Toute la longueur du collecteur est:

$$(y_2)_{\mu=\mu_1} = \frac{L_0}{2} \left[ \left\{ 1 - n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) \right\}^{4/3} - (1 - n^3)^{4/3} \right] = \left\{ L_2 \right\}_{\mu_1}$$

L'expression de l'accroissement du débit,  $b_0 m^2$  étant constant,  $(b_0 m^2)_{m=1} = b_0$ .

$$Q_2 = \Delta_0 b_0 L_2 = \Delta_0 b_0 \frac{L_0}{2} \left[ (1 - n^3 + 3\mu_1)^{4/3} - (1 - n^3)^{4/3} \right] = \\ = Q_0 \left[ \left\{ 1 - n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) \right\}^{4/3} - (1 - n^3)^{4/3} \right].$$

## XVI. LA TROISIÈME PHASE.

Il est évident que l'écoulement n'est pas borné ni par le moment  $m_2 = 1$  en cas  $\left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) \leq 0$ , ni par celui de  $\mu_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$ . Il se développe encore dans une nouvelle phase qui se présente comme la phase finale, comme nous le verrons plus loin.

A) Le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$  ou:  $\left( \sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1 \right)$ . (Voir le des. N°7.)

Comptons le temps à partir du moment  $\mu_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$ , alors l'équation distinctive:  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$  se transforme en:  $m^2 + 2m\mu' - 1 = 0$ , parce que maintenant on a:  $\mu = \mu' + \mu_1 = \mu' + \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$  et:

$$\begin{aligned}
 m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0 &= m^2 + 2m \left[ \mu' + \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) \right] - \frac{B}{b_0} = 0 = \\
 &= m^2 + 2m\mu' + \frac{B}{b_0} - 1 - \frac{B}{b_0} = m^2 + 2m\mu' - 1 = 0.
 \end{aligned}$$

Rappelons encore une fois ce que désignent diverses lettres dans l'équation distinctive:  $m^2 + 2m\mu' - 1 = 0$ . C'est  $\mu'$  qui indique maintenant le temps compté à partir du commencement de la troisième (de la fin de la deuxième) phase. Le temps compté à partir du moment où la parcelle est tombée sur le bord du bassin jusqu'à la fin de l'ondée, est indiqué par  $m$ . De l'équation distinctive il résulte que si  $m$  devient  $m = 0$ , c'est-à-dire, si la parcelle est tombée sur le bord du bassin au bout de l'ondée,  $\mu' = \infty$ . Cela veut dire que la parcelle tombée sur le bord du bassin, ne parviendra jamais au collecteur.

Puisque la vitesse du mouvement dans le collecteur ne diminue pas, la voie parcourue par la parcelle ou, ce qui est la même chose, la longueur du collecteur dans la troisième phase de l'écoulement est:  $y_3 = \infty$ , si le remblai de la route et les dimensions limitées du nuage ne coupaient pas le procès.

Pour trouver les expressions des différents éléments hydrauliques de la troisième phase, il faut encore intégrer l'équation différentielle connue:  $d \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3 = 3 V_0^3 m^2 dm$ , où  $m$  doit être exprimé par  $\mu'$  au moyen de l'équation distinctive:  $m^2 + 2m\mu' - 1 = 0$ . Il résulte de cette dernière que:  $m = -\mu' \pm \sqrt{\mu'^2 + 1}$ .

Puisque  $m$  ne peut être négatif, il y a à placer + devant la racine, et par là:

$$\begin{aligned}
 m &= \sqrt{\mu'^2 + 1} - \mu', \quad m^2 = \mu'^2 + 1 - 2\mu' \sqrt{\mu'^2 + 1} + \mu'^2 = \\
 &= 1 - 2\mu' \sqrt{\mu'^2 + 1} + 2\mu'^2, \quad m^2 d\mu' = (1 - 2\mu' \sqrt{\mu'^2 + 1} + 2\mu'^2) d\mu' = \\
 &= d \left\{ \mu'^{-2/3} (\mu'^2 + 1)^{3/2} + \frac{2}{3} \mu'^3 \right\} = df_1(\mu'), \text{ et l'équation différentielle} \\
 &\text{prend la forme simple:}
 \end{aligned}$$

$$d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = 3 V_0^3 df_1(\mu') \text{ où } f_1(\mu') \text{ est: } f_1(\mu') = \mu'^{-2/3} (\mu'^2 + 1)^{3/2} + \frac{2}{3} \mu'^3.$$

L'intégrale de l'équation précédente est:

$$\int_{\mu'=0}^{\mu'} d \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3 = \left[ \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3 \right]_0^{\mu'} = \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3_{\mu'} - \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3_{\mu'=0} = \left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3_{\mu'} - V_2^3 = 3 V_0^3 \int_{\mu'=0}^{\mu'} df_1(\mu') =$$

$= 3 V_0^3 [f_1(\mu') - f_1(0)]$ . En posant provisoirement:

$$1 - n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) = a, \text{ nous avons:}$$

$$\left( \frac{dy_3}{dt} \right)^3_{\mu'} = V_2^3 + 3 V_0^3 [f_1(\mu') - f_1(0)] = V_0^3 a + 3 V_0^3 \{f_1(\mu') - f_1(0)\} \text{ et:}$$

$$\left( \frac{dy_3}{dt} \right)_{\mu'} = V_0 \sqrt[3]{a + 3 \{f_1(\mu') - f_1(0)\}} = V_3.$$

La fonction  $f_1(\mu') - f_1(0) = \mu'^{-2/3} (\mu'^2 + 1)^{3/2 + 2/3} \mu'^3 - 2/3 = \mu'^{-2/3} \{(\mu'^2 + 1)^{3/2} - 1\} + 2/3 \mu'^3$ . Pour trouver la limite de cette fonction lorsque  $\mu'$  devient infini,  $\mu' = \infty$ , décomposons celle-là en série infinie de Taylor, alors,  $R$  indiquant le reste de la série, nous avons:

$$\begin{aligned} \lim_{\mu'=\infty} \{f_1(\mu') - f_1(0)\} &= \lim_{\mu'=\infty} \left[ \mu' - \frac{2}{3} \{(\mu'^2 + 1)^{3/2} - 1\} + \frac{2}{3} \mu'^3 \right]_{\mu'=\infty} = \\ &= \lim_{\mu'=\infty} \left[ \mu' - \frac{2}{3} \left( \mu'^3 + \frac{3}{2} \mu' + \frac{3}{2 \cdot 2 \cdot 2 \mu'} + \dots + R - 1 \right) + \frac{2}{3} \mu'^3 \right]_{\mu'=\infty} = \\ &= \lim_{\mu'=\infty} \left[ \mu' - \frac{3}{2} \mu'^3 - \mu' - \frac{1}{4\mu'} + \dots - \frac{2}{3} R + \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \mu'^3 \right]_{\mu'=\infty} = \\ &= \lim_{\mu'=\infty} \left[ -\frac{1}{4\mu'} + \dots - \frac{2}{3} R + \frac{2}{3} \right]_{\mu'=\infty} = \lim_{\mu'=\infty} \left[ -\frac{1}{4\mu'} + \dots - \frac{2}{3} R \right]_{\mu'=\infty} + \frac{2}{3}. \end{aligned}$$

L'expression entre parenthèses représente maintenant une série dont chaque membre devient 0 si  $\mu' = \infty$ . La série est convergente,

c'est pourquoi  $(R)_{\mu'=\infty} = 0$ , et  $\lim_{\mu'=\infty} [f_1(\mu') - f_1(0)] = \frac{2}{3}$ .

$$\lim_{\mu'=\infty} \left( \frac{dy_3}{dt} \right)_{\mu'=\infty} = V_0 \sqrt[3]{a + 3 \{f_1(\mu') - f_1(0)\}_{\mu'=\infty}} = V_0 \sqrt[3]{a + 3 \cdot \frac{2}{3}} =$$

$$\begin{aligned}
 &= V_0 \sqrt[3]{a+2} = V_0 \sqrt[3]{1-n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) + 2} = \\
 &= V_0 \sqrt[3]{3-n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)}.
 \end{aligned}$$

L'expression précédente représente la plus grande valeur possible de la vitesse dans le collecteur au bout de la troisième phase supposée infinie, lorsque  $\mu' = \infty$  et lorsque la surface d'écoulement sommaire de toutes les trois phases est appuyée contre le bord extrême de la zone de l'ondée ( $n$  différent de 0). Au contraire, si elle n'a pas

atteint le bord de la zone,  $\left( \frac{dy_3}{dt} \right)_{\substack{n=0 \\ \mu'=\infty}} = V_0 \sqrt[3]{3 - \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)}$ .

En cas particulier,  $B = b_0$ ,  $\left( \frac{dy_3}{dt} \right)_{\substack{n=0 \\ \mu'=\infty \\ B=b_0}} = V_0 \sqrt[3]{3} = 1,44 V_0$ .

L'élément de la voie parcourue par la parcelle d'eau dans le collecteur:

$$dy_3 = V_0 \sqrt[3]{a + 3|f_1(\mu') - f_1(0)|} dt = V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) \sqrt[3]{a + 3|f_1(\mu') - f_1(0)|} d\mu'.$$

Pour abrégé, posons:  $f_1(\mu') - f_1(0) = f(\mu')$ ,  
alors:

$$dy_3 = 2L_0 \sqrt[3]{a + 3f(\mu')} d\mu'.$$

Pour trouver l'intégrale de l'expression précédente, construisons la courbe correspondant à la fonction  $f(\mu')$  (voir le diagramme N° 10) d'où il est à apprendre que la fonction  $f(\mu')$  pourrait être remplacée par deux fonctions linéaires jusqu'à la valeur de  $\mu' = 3$ .

Ces fonctions linéaires sont: 1) jusqu'à la valeur de  $\mu' = 0,50$ ,  $f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} = \frac{3}{4} \mu'$ ; 2) au-dessus de la valeur de  $\mu' = 0,50$  jusqu'à la valeur de  $\mu' = 3$ ,  $f(\mu') = 0,325 + 0,1 \mu'$ .

Dans la plupart des cas qu'on rencontre dans la pratique, on pourra se borner à la fonction  $f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} = \frac{3}{4} \mu'$ , parce que ce sont des distances considérables qui peuvent être parcourues dans le temps  $\mu' = 0,50$  après la fin de l'ondée, la vitesse étant trop considérable

pour que l'aqueduc ne puisse être atteint. Pour généraliser, les éléments hydrauliques appartenant également aux moments de temps supérieurs à la valeur  $\mu' = 0,50$ , sont examinés ici.

Si  $f(\mu')_{\mu' \leq 0,50}$  est:  $f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} = \frac{3}{4} \mu'$ , l'intégrale correspondante de  $dy_3$  est:

$$\begin{aligned} \int_{\mu'=0}^{\mu' \leq 0,50} dy_3 &= (y_3)_{\mu' \leq 0,50} = 2L_0 \int_0^{\mu' \leq 0,50} \sqrt{a + 3 \cdot \frac{3}{4} \mu'} d\mu' = \\ &= \frac{2}{3} L_0 \int_0^{\mu' \leq 0,50} d(a + 2,25 \mu')^{1/3} = \frac{2}{3} L_0 \left[ (a + 2,25 \mu')^{1/3} = a^{1/3} \right]. \end{aligned}$$

On pourrait obtenir la même expression en se servant de  $f(\mu')$  comme variable indépendante.

Il résulte de l'équation  $f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} = \frac{3}{4} \mu'$  que  $d\mu' = \frac{4}{3} df_{\mu' \leq 0,50}$ . Alors:

$$\begin{aligned} d(y_3)_{\mu' \leq 0,50} &= 2L_0 \left[ a + 3 f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} \right]^{1/3} df(\mu')_{\mu' \leq 0,50} = \\ &= \frac{2}{3} L_0 d \left[ a + 3 f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} \right]^{1/3} \text{ d'où il résulte que:} \end{aligned}$$

$$\int_0^{\mu' \leq 0,50} dy_3 = (y_3)_{\mu' \leq 0,50} = \frac{2}{3} L_0 \left[ \left[ a + 3 f(\mu')_{\mu' \leq 0,50} \right]^{1/3} - a^{1/3} \right] \approx$$

$\approx \frac{2}{3} L_0 \left[ \left[ a + 2,25 \mu' \right]^{1/3} - a^{1/3} \right] = L'_3$ . Les valeurs précises de  $f(\mu')$  peuvent être prises du tableau ci-joint. (Voir le tableau N° 1.)

Si  $(y_3)_{\mu' \leq 0,50}$  est posé égal à toute la longueur de la troisième phase supposée connue, on peut évaluer  $\mu'$  — le temps dans lequel l'aqueduc est atteint par la parcelle d'eau qui se trouvait au moment  $\mu' = 0$  (à la fin de la deuxième phase) au bout du collecteur de la deuxième phase éloigné  $(L_1 + L_2)$  unités de longueur du bord extrême de la zone de l'ondée.

Si la valeur de  $\mu'$  déterminée de la manière indiquée est  $\mu' > 0,50$ , on est contraint à chercher les expressions des éléments hydrauliques appartenant aux moments de temps au-dessus de la valeur  $\mu' = 0,50$ , ce qui se produit de la manière suivante.

$$\int_{\mu'=0,50}^{\mu' \leq 3} dy_3 = (y_3)_{\mu' \geq 0,50} = 2L_0 \int_{\mu'=0,50}^{\mu' \leq 3} |a + 3f(\mu')|^{1/3} d\mu',$$

$$df(\mu')_{\mu' \geq 0,50} = d(0,10 \mu' + 0,325) = 0,10 d\mu'; \quad d\mu' = 10 df(\mu')$$

$$\text{et: } \int_{\mu'=0,50}^{\mu' \leq 3} dy_3 = (y_3)_{\mu' \geq 0,50} = 2L_0 10 \int_{\mu'=0,50}^{\mu' \leq 3} |a + 3f(\mu')|^{1/3} df(\mu') =$$

$$= 5L_0 \left[ |a + 3f(\mu')|^{4/3} - |a + 3f(0,50)|^{4/3} \right] =$$

$$= 5L_0 \left[ |a + 3f(\mu')|^{4/3} - |a + 1,125|^{4/3} \right] = L''_3.$$

Toute la longueur du collecteur durant la troisième phase sera:

$$\left[ y_3 \right]_{\mu'=0}^{\mu' \leq 3} = L_3 = (y_3)_{\mu'=0,50} + L''_3 = (L'_3)_{\mu'=0,50} + L''_3$$

où est posé:  $(y_3)_{\mu' \leq 0,50} = (L'_3)_{\mu'=0,50}$ .

L'expression de l'accroissement du débit:

$$dQ_3 = \Delta_0 b_0 m^2 dy_3 = \Delta_0 b_0 2L_0 \sqrt[3]{a + 3f(\mu')} \cdot m^2 d\mu'; \text{ mais}$$

$$m^2 = 1 - 2\mu' (\mu'^2 + 1)^{1/2} + 2\mu'^2 = \frac{d}{d\mu'} \left[ \mu' - \frac{2}{3} (\mu'^2 + 1)^{3/2} - 1 \right] + \frac{2}{3} \mu'^3 =$$

$$= \frac{df(\mu')}{d\mu'}, \text{ après quoi:}$$

$$dQ_3 = \Delta_0 b_0 \cdot 2L_0 \sqrt[3]{a + 3f(\mu')} \cdot df(\mu').$$

L'intégrale en est:

$$\int_{\mu'=0}^{\mu'} dQ_3 = Q_3 = \frac{\Delta_0 b_0 L_0}{2} \int_0^{\mu'} |a + 3f(\mu')|^{1/3} =$$

$$= \frac{\Delta_0 b_0 L_0}{2} \left[ |a + 3f(\mu')|^{4/3} \right] = Q_0 \left[ |a + 3f(\mu')|^{4/3} - a^{4/3} \right].$$

L'accroissement du débit pendant la troisième phase ne peut dépasser la valeur extrême de:

$$(Q_3)_{\mu'=\infty} = Q_0 \left[ \{a + 3f(\mu')\}^{4/3} - a^{4/3} \right]_{\mu'=\infty} = Q_0 \left[ (a+2)^{4/3} - a^{4/3} \right].$$

On pourrait évaluer le débit également au moyen de la fonction linéaire de  $\mu'$ , et nous aurions dans les limites:  $0 \leq \mu' \leq 0,50$ :

$$dQ_3 = \Delta_0 b_0 2L_0 \sqrt[3]{a + 3f(\mu')} df(\mu') = \Delta_0 b_0 \cdot 2L_0 \sqrt[3]{a + 2,25\mu'} \cdot \frac{3}{4} d\mu' = \\ = \Delta_0 b_0 2L_0 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4 \cdot 2,25} d(a + 2,25\mu')^{4/3} = Q_0 \cdot d(a + 2,25\mu')^{4/3}, \text{ et:}$$

$$\int_0^{\mu' \leq 0,50} dQ_3 = (Q_3)_{\mu' \leq 0,50} = Q_0 \int_0^{\mu' \leq 0,50} d(a + 2,25\mu')^{4/3} = Q_0 \left[ (a + 2,25\mu')^{4/3} \right] = \\ = Q_0 \left[ (a + 2,25\mu')^{4/3} - a^{4/3} \right]. \text{ Puisque } \left[ (a + 2,25\mu')^{4/3} - a^{4/3} \right] = \\ \left( \text{voir plus haut} \right) = (y_3)_{\mu' \leq 0,50} \frac{3}{2} L_0, \text{ le débit } (Q_3)_{\mu' \leq 0,50} = \\ = \frac{\Delta_0 b_0 L_0 \cdot 3}{2 \cdot 2L_0} (y_3)_{\mu' \leq 0,50} = \frac{3}{4} \Delta_0 b_0 (y_3)_{\mu' \leq 0,50} = \frac{3}{4} \Delta_0 b_0 L'_3.$$

Il en résulte que l'accroissement du débit rapporté à l'unité de longueur du collecteur durant la troisième phase, dans les limites de temps  $0 \leq \mu' \leq 0,50$  n'est que les  $\frac{3}{4}$  de celui de la deuxième phase distinguée par de pleines  $b_0$  ( $m=1$ ).

C'est de la même manière qu'on obtiendrait l'expression du débit pour les limites  $0,50 \leq \mu' \leq 3$ :

$$\text{puisque } L''_3 = 5L_0 \left[ \{a + 3f(\mu')\}^{4/3} - \{a + 3f(0)\}^{4/3} \right], (Q_3)_{\mu' \geq 0,50} = \\ = Q_0 \left[ \{a + 3f(\mu')\}^{4/3} - \{a + 3f(0)\}^{4/3} \right] = \frac{Q_0 \cdot L''_3}{5L_0} = \frac{\Delta_0 b_0 \cdot L_0}{2 \cdot 5 \cdot L_0} \cdot L''_3 = \\ = \frac{1}{10} \Delta_0 b_0 L''_3.$$

Cela veut dire que le débit de la troisième phase, dans les limites de temps  $0,50 \leq \mu' \leq 3$ , rapporté à l'unité de longueur du collecteur n'est que le  $\frac{1}{10}$  de celui de la deuxième phase distinguée par de pleines  $b_0$ .

B. Le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$  ou:  $\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1\right)$ .

Comme nous l'avons déjà vu, ce cas est distingué par le croisement du contour de la surface d'écoulement avec celui du bassin avant la fin de l'ondée, ce qui se passe au moment  $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$ . (Voir les des. N° 9.)

L'équation distinctive, dans ce cas, a la forme connue:

$$m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0, \text{ d'où il résulte que:}$$

$$\begin{aligned} m &= + \sqrt{\mu^2 + \frac{B}{b_0}} - \mu; \quad m^2 = \mu^2 + \frac{B}{b_0} - 2\mu \sqrt{\mu^2 + \frac{B}{b_0}} + \mu^2 = \\ &= \frac{B}{b_0} - 2\mu \sqrt{\mu^2 + \frac{B}{b_0}} + 2\mu^2. \quad \text{En posant: } \mu = p \sqrt{\frac{B}{b_0}}, \end{aligned}$$

cette équation peut être transformée en:

$$\begin{aligned} m^2 &= \frac{B}{b_0} - 2p \sqrt{\frac{B}{b_0}} \sqrt{\frac{B}{b_0}} \sqrt{p^2 + 1} + 2 \left(\sqrt{\frac{B}{b_0}}\right)^2 p^2 = \\ &= \frac{B}{b_0} \left(1 - 2p \sqrt{p^2 + 1} + 2p^2\right) = \frac{B}{b_0} \frac{df_1(p)}{dp}. \end{aligned}$$

Par conséquent, nous sommes parvenus à la fonction  $f_1(p)$  déjà connue. Quant aux expressions des éléments correspondants, il est évident que celles-là resteront invariables, la seule distinction en étant le coefficient numérique  $\frac{B}{b_0}$ .

L'équation différentielle du mouvement  $d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = 3V_0^3 m^2 dm$  se transforme en:

$$\begin{aligned} d\left(\frac{dy_3}{dt}\right)^3 &= \frac{3B}{b_0} V_0^3 m^2 d\mu = 3V_0^3 \frac{B}{b_0} \frac{df_1(p)}{dp} \sqrt{\frac{B}{b_0}} dp = 3V_0^3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} df_1(p), \\ \text{parce que } d\mu &= d\left(p \sqrt{\frac{B}{b_0}}\right) = \sqrt{\frac{B}{b_0}} \cdot dp. \end{aligned}$$

L'intégration de l'équation différentielle précédente donne:

$$\int_0^p d\left(\frac{dy_3}{dt}\right)^3 = \left[\left(\frac{dy_3}{dt}\right)^3\right]_0^p = \left(\frac{dy_3}{dt}\right)_p^3 - \left(\frac{dy_3}{dt}\right)_0^3 = \left(\frac{dy_3}{dt}\right)_p^3 - V_2^3 = 3V_0^3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} \int_0^p df_1(p) =$$

$$= 3V_0^3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} [f_1(p)]_0^p = 3V_0^3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} [f_1(p) - f_1(0)] = 3V_0^3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p) \text{ et}$$

$$\left(\frac{dy_3}{dt}\right)_p = V_0 \sqrt[3]{m_1^3 - n^3 + 3\frac{B}{b_0}(1 - m_1) + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p)} = V_3.$$

En posant provisoirement  $m_1^3 - n^3 + 3\frac{B}{b_0}(1 - m_1) = b$ , nous avons:

$$\left(\frac{dy_3}{dt}\right)_p = V_0 \sqrt[3]{b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p)}.$$

Il résulte de l'équation précédente que l'élément de la voie parcourue par la parcelle est exprimé par:

$$dy_3 = \left(\frac{dy_3}{dt}\right)_p dt = 2L_0 \cdot \sqrt[3]{b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p)} \cdot d\mu = 2L_0 \sqrt[3]{b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p)} \sqrt{\frac{B}{b_0}} dp.$$

En posant, comme au cas précédent,  $f(p) = \frac{3}{4}p$  jusqu'à la valeur de  $p = 0,50$  nous avons:

$$dy_3 = 2L_0 \cdot \sqrt[3]{b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p)} \sqrt{\frac{B}{b_0}} dp = 2L_0 \cdot \frac{4}{3} \sqrt{\frac{B}{b_0}} \sqrt[3]{b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p)} df(p) =$$

$$= 2L_0 \cdot \frac{4}{3} \sqrt{\frac{B}{b_0}} \cdot \frac{3}{4 \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3}} \cdot d \left[ b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p) \right]^{4/3} \text{ dont l'intégrale est:}$$

$$L'_3 = \int_0^{p \leq 0,50} dy_3 = \left( y_3 \right)_{p \leq 0,50} = \frac{2}{3} \frac{L_0 b_0}{B} \int_0^p d \left[ b + 3\sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p) \right]^{4/3} =$$

$$= \frac{2}{3} \frac{L_0 b_0}{B} \left[ \left( b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)} \right)^{4/3} \right]_0^p = \frac{2}{3} \frac{L_0 b_0}{B} \left[ \left( b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)} \right)^{4/3} - b^{4/3} \right];$$

$$\left( y_3 \right)_{p=0,50} = \left( L'_3 \right)_{p=0,50} = \frac{2}{3} \frac{L_0 b_0}{B} \left[ \left( b + 1,125 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \right)^{4/3} - b^{4/3} \right].$$

Si jusqu'au moment  $\mu = \left( \sqrt{\frac{B}{b_0}} p \right)_{p=0,50} = 0,50 \sqrt{\frac{B}{b_0}}$  l'aqueduc n'est pas atteint par la parcelle, il faut se servir de l'expression analogue à celle du cas précédent, c'est-à-dire :

$$\left( y_3 \right)_{p \geq 0,50} = \frac{5L_0 b_0}{B} \left[ \left( b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)} \right)^{4/3} - \left( b + 1,125 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \right)^{4/3} \right] = L''_3.$$

L'accroissement du débit est :

$$\left( dQ_3 \right)_p = \Delta_0 b_0 m^2 dy_3 = \Delta_0 \frac{b_0}{b_0} \cdot \frac{B df_1(p)}{dp} \cdot 2L_0 \sqrt[3]{b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)}} \sqrt{\frac{B}{b_0}} dp.$$

Mais  $df_1(p) = d\{f_1(p) - f_1(o)\} = df(p)$  et par conséquent :

$$\begin{aligned} \left( dQ_3 \right)_p &= \Delta_0 b_0 2L_0 \sqrt{\frac{B}{b_0}} \sqrt[3]{b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)}} df(p) = \\ &= \Delta_0 b_0 2L_0 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \frac{3}{4 \cdot 3} \frac{d}{\sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3}} \left( b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)} \right)^{4/3} = \\ &= \frac{\Delta_0 b_0 L_0}{2} d \left( b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \right)^{4/3} = Q_0 d \left( b + 3 \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 f(p)} \right)^{4/3}. \end{aligned}$$

L'intégrale en est:

$$\int_0^p d(Q_3) = Q_3 = Q_0 \int_0^p d \left[ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3 f(p)} \right]^{4/3} = Q_0 \left[ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3 f(p)} \right]^{4/3} - b^{4/3}$$

Si l'on se servait de la fonction linéaire de  $p$  en posant:

$$f(p) = \frac{3}{4} p = 0,75 p \text{ jusqu' au moment } \mu = \left( \sqrt{\frac{B}{b_0}} p \right)_{p=0,50} = 0,50 \sqrt{\frac{B}{b_0}},$$

l'accroissement du débit se représenterait sous la forme:

$$\left( Q_3 \right)_{p \leq 0,50} = \frac{3}{4} \cdot \Delta_0 B L'_3 \text{ parce que:}$$

$$\left( Q_3 \right)_{p \leq 0,50} = Q_0 \cdot \left[ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3 f(p)} \right]^{4/3} - b^{4/3},$$

$$\text{mais: } \left[ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3 f(p)} \right]^{4/3} - b^{4/3} = L'_3 \frac{3 B}{2 b_0 L_0} \text{ et c'est pourquoi:}$$

$$\left( Q_3 \right)_{p \leq 0,50} = Q_0 \cdot L_3 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{B}{b_0 \cdot L_0} = \frac{\Delta_0 b_0 L_0}{3 L_0} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{B}{b_0} \cdot L'_3 = \frac{3}{4} \Delta_0 B L'_3.$$

C'est de la manière analogue qu'on obtient pour les limites de  $p : 0,50 \leq p \leq 3$  l'expression:

$$\left( Q \right)_{p=0,50}^{p \leq 3} = Q_0 \left[ \left[ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3 f(p)} \right]^{4/3} - \left[ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3 f(0,50)} \right]^{4/3} \right] =$$

$$\begin{aligned}
&= Q_0 \left[ \left\{ b + 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p) \right\}^{4/3} - \left\{ b + 1,125 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} \right\}^{4/3} \right] = Q_0 \frac{L_3'' B}{5 b_0 L_0} = \\
&= \frac{\Delta_0 b_0 L_0 \cdot L_3'' \cdot B}{2 \cdot 5 \cdot b_0 L_0} = \frac{1}{10} \Delta_0 B L_3''.
\end{aligned}$$

### XVII. GÉNÉRALISATION DES FORMULES.

Nous avons donné des formules particulières tant pour le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0, \left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1\right)$  que pour celui de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0, \left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1\right)$ . Mais il est possible de s'imaginer quelque cas général dont tous les autres proviennent comme cas particuliers. Dans ce but prenons les formules du cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0, \left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1\right)$ . La fonction fondamentale de

$$\begin{aligned}
\text{ces formules est: } F'(n, \mu) &= m_1^3 - n^3 + \frac{3B}{b_0} \left(1 - \sqrt{\frac{B}{b_0}}\right) + \\
&+ 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p) = \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} - n^3 + \frac{3B}{b_0} \left(1 - \sqrt{\frac{B}{b_0}}\right) + \\
&+ 3 \sqrt{\left(\frac{B}{b_0}\right)^3} f(p), \text{ et parce que } \sqrt{\frac{B}{b_0}} = m_1, \text{ on a:}
\end{aligned}$$

$$F'(n, \mu) = m_1^3 - n^3 + 3m_1^2(1 - m_1) + 3m_1^3 f(p). \text{ Posons maintenant: } n = m_1 n', \text{ et } m_1^2(1 - m_1) = m_1^3 U.$$

Après ces remarques:

$$\begin{aligned}
F'(n, \mu) &= m_1^3 - m_1^3 n'^3 + 3m_1^3 U + 3m_1^3 f(p) = \\
&= m_1^3 [1 - n'^3 + 3U + 3f(p)] = m_1^3 F(n', U, p).
\end{aligned}$$

Puisque  $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}$ , l'équation distinctive peut être aussi représentée sous la forme:

$$m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0 = m^2 + 2m\mu - m_1^2 = 0 \text{ d'où peuvent être dérivées}$$

les deux équations:  $m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0$ , et  $m^2 + 2m\mu' - 1 = 0$  dont nous nous sommes servis en examinant chaque cas à part.

Il en résulte qu'il n'est plus de rigueur de distinguer entre  $\mu$  et  $\mu'$ .

Retournons maintenant à l'expression:  $F'(n, \mu) = m_1^3 F(n', U, p)$ .

Si l'on remplace ici  $m_1$  par  $m_1 = \sqrt{\frac{b_0}{B}}$  et  $U$  par  $U_1 = \left(\sqrt{\frac{b_0}{B}} - 1\right)$ ,

les formules du cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$ ,  $\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1\right)$  sont obtenues.

En cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ ,  $\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1\right)$  est:  $\sqrt{m_1} = 1$ , et

$$n' = \frac{n}{m_1} = n, p = \frac{\mu}{\sqrt{\frac{B}{b_0}}} = \frac{\mu}{m_1} = \frac{\mu'}{m_1} = \mu', \text{ et}$$

la fonction  $F'(n, \mu)_{m_1=1} = F(n, U, \mu)$ , c'est-à-dire on a obtenu la fonction fondamentale du cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ , excepté la fonction  $U$

qui ne se transforme pas en celle de  $\mu_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{b_0} - 1\right) = U_2$  en posant

$U = U_1 \left(\sqrt{\frac{b_0}{B}} - 1\right)$ . Par conséquent, il faut introduire la seule condition

que dans le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ ,  $\left(\sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1\right)$ ,  $U = U_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{b_0} - 1\right)$ .

C'est par cette généralisation que le nombre de formules est réduit trois fois, parce qu'au lieu des deux cas, on n'a que le cas général d'où peuvent être dérivées les formules des deux autres cas.

On peut ainsi formuler les résultats obtenus:

Le cas général (conditionnel) dont la fonction fondamentale est:  $m_1^3 F(n', U, p)$ .

Le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$  ou  $\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1$ .

La fonct. fondam.:

$$\left\{ m_1^3 F(n', U, p) \right\}_{\substack{m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}} \\ U = U_1}} = \sqrt{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \cdot F(n', U_1, p), U_1 = \left( \frac{1}{\sqrt{\frac{B}{b_0}}} - 1 \right).$$

Le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$  ou  $\sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1$ .

La fonct. fondam.:

$$\left\{ m_1^3 F(n', U, p) \right\}_{\substack{m_1 = 1 \\ U = U_2}} = F(n, U_2, \mu), U_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right).$$

La fonction conditionnelle introduite, les expressions des éléments essentiels sous la forme conditionnelle sont:

Vitesse:

$$V_3 = m_1 \sqrt[3]{F(n', U, p)}.$$

Somme de débits:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_0 m_1^4 (1 - n'^3)^{4/3} + Q_0 m_1^4 \left\{ (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - (1 - n'^3)^{4/3} \right\} + Q_0 m_1^4 \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} - \left\{ (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right\} = Q_0 m_1^4 \left\{ F(n', U, p) \right\}^{4/3}.$$

Les expressions réelles des éléments sont, par exemple, pour le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$  ou  $\sqrt{\frac{B}{b_0}} \leq 1$ :

$$\begin{aligned} (V_3)_1 &= \left\{ m_1 V_0 \sqrt[3]{F(n', U, p)} \right\}_1 = \left\{ m_1 V_0 \sqrt[3]{F(n', U, p)} \right\}_{\substack{m_1 = 1 \\ U = U_2}} V \frac{B}{b_0} = \\ &= \sqrt{\frac{B}{b_0}} V_0 \sqrt[3]{F(n', U, p)}. \end{aligned}$$

L'expression réelle de Q dans le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ ,  $\sqrt{\frac{B}{b_0}} \geq 1$ :

$$\begin{aligned} (Q)_2 &= \left[ Q_0 m_1^4 \left\{ F(n', U, p) \right\}^{4/3} \right]_2 = Q_0 \left[ m_1^4 \left\{ F(n', U, p) \right\}^{4/3} \right]_{\substack{m_1 = 1 \\ U = U_2}} = \\ &= Q_0 \left\{ F(n, U_2, \mu) \right\}^{4/3} = Q_0 \sqrt[3]{\left\{ 1 - n^3 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) + 3f(\mu) \right\}^4} \text{ etc.} \end{aligned}$$

### VIII. EXACTITUDE DES FORMULES.

Après avoir donné des formules pour tous les cas (en supposant  $B$  constant) il serait encore d'importance de se rendre compte de l'erreur relative qu'on ferait, en ce qui concerne la valeur numérique du débit de la troisième phase, en se bornant à  $p = 3$  comme à la valeur extrême, au lieu de  $p = \infty$ .

Comme nous l'avons vu, (voir chapitre XVI)  $3f(p)_{p=\infty} = 2$ , et, par conséquent, l'accroissement conditionnel du débit est:

$$\begin{aligned} (Q_3)_{p=0}^{p=\infty} &= Q_0 m_1^4 \left[ \left\{ F(n', U, p) \right\}^{4/3} - \left\{ F(n', U) \right\}^{4/3} \right]_{p=0}^{p=\infty} = \\ &= Q_0 m_1^4 \left[ \left\{ F(n', U, 2) \right\}^{4/3} - \left\{ F(n', U) \right\}^{4/3} \right]. \\ (Q_3)_{p=0}^{p=3} &= Q m_1^4 \left[ \left\{ F(n', U, 1, 754) \right\}^{4/3} - \left\{ F(n', U) \right\}^{4/3} \right]. \end{aligned}$$

L'erreur relative:

$$\begin{aligned} e &= \frac{(Q_3)_{p=0}^{p=\infty} - (Q_3)_{p=0}^{p=3}}{(Q_3)_{p=0}^{p=\infty}} = \frac{(1 - n'^3 + 3U + 2)^{4/3} - (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} +}{(1 - n'^3 + 3U + 2)^{4/3} +} \\ &\quad - \frac{(1 - n'^3 + 3U + 1,754)^{4/3} + (1 - n'^3 + 3U)^{4/3}}{(1 - n'^3 + 3U)^{4/3}} = \\ &= \frac{(3 - n'^3 + 3U)^{4/3} - (2,754 - n'^3 + 3U)^{4/3}}{(3 - n'^3 + 3U)^{4/3} - (1 - n'^3 + 3U)^{4/3}}. \end{aligned}$$

Calculons la valeur numérique de „ $e$ “ sous les suppositions suivantes:

1) Chaque membre de la fraction a sa valeur la plus petite possible. Cela se passe sans doute, lorsque  $n' = 1$  et  $U = 0$ , alors:

$$e = \frac{2^{4/3} - (1,754)^{4/3}}{2^{4/3}} = \frac{2,52 - 1,754 \sqrt[3]{1,754}}{2,52} = 1 - \frac{1,754 \times 1,2}{2,52} =$$

$$= 1 - \frac{2,11}{2,52} = 1 - 0,837 = 0,163, \text{ ou calculée en } \%: e100 = 16,3\%$$

2)  $3U - n^3 = 0$ , ce qui donne:

$$e = \frac{3^{4/3} - (2,754)^{4/3}}{3^{4/3} - 1} = \frac{4,3267 - 2,754 \cdot 1,4}{3,3267} = \frac{4,3267 - 3,856}{3,3267} = \frac{0,47}{3,3267} = 0,14 \text{ ou } - \text{ en } \%: e100 = 14\%$$

Enfin:

3)  $3U - n^3 = 1$ , alors:

$$e = \frac{4^{4/3} - (3,754)^{4/3}}{4^{4/3} - 2^{4/3}} = \frac{6,35 - 3,754 \cdot 1,55}{6,35 - 2,52} = \frac{6,35 - 5,82}{6,35 - 2,52} = \frac{0,53}{3,83} = 0,138, e100 = 13,8\%$$

On voit ainsi que l'erreur relative „e“ ne peut dépasser 16<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, ce qu'on peut compter comme résultat suffisamment exact. Dans les formules employées dans la pratique qui seront discutées plus loin,  $3U - n^3$  est différent de 0, ce qui sera accompagné, par conséquent, d'une erreur „e“ encore moindre des valeurs calculées plus haut.

### XIX. QUELQUES REMARQUES SUR LES VALEURS EXTRÊMES DU DÉBIT DANS DIFFÉRENTES PHASES.

La limite de la fonction  $f(p) \underset{p=\infty}{=} \frac{2}{3}$  trouvée, nous disposons maintenant du moyen à calculer tout le débit extrême de la troisième phase en supposant son existence indépendante de toutes les deux autres. Il est évident que dans ce cas le débit est:

$$\begin{aligned} \left( Q_3 \right)_{\substack{p=\infty \\ p=0 \\ U=0}} &= Q_0 m_1^4 \left[ \left[ F(n', U, p) \right]_{p=\infty}^{4/3} - \left[ F(n', U, p) \right]_{\substack{p=0 \\ n=1 \\ U=0}}^{4/3} \right] \\ &= Q_0 m_1^4 \left\{ 3 f(p) \right\}_{p=\infty}^{4/3} = Q_0 m_1^4 \cdot 2^{4/3} = 2,52 Q_0 m_1^4. \end{aligned}$$

Considérons le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$ , et pour évaluer tout le débit qui pourrait être donné par certain bassin, servons nous des formules correspondantes. Alors l'expression correspondante est:

$$\begin{aligned} Q_1 + Q_2 + \left( Q_3 \right)_{p=0}^{p=\infty} &= Q_0 \left[ \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} \right\}^{4/3} + \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} + \right. \right. \\ &+ \left. \frac{3B}{b_0} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{B}{b_0}} \right) \right\}^{4/3} - \left( \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} \right)^{4/3} + \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} + \right. \\ &+ \left. \frac{3B}{b_0} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{B}{b_0}} \right) + 3f(\nu) \right\}^{4/3} - \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} + \frac{3B}{b_0} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{B}{b_0}} \right) \right\}^{4/3} = \\ &= Q_0 \left[ \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} + \frac{3B}{b_0} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{B}{b_0}} \right) + 3f(\nu) \right\}^{4/3} \right]. \end{aligned}$$

- Posons la question du débit le plus grand possible. Cela fait chercher le maximum de la fonction:

$$\begin{aligned} \left[ \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} + \frac{3B}{b_0} \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{B}{b_0}} \right) + 3f(\nu) \right\}^{4/3} \right] &= \max \left[ \left\{ \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3 - n^3} + \right. \right. \\ &+ \left. \frac{3B}{b_0} - 3 \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} + 3f(\nu) \right\}^{4/3} \right] = \left\{ \max \left( \frac{3B}{b_0} - 2 \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} - \min n^3 + \right. \right. \\ &+ \left. \left. 3 \max f(\nu) \right\}^{4/3} = \max \left\{ \frac{3B}{b_0} - 2 \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} - (n)_{n=0} + 3f(\nu) \right\}_{\nu=\infty} = \\ &= \max \left\{ \frac{3B}{b_0} - 2 \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \right\} + 2. \text{ Pour trouver le } \max \text{ de} \end{aligned}$$

$$\left\{ 3 \left( \frac{B}{b_0} \right) - 2 \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} \right\} \text{ posons provisoirement } \frac{B}{b_0} = z \text{ et}$$

$$3 \left( \frac{B}{b_0} \right) - 2 \sqrt[3]{\left( \frac{B}{b_0} \right)^3} = u, \text{ alors: } 3z - 2z^{3/3} = u.$$

Maximum ou minimum donnent les valeurs de  $z$  qui satisfont à la condition:

$$\frac{du}{dz} = 0 = 3 - 2 \cdot \frac{3}{2} z^{1/3} = 0, z^{1/3} = 1, z = 1 = \frac{B}{b_0}, B = b_0.$$

$$\left( \frac{d^2u}{dz^2} \right)_{z=1} = - \left( 3z^{-1/2} \right)_{z=1} = -3 < 0, \text{ c'est pourquoi la condition } B = b_0 \text{ re-}$$

présente la condition de maximum de la fonction  $u$ , et  $\max \left\{ Q_1 + Q_2 + \right.$   
 $\left. + \left( Q_3 \right)_0^{\mu = \infty} \right\} = Q_0 (3 - 2 + 2)^{1/3} = 3^{1/3} Q_0 = 4,3267 Q_0 \approx 4,33 Q_0$ . Cela veut

dire qu'en cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$  et de  $B$  constant la valeur extrême du débit ne peut jamais dépasser la valeur  $4,33 Q_0$  quoique la longueur du bassin et celle du nuage qui le couvre, soit  $= \infty$ .

La question de trouver le *max* de  $Q$  en cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$  serait réduite à la question de trouver le *max* de la fonction  $1 + \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) =$   
 $= \frac{3}{2} \frac{B}{b_0} - \frac{1}{2}$ . On voit directement qu'en ce cas le *max*  $Q = \infty$  ce qui correspond à  $B = \infty$ .

XX. CALCUL DE MAX. Q, B RESTANT CONSTANT à PARTIR DU MOMENT DU CROISEMENT DES CONTOURS DE LA SURFACE D'ÉCOULEMENT AVEC CEUX DU BASSIN.

A. *Considérations relatives au déplacement le plus désavantageux de la zone de l'ondée par rapport à la surface du bassin.*

C'est au commencement de cet exposé qu'il a été dit que l'écoulement des eaux pluviales dans un bassin représente une espèce de mouvement des corps liquides appelée dans la littérature spéciale, mouvement non permanent. Cela veut dire que tous les éléments de l'écoulement dépendent non seulement des coordonnées du point examiné de la section transversale du courant, mais aussi du moment de temps par rapport auquel cet examen aura lieu.

L'expression générale différentielle du mouvement d'une parcelle liquide sous une pression constante est:

$$dz = \frac{v dv}{g} + i ds, \text{ où les valeurs des lettres sont celles du chapitre IV}$$

où cette équation est appliquée au mouvement de la parcelle d'eau sous la pression atmosphérique. L'expression de la force de frottement spécifique (force rapportée à l'unité de longueur) était acceptée:

$$i = \frac{av + bv^2}{\delta_0 h}. \text{ Si l'équation du mouvement est transformée à l'usage}$$

du mouvement dans le collecteur en se servant de l'hypothèse:

$$v = c_1 R^{2/3} i^{1/2}, \text{ ou } a: v^2 = c_1^2 R^{4/3} i = c_1^2 R^{4/3} \frac{dz}{ds} \text{ d'où il résulte que}$$

$$dz = \frac{v^2 ds}{c_1^2 R^{4/3}}$$

En rapportant la même hypothèse au mouvement varié,  $ds$  remplacé

$$\text{par } dy, \text{ on obtiendra: } dz = \frac{v dv}{g} + \frac{v^2 dy}{c_1^2 R^{4/3}}. \text{ Comme l'on voit, notre}$$

étude du phénomène était basée sur la supposition que  $\frac{v dv}{g}$  est négligeable

par rapport à  $\frac{v^2 dy}{c_1^2 R^{4/3}}$ , c'est-à-dire nous avons considéré le mouve-

ment des eaux pluviales comme un mouvement uniforme et permanent.

On peut maintenant poser la question suivante: en quelle mesure cela

serait-il admissible et en quelle mesure serait-il par là rendu compte des circonstances réelles du phénomène.

Toutes les expressions des éléments hydrauliques sont représentées comme dépendant des deux variables de temps, celui de  $m$  et celui de  $n$ . La première de ces variables désigne le temps du mouvement dans le collecteur, la seconde celui du mouvement des versants du bassin le long du bord extrême de la zone de l'ondée. Il en résulte que toutes ces formules correspondent au cas général de l'écoulement, celui de l'appui des surfaces d'écoulement contre le bord extrême de la zone de l'ondée. Si „ $n'$ “ est augmenté jusqu'à sa valeur extrême  $n' = 1$ , la première phase de l'écoulement, disparaît, parce que dans toutes les formules l'expression se rapportant à la première phase,  $1 - n^3 = 0$ ; et ce ne sont que la deuxième et troisième phases qui sont représentées par les fonctions  $U$  et  $f(p)$ . (Voir les différentes situations sur le des. N° 11.)

Le changement de la variable „ $n'$ “, est accompagnée par les changements géométriques des surfaces d'écoulement; l'augmentation de „ $n'$ “ provoque le mouvement des surfaces d'écoulement dans la direction longitudinale du bassin contraire à celle de l'écoulement; la diminution de „ $n'$ “ — provoque le mouvement contraire. On voit ainsi facilement que le changement de la variable, „ $n'$ “, équivaut géométriquement à l'action de pousser les surfaces dans la direction longitudinale du bassin.

Si l'on suit l'action de pousser après avoir mû la surface d'écoulement jusqu'au moment  $n' = 1$ , on s'aperçoit que c'est maintenant la fonction  $U$  qui commence à disparaître. Pour changer la fonction  $U$ , on y introduit les limites inférieures d'intégration en posant:

$$U_1 = \frac{1-n}{\sqrt{\frac{B}{b_0}}} \text{ et: } U_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - n \right).$$

On voit ainsi que c'est au moment  $n = 1$  que disparaîtra  $U_1$ , dans le cas où  $\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0$ , mais dans le cas où  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$  cela arrivera au moment  $n = \frac{B}{b_0} > 1$ .

La fonction  $U$  disparue, l'écoulement ne sera représenté que par la troisième phase étendue entre le bord extrême de la zone de l'ondée et le remblai de la route. Les formules correspondantes ne contiendront que

la fonction de  $\mu - f(\mu)$  qui également peut être changée en introduisant quelque variable de temps  $m$  et en posant  $f(\mu) = m_1 f(p)$ ,

$$\mu = m_1 p = \sqrt{\frac{B}{b_0}} p.$$

En attribuant différentes valeurs à  $p$  ou  $\mu$  nous aurons le moyen de construire la surface d'écoulement de la troisième phase correspondant à l'écoulement durant  $\mu$  unités de temps le long du bord extrême de la zone de l'ondée, après la fin de celle-ci. Après avoir supposé la surface du bassin sous la forme d'un quadrilatère, les surfaces d'écoulement occuperont les espaces le long des bords latéraux du bassin sous la forme de quelques bandes. (Voir le des. N<sup>o</sup> 11.)

Si la parcelle d'eau est tombée au moment  $m = 0$  c'est-à-dire au bout de l'ondée, sur le point le plus éloigné de l'aqueduc,  $\mu$  doit devenir  $\infty$ ,  $\mu = \infty$ , comme l'on voit par l'équation distinctive:

$$m^2 + 2m\mu - \frac{B}{b_0} = 0. \text{ Cela veut dire que le procès de l'écoulement est infini, ce qui a déjà été prouvé plus haut.}$$

Nous avons ainsi poursuivi la loi du changement des surfaces d'écoulement à partir de quelque moment où la surface générale composée de celles de toutes les trois phases, s'était appuyée contre le bord extrême de la zone de l'ondée. Il n'est pas difficile de comprendre que l'action de pousser les surfaces peut être réalisée dans la direction contraire, c'est-à-dire dans celle du mouvement dans le collecteur, en faisant diminuer la valeur de  $n'$ . Au moment où  $n' = 0$ , la surface générale perd son contact avec le bord extrême de la zone, et pour orienter les surfaces, il ne reste qu'à se servir du seul contact avec le remblai de la route. Mais il est évident que cet état des choses ne provoquera aucun changement essentiel de la forme des formules générales qu'on a obtenues en supposant le coupage des surfaces de l'écoulement par le bord extrême de la zone. Il n'y aura qu'à remplacer successivement dans les formules générales les limites d'intégration supérieures par  $n$  ou  $m$  (c'est égal, parce que le temps de l'écoulement latéral est maintenant toujours égal à celui de l'écoulement longitudinale dans le collecteur). Par exemple, les formules prennent la forme suivante, si la surface d'écoulement est composée par celles de la première et de la troisième phases, dans le cas où

$$\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0:$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{dy}{dt}\right)_{m>1} &= V_0 \sqrt[3]{1 + \frac{3}{2}(m-1)}, \\ (y)_{m>1} &= \frac{L_0}{2} \left[ \left\{ 1 + \frac{3}{2}(m-1) \right\}^{1/3} - 1 \right], \\ (Q)_{m>1} &= Q_0 \left[ \left\{ 1 + \frac{3}{2}(m-1) \right\}^{1/3} - 1 \right]. \end{aligned}$$

Il résulte de tout ce qui a été dit jusqu'ici que la question de trouver la *max*  $Q$  peut être rendue équivalente à la question de trouver la situation de la surface d'écoulement où celle-ci devient maximum,  $Q$  étant proportionnel à sa surface d'écoulement. On voit que cela ne peut avoir lieu avant que le sommet de la surface générale puisse atteindre le bord extrême de la zone de l'ondée, parce que, jusqu'à ce moment, la surface d'écoulement augmente continuellement.

Voilà quelques considérations relatives à la correspondance des formules obtenues avec les circonstances réelles du phénomène.

Si la vitesse est une fonction de deux variables de temps,  $v = f(n, m)$ , l'équation:  $dz = \frac{v dv}{g} + \frac{v^2 dy}{C_1^2 R^{1/3}}$  se transforme en:  $dz = \frac{v \partial v}{\partial m} \cdot \frac{\partial m}{\partial y} dy + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial n'} \cdot \frac{\partial n'}{\partial y} dy + \frac{v^2 dy}{C_1^2 R^{1/3}}$  d'où il résulte que:

$$\frac{dz}{dy} = i' = \frac{v}{g} \left( \frac{\partial v}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial n'} \frac{\partial n'}{\partial y} \right) + \frac{v^2}{C_1^2 R^{1/3}} = \frac{v}{g} \left( \frac{\partial v}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial n'} \frac{\partial n'}{\partial y} \right) + i$$

où  $i'$  indique l'inclinaison superficielle des eaux courantes,  $i$  — celle du thalweg du bassin. C'est ainsi que l'expression corrigeant l'inclinaison de l'écoulement uniforme, où l'inclinaison superficielle peut être prise égale à celle du thalweg, sera représentée sous la forme de quelque

$$\text{membre supplémentaire: } i'' = \frac{v}{g} \left( \frac{\partial v}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial n'} \frac{\partial n'}{\partial y} \right) = \Phi(n'; m).$$

Quant à l'expression  $\frac{\partial v}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial y}$ , sa valeur par rapport à celle de  $\frac{\partial v}{\partial n'} \cdot \frac{\partial n'}{\partial y}$  peut être regardée comme négligeable, parce que la dernière représente la loi de l'accroissement de  $i''$  dans une certaine section transversale, par exemple, celle de l'aqueduc, cet accroissement n'étant dépendant que

du temps „ $n''$ “. Au contraire,  $\frac{\partial v}{\partial m} \cdot \frac{\partial m}{\partial y}$ , représente l'accroissement de  $i''$  qu'on observe en suivant avec la parcelle le long du bassin, la direction vers l'aqueduc. C'est le plus souvent que cette partie de  $i''$  est dominée par la  $\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial n'} \frac{\partial n'}{\partial y}$ .

Cette supposition faite, l'expression approximative de  $i'$  est:

$$i' = \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial n'} \cdot \frac{\partial n'}{\partial y} + i.$$

S'étant borné au cas intermédiaire  $\frac{B}{b_0} - 1 = 0$ , calculons les valeurs possibles de:  $\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial n'} \frac{\partial n'}{\partial y}$ . L'expression générale de la vitesse d'après le chapitre XVII est:

$\left(\frac{dy}{dt}\right) = v = \left\{V_0 m_1 \sqrt[3]{F(n'; U, p)}\right\}$  qui en cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 = 0$  pour la période jusqu'au bout de l'ondée se transforme en:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{m_1=1} = V_0 \sqrt[3]{F(n; m)}; \quad dy = v dt = v \tau_0 (1 - \varepsilon) dm.$$

$$\int dy = y = \tau_0 (1 - \varepsilon) \int v dm + C \text{ où } C = 0, \text{ parce que, lorsque } y=0, v=0.$$

$$\frac{\partial y}{\partial n} = \tau_0 (1 - \varepsilon) \int \frac{\partial v}{\partial n} dm.$$

Après cela:

$$i'' = \frac{v}{g} \frac{dv}{dn \tau_0 (1 - \varepsilon)} \int \frac{\partial v}{\partial n} dm$$

On a au commencement du phénomène pour la période jusqu'au bout de l'ondée  $v = V_0 m$ ,  $m = n$  et pour cela:

$$i'' = \frac{V_0 m}{g} \cdot \frac{V_0}{\tau_0 (1 - \varepsilon) V_0 m} = \frac{V_0}{g \tau_0 (1 - \varepsilon)} \text{ (indépendance de } m).$$

C'est l'expression de  $i''$  à partir du commencement de l'écoulement près de l'aqueduc jusqu'au moment  $m=n=1$ , c'est-à-dire jusqu'au bout de l'ondée.  $m=n=1$  unité de temps s'étant écoulée, c'est la troisième phase qui ne tarde pas à apparaître. (La deuxième phase représentée par la fonction  $U$ , est exclue à cause de  $\frac{B}{b_0} = 1$ , ce qui fait disparaître  $U$ .)

L'expression de la vitesse devient:

$$v = V_0 \sqrt[3]{1 + 3f(\mu)} \text{ et:}$$

$$i'' = \frac{v}{g} \left( \frac{\partial v}{\partial n} \tau_0 (1-\varepsilon) \int \frac{\partial v}{\partial n} dm \right) = \frac{v}{g \tau_0 (1-\varepsilon)} \cdot \frac{dv}{d\mu} \int \frac{dv}{d\mu} d\mu =$$

$$= \frac{v}{g \tau_0 (1-\varepsilon)} \frac{dv}{d\mu} \int dv = \frac{v}{g \tau_0 (1-\varepsilon)} \frac{dv}{d\mu} \cdot v = \frac{dv}{g d\mu \tau_0 (1-\varepsilon)}$$

$$= \frac{1}{3} V_0 \left[ 1 + 3f(\mu) \right]^{-2/3} \frac{df(\mu)}{d\mu} = \frac{V_0}{3 g \tau_0 (1-\varepsilon)} \left[ 1 + 3f(\mu) \right]^{-2/3} \frac{df(\mu)}{d\mu}. \text{ La fonction de } f(\mu) = \mu - \frac{2}{3} \left[ (\mu^2 + 1)^{3/2} - 1 \right] + \frac{2}{3} \mu^3, \text{ et } \frac{df(\mu)}{d\mu} = 1 - 2\mu (\mu^2 + 1)^{1/2} + 2\mu^2. \text{ Le } \max_{\mu=0} \frac{df(\mu)}{d\mu} = \left[ 1 - 2\mu (\mu^2 + 1)^{1/2} + 2\mu^2 \right]_{\mu=0} = 1. \text{ On voit cela également par la courbe de la fonction } \mu, f(\mu). \text{ (Voir le des. N}^\circ 10 \text{ construit pour } f(p).) \text{ Min } \left\{ 1 + 3f(\mu) \right\}_{\mu=0} = \left\{ 1 + 3f(\mu) \right\}_{\mu=0} = 1 \text{ et pour cela: le maximum de } \left\{ 1 + 3f(\mu) \right\}^{-2/3} \cdot \frac{df(\mu)}{d\mu} = 1. \text{ On voit ainsi que le } \max \text{ de } i'' \text{ jusqu'à ce que le sommet de la surface d'écoulement ait atteint le bord de la zone, ne dépassera jamais la valeur } i'' = \frac{V_0}{3g \tau_0 (1-\varepsilon)}, \text{ ce qui ne fait que le tiers de } i'' \text{ pendant la première période où } i'' = \frac{V_0}{g \tau_0 (1-\varepsilon)}. \text{ Remplaçons } V_0 \text{ dans l'expression de } i'' \text{ par sa valeur:}$$

$$V_0 = c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\frac{\sin 2\beta}{32} D'_0 b_0}, \quad b_0 = \frac{c \Delta_0}{8} \Phi \left\{ \tau_0 (1-\varepsilon) \right\}^2 =$$

$$= \frac{c \Delta_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{8} \Phi \tau_0 (1-\varepsilon) = \frac{c D'_0}{8} \Phi \tau_0 (1-\varepsilon) =$$

$= \frac{c D'_0}{8} (\sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma') \cdot \tau_0 (1-\varepsilon)$ . Comme il sera montré plus loin, la fonction  $\Phi$  pour les cas qu'on rencontre dans la pratique, peut être remplacée par  $\Phi \approx 4 \sqrt{\alpha}$ . Quant à valeur de  $\beta$ , elle ne peut d'ordinaire dépasser celle de  $\alpha$ . En posant  $\sin 2\beta = 2\beta = 2\alpha$ , cela donne pour l'expression  $\Phi \sin 2\beta : \Phi \sin 2\beta \approx 4 \sqrt{\alpha} \cdot 2\alpha = 8\alpha^{3/2}$ , après quoi l'expression de  $V_0$  devient:

$$V_0 = c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\frac{\sin 2\beta}{32} D'_0 \cdot \frac{c D'_0}{8} \Phi \tau_0 (1-\varepsilon)} = c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\frac{8\alpha^{3/2} D_0'^2}{32 \cdot 8} c \tau_0 (1-\varepsilon)} =$$

$$= c_1 \sqrt{i} \sqrt{\alpha} D_0'^{2/3} \left\{ \tau_0 (1-\varepsilon) \right\}^{1/3} c^{1/3} \left( \frac{1}{32} \right)^{1/3} \text{ et l'expression de } i' \text{ est:}$$

$$i' = \frac{c_1 c^{1/3} \left( \frac{1}{32} \right)^{1/3} \sqrt{i} \sqrt{\alpha} D_0'^{2/3}}{g \tau_0 (1-\varepsilon)} \left\{ \tau_0 (1-\varepsilon) \right\}^{1/3} + i =$$

$$= \sqrt{i} \left\{ \frac{c_1 c^{1/3} \sqrt{\alpha} D_0'^{2/3}}{g [\tau_0 (1-\varepsilon)]^{2/3} 32^{1/3}} + \sqrt{i} \right\}.$$

Quant aux valeurs numériques des coefficients  $c_1, c$  ceux-ci peuvent être posés:  $c_1 = 40, c = 150-200$  (voir le chapitre XXII)  $D'_0$  ne dépassera jamais 60mm. = 0,06 mtr.,  $g = 9,81$  mtr. et, par conséquent,

$$i' = \sqrt{i} \left\{ \frac{40 \times 5,6 \times 15,4 \times 10 \sqrt{\alpha}}{100 \times 9,81 \times 32 \left\{ \tau_0 (1-\varepsilon) \right\}^{2/3}} + \sqrt{i} \right\} \approx$$

$$\approx \sqrt{i} \left\{ \frac{\sqrt{\alpha}}{[\tau_0 (1-\varepsilon)]^{2/3}} + \sqrt{i} \right\}.$$

On voit, par conséquent, que l'expression corrigeant l'inclinaison  $i$  de l'écoulement uniforme, a la forme:

$$i'' = \frac{\sqrt{i \alpha}}{\{\tau_0 (1 - \varepsilon)\}^{2/3}}$$

Cette expression montre que c'est, peut être, dans les cas des ondées de courte durée et de grandes  $\alpha$  que  $i''$  pourrait devenir quelque peu considérable. Si, par exemple  $\alpha = 30^0 = \frac{\pi}{6} = \frac{3,14}{6} = 0,5$ ,  $\tau_0(1 - \varepsilon) = 1000$  sec.

$\frac{\sqrt{\alpha}}{\{\tau_0(1 - \varepsilon)\}^{2/3}} = \frac{0,7}{100} = 0,007$ . Pour que l'erreur relative devienne, par exemple,  $e^0/0 = 100^0/0$ , il faudrait que l'inclinaison du thalweg  $i$  devienne,  $\sqrt{i} = 0,007$  d'où il résulte:  $i = 0,00005$ .

Mais de si petites valeurs de  $i$  sont presque impossibles. Voilà le problème inverse. Soit  $i = 0,001$ , alors  $\sqrt{i} = \sqrt{0,001} = 0,0316$ , et l'erreur relative, les mêmes circonstances défavorables étant supposées, ne dépasse pas la valeur de:  $\frac{0,007}{0,0386} \times 100\% = 18\%$ .

Tout cela fait comprendre que l'influence de la cause accélérative du mouvement apparaissant sous la forme d'un coefficient correctif, a peu d'importance, au moins en ce qui concerne la période initiale du phénomène jusqu'au moment où le sommet de la surface d'écoulement ait atteint le bord extrême de la zone de l'ondée.

Dès que le sommet de la surface d'écoulement est coupé par le bord extrême de la zone, toutes les expressions des éléments hydrauliques deviennent dépendantes des deux variables de temps, celles de  $m$  et  $n$ . Dès lors l'expression de la vitesse est:

$$v = V_0 \sqrt[3]{1 - n^3 + 3f(\mu)}$$

L'expression de l'inclinaison superficielle supplémentaire est:

$$i'' = \frac{v \times \frac{\partial v}{\partial n}}{g \tau_0 (1 - \varepsilon) \frac{\partial n}{\partial m}}; \quad \frac{\partial v}{\partial n} = -V_0^{1/3} \{1 - n^3 + 3f(\mu)\}^{-2/3} 3n^2 =$$

$$\begin{aligned}
 &= -V_0 \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\} n^2, \\
 \text{et: } i'' &= \frac{v \cdot V_0 \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\} n^2}{g\tau_0(1-\varepsilon) \cdot V_0 \int \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\} d\mu} = \\
 &= \frac{-V_0 n^2 \sqrt[3]{1 - n^3 + 3f(\mu)} \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\}^{-2/3}}{g\tau_0(1-\varepsilon) \int \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\} d\mu} = \\
 &= \frac{-V_0 n^2}{g\tau_0(1-\varepsilon) \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\}^{1/3} \int \left\{ 1 - n^3 + 3f(\mu) \right\} d\mu}
 \end{aligned}$$

C'est sans entrer dans les détails qu'on voit deux choses: 1) que le coefficient correctif devient négatif, ce qui provoque le ralentissement du courant, 2) — que la valeur numérique de ce coefficient devient plus petite que celle du coefficient pendant la période initiale.

Les expressions de  $i'$  restant dépendantes en général des deux variables de temps,  $m$  et  $n$ , il est facile de comprendre que l'onde de l'écoulement aura une tendance à s'aplanir, c'est-à-dire les  $Q$ , le  $max Q$  y compris, deviendront moindres, si les causes accélérative et retardive agissent un temps plus ou moins durable.

Il en résulte que la zone de l'ondée doit être placée aussi près que possible de l'aqueduc pour qu'on obtienne le  $max Q$  le plus grand possible. Alors les valeurs du temps ne parviendront pas à atteindre les limites qui forceraient à tenir compte des conséquences tout à l'heure indiquées, et l'équation approximative du mouvement, sur laquelle est basée toute cette étude, est applicable.

#### B. Déplacement de la surface d'écoulement pour obtenir le maximum de débit.

Il résulte de ce qui a été dit plus haut que le  $max Q$  ne peut être obtenu avant que la surface d'écoulement, poussée dans la direction contraire à celle du mouvement dans le collecteur, ait atteint le bord de la zone de l'ondée.

Dans le cas général où toutes les trois phases font partie de l'écoulement, le débit est exprimé par:

$$\begin{aligned}
 Q &= (Q_1 + Q_2 + Q_3) = Q_0 m_1^4 (1 - n'^3)^{4/3} + \\
 &+ Q_0 m_1^4 \left\{ (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - (1 - n'^3)^{4/3} \right\} + \\
 &+ Q_0 m_1^4 \left[ \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} - (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right] = \\
 &= Q_0 m_1^4 \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} = \\
 &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3}, \text{ parce que } m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}. \\
 \max Q &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \max \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} = \\
 &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \max \left\{ 3f(p) - n^3 \right\} + (U - 1) \right]^{4/3}.
 \end{aligned}$$

C'est ainsi que la question de trouver le  $\max Q$  est réduite à chercher le maximum de la fonction  $[3f(p) - n^3]$  où sont renfermées deux variables,  $p$  et  $n$ . Pour éliminer de cette équation une de ces variables, par exemple  $p$ , on peut se servir de la relation (en supposant que l'aqueduc pourrait être atteint jusqu'au moment  $p = 0,50$  après la fin de l'ondée):  $L_1 + L_2 + (L_3)_p \leq 0,50 = L_r$  où  $L_r$  indique la largeur de la zone de l'ondée couvrant le bassin ou une partie du bassin. Cette relation exprime que la somme des longueurs particulières du collecteur, pour toutes les trois phases, doit être égale à la largeur de la zone.

$L_1, L_2$  et  $L'_3$  représentées par leurs expressions correspondantes, on a:

$$\begin{aligned}
 L_1 + L_2 + L'_3 = L_r = L_0 m_1^2 \left[ (1 - n') + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{1/3} - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{1/3} + \right. \\
 \left. + \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U + 3f(p))^{1/3} - \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{1/3} \right]
 \end{aligned}$$

Il résulte de cette relation que  $(m_1^2 = (\sqrt{\frac{B}{b_0}})^2 = \frac{B}{b_0})$ :

$$\frac{2}{3} \left[ (1 - n'^3 + 3U + 3f(p)) \right]^{4/3} = \frac{L_r}{L_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)} - (1 - n') - \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3}$$

$$\left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} = \frac{3}{2} \left[ \frac{L_r}{L_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)} - (1 - n') + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right]$$

En multipliant toutes les deux parties de l'équation précédente par  $Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2$  on en obtient:

$$Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ 1 - n'^3 + 3U + f(p) \right]^{4/3} = Q = \frac{3}{2} Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)} + (1 - n') - \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right]$$

Il en résulte que:

$$\max Q = Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0 \frac{B}{b_0}} - \min \left\{ (1 - n') + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} - \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right\} \right]$$

Désignons l'expression dépendant de  $n'$  par  $f(n')$ , alors on a:

$$\min f(n') = \min \left\{ (1 - n') - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} - \frac{1}{6} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right\}$$

La courbe de la fonction  $(1 - n'^3)$  construite, (voir le des. N° 6) on voit que c'est presque jusqu'à la valeur de  $n' = 0,5$  que cette fonction - là pourrait être considérée comme constante:

$(1 - n'^3)_{n' \leq 0,50} = \text{constante} \approx 1$ , mais cela équivaut à:  $\left\{ \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{1/3} + \frac{1}{6} (1 - n'^3 + 3U)^{1/3} \right\}_{n' \leq 0,50} = \text{constante}$ , et pour cela tout dépend de la fonction  $(1 - n')$  qui diminue jusqu'à la valeur  $n' = 0,50$ .

On voit par le dessin N° 6 que c'est  $n' = 0,50$  à partir de laquelle jusqu'à la fin,  $n' = 1$ , la différence  $(1 - n') - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{1/3}$  pourrait être posée 0.

Mais c'est maintenant la fonction  $\frac{1}{6} (1 - n'^3 + 3U)^{1/3}$  qui commencerait à diminuer, ce qui n'est pas désirable. Il en résulte donc que le *min*  $f(n')$  sera atteint pour les valeurs de  $n'$  égales à 0,50 environ, et le *max*  $Q$ , par conséquent, sera exprimé par:

$$\begin{aligned} \max Q &= \frac{3}{2} Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)} + \frac{1}{6} (1 - n'^3 + 3U)^{1/3} \right]_{n'=0,50} = \\ &= \frac{3}{2} Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)} + \frac{1}{6} (0,875 + 3U)^{1/3} \right] \approx \\ &\approx Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left\{ \frac{1,5 L_r}{L_0 \frac{B}{b_0}} + \frac{1}{4} (0,90 + 3U)^{1/3} \right\}. \end{aligned}$$

En produisant cette formule nous avons supposé que toute la largeur de la zone de l'ondée était occupée par toutes les trois phases, mais cela doit être contrôlé. Il est évident que ceci arrivera, si la longueur des collecteurs de la première et de la deuxième phase ensemble ne dépasse par  $L_r$ , c'est-à-dire si:

$$(L_1 + L_2)_{n'=0,50} = L_0 \frac{B}{b_0} \left[ (1 - n') - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{1/3} + \right.$$

$$+ \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \Big]_{n'=0,50} \ll L_r$$

$$\text{ou: } L_0 \frac{B}{b_0} \left[ \frac{1}{2} (0,875 + 3U)^{4/3} \right] \approx \frac{1}{2} L_0 \frac{B}{b_0} (0,90 + 3U)^{4/3} \ll L_r.$$

Si  $\frac{1}{2} L_0 \frac{B}{b_0} (0,90 + 3U)^{4/3} = L_r$ , le procès n'est produit que par la première et la deuxième phases, et:

$$\max Q = Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right]_{n'=0,50} = Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 (0,90 + 3U)^{4/3}.$$

Cette formule peut être obtenue également par la formule générale en y posant:  $L_r = \frac{1}{2} L_0 \frac{B}{b_0} (0,90 + 3U)^{4/3}$  ce qui donnera:

$$\begin{aligned} \max Q &= \frac{3}{2} Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left\{ \frac{1}{2} (0,90 + 3U)^{4/3} + \frac{1}{6} (0,90 + 3U)^{4/3} \right\} = \\ &= \frac{3}{2} Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \cdot \frac{2}{3} (0,90 + 3U)^{4/3} = Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 (0,90 + 3U)^{4/3}. \end{aligned}$$

Il en résulte que la condition pour appliquer la dite formule est contenue dans l'expression:  $\frac{1}{2} L_0 \frac{B}{b_0} (0,90 + 3U)^{4/3} \ll L_r$ . Mais d'autre part également la possibilité de l'application de cette formule devrait être garantie par l'inégalité:

$$\begin{aligned} (L_1 + L_2 + L'_3)_{\substack{n'=0,50 \\ p=0,50}} &= L_0 \frac{B}{b_0} \left[ 1 - n' + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \right. \\ &+ \left. \frac{2}{3} \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} - \frac{2}{3} \left\{ 1 - n'^3 + 3U \right\}^{4/3} \right]_{n'=0,50} = \\ &= L_0 \frac{B}{b_0} \left[ \frac{2}{3} (0,90 + 3U + 1,125)^{4/3} - \frac{1}{6} (0,90 + 3U)^{4/3} \right] = L_0 \frac{B}{b_0} \left[ \frac{2}{3} (2 + 3U)^{4/3} + \right. \\ &\left. - \frac{1}{6} (0,90 + 3U)^{4/3} \right] \geq L_r \text{ ou } \frac{L_r}{L_0 \frac{B}{b_0}} \geq \frac{2}{3} (2 + 3U)^{4/3}. \end{aligned}$$

Appelons ces expressions et ses pareilles dont nous nous servons pour déterminer laquelle de ces formules doit être appliquée dans le cas qui se présenterait: égalités (inégalités) de contrôle.

Admettons maintenant que  $\frac{1}{2}L_0 \frac{B}{b_0} (0,90+3U)^{4/3} > L_r$ ,

$$\begin{aligned} \text{mais: } (L_2)_{n'=1} &= \frac{1}{2}L_0 \left(\frac{B}{b_0}\right) \left\{ (1-n'^3+3U)^{4/3} - (1-n'^3)^{4/3} \right\}_{n'=1} \\ &= \frac{1}{2}L_0 \frac{B}{b_0} (3U)^{4/3} < L_r. \end{aligned}$$

Alors il est possible de calculer la valeur de  $n'_0$  qui satisfait à l'équation:

$$L_r = \frac{1}{2}L_0 \left(\frac{B}{b_0}\right) (1-n'_0{}^3+3U)^{4/3}.$$

Cette valeur sera  $n'_0 > 0,50$ , et le  $\max Q$  sera exprimé par:

$$\max Q = Q_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2 (1-n'_0{}^3+3U)^{4/3} = Q_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2 \frac{2L_r}{L_0} \frac{B}{b_0} = 2Q_0 \frac{B}{b_0} \cdot \frac{L_r}{L_0}.$$

Enfin, si  $(L_2)_{n'=1} \geq L_r$ , toute la longueur du collecteur du bassin est occupée par la deuxième phase, la plus productive; et alors

$$\text{si: } 1) \frac{B}{b_0} - 1 > 0, \max Q = \Delta_0 L_r b_0;$$

si: 2)  $\frac{B}{b_0} - 1 < 0$ ,  $\max Q = \Delta_0 \omega$  où  $\omega$  représente la surface de la zone de l'ondée séparée par les contours du bassin; si, outre cela,  $L_r > L$  où  $L$  est la longueur du bassin,  $\max Q = \Delta_0 \Omega$  où  $\Omega$  désigne la surface du bassin. C'est le seul cas, vraiment, où dans la formule de  $\max Q$  est contenue l'expression de  $\Omega$ , surface du bassin, lui-même.

Les formules tout à l'heure données prévoyaient la condition suivante: la longueur des collecteurs pour toutes les trois phases était donnée, en supposant que le  $\max Q$  atteindrait l'aqueduc avant que se soient écoulées  $m_1 p = \mu = m_1 0,50$  unités de temps après la fin de l'ondée, ce qui, en réalité, arrive le plus souvent, parce que la vitesse de la troisième phase a des valeurs assez grandes pour que l'aqueduc soit atteint durant  $\mu = 0,50 m_1$  unités de temps après la fin de l'ondée.

Mais admettons le cas contraire, alors l'expression de la somme des longueurs du collecteur de toutes les trois phases a la forme:

$$\begin{aligned} (L_1 + L_2 + L_3)_{\substack{n' = 0,50 \\ p \geq 0,50}} &= (L_1)_{n' = 0,50} + (L_2)_{n' = 0,50} + (L'_3)_{p = 0,50} + L''_3 = \\ &= L_0 \frac{B}{b_0} \left[ (1 - n') + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{2}{3} \{1 - n'^3 + 3U + 3f(0,50)\}^{4/3} - \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \right. \\ &\quad \left. + 5 \{1 - n'^3 + 3U + 3f(p)\}^{4/3} - 5 \{1 - n'^3 + 3U + 3f(0,50)\}^{4/3} \right] = L_r \end{aligned}$$

d'où il résulte que:

$$\begin{aligned} Q &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \{1 - n'^3 + 3U + 3f(p)\}^{4/3} = \frac{Q_0}{5} \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0} \frac{B}{b_0} + \right. \\ &\quad \left. - \left\{ 1 - n' - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} \right\} - \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - \frac{2}{3} (1 - n'^3 + \right. \\ &\quad \left. + 3U + 1,125)^{4/3} + \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + 5 (1 - n'^3 + 3U + 1,125)^{4/3} \right]. \\ \max Q &= \frac{Q_0}{5} \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0} \frac{B}{b_0} - \min \left\{ (1 - n') - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U + 1,125)^{4/3} - \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - 5 (1 - n'^3 + 3U + 1,125)^{4/3} \right\] = \frac{Q_0}{5} \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0} \frac{B}{b_0} - \min \left\{ (1 - n') + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} - \frac{1}{6} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - 4 \frac{1}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} \right\} \right] = \\ &= \frac{Q_0}{5} \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L} \frac{B}{b_0} - \min f(n') \right]. \end{aligned}$$

C'est jusqu'à la valeur de  $n' = 0,50$  que  $(1 - n') - \frac{1}{2}(1 - n'^3)^{4/3}$  diminue en restant positif, tandis que tous les autres membres négatifs ne changent presque pas. A partir du moment  $n' = 0,50$  on peut poser:  $(1 - n') - \frac{1}{2}(1 - n'^3)^{4/3} = 0$  (voir le dessin N° 6), c'est-à-dire les membres positifs ont disparu, et ce sont maintenant les négatifs:  $\frac{1}{6}(1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + 4\frac{1}{3}(1 - n'^3 + 3U)^{4/3}$  qui commenceront à diminuer pour les valeurs de  $n'$  supérieures à celle de  $n' = 0,50$ .

Il en résulte que la poussée des surfaces d'écoulement doit être arrêtée après avoir posé  $n' = 0,50$ . C'est, par conséquent, la valeur de  $n' = 0,50$  qui conduit encore au  $\max Q$ , et pour cela:

$$\max Q = \frac{Q_0}{5} \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0 \frac{B}{b_0}} + \frac{1}{6} (0,875 + 3U)^{4/3} + 4\frac{1}{3} (2 + 3U)^{4/3} \right].$$

Cette expression peut être simplifiée. Si l'on compare entre elles les expressions:  $\frac{1}{6}(0,875 + 3U)^{4/3}$  et  $4\frac{1}{3}(2 + 3U)^{4/3}$ , on a leur rapport en acceptant  $0,875 \approx 0,90$ :  $e = \frac{1}{6} \frac{(0,90 + 3U)^{4/3}}{4^{1/3}(2 + 3U)^{4/3}} = \frac{1}{26} \left( \frac{0,90 + 3U}{2 + 3U} \right)^{4/3}$  qui doit être considéré comme l'expression de l'erreur relative rapportée à la somme de  $\frac{1}{6}(0,90 + 3U)^{4/3} + 4\frac{1}{3}(2 + 3U)^{4/3}$  après avoir omis  $\frac{1}{6}(0,90 + 3U)^{4/3}$ . Le maximum de cette expression „ $e$ “ sera:

$$\max e = \frac{1}{26} \left( \frac{0,90 + 3U}{2 + 3U} \right)^{4/3}_{U=\infty} = \frac{1}{26}, \text{ tandis que le minimum sera:}$$

$$\min e = \frac{1}{26} \left( \frac{0,90 + 3U}{2 + 3U} \right)^{4/3}_{U=0} = 0,013.$$

Voilà pourquoi:  $\frac{1}{6}(0,90 + 3U)^{4/3}$  par rapport à  $4\frac{1}{3}(2 + 3U)^{4/3}$  peut être négligé. Après ces remarques, l'expression définitive de  $\max Q$  est:

$$\max Q = \frac{1}{5} Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{L_r}{L_0 \frac{B}{b_0}} + 4\frac{1}{3} (2 + 3U)^{4/3} \right] =$$

$$= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ \frac{0,20 L_r}{L_0} \frac{B}{b_0} + 0,90 (2 + 3U)^{4/3} \right].$$

Voilà enfin la preuve que les cas qu'on rencontre dans la pratique, sont épuisés si on se borne à la valeur de temps  $p=3$ . En effet, considérons le rapport,

$$e = \left\{ \frac{(Q_3)_{p=3}}{\lim (Q_3)_{p=\infty}} \right\}_{n'=0,50} = \left\{ \frac{1 - n'^3 + 3U + 3f(3)}{1 - n'^3 + 3U + 2} \right\}_{n'=0,50}^{4/3} = \left( \frac{2,775 + 3U}{2,90 + 3U} \right)^{4/3}.$$

$$\text{Min } e = \left( \frac{2,775 + 3U}{2,90 + 3U} \right)_{U=0}^{4/3} = \left( \frac{2,775}{2,90} \right)^{4/3} \approx 1 \text{ ce qui prouve la vérité de}$$

la proposition faite plus haut et c'est pourquoi si la somme des longueurs des collecteurs:

$$\left\{ L_1 + L_2 + \left( L'_3 \right)_{p=0,50} + \left( L''_3 \right)_{p=0,50} \right\}_{n'=0,50}^{p>0,50} = L_0 \left( \frac{B}{b_0} \right) \left[ 1 - n' + \frac{1}{2} (1 - n'^3 + 3U) + \right. \\ \left. - \frac{1}{2} (1 - n'^3)^{4/3} + \frac{2}{3} \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(0,50) \right\}^{4/3} - \frac{2}{3} (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} + \right. \\ \left. + 5 \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(3) \right\}^{4/3} - 5 \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(0,50) \right\}^{4/3} \right]_{n'=0,50} = \\ = L_0 \frac{B}{b_0} \left[ 5 (2,75 + 3U)^{4/3} - 4 \frac{1}{3} (2 + 3U)^{4/3} + \right. \\ \left. - \frac{1}{6} (0,90 + 3U)^{4/3} \right] \approx L_0 \frac{B}{b_0} \left[ 5 (2,75 + 3U)^{4/3} + \right.$$

$$\left[ -4 \frac{1}{3} (2 + 3U)^{4/3} \right] \ll L_r,$$

on peut appliquer la formule:

$$\begin{aligned} \max Q &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3}, \quad \begin{matrix} n' = 0,50 \\ p = \infty \end{matrix} = Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ (0,875 + 3U + 2)^{4/3} \right] = \\ &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ (2,875 + 3U)^{4/3} \right] \approx Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 \left[ (3 + 3U)^{4/3} \right] = \\ &= Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 3^{4/3} (1 + U)^{4/3} = 4,3267 Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 (1 + U)^{4/3} = \\ &= 4,32 Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right)^2 (1 + U)^{4/3}. \end{aligned}$$

Après avoir fini l'établissement des formules pour le  $\max Q$ , il faut ajouter que le sens du coefficient  $\left( \frac{B}{b_0} \right)$  contenu dans toutes les formules, est celui du temps  $m_1^2$ , et pour cela dans le cas de  $\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0$  ce coefficient doit être posé  $m_1 = 1$ . ( $m_1$  — le moment de la fin de la première phase.) (Voir le chapitre XVII.)

Toutes les formules ici établies, les inégalités de contrôle y comprises, sont montrées dans le tableau particulier № II.

On peut ajouter que les formules générales ici données, pourraient être simplifiées en se basant sur les particularités météorologiques de chaque pays.

## XXI. L'IDÉE DU COEFFICIENT $\varphi$ JUSQU'ICI EMPLOYÉ DANS LES FORMULES EMPIRIQUES.

Après avoir introduit dans leurs formules l'expression de toute la surface du bassin, les auteurs de ces formules ont dû prendre des mesures pour réduire la surface au moyen des coefficients correspondants pour parvenir ainsi à la surface d'écoulement.

C'est, en premier lieu, le coefficient  $\varphi$  différemment appelé par divers auteurs. On en trouve la désignation dans la littérature allemande par le mot Verzögerungskoeffizient (coefficient du retard), mais celui-ci n'a rien de commun avec le coefficient  $(1-\varepsilon)$  employé par nous. Ce coefficient  $\varphi$  est parfois désigné par le terme „coefficient de l'écoulement“ („коэффициент стока“ selon le professeur russe Doubelire). Quelque soit son nom, son sens propre est de représenter le rapport de la surface d'écoulement avec celle du bassin pour obtenir la formule:  $Q = \Delta_0 \omega = \Delta_0 \Omega \varphi$  où  $\omega$  indique la surface d'écoulement, mais  $\Omega$  indique celle du bassin. La valeur numérique du coefficient  $\varphi$  ne peut jamais dépasser 1, c'est à dire,  $\varphi < 1$ . Mais quelles sont ses limites extrêmes du changement?

Imaginons-nous quelque bassin sous la forme d'un quadrilatère régulier dont la longueur  $L$  et la largeur  $B$  sont infinies,  $L = \infty$  et  $B = \infty$ . Admettons également que ce bassin est tout couvert de nuage, et que la durée de l'ondée est également infinie,  $\tau_0 = \infty$ .

$$\text{Alors } Q = Q_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2 \left[ \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} \right]_{p=\infty}$$

On voit que dans l'expression précédente

$$\left(\frac{B}{b_0}\right)^2 \left[ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right]_{p=\infty}$$

reste fini, parce que  $b_0$ , à cause de  $\tau_0 = \infty$ , devient infini, et pour cela le rapport  $\frac{B}{b_0}$  reste fini, égal à quelque valeur indéterminée  $K$ .

Pour cela:  $\varphi = \frac{Q}{\Delta_0 BL} = \frac{Q_0 K}{\Delta_0 BL} = \frac{\Delta_0 b_0 L_0 \cdot K}{2 \cdot \Delta_0 BL} = K'$  quelque valeur aussi finie et indéterminée comprise entre les limites 0 et 1. Mais prenons en considération des conditions plus réelles du phénomène. Imaginons-nous la surface d'un bassin carré sous la forme d'une bande dont la longueur  $L$  est infinie,  $L = \infty$ , mais la largeur reste finie, égale à  $B$ . Admettons que ce bassin soit tout couvert de nuage, la durée de l'ondée étant une valeur finie  $\tau_0$ . Alors:

$$Q = Q_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2 \left[ \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} \right].$$

Ou voit facilement que la valeur de

$$\left(\frac{B}{b_0}\right)^2 \left[ \left\{ 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right\}^{4/3} \right]$$

reste finie, égale à quelque nombre,  $K$ , et pour cela:

$$\varphi = \frac{Q_0 \cdot K}{\Delta_0 BL} = \left( \frac{\Delta_0 b_0 L_0}{2\Delta_0 BL} \right)_{L=\infty} = 0.$$

Comme on sait, l'autre limite de  $\varphi$  est 1,  $\varphi = 1$ .

On voit ainsi que les limites du changement de  $\varphi$  sont très larges, et voilà pourquoi son appréciation numérique fournit assez de difficultés qui ne peuvent être écartées par aucune des hypothèses dont on s'est servi jusqu'ici, en ce qui concerne cette quantité.

Il résulte de tout cela qu'après avoir trouvé le moyen de calculer la valeur absolue de la surface d'écoulement, l'emploi d'un coefficient quelconque pour parvenir à la surface d'écoulement en réduisant celle du bassin, n'est qu'un schéma superflu et dangereux qui ne peut fournir aucun avantage.

Mais ce n'est pas  $\varphi$  seul qui est employé dans les formules empiriques. On rend compte du phénomène de l'infiltration et de l'accumulation par un coefficient particulier  $\psi$  (коэффициент поглощения en russe) dont le sens est de représenter le rapport de toute la quantité de l'eau passée à travers l'aqueduc avec celle qui est tombée sur la surface du bassin pendant l'ondée. Comme il sera montré plus loin, il existe entre le coefficient  $\psi$  et celui introduit par nous, la relation  $1 - \varepsilon = \sqrt[4]{\psi}$ , tout l'avantage d'observation étant réservé au nôtre, parce que celui-ci peut être observé au moyen d'une onde quelconque dont tous les éléments sont connus. (Voir le chapitre VII.)

## XXII. TRANSFORMATION DES FORMULES à L'USAGE DANS LA PRATIQUE.

On rencontre à cet égard assez de difficultés, parce que l'influence de différents facteurs sur le procès de l'écoulement n'est pas éclaircie. C'est pourquoi il n'y a que quelques-uns de ces facteurs qui ont été observés, la surface du bassin y comprise, dont l'importance, comme nous le savons maintenant, n'est pas décisive: il manquait souvent l'inclinaison latérale et les circonstances météorologiques. On trouve, néanmoins, dans le dit rapport du professeur Nicolaï (page 81) un tableau contenant des données sur  $Q$  précieuses à cet égard que celles-ci sont accompagnées de presque toutes les données dont l'influence sur  $Q$  a été montrée ci-dessus. (Il manque seulement les dessins

précis des bassins et les valeurs de  $(1-\varepsilon)$  ou  $\psi$ .) C'est par là que se présentait la possibilité de contrôler les formules établies.

Tous les bassins dont il s'agit ici, sont situés dans une contrée privée de bois, celle des steppes de la Russie du Sud. Par conséquent, en ce qui concerne les qualités physiques, on peut admettre des con-

ditions uniformes et poser  $1 - \varepsilon = \sqrt[4]{\psi}$  plus ou moins constant. Quant à sa valeur numérique, pour une contrée privée de bois on pourrait la compter:  $\psi = 0,50$  environ, ce qui correspond presque à sa plus grande valeur (d'après Lessle, Köstlin).

Le mouvement latéral était basé sur l'hypothèse  $v = ch \sin \alpha$  où,  $c$  était supposé constant, mais c'est tout d'abord également qu'il était dit qu'on pourrait se servir aussi d'autres hypothèses, si celles-ci paraissaient plus commodes. En supposant que l'écoulement latéral, se produisant à une profondeur faible, ne représente aucune espèce particulière d'écoulement, arrêtons-nous à l'hypothèse connue de Bazin qui donne le coefficient  $k$  dans la formule de Antoine Chezy:  $v = k \sqrt{Ri}$

où  $k = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$ .  $\gamma$  indique ici le coefficient de rugosité du lit chan-

geant, selon une classification spéciale, de 0,06 jusqu'au-dessus de 1,75. (Qu'il soit dit à propos que l'auteur de cet exposé a observé  $\gamma = 2,25$  sur la Wolga entre les villes Staritza et Twer sur le rapide „Berno“ où ont été observés les éléments suivants:  $Q = \frac{100 m^3}{sec}$ ,  $i = 1,60/100$ , largeur du fleuve  $B = 120-150$  mtr., lit de pierres calcaires. C'est là que pour la première fois en Russie a été réalisé le jaugeage à l'eau salée.) Dans cette formule, il s'agit maintenant de la valeur numérique de  $\gamma$ . Pour s'en rapprocher, comparons la formule de Bazin avec une des formules spéciales établies pour le mouvement dans une épaisseur faible, avec celle de Ph. Forcheimer, par exemple. Ce dernier a établi la formule pour le mouvement de l'eau ayant une profondeur de quelques milimtr. dans une rigole en bois:  $v = 100 k^{0,7} \sqrt{i}$  (Hydraulik Ph. Forcheimer, 1914, page 77). Comme l'on voit, si la puissance de  $h$  s'était agrandie, en laissant celle de  $i$  telle qu'elle était, le coefficient numérique de la formule de Forcheimer s'agrandirait et, par conséquent, il aurait une valeur dépassant 100. Après ces remarques, essayons de transformer la formule de Chezy à l'usage du mouvement

à l'épaisseur faible, en se servant du coefficient  $k$ , calculé d'après Bazin. Alors l'expression de la vitesse en posant le rayon hydraulique  $R = h$  à cause de la profondeur mince et en négligeant  $\sqrt{h} = \sqrt{h}$  par rapport à  $\gamma$  se représente sous la forme:

$$v = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{Ri} = \frac{87 \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt{i}}{\sqrt{h} + \gamma} \approx \frac{87}{\gamma} h \sqrt{i} = ch \sqrt{i}.$$

Il y a encore la formule connue de Ganguillet-Kutter qui pour  $i \geq 0,0005$  prend la forme:

$$v = \frac{100 \sqrt{h} \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt{i}}{m + \sqrt{h}} \approx \frac{100}{m} h \sqrt{i} = ch \sqrt{i} \quad (\text{Weyrauch, Hydraulisches Rechnen 1912, page 19}).$$

C'est ainsi que nous avons établi la formule pour le mouvement dans l'épaisseur mince, en sortant des formules communes, et la question est de savoir si cela est admissible. La première formule de Hermaneck (voir le chap. VI) pour les profondeurs ne dépassant pas la profondeur  $t = 1,50$  mtr. a la même forme extérieure que la formule établie tout à l'heure par nous, la seule distinction en étant la valeur du coefficient numérique,

En ce qui concerne la valeur numérique de  $h$  qui était prise négligeable par rapport à  $\gamma$ , nous avons les considérations suivantes:

D'après le chapitre V:  $h = \frac{\Delta_0}{2} \cos \alpha \cdot t$ , mais elle-même réduite par le coefficient  $(1 - \varepsilon)$ :  $h = \frac{\Delta_0}{2} \cos \alpha m (1 - \varepsilon) \tau_0 = \frac{D'_0}{2} \cos \alpha \cdot m$ .

$$\max h = \frac{D'_0}{2} \max (\cos \alpha m) = \frac{D'_0}{2} \left\{ (\max \cos \alpha) \cdot m \right\}_{m=1} = \frac{D'_0}{2} \max \cos \alpha.$$

Cette valeur extrême ne sera atteinte par la parcelle qu'au bout de l'ondée. Pour cela, il serait plus juste d'opérer avec quelque épaisseur moyenne qu'on pourrait poser égale à  $\frac{1}{3}$  de  $\max h$ , la relation entre  $h$  et la distance parcourue par la parcelle étant parabolique, comme il

résulte de l'équation:  $h = \sqrt{\frac{x \Delta_0}{c \alpha}}$  du chapitre V. C'est ainsi, par conséquent, qu'on pourrait poser:  $\max h_m = \frac{1}{3} \frac{D'_0}{2} \max \cos \alpha = \frac{1}{6} D'_0 \max \cos \alpha$ .

Le maximum de  $\cos \alpha = 1$ , et c'est pourquoi  $\max h_m$  extrême est:  $\max h_m = \frac{1}{6} D'_0$  où  $D'_0$  désigne l'épaisseur de la couche d'eau tombée sur le terrain. C'est après la fin de l'ondée que l'écoulement se produira dans une épaisseur constante,  $\max h_a$  — ( $\max h$  absolue) =  $\frac{1}{2} D'_0$ , et il y aurait à prendre en considération la surface d'écoulement après la fin de l'ondée, c'est-à-dire la surface d'écoulement où l'eau se meut dans une épaisseur constante,  $\max h_a$ . Si cette surface d'écoulement est négligeable par rapport à la surface qui se produit pendant l'ondée, ce qui se passe au moment de  $\max Q$ , l'épaisseur  $\max h_m$  ne dépassera pas considérablement la valeur  $\max h_m = \frac{1}{6} D'_0$ .

Quant à la valeur numérique de  $D'_0$ , dans la plupart des cas qu'on rencontre dans la pratique, elle ne dépassera pas 0,06 mtr.,  $\max D'_0 = 0,06$  mtr., comme on le voit par les données météorologiques correspondantes. Certes, cette valeur pourrait devenir considérable dans les cas des ondées trop durables, mais alors la surface d'écoulement après la fin de l'ondée devient moindre et elle peut même disparaître à cause des grandes  $b_0$ . Tout cela prouve que la valeur de  $\max h_m$  ne sera pas exposée à des changements considérables, et restera égale à  $\frac{1}{6} D'_0$  environ, ce qui fera:  $\max h_m = \frac{1}{6} D'_0 = \frac{1}{6} \times 0,06 = 0,01$  mtr.

Alors:  $\sqrt{\max h_m} = \sqrt{0,01} = 0,1$  mtr. valeur avec laquelle nous opérerons par la suite.

Quant à la valeur de  $\alpha$ , dans la plupart des cas qu'on rencontre dans la pratique, elle sera contenue dans les limites qui permettront de poser:  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ . Egalement  $\gamma$  contenue dans la fonction  $\Phi$ , sera le plus souvent assez petite pour qu'on puisse poser:  $\cos \gamma = 1$ . Alors, pour des bassins symétriques ( $\alpha = \alpha'$ ,  $\gamma' = \gamma$ ),

$$\Phi = \left( \sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma + \sin 2\alpha' \cos \alpha' \cos \gamma' \right) = 2 \left( \sin 2\alpha \cos \alpha \cos \gamma \right) \begin{matrix} \sin \alpha = \alpha \\ \cos \alpha = 1 \\ \cos \gamma = 1 \end{matrix} =$$

$$= 4 \alpha, \text{ mais, suivant l'hypothèse } v = ch \sqrt{i'}, \Phi = 4 \sqrt{\alpha}.$$

C'est dans l'évaluation du coefficient  $c$  d'après l'une ou l'autre hypothèse, que consistera notre tâche. Dans ce but, nous choisissons

6 exemples contenus dans le tableau № III et empruntés du dit rapport du professeur Nicolaï. Ces exemples sont accompagnés des données suivantes:

1) groupe géométrique:  $i^0/_{00}$ ,  $\alpha^0/_{00}$ ,  $B$  moyenne,  $L$  — longueur du bassin,  $Q$  — surface du bassin;

2) groupe ombrométrique:  $\Delta_0$  — intensité,  $\tau_0$  — durée de l'ondée (manque de  $L_r$  — largeur de la zone de l'ondée);

3) groupe hydrométrique:  $max Q$  — le débit.

L'évaluation du coefficient  $c$  ( $c_1$  est déjà connu, selon Mannig il est  $c_1 = 40$ ) pourrait être produite de la manière suivante.

La durée de l'ondée  $\tau_0$  est:  $\tau_0 = 45 \text{ min.} = 2700 \text{ sec.}$  L'intensité de l'ondée calculée d'après la formule empirique du chapitre XI:

$$max \Delta_0 = 3,18 + \frac{1800 - 2t}{900 + t} \left[ 1,08 + 0,09 \sqrt{\frac{t}{600} - 1,5} \right] \approx 2 \frac{\text{mm.}}{\text{min.}} \quad t = 2700 \text{ sec.}$$

Cette intensité donne la quantité rapportée

$$\text{à } 1 \text{ km.}^2: \frac{2 \text{ mm.}}{\text{min.}} \times \frac{1000 \times 1000}{60 \times 1000} \approx 33 \frac{\text{m}^3}{\text{sec.}}$$

Regardons cette valeur, réduite de  $10^0/_{0}$ , comme intensité moyenne:

$$\Delta_0 = 33 \frac{\text{m}^3}{\text{sec.}} \times 0,90 \approx 30 \frac{\text{m}^3}{\text{sec.}}$$

L'intensité moyenne véritable est moindre de cette valeur, mais les périphéries de la zone de l'ondée avec son intensité faible doivent être exclues, parce que c'est jusqu'au bout même de l'ondée qu'elles ne donneront aucun écoulement des eaux, ces dernières étant entièrement infiltrées et accumulées par le terrain. Mais cette circonstance fait augmenter l'intensité moyenne de la partie centrale de la zone de l'ondée. Voilà encore une circonstance en faveur de l'augmentation du coefficient réductif. La surface d'écoulement sera produite pendant diverses périodes du phénomène auxquelles correspondent différentes intensités de l'ondée. Si, par exemple, la surface d'écoulement correspondante est produite pendant le temps proche du moment  $\frac{\tau_0}{2}$ , l'intensité moyenne s'accroîtra. Comme il a déjà été dit, les incommodités d'un choix arbitraire du coefficient réductif auront disparu dès que les météorologues auront donné la relation  $\Delta = f(t)$ .

Suivant les deux hypothèses se rapportant à l'expression de la vitesse,  $v = ch \sin \alpha$  et  $v = ch \sqrt{\alpha}$ , les éléments principaux de l'écoulement seront exprimés par:

$$b_0 = A_0 (\alpha + \alpha') \text{ et } V_0 = B_0 \sqrt[3]{(\alpha + \alpha')\beta} \sqrt{i}, \text{ et:}$$

$$b_0 = A \left( \sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha'} \right) \text{ et } V_0 = B \sqrt[3]{\left( \sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha'} \right)\beta} \sqrt{i}.$$

Pour le cas d'un bassin symétrique, les mêmes expressions se transforment en:

$$b_0 = 2 A \alpha_0 \text{ et } V_0 = \sqrt[3]{2} B_0 \sqrt{\alpha\beta} \sqrt{i}, \text{ et:}$$

$$b_0 = 2 A \sqrt{\alpha} \text{ et } V_0 = \sqrt[3]{2} B \sqrt[3]{\alpha\beta} \sqrt{i}.$$

Quant à  $\beta$ , cette quantité est le plus souvent:  $\beta < \alpha$ . La divergence entre  $\alpha$  et  $\beta$  doit être très considérable pour qu'on ne puisse pas poser  $\alpha = \beta$ , parce que ces quantités sont contenues dans l'expression sous une racine du troisième degré ce qui en réalité amoindrit chaque erreur provenant d'un choix défectueux de  $\alpha$  et  $\beta$ . C'est pourquoi, dans la plupart des cas qu'on rencontre dans la pratique, on pourra se borner à poser  $\alpha = \beta$ , ce qui également est admis en ce qui concerne les 6 exemples du tableau N<sup>o</sup> III.

Après ces remarques nous aurons:

$$b_0 = 2 A_0 \alpha, V_0 = \sqrt[3]{2} B_0 \sqrt{\alpha^2} \sqrt{i}, \text{ et:}$$

$$b_0 = 2 A \sqrt{\alpha}, V_0 = \sqrt[3]{2} B \sqrt{\alpha i}.$$

Quant à la largeur de la zone de l'ondée, nous l'avons choisie en nous servant des données du chapitre XI, en interpolant entre

$$L_r = 5 \text{ v. et } L_r = \frac{1}{2} \text{ v. auxquelles correspondent les intensités } \Delta_0 =$$

$$= 1 \frac{\text{mm.}}{\text{min.}} \text{ et } \Delta_0 = 4 \frac{\text{mm.}}{\text{min.}}, \text{ d'où on a trouvé: } L_r = 3,8 \text{ kmtr. corres-}$$

$$\text{pondant à l'intensité } \Delta_0 = 2 \frac{\text{mm.}}{\text{min.}}$$

La tâche prochaine sera de trouver les valeurs des coefficients  $2 A_0$ ,  $\sqrt[3]{2} B_0$  ou  $2 A$ ,  $\sqrt[3]{2} B$  convenables à rendre les débits  $Q$  calculés d'après les formules ici données, égaux à ceux qui sont en réalité observés. On a réussi de résoudre ce problème en se servant de l'hypo-

thèse  $V = c h \sqrt{\alpha}$  de la manière suivante:

$$b_0 = 13 \sqrt{\alpha} \text{ klmtr.}, V_0 = 120 \sqrt{\alpha i} \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}} \cdot b_0 = \frac{c \Delta_0}{8} \Phi \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2 = \\ = c \cdot \frac{2 \times 0,9 \times 4 \sqrt{\alpha} \times 2700 \times 2700 (1-\varepsilon)^2}{8 \times 60 \times 1000 \times 1000} = 13 \sqrt{\alpha} (0,9 - \text{le}$$

coefficient réductif), d'où il résulte:

$$c = \frac{13000 \times 8 \times 60 \times 1000 \times 10}{2 \times 4 \times 2700 \times 2700 (1-\varepsilon)^2 \times 9} = \frac{26 \cdot 10^4}{2187 (1-\varepsilon)^2}$$

L'expression de la vitesse spécifique est:

$$V_0 = c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 b_0} = c_1 \sqrt[3]{\frac{1}{32} \Delta_0 (1-\varepsilon) \tau_0 13000} \sqrt{\alpha i} = \\ = 120 \sqrt{\alpha i}; c_1 = \frac{1}{n} = 40 \text{ (voir le chapitre V), alors:}$$

$$\frac{1}{32} \cdot \frac{2 \times 0,9 \times (1-\varepsilon) \times 2700 \times 13000}{60 \times 1000} = 27 \text{ ou: } 39 \frac{(1-\varepsilon)}{32} = \\ = 1, (1-\varepsilon) = \frac{32}{39} = 0,83. \quad \varepsilon = 1 - 0,87 = 0,17. \text{ Contrôlons d'abord}$$

si cette valeur est convenable. Comme nous l'avons vu par le chapitre XI, la puissance de l'expression dépendant de  $(1-\varepsilon)$  est la suivante:

$\{D_0'^2 \tau_0 (1-\varepsilon)\}^{4/3} = \{D_0^2 (1-\varepsilon)^2 \tau_0 (1-\varepsilon)\}^{4/3} = \{D_0^2 \tau_0\}^{4/3} (1-\varepsilon)^4$ . Il en résulte que  $(1-\varepsilon)^4$  doit être posé égal au coefficient de l'écoulement  $\psi$  dans les formules empiriques jusqu'ici employées. Dans les cas de la Russie du Sud ce sera:  $\psi = (0,83)^4 \approx 0,50$  ce qui coïncide avec sa valeur déjà acceptée par nous.  $c$  calculé au moyen de cette valeur de  $\psi$ ,

donnera:  $c = \frac{26.10^4}{2187 \times 0,70} \approx 170 > 100$ . La valeur de  $c$  calculée, on peut calculer les valeurs correspondantes de  $\gamma$  et  $m$ . La relation entre  $c$  et ceux-là est:  $170 = c = \frac{87}{\gamma}$ , et  $170 = c = \frac{100}{m}$  d'où il résulte que:

$\gamma = \frac{87}{170} \approx 0,50$ ,  $m = \frac{100}{170} \approx 0,60$ . La valeur  $m = 0,60$  correspond à la VII catégorie de la classification des lits d'après Ganguillet-Kutter:... sol un peu couvert de limon (fange), mais celle de  $\gamma = 0,50$  correspond à la III catégorie de la classification d'après Bazin:... béton rude... (voir Weyrauch, Hydraulisches Rechnen, 1912, pages 20—24). Puisque  $\sqrt{\max h_m} = 0,1$ , on voit qu'en général la négligence de 0,1 par rapport à  $\gamma = 0,50$  était admissible.

C'est maintenant au moyen de la valeur numérique de  $c = 170$  que sont calculés les  $\max Q$  pour les 6 exemples et les résultats sont montrés dans le tableau III ci joint. Comme l'on voit, la coïncidence des valeurs calculées d'après nos formules avec celles qui sont observées est remarquable. La valeur de  $\max v$  calculée pour le mouvement

latéral:  $\max v = c h \max \sqrt{\alpha}$ , pour les mêmes 6 bassins dont  $\sqrt{\alpha}$  change de  $\sqrt{\alpha} = 14\%$  jusqu'à  $\sqrt{\alpha} = 27,13\%$ , est:  $\max v = c h \max$

$$\sqrt{\alpha} = 170 \cdot \frac{\Delta_0}{2} \cos \alpha \tau_0 (1-\varepsilon) \sqrt{\alpha} = \frac{170 \times 2 \times 2700 \times 0,83}{60 \times 2 \times 1000} = 6 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}} \sqrt{\alpha};$$

$$\left( V_{\max} \right)_{\sqrt{\alpha} = 14\%} = \frac{6 \cdot 14}{100} = 0,84 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}, \text{ vitesse moyenne } V_m = 0,40 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}};$$

$$\left( V_{\max} \right)_{\sqrt{\alpha} = 27\%} = \frac{6 \times 27}{100} = 1,68 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}, V_m = 0,80 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}.$$

Selon le professeur Doubelire la valeur de la vitesse moyenne la plus grande est:  $\max V_m = 0,6 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}$  (voir son oeuvre, page 24) ce qui ne diffère pas considérablement de notre valeur calculée au moyen du coefficient  $c = 170$ .

Voilà encore une preuve indirecte de l'admissibilité de la valeur  $c = 170$ . Calculons les valeurs de la vitesse d'arrivée à l'aqueduc ce qui se fait de la manière suivante:

$$V_{ar} = V_0 \sqrt{\frac{B}{b_0}} \sqrt[3]{1 - n'^3 + 3U + 3f(p)},$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2 \sqrt[3]{1 - n'^3 + 3U + 3f(p)}^{4/3} \text{ d'où il résulte que:}$$

$$\sqrt[3]{1 - n'^3 + 3U + 3f(p)} = \sqrt[4]{\frac{Q}{Q_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2} \max V_{ar}} = V_0 \sqrt[4]{\frac{\max Q}{Q_0}}.$$

Les vitesses d'arrivée,  $V_{ar}$ , calculées d'après cette formule sont également montrées dans le tableau III. On voit que ces valeurs coïncident suffisamment avec celles qui sont données par Winkler.

Le tableau est ainsi fondé sur l'hypothèse  $v = chV_{\alpha}$ , mais on ne peut affirmer que l'hypothèse  $v = ch\alpha$  n'ait jamais lieu. De même que c'est par rapport à l'écoulement concentré que parfois l'hypothèse linéaire pour l'expression de la force de frottement peut être appliquée, il est possible que cette hypothèse ait lieu par rapport à l'écoulement en épaisseur mince, pour certaines limites de la vitesse.

Il est évident qu'en réalité, l'écoulement des versants du bassin ne se fait pas avec la rigueur du schéma accepté. Ce sont, par exemple, les accidents du terrain, qui font se décomposer l'écoulement, supposé se produisant en épaisseur uniforme, en courants dispersés dans leurs lits particuliers, mais cette circonstance ne sera suivie d'aucun changement essentiel des expressions analytiques, comme l'on voit, en établissant, par exemple, la considération suivante.

Admettons que les lits particuliers des bassins élémentaires ont la forme d'un quadrilatère régulier (voir le croquis N° 12). Si l'écoulement se produit selon l'hypothèse:

$$v = ch' \sqrt{\sin \alpha} \approx ch' \sqrt{\alpha}, \quad \frac{db'}{dt} \text{ (} b' \text{ — la projection horizontale de la longueur du collecteur du bassin élémentaire dépendant de } t \text{) =}$$

$$= \frac{cd Q' V_{\alpha}}{r \frac{db'}{dt}}, \text{ car } h' rv = h' r \frac{db'}{dt} = dQ'. \text{ Il résulte de cette équation}$$

$$\text{que: } \left(\frac{db'}{dt}\right)^2 = \frac{cdQ' V_{\alpha}}{r}.$$

La largeur du bassin élémentaire alimentant le courant est  $dy$ , et pour cela:  $dQ' = \Delta_0 b' dy$ , parce qu'à cause de la petite largeur du bassin le débit  $Q$  doit être calculé d'après la formule du cas de

$\frac{B}{b_0} - 1 < 0$ , lorsqu'a lieu l'inégalité de contrôle:  $\frac{1}{2} L_0 \left(\frac{B}{b_0}\right) (3U)^{3/4} \gg L_r$

où doit être posé:  $B = dy$ ,  $L_r = b'$ . Alors:  $\left(\frac{db'}{dt}\right)^2 = \frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy b'}{r}$ ,

$$\frac{db'}{dt} = \sqrt{\frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy b'}{r}}, \quad b'^{-1/2} \frac{db'}{dt} = \sqrt{\frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy}{r}},$$

$$b'^{-1/2} db' = \sqrt{\frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy}{r}} \tau_0 (1 - \varepsilon) dm.$$

$$\int_0^{b'} b'^{-1/2} db' = \sqrt{\frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy}{r}} \tau_0 (1 - \varepsilon) \int_0^m dm = 2b'^{1/2} =$$

$$= \sqrt{\frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy}{r}} \tau_0 (1 - \varepsilon) m, \quad 4b' = \frac{c V \bar{\alpha} \Delta_0 dy \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2 m^2}{r},$$

$b' = \frac{dy}{r} \cdot \frac{c V \bar{\alpha}}{4} \Delta_0 \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2 m^2$ . Cette expression multipliée par  $\Delta_0$ ,

donnera  $q' = b' \Delta_0$  (le débit apporté à l'unité de la largeur du collecteur élémentaire) mais multipliée par  $r$  donnera le débit du bassin

élémentaire:  $qr = b' \Delta_0 r = c V \bar{\alpha} \frac{\Delta_0 \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2}{4} m^2 dy = q dy$ . C'est l'ex-

pression qui a été obtenue pour le cas de l'écoulement en épaisseur uniforme (à comparer les expressions du chapitre V qui doivent être réduites par le coefficient  $(1 - \varepsilon)$  et transformées à l'usage de la pratique en posant  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\cos \alpha \approx 1$ ,  $\cos \gamma \approx 1$ ,  $\alpha = \alpha'$ ,  $\gamma = \gamma'$  après avoir d'abord changé l'hypothèse  $v = ch \sin \alpha$  en celle de:  $v = ch V \bar{\alpha}$ ). Quoique la considération précédente se rapporte à un cas particulier, en ce qui concerne la section transversale du collecteur élémentaire, elle montre que les difficultés que s'imaginaient quelques chercheurs du problème comme s'opposant à une méthode déductive de la solution

du problème, sont considérablement exagérées. Certes, les bassins élémentaires ne doivent pas conduire des courants d'une si grande épaisseur qui ne permettraient pas de négliger  $V\bar{h}$  par rapport à  $\gamma(m)$ . Si cela a lieu, il s'agit du calcul du débit des bassins secondaires qui vont être discutés plus loin.

Quant au désordre du changement des valeurs de  $\alpha$  le long des versants des bassins qu'on rencontre également dans la nature, ces difficultés, pour ainsi dire, s'opposant à la solution analytique du problème, sont aussi exagérées. Si l'on suit la puissance de la fonction géométrique contenue dans l'expression de  $Q_1$  on l'y trouve sous la forme:  $\Phi^{4/3}$ . Le changement de cette fonction est très faible dans de larges limites du changement de  $\alpha$ . Par exemple, si  $\alpha$  varie entre  $\alpha = 10^\circ$  et  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\Phi^{4/3}$  reste presque constante, égale à  $4 \times 0,60 = 2,40$ . Cela veut dire que le long d'un  $b_0 m^2$  (projection horizontale de la trajectoire du mouvement latéral)  $\alpha$  peut varier dans les limites  $\alpha = 10^\circ$  et  $\alpha = 45^\circ$  sans que cette circonstance ait quelque influence sur le résultat du calcul du débit. Les inclinaisons latérales au-dessous de  $\alpha = 10^\circ$  sont, au contraire, plus sensibles au changement de  $\alpha$ , parce que  $\Phi^{4/3}$  varie de 0 jusqu'à 2,40 en même temps que  $\alpha$  varie de  $0^\circ$  jusqu'à  $10^\circ$ .

### XXIII. CONSTRUCTION DE LA COURBE DE $Q$ .

(VOIR LE DES. N° 11.)

C'est ce problème qui fait comprendre le mieux la théorie proposée. En supposant la figure du bassin sous la forme d'un quadrilatère régulier, empruntons les données de l'exemple 3 du tableau III:  $B = 3,60$  klmtr.,  $i = 7,48^0/00$ ,  $\alpha = 52,76^0/00$ ,  $c = 170$ ,  $c_1 = \frac{1}{n} = 40$ ,  $max \Delta_0 = 2 \frac{mm.}{min.}$ ,  $\Delta_0 = 0,9$  max  $\Delta_0$ ,  $\tau_0 = 45$  min. = 2700 sec.;  $L_r = 3,8$  klmtr.;  $\varepsilon = 0,17$ .

Tout au commencement du phénomène de l'écoulement (non de l'ondée!), après que se sont écoulées  $\varepsilon \tau_0$  unités de temps de l'infiltration et de l'accumulation,  $Q = (Q_0 m_1^4 \cdot m'^4)_{m'=0} = (Q_0 \cdot m_1^4 m'^4)_{m_i=1} = 0$  ( $m_1 = 1$ , parce que  $\frac{B}{b_0} - 1 > 0$ ).

Dans la formule générale où est contenue également  $n'$  celui-ci est posé = 0, parce que le coupage de la surface d'écoulement par le bord extrême de la zone de l'ondée n'a pas encore lieu. Remarquons quelques points de la courbe en rattachant ceux-là aux moments de temps déterminés.

1) Moment  $m' = 0$ ,  $Q = 0$ .

2) Le temps entre  $m' = 0$  et  $m' = m = 1$ .

Parce que  $\frac{B}{b_0} - 1 > 0$ , l'élargissement libre des  $b_0 m^2$  jusqu'au moment  $m = 1$  est garanti, et c'est pour cela que la loi du changement de  $Q$  suit l'équation  $Q = Q_0 m^4$ .

3) C'est au moment de la fin de l'ondée,  $m_1 = 1$ , que  $Q = (Q_0 m^4)_{m=1} = 130 \frac{m^3}{\text{sec}}$ . Si l'on continue de déplacer la surface d'écoulement, la deuxième phase prend part à sa formation:  $(L_1 + L_2)_{n=0} =$

$= (L_1)_{n=0} + (L_2)_{n=0} = L_0 + \frac{L_0}{2} \left\{ (1 + 3U)^{4/3} - 1 \right\} = 280 + 1,40 (1,30 \times 1,09 - 1) = 2,80 + 0,60 = 3,40 < L_r = 3,80$ . Cela veut dire que la troisième phase prend part à l'écoulement avant que le sommet de la surface d'écoulement ait atteint le bord extrême de la zone de l'ondée.

4) Au moment où la troisième phase commence à prendre part au procès et où la longueur des collecteurs est:  $(L_1 + L_2)_{n=0} = 3,4$ ,  $Q = Q_0 (1 + 3U)^{4/3} = 130 \cdot (1 + 3 \times 0,10)^{4/3} = 130 (1 + 0,30)^{4/3} = 130 \times 1,30 \times 1,09 \frac{m^3}{\text{sec}} = 185 \frac{m^3}{\text{sec}}$  (situation 2 sur le dessin 10). Le moment où ce débit est parvenu à l'aqueduc, est:  $(m + U)_{m=1} = 1 + 0,10 = 1,10$ .

5) Calculons le  $Q$  au moment où le sommet de la surface d'écoulement a atteint le bord extrême de la zone de l'ondée. (Sit. 3.) La longueur du collecteur de la troisième phase est:  $L_3 = L_r - (L_1 + L_2)_{n=0} = (3,8 - 3,4) \text{ kmtr.} = 0,40 \text{ kmtr.}$  Admettons que la distance  $L_3 = 0,40 \text{ km.}$  pourrait être parcourue dans le temps  $p < 0,50$ .

Alors  $L'_3 = \frac{2}{3} L_0 \left\{ [1 - n^3 + 3U + f(\mu)]^{4/3} - (1 - n^3 + 3U) \right\}_{n=0} =$   
 $= \frac{2}{3} \cdot 2,80 \left[ (1,30 + 2,25p)^{4/3} - (1,30)^{4/3} \right] = 0,40$ .

$$(1,30 + 2,25p)^{4/3} = \frac{0,40 \times 3}{2 \cdot 2,80} + 1,30 \times 1,09 \approx 0,20 + 1,42 = 1,62;$$

$$(1,30 + 2,25p) = (1,62)^{3/4} = \sqrt[4]{4,25} = 1,435; p = \mu = \frac{1,435 - 1,30}{2,25} =$$

$$= 0,06 < 0,50. Q = Q_0 \left[ (1 + 3U)^{4/3} \right] + \frac{3}{4} L_3' b_0 \Delta_0 = 185 \frac{m^3}{\text{sec.}} +$$

$$+ \frac{3}{4} \times 0,40 \times 3 \times 30 = (185 + 27) \frac{m^3}{\text{sec.}} = 212 \frac{m^3}{\text{sec.}}$$

Le même  $Q$ , calculé d'après la formule précise, est:  $Q = Q_0 [1 + 3U + 3f(\mu)]_{\mu=0,06}$ ,  $f(\mu)_{\mu=0,06} = 0,05$ , et c'est pourquoi:  $Q = 130 \cdot (1,30 + 0,05 \cdot 3)^{4/3} = 130 \times (1,45)^{4/3} = 130 \cdot 1,45 \times 1,13 = 213 \frac{m^3}{\text{sec.}} \approx 212 \frac{m^3}{\text{sec.}}$ . Le moment où ce débit est parvenu à l'aqueduc, est:  $(1 + U) + (p)_{p=0,06} = 1 + 0,10 + 0,06 = 1,16$ .

6) Le sommet de la surface d'écoulement (sit. 4) est coupé par le bord extrême de la zone de l'ondée au moment  $n = 0,50$ .  $Q$  devient maximum (voir le tableau III p. 3) dont la valeur est calculée d'après la formule:

$$\max Q = Q_0 \left[ \frac{1,5 L_r}{L_0} + \frac{1}{4} (0,90 + 3U)^{4/3} \right] = 300 \frac{m^3}{\text{sec.}}$$

Le moment où ce débit est parvenu à l'aqueduc est calculé de la manière suivante:

$$(L_1 + L_2)_{n=0,50} = \frac{1}{2} L_0 \left[ (1 - n^3 + 3U)^{4/3} \right]_{n=0,50} = 2,80 \times 0,60 \times 1,06 = 2,80 \times 0,64 = 1,80 \text{ klmtr. } L_3 = L_r - (L_1 + L_2)_{n=0,50} = (3,80 - 1,80) \text{ klm.} = 2 \text{ klmtr.}$$

Admettons que  $L_3$  peut être obtenu dans le temps  $\mu < 0,50$ , c'est-à-dire  $L_3 = L_3'$ . Alors:

$$(L_3)_{p < 0,50} = L_3' = \frac{2}{3} L_0 \left[ (1 - n^3 + 3U + 3f(\mu))^{4/3} - (1 - n^3 + 3U)^{4/3} \right]_{n=0,50} = \frac{2}{3} \times 2,80 \left[ (1,20 + 2,25p)^{4/3} - (1,20)^{4/3} \right] = 2; (1,20 + 2,25p)^{4/3} =$$

$$= \frac{2 \times 3}{2 \times 2,80} + 1,20 \times 1,06 = 1,00 + 1,27 = 2,27; 1,20 + 2,25 p = (2,27)^{3/4} =$$

$$= \sqrt[4]{11,7} = 1,85; p = \frac{1,85 - 1,20}{2,25} = 0,30 < 0,50. \text{ Après cela le mo-}$$

ment d'arrivée du débit  $max Q = 300 \frac{m^3}{sec.}$  à l'aqueduc est:

$$1 + U + (p)_{p=0,30} = 1 + 0,10 + 0,30 = 1,40.$$

7)  $n = 1$ , c'est-à-dire la première phase a disparu (sit. 5).

$$Q = Q_0 \{ [1 - n^3 + 3U + 3f(p)]^{4/3} \}_{n=1} = Q_0 \{ [3U + 3f(p)]^{4/3} \} =$$

$$= 130 [0,30 + 3f(p)]^{4/3}.$$

La valeur de  $p$  (ou  $\mu$ ) est calculée:

$$L_3 = L_r - (L_1 + L_2)_{n=1} = L_r - \frac{1}{2} L_0 (3U)^{4/3} = 3,80 - 2,80 \times 0,15 \times 0,67 =$$

$$= 3,80 - 0,28 = 3,52.$$

Admettons que  $p$  sera maintenant:  $p > 0,50$ , alors  $L_3 = (L_3)_{p=0,50} =$

$$= (L'_3)_{p=0,50} + L''_3 = (L'_3)_{p=0,50} + 5L_0 \{ [1 - n^3 + 3U + 3f(p)]^{4/3} +$$

$$- (1 - n^3 + 3U + 1,125)^{4/3} \}_{n=1} = \frac{2}{3} \cdot 2,80 \left( 1,425^{4/3} - 0,30^{4/3} \right) +$$

$$+ 5 \times 2,80 \left[ (1,275 + 0,30p)^{4/3} - (1,425)^{4/3} \right] = 3,52 = L_r - (L_2)_{n=1};$$

$$(1,275 + 0,30p)^{4/3} = \frac{3,52}{2,80 \times 5} - \frac{2}{3 \times 5} \left( 1,425^{4/3} - 0,30^{4/3} \right) + 1,425^{4/3} =$$

$$= 0,25 - \frac{2}{15} (1,425 \times 1,12 - 0,30 \times 0,67) + 1,425 \times 1,12 = 0,25 +$$

$$- \frac{2}{15} \times 1,40 + 1,60 = 1,65. (1,275 + 0,30p) = (1,65)^{3/4} = \sqrt[4]{4,45} = 1,456.$$

$$p = \frac{1,456 - 1,275}{0,30} = 0,60 > p = 0,50; f(p)_{p=0,60} = 0,35 \text{ (voir le tableau}$$

N° 1 et le diag. N° 10).

Après cela:  $Q = 130(0,30 + 1,05)^{4/3} = 130 \times 1,35 \times 1,11 = 190 \frac{m^3}{sec}$ .  
Moment de l'arrivée  $1,0 + 0,10 + 0,60 = 1,70$ .

8) La surface d'écoulement est produite par le troisième phase seule (sit. 6).  $Q = Q_0 \left\{ [1 - n^3 + 3U + 3f(p)]^{4/3} \right\}_{(1-n^3+3U)=0} = 130 \left( 3f(p) \right)^{4/3}$ , mais

$$L_3 = (L_3)_{p=0,50} + L_3'' = L_r \text{ ou: } \frac{2}{3} \times 2,80(1,125)^{4/3} + \\ + 5 \times 2,80 \left[ (0,975 + 0,30p)^{4/3} - (1,125)^{4/3} \right] = \frac{2}{3} \times 2,80(1,125)^{4/3} + \\ - 5 \times 2,80(1,125)^{4/3} + 5 \times 2,80(0,975 + 0,30p)^{4/3};$$

$$5 \times 2,80(0,975 + 0,30p)^{4/3} - 4,33 \times 2,80 \times 1,125 \times 1,04 = 3,8.$$

$$(0,975 + 0,30p)^{4/3} - \frac{4,33 \times 2,80 \times 1,125 \times 1,04}{5 \times 2,80} = \frac{3,8}{5 \times 2,80};$$

$$(0,975 + 0,30p)^{4/3} = 0,97 + 0,27 = 1,24; (0,975 + 0,30p) = (1,24)^{3/4} =$$

$$= \sqrt[4]{1,906} = 1,17; p = \frac{1,17 - 0,975}{0,30} = 0,67; f(p)_{p=0,67} = 0,38;$$

$$Q = 130(3 \times 0,38)^{4/3} = 130 \times 1,14 \times 1,05 = 156 \frac{m^3}{sec}.$$

Moment d'arrivée:  $1 + 0,10 + 0,67 = 1,77$ .

(On pourrait opérer aussi avec la valeur précise de  $f(p)$  d'après le tableau N° 1,  $3f(p)_{p=0,50} \approx 1$ , ce qui eût simplifié le calcul.)

9) Si l'on continue à pousser la surface d'écoulement dans la même direction, on a à considérer différentes surfaces d'écoulement de la même phase.  $Q = Q_0 \left\{ [3f(p_2) - 3f(p_1)]^{4/3} \right\}$  où une des variables  $p_2$  ou  $p_1$  est choisie tout librement, tandis que l'autre doit être calculée par la condition que  $L_3 = L_r$ .

Comme l'on voit, le choix libre d'une des variables indiquées peut être continué jusqu'aux valeurs de  $p = \infty$ . Cela veut dire que le procès de l'écoulement est infini et que l'axe de temps est l'asymptote de la courbe de  $Q$ .

## XXIV. DIFFÉRENTS CAS QU'ON RENCONTRE DANS LA PRATIQUE ET DONT ON PEUT RENDRE COMPTE PAR LA THÉORIE PROPOSÉE.

### 1) Bassins secondaires.

Nous ne donnons ici que quelques instructions générales, parce que ce problème, suivant la théorie exposée plus haut, peut se résoudre sans difficultés.

Soit  $Q'$  et  $Q''$  les deux débits, qu'au même moment se rejoignent au point de croisement du collecteur du bassin principal avec celui du secondaire. Alors on peut calculer d'après la formule

$$V = V_0 \sqrt[4]{\frac{Q' + Q''}{Q_0}},$$

la vitesse avec laquelle le débit commun a commencé son mouvement en aval de ce point.

La vitesse initiale pour l'étendue du collecteur à partir de ce point étant donnée, on pourra réaliser l'intégration de l'équation différentielle connue. Cette intégration donnera des formules dont la seule distinction avec les formules jusqu'ici établies, sera un membre supplémentaire dépendant de la vitesse initiale. Cette vitesse n'est plus 0 comme cela a lieu dans les formules jusqu'ici établies par nous.

### 2) Écoulement monolatéral.

Par cette espèce d'écoulement le plus souvent sont alimentées les fosses situées au pied d'un versant. On voit que la seule distinction entre ce cas et le bilatéral est contenue dans les expressions des quantités spécifiques qui par rapport à celles du cas bilatéral obtiennent le coefficient réductif:

$$\sqrt[3]{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{4} = \frac{1,58}{2} = 0,79 \approx 0,80.$$

Cela veut dire que la vitesse ne sera amoindrie que de 20% par rapport à celle du cas bilatéral, mais  $Q$  sera seulement 40% du  $Q$  du cas du bassin bilatéral dont la largeur est deux fois plus grande que celle du bassin monolatéral.

### 3) Problème de la canalisation.

Nous avons établi que le  $max Q$  dépend des éléments géométriques du collecteur et ce qui se comprend de soi-même, c'est qu'on dispose du libre choix de la valeur de  $max Q$ , si la sec-

tion transversale du collecteur peut être choisie à libre arbitre. Mais comme la quantité commune des eaux tombées sur le terrain reste le même, on voit que c'est la durée générale de l'écoulement qui peut être influencée maintenant. Il en résulte que c'est un nouvel élément qui peut être introduit dans le problème de la canalisation. Cet élément est la durée de l'écoulement dont on dispose également à libre arbitre, c'est-à-dire on peut faire que le procès de l'écoulement s'accomplisse dans un délai déterminé.

Notre considération du problème a été basée sur la supposition que le collecteur a la forme d'un triangle. Certes, selon les circonstances, on peut choisir toute autre forme du collecteur, ce qui dans aucune mesure ne change la méthode proposée. Supposons, par exemple, que la section transversale du collecteur est celle d'une rigole ayant une largeur constante „ $s$ “. Alors, en se basant sur l'hypothèse de Hermaneck pour les courants dont la profondeur ne dépasse pas  $t < 1,50$  mtr., nous avons:

$$V = c_1' \sqrt{V i} t = 30,7 h \sqrt{V i} = \frac{dy}{dt} = \frac{c_1' Q}{\frac{dy}{dt} s} \sqrt{V i}; \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = c_1' \sqrt{V i} \frac{Q}{s};$$

$$\frac{dy}{dt} = \sqrt{\frac{c_1' \sqrt{V i} Q}{s}} = \sqrt{c_1' \sqrt{V i} Q^{1/2}} \sqrt{\frac{1}{s}} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{1}{2} \sqrt{c_1' \sqrt{V i} Q^{-1/2}} \frac{dQ}{dt} \sqrt{\frac{1}{s}};$$

$$\text{mais: } Q = s \left(\frac{dy}{dt}\right) \frac{1}{c_1' \sqrt{V i}}, \quad Q^{-1/2} = \sqrt{\frac{c_1' \sqrt{V i}}{s \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}} = \frac{1}{\frac{dy}{dt}} \sqrt{\frac{c_1' \sqrt{V i}}{s}}.$$

La relation entre  $Q$  et le mouvement latéral est représentée par la formule connue:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{c \Delta_0}{8} \Phi \cdot t^2 \frac{dy}{dt}$$

$$\text{(voir le chap. VI), } \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c_1' \sqrt{V i}}{s}} \sqrt{\frac{c_1' \sqrt{V i}}{s}} \cdot \frac{c \Delta_0^2}{8} \Phi t^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \frac{c_1' \sqrt{i}}{s} \frac{c \Delta_0^2}{8} \Phi \cdot t^2 = \frac{1}{2} c_1' \sqrt{i} \frac{c \Delta_0^2}{8} \frac{\Phi}{s} t^2.$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} dt = \frac{d}{dt} \left( \frac{dy}{dt} \right) dt = d \left( \frac{dy}{dt} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{c_1' \sqrt{i}}{s} \frac{c \Delta_0^2}{8} \Phi t^2 dt.$$

En posant  $t = \tau_0 (1 - \varepsilon) m$ , nous avons:

$$d \left( \frac{dy}{dt} \right) = \frac{1}{2} D_0' \frac{b_0 c_1' \sqrt{i}}{s} m^2 dm = \frac{1}{6} D_0' b_0 \frac{c_1' \sqrt{i}}{8} d(m^3) =$$

$= V_0' d(m^3)$  où  $V_0'$  est l'expression de la vitesse spécifique. Après avoir intégré cette équation différentielle, nous aurions obtenu:

$$V_0' (m^3 - n^3) = \frac{dy}{dt}.$$

L'élément de la voie parcourue par la parcelle:

$$V_0' (m^3 - n^3) dt = 2L_0' (m^3 - n^3) dm,$$

et on obtiendrait de la même manière toutes les autres expressions nécessaires. Comme on le voit, le cas de la section sous la forme d'un quadrilatère régulier conviendrait très bien à cause de l'absence des expressions irrationnelles.

La section parabolique suivant l'équation générale  $z = ax^n$ ,  $a$  et  $n$  étant ici des nombres au moyen desquels on peut rendre compte de différentes particularités géométriques du canal (voir le des. N° 13) se présente comme une section commode avec une largeur variable.

Nous omettons ici l'établissement de l'équation différentielle fondamentale pour le cas d'une section parabolique du canal, et nous donnons celle-là sous la forme finale:

$$\frac{2}{3} \left( c_1 \sqrt{i} \right)^{\frac{3(n+1)}{2n}} \cdot \left( \frac{a}{2^n} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{n}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n}} \frac{c \Delta_0^2}{8} \cdot \Phi t^2 = \frac{5n+3}{3(n+1)} \left( \frac{dy}{dt} \right)^{\frac{3n^2+12n+9}{3(n+1)2n}} \frac{d^2 y}{dt^2}$$

Cette équation est également fondée sur la même hypothèse de  $v = c_1 t \sqrt{i}$  (Hermaneck) où  $c_1$  doit être posé  $c_1 = 30,7$  (jusqu'à  $t < 1,50$  mtr.).

4) *Jonction de deux bassins voisins par la fosse de jonction.*

Le but de cet établissement est de faire passer les eaux des deux bassins par un aqueduc commun. Le problème est résolu au moyen de la construction des deux courbes de l'écoulement (voir le chapitre XXIII). En faisant varier les éléments géométriques de la fosse de jonction, on peut influencer le moment d'arrivée de  $\max Q$  du bassin voisin et on arrive à faire passer par l'aqueduc un  $\max Q$  sommaire tout déterminé.

XXV. CAS OÙ AU BORD EXTRÊME DE LA ZONE DE L'ONDÉE LES CIRCONSTANCES INITIALES DE L'ÉCOULEMENT NE CORRESPONDENT PAS AUX CONDITIONS:

$$\frac{dy}{dt} = 0 \text{ et } Q = 0, \text{ lorsque } y = 0.$$

Nous avons déjà rencontré ce cas en calculant le  $\max Q$  donné par un bassin où s'embouche un bassin secondaire. Considérons ici encore quelques cas du même genre.

1. *Combinaison des eaux d'ondée avec celles qui sont produites par la fonte de la neige.*

C'est le cas qui le plus souvent se présente aux techniciens des pays boréaux comme le plus dangereux. La solution du problème pourrait être la suivante. On peut admettre que la fonte de la neige ait duré assez de temps pour produire  $b_0$  qui dépassent  $B$ . Alors au bord de la zone de l'ondée parvient le  $Q_f$  dépendant de la fonte de la neige qui peut être calculé:  $Q_f = \Delta'_0 \Omega'$  où  $\Delta'_0$  indique l'intensité de la fonte,  $\Omega'$  — la partie de la surface du bassin située en amont du bord de la zone de l'ondée. La section transversale du collecteur donnée, on calculera la vitesse initiale avec laquelle les eaux de l'ondée commenceront leur mouvement vers l'aqueduc à partir du bord de la zone.

L'équation différentielle du mouvement est la même:

$$d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = V_0^3 dm^3 = \left( \frac{c_1 \sqrt{i}}{32} \right)^3 \sin 2\beta D_0' b_0 dm^3.$$

Ce sont maintenant les expressions  $D'_0$  et  $b_0$  qui devront être remplacées par d'autres.  $D'_0 = \Delta_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)$  doit être remplacée par  $(\Delta_0 + \Delta'_0) \tau_0$ , parce que  $\varepsilon = 0$ , le sol étant encore congelé et la végétation à cause d'une basse température assez mouillée pour pouvoir accumuler encore quelque quantité importante d'humidité. Quant à  $b_0$ , il faut rappeler ce qui a été exposé dans le chapitre V. L'épaisseur sera maintenant exprimée par:

$$h = \frac{\Delta_0 + \Delta'_0}{2} \cos \alpha (t + C) = \frac{\Delta_0 + \Delta'_0}{2} \cos \alpha \cdot t + h_0 \quad (h_0 \neq 0).$$

L'élément de  $b$  sera exprimé par:

$$dx = v dt \cos \alpha = ch \sin \alpha \cos \alpha dt = c \sin \alpha \cos \alpha dt \left\{ \frac{\Delta_0 + \Delta'_0}{2} t \cos \alpha + h_0 \right\}$$

$$\text{et } \int dx = x = c \frac{\sin \alpha \cos^2 \alpha}{2} (\Delta_0 + \Delta'_0) \int t dt + c \sin \alpha \cos \alpha h_0 \int dt + C_1$$

$$x = c \frac{\sin 2\alpha \cos \alpha}{8} (\Delta_0 + \Delta'_0) t^2 + c \sin \alpha \cos \alpha h_0 t + C_1.$$

Lorsque  $t = 0$ ,  $x = 0$  et c'est pourquoi  $C_1 = 0$ .

$x$  compté jusqu'au moment de l'embouchure, dans le collecteur, de deux parcelles venant des versants du bassins, est exprimé par:

$$x = b = c \frac{(\Delta'_0 + \Delta_0)}{8} \Phi \tau_0^2 m^2 + \frac{c h_0 \Phi \tau_0 m}{2 \cos \alpha} =$$

$$= c \frac{(\Delta'_0 + \Delta_0)}{8} \Phi \tau_0^2 m^2 \left( 1 + \frac{4 h_0}{\cos \alpha \tau_0 m (\Delta_0 + \Delta'_0)} \right).$$

$h_0$  peut être remplacée par  $h_0 = \frac{\Delta'_0 \cos \alpha t'}{2}$  où  $t'$  indique le temps du

mouvement à partir du bord latéral du bassin jusqu'au contour de la surface d'écoulement produite par  $b$ . Alors, le coefficient correctif de l'expression:

$$c \frac{(\Delta'_0 + \Delta_0)}{8} \Phi \tau_0^2 m^2 \text{ sera: } k = \left\{ 1 + \frac{2 \Delta'_0 t'}{\tau_0 m (\Delta_0 + \Delta'_0)} \right\} = 1 + \frac{2 t'}{\tau_0 m \left( 1 + \frac{\Delta_0}{\Delta'_0} \right)}.$$

Si nous convenons d'envisager les situations des surfaces d'écoulement dont le contour extérieur est très proche de celui du bassin, ce qui se passe quand on calcule le  $\max Q$ , on peut négliger

$$\frac{2\mu}{\tau_0 m \left(1 + \frac{\Delta_0}{\Delta_0'}\right)}$$

par rapport à 1, et poser:

$$b = c \left( \frac{\Delta_0' + \Delta_0}{8} \right) \Phi \tau_0^2 m^2 = b_0 m^2.$$

Après ces remarques l'intégrale de l'équation différentielle prend la forme:

$$\int_{v_i}^{\frac{dy}{dt}} d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 - v_i^3 = V_0' \int_n^m dm^3 = V_0'^3 (m^3 - n^3) \text{ où } V_0' \text{ est la}$$

$$\text{vitesse spécifique: } V_0' = c_1 V \bar{i} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D_0'' b_0'}$$

$$\text{C'est pourquoi: } \frac{dy}{dt} = V_0' \sqrt[3]{k^3 + m^3 - n^3}, k V_0' = v_i \text{ (vitesse ini-}$$

tiale). Quant à la suite, il n'y a aucune différence par rapport à tout ce qui a été jusqu'ici expliqué, excepté que l'expression de  $Q$  doit être également complétée par  $Q_i$  — débit initial qui s'est amassé au bord de la zone de l'ondée pour rejoindre celui qui est donné par l'ondée.

C'est pourquoi l'expression du débit sous la forme conditionnelle sera:

$$(Q_1 + Q_2 + Q_3) = Q = Q_i + Q_0'^4 m_1 [(k^3 + 1 - n^3 + 3U + 3f(p))^{4/3}]$$

où  $m_1 k' = k$ . Cette expression doit encore être complétée par  $\Delta_0' \Omega''$  où  $\Omega''$  représente la surface d'écoulement après l'ondée (voir les des. N<sup>o</sup> 7 et 9) qui en cas particulier  $\frac{1}{2} L_0 m_1^2 (3U)^{4/3} \geq L_r$  a disparu,  $\Omega'' = 0$ .

Après cela l'expression générale de  $Q$  pourra être représentée par:

$$Q_{(f+o)} (\text{fonte} + \text{ondée}) = \Delta_0' \Omega' + \Delta_0' \Omega'' + Q = \Delta_0' (\Omega' + \Omega'') +$$

$$+ Q'_0 m_1^4 [(k'^3 + 1 - n'^3 + 3U + 3f(p))^{4/3}] \text{ et } \max Q_{(f+o)} = \Delta'_0 \Omega' \\ (\text{constant}) + \max (\Delta'_0 \Omega'' + Q'_{(o+f)}) = \Delta'_0 \Omega' + \max \left\{ \Delta'_0 \Omega'' + \right. \\ \left. + Q'_0 m_1^4 [(k'^3 + 1 - n'^3 + 3U + 3f(p))^{4/3}] \right\}.$$

Sans entrer dans les détails de la question de  $\max Q_{(f+o)}$  qui pourrait être résolue de la manière analogue à celle qui a déjà été appliquée plus haut par rapport à  $\max Q$  pour le cas de l'ondée seule et qui donnerait des formules analogues à celles établies plus haut, nous dirons que le moment de  $\max Q_{(f+o)}$  ne peut être  $< 0,50$ , car l'augmentation de  $n'$  est accompagné par l'augmentation de  $\Omega''$ .

Alors la valeur numérique de  $k'$  étant inconnue, la solution de la question peut être réalisée de la manière suivante. Nous nous imaginons le cas en question remplacé par une ondée dont l'intensité est  $(\Delta_0 + \Delta'_0)$ . Après cela on appliquera les formules établies plus haut où la valeur de  $n' = 0,50$  doit être remplacée successivement par  $n' = 0,60, n' = 0,70 \dots$  jusqu'à ce que l'expression:

$\Delta'_0 \Omega'' + Q'_{(f+o)}$  ( $Q$  de l'ondée dont l'intensité est  $\Delta'_0 + \Delta_0$ ) devienne maximum. C'est par cette valeur que doit être remplacée  $n'$  de l'expression  $Q_{(f+o)}$ . Comme il a été dit, une solution générale du problème est impossible à cause de la valeur de  $k'$  inconnue.

Remarquons ici un cas particulier de l'écoulement combiné. Si la zone de l'ondée couvre toute la surface du bassin,  $\Omega' = 0, k' = 0$ . Si en dehors  $\frac{1}{2} L'_0 m_1^2 (3U')^{4/3} \geq L_r, \Omega'' = 0$ . Alors:  $\max Q_{(f+o)} = \max Q'_{(f+o)}$ , c'est-à-dire le max. de  $Q_{(f+o)}$  est celui de l'ondée dont l'intensité est  $(\Delta'_0 + \Delta_0)$ .

Enfin si le débit n'est produit que par la fonte de la neige,  $\max Q_f = \Delta'_0 \Omega$  où  $\Omega$  désigne la surface du bassin.

## 2. Crue des eaux fluviales.

Toutes les formules établies pour l'écoulement des eaux d'ondée ont lieu, si elles sont complétées par le coefficient  $v_i$  (vitesse initiale du courant au bord de la zone) et  $Q_i$  (débit initial du courant au bord de la zone). C'est pourquoi l'expression du max. de débit aura la forme:

$$\max Q = Q_i + \max Q_0 m_1^4 [(k'^3 + 1 - n'^3 + 3U + 3f(p))^{4/3}].$$

La valeur numérique de  $k'$  étant inconnue, la solution générale du problème est impossible. De même que dans le cas précédent, la solution sera obtenue après quelques épreuves de  $n'$ , en appliquant la méthode donnée par rapport à l'ondée quand  $v_i = 0$  et  $Q_i = 0$ .

## XXVI. CAS DE L'ASYMÉTRIE GÉNÉRALE.

Admettons que les largeurs des deux versants du bassin,  $B_1$  et  $B_2$ , et également leurs inclinaisons,  $\alpha$  et  $\alpha'$ , soient si différentes qu'on ne pourrait les regarder comme égales.

Avant que le contour de la surface d'écoulement ait touché celui du bassin, toutes les formules données plus haut sont applicables sans aucune différence essentielle, après y avoir remplacé  $b_0$  par  $b_0 = b_1 + b_2$ . Ici  $b_1$  et  $b_2$  sont les projections horizontales des trajectoires du mouvement latéral des parcelles d'eau venant des versants pour se rejoindre au même point du collecteur, ce mouvement ayant duré à partir du moment du commencement de l'écoulement jusqu'au bout de l'ondée. C'est pourquoi la vitesse dans un point quelconque du collecteur  $M$  sera exprimée par (voir le des. N<sup>o</sup> 14). :

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_M = \left(V_0 m_1 \sqrt{1-n'^3}\right)_{m=\frac{B_1}{b_1}} = \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} V_0 \sqrt{1-n'^3}$$
 où  $V_0$  est la vitesse spécifique calculée d'après la formule :

$$V_0 = c_1 \sqrt{i} \sqrt{\sin 2\beta} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 (b_1 + b_2)}.$$

Le contour du bassin touché, l'équation différentielle pour l'étendue suivante du collecteur aura la forme :

$$\begin{aligned} d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 &= 3V_0^3 m^2 dm = V_0^3 dm^3 = (c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta \cdot \frac{1}{32} D'_0 \times \\ &\times (3B_1 dm + 3b_1 m^2 dm) = (c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta \cdot \frac{1}{32} D'_0 (b_1 + b_2) \frac{3B_1 dm}{b_1 + b_2} + \\ &+ (c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta D'_0 (b_1 + b_2) \frac{3b_1 m^2 dm}{b_1 + b_2} = V_0^3 \cdot \frac{3B_1}{b_1 + b_2} dm + \\ &+ V_0^3 \frac{b_1}{b_1 + b_2} dm^3. \end{aligned}$$

$$\int_M^N d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = \left(\frac{dy}{dt}\right)_M^3 - \left(\frac{dy}{dt}\right)_N^3 = \frac{3B_1}{b_1+b_2} V_0^3 \int \frac{\sqrt{\frac{B_2}{b_2}}}{\sqrt{\frac{B_1}{b_1}}} dm + \frac{b_2}{b_1+b_2} V_0^3 \int \frac{\sqrt{\frac{B_2}{b_2}}}{\sqrt{\frac{B_1}{b_1}}} dm^3 =$$

$$= \frac{3B_1}{b_1+b_2} V_0^3 \left( \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} - \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} \right) + \frac{b_2}{b_1+b_2} \left[ \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} - \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} \right] \text{ et}$$

la vitesse à un point quelconque  $N$  sera exprimée par:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_N^3 = V_0^3 \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} (1-n') + \frac{3B_1}{b_1+b_2} \left( \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} - \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} \right) +$$

$$+ \frac{b_2}{b_1+b_2} \left[ \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} - \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} \right] =$$

$$= V_0^3 \left[ \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} - \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} n' + \frac{3B_1}{b_1+b_2} \left( \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} - \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{b_2}{b_1+b_2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} - \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} \right\} \right].$$

C'est avec la vitesse  $\left(\frac{dy}{dt}\right)_N$  que la parcelle d'eau a commencé son mouvement à partir du point  $N$ . L'équation différentielle pour l'étendue suivante, en aval du point  $N$ , a la forme simple:

$$d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = 3(B_1+B_2) dm \cdot \frac{1}{32} (c_1 \sqrt{i})^3 \sin 2\beta D_0' = \frac{3(B_1+B_2)}{b_1+b_2} V_0^3 dm.$$

$$\int_N^O d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = \left(\frac{dy}{dt}\right)_O^3 - \left(\frac{dy}{dt}\right)_N^3 = \frac{3(B_1+B_2)}{b_1+b_2} V_0^3 \int \frac{dm}{\sqrt{\frac{B_2}{b_2}}} =$$

$$= \frac{3(B_1+B_2)}{b_1+b_2} V_0^3 \left( 1 - \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} \right)$$

et la vitesse au point  $O$  du collecteur est exprimée par:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_O^3 = \left(\frac{dy}{dt}\right)_N^3 + \frac{3(B_1+B_2)}{b_1+b_2} V_0^3 \left( 1 - \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} \right).$$

$\left(\frac{dy}{dt}\right)_0$  représente la vitesse initiale pour l'étendue du collecteur à partir du point  $O$  d'où commence la troisième phase.

Les équations correspondantes pour la troisième phase ont été données dans le chapitre XVI. L'équation distinctive dans les chapitres VI et VIII se décompose en deux parties selon les deux versants du bassin:

$$1) b_1 m^2 + 2b_1 m \mu - B_1 = 0, \text{ ou: } m^2 + 2m \mu - \frac{B_1}{b_1} = 0, \text{ et:}$$

$$2) b_2 m^2 + 2b_2 m \mu - B_2 = 0, \text{ ou: } m^2 + 2m \mu - \frac{B_2}{b_2} = 0.$$

C'est d'après le chapitre XVI que la vitesse en aval du point  $O$  est reliée par l'équation suivante:

$$\begin{aligned} d\left(\frac{dy}{dt}\right)_\mu^3 &= 3V_0^3 \frac{b_1}{b_1 + b_2} \left[ \frac{B_1}{b_1} - 2\mu \sqrt{\mu^2 + \frac{B_1}{b_1} + 2\mu^2} \right] d\mu + \\ &+ 3V_0^3 \frac{b_2}{b_1 + b_2} \left[ \frac{B_2}{b_2} - 2\mu \sqrt{\mu^2 + \frac{B_2}{b_2} + 2\mu^2} \right]. \\ \int_0 \left(\frac{dy}{dt}\right)_\mu^3 &= \left(\frac{dy}{dt}\right)_\mu^3 - \left(\frac{dy}{dt}\right)_0^3 = 3V_0^3 \left[ \frac{B_1}{b_1} \mu - \frac{2}{3} \left\{ \left(\mu^2 + \frac{B_1}{b_1}\right)^{3/2} + \right. \right. \\ &- \left. \left. \left(\frac{B_1}{b_1}\right)^{3/2} \right\} + \frac{2}{3} \mu^3 \right] \frac{b_1}{b_1 + b_2} + 3V_0^3 \left[ \frac{B_2}{b_2} \mu - \frac{2}{3} \left\{ \left(\mu^2 + \frac{B_2}{b_2}\right)^{3/2} + \right. \right. \\ &- \left. \left. \left(\frac{B_2}{b_2}\right)^{3/2} \right\} + \frac{2}{3} \mu^3 \right] = 3V_0^3 \left[ \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} f(p_1) \cdot \frac{b_1}{b_1 + b_2} + \right. \\ &+ \left. \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} f(p_2) \cdot \frac{b_2}{b_1 + b_2} \right] \text{ après avoir posé correspondamment} \end{aligned}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} p_1 \text{ et}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} p_2.$$

$$\text{Alors: } \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = \left(\frac{dy}{dt}\right)_0^3 + 3V_0^3 \left[ \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} f(p_1) \frac{b_1}{b_1 + b_2} + \right. \\ \left. + \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} f(p_2) \frac{b_2}{b_1 + b_2} \right].$$

C'est de la manière analogue qu'on pourrait établir les formules pour tous les autres cas du croisement des contours du bassin et de la surface d'écoulement. Comme l'on voit, les expressions correspondantes deviennent trop complexes pour qu'on en puisse faire quelque usage, et c'est pourquoi nous essayerons de les transformer en quelques expressions approximatives.

L'expression générale de la vitesse est maintenant

$$\left( n = m_1 n' = \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)} \cdot n' \right) \\ \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = V_0^3 \left[ \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} - n^3 + \frac{3B_1}{b_1 + b_2} \left( \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} - \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{b_2}{b_1 + b_2} \left( \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} - \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} \right) + 3 \cdot \frac{(B_1 + B_2)}{(b_1 + b_2)} \left( 1 - \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{3b_1}{b_1 + b_2} \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} f(p_1) + \frac{3b_2}{b_1 + b_2} \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} f(p_2) \right] = \\ = V_0^3 \left[ \frac{b_1}{b_1 + b_2} \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} - \frac{b_1}{b_1 + b_2} n^3 + \frac{3B_1}{b_1 + b_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{3b_1}{b_1 + b_2} \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} f(p_1) \right] + V_0^3 \left[ \frac{b_2}{b_1 + b_2} \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} - \frac{b_2}{b_1 + b_2} n^3 + \right. \\ \left. + \frac{3B_2}{b_1 + b_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} \right) + \frac{3b_2}{b_1 + b_2} \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} f(p_2) \right] = V_0^3 \left[ \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} - n^3 + \right. \\ \left. + \frac{3B_1}{b_1} \left( 1 - \sqrt{\frac{B_1}{b_1}} \right) + 3 \sqrt{\left(\frac{B_1}{b_1}\right)^3} f(p_1) \right] + V_0^3 \left[ \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} - n^3 + \right.$$

$$+ \frac{3B_2}{b_2} \left( 1 - \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} + 3 \sqrt{\left(\frac{B_2}{b_2}\right)^3} f(p_2) \right) = \left(\frac{dy}{dt}\right)_I^3 + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{II}^3$$

$$V_{0I}^3 = \frac{1}{32} \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 D_0' b_1 \text{ et}$$

$$V_{0II}^3 = \frac{1}{32} \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 D_0' b_2.$$

$V_{0I}$  et  $V_{0II}$  peuvent être appelées vitesses spécifiques des versants correspondants d'un bassin.

Il résulte de la formule:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = \left(\frac{dy}{dt}\right)_I^3 + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{II}^3$$

que la vitesse commune dans le collecteur est exprimée par:

$$\frac{dy}{dt} = \sqrt[3]{\left(\frac{dy}{dt}\right)_I^3 + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{II}^3}.$$

Cette formule montre quelle relation existe entre la vitesse commune dans le collecteur et celles qui résulteraient si chaque versant du bassin existait à part. L'expression précédente peut être décomposée en série convergente infinie de la manière suivante:

$$\text{Supposons que } \left(\frac{dy}{dt}\right)_I \geq \left(\frac{dy}{dt}\right)_{II}, \text{ alors } \frac{dy}{dt} = \left(\frac{dy}{dt}\right)_I \left[ 1 + \frac{\left(\frac{dy}{dt}\right)_{II}^3}{\left(\frac{dy}{dt}\right)_I^3} \right]^{1/3}.$$

$$\text{Désignons } \frac{\left(\frac{dy}{dt}\right)_{II}}{\left(\frac{dy}{dt}\right)_I} \text{ par } \alpha, \text{ alors: } \frac{dy}{dt} = \left(\frac{dy}{dt}\right)_I \left\{ 1 + \frac{1}{3} \alpha - \frac{1 \cdot 2 \cdot \alpha^2}{3 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2} + \right. \\ \left. + \frac{1 \cdot 2 \cdot 5}{3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3} \alpha^3 + \dots \right\}.$$

Comme l'on voit, l'expression générale de quelque membre de cette série est:  $u = \frac{1 \cdot 2 \cdot 5 \dots (3n-4)}{3^n \cdot 1 \cdot 2 \dots n}$  où  $n$  indique le numéro d'ordre

du membre, après avoir attribué au premier membre de la série le numéro d'ordre 0. Chaque membre de la série peut être obtenu par le

précédent en le multipliant par  $\frac{3n-4}{3n}$  dont la limite est:  $\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{3n-4}{3n} \right) =$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \left( 1 - \frac{4}{3n} \right) = 1. \text{ Il en résulte que } \lim_{n \rightarrow \infty} (u) = \lim_{u \rightarrow \infty} \left\{ \frac{(1.2.5 \dots 3n-4)}{3 \cdot n \cdot 1.2.3 \dots n} \right\} = 0,$$

et la convergence de la série est assurée. S'il en est ainsi, on peut avoir la valeur approximative de  $\left( \frac{dy}{dt} \right)$  avec une exactitude quelconque.

On voit facilement que la valeur de l'erreur relative ne peut en aucun cas dépasser:

$$\frac{\left( \sqrt[3]{2-1} \right) 100\%}{\sqrt[3]{2}} = \frac{\left( \sqrt[3]{2-1} \right) \sqrt[3]{4}}{2} \cdot 100\% = \frac{(1,26-1) 1,587}{2} \times 100\% =$$

$= 26,08 \approx 26\%$ , si l'on se borne au premier membre de la série, en cas où  $\alpha = 1$ . Mais alors on peut regarder la plus grande des

vitesse  $\left( \frac{dy}{dt} \right)_I$  et  $\left( \frac{dy}{dt} \right)_{II}$  comme vitesse commune avec laquelle se meut dans le collecteur le débit commun produit par tous les deux versants du bassin.

Après ces remarques concernant la vitesse commune, passons à un exemple numérique au moyen duquel on indiquera les particularités du calcul de  $max Q$  pour un bassin asymétrique.

#### Exemple.

Soit: 1) Éléments géométriques:  $\alpha = 13,67\%$ ,  $\alpha' = 92,64\%$ ,  $\beta = 13,67\%$ ,  $i = 21,70\%$ ,  $B_1 = 1,70$  kmtr.  $B_2 = 1$  kmtr.

2) Éléments ombrométriques:  $max \Delta_0 = 2 \frac{mm}{min}$ ,  $\tau_0 = 45$  min. = 2700 sec.  $L_r = 3,8$  kmtr.

3) Coefficients hydrauliques:  $c_1 = \frac{1}{n} = 40$ ,  $c = 170$ .

4) Coefficients physiques:  $\varepsilon = 0,17$ .

*Solution.*

Les éléments spécifiques sont:

$$b_1 = \frac{c \Delta_0 \cdot 2 \sqrt{\alpha}}{8.1000} \tau_0^2 (1-\epsilon)^2 = (6,5 \sqrt{\alpha})_{\alpha=13,67\text{‰}} = 0,75 \text{ kmtr.};$$

$$b_2 = (6,5 \sqrt{\alpha'})_{\alpha'=92,64\text{‰}} = 2 \text{ kmtr.}$$

$$\begin{aligned} (V_0)_I &= c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D_0' b_1} \\ &= 40 \sqrt{21,10\text{‰}} \sqrt[3]{\frac{2 \times 0,9 \times 45 \times 0,83 \times 750 \times 2 \times 13,67}{32}} = 2 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}} \end{aligned}$$

$$(V_0)_{II} = 2 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}} \sqrt[3]{\frac{2}{0,75}} = 2,75 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}$$

$$(L_0)_I = \frac{1}{2} (V_0)_I \cdot \tau_0 (1-\epsilon) = \frac{1}{2} \times 2 \times 2700 \times 0,83 = 2,24 \text{ kmtr.}$$

$$(L_0)_{II} = \frac{1}{2} (V_0)_{II} \cdot \tau_0 (1-\epsilon) = 2,24 \text{ kmtr.} \times \frac{2,75}{2} = 3 \text{ kmtr.}$$

$$(Q_0)_I = \frac{30 \text{ m}^3}{\text{sec. klm.}^2} (L_0)_I \frac{b_1}{2} = \frac{30 \times 2,24}{2} \times 0,75 = \frac{26 \text{ m}^3}{\text{sec.}}$$

$$(Q_0)_{II} = \frac{30 \text{ m}^3}{\text{sec. klm.}^2} (L_0)_{II} \times \frac{b_2}{2} = \frac{30 \times 3 \times 2}{2} = \frac{90 \text{ m}^3}{\text{sec.}}$$

$$(m_1^2)_I = \left(\frac{B}{b_0}\right)_I = \left(\frac{B_1}{b_1}\right) = \frac{1,70}{0,75} = 2,27 > 1, \text{ c'est pourquoi dans les formules}$$

conditionnelles  $(m_1)_I = 1$  (croisement des contours de la surface d'écoulement et de ceux du bassin après la fin de l'ondée!)

$$(m_1^2)_{II} = \left(\frac{B}{b_0}\right)_{II} = \left(\frac{B_2}{b_2}\right) = \frac{1}{2} = 0,50 < 1.$$

$$(3U)_I = 3U_I = \left\{ \frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right) \right\}_I = \frac{3}{2} \left( \frac{B_1}{b_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} (2,27 - 1) \approx 2.$$

$$(3U)_{II} = 3U_{II} = 3 \left( \sqrt{\frac{b_2}{B_2}} - 1 \right) = (1,414 - 1) \cdot 3 = 1,24.$$

Après avoir calculé les quantités spécifiques et la fonction  $U$  pour les deux versants à part, calculons aussi le *max*  $Q$  qui pourrait être produit par chaque versant du bassin à part.

*Premier versant (index I).*

Inégalité de contrôle qui indiquera quelle formule doit être appliquée pour *max*  $Q$ :

$$\begin{aligned} \left\{ (L_2)_{n'=0,50} \right\}_I &= \left\{ \frac{1}{2} L_0 \frac{B}{b_0} (3U)^{4/3} \right\}_I = \frac{1}{2} (L_0)_I \cdot \frac{B_1}{b_1} (3U_I)^{4/3} \\ &= \frac{1}{2} \times 2,24 \times 1 \cdot 2^{4/3} = \frac{1}{2} \times 2,24 \times 1 \times 2,52 = 2,9 < (L_r = 3,8). \end{aligned}$$

C'est la preuve que les formules du groupe I du tableau II ne peuvent être appliquées.

*L'épreuve suivante est:*

$$\begin{aligned} \left\{ (L_1 + L_2)_{n'=0,50} \right\}_I &= \left\{ \frac{1}{2} L_0 \frac{B}{b_0} (0,90 + 3U)^{4/3} \right\}_I = \frac{1}{2} (L_0)_I \frac{B_1}{b_1} (0,90 + 3U_I)^{4/3} \\ &= \frac{1}{2} \times 2,24 \times 1 \times (2,90)^{4/3} = 1,12 \times 2,90 \times 1,43 = 4,65 > (L_r = 3,8). \end{aligned}$$

Ce résultat indique qu'il faut calculer une nouvelle valeur de  $n'_0 > 0,50$ . (Voir le tableau II, groupe 3.)

$$\max Q_I = 2 (Q_0)_I \frac{B_1}{b_1} \cdot \frac{L_r}{(L_0)_I} = 2 \times 26 \times 1 \cdot \frac{3,8}{2,24} = 89 \frac{m^3}{\text{sec.}}$$

$$\begin{aligned} \text{Max} \left( \frac{dy}{dt} \right)_I &= (V_0)_I \sqrt[4]{\frac{\text{max } Q_I}{(Q_0)_I}} = (V_0)_I \sqrt[4]{(1 - n_0^3 + 3U_I)^{4/3}} = \\ &= 2 \times \sqrt[4]{3,4} = 2 \times 1,36 = 2,70 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}} \end{aligned}$$

Deuxième versant (index II).

Inégalité de contrôle:

$$\begin{aligned} \left\{ (L_2)_{n'=0,50} \right\}_{II} &= \frac{1}{2} \left\{ L_0 \frac{B}{b_0} 3U \right\}_{II} = \frac{1}{2} (L_0)_{II} \cdot \frac{B_2}{b_2} \cdot (3U_{II})^{4/3} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3 \times 0,50 (1,24)^{4/3} = \frac{1}{2} \times 3 \times \frac{1}{2} \times 1,24 \times 1,07 = 0,75 \times 1,33 = 1 \text{ km.} \\ &< (L_r = 3,8). \text{ Il en résulte que la deuxième phase ne peut occuper} \\ &\text{toute la zone de l'ondée.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left\{ (L_1 + L_2)_{n'=0,50} \right\}_{II} &= \frac{1}{2} \left\{ L_0 \frac{B}{b_0} (0,90 + 3U) \right\}_{II} = \frac{1}{2} (L_0)_{II} \frac{B_2}{b_2} (0,90 + 3U_{II})^{4/3} \\ &= \frac{1}{2} \times 3 \times \frac{1}{2} \times 2,14^{4/3} = \frac{1}{2} \times 3 \times \frac{1}{2} \times 2,14 \times 1,30 = 2,14 < (L_r = 3,8). \end{aligned}$$

Ce résultat veut dire que la surface d'écoulement pour le  $\text{max } Q_{II}$  est composée de celles de toutes les trois phases, c'est pourquoi on n'a pas besoin de chercher  $n'_0 > n' = 0,50$ .

Après avoir constaté que la troisième phase prend part à la formation du  $\text{max } Q_{II}$ , il ne reste qu'à établir quand ce débit est parvenu à l'aqueduc, avant le temps  $p = 0,50$  où après  $p = 0,50$ . Dans ce but éprouvons l'inégalité de contrôle:

$$\begin{aligned} \left\{ L_0 \frac{B}{b_0} \left[ \frac{2}{3} (2 + 3U)^{4/3} - \frac{1}{6} (0,90 + 3U)^{4/3} \right] \right\}_{II} &= (L_0)_{II} \cdot \frac{B_2}{b_2} \left[ \frac{2}{3} (2 + 3U_{II})^{4/3} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{6} (0,90 + 3U_{II})^{4/3} \right] = 3 \cdot \frac{1}{2} \left[ \frac{2}{3} (3,24)^{4/3} - \frac{1}{6} (2,14)^{4/3} \right] = \end{aligned}$$

$$= 1,50 \left[ \frac{2}{3} \times 3,24 \times 1,48 - \frac{1}{6} \times 2,14 \times 1,34 \right] = 1,50 (3,20 - 0,47) = 4 > (L_r = 3,8).$$

Il en résulte que  $\max Q_{II}$  est parvenu à l'aqueduc dans le temps  $p > 0,50$ , et c'est pourquoi pour calculer le  $\max Q_{II}$  on doit appliquer la formule du groupe 2 p. b. du tableau II., c'est-à-dire:

$$\begin{aligned} \max Q_{II} &= \left\{ Q_0 \left( \frac{B}{b_0} \right) \left[ \frac{1,5 L_r}{L_0 \frac{B}{b_0}} + \frac{1}{4} (0,90 + 3U)^{4/3} \right] \right\}_{II} = \\ &= (Q_0)_{II} \left( \frac{B_2}{b_2} \right)^2 \left[ \frac{1,5 L_r}{(L_0)_{II} \frac{B_2}{b_2}} + \frac{1}{4} (0,90 + 3U_{II})^{4/3} \right] = \\ &= 90 \left( \frac{1}{2} \right)^2 \left[ \frac{1,5 \times 3,8}{3 \times \frac{1}{2}} + \frac{1}{4} \times 2,14 \times 1,38 \right] = 90 \times \frac{1}{4} (3,8 + 0,7) = \\ &= 90 \times \frac{1}{4} \times 4,5 \approx 100 \frac{m^3}{sec.} \end{aligned}$$

$$\max \left( \frac{dy}{dt} \right)_{II} = V_{0II} \sqrt[4]{\frac{\max Q_{II}}{Q_0}} = 2,75 \sqrt[4]{\frac{100}{90}} = 2,83 \frac{mtr.}{sec.}$$

Il en résulte que le plus productif des versants c'est le deuxième versant qui donne  $\max Q_{II} = 100 \frac{m^3}{sec.}$  Ce débit est produit par la surface d'écoulement de sorte que la parcelle d'eau s'est mue le long du bord de la zone  $\left( m_{II} \cdot n' \right)_{n'=0,50} = \sqrt{\frac{B_2}{b_2}} \cdot 0,50 = \sqrt{0,50 \cdot 0,50} = 0,35$  unités de temps.

Le premier versant, pris à part, au contraire, donne son  $\max Q_I = 85 \frac{m^3}{sec.}$  à un autre moment, après l'arrivée de  $\max Q_{II}$ ,

c'est-à-dire  $\max Q_I$  et  $\max Q_{II}$  ne sont pas simultanés. La première parcelle du débit  $\max Q_I$  parvient au collecteur après s'être mue 0,80 unités de temps le long du bord de la zone de l'ondée, par conséquent le temps d'arrivée au collecteur des deux premières parcelles diffère de:  $0,80 - 0,35 = 0,45$  unités de temps. Il en résulte que le  $\max Q$  commun ne peut être obtenu comme la somme de  $\max Q_I + \max Q_{II}$ . Pour obtenir le  $\max Q$  commun on peut agir de la manière suivante. On calcule  $Q_I$  dont la première parcelle également a consommé 0,35 unités de temps en se mouvant le long du bord de la zone de l'ondée, c'est-à-dire nous calculons  $Q_I$  qui est simultanément à  $\max Q_{II}$ .

Alors on obtiendra le  $\max Q$  commun approximatif en trouvant la somme:  $(Q_I)_{n'=0,35} + \max Q_{II} = \max Q$  com.

Pour la première phase on obtiendra:

$$\begin{aligned} d(Q_1)_I &= \Delta_0 b_1 m^2 (dy_1)_{II} = \Delta_0 b_1 m^2 \cdot (V_0)_{II} \tau_0 (1-\varepsilon) \cdot \sqrt[3]{m^3 - n^3} dm = \\ &= \Delta_0 2 \left( L_0 \right)_{II} b_1 \sqrt[3]{m^3 - n^3} \cdot m^2 dm = \Delta_0 2 \left( L_0 \right)_{II} \frac{b_2}{b_2} \cdot b_1 \sqrt[3]{m^3 - n^3} m^2 dm = \\ &= \left( Q_0 \right)_{II} \frac{b_1}{b_2} \sqrt[3]{m^3 - n^3} m^2 dm; \int_n^{m=(m_0)_{II}} d(Q_1)_I = Q_1 = \left( Q_0 \right)_{II} \frac{b_1}{b_2} \sqrt[3]{\left( (m_1)_{II} \right)^3 - n^3} \Big|^4 = \\ &= \left( Q_0 \right)_{II} \frac{b_1}{b_2} \sqrt[3]{\left( (m_1)_{II} \right)^3 - (m_1)_{II}^3 n'^3} \Big|^4 = \left( Q_0 \right)_{II} \frac{b_1}{b_2} (m_1)_{II}^4 \sqrt[3]{\left( 1 - n'^3 \right)^4}. \end{aligned}$$

Sans continuer l'intégration pour la deuxième phase on voit déjà que:

$$(Q_1)_I + (Q_2)_{II} = \left( Q_0 \right)_{II} \frac{b_1}{b_2} (m_1)_{II}^4 \sqrt[3]{\left( 1 - n'^3 + 3U_{II} \right)^4}.$$

On obtiendra  $(Q_3)_I$  par l'équation (voir le dessin N° 15)

$$(Q_3)_I = \Delta_0 b_1 \left[ L_r - \left( L_1 + L_2 \right)_{II} \frac{1}{n'_{II}} \right].$$

En posant  $n'_{II} = 0,50$ , ce qui arrive quand on cherche le  $\max$  de  $Q$ :

$$\left( L_1 + L_2 \right)_{II} = \left( L_0 \right)_{II} \left( m_1 \right)_{II}^2 \frac{1}{2} \left[ \left( 1 - n'^3 + 3U_{II} \right)^{4/3} \right]_{n'_{II} = 0,50}, \text{ et}$$

$$\begin{aligned}
 (Q_3)_I &= \Delta_0 b_1 L_r - \Delta_0 b_1 (L_0)_{II} (m_1)_{II}^2 \frac{1}{2} (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50} = \\
 &= \Delta_0 (L_0)_{II} \frac{b_2 \cdot b_1 L_r}{b_2 (L_0)_{II}} + \Delta_0 b_1 (L_0)_{II} \frac{b_2 (m_1)_{II}^2}{b_2} \frac{1}{2} (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50}^{4/3} = \\
 &= (Q_0)_{II} \frac{b_1}{b_2} \left[ \frac{L_r}{(L_0)_{II}} + (m_1)_{II}^2 \cdot \frac{1}{2} (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50}^{4/3} \right]
 \end{aligned}$$

Après cela au moment  $n'_{II} = 0,50$ , ce qui correspond au  $\max Q_1$  c'est:

$$\begin{aligned}
 \max Q_1 &= \left\{ (Q_1)_I + (Q_2)_I + (Q_3)_I \right\}_{n'_{II}=0,50} = \\
 &= (Q_0)_{II} \frac{b_1}{b_2} \left[ (m_1)_{II}^4 (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50}^{4/3} + \frac{L_r}{(L_0)_{II}} + \frac{1}{2} (m_1)_{II}^2 (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50}^{4/3} \right].
 \end{aligned}$$

Le  $\max Q$  commun:

$$\begin{aligned}
 \max Q \text{ com.} &= (Q_0)_{II} (m_1)_{II}^4 \left[ \left\{ \frac{1,5 L_r}{(L_0)_{II} (m_1)_{II}^2} + \frac{1}{4} (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50}^{4/3} \right\} + \right. \\
 &+ \left. (Q_0)_{II} \frac{b_1}{b_2} \left[ \frac{L_r}{(L_0)_{II}} + (m_1)_{II}^2 \left\{ (m_1)_{II}^2 + \frac{1}{2} \right\} (1 - n'_{II}{}^3 + 3U_{II})_{n'_{II}=0,50}^{4/3} \right] \right] = \\
 &= 90 \cdot \frac{1}{4} \left[ \frac{1,5 \times 3,8}{3 \times 1/2} + \frac{1}{4} (0,875 + 1,24)^{4/3} \right] + \frac{90 \times 0,75}{2} \left[ \frac{3,8}{3} + \frac{1}{2} (0,875 + 1,28)^{4/3} \right] = \\
 &= 90 \cdot \frac{1}{4} \left( 3,8 + \frac{2,11 \times 1,28}{4} \right) + 33,80 \left( 1,27 + \frac{2,11 \times 1,28}{2} \right) = \\
 &= 90 \cdot \frac{1}{4} (3,8 + 0,675) + 33,80 (1,27 + 1,35) = 90 \cdot \frac{1}{4} \times 4,475 + \\
 &+ 33,80 \times 2,62 = 100 \frac{m^3}{\text{sec.}} + 88 \frac{m^3}{\text{sec.}} = 188 \frac{m^3}{\text{sec.}}
 \end{aligned}$$

## XXVII. ÉLÉMENTS DYNAMIQUES DU PROCÈS.

Nous appelons éléments dynamiques du procès:

- 1) la direction du mouvement du nuage rapportée à celle de l'axe du bassin comptée positive dans la direction du mouvement des eaux; on rendra compte de cet élément par un angle quelconque  $\delta$ ;
- 2) la vitesse du mouvement du nuage  $w$ , et, enfin, —
- 3) la dimension du nuage,  $L_r$ . Puisqu'il existe entre les deux dernières la relation:  $(1-\varepsilon)\tau_0 w = L'_r$  ( $L'_r$  — la dimension nette du nuage, la partie de celui-ci sous la forme d'une bande de la largeur  $\varepsilon\tau_0 w$  étant consommée par le procès d'accumulation et d'infiltration) on peut dire que ce sont seulement deux éléments ( $\delta$  et  $L'_r$ , ou  $\delta$  et  $w$ ) qui peuvent être appelés dynamiques. En réalité, c'est seulement l'angle  $\delta$  qui va rejoindre les éléments avec lesquels nous avons déjà opéré jusqu'ici, en envisageant le procès de l'écoulement des eaux pluviales comme statique, c'est-à-dire comme se produisant par le nuage restant immobile pendant tout le procès.

*A) Direction du mouvement du nuage perpendiculaire à celle de l'axe du bassin ( $\delta=90^\circ$  ou  $\delta=270^\circ$ ). Bassin symétrique carré.*

Mettons en considération un bassin symétrique quand a lieu la relation:  $l_0 = \frac{b_0}{2}$ , alors à un moment  $m$  on a:  $l = l_0 m^2$  où  $m$  est le coefficient de temps connu. Avant que l'avant-bord du nuage ait atteint le collecteur, la parcelle qui se trouvait à un point  $E$  du premier versant du bassin a commencé le mouvement vers le collecteur le long du versant du bassin. Si l'avant-bord du nuage a consommé  $m_1$  unités de temps pour parcourir la distance à partir du point  $E$  jusqu'au collecteur, la parcelle  $E$  se sera trouvée en contact avec le nuage pendant ces mêmes  $m_1$  unités de temps; outre cela, elle se sera trouvée en contact avec le nuage  $m_2$  unités de temps qui sont consommées par l'avant-bord du nuage pour parcourir la distance comptée à partir du collecteur jusqu'à quelque point  $F$  du deuxième versant du bassin, d'où commencera le mouvement de la parcelle  $F$  qui va rejoindre la parcelle  $E$  au même point du collecteur et au même moment.

Si la parcelle à son tour a consommé  $m_3$  unités de temps pour parcourir la distance à partir du point  $F$  jusqu'au collecteur, les projections horizontales des trajectoires des parcelles  $E$  et  $F$  sont:  $l_0 (m_1 + m_2 + m_3)^2$  et  $l_0 m_3^2$ .

Il existe entre ces quantités la relation:

$$1) l_0 (m_1 + m_2 + m_3)^2 = \omega \tau_0 (1 - \varepsilon) m_1 = L_r \cdot m_1.$$

$$2) l_0 m_3^2 = \omega \tau_0 (1 - \varepsilon) m_2 = L'_r m_2 \text{ ou, en posant } \frac{L'_r}{l_0} = A:$$

$$1^*) (m_1 + m_2 + m_3)^2 = A m_1.$$

$$2^*) m_3^2 = A m_2. \text{ Il en résulte que:}$$

$$(m_1 + m_2 + m_3)^2 + m_3^2 = A(m_1 + m_2).$$

On voit que quant au moment de leur formation, les contours des surfaces d'écoulement ne sont plus simultanés, la différence de temps étant maintenant représentée par le coefficient  $u = (m_1 + m_2)$ . Après avoir introduit ce coefficient, nous avons:

$$(u + m_3)^2 + m_3^2 = u^2 + 2 u m_3 + 2 m_3^2 = A u \text{ ou:}$$

$$u^2 + u(2m_3 - A) + 2m_3^2 = 0.$$

C'est par cette relation que  $u$  peut être représentée comme la fonction de  $m_3$ .

Essayons maintenant de résoudre la question suivante: quelles sont les conditions nécessaires pour pouvoir considérer le cas dynamique comme statique, en négligeant le coefficient  $u$  et en considérant un cas de l'écoulement où les contours des surfaces d'écoulement se forment en même temps, lorsque  $2l_0 m^2 = b_0 m^2$ . Alors il y a à poser:

$$l_0(m_1 + m_2 + m_3)^2 + l_0 m_3^2 = 2l_0 m^2 \text{ ou } (m_1 + m_2 + m_3)^2 + m_3^2 = 2m^2 \\ = (u + m_3)^2 + m_3^2 = 2m^2.$$

Ici,  $m$  varie de  $m = 0$  jusqu'à  $m = 1$ .

$u$  comme la fonction de  $m_3$  est:

$$u = \left( \frac{A}{2} - m_3 \right) \pm \sqrt{\left( \frac{A}{2} - m_3 \right)^2 - 2m_3^2} = \\ = m_3 \left[ \left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right) \pm \sqrt{\left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right)^2 - 2} \right].$$

On ne pourrait établir aucune considération plus détaillée de cette expression avant qu'on eût introduit quelques conditions restrictives

relatives à la valeur numérique de  $\left(\frac{A}{2m_3} - 1\right)$ . Admettons que:

$$\left(\frac{A}{2m_3} - 1\right)^2 \geq 2, \quad \frac{A}{2m_3} - 1 \geq \sqrt{2} \quad \text{ou l'inégalité: } \frac{A}{2m_3} \geq 2,414$$

a toujours lieu.

Comme on voit facilement,  $u$  sera toujours  $< 1$ ,  $u < 1$ , parce que la distance  $EF$  est moindre de  $L'_r$ . C'est pour cela qu'il faut choisir — devant la racine et poser:

$$\begin{aligned} u &= m_3 \left[ \left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right) - \sqrt{\left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right)^2 - 2} \right] = \\ &= m_3 \left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right) \left[ 1 - \left| 1 - \frac{2}{\left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right)^2} \right|^{1/2} \right] \end{aligned}$$

d'où, en se servant de la décomposition en série infinie, on obtiendra:

$$u = m_3 \left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right) \left[ 1 - \left[ 1 - \frac{2}{2 \left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right)^2} + \frac{2^2}{2 \cdot 2 \cdot 2 \left( \frac{A}{2m_3} - 1 \right)^4} + \dots \right] \right]$$

La convergence de cette série est assurée, parce que chaque membre de la série est obtenu par la multiplication du précédent par

le coefficient  $\frac{2n-3}{2n}$  dont la limite,  $\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{2n-3}{2n} \right) = 1$ . Quant à la

somme de la série, bornons-nous à la somme des deux premiers membres de cette série.

$$\text{Alors } u = \frac{m_3 1}{\frac{A}{2m_3} - 1} \text{ après quoi:}$$

$$2m^2 = (u + m_3)^2 + m_3^2 = m_3^2 \left[ \left( \frac{1}{\frac{A}{2m_3} - 1} + 1 \right)^2 + 1 \right].$$

On voit que, si  $m_3 = 0$ ,  $m = 0$ . Ce résultat veut dire que les moments initiaux du mouvement réel, dynamique, et du mouvement imaginé, statique, coïncident. Calculons la valeur la plus grande possible de  $m_3$ . Il est évident que cette valeur de  $m_3$ ,  $\max m_3$ , ne peut atteindre 1, c'est-à-dire il faut que:  $\max m_3 < 1$ . En effet, la parcelle d'eau venant du point  $F$  ne peut se trouver 1 unité de temps en contact avec le nuage, parce que celle-là et celui-ci se meuvent dans une direction contraire l'un par rapport à l'autre. C'est pour cela que le  $\max$  de temps du mouvement de la parcelle est réduit par autant d'unités de temps qu'il en est consommé par le mouvement du nuage, (son avant-bord) à partir du collecteur jusqu'au point  $F$ . Si le temps consommé par ce mouvement du nuage est indiqué par  $\mu$ , on a la relation suivante:  $l_0(1 - \mu) = w\tau_0(1 - \varepsilon)^2 \mu$  ou  $(1 - \mu)^2 = \frac{w\tau_0(1 - \varepsilon)\mu}{l_0} = A\mu = (\max m_3)^2$ .

$$1 - 2\mu + \mu^2 = A\mu: \mu^2 - \mu(A + 2) + 1 = 0.$$

$$\mu = \left(\frac{A}{2} + 1\right) \pm \sqrt{\left(\frac{A}{2} + 1\right)^2 - 1}. \text{ Puisque } \mu < 1,$$

$$\begin{aligned} \mu &= \left(\frac{A}{2} + 1\right) - \sqrt{\left(\frac{A}{2} + 1\right)^2 - 1} = \left(\frac{A}{2} + 1\right) \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{A}{2} + 1\right)^2}\right)^{1/2}\right] \\ &= \left(\frac{A}{2} + 1\right) \left[1 - \left\{1 - \frac{1}{2\left(\frac{A}{2} + 1\right)^2} + \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 2\left(\frac{A}{2} + 1\right)^4} + \dots\right\}\right]. \end{aligned}$$

Comme:  $\frac{A}{2m_3} \geq 2,414$ , on a toujours:  $\left(\frac{A}{2} + 1\right)^2 > 1$  ce qui conduit à:  $\frac{A}{2} > 0$ . En se bornant aux deux membres de la série convergente en ce qui concerne sa somme, on a:

$$\mu = \frac{1}{2\left(\frac{A}{2} + 1\right)}, (1 - \mu) = \max m_3 = 1 - \frac{1}{2\left(\frac{A}{2} + 1\right)} = \frac{2\frac{A}{2} + 1}{2\left(\frac{A}{2} + 1\right)}.$$

Comptons, par exemple,  $\frac{A}{2} = 3$ , alors  $max m_3 = \frac{2\frac{A}{2} + 1}{2(\frac{A}{2} + 1)} = \frac{7}{8}$ .

$$\frac{A}{2max m_3} = \frac{3 \times 8}{7} = \frac{24}{7}; \quad \frac{A}{2max m_3} - 1 = \frac{24}{7} - \frac{7}{7} = \frac{17}{7} = 2,43 > \sqrt{2} = 1,414;$$

$\frac{A}{2max m_3} \geq 2,414$  ce qui correspond à la supposition tout d'abord faite

par rapport à  $\frac{A}{2m_3}$ .

$$2m^2 = m_3^2 \left[ \left( \frac{1}{\frac{A}{2m_3} - 1} + 1 \right)^2 + 1 \right]; \quad 2max m^2 =$$

$$= max m_3^2 \left[ \left( \frac{1}{\frac{A}{2max m_3} - 1} + 1 \right)^2 + 1 \right] = \frac{7}{8} \left[ \left( \frac{7}{17} + 1 \right)^2 + 1 \right] = 2,30.$$

$m = \sqrt{1,15} = 1,07$ . On voit que le schéma statique est parfaitement

applicable, si  $\frac{A}{2} \geq 3$ . Comme  $\frac{A}{2} = \frac{L_r}{2l_0} = \frac{L_r(1-\epsilon)}{2l_0} = \frac{L_r(1-\epsilon)}{b_0}$ , la con-

dition  $\frac{A}{2} \geq 3$  conduit à  $\frac{L_r(1-\epsilon)}{b_0} \geq 3$ , ou  $L_r(1-\epsilon) \geq 3b_0$ .

Si  $\frac{B}{b_0} - 1 < 0$ ,  $b_0$  est remplacé par  $B$ , et les circonstances sont

encore plus favorables à l'application du schéma statique.

Il est d'importance de trouver la limite absolue de  $L_r$  jusqu'à laquelle le schéma statique serait admissible. On rencontre à cet égard assez de difficultés, c'est pourquoi le calcul suivant ne peut prétendre à une grande exactitude.

L'expression de  $l_0 = \frac{b_0}{2}$  est (voir le chapitre V):

$$l_0 = \frac{b_0}{2} = \frac{c \Delta_0 \Phi}{8} \frac{\tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2}{2} = \frac{c \Delta_0}{8} \sin 2\alpha \cos \alpha \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2.$$

En tenant compte de l'hypothèse  $v = c h \sqrt{\sin \alpha}$ , on a:  $l_0 = \frac{b_0}{2} = \frac{c D'_0}{8} \cdot 2 \sqrt{\sin \alpha} \cdot \cos^2 \alpha \tau_0 (1 - \varepsilon)$ . Le  $\max 2 \left( \sqrt{\sin \alpha} \cos^2 \alpha \right)_{\alpha = 22\frac{1}{2}^\circ} = 1,20$ . Comme l'on peut supposer,  $D'_0$  ne dépassera pas la valeur de:  $D'_0 = 0,06$  mtr. Alors:

$$l_0 = \frac{170 \times 0,06 \times 1,2 \tau_0}{8} (1 - \varepsilon) \text{ mtr. D'après la relation } L_r (1 - \varepsilon) \geq 3 b_0,$$

$$L_r (1 - \varepsilon) = w \tau_0 (1 - \varepsilon) \geq 6 l_0 \text{ ou: } w \tau_0 (1 - \varepsilon) \geq \frac{6 \times 170 \times 0,06 \times 1,2}{8} \tau_0 (1 - \varepsilon)$$

il résulte que  $w \geq \frac{6 \times 170 \times 0,06 \times 1,2}{8} \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}$ . Par conséquent,

le schéma statique est toujours applicable, si la vitesse du mouvement du nuage dépasse  $9 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}$  dans le cas où  $\frac{B}{b_0} - 1 > 0$ . Dans le cas où  $\frac{B}{b_0} - 1 < 0$  et où  $\alpha$  diffère de la valeur  $\alpha = 22\frac{1}{2}^\circ$ , cette limite de la vitesse du nuage est inférieure à  $w = 9 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}$ .

Quant à la valeur absolue de  $L_r (1 - \varepsilon)$ , il est plus difficile de la déterminer, parce qu'il faut rendre compte de la durée  $\tau_0$  du phénomène. On peut compter, néanmoins, que celle-ci réduite par le coefficient  $(1 - \varepsilon)$  ne dépassera pas en général la valeur numérique  $\tau_0 (1 - \varepsilon) = 3600$  sec.

$$\text{Alors: } L_r (1 - \varepsilon) = 6 \cdot \frac{170 \times 0,06 \times 1,2 \times 3600}{8 \cdot 1000} = 30 \text{ klm. ou } l_0 = 5 \text{ klm.}$$

Mais il n'est pas difficile de montrer qu'en réalité la valeur de  $L_r (1 - \varepsilon)$  peut être plus petite, parce que pour que  $l_0$  ait atteint la valeur extrême

$l_0 = 5$  klmtr. il faut que la profondeur du bassin soit  $5 \cdot \sin 22\frac{1}{2}^\circ = 5 \cdot 0,4 = 2$  klmtr. ce qui est impossible. On peut par conséquent admettre, que ces bassins appartiendront au groupe des bassins qualifié par la marque:  $\frac{B}{b_0} - 1 < 0$  où  $b_0$  sera remplacé par  $B < 2 \cdot 5 = 10$  klm.

Enfin, si la condition:  $L_r (1 - \varepsilon) \geq 3 b_0 (3B)$  n'a pas lieu ou si  $L_r (1 - \varepsilon) < B$ , le schéma statique ne peut être appliqué sans l'introduction de quelques coefficients correctifs. Dans ce cas, la solution peut être obtenue en se servant de la méthode appliquée dans le cas de l'asymétrie générale.

B) *Le nuage se meut dans la direction*

$$\delta^0 = 0 \text{ et } \delta = 180^\circ$$

$$1) \delta = 0^\circ.$$

Ces cas sont différents entre eux. Considérons d'abord le cas  $\delta^0 = 0$ . Dans ce but, nous notons sur un des versants du bassin quelque point  $A$  d'où, tout au commencement de l'écoulement, a commencé à se mouvoir le long du versant une parcelle d'eau que nous appellerons simplement „parcelle  $A$ “ (voir le dessin N° 16). Admettons que cette parcelle, pour parvenir au collecteur, a consommé  $n$  unités de temps,  $\tau_0 (1 - \varepsilon)$ . Alors  $l_n = w n \tau_0 (1 - \varepsilon)$ . Admettons encore qu'à certain moment la parcelle  $A$  se trouve au point  $C$ , éloigné de l'arrière-bord du nuage d'une distance de  $z$ . Désignons par  $v$  la vitesse moyenne du mouvement de la parcelle  $A$  dans le collecteur. Alors quelque parcelle venue du point  $E$  (parcelle  $E$ ) ayant rejoint la parcelle  $A$  au point  $C$ , a consommé autant d'unités de temps qu'en a consommé l'avant bord du nuage pour se déplacer de la section transversale, allant à travers  $EC$ , jusqu'à  $QR$ , c'est-à-dire, pour se déplacer à une distance de:  $L'_r - z$ . Alors la quantité des unités de temps consommée par la parcelle  $E$  pour parcourir la distance  $EC$ , ou consommée par l'avant-bord du nuage pour parcourir la distance de:  $(L'_r - z)$ , est:

$$\frac{L'_r - z}{w \tau_0 (1 - \varepsilon)} = m' \text{ après quoi on a: } l_0 m'^2 = l_0 \left\{ \frac{L'_r - z}{w \tau_0 (1 - \varepsilon)} \right\}^2 = l \text{ ou:}$$

$$1) b_0 \left\{ \left( \frac{L'_r - z}{w \tau_0 (1 - \varepsilon)} \right) \right\}^2 = b. \text{ Au moment où la parcelle } A \text{ avait atteint}$$

le collecteur, les droites  $AD$  et  $OK$  coïncidaient, ce qui se passa  $n$

unités de temps après le départ de la parcelle  $A$  du point  $A$ . Mais à partir de ce moment et de cet état, la droite  $OK$  ayant une vitesse plus grande que la parcelle  $A$  dans le collecteur, a commencé à devancer celle-ci, et au moment où la parcelle a réussi à parcourir la distance du collecteur  $y$ ,  $OK$  est éloignée de  $AD$  d'une distance de:  $(y + L'r - l_n - z)$ . Comme le temps consommé par la parcelle  $A$  pour parcourir la distance  $y$  est le même que celui consommé par  $OK$  pour parcourir la distance  $(y + L'r - l_n - z)$ , on a la relation:

$$2) \frac{y}{v_0 \tau_0 (1-\varepsilon)} = \frac{y + L'r - z - l_n}{w \tau_0 (1-\varepsilon)}. \text{ Mais } L'r = w \tau_0 (1-\varepsilon) \text{ et } l_n = w n \tau_0 (1-\varepsilon), \text{ c'est pourquoi:}$$

$$1) \text{ (bis): } b_0 \left( 1 - \frac{z}{w \tau_0 (1-\varepsilon)} \right)^2 = b;$$

$$2) \text{ (bis): } \frac{y}{v \tau_0 (1-\varepsilon)} = \frac{y}{w \tau_0 (1-\varepsilon)} + 1 - n - \frac{z}{w \tau_0 (1-\varepsilon)}.$$

Comme l'on voit par le dessin, les limites du changement de  $z$  sont:  $z = 0$  et  $z = (L'r - l_n)$ , c'est d'après cela que l'expression

$$b_0 \left( 1 - \frac{z}{w \tau_0 (1-\varepsilon)} \right)^2 = b_0 m^2 \text{ varie de } b_0 \text{ jusqu'à: } b_0 (1 - 1 + n)^2 = b_0 n^2,$$

c'est-à-dire  $m$  varie dans les mêmes limites que le coefficient de temps connu,  $m$ , dans le cas statique.

Après cela les deux équations prennent la forme suivante:

$$1^*) b_0 m^2 = b \text{ et}$$

$$2^*) \frac{y}{v \tau_0 (1-\varepsilon)} = \frac{y}{w \tau_0 (1-\varepsilon)} + m - n.$$

L'élément du débit est exprimé par:

$$dQ = \Delta_0 b_0 m^2 dy. \text{ Il résulte de l'équation } 2^*):$$

$$\frac{y}{\tau_0 (1-\varepsilon)} \cdot \frac{w-v}{v w} = m - n, \text{ d'où: } dy = dm \cdot \frac{v w}{w-v} (n - \text{constant}) \text{ et c'est}$$

$$\text{pour cela que: } dQ = \Delta_0 b_0 m^2 \cdot dm \tau_0 (1-\varepsilon) \frac{v w}{w-v} \cdot v \text{ représente main-}$$

tenant la vitesse  $\frac{dy}{dt}$  à quelque point du collecteur dont l'ordonnée est y  
 ( $\frac{dy}{dt}$  remplace la vitesse moyenne  $v$ ).

$$\text{Alors: } dQ = \Delta_0 b_0 m^2 dm \tau_0 (1-\varepsilon) \frac{dy}{dt} \frac{\omega}{\omega - \frac{dy}{dt}}$$

D'après le chapitre VI on a :

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{4} \frac{\sin 2\beta (c_1 \sqrt{i})^3}{8 \left(\frac{dy}{dt}\right)^3} c \Delta_0^2 \frac{\Phi}{8} t^2 \left(\frac{dy}{dt}\right) = \frac{1}{4} \frac{\sin 2\beta (c_1 \sqrt{i})^3}{8 \left(\frac{dy}{dt}\right)^3} \frac{dQ}{dt}$$

Dans notre cas dynamique ( $\delta = 0$ )

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dt} \text{ a la forme: } \frac{dQ}{dt} &= \Delta_0 b_0 \frac{\tau_0 (1-\varepsilon)}{\tau_0 (1-\varepsilon) dm} \cdot \frac{dy}{dt} \frac{\omega dm}{\omega - \frac{dy}{dt}} = \\ &= \Delta_0 b_0 m^2 \frac{dy}{dt} \cdot \frac{\omega}{\omega - \frac{dy}{dt}} \end{aligned}$$

Après cela l'équation différentielle du mouvement a la forme suivante:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{32} \frac{\sin 2\beta (c_1 \sqrt{i})^3}{\left(\frac{dy}{dt}\right)^3} \Delta_0 b_0 m^2 \frac{dy}{dt} \cdot \frac{\omega}{\omega - \frac{dy}{dt}}$$

Cette équation se transforme en :

$$\begin{aligned} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \frac{d^2y}{dt^2} &= \frac{1}{3} \frac{d}{dt} \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = \frac{1}{3} \frac{d \left(\frac{dy}{dt}\right)^3}{dm \tau_0 (1-\varepsilon)} = \\ &= \frac{1}{32} \sin 2\beta (c_1 \sqrt{i})^3 \Delta_0 b_0 m^2 \frac{\omega}{\omega - \frac{dy}{dt}} \end{aligned}$$

Il résulte de cette équation en tenant compte de  $\Delta_0 \tau_0 (1-\varepsilon) = D'_0$ , que

$$\begin{aligned} \frac{d}{dm} \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 &= \frac{3}{32} \sin 2\beta \left( c_1 \sqrt{i} \right)^3 D'_0 b_0 m^2 \frac{\omega}{\omega - \frac{dy}{dt}} = \\ &= 3 V_0^3 m^2 \frac{\omega}{\omega - \frac{dy}{dt}} \quad \text{où } V_0 \text{ représente la vitesse spécifique du bassin} \\ &\text{(voir le tabl. I).} \end{aligned}$$

Présentons l'équation précédente sous la forme:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dm} \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 \left( \omega - \frac{dy}{dt} \right) &= \omega \frac{d}{dm} \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 - \frac{dy}{dt} \frac{d}{dm} \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 = \\ &= \omega \frac{d}{dm} \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 - \frac{3}{4} \frac{d}{dm} \left( \frac{dy}{dt} \right)^4 = 3 V_0^3 m^2 \omega. \end{aligned}$$

L'intégrale de cette équation différentielle du mouvement entre les limites  $m = n = 0$  (la parcelle  $A$  est directement tombée dans le collecteur au commencement du mouvement, c'est-à-dire  $\varepsilon \tau_0$  sec. après le commencement de l'ondée) jusqu'à  $m = m$ , est:

$$\begin{aligned} \int_0^m \omega d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 - \frac{3}{4} \int_0^m d \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 &= \omega \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 - \frac{3}{4} \left( \frac{dy}{dt} \right)^4 = 3 V_0^3 \omega \int_0^m m^2 dm = \\ &= 3 V_0^3 \omega \left[ \frac{m^3}{3} \right]_0^m = V_0^3 \omega m^3. \end{aligned}$$

La vitesse  $V_0'$  dans le collecteur à la fin de l'ondée, lorsque  $m=1$ , est reliée par:  $\omega V_0'^3 - \frac{3}{4} V_0'^4 = V_0^3 \omega$ . En ce qui concerne  $V_0'$ , la solution générale de cette équation est impossible, mais si  $V_0$  — la vitesse spécifique et  $\omega$  — la vitesse du mouvement du nuage sont connues, on peut calculer la valeur numérique de  $V_0'$  par une voie approximative.

Quant à  $m$ , cette valeur est reliée par l'expression:

$$m = \sqrt[3]{\frac{1}{V_0^3 \omega} \left[ \omega \left( \frac{dy}{dt} \right)^3 - \frac{3}{4} \left( \frac{dy}{dt} \right)^4 \right]} \quad \text{ou, en désignant par } p$$

$\frac{dy}{dt}, \frac{dy}{dt} = p$ , on a :

$$m = \frac{1}{V_0} \sqrt[3]{\frac{1}{\omega}} \sqrt[3]{\omega p^3 - \frac{3}{4} p^4}.$$

L'élément,  $dQ$ , avait l'expression:  $dQ = \Delta_0 b_0 m^2 dy$  qui au moyen de  $dy = pdt = p \tau_0 (1-\varepsilon) dm$ ,

$$m^2 = \left( \frac{1}{V_0} \sqrt[3]{\frac{1}{\omega}} \right)^2 \left( \omega p^3 - \frac{3}{4} p^4 \right)^{2/3} \text{ et } dm = \frac{1}{V_0} \sqrt[3]{\frac{1}{\omega}} \left( \omega p^3 - \frac{3}{4} p^4 \right)^{-2/3} \times \\ \times \frac{1}{3} (3 \omega p^2 - 3 p^3) dp, \text{ peut être transformée en:}$$

$$dQ = \Delta_0 b_0 \left( \frac{1}{V_0} \right)^2 \left( \frac{1}{\omega} \right)^{2/3} \left( \omega p^3 - \frac{3}{4} p^4 \right)^{2/3} p \tau_0 (1-\varepsilon) \frac{1}{V_0} \left( \frac{1}{\omega} \right)^{1/3} \times \\ \times \left( \omega p^3 - \frac{3}{4} p^4 \right)^{-2/3} (\omega p^2 - p^3) dp = \Delta_0 b_0 \frac{\tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 \omega} (\omega p^3 - p^4) dp. \text{ L'inté-} \\ \text{grale de cette équation, prise entre les limites } m = n = 0 \text{ et } m = m, \text{ est:}$$

$$\int_0^m dQ = Q = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 \omega} \int_0^m (\omega p^3 dp - p^4 dp) = \\ = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 \omega} \left( \frac{\omega p^4}{4} - \frac{p^5}{5} \right) = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 \omega} \left\{ \frac{\omega}{4} \left( \frac{dy}{dt} \right)^4 - \frac{1}{5} \left( \frac{dy}{dt} \right)^5 \right\}.$$

$(Q)_{m=1} = Q_{0d}$  (débit spécifique du cas dynamique) =  $\varphi Q_0$  (débit spécifique du cas statique) où  $\varphi > 1$ .

$$(Q)_{m=1} = Q_{0d} = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 \omega} \left\{ \frac{\omega}{4} \left( \frac{dy}{dt} \right)^4 - \frac{1}{5} \left( \frac{dy}{dt} \right)^5 \right\}_{m=1} = \\ = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 \omega} \left( \frac{\omega V_0'^4}{4} - \frac{V_0'^5}{5} \right). \text{ La valeur du coefficient } \varphi \text{ atteindra}$$

son maximum, lorsque  $V_0' = \omega$ , c'est-à-dire lorsque la parcelle dans le collecteur au bout de l'ondée atteindra la vitesse du mouvement du

nuage. Après cela la parcelle commencera à devancer l'arrière-bord du nuage, mais c'est impossible, au moins en ce qui concerne les cas qu'on rencontre dans la pratique, qu'elle puisse atteindre de nouveau l'avant-bord du nuage, à cause de la distance limitée qui reste jusqu'à l'aqueduc.

Essayons de calculer le  $\max \varphi$ . Dans le cas où  $V_0' = w$ , la relation entre  $V_0$  et  $V_0'$ ,  $w V_0'^3 - \frac{3}{4} V_0'^4 = V_0^3 w$  prend la forme:

$$\left( w V_0'^3 - \frac{3}{4} V_0'^4 \right)_{V_0'=w} = w^4 - \frac{3}{4} w^4 = \frac{1}{4} w^4 = V_0^3 w, \text{ mais}$$

$$\left( Q_{0d} \right)_{V_0'=w} = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 w} \left( \frac{w V_0'^4}{4} - \frac{V_0'^5}{5} \right)_{V_0'=w} = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{V_0^3 w} \left( \frac{w^5}{4} - \frac{w^5}{5} \right) =$$

$$= \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon) w^5}{V_0^3 w 20} = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon) w^4}{V_0^3 \cdot 20} = \frac{\Delta_0 b_0 V_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}{4} \cdot \frac{w^4}{V_0^4 \cdot 5} =$$

$$= Q_0 \cdot \left( \frac{w}{V_0} \right)^4 \frac{1}{5} = Q_0 \varphi, \text{ où } \varphi = \frac{1}{5} \left( \frac{w}{V_0} \right)^4. \text{ Puisque } \frac{1}{4} w^4 = V_0^3 w$$

ou:  $w^4 = 4 V_0^3 w$ ,  $V_0^3 = \frac{1}{4} w^3$ ,  $V_0 = w \sqrt[3]{\frac{1}{4}}$ , le  $\max$  de  $\varphi$  possible

$$\text{a l'expression: } \max \varphi = \left( \frac{w}{w \sqrt[3]{\frac{1}{4}}} \right)^4 \frac{1}{5} = \frac{4^{4/3}}{5} = \frac{4 \times 1,60}{5} \approx 1,30.$$

Il en résulte que le cas dynamique en question peut être considéré au moyen du schéma statique, en introduisant dans l'expression de  $Q_0$  spécifique correspondant au cas statique, le coefficient correctif  $\varphi = 1,30$ . Mais la plus dangereuse, c'est la période suivante (après  $m = 1$ ) caractérisée par de grandes valeurs de  $b_0 m^2$ , proches de  $b_0$ . Il en résulte que, dans ce cas particulier, ( $V_0' = w$ ), le débit pourrait être calculé d'après l'expression approximative:  $\max Q = b_0 L' \Delta_0$  ou bien  $BL' \Delta_0$  où  $L'$  est la distance parcourue par la parcelle sous le nuage dans la direction longitudinale du bassin. Lorsque l'axe du bassin est droite, on a:  $L' = L$  (longueur du bassin). Dans le cas où  $V_0' < w$ , c'est-à-dire

où l'arrière-bord du nuage devance la parcelle, les parcelles qui vont rejoindre celle restant en arrière, devront parcourir des distances latérales plus grandes que dans le cas statique, c'est pourquoi les surfaces d'écoulement sont rejetées vers les bords du bassin, ce qui équivaut à un certain amoindrissement du débit. C'est ainsi que dans ce cas dynamique ( $V_0' < w$ ) par rapport au statique nous avons constaté deux choses: 1) l'augmentation du débit pendant la période jusqu'à la fin de l'ondée et 2) l'amoindrissement pendant la période après l'ondée.

$$2) \delta = 180^\circ.$$

Dans ce cas par rapport au précédent  $w$  devient négatif, ce qui transforme le coefficient

$$\frac{dy}{dt} \cdot \frac{w}{w - \frac{dy}{dt}} \text{ en: } \frac{dy}{dt} \frac{w}{w + \frac{dy}{dt}}$$

$V_0'$  et  $V_0$  sont reliées par l'expression:

$$wV_0'^3 + \frac{3}{4} V_0'^4 = V_0^3 w. \quad Q_{0d} = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)}{V_0^3 w} \left( \frac{wV_0'^4}{4} + \frac{V_0'^5}{5} \right).$$

On voit que  $V_0' < V_0$ . Admettons que:  $V_0' = k w$ , alors:

$$k^3 w^4 + \frac{3}{4} k^4 w^4 = V_0^3 w; \quad k^3 w^3 + \frac{3}{4} k^4 w^3 = V_0^3; \quad w^3 \left( k^3 + \frac{3}{4} k^4 \right) = V_0^3;$$

$$w = V_0 \sqrt[3]{\frac{1}{k^3 + \frac{3}{4} k^4}}, \quad \text{et } V_0' = V_0 k \sqrt[3]{\frac{1}{k^3 + \frac{3}{4} k^4}} = V_0 k a \quad \text{où}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{1}{k^3 + \frac{3}{4} k^4}}. \quad \text{Alors } w = V_0 a;$$

$$Q_{0d} = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)}{V_0^3 w} \left( \frac{wV_0'^4}{4} + \frac{V_0'^5}{5} \right) = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) V_0'^4}{V_0^3 w 20} (5w + 4V_0') =$$

$$= \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) V_0^4 k^4 a^4}{V_0^4 a \cdot 20} (5V_0 a + 4V_0 k a) = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1 - \varepsilon) V_0^4 k^4 \cdot a^4}{4 V_0^4 \cdot a}$$

$$V_0 a \left( \frac{5+4k}{5} \right) = \frac{\Delta_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon) V_0 k^4 a^4 (5+4k)}{4} = Q_0 \left( \sqrt[3]{\frac{1}{1+\frac{3}{4}k}} \right)^4 \frac{5+4k}{5} =$$

$$= Q_0 \varphi \text{ où: } \varphi = \left( \sqrt[3]{\frac{1}{1+\frac{3}{4}k}} \right)^4 \left( \frac{5+4k}{5} \right).$$

Considérons les limites du changement de  $\varphi$  correspondant au changement de  $k$  entre  $k=0$  et  $k=1$ .

$$\lim (\varphi)_{k=0} = \lim \left( \frac{1}{1+\frac{3}{4}k} \right)_{k=0}^{4/3} \cdot \lim \left( 1+\frac{4k}{5} \right)_{k=0} = 1.$$

$$\lim (\varphi)_{k=1} = \lim \left( \frac{1}{1+\frac{3}{4}k} \right)_{k=1}^{4/3} \cdot \lim \left( 1+\frac{4k}{5} \right)_{k=1} = \left( \frac{4}{7} \right)^{4/3} \cdot \frac{9}{5} =$$

$$= \frac{4}{7} \sqrt[3]{\frac{4}{7}} \cdot \frac{9}{5} = \frac{4}{7 \cdot 7} \sqrt[3]{196} \cdot \frac{9}{5} = \frac{4 \times 5,81}{7 \cdot 7} \times \frac{9}{5} = \frac{200}{245} \approx 0,80.$$

Quant à la période après la fin de l'ondée, nous observons ici le phénomène contraire à celui du cas précédent ( $V_0' < \omega$ ), à savoir: les surfaces d'écoulement après la fin de l'ondée sont attirées par le collecteur, ce qui équivaut à quelque augmentation de celles-ci par rapport au cas statique.

En résumant ce qui a été dit relativement au cas dynamique actuel, on peut constater par rapport au cas statique: 1) l'amoin-drissement du débit pendant la période jusqu'à la fin de l'ondée et 2) l'augmentation du débit pendant la période suivante.

Ces deux causes ayant un sens contraire, on peut prétendre que la cause capitale de l'augmentation générale de  $Q$  dans le cas dynamique ( $\delta = 0^\circ$ ,  $\delta = 180^\circ$ ) est due à  $L'$  — la longueur par laquelle doit être remplacée  $L_r$  contenue dans les formules établies au moyen d'un schéma statique.

En finissant cette courte note relative au cas dynamique, il faut ajouter qu'on rendra compte de ce nouvel élément ombrométrique,  $\delta$ , par l'observation de l'azimut de la direction du mouvement du nuage, nommé nuage de calcul.

## XXVIII. THÈSES.

1) Le procès de l'écoulement des eaux pluviales est un phénomène complexe dépendant de bien des facteurs. Si l'on analyse le procès en s'appuyant sur les schémas de l'hydraulique, on peut montrer que ce procès dépend de 4 groupes de facteurs. Ce sont: 1) les géométriques,  $\alpha$  — l'inclinaison des versants du bassin,  $\beta$  — l'inclinaison des côtés du collecteur,  $i$  — l'inclinaison du thalweg,  $B$  — la largeur moyenne de la partie du bassin d'où commence l'influence des bords du bassin ( $B$  — n'est pas la largeur moyenne de tout le bassin), et le coefficient géométrique caractérisant les accidents du terrain qui jusqu'au bout de l'ondée ne seront pas remplis d'eau à ras du bord et dont la surface, par conséquent, devrait être déduite de celles de l'écoulement; pour s'assurer une certaine réserve, on pose ce coefficient 1, excepté dans les cas où il s'agit des versants des bassins considérablement accidentés et dont l'inclinaison caractérisée par  $\alpha$ , est bien faible; 2) les hydrauliques,  $c$  et  $c_1$ , les coefficients de la vitesse sur les versants et dans le collecteur; 3) le physique  $\varepsilon$  caractérisant les qualités d'accumulation et d'infiltration du terrain du bassin — et, enfin, 4) les ombrométriques,  $\Delta$  — l'intensité comme une fonction du temps  $t$ ,  $\tau_0$  — la durée de l'ondée,  $L_r$  — la largeur de la zone de l'ondée et  $\delta'$  — l'azimut de la direction du mouvement du nuage.

2) En tenant compte de ce qui a été dit au p. 1, aussi bien que de l'échec des formules empiriques et de ses pareilles qui sont établies au moyen de schémas trop simples du phénomène, il faut reconnaître que par aucune correction on ne peut les faire correspondre à la diversité des circonstances du phénomène.

3) Par la voie indiquée au p. 1 on parvient à trouver les formules dont l'usage précède l'éclaircissement, autant que possible détaillé et complet des circonstances ombrométriques de chaque pays, état, rayon, zone géographique etc., et l'établissement de l'ondée de calcul. La dernière peut être choisie différente pour diverses voies de communication selon leur importance et selon la manière de communiquer par ces voies (chemins de fer, chaussées etc.). Les circonstances ombrométriques spécifiques de chaque pays, état, rayon, zone géographique détermineront les coefficients de ces formules.

Tableau N° 1.

$$3f(p) = 3 \left[ p - \frac{2}{3} \left\{ (p^2 + 1)^{3/2} - 1 \right\} + \frac{2}{3} p^3 \right]$$

| $p$  | $p^2$ | $p^3$ | $p^2+1$ | $(p^2+1)^{3/2}$ | $-2(p^2+1)^{3/2}$ | $3p$ | $2p^3$ | $3p+2p^3+2$ | $3f(p)$ | $f(p)$ | fonct. approxim.<br>$\frac{3}{4}p$ | $\frac{3}{4}p-f(p)$ | Erreur rel.<br>$\frac{0}{10}$ |
|------|-------|-------|---------|-----------------|-------------------|------|--------|-------------|---------|--------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 0    | 0     | 0     | 1       | 1               | -2                | 0    | 0      | 2           | 0       | 0      | 0                                  | -0,016              | -17,6                         |
| 0,10 | 0,01  | 0,001 | 1,01    | 1,015           | -2,030            | 0,30 | +0,002 | 2,302       | 0,272   | 0,091  | 0,075                              | -0,015              | -9,1                          |
| 0,20 | 0,04  | 0,008 | 1,04    | 1,060           | -2,12             | 0,60 | 0,016  | 2,616       | 0,496   | 0,165  | 0,150                              | -0,004              | -1,7                          |
| 0,30 | 0,09  | 0,027 | 1,09    | 1,133           | -2,266            | 0,90 | +0,054 | 2,954       | 0,688   | 0,229  | 0,225                              | +0,004              | +9                            |
| 0,40 | 0,16  | 0,064 | 1,16    | 1,25            | -2,50             | 1,20 | 0,128  | 3,328       | 0,828   | 0,276  | 0,300                              | +0,024              | +18                           |
| 0,50 | 0,25  | 0,125 | 1,25    | 1,40            | -2,80             | 1,50 | +0,250 | 3,750       | 0,950   | 0,317  | 0,375                              | +0,058              | +18                           |
| 0,60 | 0,36  | 0,216 | 1,36    | 1,60            | -3,20             | 1,80 | 0,432  | 4,232       | 1,032   | 0,347  | 0,385                              | 0,038               | +10                           |
| 0,70 | 0,49  | 0,343 | 1,49    | 1,82            | -3,64             | 2,10 | 0,686  | 4,786       | 1,146   | 0,382  | 0,395                              | +0,013              | +3                            |
| 0,80 | 0,64  | 0,512 | 1,64    | 2,10            | -4,20             | 2,40 | 1,024  | 5,424       | 1,224   | 0,408  | 0,405                              | 0,003               | -0,7                          |
| 0,90 | 0,81  | 0,729 | 1,81    | 2,44            | -4,88             | 2,70 | 1,458  | 6,158       | 1,278   | 0,426  | 0,415                              | 0,011               | -3                            |
| 1,00 | 1     | 1     | 2       | 2,83            | -5,66             | 3    | 2      | 7,00        | 1,34    | 0,445  | 0,425                              | -0,020              | -4,5                          |
| 2    | 4     | 8     | 5       | 11,20           | -22,40            | 6    | 16     | 24,00       | 1,60    | 0,533  | 0,525                              | -0,008              | -1,6                          |
| 3    | 9     | 27    | 10      | 31,623          | -63,246           | 9    | 54     | 65          | 1,754   | 0,585  | 0,625                              | +0,040              | +0,9                          |
| 4    | 16    | 64    | 17      | 70,1            | -140,2            | 12   | 128    | 142         | 1,80    | 0,60   | 0,725                              | +0,125              |                               |
| 5    | 25    | 125   | 26      | 132,6           | 265,20            | 15   | 250    | 267         | 1,80    | 0,60   | 0,825                              | +0,225              |                               |
| 10   | 100   | 1000  | 101     |                 |                   |      |        | 2           | 0,667   |        |                                    |                     |                               |

Tableau N° 2.

| $n$  | $n^3$ | $1-n^3$ |
|------|-------|---------|
| 0    | 0,00  | 1       |
| 0,10 | 0,001 | 0,999   |
| 0,20 | 0,008 | 0,992   |
| 0,30 | 0,027 | 0,973   |
| 0,40 | 0,064 | 0,936   |
| 0,50 | 0,125 | 0,875   |
| 0,60 | 0,216 | 0,784   |
| 0,70 | 0,343 | 0,657   |
| 0,80 | 0,512 | 0,488   |
| 0,90 | 0,729 | 0,271   |
| 1,00 | 1,00  | 0,00    |

Tableau N° 3.

| $n$  | $1-n^3$ | $(1-n^3)^{4/3}$ |
|------|---------|-----------------|
| 0,50 | 0,875   | 0,836           |
| 0,60 | 0,784   | 0,723           |
| 0,70 | 0,657   | 0,570           |
| 0,80 | 0,488   | 0,388           |
| 0,90 | 0,271   | 0,175           |
| 1,00 | 0,00    | 0,00            |

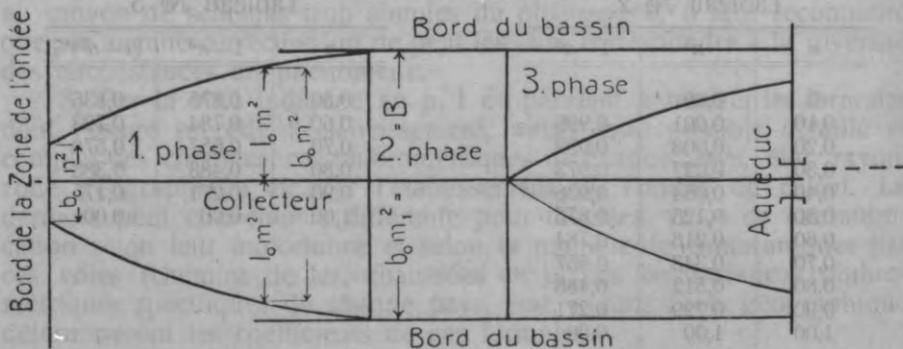
TABLEAU I.

Résumé

| La qualification et la désignation des éléments de l'écoulement | Les expressions des quantités spécifiques   | Les expressions des éléments sous la forme con |   |
|---|---|--|---|
|   |   | 1. phase                                       | 2. phase  |
| Vitesse $\frac{dy}{dt}$   | $V_0 = c_1 \sqrt[3]{i \sqrt{\sin 2\beta} \sqrt{\frac{1}{32} D_0' b_0}}$ $D_0' = \Delta_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)$ $b_0 = \frac{1}{8} c \Delta_0 \Phi \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2$ | $V_1 = V_0 m_1 \sqrt[3]{1 - n'^3}$             | $V_2 = V_0 m_1 \sqrt[3]{1 - n'^3 + 3U}$   |
| Longueur du collecteur  | $L_0 = \frac{1}{2} V_0 \tau_0 (1 - \varepsilon)$  | $L_1 \approx L_0 m_1^2 (1 - n')$               | $L_2 = \frac{1}{2} L_0 m_1^2 \left[ (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - (1 - n'^3)^{4/3} \right]$ |
| Débit $Q$   | $Q_0 = \frac{1}{2} L_0 b_0 \Delta_0$  | $Q_1 = Q_0 m_1^4 (1 - n'^3)^{4/3}$             | $Q_2 = Q_0 m_1^4 \left[ (1 - n'^3 + 3U)^{4/3} - (1 - n'^3)^{4/3} \right]$             |

LES SCHÉ

$$\frac{B}{b_0} - 1 \leq 0, m_1^2 = \frac{B}{b_0}; (U)_{m_1 = \frac{B}{b_0}} = U_2 = \left( \sqrt{\frac{b_0}{B} - 1} \right)$$



des formules.

difionnelle (par l'introduction de  $m_1$  — du moment de la fin de la première phase)

$$3. \text{ phase } f(p) = p - \frac{2}{3} \left\{ (p^2 + 1)^{3/2} - 1 \right\} + \frac{2}{3} p^3$$

$$V_3 = V_0 m_1 \sqrt[3]{1 - n'^3 + 3U + 3f(p)}$$

$$\left( L'_3 \right)_{p \ll 0,50} = \frac{2}{3} L_0 m_1^2 \left[ \left( 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right)^{4/3} - \left( 1 - n'^3 + 3U \right)^{4/3} \right]_{p \ll 0,50}$$

$$L_3 = \left( L'_3 \right)_{p=0,50} + \left( L''_3 \right)_{p \ll 3,0}^{p \ll 0,50} = \left( L'_3 \right)_{p=0,50} + 5 L_0 m_1^2 \left[ \left( 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right)^{4/3} - \left( 1 - n'^3 + 3f(0,50) \right)^{4/3} \right]$$

$$Q_3 = Q_0 m_1^4 \left[ \left( 1 - n'^3 + 3U + 3f(p) \right)^{4/3} - \left( 1 - n'^3 + 3U \right)^{4/3} \right]$$

Approxim:  $Q_3 = \frac{3}{4} \Delta_0 B L_3$  si  $p \ll 0,50$

$$Q_3 = \Delta_0 B \left[ \frac{3}{4} \left( L'_3 \right)_{p=0,50} + \frac{1}{10} \left( L''_3 \right)_{p=0,50}^{p \ll 3} \right]$$

MAS

$$\frac{B}{b_0} - 1 \geq 0, m_1^2 = 1; (U)_{m_1=1} = U_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right); \frac{B}{b_0} - 1 = 0, m_1^2 = 1; (U)_{m_1=1} = 0$$

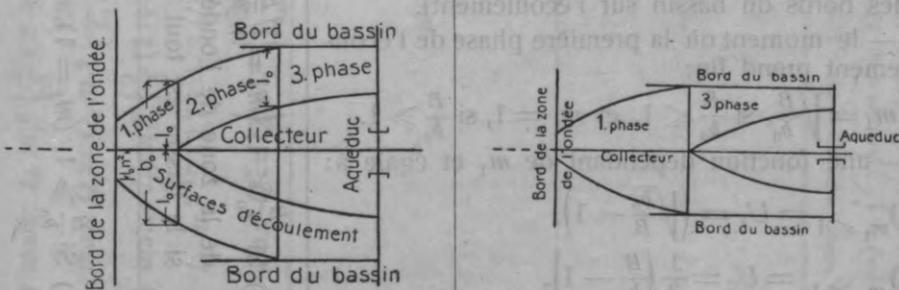


TABLEAU II.

Résumé des formules de max Q

| Désignation des quantités contenues dans les formules (mtr. sec.)   | 1) Si:<br>$\frac{1}{2} L_0 m_1^2 (3U)^{4/3} \geq L_r$<br>alors:  |
|---|--|
| $L_0 = \frac{1}{2} c_1 \sqrt{i} \sqrt[3]{\sin 2\beta} \sqrt[3]{\frac{1}{32} D'_0 b_0 \tau_0 (1-\varepsilon)}$ $D'_0 = \Delta_0 \tau_0 (1-\varepsilon);$ $b_0 = \frac{1}{2} c \Delta_0 \sqrt{\alpha} \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2;$ $Q_0 = \frac{1}{2} \Delta_0 L_0 b_0 \text{ — où sont:}$ $c_1 = \frac{1}{n} \text{ le coefficient de Ganguillet-Kutter,}$ $c = \text{le coefficient de la vitesse du mouvement le long des versants à faible profondeur;}$ $\varepsilon = \text{le coefficient du retard (ou de l'infiltration et de l'accumulation),}$ $\Delta_0 = \text{l'intensité moyenne de l'ondée,}$ $\tau_0 = \text{la durée de l'ondée,}$ $L_r = \text{la largeur de la zone de l'ondée;}$ $i = \text{l'inclinaison du thalweg du bassin,}$ $\beta = \text{l'inclinaison des côtés du collecteur,}$ $\alpha = \text{l'inclinaison des versants du bassin,}$ $B = \text{la largeur du bassin (de sa partie plus proche de l'aqueduc où se manifeste l'influence des bords du bassin sur l'écoulement).}$ $m_1 = \text{le moment où la première phase de l'écoulement prend fin:}$ $m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}}, \text{ si } \frac{B}{b_0} \leq 1, \text{ et } m_1 = 1, \text{ si } \frac{B}{b_0} \geq 1.$ $U = \text{une fonction dépendant de } m_1 \text{ et égale à:}$ $(U)_{m_1 \leq 1} = U_1 = \left( \sqrt{\frac{b_0}{B}} - 1 \right),$ $(U)_{m_1 \geq 1} = U_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right).$ | <p>où <math>\omega</math> — la surface de la zone de l'ondée dans les limites du bassin. <math>\omega</math> devient <math>\Omega</math>, <math>\omega = \Omega</math>, si le bassin est tout couvert de la zone de l'ondée.</p> <p>a) Si <math>\frac{B}{b_0} \leq 1</math>, <math>\left( m_1 = \sqrt{\frac{B}{b_0}} \right)</math>, max Q = <math>\Delta_0 \omega</math> resp. <math>\Delta_0 \Omega</math></p> <p>b) Si <math>\frac{B}{b_0} \geq 1</math>, <math>(m_1 = 1)</math>, max Q = <math>\Delta_0 b_0 L_r</math></p> |

pour les bassins symétriques.

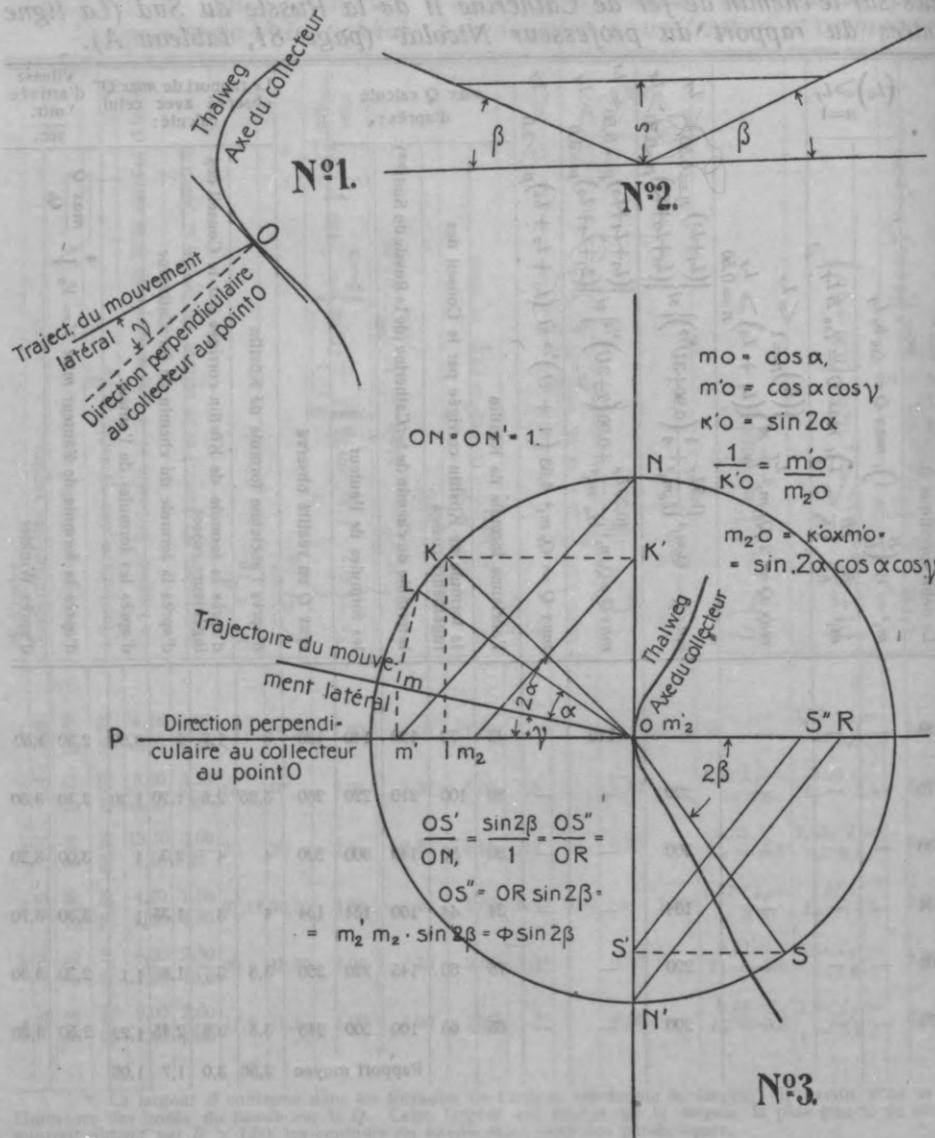
|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
| <p>a) mais: <math>L_0 m_1^2 \left\{ \frac{2}{3} (2 + 3U)^{4/3} - \frac{1}{6} (0,90 + 311)^{4/3} \right\} \geq L_r</math>, alors:</p> $\max Q = Q_0 m_1^4 \left\{ \frac{1,5 L_r}{L_0 m_1^2} + \frac{1}{4} (0,90 + 3U)^{4/3} \right\};$ | <p>b) mais: <math>L_0 m_1^2 \left\{ \frac{2}{3} (2 + 3U)^{4/3} - \frac{1}{6} (0,90 + 3U)^{4/3} \right\} &lt; L_r</math>, et:</p> $L_0 m_1^2 \left\{ 5 (2,75 + 3U)^{4/3} - \frac{13}{3} (2 + 3U)^{4/3} \right\} \geq L_r$ , alors: $\max Q = Q_0 m_1^4 \left\{ \frac{0,20 L_r}{L_0 m_1^2} + 0,90 (2 + 3U)^{4/3} \right\}.$ | <p>3) Si:</p> $\frac{1}{2} L_0 m_1^2 (0,90 + 3U)^{4/3} > L_r$ ,<br>mais: $\frac{1}{2} L_0 m_1^2 (3U)^{4/3} < L_r$ | <p>4) Si:</p> $L_0 m_1^2 \left\{ 5 (2,75 + 3U)^{4/3} - \frac{13}{3} (2 + 3U)^{4/3} \right\} \leq L_r$ | <p>Remarques</p>   |
| <p>2) Si:</p> $\frac{1}{2} L_0 m_1^2 (0,90 + 3U)^{4/3} \leq L_r$  |   |   |   |  |
| <p>alors: <math>\max Q = 2 Q_0 m_1^2 \cdot \frac{L_r}{L_0}</math></p>   |   | <p><math>\max Q = 4,33 Q_0 m_1^4 \left\{ (1 + U)^{4/3} \right\}</math>.</p>                                       |   | <p>Les valeurs numériques de: <math>c, c_1</math> et <math>(1 - \epsilon)</math> sont: <math>c_1 = \frac{1}{n} = 40</math> pour des lits terrestres; <math>c = 170 - 200</math>;<br/> <math>(1 - \epsilon) = \sqrt[4]{\psi}</math> (voir les chap. XXI et XXII). Pour les valeurs numériques de <math>\psi</math> voir: Chamier (Blanchard and Drowne, page 69), Frühling Handbuch der Ing. Wissenschaften III, partie, Der Wasserbau; Doubelire (Орбеприва мамах мочров Иерпоррад 1917) Weyrauch Hydraulisches Rechnen 1912 page 190.</p> |

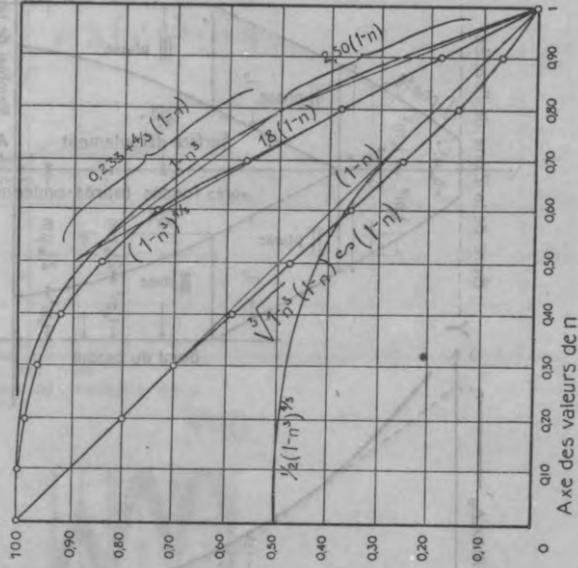
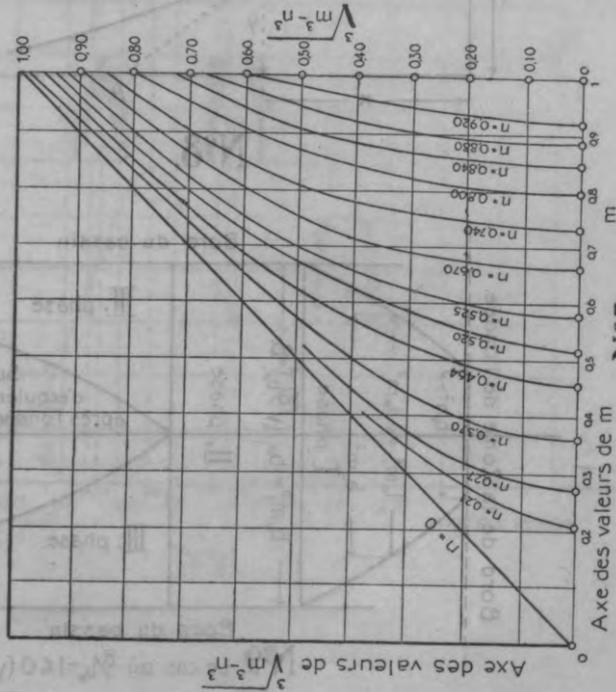
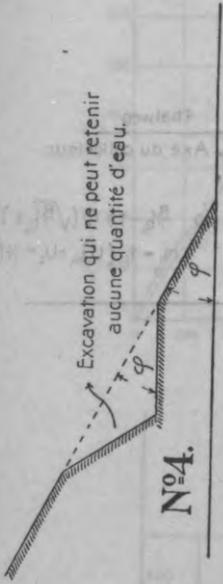
TABLEAU III. Max Q calculé d'après les formules de l'auteur pour des Dolgintsewo-Volnovakha). Les données géométriques et ombrométriques

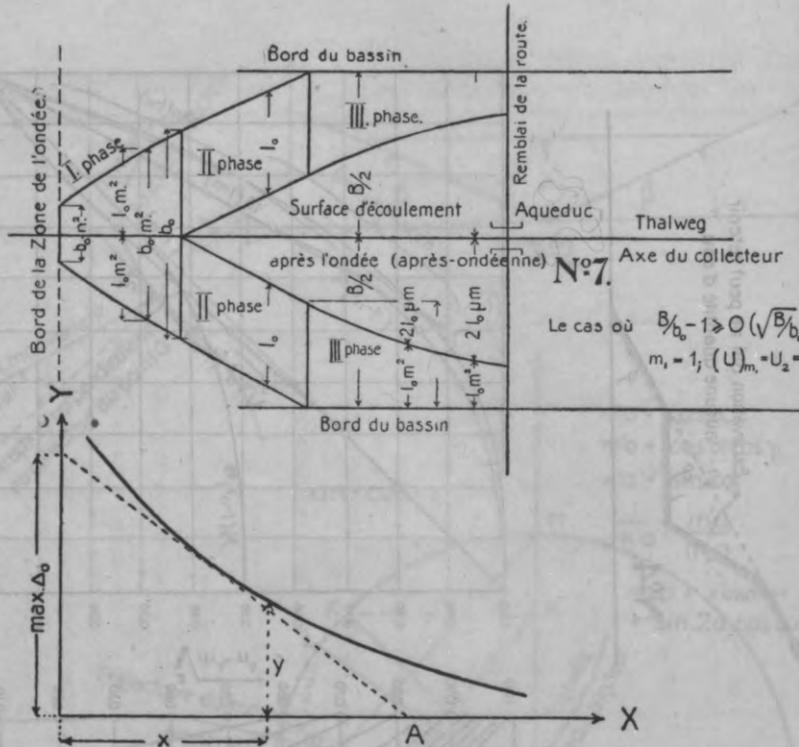
| N° d'ordre | Numérotage des versets |      | L'inclinaison du thalweg i ‰ |       | L'inclinaison des versants α ‰ |      | La longueur du bassin et la largeur moyenne B' de celui-ci (klmtr.) |       | B = 1,50* B' (klmtr.) et la surface du bassin Q (klmtr.²) |      | $\sqrt{\alpha}/0$ | $\sqrt{\alpha i}/0$ | $V_0 = \left\{ c_1 \sqrt{i} \sqrt{\sin 2\beta} \sqrt{\frac{1}{32} \frac{D_0^3 b_0}{\beta}} \right\} \frac{120}{\beta} \sqrt{\alpha i} \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}}$ | $L_0 = \frac{1}{2} V_0 \tau_0 (1-\varepsilon) \frac{1000}{\text{mtr.}} \times 1,15 \frac{\text{sec.}}{\text{mtr.}}$ | $b_0 = \frac{c \Delta_0^4 \sqrt{\alpha} \tau_0^2}{8 \cdot 1000} (1-\varepsilon)^2 = 13 \sqrt{\alpha} \text{ klmtr.}$ | $\frac{B}{b_0}$              | $m^2 = 1, \text{ si } \frac{B}{b_0} \geq 1, \text{ et } m^2 = \frac{B}{b_0}, \text{ si } \frac{B}{b_0} < 1$ | $\frac{3}{2} \left( \frac{B}{b_0} - 1 \right)$ | $3 \left( \sqrt{\frac{b_0}{B}} - 1 \right)$ | $(L_2)_{n=1} = \frac{1}{2} L_0 m^2 (3U)^{4/3}$ | $(L_1 + L_2)_{n=0,50} = \frac{1}{2} L_0 m^2 (0,90 + 3U)^{4/3}$ | $(L_0)_{p=0,50} = (L_0)_{p=0,50} \frac{2}{3} L_0 m^2 \left[ (2+3U)^{4/3} - (0,90+3U)^{4/3} \right]$ | $(L_1 + L_2 + L_3)_{p=0,50} = L_1 + L_2 + (L_3)_{p=0,50} + (L_3)_{p=0,50}^2$ |
|------------|------------------------|------|------------------------------|-------|--------------------------------|------|---|-------|---|------|-------------------|---------------------|--|---|--|------------------------------|---|--|---|--|--|---|--|
| 1          | 205                    | 179  | 104                          | 100   | 4,16                           | 1,80 | 14  | 15,20 | 1,80  | 2,10 | 1,80              | 1                   | 1  | 0   | 0  | 0                            | 0   | 0  | 0   | 1,17 < L <sub>r</sub> = 3,8                    | 2,32   | 3,50  |  |
| 2          | 8,18                   | 8,33 | 14,46                        | 11,72 | 8,30                           | 3,20 | 15  | 16    | 1,92  | 2,20 | 2,00              | 1,8                 | 1  | 1,20  | -  | 1,4 < L <sub>r</sub> = 3,8   | 3,23 < L <sub>r</sub> = 3,8   | 3,00   | 6,2   | 3,00   | 6,2  |   |  |
| 3          | 30,20                  | 174  | 7,48                         | 22,07 | 13,50                          | 3,60 | 23  | 20    | 2,4   | 2,80 | 3,00              | 1,2                 | 1  | 0,30  | -  | 0,38 < L <sub>r</sub> = 3,8  | 2,13 < L <sub>r</sub> = 3,8   | 3,64   | 5,77  | 3,64   | 5,77   |   |  |
| 4          | 8,18                   | 204  | 179                          | 104   | 4,70                           | 1,50 | 27,13   | 32,70 | 3,80  | 4,40 | 3,50              | 0,43                | 0,43   | -   | 1,60   | 1,77 < L <sub>r</sub> = 3,80 | 1,57 < L <sub>r</sub> = 3,8   | 2,30   | 3,87  | 2,30   | 3,87   |   |  |
| 5          | 8,18                   | 204  | 179                          | 104   | 8,30                           | 3,50 | 20  | 18,30 | 2,20  | 2,50 | 2,60              | 1,34                | 1  | 0,52  | -  | 0,52 < L <sub>r</sub> = 3,8  | 2,3 < L <sub>r</sub> = 3,8  | 3,00   | 5,30  | 3,00   | 5,30   |   |  |
| 6          | 8,18                   | 205  | 179                          | 104   | 9,00                           | 3,00 | 17,4  | 15,17 | 1,90  | 2,20 | 2,25              | 1,33                | 1  | 0,50  | -  | 0,44 < L <sub>r</sub> = 3,8  | 2,0 < L <sub>r</sub> = 3,8  | 2,68   | 4,68  | 2,68   | 4,68   |   |  |

\*) La largeur B contenue dans les formules de l'auteur représente la largeur du bassin d'où se manifeste l'influence des bords du bassin sur le Q. Cette largeur est proche de la largeur la plus grande du bassin qu'on pourrait obtenir par B' × 1,50, les contours du bassin étant supposés paraboliques.  
 \*\*) La méthode est basée sur beaucoup de suppositions arbitraires et est bien critiquée par le professeur Nicolai



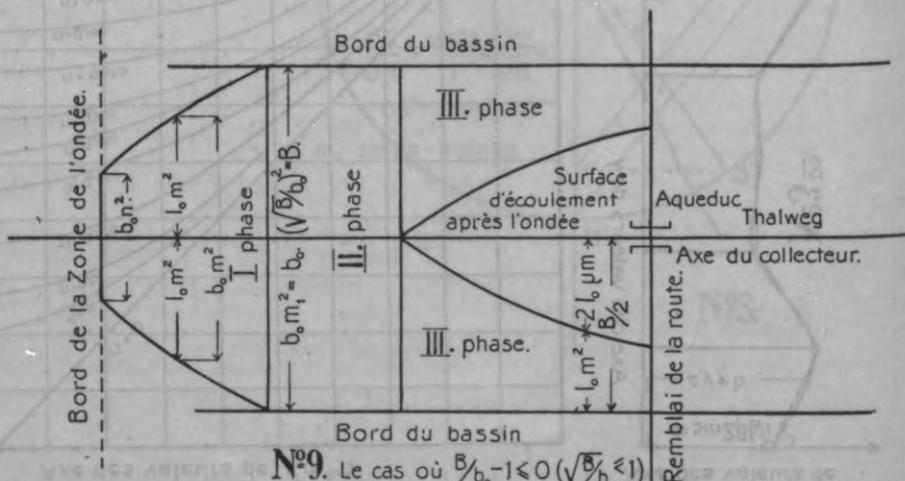




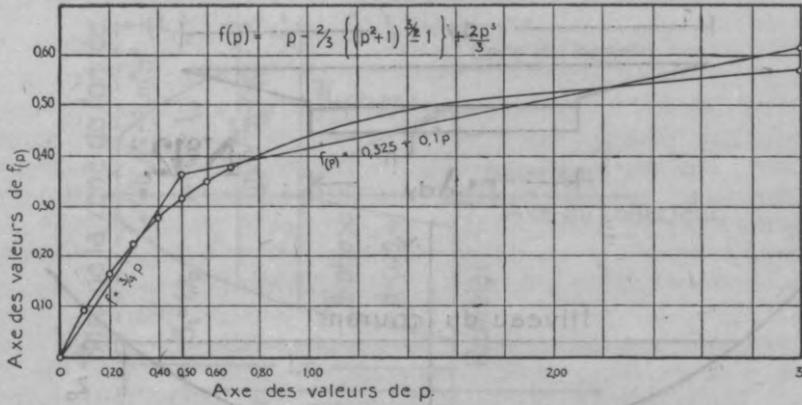


N°7.  
Le cas où  $B/b_0 - 1 \geq 0 (\sqrt{B/b_0} \geq 1)$   
 $m_1 = 1, (U)_{m_1} = U_2 = \frac{1}{2}(B/b_0 - 1)$

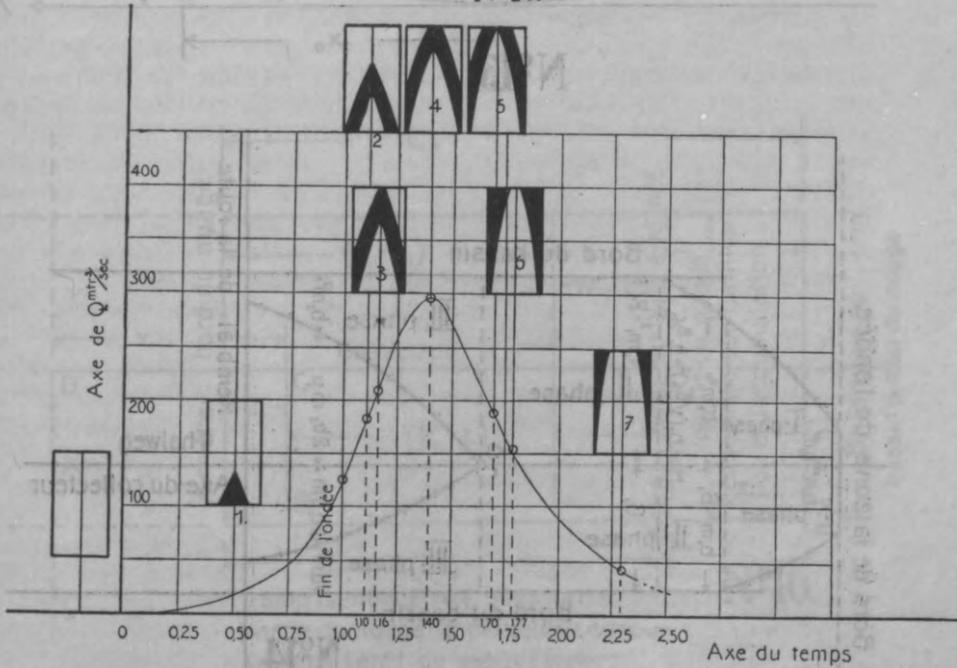
N°8.



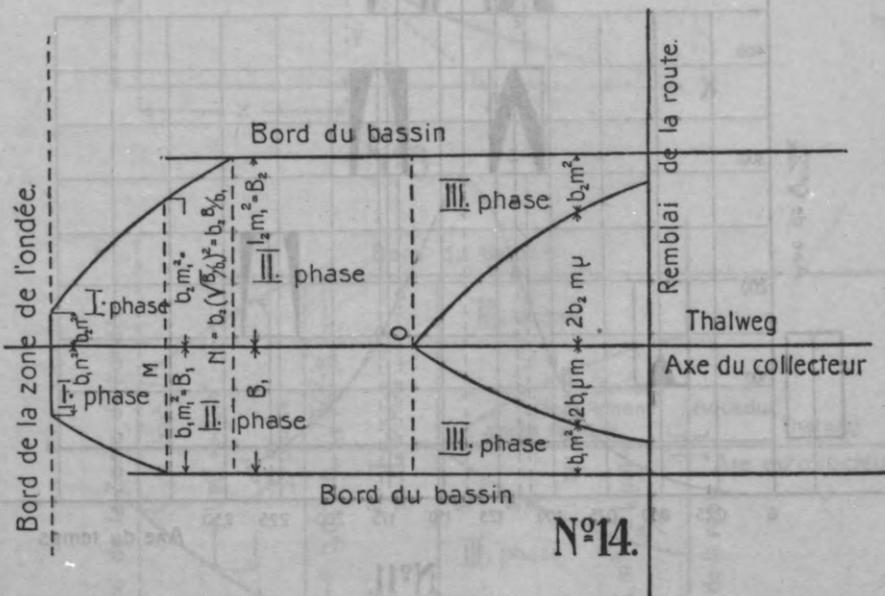
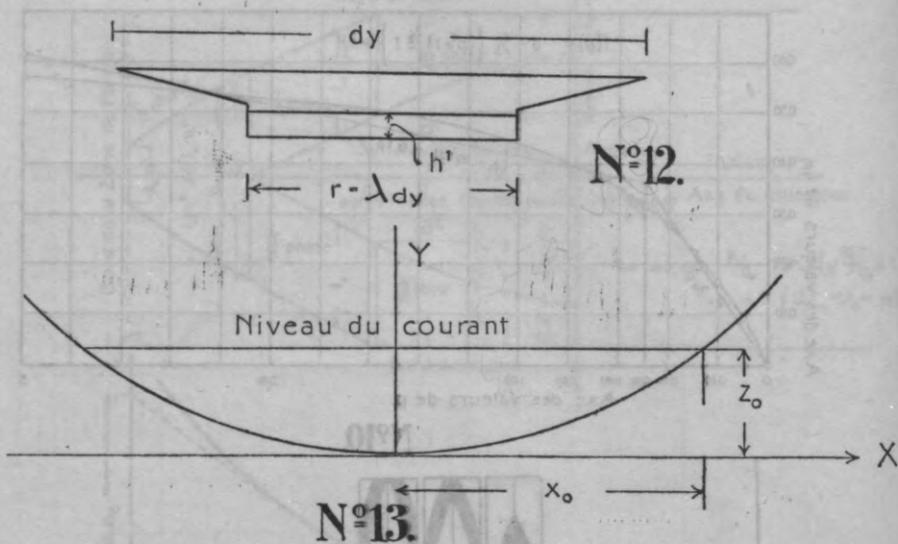
N°9. Le cas où  $B/b_0 - 1 \leq 0 (\sqrt{B/b_0} \leq 1)$   
 $m_1 = \sqrt{B/b_0}; (U)_{m_1 \leq 1} = U_1 = (\sqrt{B/b_0} - 1)$

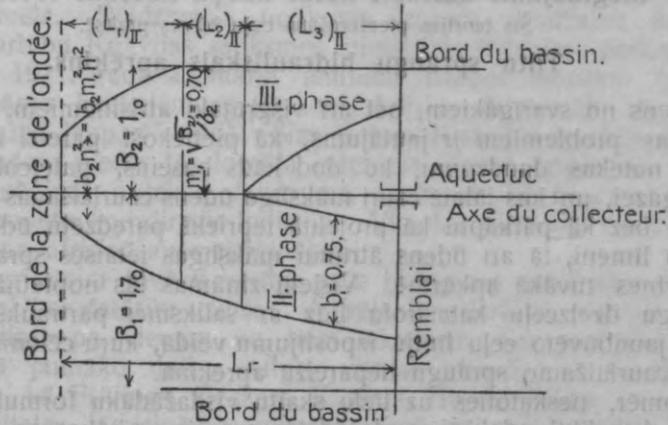


N°10.

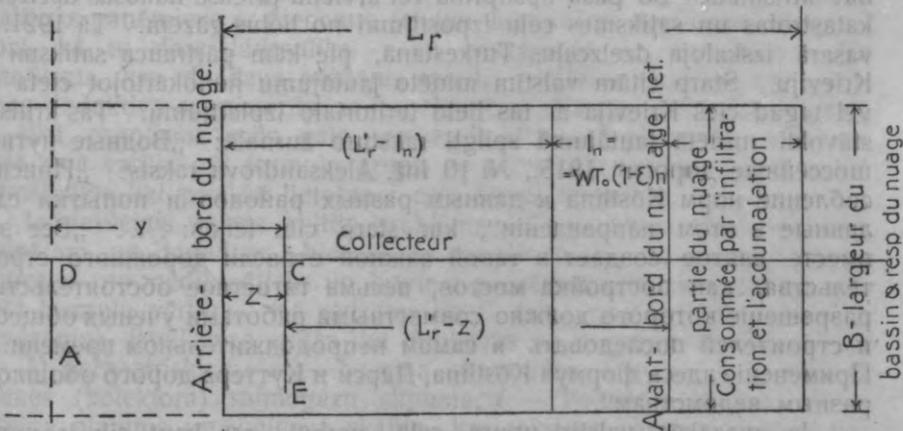


N°11.





**N°15.**



**N°16.**

$L_r = WT_0(1-\epsilon)$  = dimension du nuage net, sous cette partie du nuage la parcelle se trouve dans l'état de mouvement.

## Mēģinājums uzstādīt lietus ūdeņu notekas teoriju.

Šīs teorijas piemērošana ceļu būves praksē.

### Tiltu spraugu hidrauliskais aprēķins.

Viens no svarīgākiem, bet arī visgrūtāki atrisināmiem, ceļu būves tehnikas problemiem ir jautājums, kā pietiekoši pareizi aprēķināt to ūdens notekas daudzumu, ko dod kāds baseins, pateicoties zināmai lietus gāzei, un kas jālaiž cauri mākslīgo ūdens caurlaišanas ietaisei ceļu bērtņē, bez kā pārkāptu kā projektā iepriekš paredzētu ūdens uzstādījuma līmeni, tā arī ūdens ātrumu mākslīgas ietaises spraugās un tās un bērtnes tuvākā apkārtņē. Visiem zināmas tās nopietnās sekas, kā šausmīgu dzelzceļu katastrofu līdz ar satiksmes pārtraukšanu, tā arī veselu jaunbūvēto ceļu līniju izpostījumu veidā, kuŗu cēlonis meklējams ūdens caurlaižamo spraugu nepareizā aprēķinā.

Tomēr, neskatoties uz lielu skaitu visdažādāku formulu un paņēmieni, kas likti priekšā no dažādiem autoriem, sākot no 1868. gada, no pazīstamās Kōstlina formulas publicēšanas dienas Vīnē žurnālā: „Zeitschrift des Ing. und Architekten Vereins“, nemitējas parādīties arvienu jaunas formulas un paņēmieni, kas pierāda, ka problems vēl nav atrisināts. Šo pašu apstiprina vēl arvienu priekšā nākošas dzelzceļa katastrofas un satiksmes ceļu izpostījumi no lietus gāzēm. Tā 1921. g. vasarā izskaloja dzelzceļus Turkestanā, pie kam pārtrauca satiksmi ar Krieviju. Starp citām valstīm minēto jautājumu nenokārtojot cieta un vēl tagad cieš Krievija ar tās lielo teritorialo izplatījumu. Tās kritisko stāvokli minētā jautājumā spilgti raksturo žurnālā: „Водные пути и шоссейные дороги“ 1915., № 10 inž. Aleksandrova raksts: „Приспособление норм Кōстлина к данным разных районов и попытки сделанные в этом направлении“, kur starp citu teikts: . . . „Все это вместе взятое создает в такой важной отрасли дорожного строительства, как постройка мостов, весьма тягостное обстоятельство, разрешение которого должно совместными работами ученых обществ и строителей последовать в самом непродолжительном времени. . . Применение здесь формул Кōстлина, Дарси и Куттера дорого обошлось разным ведомствам“ . . .

Ja mazākās valstīs upuŗu ceļā, varbūt, arī kaut cik ir nonākušas līdz kādām normām (kuŗas tomēr nenodrošina pret pretējo ekstrēmi — varbūtību piešķirt ietaisei par daudz lielu un tādēļ sadārdzinātu spraugu), tad lielākās valstīs tas nav iespējams. Ka taisni upuŗu ceļš bija tas, kas virzīja minēto jautājumu uz priekšu, — to pierāda Krievijas piemērs. Pirmo mājienu deva tā saucamā šausmīgā

Kukuļevas katastrofa, otro — katastrofa 1900. gadā uz Čaļkovas-Balašovas dzelzceļa. Beidzamais notikums izsauca drudzainu formulas pārbūves darbību Krievijas satiksmes ministrijas inženieru padomē, kas beidzās ar 1911. gada 2. marta lēmumu izlabot Kōstlina formulu, ievēdot zināmo koeficientu  $\beta$  (šī koef. kritiku sk. zemāk min. prof. Dubelira darbā lapp. 45—46). Šim pašam Krievijas minētās iestādes darba periodam pieder tās locekļa inženiera Ripasa oriģinālais priekšlikums — mēģināt notekas daudzumu aprēķināt kā baseina virsmas smaguma punktu koordinātu funkciju. Viss tas pierāda, cik vispusīgi bija problema atrisināšanas mēģinājumi.

Ja piegriezīsim tuvāku vērtību paša jautājuma atrisināšanas paņēmieniem, tad konstatēsim sekošo: Ar vēlākiem darbiem maz pa mazam formulā ietilpst pa vienam no tiem faktoriem, kas parādību patiesi pavada. Tā jaunāko darbu autori, vismaz attiecībā uz kanalizācijas jautājumiem, kā Frūlings, Heckars, Kaysers, Heyds, Vilani un citi, bez lietus intensitātes, jau zināmās robežās operē ar lietus ilgumu  $t$ , atmezdami tomēr vēl daudz citu faktoru apskatīšanu.

Šis pats apstākļi pierāda jautājuma tālāko apstrādāšanas ceļu. Jārada paņēmieni, kas līdz galam izsmel visus lietus ūdens notecēšanas parādību pavadošos apstākļus. Šis ceļš ir vairāk vai mazāk rafinēts analītisks paņēmieni ar pieņemto shēmu labojošiem koeficientiem, gluži tāpat, kā to dara hidraulika — un neskatoties uz parādības ārējo chaotismu, kas daudzus pētītājus spiedis izteikties atraidoši par parādības deduktīvo apgaismošanas iespējamību. Kā pārliecināsimies vēlāk, šis itkā chaotisms galu galā neievērojami traucē pieņemtās shēmas. Šādā ceļā varēja gūt formulu grupu ar universālu nozīmi, kuŗas autors iedrošinājās likt priekšā lietošanai ceļu būves teknikā.

Iepriekšējais raksts veltīts problema pakāpeniskam atrisinājumam, dibinātā uz tagadnes hidraulikas panākumiem un iekarojumiem, atturoties no nedibinātiem un brīviem pieņēmumiem, kas varētu mazināt formulu vērtību. Kā redzams no II. tab.,  $max Q$  (lielāko notekas daudzumu) izteiksmes gūtas kā funkcijas no 4 grupu koeficientiem:

1) ģeometriskiem:  $\alpha$  — baseina sānrogāzu kritiena,  $\beta$  — strāvas gultnes (kolektora) sānrogāzu slīpuma,  $i$  — kolektora kritiena,  $B$  — baseina platuma un, beidzot, skaitļa, kas raksturo baseina virsmas nelīdzenību (to iedobumu virsmu attiecību pret notekas virsmu, kas līdz lietus beigām nav piepildīti ar ūdeni); 2) hidrauliskiem: ātruma koeficienta  $c$  — nogāzes notekai, tādu pat  $c_1$  — notekai pa kolektoru; 3) fiziskiem:  $\varepsilon$ , kas raksturo baseina virsmas akumulācijas spējas un 4) ombrometriskiem:  $\Delta_0$  — lietus intensitātes,  $t$  — lietus ilguma,  $L_r$  — lietus joslas

platuma,  $\delta$  — lietus mākoņa virziena azimuta. Šāds faktoru pilnīgums nodrošina autora formulu vērtību, ko arī pierāda III. tabele, kur pievesti salīdzinoši rezultāti, gūti pēc dažādām, tai starpā arī autora formulām. Kā redzams, autora formulu vērtība ir neapšaubāma.

Pareizai aprēķinu nodrošināšanai sevišķi liela nozīme. No vienas puses, mazināsies satiksmes katastrofu iespējamība, saistīta ar cilvēku dzīvību un lieliem materiāliem upuriem. Ja šie upuri pieder varbūtējiem, tad, no otras puses, pārspīlēta spraugas lieluma piešķiršana ietaisei pašā sākumā sadārdzina ceļa būvi. Nav grūti aprēķināt, kādu sadārdzinājumu izsauc 4 reizes lielāka sprauga nekā to apstākļi prasa, kā tas nāk priekšā, lietojot vecas empiriskas formulas (sk. III. tab.).

Tāda būtu iepriekšēju darba praktiska nozīme. Kas attiecas uz teoretisko pusi, tad ar minēto darbu aizkarts hidraulikā vēl maz apskatītais kustības veids, kas franču specialā literatūrā nosaukts par „mouvement des eaux non permanent graduellement varie“ jeb „mouvement lentement variable“ (saskaņā ar Bussinesku), vāciski: mit der Zeit veränderliche Bewegung, krieviski: неустановившееся движение. Šīs kustības pazīmes ir tās, ka hidrauliski elementi ( $Q$  un  $v$ ) mainās netikai sekojot pilienam gar tā trajektoriju, bet tie mainās arī vienā un tai pat šķērgriezumā attiecībā no laika. Tās matematisks simbols ir:  $v = f(x; t)$ ,  $Q = F(x; t)$ . Zināms, atrisinājumu varēja tikai gūt apromatīvā ceļā ignorējot masas inercijas spēkus, kas attīstās nevienmērīgā kustībā, bet kuŗu iespaids, salīdzinot ar gultnes pretestības spēkiem, niecīgs un kuŗus praktiskā hidraulikā pa lielākai daļai ignorē.

Nobeidzot šo īso pārskatu par iepriekšējo darbu jāmin, ka temats apstrādāts plašāki, nekā to rāda virsraksts. Tā, piemēram, aizkarts arī jautājums par sniega nokušņa ūdeņiem, par plūdudeņu likumu pamatiem (§ XXV), kuŗus nav grūti apskatīt ar izvestās teorijas palīdzību; bet lai ar vairāk vispārīgu nosaukumu neaptumšotu tematu, atstāts tagadējais virsraksts.

## QUEL MAXIMUM DE POPULATION NOTRE TERRE EST-ELLE EN ÉTAT D'ALIMENTER?

PAR LE PROFESSEUR C. BALLOD.

Depuis le temps de Thomas Robert Malthus, le problème de population a vivement occupé tous les économistes et les hommes politiques. Auparavant, les hommes politiques émettaient l'avis qu'il faut tout tenter pour amener un rapide accroissement de la population, vu que celle-ci constitue la principale richesse de chaque État; aussi, l'émoi fut-il général, lors de la publication, en 1798, de l'oeuvre de Malthus sur l'accroissement rapide de la population qui avait commencé à se faire sentir, en Europe, surtout dans la seconde moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle. Malthus craignait que les peuples civilisés ne courussent au devant de dangers terribles: la famine, la misère, la peste et les luttes sanglantes, une lutte de tous contre tous. Les guerres napoléoniennes arrêtaient, temporairement, l'accroissement de la population des peuples de l'Europe, mais avec l'ère de paix, commencée en 1815, un prompt accroissement de la population se produisit de nouveau. Or, simultanément avec cette tendance d'accroissement, une tendance optimiste, qui prit bientôt le dessus, se fit jour chez les économistes. L'Américain Carey, surtout, se moqua des avertissements de Malthus et attira l'attention sur les vastes superficies encore non peuplées de l'Amérique; il assurait, comme bien d'autres, que la vallée de l'Orénoque à elle seule suffirait à nourrir toute la population de la Terre et que, dans d'autres parties de notre globe, il existait d'immenses espaces dépeuplés. Cependant, déjà dans le premier tiers du XIX<sup>ème</sup> siècle, on fut bien obligé de remarquer que, dans certains états européens ayant une population très dense, notamment en Angleterre et aux Pays-Bas, non seulement la production agricole de ces pays n'était pas suffisante pour alimenter la population, mais qu'une importation considérable de denrées alimentaires était nécessaire; on se flattait, néanmoins, de l'espoir qu'il y aurait toujours assez de contrées en état d'approvisionner le futur entrepôt mondial, l'Angleterre, de même que toute l'Europe occidentale. En même temps, on fondait de grandes espérances sur

les progrès de l'agriculture qui, en Angleterre, avaient commencé au XVIII<sup>ème</sup> siècle et grâce auxquels on put nourrir toute la population, bien que celle-ci se fut accrue pendant les années 1750—1790, de 5 à 9 millions. Ce n'est que plus tard, à partir de 1792, que commença l'importation du froment qui cependant, vers 1820 ne s'élevait qu'à quelques centaines de milliers de tonnes. Il serait facile de calculer, qu'à égale intensité agricole que celle de l'Angleterre, les deux grands pays de l'Europe centrale avec population la plus dense, la France et l'Allemagne, même avec une population double de celle du recensement de 1800 (c'est à dire 40 et 45 millions au lieu de 21 et 22 millions) pourraient, indépendamment, suffire à leur alimentation. Le fait est que l'importation des céréales dans les Etats sous-nommés commença bien avant que le chiffre de population indiqué plus haut fût atteint; en France, vers 1850; en Allemagne, l'importation du seigle commença en 1858, celle du froment en 1873, lorsque sa population atteignit 41 millions d'âmes. Cependant, l'excédent d'importation des céréales en Allemagne et en France joue, comparativement aux productions agricoles de ces pays, un rôle peu considérable; vers 1860, il formait à peine 3—5% de leur propre production. Quant à l'Angleterre, elle importa, en 1860, près de 3 millions de tonnes de blé, à peu près 25—30% de la totalité de sa consommation. Pendant les années précédant la guerre mondiale, la production du blé, en Angleterre, tomba à 5 millions de tonnes, tandis qu'on y importa de l'étranger 10 millions de tonnes de toutes sortes de céréales, tourteaux et résidus. Pendant la guerre mondiale, l'Angleterre vit la production de son blé augmenter d'un tiers, grâce au défrichement de pâturages, mais sitôt la guerre finie, les fermiers anglais se détournèrent derechef de la culture, peu lucrative, des céréales. En Allemagne, la production du blé atteignit 25 millions de tonnes (non compris les semences); cependant, elle eut recours à l'importation de différentes céréales, de graines oléagineuses et de tourteaux, pour une quantité égale à celle de l'Angleterre, soit 10 millions de tonnes. L'importation des oeufs, en Angleterre et en Allemagne, se fit sur une large échelle; on importa en Angleterre pour 250 et en Allemagne pour 200 millions de francs d'oeufs, pour la production desquels, les pays exportateurs eurent besoin d'au moins 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> million de tonnes de blé. L'importation du beurre, en Angleterre, s'éleva jusqu'à 300 millions de kilogrammes, en Allemagne 60 millions de kilogrammes. L'Angleterre importa différentes sortes de viande pour 1250 millions de francs, soit, au minimum, 1 milliard de kilogrammes de viande, pour la production de laquelle le quintuplé de céréales

fut nécessaire. Près de 55<sup>0</sup>/<sub>0</sub> de la viande consommée en Angleterre provenait de sa propre production et 45<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, de l'importation. Une production si élevée n'a été possible, en Angleterre, que grâce à une importation de 4—5 millions de tonnes de céréales destinées à la nourriture des bestiaux. On peut donc en tirer la conclusion, que la production agricole de l'Angleterre suffisait à peine à l'alimentation d'un tiers de sa population de 46 millions, c'est à dire, que l'Angleterre, y compris l'Irlande, n'était en état de nourrir qu'une population égale à celle qu'elle avait il y a cent ans — que non seulement le bien-être, mais la vie elle-même de ses habitants dépendait, pour les <sup>2</sup>/<sub>3</sub>, de l'importation. Voilà pourquoi la guerre sous-marine, déclarée par les Allemands a, en effet, pendant un certain temps, menacé l'Angleterre de sa ruine. Il en est de même de la Belgique et de la Hollande: avec une importation de 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> et 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> millions de tonnes de céréales, à peu près les <sup>2</sup>/<sub>3</sub> de la population de ces pays était alimentée par cette importation. Avant la guerre, à peu près <sup>1</sup>/<sub>4</sub> de la population de l'Allemagne se nourrissait de produits importés: pain, viande, oeufs, graisse etc. Il est vrai, qu'en France, l'importation des produits alimentaires ne jouait pas un rôle aussi important: avec une importation de 2—2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> millions de tonnes de céréales et ses propres produits s'élevant à 15—16 millions de tonnes (non compris les semences), l'importation n'était guère que la <sup>1</sup>/<sub>6</sub><sup>ième</sup>, voire même la <sup>1</sup>/<sub>8</sub><sup>ième</sup> partie de sa consommation. L'Italie, également, importait avant la guerre de 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>—2 millions de tonnes de céréales — soit 15—20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> de sa propre récolte. L'Espagne, le Portugal, la Grèce, appartenaient aussi aux pays qui importaient, mais ensemble, leur importation, ne dépassait pas un million de tonnes de froment, soit un <sup>1</sup>/<sub>10</sub> de leur propre production. La Suisse, à cause de sa nature montagnaise, importait <sup>2</sup>/<sub>8</sub>—<sup>3</sup>/<sub>4</sub> du blé qui lui était indispensable, soit <sup>3</sup>/<sub>4</sub>—1 million de tonnes. La Suède et la Norvège n'importaient, conjointement, pas moins d'un million de tonnes de céréales; en Suède, le <sup>1</sup>/<sub>4</sub> et en Norvège les <sup>9</sup>/<sub>10</sub> de la population vivaient de la production étrangère. Le Danemark importait également 1—1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> million de tonnes de céréales et de trouilles, non pour sa propre consommation, mais pour l'exploitation de son économie rurale — nourriture du bétail à cornes et des cochons, en vue d'exportation de beurre, de porc, de graisse, etc. etc. Avant la guerre, les pays de l'Europe occidentale, septentrionale, centrale et méridionale importaient ensemble, à peu près 30 millions de tonnes de céréales et autres produits alimentaires, lesquels, pour leur production n'exigeaient pas moins de 10—12 millions de tonnes de céréales. D'où ont donc été prises ces denrées

alimentaires qui ont servi à la nourriture de 100 millions d'âmes? Il est certain que, sans cette importation, dans l'Europe occidentale, l'excédent de 100 millions de population n'aurait pu vivre — du moins n'aurait pu subsister avec le „Standard of life“ actuel, si élevé, comparativement à celui des temps antérieurs. Ce qui est indéniable, c'est qu'au XIX<sup>ième</sup> siècle, la consommation de la viande en Angleterre, en France et en Allemagne a doublé: en Allemagne elle est montée de 20 à 50 kilogrammes par habitant; en Angleterre jusqu'à 54 et 55 kilos; en France jusqu'à 40 kilos. Une telle augmentation de consommation exigeait, nécessairement, un surcroît de production des céréales de 100 à 150 kilos par habitant c'est à dire que la récolte devait être d'un tiers, voire même de la moitié plus abondante. En d'autres termes: si, vers 1910, le „Standard of life“ avait été au même niveau que cent ans auparavant, l'Europe aurait pu se passer d'importer des produits alimentaires. Aussi, le reproche d'„absurde multiplication“ de la population, reproche fait à l'Europe par quelques savants entre autres par Jules Wolf, n'est pas complètement plausible. Il l'est d'autant moins, vu que certains pays de l'Europe n'ont importé ni blé ni denrées alimentaires — l'Europe orientale en faisait l'exportation. La Hongrie, même, était un pays qui exportait; il est vrai que son exportation couvrait à peine les besoins d'importation de céréales et autres produits alimentaires dans l'Autriche occidentale. Mais la Roumanie fournissait, annuellement, un excédent net de 2—2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> millions de tonnes de blé, la Bulgarie —<sup>1</sup>/<sub>2</sub> million de tonnes, la Serbie —<sup>1</sup>/<sub>3</sub> de million de tonnes; ce dernier pays exportait en outre une grande quantité de porcs. Pendant les dernières années qui précédèrent la guerre mondiale, la Russie fournit de 12 à 14 millions de tonnes de céréales, de son, de résidus et de graines oléagineuses, sans compter 80 millions de kilos de beurre et le double d'œufs. On peut donc assurer, que la moitié de l'insuffisance de la récolte dans l'Europe occidentale de même que près de la moitié de l'insuffisance des autres produits alimentaires fut fournie par l'Europe elle-même ou plutôt par l'Europe orientale et que l'insuffisance des produits alimentaires pour toute l'Europe en formait à peu près la <sup>1</sup>/<sub>10</sub> partie, c'est à dire que sur les 480 millions d'habitants de l'Europe entière, 50 millions vivaient de produits importés.

Cependant cet excédent de population nous oblige à réfléchir. Est-il permis, en conscience, de recommander une multiplication ultérieure de la population? Quelques années avant la guerre mondiale, les statisticiens et les économistes furent saisis de terreur,

non à cause du surcroît de la population ainsi qu'on le fut lors de l'apparition de l'oeuvre de Malthus, mais au contraire, à cause du décroissement de la natalité. C'est qu'en effet, en France, le nombre des naissances au commencement du XXI<sup>ème</sup> siècle est inférieur à celui du commencement du XIX<sup>ème</sup>. Les premiers temps après la Restauration, on enregistrait, en France, plus d'un million de naissances, tandis qu'au commencement du XXI<sup>ème</sup> siècle, elles montaient à peine à  $\frac{3}{4}$  de million. Déjà, à partir de 1870, on entend des plaintes, au sujet de l'arrêt de la croissance de la population et même, dans certains départements, de son extinction, par suite des mariages sans enfants ou de ceux avec un seul ou deux enfants. On assurait que les colonies étaient inutiles à la France puisque sa population s'éteignait. La diminution des naissances en France inspirait encore aux économistes français des craintes pour une autre cause: l'affaiblissement de la puissance militaire, par suite du manque de recrues. La France, dont la population égalait encore, en 1870, celle de l'Allemagne, ne pouvait plus fournir annuellement, dans les années 1910—1914, que de 300 à 320 mille conscrits, tandis que l'Allemagne était en état d'en procurer de 650 à 700 mille (voire même 750 mille pendant la durée de la guerre mondiale). Même de nos jours, l'Allemagne amoindrie peut donner de 650—680 mille recrues; la France, malgré l'acquisition de l'Alsace-Lorraine, peut à peine en fournir la moitié. Conjointement avec la Belgique, la France peut à peine donner 400 mille recrues. L'excédent de forces vitales fut, pendant la guerre, un des facteurs de la puissance de l'Allemagne. Cette dernière, à elle seule, pouvait mettre sur pied, autant que la France, l'Angleterre et la Belgique réunies, des jeunes gens de 18 à 25 ans capables des entreprises les plus téméraires et propres à la formation de troupes d'élite. Aussi, comprendra-t-on pourquoi, seule, l'intervention de l'Amérique avec ses troupes fraîches a pu faire pencher la balance en faveur de l'Entente.

La crainte de l'insuffisance des naissances s'empara également des statisticiens de tous les pays de l'Europe à l'exception de ceux de l'Europe orientale. On constata qu'en Angleterre, en Allemagne, en Autriche et en Italie, le chiffre absolu des naissances avait atteint son point culminant vers 1900 et que depuis cette époque, il était resté stationnaire ou même avait commencé, un peu, à tomber. L'accroissement de la population continuait à cause de la diminution de la mortalité, mais il était évident que, le nombre des naissances ayant cessé de croître, avant peu, approximativement dans 30 ou 40 ans, l'accroissement de la population devrait s'arrêter et faire place à un état sta-

tionnaire de la population, puis commencer à décliner, comme en France. Quant à l'Allemagne, celui qui écrit ces lignes a, vers 1912, calculé que la population de ce dernier pays pouvait encore augmenter jusqu'en 1950 ou 1960 et monter de 66 millions à 85 ou 90 millions d'habitants puis, probablement, resterait à l'état stationnaire.

On peut se demander pourquoi les statisticiens et les économistes commencèrent-ils à avoir des craintes par suite d'arrêt de l'accroissement de la population, quand il était déjà prouvé que la dixième partie des habitants de l'Europe se nourrissait de produits importés et pourquoi, au contraire, n'ont-ils pas vu dans un tel état de choses le gage d'une relation raisonnable entre la population et la procréation des enfants? Puisque la production des vivres dans les vieux pays civilisés est restée en arrière par rapport à l'accroissement de la population, il est évident que la loi de Malthus reste dans toute sa vigueur, loi, suivant laquelle la population s'accroît dans la proportion géométrique (1:2:4:8) et les produits alimentaires dans la proportion arithmétique (1:2:3:4). Il faut chercher l'explication de cet état de choses dans deux conjonctures: d'une côté, le renforcement du militarisme, de l'autre, un optimisme serein au sujet de l'importance croissante de l'économie mondiale et de l'échange de la production de tous les pays contre leurs produits. Au point de vue militaire, dans ces dernières années, les écrivains militaires sont de l'avis de Napoléon: „le bon Dieu est toujours avec les grands bataillons“. Voilà pourquoi l'accroissement de la population était désirable; l'état stationnaire ou le décroissement de la population devenait un malheur. Il est de notoriété que tandis que les forces françaises s'accroissent d'un bataillon, celles de l'Allemagne augmentent d'une division, et celles de la Russie, d'un corps d'armée entier.

Au sujet de l'accroissement de la production des denrées alimentaires, des opinions très optimistes furent émises par les économistes et les agronomes de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Ainsi, le professeur Boehmert met en opposition, à celle de Malthus, la soi-disant magnifique loi économique, que la production des denrées alimentaires croît plus vite que l'augmentation de la population. Le professeur Max Delbrück, l'un des agronomes allemands les plus connus, affirme que pendant le XIX<sup>ème</sup> siècle, la production des denrées alimentaires, en Allemagne, a quadruplé tandis que la population n'a que triplé, ce qui est un rapport contraire à la loi de Malthus. Après de minutieuses vérifications des données de Delbrück, il s'ensuit que seule, la production des fruits à racines a quadruplé; celle du blé, au plus, n'a que triplé. L'import-

tant, c'est que l'augmentation de la production, en Allemagne, n'a pas diminué par rapport à l'accroissement de la population, et ce n'est que par suite de la hausse excessive du „Standard of life“ et de l'augmentation de la consommation de la viande que l'Allemagne se vit obligée d'importer le quart des denrées alimentaires consommées par elle. En France, pendant les années 1820—1829, la production du froment, du seigle et de l'orge s'éleva à 113 $\frac{1}{2}$  millions d'hectolitres et, si on en défalque les semences, à 94 millions d'hectolitres. De 1901—1905, cette production monta jusqu'à 151 millions d'hectolitres ou, après déduction des semences, à 134 millions d'hectolitres.

Donc, de 1820—1829, la France, avec une population de 31 millions d'âmes produisait 3 hectolitres de céréales alimentaires pour chaque habitant et de 1901—1905, avec une population de 39 millions, elle en produisait 3,44 par habitant. Cependant, pendant les années 1820—1829, La France n'importa presque pas de céréales tandis que, pendant la période de 1901—1905, elle en importa 1 $\frac{1}{2}$  million de tonnes, soit  $\frac{1}{2}$  hectolitre par habitant. Ainsi, en France, l'accroissement de la population est effectivement demeuré en arrière par rapport à l'augmentation de la production et, l'importation considérable de blé ne peut s'expliquer que par l'accroissement de la prospérité du peuple français. Donc, la statistique des récoltes, parle en faveur de l'optimisme et contre (les théories de) Malthus. Mais cela ne concerne que l'Europe occidentale. Tout autre est l'état des choses dans l'Europe orientale. Tous les économistes russes assurent que le bas peuple s'appauvrit. Ce jugement semble être infirmé par le fait que l'exportation du blé russe qui, au moment de l'émancipation des serfs, était de 1—1 $\frac{1}{2}$  million de tonnes, s'éleva, dans la suite, jusqu'à 12 millions de tonnes. Mais, comme nous l'indiquent les économistes russes sérieux, cela ne signifiait pas une augmentation d'abondance de blé ou de récolte, mais c'était le résultat de ce que le paysan russe était tellement surchargé d'impôts qu'il se voyait obligé de vendre une partie du blé qui était nécessaire à son alimentation, et qu'il souffrait chroniquement de la faim. Comme on le voit, les faits du développement économique au XIX<sup>ème</sup> siècle parlent en faveur et contre les théories de Malthus.

Quant à l'optimisme des vues, concernant la possibilité d'approvisionner les peuples de l'Europe avec les produits des autres parties de notre globe, la guerre mondiale a clairement démontré sur quelle base vacillante était fondé un tel optimisme. La population des pays du centre de l'Europe, l'Allemagne et l'Autriche, eut passablement à

souffrir par suite de ce que leurs gouvernements non seulement n'avaient pas pensé à la possibilité, pour leurs adversaires, d'empêcher l'importation du blé dans ces pays, mais encore à ce qu'une partie considérable des récoltes était due à l'emploi d'engrais phosphatés, tirés de l'Amérique et de l'Algérie, impossibles à se procurer pendant la guerre, et de salpêtre du Chili. Avant la guerre, l'Allemagne importait 900.000 tonnes de phosphorites et autant de salpêtre du Chili, indispensables à la croissance de 4 millions de tonnes de céréales. Il convient de dire que l'Allemagne, pendant la guerre, porta sa production annuelle d'ammoniaque artificielle et d'azote calcaire à 2.200.000 tonnes. Mais la presque totalité des combinaisons azotées fut employée à la préparation des explosifs, et il ne resta, pour les besoins de l'économie rurale, que le tiers de la quantité d'azotates qu'elle employait avant la guerre. Le manque de chevaux (presque le tiers des meilleurs chevaux avaient été réquisitionnés pour la guerre) entravait la culture convenable du sol. Aussi, la récolte en Allemagne et en Autriche fut-elle inférieure de 60% à celle de l'avant guerre, la nourriture des masses tomba jusqu'à 40 ou 45% du chiffre antérieur et la ration de viande réduite à 20%! Les puissances du centre n'ont pas été seules éprouvées, mais la France dut également supporter tout le poids de la diminution de sa production agricole, causée par le manque de bras, de chevaux et d'engrais chimiques artificiels; sa récolte fut réduite de 60 à 70% de sa production d'avant-guerre et on peut en dire presque autant de l'Italie. Même les masses surabondantes de blé russe furent bientôt reconnues imaginaires; l'énorme armée de 10 millions d'hommes exigea tout „le surplus“, et mangea la plus grande partie du bétail russe, de telle sorte que, vers la fin de la guerre, la Russie se trouvait face à face avec le péril de la famine au lieu de posséder, n'ayant pas été exportée, l'énorme quantité de blé de  $4 \times 12$  soit 48 millions de tonnes!

Pendant la guerre, on comprit partout et surtout en Angleterre, l'importance de l'augmentation de la production des vivres. Mais à peine la guerre fut-elle terminée que l'optimisme, concernant les avantages et la sécurité des transactions commerciales, reprit le dessus. Il a commencé à régner même dans des pays qui, comme l'Allemagne, se voient dans l'obligation de verser à leurs vainqueurs d'énormes sommes de réparations pour les dévastations dont ils ont été les auteurs. Les hommes d'Etat allemands ne pensent aucunement à prendre des mesures en vue d'augmenter les récoltes de leur propre pays, mais il ne font que se plaindre de ce que les dettes de réparations ne leur permettent pas de fournir à la population une quantité suffisante de

blé d'importation. Et en effet, l'Allemagne importa, pendant l'année 1921/1922, à peu près 5 millions de tonnes de blé, soit moins de la moitié de l'importation d'avant-guerre.

On ne peut nier l'importance capitale, pour l'avenir, de la question du danger de la cessation de l'importation des vivres dans les pays européens par suite du manque, dans les pays exportateurs, de produits à exporter. Ce danger peut, pour un certain temps être écarté, mais il ne faut pas en faire fi. L'exemple de la Russie — cessation totale de son exportation, doit nous servir de leçon. Il est hors de doute que le Canada et la République Argentine seront encore longtemps en état d'exporter, mais il ne faut pas perdre de vue que la population de tous les pays „nouvellement constitués“ s'accroît considérablement. La population des Etats-Unis d'Amérique et du Canada a, depuis un siècle, décuplé. Qu'arrivera-t-il si la population de toute l'Amérique du Nord s'accroît encore du décuple et atteint approximativement 1000 ou 1200 millions d'habitants? L'Amérique du Nord sera-t-elle alors encore en état d'exporter du blé?

Il est probable que quelques métropoles, comme par exemple l'Angleterre, continueront leur politique de partage de production, s'efforceront d'obtenir de l'étranger le blé qui leur manque et, en cas de nécessité, le tirer de leurs propres colonies. Malheureusement, ces dernières ne suivent pas toujours, à l'égard de leur métropole, une politique désintéressée et condescendante. La possibilité de réaliser de grands profits en haussant le prix du blé influencera sans doute les habitants des colonies et ce sera au détriment de la population de la mère patrie. On se demande seulement combien de temps durera l'échange des marchandises qui se fait, actuellement, sur une si large échelle? Dans tous les cas, même 200 ans ne représentent, dans l'économie mondiale, qu'un laps de temps assez minime. Autre question importante: quand notre globe sera-t-il surpeuplé? Si on envisage le problème de Malthus au point de vue général, il est évident qu'avec le temps et de la bonne volonté de la part des pays actuellement peu peuplés, le jour arrivera où, pour tout le monde, l'augmentation de la production et la continuation de l'exportation seront devenues impossibles, c'est-à-dire qu'il arrivera un moment où chaque pays se nourrira principalement de son propre blé ou du moins n'aura recours qu'à un échange peu important des marchandises et à l'importation d'une minime partie des vivres. Existera-t-il encore dans les limites des pays, pris séparément, la division des contrées en contrées avec surabondance de blé et contrées obligées d'importer des vivres? Avant la

guerre mondiale, presque toutes les contrées de la Russie à terre non noire (avec une population de 70 millions d'habitants) étaient tributaires de l'importation du blé; au contraire, celles à terre noire (humus) en exportaient. Mais il a suffi du passage à travers la Russie de la tourmente de la guerre mondiale et des guerres civiles pour que le fameux partage du travail croule; les contrées à terre non noire durent se contenter de leur propre blé et une grande partie des habitants des grandes villes les quittèrent à cause de la famine qui y régnait. Pour le moment, du moins, un tel péril ne menace pas les pays orientaux de l'Amérique du Nord, exportateurs de blé. Mais cela ne durera pas toujours. Certes, un gouvernement puissant et prévoyant peut tenir unis même des pays dont les contrées présentent entre elles, quant à leur production, des différences très marquées. Mais il suffirait que la révolution sociale et la guerre civile éclatassent pour y amener de grandes calamités par suite de la distance séparant les contrées productrices de blé de celles qui en sont consommatrices. Aussi, toute politique judicieuse doit-elle faire tout son possible afin qu'il y ait un excédant de population dans certaines contrées, et chercher, autant qu'il est en son pouvoir, à répartir la population près des centres producteurs de blé. En Russie, avant la guerre, la répartition peu naturelle de la population s'expliquait en partie par des raisons historiques. L'industrie était développée dans le Nord où il n'y avait ni blé, ni houille, ni mines de fer. Dans l'Amérique du Nord, l'excès de population de quelques états orientaux appelés „la Nouvelle-Angleterre“ (New-York, Massachusetts et autres), s'explique aussi principalement par des causes historiques. La question la plus brûlante en ce qui concerne l'excès de population est la question des pays surpeuplés, comme l'Angleterre, la Belgique et la Hollande. En Angleterre, quelques branches d'industrie ont bien leur sous-sols naturels, mais l'industrie textile y a surgi pour des causes purement historiques.

Ainsi, il reste la question brûlante: quelle population chaque pays est-il en état de nourrir de sa propre production de produits d'économie rurale et, en général, quel nombre d'habitants la terre ferme entière de notre globe terrestre pourrait-elle alimenter? On sait que la mer ne peut, comparativement, fournir qu'une partie peu importante de nourriture complémentaire-poissons, écrevisses, huîtres,—partie qui dans son ensemble n'égale que la centième partie de la production de la terre ferme. En même temps que la question concernant la densité trop forte ou trop faible des pays pris isolément, un autre problème se pose: la répartition équitable de la terre ferme de notre globe entre les diffé-

rents peuples et les différentes races. Il est difficile de présumer que les nations consentent de plein gré „beati possidentes“ à se partager le monde selon les exigences de la justice et de l'éthique. Presque toutes les guerres ont surgi justement au sujet de la possession non seulement des plus grandes richesses, mais des plus vastes étendues de terrains propres à la culture des produits agricoles.

Nous reviendrons plus tard sur la question de la possibilité d'un partage équitable. Nous nous contenterons, pour le moment, d'examiner la possibilité d'accroissement de production pour chaque pays pris séparément et pour le globe terrestre entier. On ne peut considérer comme épuisée la question concernant le maximum de population d'après le nombre de personnes qui vivent de la propre production du pays. En effet, l'économie agricole, en tant que science, a fait pendant la seconde moitié du siècle dernier d'énormes progrès, et a démontré la possibilité de faire produire non seulement deux, mais trois et même quatre épis là, où auparavant un seul croissait. La vie active n'est pas restée de beaucoup en arrière de la technique et de la science actuelles. En Russie, la récolte moyenne de toutes les céréales n'excédait pas 675 kilogrammes par hectare tandis que grâce à la science moderne nous avons l'entière possibilité, même sans système d'irrigation artificielle et sans fumage au moyen d'engrais chimiques, simplement par une culture améliorée et l'établissement d'un système d'assolement, d'en tirer, du moins en ce qui concerne la „terre noire“, trois fois autant et avec emploi d'engrais artificiels et système d'irrigation, cinq fois plus. La famine qui sévit en Russie ne prouve que l'incapacité criminelle du régime bolchéviste. Ce n'est pas seulement en Russie, mais également en Amérique que l'économie rurale n'a pas encore atteint le niveau possible et désirable; en Amérique, la récolte moyenne du froment n'excède pas 900—1000 kilogrammes par hectare, et seule, la récolte du maïs a atteint 1500 kilogrammes par hectare. Cependant, les Chinois et les Japonais prouvent qu'il est absolument possible, pendant 3 mille ans, de maintenir la récolte des différentes céréales au chiffre de 2000 kilogrammes par hectare, et cela sans engrais artificiels, par l'emploi d'excréments d'hommes, par une culture soignée du sol, par une surveillance scrupuleuse des jeunes plantes et l'éloignement complet des mauvaises herbes. Dans les pays européens, où la culture de l'économie rurale a été le plus améliorée, comme l'Angleterre et l'Allemagne, on est arrivé avant la guerre, à obtenir des récoltes de la dixième et même de la cinquième partie inférieures à celles des Chinois et des Japonais; en France et en Autriche-Hongrie, malgré

l'excellence du sol et leur noble climat, la production a été inférieure, à celle des Chinois, d'un tiers, en Italie, même de la moitié. Avant la guerre, les récoltes de l'Europe entière, malgré l'emploi de 2 millions de tonnes de salpêtre du Chili, d'un million de tonnes d'ammoniaque, de 3—4 millions de tonnes de superphosphates et de 2 millions de tonnes de scories de Thomas, atteignait à peine, comparativement et par hectare, la  $\frac{1}{2}$  des récoltes de la Chine et du Japon. Voilà pourquoi, au point de vue purement scientifique, on ne peut encore ranger l'Europe au nombre des pays surpeuplés. L'importation de céréales et d'autres produits alimentaires ne prouve pas, pour le moment, un manque réel de subsistance, mais le faible développement de l'économie rurale européenne. D'un autre côté, l'importation s'explique par des causes économiques. En Angleterre—pays qui importe le plus—les occupations d'économie rurale sont, présentement, moins lucratives que celles d'industrie ou de commerce. La meilleure preuve de cet état de choses est fournie par le fait que la superficie de l'économie rurale occupée pour la culture du froment a diminué de la moitié depuis 1860. C'est que le prix du blé avait également baissé de la moitié et les propriétaires ruraux trouvèrent, qu'ensuite de la cherté de la main-d'oeuvre, il était plus lucratif de passer à une forme d'économie rurale plus extensive, notamment à l'élevage des bestiaux. L'intensité générale de l'économie rurale anglaise baissa considérablement et l'élevage des bestiaux devint plus extensif. Si l'économie rurale anglaise était au même niveau que celle du Danemark, l'Angleterre pourrait se passer, presque complètement, d'importer du blé! En effet, le Danemark avec une superficie de 41.600 kil. carr. produit annuellement près de  $2\frac{1}{6}$  millions de tonnes de toutes sortes de céréales tandis que l'Angleterre, dont la superficie est  $7\frac{1}{2}$  plus grande n'en produit que 6 millions de tonnes. A intensité égale à celle du Danemark, l'économie rurale anglaise produirait 16 millions de tonnes de blé soit 10 millions de tonnes de plus que ce qu'importe l'Angleterre contemporaine. On ne peut nier, il est vrai, que le tiers ou le quart du surplus du blé produit serait employé à nourrir les chevaux, indispensables à la culture des champs de blé supplémentaires. A degré d'activité égal à celui du Danemark, l'Angleterre pourrait entretenir 20 millions (de têtes) de bêtes à cornes au lieu des 12 millions qu'elle possède, de sorte qu'elle pourrait se passer de l'importation de 300.000 tonnes de beurre et de 150.000 tonnes de fromage. On ne peut passer sous silence le fait que le Danemark, malgré son abondante moisson, importe  $\frac{2}{8}$  de million de tonnes de blé et  $\frac{1}{2}$  million de tonnes de

résidus pour la nourriture des bêtes à cornes et des porcs. Mais ce dernier pays exporte plus de 90 milliers de tonnes de beurre et pas moins de 135.000—150.000 tonnes de viande. Si l'Angleterre avait son économie rurale développée au même degré que celle du Danemark, elle devrait néanmoins importer 7—8 millions de tonnes de blé et de tourteaux, au lieu des 10—11 millions qu'elle importe de nos jours; par contre, elle se passerait d'importation de viande, de beurre, de graisse, d'oeufs et de bestiaux, importation que l'on peut évaluer, actuellement, équivalente à l'importation de 10 millions de tonnes de blé. A même degré de culture agricole que le Danemark, l'Angleterre pourrait nourrir de ses propres produits 80% de ses 46 millions d'habitants au lieu qu'elle n'est capable, maintenant, d'en nourrir que 30%. De plus, l'intensité de l'économie rurale danoise ne représente pas le dernier mot de la science contemporaine. La récolte moyenne du blé au Danemark — 1800 kilogrammes par hectare — n'est pas supérieure à celle de l'Angleterre; la différence consiste en ce qu'au Danemark 1,2 million d'hectares sont ensemencés de blé, tandis qu'en Angleterre, pays  $7\frac{1}{2}$  plus étendu que le Danemark, il n'y a que 3,2 millions d'hectares qui en soient ensemencés!

La science moderne nous offre la possibilité absolue d'obtenir des récoltes deux fois supérieures à celles du Danemark et de l'Angleterre. Les essais faits en Allemagne dans toute une série d'économies rurales intensives, surtout dans les domaines où le  $\frac{1}{8}$  ou le  $\frac{1}{4}$  des terres labourables est ensemencé de betteraves à sucre, ont montré qu'il était possible d'obtenir, par hectare et en moyenne, des récoltes de 3000—3500 kilos de blé, 25.000—30.000 kilos de pommes de terre et de 3000—3500 kilos de betteraves à sucre, et cela non seulement pendant une année, mais pendant toute une série d'années. Il va sans dire que pour avoir de telles récoltes, en outre d'une culture la plus soignée du sol, d'un labourage profond (jusqu'à 37 cm.), de l'extirpation scrupuleuse des mauvaises herbes, du choix des meilleures semences, il est nécessaire d'avoir recours aux engrais artificiels, non seulement aux substances azotées et aux sels de potasse, mais encore à l'acide phosphorique, en quantité excédant la teneur de cet acide dans les récoltes obtenues. L'obtention, en quantité suffisante, d'acide phosphorique présente, pour l'avenir, de grandes difficultés. Jusqu'à présent, les gisements connus de phosphorites et les mines de fer calcaire contenant du phosphore sont en très petit nombre. C'est l'Amérique du Nord qui possède les plus grands gisements de phosphorites; d'après les informations parues ces dernières années,

le fonds total de phosphorites aux Etats-Unis peut être évalué à 10 milliards de tonnes. Les  $\frac{2}{3}$  de ces gisements se trouvent dans l'état d'Idaho d'où il est assez difficile de les transporter. D'après les calculs, encore insuffisamment vérifiés, de quelques géologues russes, la Russie possède un fonds de phosphorites d'à peu près 5 milliards de tonnes. La plus grande partie de ces phosphorites, qui du reste ont une faible teneur en phosphate (15—20%), se trouvent dans le cours moyen du Volga, dans le gouvernement de Kostroma. Il n'y a, pour le moment, d'autres gisements importants, que ceux de l'Algérie et de la Tunisie que l'on évalue à 300—400 millions de tonnes; on connaît encore d'importants gisements de phosphorites dans le désert égyptien, au Maroc, et dans quelques îles de l'Océan Pacifique Naourou et Nakourou; les gisements européens de la France, de la Belgique, de l'Allemagne, sont très peu considérables. Ainsi, pour le moment, contentons nous de compter que notre globe peut nous fournir à peu près 16 milliards de tonnes de phosphorites, quantité qui, avec l'emploi peu considérable qu'on en fait actuellement (4—5 millions de tonnes annuellement) suffira pour plusieurs milliers d'années. Le malheur est que leur emploi actuel correspond à un degré comparativement faible de culture agricole. La Russie, avec une superficie d'ensemencement de 100 millions d'hectares pourrait, à elle seule, exiger 20 millions de phosphorites vu que ses propres gisements ne lui suffiraient que pour 250 ans; par contre, elle serait en état de nourrir une population trois ou quatre fois plus nombreuse que celle d'à présent. L'Amérique épuiserait également son fonds en quelques centaines d'années. Donc, selon toute probabilité, les dépôts terrestres de phosphates seraient épuisés encore plus vite que ceux de charbon de pierre. Jusqu'à présent, on ne connaît pas d'autres fonds importants de sels de potasse que ceux de l'Allemagne. Mais la somme totale de ces sels ne dépasse pas, dans l'Allemagne centrale, 10 milliards de tonnes ce qui, avec la consommation actuelle de 13 millions de tonnes par an, suffirait à peine pour 800 ans. Mais les propriétaires ruraux allemands ont jusqu'ici employé les sels de potasse en quantité tout à fait insuffisante. Le sol sablonneux, prédominant dans l'Allemagne du Nord, a grandement besoin de sels de potasse. Il est vrai que les sols argileux et la terre noire russe, riches en potasse, n'ont pas besoin de sels de potasse, même en cas de récolte abondante. Quant à la culture du coton dans les états méridionaux de l'Amérique du Nord dont le sol est très sablonneux, elle exige beaucoup d'engrais potassés.

Les gisements de sels de potasse dans l'Alsace-Lorraine cédée à la France ne dépassent guère 1 milliard de tonnes, mais leur teneur en potasse est élevée (20%) comparativement aux sels de Stassfurt qui n'en contiennent, au plus, que 12—13%. L'Espagne possède également en Catalogne d'importants gisements de sels de potasse mais ils ne sont pas encore en exploitation et ont été insuffisamment explorés. On connaît encore des dépôts de sels de potasse le long du cours supérieur de la rivière Kama, près de Solvouitchégodska, mais leur teneur en sels est faible.

Nous devons considérer que tant que l'accroissement du genre humain dépendra du degré d'intensité de l'emploi des engrais phosphatés et des sels de potasse, cet accroissement ne peut avoir qu'un caractère transitif, par suite de l'insuffisance de fonds des substances servant à l'engraissement des terres. Aussi, vaut-il mieux ne pas compter du tout sur ces dépôts.

Il en est tout autrement en ce qui concerne l'accroissement des récoltes à l'aide d'engrais azotés. Déjà vers la fin du XIX-ième siècle, le célèbre, savant anglais Crookes, dans des débats sur la possibilité de l'accroissement de la population, comptait comme une question brûlante celle de la création de fabriques d'engrais artificiels azotés. En effet, on évalue les gisements de salpêtre du Chili (contenant 15% d'azote) à 130 millions de tonnes et comme on en utilise annuellement 2½ millions de tonnes, il est facile de compter qu'ils suffiront à peine pour une période de 50 ans. D'après les plus récentes investigations, les gisements chiliens ne sont pas de beaucoup plus importants. Mais en Allemagne, pendant la guerre mondiale, on a pratiquement démontré la possibilité d'obtenir de l'air, de l'ammoniaque et de l'azote calcaire, à très bas prix: le coût de fabrication de l'azote par la méthode Haber-Bosch est trois fois moindre que le prix du salpêtre du Chili; aussi emploie-t-on maintenant en Allemagne l'engrais azoteux le meilleur marché (il coûte la moitié moins que le salpêtre importé du Chili).

Les essais d'économie rurale, faits récemment, ont montré que l'engrais azoteux agit sur les plantes en coup de fouet, les oblige à donner le maximum de production, bien entendu, autant que le permet la teneur en phosphate et en potasse. Il est connu que l'azote peut même remplacer une partie de phosphate.

On doit cependant considérer l'insuffisance de phosphate comme un sérieux obstacle à l'obtention de récoltes donnant le maximum de rendement.

Aussi, pour le calcul de la possibilité d'augmentation du chiffre de la population, nous contenterons - nous de la thèse, qu'avec

une culture rationnelle et des soins minutieux donnés aux plantes on pourra obtenir, en moyenne et par hectare, une récolte de 2000 kilos de graminées et 20.000 kilos de pommes de terre. Il est vrai qu'il ne faut pas songer à obtenir des récoltes pareilles dans les terres sablonneuses sans le secours d'engrais artificiels. Cependant on a généralement la possibilité d'améliorer les terrains sablonneux, car il y a presque partout, soit à une petite distance, soit à une faible profondeur, des dépôts d'argile en quantité suffisante. On peut recouvrir le sable d'une mince couche d'argile de cinq centimètres, laquelle, d'après les expériences faites, rend le sol sablonneux capable de donner de bonnes récoltes, grâce à la potasse et à la chaux contenues dans l'argile, et amérioré mécaniquement la nature du terrain, surtout en ce qui concerne la force d'accaparement de l'eau. Il est également important de protéger les frêles racines des plantes contre les bouts aigus de certains grains de sable. Au point de vue économique, une amélioration de ce genre des terrains sablonneux est tout à fait possible et même avantageuse, pourvu que la distance séparant les terrains des dépôts d'argile ne dépasse pas 15 kilomètres.

Lorsqu'on fait le calcul de la possibilité d'augmentation des cultures agricoles, il est absolument nécessaire de prendre en considération la nature du sol et du climat. Un climat désavantageux sera toujours le principal obstacle à l'extension de la culture des champs. Là où le climat est propice, la nature du sol semble jouer un rôle secondaire; et en effet, comme nous l'avons dit plus haut, on peut améliorer les terrains sablonneux, on peut dessécher les marais et il est même possible de terrasser les collines pierreuses.

Les explosifs, qui en temps de guerre sont les plus terribles ennemis du genre humain, deviennent, lorsqu'on sait convenablement s'en servir, de grands bienfaiteurs. Grâce à eux, on arrive à faire des creux dans les couches et les pentes montagneuses afin d'y planter des arbres. Cependant, nous appellerons l'attention sur le moins d'avantages que présentent les montagnes rocheuses pour n'importe quelle culture agricole compartivement aux terrains marno-argileux.

Quant aux qualités désavantageuses du climat, il est nécessaire de remarquer que jusqu'ici on a comparativement peu fait attention au rôle parfois meurtrier que joue le climat par suite de certaines conditions défavorables à l'homme. Même des géographes et des économistes connus ont commis l'erreur profonde d'assurer que les  $\frac{9}{10}$  à peu près de la terre ferme de notre globe pouvaient convenir à la culture. Ainsi, en 1893 le géographe anglais Ravenstein supposait que presque

toute la terre ferme jusqu'aux zones polaires était habitée et calculait que la terre pourrait nourrir près de six mille millions d'âmes, tandis qu'à cette époque, la population du globe entier n'était, approximativement, que de mille cinq cents millions. En 1897, le baron Fircks, statisticien allemand, évalua la population future de la terre à 9000 millions d'habitants. Celui qui écrit ces lignes a *calculé*, en 1912 pour l'Annuaire Schmoller, qu'en traitant la question du maximum de population, il fallait prendre en considération le niveau du „standard of life“; il en résulte que si l'on prend comme base le „standard of life“ américain ou australien, la terre entière ne peut nourrir que 2700 millions d'habitants, avec le „standard of life“ allemand 6000 millions et avec celui de Japonais (ils se nourrissent principalement de végétaux) 22.000 millions d'habitants. Les données et les recherches les plus récentes exigent certaines vérifications et sont la correction de mes calculs d'alors: d'abord, par rapport au % des terres du globe propres à la culture agricole (je n'ai alors compté, comme pouvant convenir à la culture agricole, que 45% de la surface entière de la terre ferme) et ensuite par rapport à la manière de se nourrir, prenant comme base une récolte moyenne. La question concernant la culture du sol est également très importante: la culture agricole à l'aide de chevaux ou de boeufs exige le tiers de toute la récolte des céréales aussi, la question de l'emploi général de la traction mécanique, tant pour le labourage des champs que comme moyen de locomotion de la récolte, acquiert-elle une importance capitale. En effet, en se passant de chevaux et de boeufs, on peut de suite augmenter de 50% le niveau vital ou voir sans crainte la population s'augmenter de 50%, et cela, même dans les vieux pays civilisés. En Angleterre, par exemple, vu le prix peu élevé du charbon le remplacement des chevaux par la traction électrique rendrait l'importation des vivres tout à fait inutile, à condition toute-fois que la superficie des champs cultivés soit, comparativement, égale à celle du Danemark, c'est à dire qu'elle occupe 50% de la superficie totale, condition qui est réalisée en Allemagne, en Autriche et en France.

Donc, avant tout, il faut fixer la possibilité de la production agricole d'après les conditions climatiques. Les géographes antérieurs ont, sans aucun doute, beaucoup exagéré la superficie des terres labourables; d'après les cartes géographiques, la limite septentrionale de la culture du blé s'étend jusqu'au cercle polaire et même plus au nord: presque toute la Norvège, la Finlande et la Suède entière sont indiquées comme zones fertiles en blé. Mais la statistique nous ap-

prend que la Suède ne produit que trois quarts, la Finlande la moitié du blé qui leur est nécessaire, la Norvège seulement les  $\frac{9}{10}$  du froment et du seigle indispensables à ses besoins et que, seule, la production d'avoine satisfait à sa propre consommation. Il est certes encore possible, dans les pays scandinaves, d'augmenter l'étendue des champs labourables jusqu'à obtention presque complète des céréales indispensables aux besoins de sa population actuelle mais non pour ceux d'une population qui s'accroît; cela, du reste, n'est guère possible en Norvège parce que la nature montagneuse du pays et sa grande altitude empêchent le labourage de presque 98% de sa superficie totale. D'une manière générale, en ce qui concerne l'extension de agriculture jusqu'aux latitudes septentrionales, il faut nettement distinguer la zone agricole régulière (proprement dite,) c'est à dire la zone où le blé arrive à maturité chaque année ou du moins 9 fois sur 10, de la zone d'agriculture sporadique où, par suite des gelées d'été et de la brièveté de cette saison, le tiers, voire même la moitié des semences sont perdues. Ce n'est qu'en Suède et dans la Finlande occidentale que cette vraie zone agricole s'étend jusqu'au 62° de latitude nord; près du méridien de Pétersbourg et dans toute la Russie septentrionale elle descend au 60° et même au 59° près de l'Oural. Sur le versant oriental de l'Oural, cette zone labourable ne va pas plus au nord que le 58 $\frac{1}{2}$ °; encore plus à l'est, près de Tomsk et du Jénisséï elle ne va que jusqu'au 57° et 56°, au delà du Baïkal jusqu'au 55°, et dans la région de l'Amour elle descend même jusqu'au 50°. La température moyenne de cette zone, dans sa partie la plus septentrionale, descend jusqu'à 13° Celsius pendant les cinq mois de végétation (mai à septembre inclusivement). Au nord de cette zone fertile en blé, s'étend encore sur quelques centaines de kilomètres (3—4 degrés de largeur), dans la Russie d'Europe, du 60<sup>ième</sup> au 64<sup>ième</sup>, en Sibérie, du 58<sup>ième</sup> au 63<sup>ième</sup> degré à peu près, la zone agricole sporadique, où la température moyenne des cinq mois de végétation descend jusqu'à 10° Celsius. Dans cette zone, l'agriculture ne saurait être la principale occupation des habitants, parce que le blé ne mûrit ni partout ni chaque année, mais seulement dans les endroits bien abrités, surtout sur les versants méridionaux des collines. Souvent même, le blé souffre et quelquefois est perdu par suite des gelées d'été accidentelles; en tout cas, l'agriculture y est une occupation assez improductive. L'élevage des bestiaux et l'exploitation des forêts y sont encore possibles et constituent la principale occupation des habitants de cette zone. Il va sans dire que l'herbe souffre aussi

des gelées d'été, mais elle n'a pas besoin de mûrir. En été, le bétail y trouve une nourriture suffisante, quoique cependant, à cause de la brièveté et de la fraîcheur de l'été, l'herbe y pousse passablement moins vigoureusement, sur le même lot de terre, que dans la vraie zone agricole. Les arbres à feuilles aciculaires y croissent encore admirablement bien, mais leur croissance est lente et le cerne annuel de ces arbres est très mince. Par contre, ils sont plus résistants que ceux croissant plus au sud; les bois du Nord sont partout très estimés et les pins et les sapins de la région de la Petchora sont reconnus de qualité supérieure. Donc, partout dans la zone fertile en blé, où le sol est bon, on pourra diminuer à son minimum, l'étendue des forêts au profit des terres labourables et des prairies et faire venir de la zone des forêts septentrionale la quantité de bois qui manque. Dans la Russie d'Europe, ainsi que dans la Russie d'Asie, une telle combinaison pourrait considérablement accroître la superficie des terres labourables. Dans l'Europe centrale, en Allemagne, en France, dans l'ancienne Autriche-Hongrie, les terres labourées et les prairies occupent de 60 à 65% et les forêts 25% de la superficie totale du pays. Dans les contrées à „terre noire“ on peut augmenter l'étendue des terres labourables jusqu'à 75% de leur superficie totale, ne gardant que 10% pour les prairies, 10% pour les forêts, en diminuant l'étendue des terrains affectés aux constructions, aux chemins, aux cimetières etc. etc. et en desséchant les marais. Dans le sud de la Russie et dans les steppes, il y a des endroits presque complètement déboisés où la superficie agricole peut être poussée jusqu'à 90 et même 95% c'est à dire la moitié plus (50%) que dans l'Europe centrale actuelle. Si nous nous en tenons au schéma proposé, c'est à dire si nous reculons la limite des forêts jusqu'à la zone agricole sporadique convenant peu à l'agriculture, ce qui avec le temps est faisable, il s'ensuivra que la valeur d'un hectare, du moins pour la Russie d'Europe, ne sera déjà plus 50 ou 60% de l'hectare de l'Europe centrale, mais 80 ou 90%, vu qu'on ne défalguera, comme presque complètement impropre à n'importe quelle culture, que les plaines marécageuses du Nord à partir du 65° de latitude nord et les collines arides de l'Oural, dépourvues de toute végétation. Toute la Russie d'Europe, selon sa division administrative, avec les parties des gouvernements d'Orenbourg et de Perm situées de l'autre côté des monts Ourals, embrasse une superficie de 489 millions d'hectares; si nous en exceptons: 1° les parties arides de l'Oural, 2° les plaines marécageuses et les forêts à basse tige du Nord, peu utilisables et

situées près de la limite polaire des forêts, 3<sup>o</sup> le gouvernement d'Astrakan, à cause de son sol sablonneux; il nous restera pour les 50 gouvernements de l'ancien empire russe, à peu près 370 millions d'hectares propres à la culture agricole c'est à dire autant que dans l'Europe occidentale à l'exception de la Norvège, de la Suède et de la Finlande. On peut évaluer à 150.000 kilomètres carrés la superficie des terres propres à la culture agricole de ces trois derniers pays. Dans toute l'Europe, il y a, en chiffre rond, une étendue de 7½ millions de kilomètres carrés qui pourraient convenir à la culture agricole avec la réserve, toutefois, que 50% de cette étendue soit affectés au labourage et 12% aux prairies . . . C'est à dire que, pour toute l'Europe, on peut présumer une augmentation de superficie labourable allant jusqu'à 375 millions d'hectares, et celle des prairies jusqu'à 90 millions d'hectares. Avant la guerre mondiale, la superficie des terres labourées dans la Russie d'Europe était de 128—130 millions d'hectares à peu près, en Pologne de 8 millions, en Allemagne de 26½ millions, en France de 24 millions, en Autriche-Hongrie avec la Bosnie de 27½ millions, en Italie d'à peu près 12 millions, en Espagne, avec le Portugal de 12 millions à peu près, dans les pays balkaniques et la Roumanie de 15 millions, en Belgique avec la Hollande de 2¼ millions au Danemark de 2 millions, en Suède, avec la Norvège de 2½—3 millions, en Finlande de 1½ million, en Suisse de ⅔ de million, en Angleterre, avec l'Irlande de 8½ millions, soit en tout, dans l'Europe occidentale et méridionale à peu près 134 millions d'hectares et en outre, approximativement, 8 millions d'hectares de vignes. Ainsi on peut s'attendre même dans l'Europe occidentale et méridionale à une extension de la superficie des terres labourables d'à peu près 30—40 millions d'hectares, surtout en Angleterre (8—9 millions d'hectares) en Espagne et au Portugal (12—15 millions d'hectares), et dans les pays balkaniques (8—10 millions d'hectares). Dans l'ancienne Russie d'Europe, cette augmentation peut aller jusqu'à 60 millions d'hectares si l'on considère que même les terrains à terre noire ne sont pas tous défrichés; quant à ceux à terre non noire jusqu'au 59<sup>ème</sup> ou 59½ degré de latitude nord leur superficie labourée ne dépasse pas 25 ou 30% au lieu de 50% qui pourrait être utilisée. On peut même envisager que dans un avenir lointain la contrée basse, desséchée, sablonneuse et saline située le long du cours inférieur de la Volga (actuellement le gouvernement d'Astrakan) sera arrosée par les eaux de la Volga et de l'Oural, ce qui rendra possible l'extension de la superficie des terres labourables

de 20 millions d'hectares il faut déduire de la superficie, totale du gouvernement d'Astrakan  $3\frac{1}{2}$  millions d'hectares de collines de sable desséchées) vu que la Volga déverse dans la mer Caspienne 6300 mètres cubes d'eau par seconde.

Combien d'habitants l'Europe est-elle en état de nourrir dans l'étendue de son propre territoire si les circonstances lui sont particulièrement favorables? Avant tout il importe de toucher la question concernant le niveau de la vie économique (Standard of life). Comme niveau désirable nous prendrons le niveau de la consommation en Angleterre, qu'on peut résumer ainsi: consommation moyenne de froment 161 kilogrammes par habitant, consommation de viande 55 kilos, consommation du lait de provenance locale, à peu près 250 litres, consommation de beurre importé 6 kilos ce qui équivaut à 150 litres de lait, fromage importé ( $2\frac{1}{2}$  kilos par habitant) équivalant à 25 litres de lait. Si nous comptons, que l'Anglais, outre le blé consommait encore 40 kilos de céréales sous la forme de gruau, de fèves, de pois, de sarrasin, et de riz, 40 kilos s'en allaient pour la fabrication de la bière, 8—9 kilos pour celle de l'eau de vie, nous voyons que la consommation totale des céréales était exactement de 250 kilos par habitant. Pour la production de 55 kilos de viande il fallait, d'après le calcul ordinaire,  $5\frac{1}{2}$  fois plus de blé, c'est à dire 302,5 kilos. Il faut également compter l'avoine, consommation indispensable à la nourriture des chevaux. Cette consommation, qui, présentement, en Angleterre, est de 3,3 millions de tonnes soit 71 kilos par habitant, est prélevée en partie sur sa propre production, en partie sur l'importation; si l'on doublait la superficie des champs labourés plus de 140 kilos seraient nécessaires. Ainsi, d'après le niveau de la vie anglaise, la production du blé nécessaire peut être évaluée à  $250 + 302,5 + 140 = 692,5$  kilos par habitant, ou, si l'on admet qu'avec le temps et par l'emploi de la traction électrique on pourra se contenter de la moitié des chevaux employés jusqu'ici, 622,5 kilos de blé.

En outre, nous admettrons que pour la nourriture des bêtes à cornes, même s'ils se multiplient, le trèfle et le foin doivent suffire, ce qui est tout à fait possible sitôt qu'on introduit le système de culture alternative, réservant soit pour le sainfoin, soit pour la luzerne la quatrième partie des champs labourés et, si l'on ne compte pas sur une traite moyenne supérieure à 2000 litres de lait par an. Maintenant, si nous admettons que  $\frac{5}{8}$  (62%) des champs labourés seront ensemencés de grain,  $\frac{1}{8}$  de rhizocarpées (pommes de terre et betteraves) et de lin, avec une récolte nette de 2000 kilos de grain par hectare, nous au-

rons pour  $\frac{5}{8}$  d'hectare une récolte nette de 1250 kilos, soit exactement la ration de blé suffisante pour deux habitants, y compris le blé nécessaire à la production de la viande. Il faut cependant faire remarquer que le bétail à cornes nourri de trèfle et de foin des prés en quantité égale (ou que la superficie des prairies a été prise comme étant égale à la quatrième partie des champs labourés), fournira un surplus de viande qui ne sera pas inférieur à 10 kilos par habitant. Ainsi la part de chaque habitant sera de 65 kilos de viande ou 60 kilos de viande et 5—6 kilos d'œufs (L'importation des œufs, en Angleterre, est de 55 pièces par habitant pesant 3 kilos; sa propre production ne sera pas supérieure). Si nous comptons que chaque hectare suffit à la subsistance de deux habitants, nous voyons que l'Europe entière pourrait suffire à  $375 \times 2 = 750$  millions d'habitants, et cela, avec un niveau alimentaire amélioré, comparativement à celui d'à présent; donc, le chiffre de sa population peut encore s'accroître de 55% en plus du chiffre actuel de ses habitants. L'Europe occidentale et l'Europe centrale, peuvent elles-mêmes alimenter de leurs propres produits agricoles, 100 millions d'habitants en plus de ceux qu'elles ont présentement. L'Angleterre et l'Allemagne peuvent suffire à la subsistance de la population vivant actuellement sur leurs territoires. La France peut même en nourrir 20 millions de plus (le mot d'ordre des politiciens français devrait tendre non à s'efforcer de diminuer de 20 millions la population de l'Allemagne, mais à faire tous leurs efforts pour que la population de la France s'accroisse d'autant). L'Italie peut également nourrir 10 millions d'habitants, l'Espagne et le Portugal 40—50 millions, les Etats Balkaniques 30 millions d'habitants en plus de ceux qu'ils ont présentement. En outre, l'Europe peut produire, dans l'étendue de son propre territoire, les substances fibreuses qui lui sont indispensables; si l'on réserve à la culture du lin 2% des terres labourées, soit 125 mètres carrés par habitant, cette étendue pourra produire, au minimum 10 kilos de lin et de chanvre et 15 kilos de graines de lin, donnant pour le moins 4 kilos d'huile permettant la fabrication de 6 kilos de savon.

Si nous passons aux autres parties du monde, l'Asie attire, la première, notre attention. Sa superficie est de 44 millions de kilomètres carrés, mais il n'y a, relativement, que très peu de terre cultivable. Au nord, en Sibérie, sur des espaces immenses s'étendent les toundras septentrionales et les forêts marécageuses du nord, — c'est-à-dire les „ourmans“, — où n'est possible qu'une agriculture sporadique. Quoique la Sibérie et l'Asie Centrale russe aient une surface de 16 millions de k. q., la zone cultivable, qui se trouve au sud des 59—57—55 degrés

de latitude nord, ne comprend que 3,36 millions de k. q., — d'après l'opinion d'un des meilleurs géographes russes, Seménoff-Tianchansky. Mais de ce territoire 2 millions de k. q. ne conviennent qu'à la sylviculture et à l'élevage du bétail, à cause du caractère extrêmement montagneux du terrain et du climat trop rigoureux pour l'agriculture. La zone des forêts septentrionales et des marais forestiers („ourmans“) de Sibérie comprend 4,65 millions de k. q. Une partie de cette étendue étant, dans la Sibérie Orientale et dans le gouvernement de la Léna, privée de toute végétation, — par suite de son altitude et de son caractère rocheux, — il ne reste, comme zone forestière, que 3 millions de k. q., à peine. D'ailleurs dans la Sibérie Occidentale il nous serait possible d'adjoindre une partie des forêts septentrionales à la zone cultivable, mais il nous resterait néanmoins 2.500.000 k. q. de forêts, dont une grande partie pourrait, il est vrai, être transformée en prairies, — de petit rendement, mais suffisante pour une population de 20 à 30 millions. Des 1,36 millions de k. q. de terre appartenant à la zone agricole, il serait peut-être possible de transformer les  $\frac{2}{3}$ , c'est-à-dire 90 millions d'hectares, en champs. En outre, il est très possible qu'on puisse, dans les gouvernements des steppes (Semipalatinsk, Akmolinsk, Tourgay et Ouralsk), d'une étendue de 1,8 millions de k. q., ajouter encore, grâce à l'irrigation artificielle, quelques 25 millions d'hectares à la terre cultivable. Dans l'Asie Centrale russe, en utilisant les fleuves Syr-Darya (Djehon) et Amou-Darya (Gihon), qui déversent dans le lac d'Aral 2300 m. c. d'eau par seconde, on pourrait arroser une superficie de 10 à 15 millions d'hectares, se composant dans sa plus grande partie, de terre très fertile en „loess“. Ainsi la Sibérie et l'Asie Centrale russe pourraient donner, à l'avenir  $90 + 25 + 15 = 130$  millions d'hectares de terres labourables, pouvant fournir les vivres nécessaires à une population de  $130 \times 2 = 260 + 20$  millions, auquel chiffre on pourrait ajouter encore les 40 millions d'habitants qui pourraient tirer leur subsistance des 20 millions d'hectares irrigables du gouvernement d'Astrachan.

En Mongolie et dans le Turkestan oriental il y a peu de terre cultivable. Le fleuve Tarym est, relativement, très pauvre en eau; ces eaux ne pourraient arroser plus de 2 à 3 millions d'hectares. En Mongolie il y a encore moins d'espaces cultivables. La Mandchourie se trouve, il est vrai, toute entière, exception faite des régions rocheuses, surtout du Chingan, dans la zone agricole, mais le caractère montagneux du pays en rend les  $\frac{2}{3}$  impropres à l'agriculture, de façon qu'on peut à peine compter sur la possibilité de travailler plus de 20 millions

d'hectares, — étendue nécessaire à une population future de 40 millions. C'est peine perdue que de parler d'agriculture dans le Thibet. La Chine représente, en général, un pays très fertile, couvert de „loess". Pourtant, il n'y a que la grande plaine de l'Est qui soit complètement cultivée, tandis que la partie occidentale de la Chine, qui confine au Thibet, ne l'est pas, à cause des montagnes. Les crêtes des montagnes de la province de Se-tchwan s'élèvent à 6000 mètres au-dessus du niveau de la mer, — ainsi les  $\frac{3}{4}$  de cette province, de même que les  $\frac{3}{4}$  des provinces de Kan-Sou et du Jun-nan peuvent être considérés comme incultivables. D'après des sources chinoises, l'étendue occupée en Chine par la culture des céréales et d'autres végétaux n'est que de 64 millions d'hectares, ce qui fait un peu plus du sixième du tout le territoire de ce pays et équivaut à  $\frac{1}{7}$  d'hectare par habitant. Même en admettant qu'on pût augmenter l'étendue du terrain labourable de 50%, il serait difficile de croire que le nombre des habitants, qui s'élève déjà, d'après les informations chinoises, à 440 millions, fût encore susceptible d'accroissement.

En raison de la tendance générale de notre époque à l'amélioration des conditions de vie, il serait plus juste de prévoir que ce terrain non encore utilisé ne servira qu'à améliorer l'existence des Chinois. La plupart des Chinois, ainsi que des Japonais, sont végétariens. Au Japon, chacun des 56 millions d'habitants, ne possède pas plus de  $\frac{1}{10}$  d'hectare de terre labourable,ensemencé généralement de riz et d'autres céréales, si bien que la ration annuelle des céréales d'un Japonais ne dépasse pas, probablement, 200 kil. Il est vrai que le Japon importe plus d'un million de tonnes de riz et de haricots et  $1\frac{1}{2}$  à 2 millions de tonnes d'autres victuailles, mais tout cela ne sert qu'à composer une ration supplémentaire de 40 à 50 kil. par tête d'habitant. Sans doute les Japonais sont d'une taille très petite et très légers de poids, — le poids moyen d'un Japonais adulte ne dépasse guère 50 kil., — tandis que celui d'un européen correspond à 65 kil. en général. On peut se représenter la petite consommation de viande au Japon en considérant qu'aux États-Unis d'Amérique il y a pour 1000 habitants 450 moutons, 600 têtes de gros bétail et autant de porcs, tandis qu'au Japon il n'existe pour le même nombre d'habitants que 24 têtes de gros bétail. Bien entendu, les Japonais se procurent aussi des viandes au moyen de la pêche, — de 10 à 15 kil. par habitant, peut-être, mais, malgré tout, ils n'ont que très peu de ce genre de vivres. Les Chinois, qui ont une taille moyenne à peu près égale à celle des Européens possèdent, à en croire leurs statistiques,

$\frac{1}{7}$  d'hectare par habitant, ce qui donnerait, avec un niveau de développement agricole à peu près égal à celui des Japonais, 40% de plus de céréales par habitant qu'aux Japonais. La plus grande partie des céréales importées par le Japon, provient maintenant des pays qui se trouvent sous leur domination: la Mandchourie et la Corée; ils tâchent aussi de soumettre à leur domination la région de l'Amour, du Transbaïkal et la Mongolie, ce qui est très compréhensible, vu le nombre rapidement croissant de Japonais.

L'Asie Occidentale est moins fertile. Seul le Caucase est très riche sous ce rapport, spécialement sa partie septentrionale, — les gouvernements du Kouban et de Stavropol, qui sont couverts d'une couche épaisse de terre noire; le gouvernement du Téré est montagneux en partie, par endroits aussi ses vallées sont sèches et peu fertiles, ayant un sol sablonneux et salé. Mais, malgré ces quelques défauts, il est possible de cultiver, dans le Caucase du Nord, au moins de 12 à 15 millions d'hectares. Dans le Caucase du Sud il y a moins de terre cultivable, mais on pourra y trouver toujours quelque 8 ou 10 millions d'hectares propres à ce but. Le Caucase est donc capable de fournir 22 millions d'hectares de terres labourables, ce qui assurerait l'existence d'une population de 44 millions, au lieu des 16 millions d'habitants actuels.

L'Asie Mineure et l'Arménie contiennent beaucoup de chaînes de montagnes et (spécialement l'Asie Mineure), des déserts salés. Néanmoins, il serait possible d'y cultiver 20 millions d'hectares sur 60 millions, ce qui y rendrait possible l'existence de 40 millions de personnes, au lieu des 10 millions qui s'y trouvent maintenant.

La Syrie et la Palestine pourraient nourrir de 12 à 15 millions d'habitants, tandis qu'actuellement elles ne suffisent qu'à 3 millions ou 3 millions 500.000. Le pays le plus riche du monde antique était la Babylonie. Actuellement, comme jadis, s'y trouvent, sur une étendue de 15 à 20 millions d'hectares, des terrains alluviaux très fertiles. Les eaux de l'Euphrate et du Tigre, jusqu'ici inutilisées, se déversent dans le Golfe Persique à raison de 2300 m. c. par seconde. Jadis on n'avait irrigué en Babylonie, qu'une étendue de 2,5 millions d'hectares, — la partie nord, l'ancienne Assyrie était cultivée sur une égale étendue, mais sans irrigation artificielle, en général. Une utilisation complète de ces deux rivières rendrait possible l'existence d'une population de 50 millions, vu que dans sa plus grande partie la plaine de Mésopotamie permet deux récoltes par an; l'ensemencement d'hiver y mûrit vers la fin d'Avril ou le commencement de Mai, après quoi

une seconde récolte y est encore possible. L'ensemencement d'hiver ne demande qu'une couche d'eau supplémentaire de 100 mm. à l'irrigation artificielle, vu que les pluies hivernales y déposent déjà une couche d'eau d'environ 200 mm. et que 300 mm. suffisent pleinement à une récolte. Mais pendant l'été, à cause de l'évaporation intense (la température moyenne des mois d'été y dépasse 30° C.), une couche d'eau de 500 mm. y serait nécessaire, et encore ne faudrait-il y amener l'eau supplémentaire qu'avec des canaux d'irrigation couverts ("aryk"), modelés sur le système persan.

Encore meilleur, pour économiser l'humidité est le système qui arrose les plantes par une pluie artificielle provenant des tubes de fer disposés à cet effet; ce système a été déjà pratiqué avec beaucoup de succès dans quelques fermes d'Allemagne qui travaillaient sous un régime très intensif.

La population de l'Iran (la Perse, l'Afghanistan et le Béloutchistan) s'élève actuellement à environ 20 millions; le territoire en est de 2,5 millions k. q. Comme la plus grande partie du territoire de l'Iran consiste en déserts et en montagnes dépourvues de toute végétation, il ne serait possible de cultiver que le  $\frac{1}{10}$  à peine de toute cette superficie, de sorte que la population totale possible de ce pays ne pourrait pas vraisemblablement dépasser 50 millions.

C'est, peut-être, peine perdue que de parler d'une augmentation du nombre d'habitants de l'Arabie: les déserts, les rocs, une absence presque complète de rivières permanentes y rendent toute amélioration de l'agriculture impossible.

Il n'en est pas de même aux Indes. L'Inde est dans sa plus grande partie un pays plat, traversé par de grandes rivières, l'Indus et le Gange. La population de l'Inde, sous la domination anglaise, a plus que quadruplé, — ce qui est dû non seulement au régime de paix, mais aussi à l'installation de plusieurs canaux d'irrigation. Il ne peut y avoir de doute que l'irrigation artificielle y soit possible sur une échelle plus large encore: les régions basses de l'Inde Centrale et de l'Inde Méridionale sont restées désertes et non cultivées. On pourrait même irriguer, ne fût-ce qu'en partie, le désert „Tarr“, très élevé au-dessus du niveau de la mer, au moyen des affluents de l'Inde. La superficie des champs cultivés occupe, dans l'Inde, 223 millions d'acres, celle des champs non cultivés 52 millions d'acres. Outre cela 114 millions d'acres sont, d'après des données officielles, susceptibles d'être mises en culture. Ainsi, il serait possible d'augmenter de 70% l'étendue des terrains travaillés. Il est important de remarquer qu'en

Inde irriguée il n'y-a qu'une étendue de 49 millions d'acres, — 18% du total. Les récoltes y sont faibles: même le riz, qui est cultivé sur une étendue de 32 millions d'hectares, ne donne que 1000 kil. par hectare, le froment, cultivée sur une superficie de 10 millions d'hectares donne seulement 750 kil. par hectare; c'est-à-dire que les récoltes de l'Inde sont aussi mauvaises que celles de Russie, ce qui nous explique pourquoi la population de ce pays se trouve au même niveau de pauvreté, environ, que celle de Russie. Mais pour l'avenir, c'est justement l'Inde que nous devons regarder comme étant le pays du *plus grand progrès possible* (l'augmentation de l'étendue cultivée et l'irrigation artificielle générale étant données); nous comptons comme vraisemblable un territoire cultivé d'au moins 500 millions d'acres, c'est-à-dire 200 millions d'hectares, dont une moitié pourrait donner *deux récoltes*. De cette façon l'Inde pourrait nourrir de 500 à 600 millions d'habitants, ayant un niveau de vie *élevé*, au lieu des 313 millions de maintenant, qui végètent dans la pauvreté.

Le Siam, le Tonkin, l'Annam et les autres pays de l'Indo-Chine couvrent un territoire de 150 millions d'hectares avec une population d'environ 30 millions. Mais ces pays - là sont très fertiles. Presque partout, à cause des pluies abondantes, deux récoltes sont possibles annuellement. Une partie de ce pays est montagneuse, couverte de forêts vierges, mais, néanmoins, il serait possible de transformer en champs, donnant deux récoltes annuellement, au moins une moitié de toute cette étendue, ce qui permettrait à une population de 300 millions de mener une vie d'un niveau élevé.

Ce qui a été dit au sujet de l'Indo-Chine s'applique pleinement aux îles Philippines, aux possessions hollandaises, à la Nouvelle Guinée et aux Indes Insulaires en général, qui occupent ensemble une superficie de 250 millions d'hectares. Le sol y est partout très fertile et le climat tropical, secondé de pluies abondantes, promet partout la possibilité de faire deux récoltes par an; si bien que, en comptant l'étendue des champs à 50% de l'étendue totale, ces îles pourraient supporter une population de 500 millions au lieu des 60 millions actuels. Ainsi dans toute l'Asie sur les territoires propres à une population de race blanche, c'est-à-dire dans la Sibérie, l'Asie Centrale, le Caucase, l'Asie Mineure, la Syrie, la Palestine, le Mésopotamie et l'Iran la vie est possible pour une population de  $320+50+50+15+50+50+40=575$  millions d'habitants. La partie septentrionale de l'Inde aussi convient indubitablement à la race blanche, — les Hindous des castes supérieures, "brahmanes et kchatriyas",

sont donc des ariens de sang pur. Pourtant, la colonisation de l'Inde par les Européens offre de sérieuses difficultés.

La population de l'Indo-Chine et des Indes Insulaires ne peut se composer, en attendant, que de malais et habitants de race jaune (Chinois et Japonais), qui supportent mieux le climat excessivement chaud et humide. Sera-t-il nécessaire de laisser pour toujours ces pays aux races jaunes et noires? Sans doute, il serait possible, avec le temps, d'éliminer plusieurs maladies des tropiques, spécialement la malaria. Mais l'humidité, accompagnée de chaleur intense, ruine lentement, mais sûrement le système nerveux des Européens. Pour remédier à cet inconvénient, on pourrait prévoir l'utilisation comme sanatoriums des terrains élevés et l'introduction, à l'avenir, d'un „chauffage négatif“ c'est-à-dire d'appareils qui, installés dans les habitations des Européens, auraient pour but de réduire la température à niveau supportable, c'est-à-dire à 19° ou 20° C.

Passons à l'Australie! Elle est propice à l'agriculture seulement sur son littoral: tout le centre en est occupé par un désert sec, salé, brûlant et presque complètement dépourvu d'eau; un désert n'ayant aucune rivière permanente. Le malheur de l'Australie consiste dans le fait que sur la partie orientale de son littoral s'élèvent les hautes Montagnes Bleues. Ces montagnes retiennent l'humidité, apportée par les vents permanents de l'Océan Pacifique, rendant ainsi la partie occidentale de ces montagnes, ainsi que le centre du continent, sec et désert. Il faut compter presque 85% de la superficie de l'Australie comme impropres à l'agriculture. 20 ou 30% environ peuvent encore fournir des pâturages pour un élevage très extensif du bétail, à raison d'une brebis par 2 ou 3 hectares, tandis que les pâturages de l'Argentine peuvent en nourrir 15 ou 20 par hectare. Propres à l'agriculture sont, tout au plus 100 millions d'hectares de terre, où, sous de bonnes conditions et avec l'application de l'irrigation artificielle sur une grande échelle, pourrait, à l'avenir, trouver la nourriture une population de race blanche de 150 millions; vu que le climat de l'Australie, même dans sa partie sous-tropicale, la Queensland, est, à cause de la sécheresse et de l'absence de malaria, propre à ce but. Il reste à savoir si l'Australie ne deviendra pas la cause de rencontres sanglantes entre les races blanches et jaunes? Les Iles Australiennes, la Nouvelle Zélande et la Tasmanie, d'une superficie totale de 34 millions d'hectares, pourraient donner 15 millions d'hectares de champs, ce qui représenterait des moyens d'existence pour une population de 30 millions.

Le continent ténébreux de l'Afrique contient beaucoup de déserts

et aussi beaucoup de régions fertiles. Des 29,8 millions de k. q. de toute la superficie de l'Afrique il faut soustraire 12 millions de k. q. comme absolument improductifs. Mais le reste de l'Afrique aussi a moins de valeur, au point de vue de l'agriculture, que les sections tropicales de l'Asie ou de l'Amérique. De pays ayant de l'humidité à profusion, comme les Indes Insulaires ou l'Indo-Chine, il n'y a point en Afrique, à l'exception d'un petit territoire près du Golfe de Guinée. Exception faite des déserts, dans tout le reste de l'Afrique il ne serait possible de faire, malgré le climat par endroits très chaud, qu'une récolte par an et encore seulement avec l'aide de l'irrigation artificielle, qui demanderait des travaux immenses, tels que la construction d'énormes digues, etc. etc. Le malheur est que l'abondance des pluies varie considérablement en Afrique. En moyenne, il tombe, dans les parties centrales de l'Afrique une couche d'eau de pluie de 1000 à 1500 mm. par an, quantité qu'on peut compter pleinement suffisante pour une récolte. Mais il y a aussi des années où il ne tombe que de 200 à 300 mm. d'eau de pluie. A cause de cela les mauvaises récoltes et la famine qui les suit sont fréquentes, ce qui retarde beaucoup l'augmentation de la population. La qualité du sol laisse aussi beaucoup à désirer dans la plus grande partie de l'Afrique: la „latérite“, c'est-à-dire la terre rouge, terre qui manque presque totalement de minéraux de valeur, est très répandue. Nous ne croyons donc pas qu'il soit possible, même dans un avenir éloigné, d'exploiter plus de 40% des 18 millions de k. q. de terrains, qui se trouvent dans la zone agricole. Si cela était ainsi, les terrains cultivés pouvant donner une récolte par an n'occuperaient qu'un espace de 720 millions d'hectares et la population ne s'élèverait qu'à  $720 \times 2 = 1440$  millions. Quelques parties de l'Egypte et du Soudan donneraient, avec l'aide de l'irrigation artificielle, deux récoltes par an. Mais ces endroits, — de la vallée du Nil, — sont très restreints (la partie cultivée de l'Egypte n'occupe que 2.500.000 hectares et dans le Soudan, en amont de Khartoum, on ne pourrait irriguer que de 5 à 10 millions d'hectares). Dans les vallées des grands fleuves, comme le Congo, le Niger etc, il serait, peut-être, possible d'irriguer de grandes étendues et d'obtenir, ainsi, deux récoltes par an. Mais, malgré cela, le chiffre le plus haut de la population future, si nous voulons compter avec un niveau de vie élevé, pourrait à peine dépasser 1500 ou 1600 millions.

On se demande quelles parties de l'Afrique pourraient être habitées par la race blanche! Actuellement seulement le littoral nord, l'Afrique

septentrionale, le Barka, la Tripolitaine, la Tunisie, l'Algérie, le Maroc et encore l'extrême sud: le Cap de Bonne Espérance, l'Orange, le Transvaal, le Natal, le pays des Bassoutos, le pays des Pondos, c'est-à-dire une surface totale de 600 à 700.000 k. q. dans l'Afrique septentrionale, plus 500.000 k. q. dans l'Afrique du Sud. (Dans l'Afrique du Sud une partie de la colonie du Cap est très déserte et ne peut convenir qu'à un élevage de bétail très extensif, comme en Australie). De cette étendue de 1.100.000 à 1.200.000 k. q. les champs pourraient occuper 50 millions d'hectares; la population possible se chiffrerait ainsi à  $50 \times 2 = 100$  millions. La population actuelle de l'Afrique du Nord, l'Égypte exceptée, est de 15 millions; tandis que celle de l'Afrique du Sud atteint à peine 5 millions. Il est impossible de ne pas remarquer que dans l'Afrique tropicale se trouvent beaucoup de plateaux élevés et de régions montagneuses, où, à une altitude de plus de 1000 m., peuvent, dès maintenant, vivre les Européens, — bien entendu, seulement ceux qui savent se conformer aux conditions climatiques. Un tiers, au moins, de l'Afrique Centrale se compose de ces régions élevées. Il est important de remarquer que ce n'est point dans les vallées surchauffées qu'on obtient les produits les plus importants des tropiques, — au contraire, — c'est dans les régions élevées de 1200 à 2000 m. au dessus du niveau de la mer que croissent le café et le thé; même le tabac et la canne à sucre réussissent parfaitement à ces altitudes.

Adressons-nous enfin à l'Amérique, la partie du monde qui renferme la plus grande partie des terrains propices à l'agriculture. Il est vrai que, dans l'Amérique du Nord cet espace est restreint: dans tout le Canada, c'est-à-dire sur 9.800.000 k. q., il n'y a que 2 millions de k. q. qui conviennent à l'agriculture. Dans la province de Québec, d'une étendue totale de 892.000 k. q. les  $\frac{2}{5}$  seulement de cette surface se trouvent dans la zone agricole; toute la partie nord est occupée par des forêts où n'est possible qu'une agriculture sporadique. Des 568.900 k. q. de l'Ontario les  $\frac{3}{4}$  environ se trouvent dans la zone de l'agriculture. Le Nouveau-Brunswick et l'Écosse Nouvelle, avec un territoire de 126.000 k. q. sont dans le même cas. En tout, la partie forestière de l'Est du Canada, pourrait donner, à l'avenir, de 40 à 50 millions d'hectares de terres cultivables. Les 166.000 k. q. du Manitoba constituent pour les  $\frac{3}{4}$  une steppe lisse couverte de terre noire, très bonne pour l'agriculture. Il est bien connu que le froment du Manitoba, ainsi que celle du Saskatchewan et de l'Albert, contient jusqu'à 20% d'albumine. Un froment de si haute qualité ne croît que dans le

gouvernement de Samara. Il se trouve encore dans les provinces d'Albert et du Saskatchewan plus de 50 millions d'hectares de terrains agricoles. La superficie totale des steppes du Canada, qu'on pourrait transformer en champs est évaluée à 60 millions d'hectares au minimum; de ce chiffre 10 à 15 millions d'hectares reviennent à la province d'Albert, mais un projet pareil ne pourrait être réalisé qu'avec l'aide de l'irrigation artificielle, qui y est possible. Au nord du 56° de latitude nord commence la zone des forêts septentrionales où n'est possible qu'une agriculture sporadique, à cause du climat rigoureux. Dans la Colombie Britannique, de caractère montagneux et de climat rigoureux, il n'y a que quelques millions d'hectares propres à l'agriculture. En tout, le Canada pourrait, à l'avenir, avoir de 100 à 110 millions d'hectares de champs et supporter ainsi une population de 200 à 220 millions au lieu des 8 à 9 millions actuels.

*Les Etats-Unis* occupent un territoire de 7.760.000 k. q. sans compter l'Alaska, pays d'ailleurs impropre à l'agriculture. Mais de cette étendue ne se trouvent dans la zone agricole que les territoires situés à l'est du 100° de longitude ouest de Greenwich, ce qui ne constitue qu'environ une moitié de toute son étendue. Les Etats à l'est de cette ligne ne peuvent être cultivés qu'avec l'aide de l'irrigation artificielle. Les auteurs américains croient qu'une étendue de 100 millions d'acres seulement (40 millions d'hectares), de terre très fertile, permet une irrigation artificielle. Outre cela, dans les Etats qui confinent à l'Océan Pacifique (Washington, Oregon, Californie) on pourrait trouver encore quelque 30 ou 40 millions d'hectares de terre propre à la culture, mais qui devrait être irriguée dans sa plus grande partie. Ainsi, toute la superficie bonne pour l'agriculture, située à l'est du 100 de longitude de Greenwich (en comptant 55<sup>0</sup>/<sub>0</sub> de champs) s'élèverait à 200 millions d'hectares environ, tandis que celle des Etats situés à l'ouest compteraient 80 millions d'hectares, formant ainsi un total de 280 millions d'hectares. Dans les Etats de l'extrême sud il serait possible, au moyen de l'irrigation artificielle, d'avoir deux récoltes par an, ce qui nous permettrait de compter la valeur des récoltes comme équivalente à celle que pourraient donner 300 millions d'hectares et d'évaluer la population possible à  $300 \times 2 = 600$  millions. Vu le haut niveau de vie en Amérique, il faudrait diminuer le chiffre de la population possible d'<sup>1</sup>/<sub>5</sub> ou d'<sup>1</sup>/<sub>6</sub> pour obtenir un niveau de vie comparable à celui de l'Angleterre. Actuellement (d'après les statistiques de 1920) les Etats-Unis sont peuplés de 105 millions d'habitants; les céréales occupent 230 millions d'acres = 96 millions d'hectares, mais la récolte

moyenne ne dépasse pas 120 millions de tonnes, c'est-à-dire 1250 kil. par hectare: Il est vrai que les pommes de terre occupent encore 4 millions d'acres, le coton 36, le tabac 2, les patates 1, de façon qu'on peut calculer qu'aux Etats-Unis est cultivé un espace de 114 millions d'hectares; la superficie de tous les champs est d'au moins 170 millions d'hectares, ce qui fait les  $\frac{2}{3}$  de toute la superficie cultivable.

Des 2 millions de k. q. du territoire du Mexique, nous pouvons compter une bonne moitié comme impropre à l'agriculture à cause de son climat très sec et de son caractère très montagneux. Le Nord du Mexique est, en somme, la continuation du désert américain où l'agriculture n'est possible que dans quelques vallées et encore avec l'aide de l'irrigation artificielle. Il serait possible de transformer, à l'avenir, 25% du territoire mexicain, soit 50 millions d'hectares en champs et de pourvoir ainsi à la subsistance de 100 millions d'habitants de race blanche au lieu des 15 millions de maintenant.

La situation est bien meilleure dans l'Amérique Centrale et aux Indes Occidentales, qui occupent en tout un espace d'un million d'hectares. Là, les pluies sont abondantes partout, ce qui rend possibles deux récoltes dans les vallées et les régions basses. Malgré les montagnes qui se trouvent dans ce pays, il serait, sans aucun doute, possible de porter l'étendue des terrains cultivés à 50 millions d'hectares, mais avec les vallées et régions basses de valeur double, — à cause de leurs deux récoltes — ces 50 millions équivaldraient, en réalité, à 60 millions donnant une récolte par an. De cette façon, toute l'Amérique Centrale et les Indes Occidentales pourraient nourrir  $60 \times 2 = 120$  millions d'habitants au lieu de 12 ou 15 millions. La moitié de cette population possible pourrait être de race blanche: la population de Porto-Rico est déjà maintenant composée d'habitants de race blanche, de même que les  $\frac{3}{4}$  de la population de Cuba et de Costa-Rica.

La plus grande augmentation du chiffre de la population est possible dans l'Amérique du Sud, qui est actuellement peuplée de plus de 64.500.000 habitants (à savoir: Vénézuéla — 2,4; Colombie — 5,9; Equateur — 2; Pérou — 5; Bolivie — 3; Chili —  $3\frac{3}{4}$ ; Argentine — 8,7; Paraguay — 1; Brésil — 30,6; Uruguay — 1,5; et Guyane — 0,5). Dans l'Amérique du Sud le désert ne se rencontre qu'en Patagonie, sur les pentes orientales des Andes et sur une partie des côtes du Chili, où se trouvent de riches couches de salpêtre. Outre ces territoires désertiques relativement peu importants, qui occupent tout-au-plus 1.250.000 k. q., impropres à l'agriculture sont encore les plateaux des Andes qui ont une altitude de plus de 3500 m. et les montagnes elles-

mêmes. Malgré cela nous n'aurons à soustraire, tout au plus, de la superficie de l'Amérique du Sud que 3.200.000 ou 3.400.000 k. q., comme impropres à l'agriculture, ce qui nous laisserait 14 millions de k. q. bons pour ce but. La vallée de l'Amazonie contient environ 5 ou 6 millions de k. q. de terres alluviales très fertiles, où dans la plus grande majorité de cas, sont possibles, sans irrigation artificielle, deux récoltes par an, de même qu'en Indo-Chine et aux Indes Insulaires. Un climat répondant pleinement aux conditions de vie nécessaires aux Européens ne se trouve qu'au Chili, en Argentine, en Uruguay, en Paraguay et dans les Etats méridionaux du Brésil (Rio Grande, Santa Catarina, Parana et San Paulo), d'une étendue totale de 5 millions de k. q., dont une moitié seulement est, par suite des conditions climatiques, propre à l'agriculture. En Argentine, la „pampa” fertile n'occupe qu'un territoire de 64 millions d'hectares, propre partout à la culture des céréales. La surface cultivable en Argentine, y compris celle qui devrait être irriguée, pourrait être portée au moins à 100 millions d'hectares; dans l'Uruguay, le Paraguay et le sud du Brésil à 60—70 millions d'hectares. Ainsi, dans le territoire que les Européens peuvent dès maintenant habiter, l'étendue des champs pourrait être augmentée à environ 170 millions d'hectares. Le chiffre de la population pourrait donc s'élever à  $170 \times 2 = 340$  millions, peut-être même à 400 millions, si nous considérons que quelques régions pourraient donner deux récoltes par an. Les Européens peuvent vivre, et même travailler (comme le montre l'exemple des colons allemands dans la province d'Espirito Santo) encore sur presque toute l'étendue des Etats du Rio de Janeiro, de l'Espirito Santo, et du Minas, d'une superficie totale de 670.000 k. q.; en tout cas c'est possible dans toutes les régions qui se trouvent à une altitude de 300 à 400 mètres ou plus, c'est-à-dire dans 80 ou 90% de la superficie totale des Etats ci-dessus nommés. Si nous comptons 50% du territoire comme propice à l'agriculture, nous aurons 30 millions d'hectares de champs de plus, qui nous permettraient d'ajouter au nombre de la population blanche encore quelque  $30 \times 2 = 60$  millions. Sous les conditions actuelles, les blancs peuvent vivre encore dans les plateaux des Andes d'une altitude de plus de 1500 m.; en Bolivie, au Pérou, en Equateur et en Colombie; seulement ces territoires sont relativement petits et pourraient à peine dépasser quelque 10 ou 15 millions d'hectares propres à l'agriculture. Les Européens peuvent vivre aussi dans la zone sèche et, relativement tempérée du littoral du Pérou. Là se trouvent 2 ou 3 millions d'hectares de terrains déserts, mais très fertiles, si l'on y installait l'irrigation

artificielle. La canne à sucre donne, dans les plantations du littoral du Pérou, presque les plus belles récoltes du monde entier. Ainsi, dans les Andes nous pouvons compter comme *possible* une population blanche de 40—50 millions. Dans le reste du territoire de l'Amérique du Sud, propre à l'agriculture, d'une superficie totale de 11 millions de k. q. et composé, en général, de plaines lisses, sur une étendue d'au moins 5 millions de k. q. deux récoltes annuelles sont possibles. Si nous comptons le pourcentage de champs sur ce territoire de „double valeur“ à 60%, l'étendue de champs atteindrait 300 millions d'hectares, qui pourraient nourrir une population de  $300 \times 4 = 1200$  millions. Les 6 millions de k. q. qui restent encore pourraient donner au moins 300 millions d'hectares de champs et alimenter, étant donnée une récolte par an,  $300 \times 2 = 600$  millions d'habitants. Ainsi, toute la population possible de l'Amérique du Sud pourrait s'élever à  $400 + 60 + 50 = 510$  millions de blancs vivant au sud du 20° de latitude sud et dans les plateaux des Andes, plus  $1200 + 600 = 1800$  millions d'habitants vivant dans les régions tropicales, soit en tout à 2310 millions. Nous venons de constater que la population de l'Amérique du Sud pourrait être augmentée de 35 fois son chiffre actuel, tandis que celle de l'Amérique du Nord d'à peine 7 fois, — de 154 à 1040 millions.

Si nous récapitulons maintenant tout l'exposé, nous pourrions composer un petit tableau nous montrant la population future possible du monde, ainsi que sa distribution entre les races blanches et de couleur.

Ainsi, le monde pourrait nourrir, au niveau de vie anglais, à peu près 8361 millions d'habitants, au lieu des 1838,5 millions de maintenant, c'est-à-dire: la population du monde entier pourrait être 4 fois et demie plus forte, mais à condition: 1) de porter la récolte moyenne de céréales à 2000 kil. par hectare; 2) de réduire le nombre de chevaux de 50%, en en remplaçant la moitié, en pays de haute culture, par la force mécanique. Si l'on pouvait se passer complètement de chevaux, ou pourrait augmenter le chiffre de la population possible de 10%, ou bien élever le niveau de vie au niveau américain. Si l'on découvrait des gisements phosphoriques suffisants, ainsi que des gisements de potasse, — ou emploierait comme engrais du basalte pilé et d'autres minéraux riches en phosphore et potasse, — alors les récoltes de céréales pourraient donner jusqu'à 3500 kil. par hectare. A cette condition, le genre humain pourrait croître encore de 75%, c'est-à-dire s'élever à environ 14,5 milliards d'habitants. Les possibilités ultérieures d'augmentation dépendent largement d'un mode de vie végétarien. D'ailleurs, vu le développement actuel de la chimie, on

|   | Millions d'hectares<br>de champs |           | Millions d'habitants |           |            |           |
|---|----------------------------------|-----------|----------------------|-----------|------------|-----------|
|   |                                  |           | blancs               |           | de couleur |           |
|   | existants                        | possibles | existants            | possibles | existants  | possibles |
| Europe Occidentale . . . . .  | 142                              | 187,5     | 316                  | 375       | —          | —         |
| Europe Orientale (Pologne & Finlande compris) . . . . .   | 138                              | 187,5     | 147                  | 375       | —          | —         |
| Sibérie et Turkestan . . . . .  | 20                               | 130       | 25                   | 280       | —          | —         |
| Plaine entre la Volga et l'Oural . . . . .  | —                                | 20        | 0,5                  | 40        | —          | —         |
| Asie Mineure et Arménie . . . . .   | 5(?)                             | 20        | 11                   | 40        | —          | —         |
| Caucase . . . . .   | 12                               | 22        | 13                   | 44        | —          | —         |
| Syrie et Palestine . . . . .  | 2(?)                             | 6         | 4                    | 15        | —          | —         |
| Mésopotamie, Kourdistan . . . . .   | 1(?)                             | 13        | 3                    | 50        | —          | —         |
| Iran (Perse, Afghanistan) . . . . .   | 6(?)                             | 20        | 16                   | 50        | —          | —         |
| Inde Orientale Béloutchistan . . . . .  | 112                              | 200       | —                    | —         | 200        | 400       |
| Mandchourie, Mongolie, vallée du Zarim . . . . .  | 5(?)                             | 30        | —                    | —         | 10         | 60        |
| Chine, Japon, Corée . . . . .   | 70                               | 200       | —                    | —         | 500        | 500       |
| Inde Occidentale . . . . .  | 10(?)                            | 75        | —                    | —         | 30         | 300       |
| Indes Insulaires avec les Iles Philippines, possessions hollandaises et Nouvelle Guinée . . . . . | 15(?)                            | 125       | —                    | —         | 60         | 500       |
| Australie . . . . .   | 8                                | 75        | 6                    | 180       | —          | —         |
| Afrique du Nord . . . . .   | 5                                | 30        | 15                   | 60        | —          | —         |
| Egypte . . . . .  | 2,5                              | 4         | 12                   | 16        | —          | —         |
| Afrique du Sud . . . . .  | 1                                | 20        | 2                    | 40        | 3          | —         |
| Afrique tropicale . . . . .   | 30(?)                            | 670       | —                    | 100       | 80         | 1400      |
|   | 585                              | 2041      | 870,5                | 2045      | 786        | 2960      |
| Canada . . . . .  | 5                                | 110       | 9                    | 220       | —          | —         |
| Etats-Unis . . . . .  | 170                              | 280       | 95                   | 600       | 10         | —         |
| Mexique . . . . .   | 13                               | 50        | 5                    | 90        | 10         | 10        |
| Amérique Centrale et Indes Occidentales . . . . .   | 10                               | 50        | 6                    | 50        | 9          | 50        |
| Argentine, Chili, Brésil du sud, Paraguay, Uruguay . . . . .                                      | 15(?)                            | 170       | 15                   | 400       | 6          | —         |
| Rio-de-Janeiro, Espírito Santo, Minas . . . . .   | 5                                | 30        | 6                    | 60        | 3          | —         |
| Plateaux des Andes et littoral du Pérou . . . . .   | 3                                | 15        | 2                    | 50        | 3          | —         |
| Amérique du Sud tropicale . . . . .   | 30(?)                            | 600       | 6                    | 26        | 22         | 1800      |
|   | 261                              | 1305      | 144                  | 1496      | 63         | 1860      |

peut compter qu'il sera possible: 1) de donner aux végétaux des goûts de viande ou de poisson; 2) de produire de la nourriture sans aucune aide de l'agriculture. Il est connu que des chimistes sont parvenus

à faire du sucre avec du charbon et des graisses avec de la naphte. Mais, à présent, les prix des produits ainsi fabriqués sont, il faut le dire, plusieurs fois supérieurs à ceux des produits obtenus de la manière ordinaire. En outre, le dépôts de houille et de naphte s'épuisent vite, — il n'y en aura guère dans quelques siècles.

Très délicate est la question de la possibilité d'augmentation de la population de race blanche. Nous n'avons porté le chiffre de la population blanche dans le Vieux Monde qu'à 2045 millions contre 2960 millions d'habitants jaunes et noirs et en Amérique qu'à 1496 millions contre 1860 millions d'habitants rouges et noirs. Mais ce chiffre même de population blanche ne peut être atteint que si l'on compte les  $\frac{2}{3}$  de la population des Indes comme appartenant à cette race, ce qui serait, peut-être, exagéré, et aussi les Turcs et les Tartares. Si l'on comptait seulement les peuples ayant une culture européenne, en excluant les Hindous, les Turcs, les Persans, tous les mahométans en général, alors le chiffre de la population de culture européenne ne dépasserait pas 638 millions c'est-à-dire un tiers environ de la population totale du monde. Les peuples de cette culture dominent le monde actuellement. Mais garderont-ils cette position? Voilà la question brûlante. La guerre mondiale a été une lutte sanglante entre les nations de culture européenne. Elle les a toutes affaiblies, augmentant ainsi l'influence des races jaunes et noires. Les Turcs sont déjà revenus à leur puissance d'avant la guerre! Dans une dizaine d'années *ils* vont renverser la domination anglaise sur l'Inde et soumettre ainsi ce pays à une barbarie moyenâgeuse. La fin de la domination de l'Angleterre sur l'Inde sera, en même temps, la fin de la domination des Pays-Bas sur les Indes Insulaires. Les Japonais et les Chinois prendront ces îles, vu le peu d'importance de la flotte hollandaise, et l'Australie peut-être aussi. La population de l'Australie est trop faible pour résister à la poussée des Japonais, — c'est la faute des Australiens s'ils sont si peu nombreux: ils ont jalousement défendu l'entrée à une grande quantité d'immigrants de nationalité non-anglaise. La Sibérie Orientale aussi passera aux mains des Japonais. L'Asie Centrale est séparée déjà de la Russie. Les Etats-Unis, évidemment, pourraient tenir tête aux Japonais, mais non aux Japonais et Chinois réunis. En outre, les Etats-Unis et l'Angleterre se sont désarmés, ce que les Japonais et les Turcs n'ont jamais eu même l'idée de faire. A part les causes indiquées, les nations de culture européenne ne se soucient guère de garder pour elles — mêmes un territoire étendu si ce n'est dans des régions de climat tempéré.

La meilleure partie de l'Afrique du Sud, — au point de vue du climat et de la fertilité du sol, — le pays de Basoutos, le gouvernement anglais l'a déclarée „réserve nègre“, les nègres supportant à merveille le climat tropical. On attire au Transvaal des ouvriers de couleur, vu qu'ils veulent bien travailler pour des salaires inférieurs à ceux des ouvriers européens. Ainsi le capitaliste de l'Europe prépare la ruine de ses compatriotes. Dans les Etats-Unis vivent plus de 10 millions de nègres. Le climat, même dans les états du sud est parfaitement supportable aux Européens, en tout cas aux Italiens et aux Espagnols. Les plateaux élevés du Mexique et des Andes, dans l'Amérique du Sud, possèdent un climat très sain pour les Européens. Mais là vivent et croissent de 75 à 90% de Peaux-rouges, qu'on pourrait transporter à merveille dans les vallées chaudes des tropiques. Ainsi le chiffre de la population de race blanche *possible*, spécialement celle de culture européenne, reste encore très ténébreux. Il est très possible que dans 20 ou 30 années, 50 ou 100 tout au plus, la race jaune (avec les Turcs dont la puissance aurait pu être détruite à jamais avec une armée européenne de 200.000 hommes) dominera ce monde et détruira alors la culture européenne ainsi que les Européens eux-mêmes.

Où bien pouvons-nous espérer le triomphe de l'idée de la paix universelle, de la concorde entre tous les peuples, de la Ligue des Nations? A mon avis, il est nécessaire que les pays de culture européenne, s'entendent d'abord, qu'ils *partagent équitablement les territoires* propres à la race blanche. Aux Asiates, malgré le bouddhisme, toute idée de fraternité et d'égalité des peuples est étrangère. Les Turcs et tous les mahométans sont même opposés à cette idée. La destruction de la puissance des mahométans est une des premières conditions de la paix éternelle et de la conservation de la culture européenne.

la meilleure partie de l'Afrique du Sud — au point de vue du climat et de la fertilité du sol — le pays de Basoutos, le gouvernement anglais la déclare "terres négres", les négres supplantant à merveille le climat tropical. On trouve au Transvaal des bœufs de couleur rouge et des chevaux noirs, pour des salaires inférieurs à ceux des ouvriers européens. Ainsi le capitaine de l'Europe prépare la ruine de ses compatriotes. Dans les Etats-Unis vivent plus de 10 millions de négres. Le climat, même dans les Etats du sud est parfaitement supportable aux Européens, en tout cas aux Italiens et aux Espagnols. Les plateaux élevés du Mexique et des Andes, dans l'Amérique du Sud, possèdent un climat très sain pour les Européens. Mais ils vivent et croissent de 75 à 90% de Peaux-rouges, qui peuvent transporter à merveille dans les vallées chaudes des tropiques. Ainsi la culture de la population de race blanche possible, spécialement celle de culture européenne, reste encore très limitée. Il est très possible que dans 20 ou 30 années, 50 ou 100 fois au plus, la race jaune (avec les Turcs dont la puissance aurait pu être détruite à jamais avec une année européenne de 200.000 hommes) dominera ce monde et détruira la culture européenne ainsi que les Européens eux-mêmes. Il est évident que la culture européenne n'est pas possible dans ces régions. On bien pouvons-nous espérer le triomphe de l'idée de la paix universelle de la concorde entre tous les peuples, de la paix des Nations. A mon avis, il est nécessaire que les pays de culture européenne s'entendent d'abord, qu'ils parlent également de la culture propre à la race blanche. Aux Asiatiques, malgré le bouddhisme, toute idée de fraternité et d'égalité des peuples est étrangère. Les Turcs et tous les mahométans sont même opposés à cette idée, la destruction de la puissance des mahométans est une des premières conditions de la paix éternelle et de la conservation de la culture européenne. Il est évident que la culture européenne n'est pas possible dans ces régions. On bien pouvons-nous espérer le triomphe de l'idée de la paix universelle de la concorde entre tous les peuples, de la paix des Nations. A mon avis, il est nécessaire que les pays de culture européenne s'entendent d'abord, qu'ils parlent également de la culture propre à la race blanche. Aux Asiatiques, malgré le bouddhisme, toute idée de fraternité et d'égalité des peuples est étrangère. Les Turcs et tous les mahométans sont même opposés à cette idée, la destruction de la puissance des mahométans est une des premières conditions de la paix éternelle et de la conservation de la culture européenne.

## DAŽI ATTĪSTĪBAS PUOSMI LATVIEŠU UN LEIŠU AKCENTA VĒSTURĒ.

J. Plaķa.

Paša autora tulkojums nuo krievu originala.

### Priekšvārds tulkojumam.

Augšminētais pētījums, krievu originalā *Очеркъ изъ исторіи литво-латышскаго ударенія*, rakstīts 1917. un 1918. gadā, kad vēl Latvija un Lietava nebija ieguvušas neatkarību, nebija tapušas par patstāvīgām valstīm ar nuoteiktām ruobežām; tādēļ viens uotrs dialektu, izluokšņu sagrupējums un vietas nuosaukums atbilst vecajam ģeogrāfiskajam stāvuoklim un agrākajam vietas apzīmējumam. Lai tulkojums saskanētu ar originalu, tad bija neerti viņā pielaist principālus pārgruoziņumus, kaut gan laiks tuo prasītu. Ir pagājuši jau kādi četri gadi, kuopš originals nuoduots Kazānes universitates filoloģijas fakultatei iespēšanai, bet Krievijas revolucijas apstākļu dēļ, dienas gaismu neieraudzījis, glabājas tur līdz labākiem laikiem. Ari tulkojumu, kas pabeigts 1920. gada sākumā, taisuoties uz atgriešanuos Latvijā, līdz šim nebija iespējams iespiest līdzekļu trūkuma dēļ. — Ta kā darbs rakstīts kara un revolucijas laikā, kad Krievijā vairs nebija iespējams sekuot Vakar-Eiropas zinātnes progresam un bija jāapmierinājas ar tuo literaturu, kas atradās vietējās bibliotekās, un ar tiem materjalu krājumiem, kas bija līdz tam savākti, tad originalā būs atruodami daži trūkumi, sevišķi latviešu un leišu akcentoloģijas kritiski vēsturiskā apskatā un ari dialektu un izluokšņu materjalu apstrādājumā, kas savukārt raksturoos ari tulkuotā darba īpašības. Beidzuot jāmin vēl, ka ari pati raksta iespēšana bija savienuota ar zināmām grūtībām aiz spiestuves nepilnīgā zīmju krājuma: viens uotrs dialektisks skaņas jeb formas apzīmējums nedabūja tādu ārēju veidu, kāds pienācas, bet tādu, kāds bija iespējams mūsu spiestuves apstākļuos.

Rīgā, septembra mēn. 25<sup>ta</sup> d. 1922. g.

### Priekšvārds.

Biju dažus gadus mācījies leišu valodu Krievijas Lietavas dienvidus daļās, Viļņas un Suvalku guberņās, kad iepazīnos ar Kauņas guberņas ziemeļa daļas izluoksnēm, kur leišu valodas apvidi sastuopas ar latviešu nuovadiem. Še nuodzīvoju pāris vasaras brīvlaiku. Straujā pārmaiņa starp leišu valodas skaņām dienvidus izluoksnēs un še ziemeļuos man krita ausīs, tikkuo sāku iepazīties ar šīs Lietavas daļas izrunu. Man likās, itkā es še dzirdētu tuo pašu leišu valodu, tikai savādā, lātviskā izrunā, vai atkal sevišķu, archaiska tipa latviešu valodu. Šāds dzirdes iespaids izskaidrojams, pirmkārt, ar tuo, ka šejienes izluoksnēs uzsvēr vārda sākuma zilbi jeb vārda saknes daļu gluži tāpat kā latviešu valodā un ka vārdu galuotnes tiklab nominu luocījumuos, kā arī laikvārdu ipatās pilnīgi sakrīt ar attiecīgām latviešu formām; uotrkārt, ar tuo, ka Kauņas guberņas ziemeļu daļas izluokšņu un tuvējuo latviešu valodas izluokšņu grupu starpā nuomanāma lielāka intonaciju tipu vienādība, nekā leišu valodas ziemeļu un dienvidus dialektu grupu starpā, kā arī ievērojams vienādu vārdu un izteicienu daudzums.

Nav šaubu, ka apstākļi, kuŗuos attistījās tāda vienādība ziemeļu leišu un latviešu izluokšņu starpā, radās pamazām, būdami atkarīgi nuo laika un vietas; ka starp šīm izluokšņu grupām bija pārejas jeb starpizluoksnēs, ne tik vienādas kā pirmās; ka kuopēju ipašību attistīšanās nuorisinājās zināmā nuoteiktā virzienā, un ka vajadzēja būt sevišķiem iemesliem, kas veicināja vienādu parādību rašanos. Šuo duomu pareizību var apstiprināt vienīgi pamatīga leišu pārejas izluokšņu grupu pētīšana, it īpaši tuos nuovaduos, kuŗuos nuovērojama savādāka akcentēšana un savādāks formu skaņu sastāvs, nekā literaturas valodā; tāpat arī tuo latviešu izluokšņu grupu nuopietna studēšana, kas pēc sava ģeografiskā stāvuokļa sastuopas ar leišu izluoksnēm. Galvenām kārtām še jāpēta akcenta pārvietuošanās atsevišķuos vārduos, formu galuotņu saŗukšana un intonacijas rakstura mainīšanās tiklab uzsvērtajā vārda balsienā pirms akcenta pārvietuošanās, kā arī uzsvēramajā pēc tās. Abas pēdējās parādības vedamas sakarā ar pirmuo.

Biju jau stājies pie darba un sācis krāt materiālu augšējuo jautājumu atrisināšanai, kad mani spēji pārtrauca karš, kas pašā brīvlaika vidū pēkšņi izcēlās Krievijas un Vācijas starpā, un kuŗš jau pašā sākumā apdraudēja arī Krievijas Lietavas apvidus, un mani priekšlaikus piespieda aizbraukt nuo Kauņas guberņas. Teoretiski man bij iespējams

nuodarbuoties ar leišu valodas pētīšanu savā dienesta vietā, iepazīstoties ar bagātājiem materiāliem baltu valodu laukā, ar svarīgākiem leišu un latviešu dialektoloģijas un akcentoloģijas pētījumiem; bet tie nespēja apmierināt manas prasības tāpēc, ka gandrīz visuos tamlīdzīguos rakstuos trūkst stingru un sistemātisku leišu intonācijas tipu apzīmējumu. Tā, piemēram, šis trūkums piemīt arī daudzajiem A. Becenbergera (viena no labākiem baltu valodas pazinēja) rakstiem, kas tik bagāti dialektiskiem materiāliem. Savuos darbuos Becenbergeris patur Šleicherā leišu akcenta apzīmēšanas sistemu arī vēl pēc tam, kad pats sācis jau izšķirt leišu intonācijas tipus, kā viņš atzīstas kādā no saviem rakstiem (BB., VIII, 100, 3<sup>šā</sup> piez.). Jauņa darbuos viscaur sastuopami intonāciju tipu apzīmējumi, tādēļ, acis uzmetuot, tie mums liekas būt paraugam derīgi; bet dziļāki ar viņiem iepazīstoties, uzdujamies uz dažiem trūkumiem, kādi ir, piemēram, manāmi zemiešu intonāciju tipu apzīmēšanā. Jaunis neapzīmē zemiešu tekstuos lauztā akcenta tipu, kuŗš tik skaidri sadzirdams dažās šī dialekta malienes izluoksnēs, sevišķi ziemeļa vakaru novados. Jau Kuršaitis izšķir lauztuo intonāciju kā sevišķu krituoša akcenta paveidu un aizrāda uz tuo savas leišu gramatikas akcenta nuodaļā (Gramm. d. lit. Spr., §§ 194, 200).

Ed. Voltera Litovskajā Хрестоматія's leišu izluokšņu paraugu teksti ir gan akcentēti, bet viņu akcentu tipu zīmes lietotas bez kādas sistēmas; gandrīz katrs izluokšnes parauga autors apzīmē intonācijas pēc sava prāta un garšas, nemaz iepriekš nepaskaidruojot akcentu zīmju nozīmi. Ļoti daudz nuo šiem autoriem dzenas vienīgi pēc skaņu kvantitātes apzīmēšanas, sekuodami zināmai Baranauska leišu kvantitātes teorijai, un tādēļ neievēruo nuoteiktu intonāciju tipu apzīmēšanu.

Svarīgākais latviešu akcentuācijas dokuments, Ulmaņa vārdnīca, ir kļūdaini tanī ziņā, ka viņas sastādītājs, būdams vidzemnieks, nav vārdu apzīmēšanā ar lauztā akcenta zīmi (') turējies pie Vidus Kurzemes izluokšņu paraugiem, kuŗi ņemti par pamatu latviešu literatūras valodai un kas diezgan bieži pēc sava intonācijas tipa atšķiras nuo tām Vidzemes izluoksnēm, kas pazīstamas bīskapam Ūlmanim.

Minētuo iemeslu dēļ man cits nekas neatlikās, kā gaidīt izdevīgu gadījienū, kad varētu tieši iepazīties ar leišu un latviešu izluoksnēm, citiem vārdiem runājuot, gaidīt kara nuobeigšanuos un sākt apceļuot Lietuvu un Latviju; bet šāds izdevīgs brīdis pienāca daudz ātrāk. Tuos zaudējumus, kuo karš man padarīja savā sākumā, izjaukdams manu darbību Lietuvā, viņš man bagātīgi atlīdzināja citādā kārtā —

sekmēdams manas leišu un latviešu valūdas studijas manā dienesta vietā. Bēgļu kustības vilnis, kas ienaidniekam uzbrūkot plūda no Lietavas un Latvijas, atvēlās līdz Kazānei un atnesa šē dažus tūkstošus bēgļu nuo dažādiem minēto zemju nuovadiem. Šē nu manim bija bagāts izluokšņu materiāls, kušu es krāju, uzmeklējuot un planveidīgi apstaigājuot latviešu un leišu bēgļu dzīvokļus apmēram kādus divi gadus, izlietuodams šim darbam katru brīvu brītiņu. Tādā kārtā man izdevās iepazīties ar ievērojamu leišu un latviešu izluokšņu skaitu (vairāk kā 60 leišu un ap 70 latv.). Mans īstais nolūks bija pamatīgāki un sīkāki iepazīties ar Kauņas guberņas visas ziemeļu juoslas izluoksnēm un tām Kurzemes dienvidus malienas izluoksnēm, kas ar pirmējām sastuopas, sākuot nuo Baltijas jūras vakarus līdz Zarasiem (Novo-Aleksandrauskai) rītuos. Šuo izluokšņu saraksts, kas sekuo šim priekšvārdam, aptver viņus ģeografiskā stāvokļa kārtībā, kā arī nuorāda pēc alfabeta viņu ģeografiskuo nuosaukumu saīsinājumus. Saīsinājumuos es nuorādu vienīgi uz tuo draudžu (parafiju) nuosaukumiem, kušu ruobežās dzirdama izluoksne, tādēļ ka draudžu nuosaukumi ir vairāk pazīstami un lasītājam vieglāki atruodami uz kārts, kauču gan tādā kārtā es apzinīgi pielaižu neakurātību, juo dažreiz vienas jeb uotras atsevišķas sādžas vai pagasta izluoksnei varbūt tādas savādības, kušas nesastuopam visā draudzē jeb arī viņas pārejas daļās.

Šē man jāaiizrāda, ka pie latviešu un leišu izluokšņu pētišanas ķēruos labi sagatavojies, kad ilgāku laiku jau biju nuodarbuojies ar latviešu akcentā studijām, iepazīnieš ar dabiskuo un eksperimentali fonetiskuo metodi un labi ievingrinājies intonaciju tipu izšķiršanā. Tuomēr, kas nuodarbuojies ar akcenta pētišanu, tas zin, ka pat ar labākuo dzirdi var bieži maldīties intonācijas pareizā sadzirdēšanā. Kļūdas var gādīties pat tad, ja vairāk pētnieku kuopīgi pārbauda pētāmo priekšmetu, kauču gan tas ir gandrīz vienīgais ceļš absolūti pareizu panākumu iegūšanai, juo dzirdes organs ir vienam pētniekam jūtīgāks nekā uotram. Nuovērojamu rezultatu akurātība neatkarājas tikai nuo pētāmas persuonas artikulācijas, bet arī nuo viņas izluokšnes fonetiskām īpašībām. Tā man gadījās nuoklaušināt Liksnas pagasta izluokšnes (Daugavpils apriņķī, Vitebskas guberņā) runātāju, kušs prasāmuo vārdū atkārtuokujuot, man par lielu brīnumu — gandrīz regulari mainīja intonācijas tipu vienā un tai pašā vārda formā, piem. vienreiz izrunājuot bōlts, gōlva etc., uotreiz atkal bōlts, gōlva u. t. t. Šadu parādību nespēju izskaidruot. Daudz nuo leišu izluokšņu priekšstāvjiem, citu starpā it sevišķi Utenas (Vilkmerģes apr., Kauņas gub.) izluokšnes priekšstāvis tik stipri stiepa vārda neuzsvērtās zilbēs uzsvara priekšā,

tik labi marķēja viņu intonācijas tipus, ka dažkārt grūti bija ieklausīties, kuŗa vārda zilbe dabū pamata uzsvāru; tā piem. vārduos gaīdys, galvā etc. abas zilbes tika vienlīdzīgi stipri marķētas.

Pārejas izluoksnēs nuo leišu augstiešu uz zemiešu dialektā, kas dzirdamas Šauļu apriņķa vidējā juoslā, kā ari atsevišķās abu minēto dialektu izluoksnēs, un tāpat dažās latviešu „iešu“ izluoksnēs ļoti grūti atšķirt kāpjūošuo tuoni nuo kritūošā, ne tāpēc, ka mana auss būtu par maz trenēta, ka mana dzirde nebūtu pietiekuošā mērā jūtīga, bet vienīgi tāpēc, ka izšķirība intonācijas tipu starpā še pilnīgi izzūd. Ja pētāmā persona vairākkārt atkārtuo vienu un tuo pašu vārdu, tad nereti izmanāma svārstīšanās abu intonāciju nuokrāsu starpā.

Šuo īsuo priekšvārdu beidzu ar tuo, ka savas sirsnīgākās pateicības izsaku tiklab tiem leišiem un saviem tautiešiem, kas veselām stundām, atraudamies nuo ikdienas darba un atpūtas, zieduoja man savu laiku, laipni atbildēdami uz maniem jautājumiem, nepārtraukti izrunājuot, atkārtuojuot savu izluokšņu izteicienus, vārdus un formas zem manas vadības.

A. Leišu izluoksnēs; viņu apvidu ģeografiskā kārtība pēc Baranauska sagrupējuma.

1) Kauņas guberņā:

Žt. Palangas, Kuļu, Salantu, Māsēžu, Plateļu, Īlaķu, Zidiku,  
(Teļšu zemieši) Piķeļu, Mazaiķu, Vieķšņu, Papiles.

Žr. Veivirzenu, Judrēnu, Pajūras, Sileļu, Zigaišu, Taurages,  
(Raseinu zemieši) Dzirdišķu, Kursēnu.

Vž. Kruopju, Saķinas, Gružu.  
(Ziem.-vakarieši)

Vž. Viļķu.  
(Dienv.-vakarieši)

R1ž. Jānišķu, Līgumu, Radivilišķa, Šedavas, Baisāgalas, Pasusves.  
(Ziem. rītieši)

R2. Kŗuku, Zeimeles, Vasku, Salātu, Pusalātu, Kreķinavas, Ancišķu.  
(Rītieši 2)

R3. Jānišķeles, Krinčina, Pabiržu, Biržu, Suostu, Vabalnieka,  
(Rītieši 3)

R4. Subatas, Svēdasu, Aluntas.  
(Rītieši 4)

R5. Pandēja, Skapiška.

(Rītieši 5)

R6. Kamaju, Aknīstas, Utenas, Antazaves, Salaka.

(Rītieši 6)

2) Suvalkas guberņā:

Skrauzu, Kalvarijas, Ludvinavas, Daukšu, Simna, Svētezers, Prienu, Balbieriška.

3) Viļņas guberņā:

Aļītus, Jeznas, Zizmāru, Staklišķu.

B. Latviešu izloksnes; viņu apvidu ģeogrāfiskā kārtība.

1) -nieku izloksnes.

a. Kurzemes guberņā.

α) -ir- grupa.

Nīce I (ap Rucavas ruobežām), Nīce II (ap Nīces muižu), Kalētu, Asītes, Bātes, Sātiņu, Lielezeres, Zvārdes, Vadakses, Ciecēres, Viesātu, Jaunpils, Bēnes, Penkules, Bēzumuižas, Auņu, Brambērges, Lielvircavas, Vecsvirlaukas, Grienvaldes, Lubezeres, Nurmuižas, Lamiņu, Pūres.

b) Vidzemes izloksnes, piederušas pie -ir- grupas:

Burtnieku, Jaunvāles, Smiltēnes, Vecpiebalgas.

β) -ier- grupa:

Nīces III (jūrmala, gar kāpām), Dinsdurbe, Pormsātu, Rudbāržu, Skrundas, Raņķu, Lutriņu, Kables, Kruoņa-Rendas, Dundagas.

2) -iešu izloksnes.

a) Kurzemes guberņā.

α) -ir- grupa. Mercendorpes, Vecsaules, Bruknas, Stelpes, Nīzēres, [Būdberģes (Mūru Paņēmanes)], Šimberģes, Vecmuižas, Lindes, Kūrmēnes, Vecmēmeles.

b) Vidzemes izloksnes, piederušas pie -ir- grupas.

Aderkasu, Kuokneses, Krīzburgas, Sausnējas, Vestienas, Sāvienas, Praulienas.

β) -ier- grupa:

Elksnīšu, Saukas, Salasmuižas, Ābelišu, Biržu I (Muižgales), Biržu II (Bērzgales), Dignājas, Gārsenes, Kaldabruņas, Lašu.

c) Vitebskas guberņā:

Kolupes, Liksnas, Makašēnu.

C. Leišu ģeogrāfisko nuosaukumu saīsinājumi.

- Ākn. = Zarasu apr., Aknīstes dr., Aleknas sdž.,  
 Alt. = Kalvarijas apr., Alītus dr., Davanišķu sdž.,  
 Aln. = Vilkmērges apr., Aluntas dr., Cizarišķu sdž.,  
 Anc. = Panevezes apr., Ancišķu dr., Jutķišķu sdž.,  
 Ant. = Zarasu apr., Antazaves dr., Duburiešu sdž.,  
 Bīb. = Kalvarijas apr., Balbierišķu dr., Mardāsu sdž.,  
 Brž. = Panevezes apr., Biržu dr., Iskāņu sdž.,  
 Bsg. = Šauļu apr., Baisāgalas dr., Valatkaiņu sdž.,  
 Dkš. = Kalvarijas apr., Dauķšu dr., Putrišķu sdž.,  
 Dzd. = Raseiņu apr., Dzirdišķu dr., Kamēcu sdž.,  
 Grž. = Šauļu apr., Gružu dr., Verbūņu sdž.,  
 Ilk. = Telšu apr., Īlaķu dr., Virsilu sdž.,  
 Jnš. = Šauļu apr., Jānišķu dr., Kulpju sdž.,  
 Jnškļ. = Panevezes apr., Jānišķeļu dr., Mišķalauku sdž.,  
 Jzn. = Trāķu apr., Jeznas dr., Jeznas sdž.,  
 Jdr. = Raseiņu apr., Judrēnu dr., Judrēnu sdž.,  
 Klv. = Kalvarijas apr., Kalvarijas dr., Kārķliņu sdž.,  
 Km. = Zarasu apr., Kamaju dr., Rāķišķu m.,  
 Krkn. = Panevezes apr., Kreķinavas dr., Zebartēnu sdž.,  
 Krnč. = Panevezes apr., Krinčinas dr., Dauķšu sdž.,  
 Krk. = Šauļu apr., Kŗuku dr., Kŗuku m.,  
 Krp. = Šauļu apr., Kŗuopju dr., Merģelevicu sdž.,  
 Kl. = Telšu apr., Kuļu dr., Semuoļu sdž.,  
 Krs. = Šauļu apr., Kursēnu dr., Guraģu mž.,  
 Lģ. = Šauļu apr., Lģģumu dr., Bitiešu sdž.,  
 Ld. = Kalvarijas apr., Ļudvinavas dr., Gulbenišķu sdž.,  
 Ms. = Telšu apr., Māseģu dr., Satramiņu sdž.,  
 Mz. = Šauļu apr., Mazaiķu dr., Urviķu sdž.,  
 Pb. = Panevezes apr., Pabirģu dr., Daumēģu sdž.,

- Pjr. = Raseiņu apr., Pajūras dr., Pajūras m.,  
 Plg. = Gruobiņas apr., Palangas dr., Palangas p.,  
 Pnd. = Zarasu apr., Pandeļu dr., Sniegu sdž.,  
 Ppl. = Šauļu apr., Papiles dr., Zerkšķu sdž.,  
 Psv. = Šauļu apr., Pasusves dr., Saucelmu sdž.,  
 Pkl. = Telšu apr., Piķeļu dr., Dapšu sdž.,  
 Plt. = Telšu apr., Plateļu dr., Grīgiešu sdž.,  
 Prn. = Marijampoles apr., (Suv. gub.), Prienu dr., Prienu m.,  
 Psl. = Panevezes apr., Pusalātu dr., Jekūņu sdž.,  
 Rd. = Šauļu apr., Radivilišķu dr., Kaulūņu sdž.,  
 Sdv. = Panevezes apr., Šedavas dr., Naujasežu sdž.,  
 Skn. = Šauļu apr., Saķinas dr., Ausdziņu sdž.,  
 Slk. = Zarasu apr., Salaka dr., Salaka m.,  
 Sln. = Telšu apr., Salantu dr., Erlēņu sdž.,  
 Slt. = Panevezes apr., Salātu dr., Skrebatišķu sdž.,  
 Sll. = Raseiņu apr., Sileļu dr., Kaķigas sdž.,  
 Smn. = Kalvarijas apr., Simna dr., Bambiviķu sdž.,  
 Skp. = Vilķmerģes apr., Skapišķu dr.,  
 Skr. = Naumiesta apr. (Suv. gub.), Skrauzu dr., Butķu sdž.,  
 Sst. = Panevezes apr., Suostu dr., Justevicu un Babinsķu sdž.,  
 Stk. = Trāķu apr., Staklišķu dr., Staklišķu m.,  
 Sbt. = Vilķmerģes apr., Subatas dr., Zikausķu sdž.,  
 Svd. = Vilķmerģes apr., Svēdasu dr.,  
 Svt. = Seinu apr., Svētezera dr., Kanauķu sdž.,  
 Zm. = Panevezes apr., Zeimeles dr., Nareiķu sdž.,  
 Zg. = Raseiņu apr., Zigaišu dr., Putuokšķu sdž.,  
 Zz. = Trāķu apr., Zizmāŗu dr., Juknēņu sdž.,  
 Žd. = Telšu apr., Zidiku dr., Senmiešču sdž.,  
 Trģ. = Raseiņu apr. Taurģes dr., Taraiļu sdž.,  
 Ut. = Vilķmerģes apr., Utenas dr., Macķēņu sdž.,  
 Vbl. = Panavezes apr., Vabalnieķu dr., Trasiķu sdž.,  
 Vsk. = Panevezes apr., Vasku dr., Gružu mž.,  
 Vrz. = Raseiņu apr., Veivirzenu dr., Rudģalvju sdž.,  
 Vlk. = Kauņas apr., Viļķu dr., Sūžu sdž.,  
 Vķš. = Šauļu apr., Vieķņņu dr., Adišķu sdž.,  
 D. Latviešu ģeografisķuo nuosauķumu saīsinājumi.  
 Āb. = Ābeliķu p., Jaunjelģavas apr.,  
 Adr. = Aderķasu p., Rīģas apr.,  
 As. = Asites p., Aizputes apr.,  
 Au. = Auŗu p., Duobeles apr.,

- Bt. = Bātes p., Aizputes apr.,  
 Bn. = Bēnes p., Tukuma apr.,  
 Brz. = Bērzmuižas p., Duobeles apr.,  
 Brž. = Biržu p. (I un II), Jaunjelgavas apr.,  
 Brm. = Brambērges p., Duobeles apr.,  
 Brk. = Bruknas p., Bauskas apr.,  
 Bd. = [Būdbērges (Mūru Paņēmanes) p.], Panevezes apr.,  
 Brt. = Burtnieku p., Valmieres apr.,  
 C. = Cieceres p., Kuldīgas apr.,  
 Dg. = Dignājas p., Jaunjelgavas apr.,  
 Dnd. = Dinsdurbes p., Aizputes apr.,  
 Dng. = Dundagas p., Ventspils apr.,  
 Elk. = Elkšņiņu p., Jaunjelgavas apr.,  
 Grs. = Gāršenes p., Ilukstes apr.,  
 Grn. = Grienvaldes p., Bauskas apr.,  
 Jnp. = Jaunpils p., Tukuma apr.,  
 Jnv. = Jaunvāles p., Valkas apr.,  
 Kb. = Kabiles p., Talsu apr.,  
 Kld. = Kaldabruņas p., Ilukstes apr.,  
 Kl. = Kalētu p., Aizputes apr.,  
 Kk. = Kuokneses p., Rīgas apr.,  
 Klp. = Kolupes p., Daugavpils apr., Vitebsk. gb.,  
 Krz. = Krīzburgas p., Daugavpils apr.,  
 Krm. = Kurmenes p., Jaunjelgavas apr.,  
 Lm. = Lamiņu p., Talsu apr.,  
 Lš. = Lašu p., Ilukstes apr.,  
 Lk. = Liksnas p., Daugavpils apr.,  
 Ln. = Lindes p., Jaunjelgavas apr.,  
 Lbz. = Lubezeres p., Talsu apr.,  
 Llz. = Lielezeres p., Kuldīgas apr.,  
 Llv. = Lielvircavas p., Duobeles apr.,  
 Lt. = Lutriņu p., Kuldīgas apr.,  
 Mk. = Makašēnu p., Rēzēknes apr., Vitebskas gb.,  
 Mr. = Mercendorpes p., Bauskas apr.,  
 Nc. = Nices (I, II, III), Gruobiņas apr.,  
 Nz. = Nīzeres p., Bauskas apr.,  
 Nr. = Nurmuižas p., Talsu apr.,  
 Pn. = Penkules p., Duobeles apr.,  
 Prm. = Pormsātes p., Aizputes apr.,  
 Prl. = Praulienas p., Cēsu apr.,

|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| Pr.  | = Pūres p., Talsu apr.,             |
| Rķ.  | = Ranču p., Kuldīgas apr.,          |
| Rn.  | = Rendas (Kruona) p., Kuldīgas apr. |
| Rb.  | = Rudbāržu p., Aizputes apr.        |
| Slm. | = Salasmuižas p., Jaunjelgavas apr. |
| Stn. | = Sātiņu p., Kuldīgas apr.,         |
| Sk.  | = Saukas p., Jaunjelgavas apr.,     |
| Ss.  | = Sausnējas p., Cēsu apr.,          |
| Sv.  | = Sāvienas p., Cēsu apr.,           |
| Skr. | = Skrundas p., Kuldīgas apr.,       |
| Sm.  | = Smiltenes dr., Valkas apr.,       |
| Stl. | = Stelpes p., Bauskas apr.,         |
| Šm.  | = Šimberģes p., Bauskas apr.,       |
| Zv.  | = Zvārdes p., Kuldīgas apr.,        |
| Vd.  | = Vadakses p., Tukuma apr.,         |
| Vc.  | = Vecmuižas p., Bauskas apr.,       |
| Vcm. | = Vecmēmeles p., Jaunjelgavas apr.  |
| Vcp. | = Vecpiebalgas p., Cēsu apr.,       |
| Vs.  | = Vecsaules p., Bauskas apr.,       |
| Vsv. | = Vecvirtauka p., Duobeles apr.,    |
| Vst. | = Vestienas p., Cēsu apr.           |

## Akcentu (intonāciju) zīmes:

|    |   |
|----|---|
| ▲  | = krītoša inton.,                                     |
| ^  | = grūsta jeb lauzta,                                  |
| ~  | = kāpjjoša,   |
| -  | = stiepta,  |
| ˆ  | = kāpjjoši-krītoša,                                   |
| ˘  | = stiepti-krītoša vidēja garuma (neuzsvērtās) zilbēs, |
| ◌́ | = vārda akcents.                                      |

## Ievads.

1. §. Lingvistiskā literatūrā ir nuodibinājušies divi termini, ar kuriem mēdz apzīmēt leišu un latviešu tuoniskā akcenta dabu: gestossener un geschleifter, schleifender, geschliffener (beidzamais Kuršaiša rakstuos; sal. Hirt, Idg. Akz. 57.) Akzent, Ton, jeb vienkāršāk Stosston un Schleifton; līdzīgā kārtā viņi tiek lietuoti arī pētījumos par indoeiropiešu pirmvalūdas intonacijām. Latviski viņus attēluo ar vārdiem „grūstais” un „kāpjuošais” (tuonis, akcents), kauču gan vārdiskā nozīmē beidzamais termins tulkojams ar vārdiem „vilktais”, „stieptais”, „slīpētais” (Kuršaiša termina tulkojums).

Termini gestossen, geschleift nav diezgan nuoteikti un pietiekuoša mērā neattēluo abu minēto valūdu intonāciju vispārīguo raksturu; viņi var tikt lietuoti vienīgi atsevišķu dialektu intonāciju definēšanai.

Leišu un latviešu akcenta dabas nuoteikšanā līdz šim vēl nav panākta vienošanās, it sevišķi tuo valūodnieku starpā, kas savuos pētījumos lietu tā saukto objektīvuo jeb eksperimentāluo metodi. Vieni pētnieki, pieslejuoties Zīversa (Grndz. d. Phon.<sup>5</sup>, § 585) uzskatam, meklē divas virsuotnes skaņas spēka kustībā (Poirot, Vox XXIII, 237; Абель, Изв. о. р. я. и сл. И. А. Н. XX, 2, 184 un 192), bet neatruod šī fonetika apgalvojumam pienācīga apstiprinājuma; uotri, stingri pieturuoties pie lauztā akcenta dabas tradicionālā raksturojuma, neatruod viņā visur aprakstītuo lūzumu jeb pauzi skaņas vidū (Schmidt-Wartenberg, IF. X, 138, 144; Poirot, Vox XXIII, 231, 232, 233); treši, teoretiski piesavinājušies tradicionāluos uzskatus par divu tipu intonācijām, kuŗus apzīmē ar terminiem gestossen un geschleift, atruod dažās Vidzemes latviešu izluoksnēs vēl trešuo tipu, tā saucamuo krituošu—fallend (П. Шмидтъ, Сборн. о. р. я. и сл. И. А. Н. LXVII, № 2, 1; Endzelin, BB. 259 un arī cituos savuos rakstuos,— un vēl citi pirms šiem).

Duomu starpība ir arī par spēka un augstuma kustību paralelismu leišu un latviešu valūdas gaŗumuos: vieni atruod pilnīgu paralelismu šuo divu galvenuo skaņas meldijas faktoru kustībā (Linde, Puarо), citi uziet pavisam pretēju parādību: augstuma kāpšanu un spēka krišanu uz kustības momenta beigām (Абель, Изв. р. я. и сл. И. А. Н. XX, 2, 166; Sievers, Phon.: <sup>2</sup>(171 Anm.), <sup>3</sup>(203), <sup>4</sup>(209).

Lielākā teoretīku daļa, kam nav iespējas, bet kas, varbūt, arī netur par vajadzīgu sīkāki iepazīties ar baltu valūdu akcentoloģiju (sal. Hirt, Idg. Akz.), piebiedruojas savuos rakstuos par leišu akcentu Kuršaiša definīcijai un par latviešu — Bīlenšteina raksturojumam

(Die I. Spr. I, §§ 15—17) tikai tāpēc, ka šie valuodnieki vēl līdz šim tiek uzlūkuoti par lielākām autoritatēm baltu valuodu jautājumos vispārīgi un atsevišķi viņu akcentoloģijā.

15 Raksturojuot leišu valuodas gaŗumus (kvantitati) tagad mēdz pieturēties pie Baranauska uzskatiem (sal. Ostlit. Texte, XV u. sk.), kas arī vispārīgi jau pieņemti, kauču gan ir duomu starpība šinī jautājumā viņa un Kuršaiša starpā un kauču šiem uzskatiem arī runā pretī vēlākie specialie pētījumi (sal. Schmidt-Wartenberg, IF. VII, 222).

16 Nenuoskaidruots un nenuoteikts ir arī vēl jautājums par akcentu tīpu attiecībā abu māsu valuodu starpā (sal. П. Шмидтъ, „Троякая долгота въ лат. яз.“; Сборн. о. р. я. и сл. И. А. Н. LXVIII № 2, 3; Эндзелинъ „Замѣтки къ лат. акцентовкѣ“, Изв. о. р. я. и сл. И. А. Н. VI, 4, 141 сноска 2; arī RLBZKRKr. XI, 109 un sk.; Leskien, Unters. über Quant. u. Beton., Abhandl. d. phil.-hist. Kl. d. Kön. Sächs. Ges. d. Wiss. XIII, № VI, 554, 555, 556).

17 Ievērojuot visu augšā sacīto un ievērojuot arī to, ka vēl daudz kas neskaidrs tiklab pašā leišu un latviešu tuoniskā akcenta dabā, vispārīgi ņemuot, kā arī atsevišķi viņa dažādās nuokrāsās, kas atkarīgas nuo dialekta un izluoksnes — man šķiet ir lietišķi un pat nepieciešami, ja šim savam pētījumam papriekšu sniedzu īsu leišu un latviešu akcentoloģijas pārskatu kritiski vēsturiskā apgaismojumā.

### I. nuodaļa. Latviešu akcents.

#### 1) Teorija par divtīpu tuoniskuo akcentu un viņas priekšstāvji (kurzemnieki).

2. §. Man šķiet, ka ir lietišķāki, ja savu pārskatu sāku ar latviešu valuodas akcentoloģiju, juo viņā daudz agrāki tika atrasti un aprakstīti divi zilbju akcenta tīpi, nekā viņas radīniecē, leišu valuodā; bez tam pirmajā ir daudz plašāka literatura, kas vispusīgi apgaismo šuo jautājumu, un pie tam tā ir daudzpusīgāka un pakāpeniski sīkāki izstrādāta, nekā pēdējā. Latviešu akcenta pētīšanā lietuotas divējādas metodes: tā sauktā vienkārši apraugāmā jeb subjektīvā metode un eksperimentālā jeb objektīvā. Pirmuo lietuojuši senāku paaudžu pētnieki, uotruo — kā tas arī citādi nevarēja būt — jaunāka laikmeta valuodnieki. Eksperimentālas metodes lietošana, patiesību sakuot, nav sniegusi nekā jauna latviešu valuodas akcentoloģijā, resp. nav nekā jauna atradusi, viņa tikai pārskatījusi un kontrolējusi tuos rezultatus, kuŗi bija jau iegūti vienkāršā apraudzīšanas ceļā nuo agrākā laikmeta pētniekiem.

## A. Pētījumi ar vienkāršu nuovēruošanas jeb subjektīvskuo metodi.

3. §. Divi intonaciju tipi latviešu valuoḁā tika ievēruoti jau pagājušā gaḁu simteņa trīsdesmitajuos gaḁuos; tuos atradis Jurjevas (tuoreiz Tērpatas) universitates latviešu valuoḁas lektors O. Rozenberģeris, ja tikai varam ticēt viņa grāmatas *Formenlehre der lettischen Sprache*, Mitau 1830 g. recenzentam, kas raksta *Mag. d. lett.-lit. Ges.* III, 1, 154: „Der § 15 von der Betonung giebt dem Herrn Verf. ursprünglich angehörende Beobachtungen, so viel wenigstens Ref. weiss“.

Sava darba pirmā izdevumā Rozenberģeris saka, ka dažuos latviešu vārduos nuomanāms vairāk grūsts (gestossen) tuonis, cituos turpreti stiepts (vārd. „līdzeni nuoturēts“ — gehalten) un ka šuo divu intonaciju tipu sajaukšana latviešu ausij ir daudz nepatīkamāka, nekā atsevišķu burtu (t. i. skaņu) nepareiza izrunāšana. Uotrā izdevumā (*Mag. IX, 2*), kas iznācis 1848. g., viņš apmaina terminu gehalten ar vārdu gezogen („vilks“, „stiepts“), paskaidruoḁams, ka šis termins satur sevī izrunas ilguma nuojēgumu laika ziņā un tāḁē nepareizi attēluo pretišķību viņa un termina gestossen starpā, juo abu tipu zilbes ir gluži vienādā gaḁumā laika ziņā (sal. op. c. Anm. 14—15). Gaḁuma nuojēgumu šinī valuoḁā mūsu autors stingri nuošķir nuu intonācijas nuojēguma, kas redzams nuu vārdiem 13. lapp.: „Ausser der Quantität kommt im Lettischen auch noch die Art der Betonung in Betracht“.

Rozenberģerim ir jau diezgan labi izdevies attēluot abu intonaciju tipu dabu. „Vispārīgā iezime“, saka viņš (15. lapp.), „ir tā, ka grūstais (gestossener) tuonis koncentrē visu spēku pašā savā attīstības sākumā, kā vienā punktā, tāpēc viņš pārtrūkst un atslābina, kauču ari tikai uz visīsākuo momentu, tuos zilbes elementus, kas ir tuoņa sastāvdaļas, pirms tie saplūst kuopā ar nākamuo skaņu; stieptais (gezogener) tuonis turpreti, sākdamies pakāpeniski, pastāvīgi pieaugḁams (anschwellend), bez kāḁa pārtraukuma stiepj satvertuos zilbes elementus līdz nākamajai skaņai. Tādējādi iznāk, ka laika ziņā abi tuoņi ir vispārīgi ņemuot vienāda gaḁuma. Tas laika moments, kuŗu vienā tuoņī aprij acūmirklīgais pārtrūkums, uotrā tuoņī tiek atlidzināts ar nepārtrauktu ilgumu“. Šituo abu tipu intonaciju definīcija, kuŗus dzirdam vēl tagad un kuŗus dzirdēja ari tuoreiz mūsu autors Kurzemes guberņas ziemeļa vakaru izluoksnēs, kā jau sacīju, ir diezgan izdevusies un pietiekuošā mērā nuoteikta; tāpēc tā ari tiek apstiprināta par pareizu un lietuota — kā mēs tuo redzēsīm tālāk — nuu lielākās

vēlākuo pētnieku daļas, galvenām kārtām nuo tiem, kas ir dzimti kurzemnieki.

Rozenberģera definicija jau tādēļ vien pieņemama, ka viņš neaprobežuojas vienīgi ar vienkāršu patskaņu gaŗumu intonaciju tipiem atklātās un aizklātās zilbēs, bet apskata arī diftongus un diftongu savienojumus, paskaidruodams, ka pēdējā gadījumā, t. i. patskaņu savienojumuos ar likvidiem un nasaļiem aizklātā zilbē — duomājams gan līdzskaņu priekšā — aiz patskaņa īsuma līdzskanis (t. i. uotrais diftonga komponents) uzņemas intonācijas tipa attēluošanas funkciju. „Stieptā tuoni“, saka viņš (16., 17. lapp.) „izstieptas līdzskanis, izklausās kā divkāršs (piem. malt mahlen = malt, irt zerfasern = irt) un pakāpeniski pārstieptas uz nākuošo skaņu; grūstā tuoni, turpreti, līdzskanis tiek tikai viegli aizķerts un pieslejas sekuojuošai skaņai atsevišķas daļiņas veidā (piem. salt = sält frieren, irt = irt rudern).“

Tālākais Rozenberģera pieņēmums (17., 18. lapp.), ka stieptais tuonis piederīgs viscaur tiem celmiem, kas aizņemti nuo vācu valuodas, pa daļai tiem patapinātiem vārdiem, kas cēlušies nuo viena vai uotra ģermaņu valuodas priekšstāvja, un pa daļai vārdiem, kuŗu celšanās viņam nezināma, — ir pareizs tikai tai ziņā, ka vislielākais latviešu valuodas aizņemtuo vārdu daudzums tiešām tiek stiepti, resp. kāpjuoši intonēts. Par nepareizu minētais pieņēmums jāatzīst vienīgi tai viņa daļā, kur mūsu autors, kauču arī „negatīvā kārtā“ slēdz, ka grūsti tiek izrunāti tie vārdi, kuŗi stāv „pirmatnīgā“ radnieciskā sakarā ar ģermaņu un citu indoeiropiešu saimes valodu vārdiem.

4. §. Gadus 17 pēc Rozenberģera Formenlehre der lett. Sprache klajā nākšanas (pirmā izdevumā), publicē savus latviešu akcentā pētījumus divi dzimti kurzemnieki — Bitners un Bārs. Kauču gan pirmais nuo viņiem dzīvuo piecdesmit gadu vienā draudzē (Kables), interesējas par latviešu valodu un folkloru, tuomēr nepareizi lietuozīvās valuodas vārdus vietējā izrunā, gan laikam, tādēļ ka mazāk pazīst sava laika lingvistiskuo zinātņi. Pruotams, ka nepareizi ir arī viņa latviešu tuoniskā akcenta nuovēruojumi. Pēdējais turpreti ļuoti labi pruot sava nuovada izluoksņi, pazīst labi latviešu valodu vispārīgi un pamatīgi pārzin Bopa un Šleichera laikmetu valuodnieciskuo zinātņi. Tādēļ viņa nuovēruojumi ir ļuoti vērtīgi, viņa slēdzieni konsekventi un nuoteikti; tie ir lietišķs papildinājums, resp. turpmākais Rozenberģera uzskatu apstrādājums un turklāt pareizākais pamats minētās latviešu izluoksnes intonaciju definicijai.

Bitners, kā redzams, neizšķir kvantitates latviešu valuodas patskaņuos, aplami sapruot diftongu un diftongisku savienojumu dabu,

resp. nepareizi tulkuo patskaņu savienojumus ar likvidiem un nasaļiem, uzlūkuodams vokaļus minētā stāvoklī par vienkāršiem monofongiem. Saistīdams tādā kārtā intonācijas nojēgumu — kā mēs tuo tagad sapruotam — ar vokaļu īsumu, viņš saka (Mag. IX, 1, 4): „Latviešu valūda maina (steigert) savus patskaņus pa vairākām gaŗuma un īsuma pakāpēm tādā kārtā, ka viņa viņus dažkārt stiprāk intonē un balsi satur ilgāki uz tiem, dažkārt atkal straujāk viņiem pārlēc pāri un steidzīgāki balsi pārsviež uz sekuošuo līdzskani, tā ka patskaņi parādās dažādā skaņu nuokrāsā (verschieden lautend)“. Par diftongiem Bitners saka (5. lapp.), ka viņi esuoť šinī maiņā (Steigerung) daudz vienkāršāki par monofongiem. Viņiem bez izņēmuma esuoť tikai divi „skaņas“ (Laute, t. i. divējāds tuonis), kuŗus mūsu autors sauc par „akcentēuo“ (accentuirt) jeb „asuo“ (scharf), piem. saime (= sāime), lauks (= lāuks) un „stieptuo“ (gedehnt), piem. laime (= laīme), lauks (= laūks). Tālāk Bitners saka (6. lapp.), ka vienkāršiem patskaņiem bez pieminētām „divi skaņām“ esuoť vēl trīs, kuŗas viņš nuosauc par „vienkāršu“ (einfach), „īsu“ (kurz) un „akcentēti īsu“ (accentuirt kurz). Tādā kārtā viņam iznāk pieci vienkāršu patskaņu intonāciju tipi. Bitners klūdas tanī ziņā, ka pēdējās trīs īpašības viņš piešķir vienkāršiem patskaņiem likvidu priekšā, ja viņiem sekuo līdzskanis un pat vokālis. Tā pirmuo tipu „vienkāršs“ viņš atruoť salikumā:  $v + l + v$ , maldināts nuo vecās toreizējās ortografijas, kas dubultuoja līdzskaņus pēc īsiem patskaņiem, piem. balleht (= ba:lēt); uotruo tipu „īss“ — salikumā:  $v + l + cons.$ , piem. kals (= kaļs); trešuo tipu „akcentēti īss“ — kombinācijā  $v + l + cons.$ , piem. balzenes (= bālzenes). Divi pirmās „vienkāršu patskaņu“ īpašības Bitners nepareizi atruoť pie viņiem tad, ja tie stāv likvida (r) priekšā, kam sekuo līdzskanis, tuomēr tikai tāduos vārduos, kur diftongiskais savienojums jau zaudējis savu divskaņa raksturu, tādēļ ka viņa pirmais komponents pārvērties nuo vienkārša patskaņa par divskani, resp. diftongizējies, piem., salikumos: -ier + cons. un -uor + cons. vietējā izluoksnē tur, kur literatūras valūdā ir: -ir + cons., -ur + cons. Piemēru tabelē mūsu autors pieved dažas tādas formas, kas vietējā izluoksnē pilnīgi sakrīt ar literatūras valūdas formām, bet dažas atkal tādas, kas grāmatu valūdā skan citādi, resp. kas izmainītas saskaņā ar pēdējās prasībām, sal. piem. (6. lapp.): wahr̄ti (= vār̄ti), wehrt (= vērt) u. wirbi (= vīrbi), irbe (= īrbe). Ja divus beidzamoos vārdus uzrakstīsim vietējā izrunā: (v) īerbi, īerbe, tad intonāciju tips viņos ir tāds pats, kā divuos iepriekšējuos piemēruos: vār̄ti, vērt, un tīpu skaits tādējādi jau pamazinās par divi. Ja bez tam vēl atmetam īsumu, kā atsevišķu tipu, tad Bitneram paliek pāri vēl tikai divi gaŗumu intonāciju

tipi, tie paši, kurus mēs jau atradām pie Rozenberģera, tikai citādā nuosaukumā: accentuirt un gedehnt — gestossen un gezogen vietā. Kauču gan Bitnera uzskati ir maldīgi un viņa slēdzieni nepareizi, tuomēr viņa teoriju vispārīguos vilcienuos pieņem pat viens no jaunāka laikmeta latviešu skaņu pētniekiem — Duburs (sal. Duburs, „Latviešu fonetikas ābece“, Jelgavā 1912., 6 un sk. lapp.), kuš, pruotama lieta, atkārtuo pirmā autora kļūdas diftongiskuo savienojumu nuojēgumā, uzskatīdams savienojumu  $v + l(n) + cons.$ , par vienkāršu monoftongu komplektu.

5. §. Bārs pareizi izšķir patskaņu kvantitati. Sadalījis viņus īsuos un garuos, viņš par pēdējiem saka sekošuo: „Garu patskaņu izrunā latvieši izšķir divi nianses; vai nu viņi tiek izrunāti stiepti (gedehnt), vai atkal grūsti (gestossen). Stieptie tiek izrunāti garī, tā ka balss savā skanēšanā nepārtrūkst, piem. kahrts, wehl, dsiht, puht līdzīgi kāarts, weēl, dzūt, pūt.

Grūstu patskaņu izrunā turpretī balss savā skanēšanā pārtrūkst — kas maz sadzirdams, — un pēc tam atkal atjaunojas, turpinājas, tā ka nuovēruojams kaut kas līdzīgs vājai hiatus parādībai, piem. kahrts, wehl, dsiht, pūt, kuši skan kā ka'arts, we'e'l, dsi'it, pu'ut (Mag. IX., 1, 25).

„Ari diftongiēm, tāpat kā vienkāršiem garajiem patskaņiem, piemīt abas, stieptā un grūstā gaŗuma nianses“, saka tālak Bārs (26. lapp.), „bet tā kā viņiem pirmā skaņa ir īsa un uotrā gaŗa, tad stiepšanas un grūšanas nianses var vienīgi izpausties uotrā diftonga skaņā. Latviešu diftonga izrunā balss ātri pārslīd pirmajai skaņai pāri un ilgāki apstājas uz uotruo, vai nu viņu stiepdams, vai arī grūzdams, piem. laiks, lauks, izr. kā lāiks, lāuks; slaiks, lauks izr. kā slai'ks, lau'ks. Kaut kas līdzīgs diftongam iznāk, ja īsajam vokalim sekuo liquida“.

31mā un 32trā lapp. mūsu autors pareizi izskaidruo likvidu un nasaju luomu diftongiskuos savienojumuos, pievezdams sekuošus piemērus: spalwa, we<sub>m</sub>t, ru<sub>n</sub>gu (acc. sg.), ta<sub>r</sub>ba, galva, ņemt, kungu (acc. sg.), darba (g. sg.) u. c., kuši skan kā: spa<sub>ll</sub>wa, we<sub>mm</sub>t, ru<sub>nn</sub>gu, ta<sub>r</sub>ba, gal'wa, ņem'<sub>m</sub>t, kun'<sub>n</sub>gu, dar'<sub>a</sub>. Augšā minētie latviešu intonaciju nuoteikumi un paskaidrojumi, kurus pasniedzis Bārs, viens nuo pamatīgākiem (gründlichster) latviešu valuodas pazinējiem — kā izteicas Bilensšteins savā gramatikā (Die lett. Spr. I, 34) — ir pieņemami gandrīz kā pilnīgi pareizi, pruotams, attiecībā uz minēto Kurzemes latviešu izluoksni. Uz mazu neakurātibu uzduŗamies, varbūt, tikai Bāra latviešu diftongu kvantitates nuoteikumuos. Tā, viņš uzskata par īsu pirmuo divskaņu komponentu abu tipu intonacijās, kurpretī šis elements kā īss sadzirdams vienīgi stieptā tuonī; grūstā

viņš ir gaŗš. Šuo neakurātību varētu ari neievēruot, jo skaņai pārtrūkstuoť, kas allaŗ atgadas attiecīgā izluoksnē, skanuoŗā daļa patiesi ir dzirdama kā īsa un kā gaŗš komponents tiek vienīgi nuojauŗts, ja pie ŗis skanuoŗās daļas pievienuojas pauze, kas atruodas starp tuo un sekujuoŗuo uotruo komponentu. Tuomēr Bārs, kā varam slēgt nuo viŗa diftongu apzīmējumiem, ŗuo pauzi nesadzird vis abu divskaņa komponentu starpā, bet uotra komponenta vidū, kas uzvedina Bilenŗsteinu uz pretrunu (sal. Anmerk. op. et loc. cit.). Par ŗuo pretrunu sacīsim daŗus vārdus vēlāk.

6. § Tādā kārtā—atkārtuojam ŗe vēlreiz—Bāra definicijas un izskaidrojumus, vispārīgi ŗemuot, varam atzīt par nepeljamiem; un Viļum-suons, kuŗš nuodarbujas ar ŗuo jautājumu daŗus gadus vēlāki (Mag. XII, 3, 5—7 nuo 1860. g.) un nav izlietuojis mūsu autora pētījuma panākumus, sacel par nuožēluoŗanu jukas gaŗumu tīpu nuoteikŗanā un ari jau pastāvuoŗā terminoloģijā.

Bilenŗsteina latvieŗu gaŗumu definicijas (Die lett. Spr. I, §§ 15—17, 25—27) ir daudz nenuoteiktākas un neskaidrākas, nekā Bāram. Bilenŗsteins mums nesniedz pastāvīgu vienkāŗšo vokaļu tuoŗu definicijas, bet izved tās nuo diftongu intonaciju izskaidrojuma (sal. 17. §), aizrādīdams uz tuo, ka divskaņi tuoŗa izŗķirŗanas ziŗā esuoť daudz skaidrāki un vienkāŗŗāki par monofongiem (sal. 15. §). Viņŗ patur Bāra terminus: gedehnt un gestossen, kauŗu gan maina viŗu ārējās zīmes. Bāra zīmju: — un ` vietā Bilenŗsteins lietuo ^ (vai ari —) un ˘.

Par diftongiem mūsu autors runā plaŗāki (16., 25., 27. §§), aplūkuojuoť viŗu intonaciju dabu. Latvieŗu diftonguos, pēc viŗa duomām, vai nu abi elementi saplūstuoť vienā kuopējā skaņā, skanuoť tādā mērā nepārtraukti, ka tuonis nākuoties uz ŗuo elementu vidu, jeb uz viŗiem abiem, tā kā viŗi viens uotru ŗai ziŗā nepāŗspējuot, — vai atkal tuonis neapťveŗuoť abu elementu vidu, bet guŗuoť uz pirmā nuo viŗiem, kamēr uotrais kļūstuoť neskanīgs, tā tad daudz vājāks un īsāks. Pirmo diftongu veidu mūsu autors apzīmē sekujuoŗām zīmēm:  $\bar{a}i$ ,  $\bar{e}i$ ,  $\bar{a}u$ ,  $\bar{i}a$ ,  $\bar{u}a$ ,  $\bar{u}i$  vai ari pavisam bez ŗvīkas, uotruo —  $\bar{a}i$ ,  $\bar{e}i$ ,  $\bar{a}u$ ,  $\bar{u}i$ ,  $\bar{u}i$  vai ari nuoteiktāki  $\acute{a}i$ ,  $\acute{e}i$ ,  $\acute{a}u$ ,  $\acute{u}i$ ,  $\acute{u}i$ . Diftongu ie, uo apzīmēŗanai Bilenŗsteins lietuo seviŗķas zīmes:  $\bar{e}$ ,  $\bar{o}$  un  $\bar{i}$ ,  $\bar{u}$  jeb ari  $\bar{e}_a$ ,  $\bar{u}_a$ ,  $\bar{i}_a$ ,  $\bar{u}_a$ , gribēdams parādīt, ka tuonis viŗuos vai nu guļ vidū abu elementu starpā, vai atkal apťveŗ pirmuo nuo viŗiem kā stiprākuo. Par attiecīgu diftongiskuo savienuojumu apzīmējumu viņŗ gan dubultuo likvidus jeb nasajus, piem. -all-, -amm-,  $\acute{a}'l$ ,  $\acute{a}'m$  etc., gan ari lietuo zīmi ' ŗuo savienuojumu elementu starpā. Acīm redzams, ka pie pirmā veida diftongiem Bilenŗsteins pieskaita divskaņus ar stieptuo tuoni, pie uotrā —

ar grūstuo, atkāpdamies tādējādi ar šuo savu savāduo diftongu īpašību izskaidrojumu nuo sava tautieša Bāra pareizā latviešu divskaņu dabas apzīmējuma.

Vienkāršuos gaŗuos patskaņus, kā jau sacīts, mūsu autors pielīdzina divskaņiem, iedomādamies viņus kā divu īsu skaņu sastatījumu aiz tuo, ka tuoņa kustības virziens viņuōs un diftonguos vienāds. Tādā kartā, vai nu abi vienādie īsie patskaņi var saplūst vienā nepārtuktā skaņā, un mēs dabūjam stieptu tuoni, vai atkal ictus izceļ pirmuo elementu, nuo kuŗa atrūkst uotrs elements, kas skan liegi un īsi, sekuodams bezmērīgi īsai pauzei, un mēs dzirdam grūstuo gaŗuma tīpu, kuŗu mūsu autors apzīmē sekoši: á'á, é'ē, í'ī, ú'u.

7. §. Tā tad mēs redzējam, ka Bilenšteins definē latviešu gaŗumu tipus, iziedams nuo diftongiem, kā vienkāršākiem un skaidrākiem, pēc viņa duomām. Pret šādu viņa nuoteikšanas veidu nevaram nekādas ierunas celt; bet ja izejas punkta stāvoklis ir definēts nepareizi, tad aplami var iznākt arī gala slēdzieni. Par nuožēluošānu jāsaka, ka tā tas ir arī šinī gadījumā. Aplami mūsu autors definē diftongus ar stieptuo tuoni. Tuonis, jeb nuoteiktāki sakuot, tuoņa maksimums viņuōs nekrīt vis uz viduci abu diftonga elementu starpā, bet, daudz maz rūpīgāki pārliecinājoties, pat ar vienkāršu dzirdi viegli var nuojaust, kā balss koncentrējas uz uotra divskaņa elementa, ātri pārlecuot pirmuo. Tādēļ tad arī tuonis zem frazes akcenta iespaida ļoti bieži nav vienkārši stiepts, bet kāpjuošs; pēc Bilenšteina paskaidrojuma viņam vajadzētu būt kāpjuoši krituošam. Ari elementi e un o latviešu ie un uo diftonguos, kuŗus Bilenšteins apraugāmā kartā apzīmē ar  $\overline{iea}$ ,  $\overline{uoā}$ , tik spilgti neizdalās abu malu elementu starpā, resp. tuoņa skalā, kuŗu pārscrien šie divskaņi savā attīstībā. Abuos šuos diftonguos balss koncentrējas viņu pirmajā elementā, stiepdama tuo līdzīgi stieptam jeb kāpjuošam monoftongam, turpretī uotrais elements, kuŗš kā uotrais divskaņa komponents pēc savas dabas dabū mazāku gaisa strūkles spiedienu, ir ļoti īss. Diftongi ie un uo tādā kartā līdzinājas diftongiskiem savienojumiem ār jeb ēr, kuŗi attīstījuši kāpjuoša tuoņa raksturu līdzās ar un eļ savienojumiem. Ābi minētie diftongi sākas ar šauru skaņu un savā attīstībā plešas plašumā. Ja tie ir grūsti jeb krituoši intonēti, tad šī izplešanās aizsniedz platā e (=ā) jeb o stāvokli, pie kam tuoņa maksimums koncentrējas pirmā komponentā; turpretī zem kāpjuoša jeb stiepta akcenta diezgan plašs ā ir šīs izplešanās gala punkts, par kuo varam pārliecināties, sekuojuot apakšējā žuokļa kustībai vai arī izmēruojuot atvērtuo lūpu atstatumu (sal. manu rakstu „Dubura fon. ābece“, Duomās 1913., 57. lapp.). Aiz tā iemesla tad arī labāk

būtu, ja apzīmētu minētos latviešu divskaņus ar burtiem ia, ua, kā tuo liek priekšā Bilenšteina priekšgājējs Bārs (Mag. IX, 1, 27), vai ari ar ie, uo, kā viņus apzīmē latviešu jaunākie gramatiķi (sal. Endzelīna un Milenbacha „Latv. gram.“ 45). Nebija nekādas vajadzības izdomāt tādas zīmju kombinācijas viņu apzīmēšanai, kā ē, ō, l, ū, kas sastuopamas citējamā mūsu autora darbā, par kuo viņam izsaka pārmetumu Linde (sal. Mag. XVI, 2, 49) un citi.

Nuo visa sacītā varam slēgt, ka, ja pieņemam tamlīdzīgu stieptā tuoņa raksturojumu diftonguos, tad varam dabūt aplamu nuojausmi ari par tuoņa kustību monoftonguos ar attiecīgu intonaciju: stieptā jeb kāpjuošā tuoņa vietā varam iedomāties viņu kāpjuoši krituošas dabas. Par nuoželuošanu jāsaka, ka Bilenšteina gramatika (Die lett. Spr. I. u. II. d.) vēl līdz šim ir vienīgais avuots, kur smel savas ziņas par šuo jautājumu Vakareiuopas specialisti.

8. §. Beidzuot ar šuo savu pārskatu par tuo pētījumu ciklu, kas pieder dzimtiem kurzemniekiem jeb ari Kurzemes tautiešiem, tuo dialektu un izluokšņu priekšstāvjiem, kur dzirdams divējāds zilbju akcents jeb divējāds intonaciju tips, mēs varam jau pagaidām un īsumā slēgt, ka šī akcenta raksturu, vispārīgi ņemot, pareizāki un izdevīgāki ir apzīmējis Bārs; ari viņa termini ir labāki piemēruoti tuoņu tipu īpašībām. Kurzemes ziemeļa vakaru izluoksnēs uzsvērtuo vienkāršuo gaņumu kāpjuošais tuonis normalā runā mēdz būt allaž vienlīdzīgi vilkts, stiepts (gezogen, gedehnt); kāpjuošs viņš ir, ja runā attēluotas tiek spējākas jeb straujākas jūtas, kā piem. izsaukumu, jautājumu teikumuos un t. l. Diftonguos, atkarīgi nuo uotra komponenta dabas, ari normalā runā tuonis var būt tiklab kāpjuošs, kā ari stiepts, līdzens (sal. manu rakstu PΦB. 1914., №№ 3—4, 216 lapp.).

Tamlīdzīgi ari grūstais tuonis (gestossen) pārtrūkst pušu vidū tikai tuos izteicienuos, kas izpauž runātāja jūtu straujumu. Normaluos runas apstākļuos pārtrūkuma jeb pauzes tuonī nav, un mūsu auss nuojauž vienīgi zināmu grūdienu, itkā balss samešanuos tuoņa kustībā. Šimbrīžam apmierinājamies vienīgi ar šuo īsuo rezimē. Pamatīgāku slēdzienu sniegsim, vienkārt, kad būsīm apskatījuši visus latviešu akcenta pētījumus, tiklab tuos, kas aptver tuoņa kustības augstuma jautājumu, kā ari tuos, kas aplūkuo viņa intensivitātes attīstību; uotrkārt, kad būsīm analizējuši pētījumus, iegūtus ar eksperimentālās metodes palīdzību un ari vienkāršā aplūkuošanas, resp. nuovēruošanas un nuoklausīšanas ceļā.

2) *Teorija par trīstīpu tuoniskuo akcentu un viņas priekšstāji (vidzemnieki).*

9. §. Deviņus gadus pēc Bīlenšteina gramatikas (Die lettische Sprache etc.) iznākšanas P. Krumbērgis publicē (1873. g.) divi rakstus (Mag. XII., 2), kuņuos izpauž sevišķus uzskatus par latviešu gaņumu intonaciju dabu. Viņš izšķir trīs intonaciju tīpus: alfabeta, kāpjuošuo un krituošuo.

„Par balsienu skaņū jeb tuoni še pieminams,“ raksta Krumbērgis (56. lapp.), „ka tas latviešu valuodā pie katra vienkārtīga un divkārtīga balsiena trijās izšķiršanās ruonas: 1) ābecīgs balsiena tuonis, tāds kā tas abc lasuot dzirdams (a, e, i, o, u iekš abc lasuot skan gaņi), 2) tas nuo ābecīga balsiena iziedams uz augšu pakāpdams tuonis, kā par pruovi pie uzvilkšanas vienas skanēdamas stīgas, 3) tas nuo ābecīga balsiena iziedams ātri krizdams tuonis, tā kā pie ātras slābu atlaišanas vienas skanēdamas stīgas.“ Pirmuo gaņuma tuoņa tīpu viņš apzīmē ar —, uotruo ar ‘, trešuo ar ’. Par īsajiem patskaņiem Krumbērgis saka, ka aiz viņū īsuma viņū tuoņa krāsa nemainās, bet savienuoju-muos ar tādām patskaņām kā l, m, n, r, šāda maiņa ir iespējama. Sīkāka latviešu trejāda gaņuma raksturoojuma Krumbērgis nesniedz, tādēļ mēs ari ilgāki neuzkavējamies pie viņa rakstu analīzes, bet piezīmējam še tikai, ka spriežuot pēc viņa pieminētiem piemēriem, viņa alfabēta tuonis stāv pretī mums pazīstamajam stieptajam, kāpjuošais — grūstajam, bet krituošais ir jauna, līdz šim mums nepazīstama tuoņa nuokrāsa. Cik pareizi ir Krumbērga nuovēruojumi, cik nuoteiktas viņa definicijas un cik viņam izdevušies pieduomātie attiecīgie termini, tuo redzēsīm turpmāk, aplūkuojuot pētījumus, kuo sniegusi vesela rinda viņa pēcnācēju. Svarīgākais ir tas, ka mūsu autors pirmais ir atradis trīs latviešu intonaciju tīpus un izšķir viņus it skaidri, kā tuo nuorāda vārdu saraksts pie viņa vēlākā raksta (Mag. XVI, 2, 57—87), kuņuos apzīmēta viņū trejāda izruna, tāpat ari autora apgalvojums, ka divējāds akcenta apzīmējums Ulmaņa vārdnicā neizsmēluot visas skaņū tuoņa nuokrāsas (57. lapp.).

10. §. Daudz pamatīgāks pētījums par nupat minēto ir raksts Einiges über die Aussprache lettischer Vokale und Diphthonge (Mag. XV, 3, 28—35). Šī raksta autors, citādi pievienodamies latviešu gaņumu tuoņa dabas raksturoošanā Kurzemes pētnieku grupai, pieņemdams viņū terminus: gedehnt un gestossen, tuomēr apstiprina Krumbērga duomas par latviešu trejādu gaņumu. Mūsu autors pieņem, ka katrs gaņš patskanis sastāv nuo diviem savstarpīgi cieši saistītiem īsā-

kiem patskaņiem, ka stiepjot abus viņus (ā ā) iznāk viens vesels stiepts patskanis (ā piemērā „lāhde“), grūsti izrunājuot (á á) — viens vesels grūsts (ā piemērā „āhda“). Trešais patskaņu gaŗuma tips ceļas, pēc viņa duomām, savienuojuoties grūsti tsajam ar tsu stieptuo (á ā), kā piem. á vārdā „māhkt“; šis tips rakstā apzīmēts ar terminu halbgestossen (30. lapp.). Tādā pat kārtā mūsu autors raksturoo trešuo tuoņa tipu diftonguos un diftongiskuos savienuojumuos, pie kam viņš piemēru sarakstam piesprauž vēl sekuošu piezīmi (32. lapp.): „Diametrāli pretēji ir viens uotram stieptais un grūstais gaŗais vokālis jeb diftongs, tāpēc tie arī viegli izšķirāmi. Grūtāki ir izšķirt vidējuo rindu (resp. tipu), ar krituoši intonētu (halbgestossenen) gaŗu patskani jeb diftongu, kuŗš sākas atakēti (scharfangesetzt) tāpat kā grūstais un izskan gludi (glatt) kā stieptais vokālis, resp. divskanis.“ Vispārīgi ņemuot šuo gaŗuma tipu pēc viņa dabas raksta autors pielīdzina attiecīgām gaŗajām vācu valuođas skaņām Baltijas izluoksnēs izrunā.

Salīdzinuot mūsu autora piemērus ar Krumbērga piemēriem un apsveruot pirmējā grūstā tuoņa definiciju kuopīgi ar attiecīguo intonāciju pēdējā rakstā, kur tā līdzinās kāpjuošam tuoņa tipam, mums nejauši uz mācas jautājums: „kādēļ gan tāda starpība viena un tā paša intonācijas tipa definējumā?“ Atbildēt uz šuo jautājumu nav grūti. Pēdēja raksta autors, kā redzams, ir to Vidzemes nuovādu iemītnieks (Vidzemes vidus izluokšņu piederīgais, kas dzirdamas ap Valmieru), kur grūstais tuonis pēc savas dabas sakrīt ar attiecīguo intonāciju Kurzemes ziemeļa vakaru izluoksnēs, par kuo liecību duod tuoņa ziņā vienādi vārdus pārskati. Krumbērgis turpretī, pēc visa spriežuot, ir tuo Vidzemes rīta izluokšņu priekšstāvis (kauču viņš arī dzīvuojis ir Kurzemes austruma daļā, kur sastuopāmi trejādi gaŗumi), kur Kurzemes ziemeļa rietumu izluokšņu grūsti intonētiem vārdiem stāv pretī piemēri, kam dažuos fonetiskuos apstākļuos ir tīri kāpjuošs tuonis, sal. piem. Kurzem.: māize, lūogs, miērs ar austr. Vidzem.: maize, luōgs, miērs. Par izejas punktu Krumbērga nuovēruojumiem varēja būt zināmā mērā Kurzemes izluoksnēs, t. i. kurzemnieku pētnieku darbi viņam varēja nuoderēt par paraugu un galvenuo pamatu.

11. §. Vispusīgāki un pamatīgāki par augšā minētiem pētniekiem latviešu trejādā gaŗuma jautājumu ir izsmēlis savā rakstā Jelgavas kurlmēmuo skuolas skuoluotājs K. Linde; viņš itin labi pazīst arī sava laika fonētikas zinātnes pamatus. Šis autors izšķir abus galvenuos faktoros skaņas rašanās gaitā — augstuma un spēka kustību, un saskaņā ar šuo kustību virzienu viņš sniedz latviešu valuođas gaŗuma raksturoojumu pilnīgākā un nuoteiktākā veidā, nekā viņa priekšgājēji. Aizrādīdams,

ka tiklab isās, kā arī garās patskaņas neuzsvērtās zilbēs mēdz būt daudz vājākas nekā uzsvērtās, K. Linde par garajiem patskaņiem zem akcenta raksta sekoši (Mag. XVI, 2, 44. lapp. un sk., 1881. g.):

„1) garais *a* vārdā „sahrts“ (rosig im Gesicht) sākas ar stipru un augstu balsi un beidzas ar vājāku un zemāku balsi; tuonis šē krit jeb pazeminās — pirmā šī patskaņa puse ir stipra, uzsvērtā, uotrā vāja, neuzsvērtā. Tādēļ šuo garuo patskaņu rakstiski varētu it pareizi apzīmēt ar diviem burtiem āa līdzīgi skaņu savienojumam salikteņuos, piem. „pāass“, kur āa skan tāpat kā vārdā „sahrts“, ja uotrā *a* izrunā nesākas ar slēgtu balseni. Šuo garuo vokali var nuosaukt par krituošu, pazeminājuošuos, pavājinājuošuos jeb dekrescentu. Bilenšteins viņu nuosauc par gestossen, bet sapruot zem tā arī vēl citu īpašību, Neilands (raksta Einiges über die Aussprache etc. autors, Mag. XV, 3, 28—35) par halbgestossen. Dekrescentais patskanis dzirdams: a) viensk. lok. galuotnē, piem. „dahrsa“, b) verbu 2., 3. viensk., 3. daudzsk. tagadnes ipatās, piem. „masga“, c) nenuoteicamā īpašības vārda formās, piem. „laba“ — tā tad neuzsvērtās zilbēs.

2) Citādi mēs dzirdam garuo patskani vārdā „sahrts“ (Scheiterhaufen). Viņa pirmā puse tiek izrunāta ar vāju un zemāku balsi, uotrā — ar stipru un augstāku balsi. Tādā kārtā šī vokaļa garums pēc savas dabas ir pilnīgi pretējs pirmajam, jau pārrunātajam. Vārdā „sahrts“ (Scheiterhaufen) viņš sastāv no divi īsiem *a*, pirmā vāja un uotrā stipra. Šuo garumu es rakstiski apzīmētu tā: *aa* (saarts), kas izrunājams kā divi *a* blakām stāvuošuos vārduos, piem. „pāasu“, ja abi viņi tiek izrunāti saistuoši, bez balsenes slēgšanas\*). Šis kvalitātes garuo patskani var nuosaukt par kāpjuošu, pastiprinājuošuos, auguošu jeb krescentu, bet ne par stieptu (gedehnten), zem kāda nuosaukuma viņš mums līdz šim ir bijis pazīstams; juo arī pirmais nuo manis pievestais garums ir stiepts.

3) Trešuo un pēdējuo patskaņa garuma veidu mēs atruodam piem. vārdā „kahts“. Šē pirmā vokaļa puse ir stipra, uotrā sākas ar aizklātu balseni, pie kam viņu vairs neizrunā dikti, bet čukstošā balsī (in der vox clandestina). Tādējādi trešās kvalitātes garais patskanis sastāv no trim daļām: 1) pirmās stipras un diktas puses, 2) balsenes aizslēgšanās un 3) uotrās vājas puses, izrunājamas čukstošā balsī.

Tā kā raksturīgākā šī garuma īpašība ir balsenes aizslēgšanās — grūdiens (aiz viņas spējas atdarīšanās), tad es viņu nuosaukšu par

\*) Individī, kas mīl vārdus vilkt, izstiep j abus šuos garuos vokāļus dažkārt 3 pat līdz 4 Isu patskaņu garumā, piem. „paaaws“, „paaars“.

grūstu (gestossen), kā tuo darījis arī Neilands. Rakstiskā apzīmējumā es lietuotu divi burtus un spiritus lenis zīmi uotrā burta virsū, piem., ka'ats.

Grūstais vokaļu garums varētu celties nuo divi līdzīgiem, blakus stāvuošiem vokaļiem, kuŗi katrs par sevi būtu izrunājami un piederētu pie divi dažādām zilbēm, t. i. kad tie tiktu tā izrunāti, ka būtu šķirti viens nuo uotra ar balsenes aizdarišanas, piem. vārdā „Baāls“.

Divskaņiem ir tās pašas īpašības, kas piemīt augšā aprakstītiem vienkāršiem gaŗiem vokaļiem, sal. piem.: 1) „lāuks“ (einen Fleck habend) — pirmais vokalis skan stipri, uotrais vāji; 2) „lāuks“ (Feld) — pirmais patskanis — vāji, uotrais stipri; 3) „lāust“ — pirmais vokalis — stipri, uotrais ar balsenes aizdarišanuos, pavisam vāji, gandrīz čukstuošā balsī. Šiem piebiedruojas diftongiski savienuojumi, sastāvuoši nuo patskaņa un likvidas (resp. likvidas un nasaļa), piem.: 1) kālta (trocknete), kāmpt, blánka, gārs — patskanis izrunājams stipri, likvida vāji, ar krituošu tuoni; 2) kālta (des Meissels), stam̄pa, maíta, taŗba — patskanis — vāji, likvida stipri ar pieauguošu tuoni; 3) málka (Holz), jums, táukškēt, dárbs — patskanis stipri, likvida ar balsenes aizvēršanuos, tā tad ar grūstu tuoni.“

Pie K. Lindes latviešu gaŗumu īpašības raksturouojumiem mēs pakavējāmieš ilgāki, pievedām gandrīz pilnīgi, tikai ar niecīgiem saīsinājumiem, viņa definīcijas aiz tā iemesla, ka viņas tiek pieņemtas nuo vairākiem šī jautājuma priekšstāvjiem pēc Lindes, kā piem. Endzelīna (BB. XXV, 259; Rkr. XI, 108, 110; Endzelīna un Mīlenbacha „Latv. gram.“ 11. §, b.); pamata vilcienuos Lindem pieslejas vēl P. Šmits (Сб. о. р. я. и сл. И. А. Н. LXVII, 2, 3); bez šiem vēl J. Pelēks (Rkr. IX, 29) u. c. Cik pareizi un nuoteikti Lindem ir izdevies raksturot latviešu gaŗumus, tuo redzēsīm turpmāk, kad analizēsīm kontroles pētījumus, iegūtus eksperimentālā ceļā. Sākam viņu pārskatu.

## B. Pētījumi ar eksperimentaluo jeb objektivuo metodi.

12. §. Čikāgas universitates profesuors Šmits-Vartenbērgis pirmais ir pētījis latviešu akcentu ar sevišķa aparata (ķīmografiona) palīdzību. Šis aparats, kā redzams nuo viņa konstrukcijas apraksta (Mag. XX, 1, 1—3), lietuošanas un panāktiem rezultātiem (IF. X, 117—144 — nuo 1899. g.), piemēruots vienīgi nuo plaušām izplūstuošās gaisa straumes mainīšanās izmēruošanaī. Atzīmēt ar viņa palīdzību augstuma un spēka kustības mainīšanuos Šmitam-Vartenbērgim nav bijis iespējams.

Šādus mēģinājumus viņš pats tur par neizdevušiem (143. lapp.). Kaučutais arī tā ir, tuomēr mūsu autors sprauž sevīm juo plašus mērķus: pirmām kārtām, viņš grib izzināt triju latviešu gaŗumu savstarpīguo kvantitatīvuo attiecību; uotrām kārtām, izšķirt strīdu par balsenes aizdarīšanās momentu grūsti intonētā diftonga izrunā Bāra un Bīlenšteina starpā, un, trešām kārtām, kontrolēt trejāda akcenta dabas raksturojuma pareizību nuo spēka kustības stāvokļa, kas iegūts ar vienkāršu nuovēruošanu, resp. subjektīvas metodes palīdzību.

Atrisinājuot pirmuo jautājumu, Šmits-Vartenbērgis izmēruo nuo plaušām plūstuošās gaisa straumes spiediena spēku un uz iegūtuo rezultatu pamata slēdz, ka visi trīs vokaļu gaŗuma tipi ir vienādi laika ziņā un vidus mērā līdzinās — ņemuot vidējuo ķīmografiona kustības ātrumu — 4,65 cm. sekundē: 6,51 (stieptais tonis), 6,06 (krituošais), 6,07 (grūstais) desmitdaļu sekundes, ierēķinuot šuos skaitļuos arī līdzskaņa rekursijas momentu (ruobiņi). Dažās latviešu izluoksnēs, piem. Vecgulbenes, gaŗie patskaņi diftongizējas, bet vispārīgā iznākumā viņi laika ziņā nepārspēj attiecīguos nediftongizētuos citu izluokšņu gaŗuos patskaņus.

Atbilduot uz uotruo jautājumu, t. i. izšķīruot strīdu Bāra un Bīlenšteina starpā (sal. Die lett. Spr. I, 34. lapp. zemrindu paskaidr.) par skaņas pārtrūkuma momenta vietu, resp. grūdienu vietu grūsta diftonga komponentu starpā, kuŗu mēs aizķērām jau agrāk (sal. 19. lapp.), Šmits-Vartenbērgis lietu pie eksperimenta uzstādīšanas bez bundziņām un svīrīša gaisa spiediena mainīšanās reģistrācijai arī bundziņas un štīfti lūpu kustēšanās atzīmēšanai i, u elementu izrunā (sal. fig. XV—XVII) un vokaļu nasalēšanas attēluošanai diftongiskuos savienuojumuos (sal. fig. XXX—XXXIV). Strīdu viņš izšķīr par labu Bāram konstatēdams, ka raksturīgais grūdiens grūsti intonētuos diftonguos lokalizējas uotrā komponentā, bet atruod, ka Bārs kļūdas, pierakstīdams patskanim, kuŗš atruodas grūdienu jeb hiatus priekšā, diftongiskās pārejas skaņas īpašību. Mēs esam pārliecināti, ka minētā strīdū ir taisnība Bāram, un šuo mūsu pārliecību apstiprina subjektīvie nuovēruojumi, kas ņemami par pareiziem tamdēļ, ka mūsu izruna ir vienāda ar Bāra izrunu, juo esam vienas izluoksnēs priekšstāvji (Kabile — Kuldīga). Šmits-Vartenbērgis izšķīr strīdus jautājumu, kā redzams, uz citu izluokšņu datu pamata (Endzelīna izrunas), kas pilnīgi izšķīras pēc attiecīguo intonāciju īpašībām ne tikai nuo mūsu izluoksnēs, bet arī vispārīgi ņemuot diezgan lielā mērā nuo Kurzemes ziemeļa vakaru izluoksnēm.

Izšķīruot trešuo jautājumu, mūsu autors koriģē K. Lindes definīcijas-sekuošā kārtā: „Tajā latviešu dialektu apgabālā, kuŗam par vidus

punktu ir Valmiera, stieptam un grūstam tuonim blakus pastāv vēl viena trešā akcentuācija, krituoša, kuŗa pa lielākai daļai attīstījies nuo grūstās, bet varbūt ir arī oriģināla. Kvantitates ziņā šuo intonāciju starpā nav nekādas izšķirības. Par viņu kvalitāti jāsapaka, ka tuo Lindes raksturoojums apmēram ir tuvu patiesībai: stieptais tuonis ekspiratoriskā ziņā ir kāpjuošs jeb līdzens; krituošs sākas ar stiprāku tuoni un krīt uz skaņas galu; grūstais tuonis dala vokali, resp. diftongu divi daļās un izpaužas uotrās daļās grūdienā ar varbūtīgu iepriekšēju balsenes aizdarīšanuos, bet kas pa lielākai daļai pārvēršas vienkāršā balsis vājinājumā (IF. X, 144)“.

Tādā kārtā mēs redzam, ka Lindes nuovēruojumi pēc Šmits-Vartenbērga kontrolējuošiem eksperimentāliem datiem ir tikai tuvu patiesībai, resp. tikai apmēram pareizi. Un tiešām, pirmais raksturoojums stieptuo tuoni kā absolūti kāpjuošu (und nicht den gedehnten Mag. XVI, 2, 46), kamēr pēdējais pielaiž, ka viņš pēc savas dabas var būt arī vienkārši līdzens, stiepts. Linde uzskata balsenes aizdarīšanās momentu un čukstuoši izrunājamu uotruo vokaļu daļu par grūstā tuoņa svarīgākuo nuosacījumu. Šmits-Vartenbērgis turpretī apgalvuo, ka pilnīga balsenes aizdarīšanās dažreiz atlīdzinājas ar vienkāršu balsis vājinājumu; pēdējā gadījumā uotrai vokaļa, resp. diftonga daļai vajaga būt skanīgai (IF. X, 138). Pārbaudīt Lindes duomas par augstuma un spēka virziena sakrišanu tuoņa kustībā Šmits-Vartenbērgis nav spējis aiz viņa aparata — ķimografiona nepilnīguma.

13. §. Uotrais zinātnes vīrs, kas latviešu akcentu ir pētījis ar eksperimentālās metodes palīdzību, ir Žanis Puaro (Vox XXIII, 231—245, 1913. g.); šis pētnieks jau strādā ar daudz pilnīgāku aparatu, nekā viņa priekšgājējs Šmits-Vartenbērgis. Puaro ķimografions ir iekārtuots balsis krimšļu vibrēšanas reģistrācijai, kas duod iespēju zem mikroskopa izskaitīt grafikā attēluotuo vibrāciju pēdu garumus un nuoteikt attiecīgā tuoņa spēku un augstumu pēc attiecīgām vibrācijas pēdām (sal. 232.lapp.). Puaro, kā redzams, interesē latviešu garumu kvalitātes jautājums, it sevišķi jautājums par grūstās intonācijas dabu, kas slēdzams nuo sekuošiem viņa vārdiem: „Kāda ievērojama latviešu valuodas savādība, kā zināms, ir viņas speciālā akcentuācijas forma, kuŗa pazīstama bez tam arī dāņu valuodā zem nuosaukuma stød, Stoss, coup de glotte, glottis catch (op. c. 231)“.

Tālāk (232. lapp.) Puaro saka, ka vēl līdz šim un ļoti bieži jaunākā laika pētījumuos „grūdiens“ (Stoss), t. i. grūstā tuoņa raksturiskais moments tiek atzīmēts kā pilnīgs, bet momentāls balsenes aizdarīšanās rezultāts. Dāņu valuodā eksperimentālā pētīšanas ceļā konstatēts vienīgi balsis vibrēšanās pavājinājums, bet

latviešu valodā tuo četru persunu izrunā, kuŗus ir pārbaudījis mūsu autors, viņš nav atradis ne pārtrūkumu, ne arī rikles vibrēšanās pavājinājumu. Puaro duomā (233. lapp.), ka tādā kārtā jautājums jāuzskata par izšķirtu tikmēr, kamēr eksperimentālā ceļā nepierādīs pretējo. Mūsu autors nav konstatējis šinī tuoņa intensivitātē arī divkārtīgu virsuotni (237. lapp.), kuo atradis viņā Zīverss, tuo apliecinādamis vēl savas grāmatas Grundzüge der Phonetik<sup>5</sup>, § 585 — beidzamā izdevumā. Par grūstā tuoņa raksturīguo momentu Puaro atruod pēkšņu un ļuoti spēju spēka un augstuma kritumu skaņas galā, kuo viņš nūsauc par coup de glotte izpaušanuos. Mūsu autors neatruod gandrīz nekādas starpības arī grūstā (vārdā „bū't“) un krituošā akcentu tipa (vārdā „pū't“ 2 sg. imper.) starpā, juo, vispārīgi ņemuot viņš abus viņus raksturoo vienādi — kā kāpjuoši krituošus, ņemuot nuo muzikaliskā redzes stāvuokļa, un kā pakāpeniski, lēnām krituošus nuo dinamiskā skata punkta, kas nuovēruojams arī salīdzinājuot pieliktuo vārdū „pū't“ un „bū't“ schematus (sal. fig. 5 un 6). Tikai 239. lappusē viņš piebilst, ka formu „pū't“ un „bū't“ starpā ir arī sava izšķirība, kuŗa duras acīs, pie vienkāršas aplūkuošanas; vidus skaitļu rezultatuos viņa pazūd. Šī starpība izpaužas tādā kārtā, ka formas „pū't“ intonacijā sākuma stāvums paceļas daudz lēnāk, ka pirmajam maksimumam sekoo uotra virsuotne, un ka intensivitāte pieturas ilgī patskaņu centrā, izpauzdamās lieluos skaitļuos (60—100). Vārdā „bū't“ trūkst uotrās virsuotnes, stāvums ir daudz straujāks un intensivitātes kritums pēkšņāks.

Šie rezultāti pilnīgi saietas ar patiesību, juo Puaro nuovēruošanas objekts ir K. Skalbe, tās Vidzemes daļas iemītnieks (dzimis Vecpiebalgā), kur izrunā nedzirdam gandrīz nekādas izšķirības krituošās un grūstās intonācijas starpā, kur pēdējās raksturīgāka īpašība — grūdiens gandrīz izzūd, atlīdzinādamies vienīgi ar skaņas straujāku spēka un augstuma kritumu, bet krituošais tuonis atkal pēc savas dabas pieslejas stieptajam. Šī apvidus izloksnēs par balss pārtrūkumu jeb paūzi attiecīgā tuoņa vidū nevar būt ir ne runas. Interesanti ir salīdzināt šajā ziņā vārdū „pūt“ (pēc mūsu apzīmējuma = „pūt“ faulen) „pūt“ (= „pūt“ = blase), „būt“ (= būt) kurves citas persunas, Austruma-Vidzemes izluokšņu priekštāvja Ruozenieka izrunā, kas sastuopamas mums jau pazīstamajā Šmita-Vartenbērga rakstā (fig. X—XII); tur krituošā tuoņa kurves, nuo vienas puses, gandrīz pilnīgi līdzinās stieptā tuoņa kurvēm un nuo uotrās, stipri tuvuojas grūstās intonācijas kurvēm.

Par stieptā akcenta dabu sava pētījuma objekta izrunā Puaro raksta (243. lapp.), ka tas intonācijas un intensivitātes ziņā pēkšņi kāpjuoš lidz maksimumam, pēc tam turuoties apmēram tajā pašā

augstuma un spēka stāvuoklī. Starpību stieptā un krītošā, resp. grūstā tuoņa starpā viņš redz galvenām kārtām intervalā tiklab skaņas vispārīgas meldijas sākuma un beigu nuošu, kā arī atsevišķu, viņas raksturīgu daļu (pašu augstākuo un zemākuo galuotņu) starpā. Kamēr pirmā tipa akcentam šis intervals svārstās starp 1,25 temperētu pustuoņi un 1 veselu tuoņi, uotrā starp  $1\frac{1}{2}$ —2 tuoņiem, tamēr grūstā akcenta tipā pirmā daļā viņš sasniedz 2—3 tuoņu apmēru, kam pievienuojas vēl beigu krituma intervals kvintes apmērā, tā ka vispārīgi ņemot starp patskaņa maksimaluo virsuotni un viņa beigām viņš līdzinājas veselai sekundei (sal. 238. un 243. lapp.).

14. §. Ābele savā rakstā *Объ акцентовкѣ ударенныхъ простыхъ гласныхъ въ латышскомъ языкѣ* (Изв. о. р. я. и сл. И. А. Н. 1915 г. XX, 2, 152—196) mūs iepazīstina ar pētīšanas rezultātiem, kuŗas viņa ieguvusi registrējuot un analizējuot eksperimentalā ceļā Vidzemes izluokšņu vārdus ar trejāda tipa zilbju akcentu. Viņa izpētījusi tiklab skaņu kustības intensivitāti un intonāciju, kā arī muskulu nuojautu un gaisa izplūšanu nuo plaušām, kas darbuojas pie šuo skaņu rašanās. Lai gan Ābele apskata tuo pašu izluokšņu priekšstāvju runu (pa lielākai daļai), kuŗas ir pētījis Šmits-Vartenbērgis, tuomēr dažuos gadījumuos viņu pētījumu rezultāti šķīŗas. Tā piem. Ābele definē stieptā gaŗuma tuoņi kā kāpjuošu tiklab ar pieauguošu, kā krītuošu skaņas intensivitāti (166. lapp.); Šmits-Vartenbērgis turpreti viņu intensivitātes ziņā raksturoo kā kāpjuošu jeb arī līdzenu.

Mums nav zināms, kāduos fonetiskuos nuosacījumuos ir iegūti attiecīgi Ābeles aprakstītie gaŗie patskaņi. Ir taču zināms, ka viņu rakstura maiņa mēdz būt atkarīga nuo teikuma psiholoģiskā akcenta, nuo uotrā diftongu komponentu dabas un vēl citiem nuoteikumiem. Vienkārsā atstāstāmā teikumā minētais gaŗums mēdz būt līdzens, stiepts, neuzsvērtā stāvoklī krītuošs pat tajās ziemeļrietumu Kurzemes izluoksnēs, kur tā sauktās -ier -jeb -uor -izluokšņu grupās skaņu intonācijas dabū skaidrāku, gaišāku izteiksmi, kur viņas tiek spilgtāki marķētas, nekā Vidzemes vidienas izluoksnēs. Tuo mums apliecina visu pirmuo latviešu akcenta pētnieku — kurzemnieku nuovēruojumi un viņu termins gedeht.

Par krītuošā tipa akcentu Ābele izsakās (170. lapp.), ka tas pēc viņas konkrētiem datiem būtu saucams par kāpjuoši krītuošu, bet aiz tā iemesla, ka katra patskaņa ekskursijas pirmais moments sākas ar paaugstinājumu, tad šāds sākuma paaugstinājums nevar nuoderēt par zilbju akcenta tipisku iezīmi, tā tad arī nav svarīgs intonācijas dabas raksturoošanai. Šis uzskats ir pilnīgi pareizs, juo, ja mēs gribētu akcenta

tīpa raksturojumuos par nuoteicējiem uzlūkuot skaņas sākuma momentus viņas ekskursijas fazē, kuriem dažkārt aiz tīri mechaniskiem nuosacījumiem ir kāpjuošs raksturs, tad mums nāktuos katru zilbju akcenta tīpu nuosaukt par kāpjuoši krituošu.

Grūstā akcenta tīpa piemēri mūsu autoram ir vislielākā vairumā bez pilnīga vibraciju pārtraukuma (sal. 182. lapp.), tāpēc viņš neskaita, šādu pārtraukumu resp. balss pārtrūkumu par šī akcenta tīpisku parādību, kas nuosacītu viņa rakstura savādību. Ābeles intensivitātes kustības kurves — visas, turpretī, nuorāda uz spēju, gandrīz momentānu kritumu, un tāpēc viņa, skatuoties nuo akustiskā redzes stāvuokļa, par raksturisko grūstā tuoņa iezīmi skaita pēkšņuo tuoņa pazemināšanuos, pavādītu nuo sevišķas viņa tembra maiņas. Šim momentānajam intensivitātes kritumam — kā nuorāda Ābeles kurves — sekuo uotreizīga pastiprināšanās, neatkarīga nuo tam, vai pārtrūkums skaņā parādās jeb nē (183. lapp.). Pēdējais apstākļis apstiprina Ziversa duomas par divvirsuotņu intensivitāti latviešu grūstā akcenta kustībā.

Sava raksta beigās Ābele apskata tuos nuoteikumus, kas rada balss pārtraukumu grūstā tuoņa gaitā, un duomā, ka bez dažiem citiem iemesliem, šis pārtraukums jeb pauze skaņas vidū ir atkarīgs nuo patskaņa dabas. 190. lapp. viņa uzskaita arī citus iemeslus, par kuriem sacīsim kāduš vārdus nākamā paragrafā. Še tikai atzīmējam tuo, ka saistuošā runā pauze mēdz būt reta parādība pat ziemeļa rietumu Kurzemes izluokšņu -ier -jeb -uor -grupās, kur grūstā gaŗuma intonācijas tīps, kā jau augšā minējām, vienkāršu ļaužu izrunā izdzirdams visai skaidri, gaiši, kur viņš stipri, spilgti tiek marķets.

15. §. Pēc šī isā pārskata, kuŗu augšā pasniedzu par latviešu tuoniskā akcenta pētišanas rezultātiem, tiklab tiem, kuo ieguvuši vienkāršās nuovēruošanas jeb subjektivās metodes priekšstāvji, kā arī eksperimentalās jeb objektivās metodes reprezentanti, es uz šuo rezultātu datu pamata, tāpat arī uz savu pašu nuovēruojumu pamata, kas sakuoruoti manuos rakstuos Опыт эксперим.-фонетич. изслѣдов. латышск. ударения (РФВ. 1914 №№ 3 un 4), О природѣ латышск. прерывистаго ударения (vēl ruokrakstā), ievēruojot arī prof. Bogorodicka pētījumu De l'accent lette (Revue de Phonet. t. 3, f. 2), par kuŗa objektu pats esmu bijis, — nāku pie sekuoša vispārīga slēdziena par latviešu valuodas trīstīpu gaŗumu.

1) Latviešu tuoniskā akcenta tīps, kuŗš pazīstams zem nuosaukumiem „stiepts“, „slaidis“ un „kāpjuošs“, ir pietiekoši nuoskaidruots un akurati apzīmēts nuo augšā minētiem pētniekiem un pēc savas dabas pilnīgi piemēruojas šiem nuosaukumiem, zināms, atkarībā nuo vietas,

t. i. dialekta jeb izluoksnes, kā arī atkarībā no vārda akcenta vietas un vēl citiem fonetiskiem nuosacījumiem. Vispārīgi ņemot šī akcenta tipā tuonim uzsvērtā vārda zilbē ir līdzens, stiepts raksturs, kā uz tuo aizrāda Šmita-Vartenbērga, Puaro un mana paša (op. cit. 215. lapp.) eksperimentālie dati, un kuo apliecina daži agrākā laikmeta subjektīvie pētnieki. Termins „stiepts“ (протяжный, длительный) tadēļ arī tiek lietots Endzelīna (piem. „Latv. gr.“ 11., § b), P. Šmita un citu rakstuos. Tādējādi šis tuonis ir dzirdams atstāstāmuo teikumu uzsvērtajās zilbēs gandrīz visā Kurzemē, Vidzemē un Vitebskas guberņas latviešu daļās. Tuomēr dažās izluoksnēs viņš tiek arī gaišāki, skaidrāki izdalīts, spilgtāki attēluots, spēcīgāki marķēts, piem. ziemeļa vakaru Kurzemē -ier -jeb -uor- izluoksnēs; tāpat arī neskaidrāki izdalīts, vājāki marķēts, tā ka tuvuojas krītošas dabas tuonim, piem. Kurzemes un Vidzemes austrumu daļu izluoksnēs. Augškurzemes izluoksnēs šim akcenta tipam tuoņa ziņā nereti ir kāpjuošikrītuošā daba.

Pārrunājamā zilbju akcenta tipa dabas maiņa ir atkarīga arī no fonetiskiem nuosacījumiem. Jautājumu, izsaukumu teikumos (sal. mana raksta 216. lapp.), it īpaši teikuma galā, atsevišķuos spēcīgi intonētuos vārduos tīri skaidri sadzirdams viņa kāpjuošais tuoņa raksturs, tāpat arī dažās mierīgi runātās frazās un normali intonētu vārdu fonetiskuos nuosacījumuos, piem. -i diftonguos. Neuzsvērtuos balsieņuos, resp. vārdu sufiksuos, kā piem. tāmnieku -uōl- vārduos „ābuōl(i)s“, „miņuōn(i)s“ etc., tāpat arī dažuos mierīga nuostāsta frazu fonetiskuos nuoteikumuos, piem. -u diftonguos mēs skaidri nojaužam krītuošu raksturu stiepta akcenta tuonī.

Runājuot par minētā akcenta tipa intensīvitati, jāsaka, ka vispārīgi ņemot viņa kustas paraleli ar intonāciju, kuo apliecina lielākā eksperimentāluo pētījumu schematu (grafiku) daļa; tuomēr variācijas ar manāmi kāpjuošu intonāciju intensīvitate uz skaņas galu paaugstinās (sal. Ābeles rakstā, 16. fig.; sal. arī lejāk leišu akcenta pārskatā).

Par stieptā tipa zilbju akcenta gaŗumu jāsaka, ka viņš stipri variē atkarīgi no vietas. Izluoksnēs ar spēcīgi marķētu kāpjuošu tuoni (piem. ziem.vak. Kurzemē) gaŗums sasniedz ievērojamu apmēru; Kurzemes vidienā un rietumu Vidzemē šis apmērs ir daudz mazāks, bet visisāks šī tipa akcenta gaŗums ir Kurzemes un Vidzemes austrumu daļās.

Dialektiski Kurzemē sastuoþams arī pusgaŗums ar stieptu jeb mazliet krītuošu tuoni; viņš attīstās sekundāri no īsiem uzsvērtiem patskaņiem, ja vārda forma zaudē gala zilbi. Tā Dundagas izluoksnē nomīnu paradigmās saknes zilbē mijas pusgaŗš patskanis balsīgu kons.

priekšā ar īsu atkarīgi nuo gala zilbes patskaņa izzušanas jeb neizzušanas, sal. sg. n. nām (= nams), l. nāmā, d. nāmam, i. nām, g. nām (= nāma); pl. n. nām (= nāmi), a. nāms (= nāmus), l. nāmēs (= nāmuos), d. nāmēm (= nāmiem), i. nāmēm, g. nām (= nāmu). Pusgaņums dzirdams arī pārejas izluoksnēs nuo -ier-, -uor- grupas uz -ir-, -ūr- grupu — šaura patskaņa savienojumuos ar likvidu „r“: -īr-, -ūr- pirksts, tīrgus, kūrt etc., tā piem. Bātē, Dinsdurbē, Pormsātē, Asītē, Kalētuos un vienā Nīces daļā.

2) Krītuošā akcenta tips sastuopams, galvenām kārtām, Vidzemes vidienā, austrumu Kurzemē (Augškurzemē), sākuot gandrīz nuo pašas Lielupes, bez tam arī Latgales un Vidzemes malienas izluoksnēs. Tiklab intonācijas, kā arī intensivitātes ziņā, kas skaņas kustībā virzās paraleli, šuo akcenta tipu visi pētnieki raksturo kā krītuošu, dekrescentu. Atkarīgi nuo vietas, resp. izluoksnes viņš stipri mainās tiklab savā kvantitatē, kā arī kvalitātē; pēdējā gadījumā viņš gan tuvoojas stiepta tipa akcentam, gan arī grūstam, dažkārt pat pilnīgi sakrīdams ar pēdējuo (sal. Puaro un citu eksperimentālistu kurves).

3) Vieni pētnieki, sevišķi subjektīvistī, uzlūkuo par grūstā akcenta raksturīgāko iezīmi pilnīgu balsis pārtrūkumu jeb pauzi skaņas vidū, t. i. pilnīgu balsenes aizslēgšanuos (Linde) un čukstuošā balsī izrunājamu uotruo skaņas daļu, uotri — divvirsuotņu intensivitātes kustību (Sievers op. cit.). Eksperimentāluo pētījumu rezultāti nuorāda, ka skaņas pārtrūkums var arī nenuotikt, iztrūkt un ka par raksturīgāko grūstā akcenta iezīmi jāskaita grūdiens skaņas vidū, spēja augstuma un spēka krišana uz skaņas galu jeb viņas uotrā daļā (sal. attiecīgas Šmita-Vartenbērga, Puaro, Ābeles kurves).

Šī latviešu valuodas akcenta tipa dabas maiņa spēlē zināmu lomu visi tie nuoteikumi, kuji arī pārveiduo kāpjuoša tuoņa raksturu un par kujiem mēs jau augšā rakstījam.

Uz savu piedzīvojumu un arī vairāk kā septiņdesmit latviešu izluokšņu pētījumu pamata varu sacīt, ka sakarīgā normala tempa runā pārtraukums grūsti intonētā skaņas vidū nekur nav sastuopams, ja varbūt, tad vienīgi tikai zem teikuma psiholoģiskā akcenta tas ziemeļarietumu Kurzemes -ier- jeb -uor- grupu izluoksnēs, kur skaņas laušana grūstā tipa tuonī tīri nepatīkami aizkaļ mūsu dzirdi. Sī laušana ir citu latviešu izluokšņu runātājiem tik uzkrītoša un nejauka, ka viņi dažkārt kaitina minētās Kurzemes daļas iedzimtuos ar tuo, ka imitē viņu izrunu, stipri lauzdami un pārraudami patskani attiecīguos vārduos. Kurzemes vidienā, tāpat arī Vidzemes vakara daļā grūstāis tuonis nav tik skarbs un ausīs krītuošs, kamēr Vidzemes un Kurzemes rīta daļas izluoksnēs šis skarbums pilnīgi pazūd, un ar

vienkāršu dzirdi ir grūti izšķirt grūstuo tuoni nuo krītuošā (sal. attiec. Puaro u. c. eksperim. datus); tikai visai vājš, tikkuo izmanāms raksturīgs grūdiens itkā viegla balss aizķeršanās, pastiprināšanās pie mazliet saisināta skaņas garuma mums aizrāda uz skaņas grūstā tuoņa dabu. Neuzsvērtās zilbēs, piem. l. sg., adiect. defin. galuotnēs, dažu verbu 2. u 3. sg. et. pl. praes. grūstais tuonis pēc sava rakstura pilnīgi tuvojās krītuošam tuonim pat ziemeļa vakaru Kurzemes izluoksnēs.

Aiz šiem iemesliem arī viens nuo šī raksta uzdevumiem būs pierādīt, ka grūstais tuonis attīstījies nuo krītuošā jeb, varbūt, arī uotrādi, uz kuo it nejauši arī aizrāda Šmits-Vartenbērgis (IF. X, 144).

16. § Lai lasitājs varētu labāki orientēties latviešu izluokšņu sakārtuojumā pēc tuoniskā akcenta tīpiem, mēs turam par iespējamu apvienuot latviešu apdzīvuotuos nuovadus divi lielākās daļās, pie kam par izejas punktu šinī apvienuojumā ņemam Kurzemes guberņu. Šīs guberņas dialektus, resp. izluoksnēs uz akcentu tipu izrunas spilgtuma pamata mēs apvienuojam „-nieku“ un „-iešu“ („-niešu“) grupās pēc izluokšņu priekšstāvju vietu nuosaukumu sufixiem: -nieks un -ietis (-nietis)\*).

Kurzemes ziemeļa vakaru izluoksnēs pieder pie pirmās grupas, bet Augškurzemes — pie uotrās. Lielupe ir ruobeža viņu starpā. -nieku izluoksnēs sastuopams divējāds zilbju akcenta tips: stiepts (kāpjuošs) un grūsts ar spilgtāki marķētu tuoni un ievēruojamu skaņas garumu; -iešu izluoksnēs nuovēruojami pa lielākai daļai trīs akcenta tīpi ar vājāki marķētu tuoni, pat pilnīgi izzūduošu tipu starpību un daudz īsāku skaņas garumu, nekā pirmajā izluokšņu grupā. -nieku grupā akcentu tipu izdalījumā pa vārdiem ir nuovēruojama apbrīnuojama vienādība un pastāvība visās izluoksnēs, -iešu grupā turpreti — pilnīgs tuoņa tipa jukums pa vārdiem, kas cēlies dažkārt arī zem analogijas iespaida. Tā piem. viena nuo Saukas pagasta izluoksnēm, kuŗā dzirdams labi marķēts grūstais tuonis, izplata šuo tuoņa tipu pa visām vārdu saknēm ar -ier- un -uor- zilbēm; Gārsenes izluoksnē visuos garumuos ieviesies tikai viens tuoņa tips — stieptais, tāpat arī Elksnišu pagasta izluoksnē.

-nieku izluokšņu grupa savukārt apvienuo -ier- (-uor-) un -ir- (-ur-) pagrupas pēc -ir- un -ur- savienojumu refleksa (= i.-e. ɪ) šinīs

Vieni Kurzemes pagastu iedzīvotāji sevī sauc par -niekiem: Kābilnieki, Sāldenīeki, Aūcenīeki u. t. t.: citi — par -iešiem (-niešiem): Daūdzevieši, Saūcieši, Sālanīeši u. t. t. Sagrupējums uz -nieki un -(n)ieši ir stingri nuoturēts. Vakaruos nuo Lielupes sastuopami vienīgi nuosaukumi ar sufixu -nieki; rituos no šīs upes sufixs -nieks pamazām pārmainās ar -(n)ietis, tā piem. vēl: Iēcavnīeki, Vecumnīeki, bet jau: Līndieši, V.- un J.-Saūlieši etc.

izluoksnēs. Šuo pagrupu ruobežas iet stūra veidā, kuŗa pakšis guļ aiz Saldus, aizsniegdams Striķu pagastu, un sāni izplezdamies iet pa kreisi apmēram pār Nīgrandi, Durbi un Grobiņu uz jūras pusi, pagriezdamies aiz Grobiņas uz dienvidiem un ietverdami Nīces jūrmalas juoslu; pa labi apmēram pār Gaiķiem, Kabili, Rendu, Talsiem uz Rīgas jūras līci (sal. 6. isoglosu Bilenšteina „Atlas der Ethnologischen Geographie des Lettenlandes“).

-ier-un -ir-pagrupas izšķir arī -iešu izluoksnes. Pirmā aptver Augškurzemes austruma nuomalu, apmēram Elkšņu, Saukas, Biržu, Abelišu, Salas pagastus, un arī daļu Inflantijas (sal. op. c. 30. isoglosu).

-nieku izluokšņu -ir-pagrupai pieslēdzas vakaru un vidus Vidzemes daļas, bet ar -iešu grupu sabiedrojas Vidzemes austruma daļas izluoksnes un vispārīgi ņemot Latgales izluoksnes, resp. tuo latviešu nuovadu apvienojuma izluoksnes, kuŗu mēdz saukt par „Latvijas malieni“.

## II. nuodaļa. Leišu akcents.

### A. Pētījumi ar vienkāršu nuovērošanas jeb subjektīvaskuo metodi.

17. §. Kauču gan leišu valuodai piekrit svarīgāka luoma šuolaiku lingvistiskā zinātnē un tai ir lielākas priekšruocības un lielāka nuozīme salīdzināmās gramatikas pētījumuos, nekā viņas jaunākai māsai, latviešu valuodai, tuomēr akcenta jautājums — kā jau ir aizrādīts izgājušās nuodaļas sākumā — viņā mazāk apstrādāts. Tiesa, arī leišu akcentoloģijas literatūrā mēs sastuopam abējādus pētījumus, iegūtus tiklab vienkāršā nuovērošanas jeb subjektīvaskā ceļā, kā arī ar objektīvaskas jeb grafiskās, eksperimentālās metodes palīdzību; tuomēr minētais jautājums viņuos nav tik vispusīgi apgaismuots, kā attiecīguos darbuos par latviešu valuodu, tāpat arī pētnieku skaits tur daudz mazāks.

Leišu valuodā divējāda patskaņu tuoņa īpašība tika uzīta daudz agrāk, nekā latviešu valuodā; viņa ir jau pazīstama gramatikas Universitātes linguarum Litvaniae, Vilnae 1737. (sal. Barauska rakstu Сборн. о. р. я. и сл. 65, 19. lapp. un Rozvazdauska IF. VII, 260) autoram. Par divējādu zilbju akcentu itkā nuo jauna atkal sāka rakstīt Fr. Kuršaitis savā darbā Laut und Formenlehre, kas iznāca Karalaučuos 1849. g., izšķirdams leišu valuodā divus akcentus: gestossen — grūstu, ja tuonis krīt nuo paša skaņas sākuma, un geschliffen —

stieptu (burt. „slīpēts“), ja viņš savās sākuma daļās saturas uz zemāku pakāpi, bet pēc tam uzreiz paceļas, paaugstinās uz skaņas galu. Latviešu valodā jau līdz tam laikam, kā mums zināms, bija parādījušies vairāk pētījumi par šuo jautājumu. Kuršaitis atgriežas pie viņa vēlreiz savas vācu un leišu vārdnīcas priekšvārdā (XIII—XVI lapp.), kas iznāca klajā 1870. gadā, vēlēdamies, vienkārt, nuoteiktāki un pilnīgāki definēt leišu valuodas tuoniskuo akcentu, itkā nuo viņa pirmā atrastu parādību, itkā vēl nekur galīgi neizteiktas duomas — runājuot paša autora vārdiem — ari pat minētā Laut und Formenlehre nē (sal. op. c. XIII lapp. un Gramm. d. litt. Spr. § 199, tāpat ari Baranauska op. c. 65., 13. lapp. un sk.), — uotrkārt, atbildēt Šleicherim, kas nepiegrieža vērības Kuršaiša mācībai par leišu valuodas grūstuo un „slīpētuo“ akcentu, bet nuoliedza līdzīga divējāda tuoņa eksistenci viņā (sal. viņa Gramm. der litt. Sprache § 11. Anmerk.).

Šleichers ari patiešām neatšķir leišu garajuos patskaņuos grūstā tuoņa nuo kāpjuošā (ibid.). Tikai par diftongiem ai, au, ei viņš raksta, ka tie esuoť dažādi izrunājami: vai nu abi elementi viņuos skauuoť vienādi stipri, jeb tikai pirmais nuo viņiem izdaluoťies spēka ziņā, kamēr uotrais mēdzuoť būt vājš; dažuos augšleišu apviduos uotrais elements neesuoť nemaz sadzirdams (op. c. 13. lapp.).

18. §. Sīkāku definīciju par divējāduo leišu tuoniskā akcentā dabu Kuršaitis sniedz savā leišu gramatikā (57.—64. lapp.), piesprauzdams saviem paskaidrojumiem ari nuošu apzīmējumus, pie kam, neievēruojuoť Šleichera duomas, viņš ari še aizrāda, ka tuoņa atšķirība skaidri nuojaužama tiklab vienkāršuos garajuos patskaņuos, kā ari diftonguos, semidiftonguos un semitritonguos, saprazdams zem pēdējiem diftongiskuos patskaņu savienuojumus ar vienu likvidu jeb nasali un ar diviem tādiem.

Par grūstuo tuoni Kuršaitis saka, ka dažuos apgabaluos viņa izrunā skaņas beigu daļas, skaņas „atoms“ attrūkstuoť, atlūzťuoť un pievienuojuoťies (angehängt) jeb nuoteiktāki „piedvēsuoťies“ (angestöhnt) nākuošajai skaņai, līdzīgi skaņai ar vieglu dvēsmu, kuo schematiski varuoť apzīmēt sekuoši:  $\overline{tee}e -\bar{e}$  -was jeb  $\overline{tee}e -\bar{a}$  -was (=tēwas)\*\*),  $\overline{kā}āā -\bar{a}$  -snis (=kāsnis),  $\overline{dū}ūūū -\bar{a}$  -na (=dūona). Šis ir tas pats grūstā tuoņa raksturs, kuŗu mēs aplūkuojām zem tā paša nuosaukuma

\*) Pētījumu pārskatā par leišu valuodas akcentu paturu Kuršaiša terminu „slīpēts“, lietuojuoť viņu pēdīnās.

\*\*\*) Kuršaiša zīmes ir: ' apzīmē grūstu toni, ~ — „slīpētu“, ' — uzsvērtā patskaņa īsumu.

latviešu valodā un kuŗš sastuopams visās -nieku izluoksnēs, kā arī tajās, kas šim beidzamajām pieslēdzas. Leišu valodā grūstais tuonis dzirdams tikai zemiešu dialektā, ar spilgti izdalītu grūdienu tuoni, resp. ar balss pārtraukumu vienīgi nedaudzās šī dialekta rietumu izluoksnēs (Palāngas, Vieķšņu, Veivirzenu etc.) un viņu kaimiņu izluoksnēs Prūšu Lietavā. Visā lielumlielā pārējās Lietavas izluokšņu vairumā, t. i. augstiešu apviduos dzirdams ne grūstais, bet krītošais jeb dekrescentais dabas tuonis, līdzīgs attiecīgajam tuonim latviešu valodā. Uz tuoņa krītošo dabu aizrāda arī tie nuošu apzīmējumi, ar kuŗiem Kuršaitis uzskatāmā kārtā attēluo grūsta tipa akcenta kustību. Tādai tuoņa dabai vajadzēja piemērot arī attiecīgu terminu: „krītošais“ jeb „dekrescentais“, bet ne „grūstais“, kuŗu vienīgi var lietuot nupat aprakstītā tuoņa apzīmēšanai (sal. Барановский, Сборн. о. р. я. и сл. И. А. Н. 65., № 9, 9). Par nuoželuošanu jā-saka, ka šis termins, Kuršaiša celts, bet nepietiekuoši pārbaudīts, izplatījies tālāk un pārgājis uz visiem salīdzināmās gramatikas šī jautājuma rakstiem un figurē kā termins, kas apzīmē vienu no pieņemtiem intonāciju tipiem indoeiropiešu pirmvalodā.

Otroo leišu valodas akcenta tipu Kuršaitis raksturo kā strauji kāpjuošu — skaņas sākuma daļās zemū, bet pēc tam itkā ar pēkšņu lēcieni pacēlušuos uz augstāku tuoni, tā ka patskanis izklausās itkā tas sastāvētu nuo divi daļām. Tādas dabas tuoni vajadzēja apzīmēt ar terminu „kāpjošs“, bet ne „slīpēts“ (geschliffen), kas būtu itkā kaut kas līdzens, stiepts. Tāds šis tuoņa tips leišu valodā patiešām arī ir. Tikai tās izluoksnēs, kur tuoni stipri velk un patskanis jeb diftongs sasniedz ievērojamu garumu, tur stiepts tuonis dažuos fonētiskuos nuosacījumuos dabū kāpjuošu raksturu (piem. minētās zemiešu izluoksnēs); izluoksnēs ar īsāku patskaņu garumu, piem. Panevezes apriņķa ziemeļa vakaru u. v. c. izluoksnēs, šim tuonim nuovērojama krītošā daba nevien neuzsvērtās zilbēs, bet arī zem uzsvāra.

Kuršaiša „slīpētā“ akcenta pēdeja definīcija mazliet atšķiras nuo agrākās, kas ievietuota viņa vārdnicā (Deutsch-litt. Wörterbuch, XIII). Tur viņš raksta, ka „slīpēti“ izrunājamā zilbē tuonis sakumā turūoties zemākā stāvoklī, pēc tam savā tālākā kustībā vēl mazliet pazeminājuoties, tad nuo jauna atkal paaugstinājuoties un uz galu sasniedzuot augstākuo pakāpi. Vispārīgi ņemot tuoņa kustības virziens raksturoots abuos gadījumuos vienāds, tikai nupat minētā, agrākā definījumā autors apzīmē kāpjuošu tuoni par divvirsuotņu tipu, turpretī nuo vēlākā raksturojuma slēdzams, ka šim leišu valodas akcenta tipam piemīt tikai viena galuotne, viens tuoņa maksimums.

19. §. Kauču gan Kuršaiša leišu akcenta definīcijās (sc. „slīpētā“) manāma tāda svārstīšanās, tuomēr viņa nuopelni, kā pirmā, kas licis stipru pamatu leišu akcentoloģijā, ir lieli: viņa akcenta principi vispārējos vilcienos ir pieņemti lingvistiskā zinātnē un uzglabājušies nemainīti līdz šai dienai.

Vesela pētījumu virkne par leišu zilbju akcentu, kas parādījusies drīz pēc Kuršaiša rakstu publicēšanas, nodarbojas vienīgi ar viņa definīciju korigēšanu, bet ir liels jautājums, vai tie ir skaitāmi savuos pamatuos par noteiktākiem un patiesākiem, pirmkārt, jau tādēļ, ka akcenta dabu var definēt, raugoties nuo dažādiem redzes stāvuokļiem, uotrkārt, ka definējamie tipi mainās, būdami atkarīgi nuo dialekta un pat izluoksnes.

Še man prātā ir tie pētnieki, kuŗi, nodarbojuoties ar citiem specialiem jautājumiem, aizķēruši leišu akcenta jautājumu tikai sakarā ar tiem, kā piem. Zīverss, Māzings, Leskīns un Brugmanis; viņus es atšķīru nuo tiem pētniekiem, kuŗi mums snieguši specialus darbus par leišu akcentu gan ar vienkāršu nuovēruošanas, gan ari eksperimentalās metodes palīdzību.

20. §. Zīverss mums sniedz „slīpētā“ akcenta vispārīgu charakteristiku, raugoties nuo intensīvitātes redzes stāvuokļa un nuosauc (Grundzüge der Lautphysiologie 1876, 116, 117) šuo akcenta tipu par divvirsuotnīgu, paskaidruodams, ka skaņa pēc tam, kad tā jau sasniegusi visaugstākuo intensīvitātes momentu, pastiprinās vēl uottreiz savā gaitā, t. i. sasniedz uotru intensīvitātes virsuotni, kas tuomēr apmēra ziņā paliek pakaļ pirmajam spēka maksimumam. Bez tam mūsu autors piezīmē, ka minētais akcenta tips it skaidri nuovēruojams ari leišu valuodā. Kauču gan Māzings — par kuŗu tūlit runāsim — atspēkuo šīs Zīversa duomas, tuomēr pēdējais nemaina savus uzskatus par leišu akcenta dabu ari turpmākuos savas grāmatas izdevumuos (sal. 2-trā, 171. lapp., 3-šā 203., 4-tā 209.) līdz pat 5-tajam izdevumam (219.—220. lapp.), kur viņš par leišu akcentu vairs nemaz nepiemin.

Ja pieņemam, ka skaņas augstuma kustība virzās paraleli ar spēka kustību, tad pretruna Zīversa „slīpētā“ leišu akcenta definīcijas un agrākās Kuršaiša definīcijas (Wörterbuch, l. c.) starpā izpaužas vienīgi virsuotņu izstatišanās; ja pieņem, ka intensīvitātes kustība savā virzienā nesaietas ar intonācijas kustību, t. i. ja „slīpētais“ akcenta tips ruodas kāpjuoši kustuoies skaņas augstumam un krituoši virzuoties spēkam (kā tuo daži apgalvu), tad pretrunas minēto definīciju starpā nav nekādas.

21. §. Māzings (Die Hauptformen des serbisch-chorwatischen Accents, 47. lapp. 2. nuod.) pretuojas Zīversa uzskatam par divām inten-

sivitates galuotnēm minētā leišu akcenta tipā un nuorāda uz tuo, ka Kuršaitis nuoteic šī tuoņa raksturu rauguoties nuo viņa augstuma, bet ne nuo intensivitates kustības virziena; tāpēc viņš ari, vispārīgi ņemuot, ir vienis prātis ar vēlākuo Kuršaiša definīciju (Gramm. d. litt. Spr., l. c.), bet nenuoliedz ari divvirsuotņu principu, resp. tuoņa pazemināšanuos skaņas vidū, kuo Kuršaitis pielaiž savā agrākā definīcijā (sal. op. c. nuod. zem 48. un 49. lapp.).

22. §. Leskīns kritizē Kuršaiša definīcijas, iziedams nuo leišu un slavu akcentu attiecības stāvuokļa. Ir zināms, ka Fortunatovs uz krievu „pilniskanīgu“ vārdu (ar -opo-, -оло-, -ере-, -еле- skaņu kuopuojumu sastāvu) pamata slēdz (Arch. f. sl. Phil. IV, 575), ka slavu kāpjuošajam tuonim stāv pretī leišu krītuošais, sc. grūstais un slavu krītuošajam — leišu kāpjuošais. Leskīns atruod (Untersuch. über Quantität und Betonung in den slavischen Sprachen, B. XIII d. Abhandl. d. phil.-hist. Kl. d. königl. Sächs. Ges. d. Wissensch. № VI, 552), ka tādu acīm redzamu pretrunu akcentu tipu izdalīšanā šuo divu baltu un slavu valuodu priekšstāvju vārduos var izskaidruot tikai uz divu iemeslu pamata: vai nu ar tuo, ka laika straumē, intonacijām vienā jeb uotrā valuodā mainuoties, ir zudusi tuoņa īpašību vienādība, vai atkal ar tuo, ka Kuršaitis ir nepareizi definējis leišu akcentu tipus. Pēc viņa duomām beidzamais iemesls liekuoties būt varbūtīgāks — tas esuot fakts. Pēc Leskīna nuovēruojumiem — uz savu dzirdi viņš pilnīgi palaižas (ich glaube auf mein Ohr sicher verlassen zu können) — leišu „slīpētais“ tuonis sākuoties ar augstāku un stiprāku nuoti un pēc tam pazeminājuoties un kļūstot vājāks. Uotreizīguo tuoņa paaugstināšanuos un pastiprināšanuos mūsu autors nedzirduot; viņa auss uzķeruo, ka uotrā, zemākā un vājākā gaņas zilbes daļa, kas diezgan gaņa, laika ziņā, esuot vienāda ar pirmuo, stiprākuo, augstākuo daļu, tā ka zilbe, nepārtraukta izelpuojamas gaisa strāvas ziņā, daluoties pēc savas intonācijas divi līdzīgās daļās.

Tādējādi Leskīns definē leišu „slīpēto“ tuoni (lietuojuot Kuršaiša vārdu) kā krītuošu tiklab intensivitates, kā ari augstuma kustības ziņā. Ka ari šāda definīcija var būt pareiza atkarīgi nuo izluoksnes, uz tuo mēs jau aizrādījam netiešā kārtā, augšā apcerēdami (24 lapp.) Kuršaiša uzskatus; plašāki par tuo runāsim savā vietā. Še mūs interesē tikai vēl viens apstāklis, pruoti: kādēļ Leskīns, kam acīs duņas slavu un leišu akcentu attiecību starpība, galvenām kārtām nebalstās uz latviešu akcenta, juo tuoņa tipu vienādība attiecīguos vārduos pedējā un slavu valuodā ir taisni pārsteidzuoša, un šitāda intonaciju vienādība varbūt ir cēlusies kuopīgi ar citiem vienādiem nuosacijumiem, piem.

akcenta vietas mainīšanu, pēdējās vārda zilbes saukšņu; sal. piem. krievu: во́ронъ, во́рона, де́рево, бе́реза, u. c. ar latviešu: (kuo)-vārnis, vārņa, tāmņ. dār(v)a, bērzs, u. c. Pie šī jautājuma pakavēsīmies vēl vēlāki.

23. §. Runājuot par Brugmani (Grdr.<sup>1</sup> I, § 691) jāsaka, ka viņš, tāpat kā Zīverss, skaita leišu „slīpētuo“ akcenta tipu par divvirsuotnīgu skaņas spēka kustības ziņā, pie kam virsuotņu nuovietuojums viņam ir uotrāds, ja salīdzinām ar Zīversa nuovietuojumu. Vēlākā izdevumā (Grdr.<sup>2</sup>, I, 2, § 1078) Brugmanis saka, ka šim tuoņa tipam nevaruot duot vienādu definējumu, juo viņa raksturs mainuoties atkarīgi nuo vietas, t. i. dialekta jeb izluoksnes.

24. §. Baranausks pavīsam citādi izskaidruo leišu akcenta raksturu, nekā Kuršaitis. Pirmais neizšķīr ne grūstu (gestossen), ne kāpjuošu (geschliffen) tuoni, kuŗus atruod uotrais savā mātes valuodā, un tulkuo šuo parādību pēc sava uzskata. Baranausks izšķīr tikai akcentu un uzsvaru (ударение, ср. сб. о. р. я. и сл. И. А. Н. LXV, 9, 20 lapp. u. sk.). Zem akcenta viņš sapruot gaŗumu, kuŗš pats par sevi ir kaut kas sevišķs, atšķīrīgs nuo uzsvara. „Akcents izpauŗ zilbes izrunā viņas pilnīgu kvantitati un pilnīgu sastāvu. Uzsvars ir tikai viņa sastāvdaļa, kas neaptveŗ visu zilbi, bet aizņem vienīgi tā kvantitatīvu momentu; aiz tuo tad uzsvars ir vienāds īsās un gaŗās zilbēs ar šādu vai tādu sastāvu,“ tā raksta mūsu autors (l. c.).

Labāki mēs izluobam Baranauska uzskatus nuo Hugo Vēbera raksta Ostlitauische Texte XXIII. Tur ir sacīts, ka leišu akcents (t. i. uzsvars) nav ne trejāds, ne ari divējāds, bet vienējāds vien, vienkāršs un vienmērīgs visuos dialektuos; viņš nav ne „slīpēts“ (geschliffen), ne ari „grūsts“ (gestossen) jeb „griezts“ (geschnitten) — viens priekš īsas zilbes — bet viens un tas pats. Viņš nekrīt uz visu zilbes kvantitati, bet tikai uz vienu viņu moru un izpauŗ ar tuo tiklab zilbes kvantitati, kā ari viņas kvantitates sekas un stāvuokli. Zilbes sastāvu tādā kārtā mūsu dzirde izšķīr ar akcenta palīdzību. Tā mums ir liecība, ka Baranausks zem uzsvara (ударение) sapruot tikai spēka maksimumu skaņas kustībā. Viņš neizšķīr leišu gaŗumu izrunā divus kustības faktoros — spēku un augstumu, kuŗi pa lielākai daļai virzās paraleli, izpauŗdami vienu vai uotru skaņas meldijas nuokrāsu, bet kuŗi var ari savā kustības gaitā atšķīrties viens nuo uotra, nesakrist. Tā piem. leišu kāpjuošā zilbju akcenta tipā pēc dažu duomām (sal. Томсонъ, Общ. языковѣд.<sup>2</sup>, 226) augstums uz skaņas galu kāpj, bet spēks krīt. Šīnī gadījumā mūsu autoram par uzsvaru jāpieņem spēka maksimums. Baranauskam, kā jau teikts, nav skaidrs tas fakts, ka katrs

gaŗums izpauŗas divu faktoru kustībā — spēka un augstuma un ka tādēļ gaŗumu var apskatīt nuo divi pusēm — nuo augstuma virzīšanās puses, kā tuo dara Kuršaitis, izšķirdams šini ziņā divi gaŗas skaņas meldijas tipus, un nuo spēka kustības puses, kā mūsu autors, uzķerdams gaŗā skaņā vienīgi šituo raduoŗuo faktoru. Tādā kārtā leīŗu valuodas gaŗumu Baranausks pieņem kā kaut kuo absolutu, neatkarīgu nuo šiem diviem faktoriem, un izšķiŗ vienīgi skaņas kvantitates dažādību laika ziņā: īsu, vidēju un gaŗu. Īsās skaņas sastāv nuo vienas moras ar uzsvaru uz tās, vidējās — nuo divām morām, nuo kuŗām monoftonguos ar uzsvaru tiek izdalīta tikai uotrā, gaŗās — nuo trim morām, pie kam uzsvēŗta var tikt tiklab pirmā, kā ari uotrā mora. Bez šiem trīs gaŗumu tipiem viņš leīŗu valuodā atruod ari vēl ceturtuo — četrmorīguo jeb anormaluo gaŗumu.

Tā kā mūsu autors pielaiŗ tikai vienējādu gaŗumu, tad nuoģegums par vienādu, stieptu tuoni, ar vienmēŗīgu spēka kustību ar tuo viņa teorijā ir izslēģts.

Minuot par atsevišķu gaŗuma veidu Baranauska teorijā, par tā sauktuo „vidējuo“, kuŗš plaši tiek izlietuots par mēŗauklu indoeiropieŗu pirmvaluodas patskaņu kvantitates nuoteikšanā, atzīmējam, ka par viņu runāsim savā laikā, kad pārspriedīsim par Šmita-Vartenbēŗģa leīŗu gaŗumu pētiŗanas rezultātiem, kuo tas izdarījis ar eksperimentālas metodes palīdzību. Še aizrādīsim tikai uz tuo, ka Baranausks grupē leīŗu gaŗās zilbes atkarīgi nuo uzsvara ar vislielākuo matemātisku nuoteicību (sal. op. c. 28.—30. lapp. 48 dažādības). Valuodas parādības, kas, vienkāŗt, atkarīģas nuo mūsu iekŗēģiem pārdzīvoģumiem, nuo mūsu psihiskas darbības attiecīģā runas āŗēģās izpauŗšanās momentā, uotrkāŗt, nuo āŗēģiem, fonetiskiem, morfoloģiskiem un sintaksiskiem nuosacīģumiem, hemitīgi mainās un nav nuoteicamas un aprēķināmas ar tādu matemātisku akuratību, kā tuo iespēģ Baranausks. Leskīns (IF. XIII, Anz. 80—85) nuosauc Baranauska teoriju par mākslīgu, kauŗu gan atzīst, ka pati par sevi tā ir konsekventi pareīģa; tāpat ari viņš atruod un izskaidruo daudz gaŗās zilbes par normalām, kuŗas Baranausks uzskata un skaita par anormalām.

25. §. Jaunā termini (Грам. лит. яз. 1908—1916, 34 lapp., tulk. 44—45): tvirtapradē (,) „ar stipru sāķumu“ un tvirtagalē (~) „ar stiprām beigām“ (burtiski „stiprsācis“, „stiprgalis“ — akcents) jau aizrāda, kā šis autors ieduoģāģas tuo leīŗu zilbju akcenta tipu raksturu, kuŗus mēs pazīstam zem nuosauķumiem gestossener un geschliffener (Akzent, Ton). Ja balss augstums un spēks kriŗ uz gaŗas skaņas pirmuo daļu, bet uotrā daļa tiek izrunāta daudz zemākā un vāģākā balsī, tad

Jaunis tādu uzsvāru nuosauc par „stiprsāci“; ja pirmā gaŗa patskaŗa daŗa izrunājama ar vāju un zemu balsi, bet augstums un spēks koncentrējas uotrā viŗa daŗa, tad — par „stiprgali“. Minētās gramatikas tulkuotājs K. Būga pirmā tipa apzīmēšanai lieto terminu „krituošs“, bet uotrā — „kāŗjuošs“. Kā redzams, tad Jaunā definīcija ir ļoti vienkārša, kas atzīmē vispārīguos vilcienuos tuoŗa kustības dābu tiklab augstuma, kā ari spēka ziŗā. Par divvirsuotŗu tuoni viŗš nerunā ne vienā, ne uotrā ziŗā, un tas ari ir pareizi, juo tādā gadījumā viŗš mums sniegtu viena vai uotra dialekta akcenta tipu apzīmējumu, bet ne vispārīgu leiŗu valuodas tuoniska akcenta definīciju. Mūsu autors pārsprieŗ ari treŗuo akcenta tipu, par kuŗu viŗš pilnīgi klusē savā gramatikā — pruoti „stiprvīdi“ jeb kāŗjuoŗi krituoŗu tuoni („Поневъжские говоры лит. яз.“ въ кн. Гуковскаго „Поневъжский уъздъ, стр. 88), kuo viŗš atruod zemieŗu izluoksnēs (op. c. 100), citu starpā ari savā dzimtenes — Kvēdarnas izluoksnē.

Runājuot par trejāduo leiŗu patskaŗu gaŗumu, resp. vidējā gaŗuma jeb pusgaŗuma tipu, kuŗu atradis un raksturoojis Baranausks, jāsaka, ka Jaunis ir pilnīgi vienis prātis šinī ziŗā ar sava skuoluotāja uzstādītiem principiem; mūsu autors tikai sikāki apskata pusgaŗuma izdalīšanuos pa izluoksnēm, aizrādīdams, ka lielākā leiŗu daŗa izrunājuot uzsvērtuos *a* un *e* vidējā gaŗumā (Лит. грамм. 33, перев. 43). Par tuo, kā Vakareiruopas lingvisti sapruot, apgaismuo un izplata Baranauska teoriju, Jaunis izsakās sekuoŗi: „Pēc manām duomām prof. Leskīns un viŗa sekuotāji H. Hirts un F. de Sosīrs nepareizi attēluo mana ļoti cienījamā skuoluotāja Baranauska atradumu; tie piesprieŗ tuo pusgaŗuo patskaŗu kategoriju rietumu augŗleiŗu izluoksnēm, kuŗa piemīt vienīgi austrumu augŗtieŗu un ziemeļu vakaru, kā ari ievērojamā apruobeŗuojumā dienvidus vakaru zemieŗu izluoksnēm“ (Понев. гов., стр. 119).

## B. Pētījumi ar grafiskuo jeb objektivuo metodi.

26. §. Tie pētījumi leiŗu akcentologijas laukā, kas izdarīti subjektīviski, vienkāršas nuovēruošanas ceļā, nebūt vēl neaptver visu ŗuo plaŗuo jautājumu, par kuo varējam pārliecināties nuo iepriekŗējā pārskata. Viŗi ir vēl nepietiekuoŗā mērā izstrādāti, vienpusīgi un runā viens uotram pretī ŗis valuodas kāŗjuoŗa akcenta rakstura nuoteikŗanā. Grafiskā jeb eksperimentālā ceļā iegūtu, daudz maz pamatīgu pētījumu, kas varētu kontrolēt pirmējuos, ir ļoti maz. Vienīgi zināmi ir Œmita-

Vartenbērga (Zur Physiologie des litauischen Akzents, IF. VII, 211—223) un Gotjō (De l'accent et de la Quantité en lituanien, La Parole, 1900, 143—156) raksti. Šmits-Vartenbērgis minētā rakstā — tāpat kā augšā pārspriestā rakstā par latviešu akcentu — pēta vienīgi gaisa izplūdumu nuo plaušām, kas vajadzīgs ruoduoties leišu patskaņiem, pie kam apruobežuojas ar vienas persuonas izrunu — leiša, kas dzīvo Čikāgas pilsētā. Tādā gadījumā mūsu autoram vienīgi ir iespējams izpētīt minētās valuodas akcenta spēka kustību un skaņas kvantitati. Uotrs jautājums, kā redzams, interesē pētnieku vairāk, nekā pirmais. Par tuoņa kustības raksturu viņš runā tiķai vispārīgi, īsi rezimējuot savus pētījumu panākumus, nepielieķuot ķlāt ne ciparu datus, ne arī attieķīgu kurvju grafikas. Brugmaņa „izdevīgās“ leišu „slīpētā“ akcenta definicijas pareizību, — ka tas esuot ar divi ekspiratoriskām virsuotnēm un ka uotrā galuotne spēka ziņā pārspējuot pirmuo — Šmits-Vartenbērgis aplieķina ar vienkāršu apgalvuojumu, ka starpība leišu grūstā un „slīpētā“ akcenta starpā esuot nuoteicama arī ar eksperimenta palīdzību un tādā ceļā iegūti rezultati esuot uzskatāmi par pozitīviem. „Grūstā akcenta pētījuma panākumi,“ saka tālāk mūsu autors, „nav tik skaidri. Uz akustiskās analizes pamata grūstuo akcentu es nuosauķtu vienkārši par „krītuošu“ ar gaisa spiediena koncentrāciju skaņas sākumā.“ Tuomēr ļuoti daudz kurvju nuorāda uz stipru ekspirācijas mainīšanuos, tā ka autors neņemas duot galīgus slēdzienus, bet apgalvuo vienīgi tuo, ka grūstais akcents vienmēr īsi un spēji apraujas tiklab uotreizģigas pieauguošās (Anschwellung) ekspirācijas priekšā, kā arī pēc lēnām dilstuošās. Ērmuots mums lieķas tas apstākļis, ka zināms Šmita-Vartenbērga grafiku skaitis neatzīmē izšķirības grūstā un „slīpētā“ akcenta starpā, juo mums ir zināms, ka Suvalķu gub., resp. Marijampoles (nuo kurienes ir viņa pētģjuma objekts) izluoksnēs abi šie akcentu tģpi tiek skaidri runā izdalģti, un ir ļuoti labi sadzirdami.

Šmita-Vartenbērga duomas par leišu patskaņu kvantitati ir pretģjas Baranausķa uzskatam par treģadu gaŗumu laķi ziņā; pirmais uz milģģiga grafiska materķjala pamata slēdz, ka vidģji gaŗie jeb pusgaŗie patskaņģ viņa pētģmā izluoksnē nav atruodami (sal. Jauņa piezģmi Gukausķa grām. Ковенскїй у. 1892 г., стр. 22,5). Šmits-Vartenbērgģis atruod, ka, ņemuot vidģju mģru, īsie patskaņģ = 0,135, vidģjie (pēc Baranausķa) = 0,257, gaŗie grūstģie = 0,225, gaŗie „slģpģtie“ = 0,23, grūstģie difģtongģ = 0,337, „slģpģtie“ = 0,301. Tādejādi iznāķ, ka tā saukģtie vidģjie ir lģdzģgi (pat par daŗģm simtdaļģm gaŗģķģ) abu tģpu gaŗģģģm pat-sķaņģģm. Vienģģgi difģtongģ gaŗuma ziņģ pārspģģ vienkārģsuos patsķaņģģ, kas arī bģģa sagaidģms, kuo mums lieķina arī mģsu dzģrde.

Ta kā Šmits-Vartenbērgis ir izpētījis viena tuo izluokšņu priekšstāvja izrunu, kuŗas ņemtas par pamatu leišu literatūras valodai, tad ļautājums par trejādu vienkāršu vokaļu kvantitati pats nuo sevis atkrīt, un Baranauska teorija, kas nuoderējusi par pamatu tikdaudz hipotezēm, attiecinātām uz mūsu pirmvalodu, ir pareiza un iztur kritiku, ja tuo attiecina uz dažām leišu izlokšņu grupām, bet ne vispārīgi uz leišu valuodu.

27. §. Gotjō pētījums (La Parole II, 1900, 143—155), kam par iemeslu bijusi vispārīga nesaskaņa leišu akcenta rakstura nooteikšanā, un kas radies ar nuolūku izskaidruot dažus sarežģītākus ļautājumus, kuŗus aizķēruši F. de Sosīrs un Leskīns, nuoder arī par kontroles darbu tiem pētījumiem, kas iegūti vienkāršā nuovēruošanas ceļā. Gotjō ķeras pie eksperimentiem labāk apbruņuojies, nekā Šmits-Vartenbērgis: viņš ir izpētījis leišu patskaņu augstumu intonaciju, intensivitātes intonaciju (ļietuojot viņa paša terminus) un kvantitati, par kuo duod liecību viņa pētījumu rezultātu aprēķini. Pie tam mūsu autors piegriež vēribu pamatīgākai un sīkākai faktū analizei; tā viņš skaņu apskata dažāduos fonetiskuos un dialektiskuos nooteikūmuos un divu grupu persūonu izrunā.

Par leišu grūstuo tuoni (gestossener Ton) Gotjō nākas mazāk runāt, juo viņa dabas raksturoošanas ziņā ir vienis prātis visi subjektīviskie pētnieki; arī viņš apstiprina duomas (op. c. 145—146), ka grūsti intonētāis vārda „gabals“ (tranche) ir krituošs tiklab intensivitātes, kā arī augstuma ziņā. Minētāis tuonis ir vienāds visuos vārda stāvuoķuos. Paskaidruojot kāpjuošā tuoņa dabu („slīpēta“, runājuot Kuršaiša vārdiem), par kuŗu šķiras viņa priekšgājēju, subjektīviskuo nuovēruotāju uzskati, Gotjō pakavējas pie viņa ilgāki, apskata tuo dažāduos vārda stāvuoķuos un atruod (op. c. 147—148), ka „slīpēti“ (douce) intonētām vārda „gabalam“ visuos pētāmuos dialektuos (t. i. Kauņas gub. ziemeļa austrumu un Suvalku gub. vidienas izluoksnēs) ir vārda vidū divas intensivitātes virsuotnes: viena sākumā un uotra galā, bet tikai viena virsuotne, ja „gabals“ ir vārda gals. „Slīpēta“ intonācija nemainās savā virzienā vārda galā, gluži tāpat kā grūstāis tuonis; tikai kvantitātes ziņā viņa pielaiž variācijas. Vārda sākumā „slīpēti“ intonēts „gabals“ koncentrē šuo mainīšanuos pirmā intensivitātes virsuotnē, tā ka piem., sākumā ā ir divi uzsvāri — vidus ā uzsvārs un gala ā; muzikālā intonācija turpretī nemainās, tāpat arī skaņas kvantitāte.

Tādā kārtā Gotjō nuorāda, ka „slīpētajam“ tuonim nav pastāvīga rakstura: atkarīgi nuo stāvokļa viņš mēdz būt nevien ar divām intensivitātes virsuotnēm, bet arī ar diviem augstuma maksimumiem. Tāda

Gotjō liecība runā par labu abām savstarpīgi pretējām definīcijām — Zīvera un Brugmaņa (sal. op. c.). Ar tuo būtu izsmelts jautājums par pretrunām minētā tuoņa rakstura definējumā; bet, par nuožēluošanu, mēs nezinām, kādā vārda daļā, resp. kāduos fonetiskuos apstākļuos ir pētījuši abi pēdējie zinātņu vīri „slīpētuo“ tuoni. Tas apstākļis, ka latviešu attiecīga tuoņa raksturojumā panākta, vispārīgi ņemuot, vienība, izskaidrojams ar tuo, ka šinī valuodā vārda uzsvaram ir vienmēr nuoteikta vieta — vārda sākuma zilbe. Latviešu valuodā stiepti intonētais tuonis gandrīz bez izņēmuma atruodas sākuma, resp. vienmēr uzsvērtā zilbē; ļuoti reti viņš sastuopams sufiksuos, neuzsvērtā vārda daļā, tādēļ iznāk tā, ka pētnieki gluži neapzinīgi ievēruo un pēta tikai šuo vienu stāvuoqli. Leišu valuodā turpreti, kur stieptais resp. „slīpētais“ akcents izdalīts gandrīz vienādi pa visām vārda daļām, pētāmās zilbes izvēle var būt tīri nejauša.

Subjektīviskie pētnieki allaž ir nenuoteikti tajā ziņā, ka, runādami par tuoņa dabu, viņi neaizrāda, kāduos nuosacijumuos tie viņa dabu nuovēruojuši un pētījuši. Vēlāku tad viņiem saviem nuovēruojumiem jāpiesprauž dažādi paskaidrojumi un jātaisa dažkārt liekas ierunas (sal. Brugmaņa, Grdr<sup>1</sup>, I, § 691 un Grdr<sup>2</sup>, I, 2, § 1078).

28. §. Leišu tuoniskā akcenta tipu dabu mēs nespējam ar tādu nuoteiktību un tik vispusīgi raksturoot, kā mēs tuo darījām pēc vispārīga kritiski vēsturiska akcentoloģijas pārskata ar attiecīgiem latviešu tipiem, vienkārt, aiz pietiecīga pētījumu skaita trūkuma, kas iegūti eksperimentālā, objektīvā ceļā un kas spējīgi daudz maz pamatīgi kontrolēt uzskatu preteškības tuoņa definēšanas ziņā; uotrkārt, tādēļ, ka mēs paši persuoņīgi neesam spējuši pētīt leišu intonācijas ar eksperimentālas metodes palīdzību. Tuomēr uz nenuogurstuošas vingrināšanās pamata akcenta tipu uzķeršanā un izšķiršanā tiklab vienā, kā uotrā valuodā, tāpat ari uz daudzu un ilgu piedzīvuojumu pamata, nuovēruojuot akcenta dabu dažādās leišu un latviešu izluoksnēs, mēs varam aizrādīt vienīgi uz tuo, ka pēc sava rakstura attiecīgie zilbju akcenta tipi ir abās valuodās pilnīgi līdzīgi. Mūsu auss it skaidri uzķer abu valuodu vienādās tuoņa rakstura īpašības, un kaut kas kuopīgs, radniecīgs, tuvs viņās izsauc vienādus dzirdes iespaidus, kas liecina, ka pilnīgi vienādi akcentu tipi ir vēsturiski uzglabājušies abās mūsu valuodās un izšķiras vienīgi tiktāl, cik tie ir atkarīgi nuo dialekta jeb izluoksnēs. Še mums jāuzsver tas, ka ne patskaņu garuma apmērs ir vienīgais nuoteicuošais faktors akcentu tipu dabas definēšanā, kā tuo duomā bīskaps Baranausks uz savas akcenta teorijas pamata, bet gan skaņas meldijas raksturs. Leišu valuodā mēs izšķīram visus tuos

akcentu tipus, kurus mēs nuovērojam arī latviešu valodā, proti trīs: grūstuo, krītuošuo jeb dekrescentuo, stieptuo jeb kāpjuošuo. Šuo tipu nuokrāsa mainās atkarīgi no patskaņu kvantitates, kas savukārt izluoksnēs stipri variē. Augstiešu dialektuos sastuopami tikai divi pēdējie akcentu tipi; visskaidrāki tie tiek izrunāti Suvalku guberņas izluoksnēs; tur dzirdams labi marķēts, skaidri izskanuošs stiepts un arī krītuošs tips, pie tam abi ievērojamā gaļumā (vidēja gaļuma patskaņu tur nav). Suvalku guberņas izluoksnēm šinī ziņā pieslejas lielākā daļa Viļņas un arī dažas Kauņas guberņas izluoksnēs, sevišķi viņas austrumu un rietumu malienu izluoksnēs. Pa vārdiem tuoņu tipi izdalījušies minētās izluokšņu grupās ar lielāku akurātību; svārstīšanās šinī ziņā gandrīz pavisam nav sastuopama.

Kāpjuošais resp. stieptais tuoņa tips dabū dažkārt arī krītuošu nuokrāsu atkarīgi no fonetiskiem un psihiskiem nuosacījumiem. Pēc stieptā akcenta tipa minētās leišu izluoksnēs sakrīt ar latviešu -nieku -ir- grupas izluoksnēm, bet pēc šī paša, kā arī krītuošā akcenta tipa — ar tām Vidzemes vidienas izluoksnēm, kas pieslejas -nieku grupai. Abi beidzamie tipi, stieptais (dažkārt arī ar krītuošas intonācijas nuokrāsu) un krītuošais, kas kā vājāki marķēti sastuopami Panevezes apriņķa izluoksnēs līdz pašai Kurzemes ruobežai un arī dažās Vilkmerģes apriņķa izluoksnēs, pilnīgi saskan ar attiecīgiem akcenta tiptiem Kurzemes -iešu izluokšņu grupās, tiklab pēc viņu intonāciju nuokrāsas, kā arī patskaņu kvantitates.

Zemiešu dialektā, pa lielākai daļai Teļšu apriņķa izluoksnēs abi parastie leišu akcenta tipi, krītuošais un kāpjuošais stipri mainās savās rakstura nuokrāsās, tā ka tur dzirdami pavisam četri dažādi tuoņu tipi: kāpjuošais, kāpjuoši krītuošais (sal. Jauņa rakstu: Гукoвскій, „Описание Россiенскаго уѣзда“ стр. 26—27) un krītuošais. Pēdējais jau pārejas izluoksnēs (Šauļu apriņķa vidējā juoslā), kur stipri mainās skaņas kvantitate, sastuopams ar straujāku balss krišanu un pavājināšanuos skaņas uotrā pusē, t. i., ar labi sadzirdamām grūdienu iezīmēm skaņas vidū; virzuoties uz ziemeļu vakaru pusi, uz Kurzemes un Prūšu ruobežām (Palangas, Veivirzenu etc. un, duomājams, arī attiecīgās prūšu izluoksnēs — sal. Becenberģera Zur lit. Dialektforsch. Beitr. IX, 269 ff), viņš pamazām pāriet ceturtajā, grūstajā tuoņa tipā, kurš še sasniedz tik skaidru izteiksmi, tik krasu izskaņu, gluži tāpat kā stieptā intonācijā, kas vienāda ar viņu pēc gaļuma un var teikt, ļuoti ievērojama kvantitates ziņā, — ka abi viņi ir pilnīgi līdzīgi attiecīgiem tuoņu tiptiem Kurzemes -nieku -ier- grupas izluoksnēs, kur, kā jau aizrādīts I. nuodaļā, nereti skaidri sadzirdama pauze grūstās skaņas vidū un kur ļuoti

labi izšķīramas stiepta tuoņa raksturā kāpjuošas un līdzenas nuokrāsas variācijas. Kāpjuoši krītuošais tips turpretī dažās izluoksnēs (piem. Mz. Ilk., Plt.) pāriet tīri krītuošā tipā, sakusdams tādejādi gandrīz pilnīgi ar sensenu krītuošo, kam tur nav spilgta rakstura, tā ka ar vienkāršu dzirdi viņi nemaz nav izšķīrjami — gandrīz visuos vārduos dzirdams vienāda tipa tonis.

## DIE PÄDAGOGISCHE SYSTEMATISIERUNG DER FEUERUNGSTECHNISCHEN EINRICHTUNGEN.

Eine Studie.

Prof. C. Blächer - Riga.

Der beim technischen Hochschulunterricht zu bewältigende Stoff wächst derart mit der Entwicklung der Technik an, dass man eigentlich in ständiger Besorgnis leben müsste, den Gegenstand im Programm nicht mehr unterbringen zu können, ohne die Dauer des Studiums auf das vielfache des gegenwärtig Zulässigen ausdehnen zu müssen. Und doch sieht man, dass die aus Theorie und Praxis neu sprudelnden weitgehenden Erweiterungen des Gebietes schliesslich im Hochschulprogramm ihren Platz finden, ohne dass eine wesentliche Erweiterung der äusseren Grenzen des Studiums bemerkbar wird. Der Grund liegt offenbar in der fortschreitenden *pädagogischen Durchbildung* des Unterrichtsstoffes.

Bei dieser pädagogischen Durchbildung spielen eine grosse Rolle 1) die weitgehendste Ausnutzung des experimentellen Anschauungsunterrichts und 2) die richtige dem Verständnis des Anfängers entgegenkommende Einordnung des Lehrstoffes. Mit der ersten Frage habe ich mich in zahlreichen Veröffentlichungen beschäftigt und eine besondere Systematik des experimentellen chemisch-technologischen Unterrichtes darauf begründet\*), in der gegenwärtigen Abhandlung soll die *Systematisierung* des Lehrstoffes, speziell in Beziehung zu feuerungstechnischen Problemen erläutert werden.

\*) Die ersten diesbezüglichen Arbeiten erschienen unter dem Titel „Über chemisch-technische Laboratoriumsarbeit“ in der „Chemischen Industrie“ in den Jahren 1898/99, darauf aufgebaut war mein (nunmehr vollständig vergriffenes) Lehrbuch der Feuerungstechnik „Теплота въ заводскомъ дѣлѣ“, Verlag von G. Löffler, Riga 1905. Die direkte Anwendung ist gegeben in „Практическія занятія по химической технологии“ und zwar: выпускъ I, „Технологія воды и теплоты“, Кіевъ 1912, und выпускъ III, „Сточные воды“, Иваново-Вознесенскъ 1920. Eine Zusammenfassung meiner hierher gehörenden Arbeiten findet sich im Artikel „Theorie und Praxis“, „Eine Studie zum Thema: Die Aufgaben der angewandten Wissenschaften“, Festschrift des Rigaschen Polytechnischen Instituts, 1912.

An Deduktionen theoretischer Natur ist der Student von den exakten Fächern her derart gewöhnt, dass er bei genügender Begabung und ausreichenden Kenntnissen in den Grundwissenschaften meist die den angewandten Wissenschaften zugrunde liegenden Theorien leicht erfasst. Bedeutende Schwierigkeiten stellen sich jedoch naturgemäss ein, sobald es sich um Erfassung von Tatsachen handelt, welche, scheinbar unwichtig, in der Praxis oft von ausschlaggebender Bedeutung sind. Gerade die Feuerungstechnik ist dafür ein charakteristisches Beispiel. Man sehe sich einmal die verschiedenen Feuerungskonstruktionen für Dampfkessel an. Wann wählt man einen Kettenrost, wann einen Schaukelrost? Was bietet demgegenüber eine Planrostfeuerung mit Regelvorrichtungen für Primärluft und mit Sekundärlufteinströmung, etwa nach Kowitzke, für Vorteile? Wie stellen sich zu den letzteren die automatischen Beschickungsvorrichtungen von Leach, Münckner und Anderen? Man denke ferner an die verschiedenen Systeme und Konstruktionen von Gasgeneratoren. Was ist der konstruktive Sinn und Vorzug der Talbot-Generatoren mit Rührwerk im Vergasungsraum, oder der Drehrostgeneratoren von Kerpely, Hilger und Anderen? Was bedeuten ferner die modernen Generatortypen mit Durchmesser bis fast 5 m., oder die Abstichgeneratoren? Der erfahrene Praktiker weiss sofort eine fast selbstverständliche Antwort, während der Studierende meist wie vor einem Buch mit sieben Siegeln steht.

Wie der Philosoph in dem scheinbaren Wirrwarr der Menschheitsschicksale die leitende Idee sich herauszufinden bemüht, so muss der Vertreter der angewandten Wissenschaften an der Hochschule das Skelett aufzudecken sich bemühen, um welches die komplizierten Erscheinungen der Praxis sich gruppieren. Natürlich kann dieses mit Erfolg nur in Fühlung mit der Praxis selbst vorgenommen werden.

Wenn man nun, ohne sich in Details zu verlieren, sich die Praxis erstens daraufhin vorurteilsfrei ansieht, welche technischen Prozesse sich in der Industrie am vollkommendsten abspielen, und sich zweitens noch mit der Frage befasst, ob in der Praxis einfache oder komplizierte Apparate prinzipiell vorzuziehen seien, so erhält man sehr brauchbare Anhaltspunkte für die Aufstellung eines Systems feuerungstechnischer Prozesse und Einrichtungen.

Das Idealbild technischer Prozesse stellt zurzeit die Elektrotechnik dar. In einer mit Turbogeneratoren oder gar Hydrodynamos ausgestatteten grossen Kraftzentrale herrscht eine überra-

schende man könnte sagen, vornehme Ruhe. Sie wird nur gestört durch das Surren der Turbinen und Generatoren und das Hinundhergehen der geringen die Zentrale beaufsichtigenden Bedienungsmannschaft. Nur das mit Energiemessern idealer Konstruktion, mit Voltmetern, Amperemetern, Wattmessern und Registrierapparaten versehene Schaltbrett deutet durch das geräuschlose Schwingen leichter kleiner Nadeln an, dass mächtige an die Naturgewalten erinnernde Energieströme durch die verschiedenen Meisterwerke der Technik jagen. Der ganze gewaltige Organismus wird durch sinnreiche automatische Vorrichtungen in stetem dynamischem Gleichgewicht gehalten. Analog, doch nicht in dieser Vollkommenheit spielen sich die physikalischen und chemischen Prozesse in einer Rohzucker- oder Schwefelsäurefabrik ab. An einem Ende werden die Zuckerrüben hineingeschwemmt, werden fast ganz ohne sichtbares menschliches Eingreifen gewaschen, zerschnitten, ausgelaugt und nach der chemischen Reinigung das Wasser in den Verdampfapparaten entfernt und der Rest zu mit Zuckerkristallen durchsetzter Füllmasse verarbeitet. Genau so automatisch und ununterbrochen und regelmässig verläuft die Reaktion der Entstehung von Schwefelsäure aus Schwefeldioxyd und Sauerstoff.

Nimmt man noch die mechanischen Betriebe hinzu, z. B. eine moderne Velociped- und Autofabrik im Vergleich zu dem Handbetrieb in kleineren Werkstätten, so sieht man, dass das ganze Streben der Technik vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus darauf gerichtet sein muss, *gleichmässige, ununterbrochene und möglichst automatisch verlaufende Prozesse* zu bilden. Es sei noch auf die allgemein bekannte Erscheinung hingewiesen, dass falls in einem beliebigen Fabrikationsprozess gut funktionierende kontinuierliche Apparate erfunden werden, sie sofort die periodisch wirkenden verdrängen.

Nun zur zweiten Frage. Mit recht rühmt vielleicht mancher Erfinder die Einfachheit seines Apparates im Gegensatz zu einem komplizierten Automaten. Hörte ich doch einmal in früheren Jahren von einem Professor folgende Definition: „Ein Automat ist ein Apparat, bei dem man stets dabeistehen und aufpassen muss, dass er richtig funktioniert“. Wir müssen, meiner Ansicht nach, die Frage anders stellen, und zwar so: *Ist die Einfachheit zugleich das Idealbild der Vollkommenheit?* Die technische Praxis giebt uns keine Antwort darauf, unsere grosse Lehrmeisterin, die Natur, lässt uns auch hier nicht im Stich. Die Organismen der Natur sind das

vollkommenste, was man sich denken kann, und doch sind diese Organismen durchaus nicht einfacher Konstruktion, sondern ausserordentlich kompliziert gebaut. Ja, man kann sagen: *Je vollkommener ein Organismus und je höherer Ordnung er ist, desto komplizierter ist er*; der vollkommenste Organismus, der menschliche Körper, ist wunderbar kompliziert.

Für unsere Zwecke entnehmen wir daraus die Folgerung, dass es absolut falsch wäre zu behaupten, der einfachste Apparat wäre auch zugleich der technisch vollkommenste. Gewiss ist Einfachheit eine erstrebenswerte Eigenschaft, die niemals ausser Acht gelassen werden darf, doch ist andererseits klar, dass man durch die Kompliziertheit der Apparatur sich nicht irremachen lassen muss.

Aus allem vorhergehenden ergibt sich nun, dass man die feuerungstechnischen Einrichtungen nach der mit ihrer Hilfe erreichbaren *Vollkommenheit des Prozesses* klassifizieren kann, wobei man eben — und das erleichtert nicht nur die Aufgabe, sondern macht sie erst lösbar — *sich durch ihre Kompliziertheit nicht irre machen lassen muss*. Jetzt wäre noch zu zeigen, wie die Vollkommenheit der Apparatur eingeschätzt werden soll. Wir hatten oben nachgewiesen, dass man zurzeit das Ziel der Technik folgendermassen charakterisieren kann: die Schaffung kontinuierlicher, gleichmässig verlaufender Prozesse.

Beginnen wir mit Feuerungseinrichtungen. Vergleicht man den Brennprozess, wie ihn ein Bunsenbrenner aufweist, der z. B. in einen Gasbadeofen eingebaut ist, mit der Heizung eines Kachelofens oder einer einfachen Dampfkesselfeuerung, so sieht man sofort, dass eine rationelle Klassifizierung der Feuerungsapparate gegeben ist. Nehmen wir speziell die Dampfkesselfeuerungen vor.

Es wären danach die verschiedenen Systeme der Dampfkesselfeuerungen *nach der durch sie erreichbaren Vollkommenheit des Brennprozesses* einzuordnen, wobei man als zahlenmässiges Kriterium den erreichbaren minimalen Luftüberschusskoeffizienten heranzuziehen versuchen müsste, soweit dieses überhaupt nach dem gegenwärtigen Stand der Feuerungstechnik und den vorhandenen Daten durchführbar ist. In der beigegebenen Figurentabelle I ist ein solcher Versuch einer pädagogischen Systematisierung der Feuerungsanlagen für Dampfkessel enthalten, wobei, wie man sieht, auch die Einfachheit der Konstruktion zu ihrem Recht kommt. Die Tabelle ist einer für den Unterricht bestimmten, nach meinen Angaben von Herrn Ing. R. Ewald entworfenen Wandtafel nachgebildet. Herr

Tabelle I. Vorschlag einer pädagogischen Systematisierung der Dampfkesselfeuerungen von Prof. C. Blacher.

| Heizungssystem.          | Schematische Skizze der Feuerung. | Eigenschaften der Feuerung.   | Charakteristik des Heizungssystems.     | Bezeichnung des mittleren Antriebsmechanismus. |              |
|--------------------------|-----------------------------------|---|---|--|--------------|
| 1. Gasfeuerung.          |                                   | a: einfach.<br>b: leicht.<br>c: nichtstop.<br>D: nicht erforderlich.<br>e: schnell.                     | Vollkommene Feuerung leicht erreichbar. | Brünnle<br>ohne Rost.                          |              |
| 2. Ölf Feuerung.         |                                   | a: einfach.<br>b: leicht.<br>c: nichtstop.<br>D: nicht erforderlich.<br>e: schnell.                     |   |  | 11: 4, 5.    |
| 3. Generator-Feuerung.   |                                   | a: einfach.<br>b: leicht.<br>c: leicht.<br>D: erforderlich.<br>e: langsam.                              |   |  | 11: 1, 6.    |
| 4. Staubfeuerung.        |                                   | a: kompliziert.<br>b: anspruchsvoll.<br>c: leicht.<br>D: unentbehrlich.<br>e: schnell.                  |   |  | 11: 1, 2.    |
| 5. Unterschlub-Feuerung. |                                   | a: kompliziert.<br>b: anspruchsvoll.<br>c: nicht anspruchsvoll.<br>D: erforderlich.<br>e: langsam.      |   |  | 11: 1, 3.    |
| 6. Wandrost-Feuerung.    |                                   | a: sehr kompliziert.<br>b: anspruchsvoll.<br>D: erforderlich.<br>e: langsam.                            |   |  | 11: 1, 4, 5. |
| 7. Vorschub-Feuerung.    |                                   | a: kompliziert.<br>b: anspruchsvoll.<br>c: nicht anspruchsvoll.<br>D: erforderlich.<br>e: langsam.      |   |  | 11: 4, 6.    |
| 8. Schrägrost-Feuerung.  |                                   | a: einfach.<br>b: anspruchsvoll.<br>c: anspruchsvoll.<br>D: erforderlich.<br>e: langsam.                |   |  | 11: 4, 7.    |
| 9. Hoch-Wurf-Feuerung.   |                                   | a: kompliziert.<br>b: sehr anspruchsvoll.<br>c: nicht anspruchsvoll.<br>D: erforderlich.<br>e: schnell. |   |  | 11: 1, 5.    |
| 10. Plannrost-Feuerung.  |                                   | a: einfach.<br>b: anspruchsvoll.<br>c: sehr anspruchsvoll.<br>D: unentbehrlich.<br>e: schnell.          |   |  | 11: 1, 7.    |

Abkürzungen: a: Bauart der Feuerung. b: Wartung der Feuerungsvorrichtungen. c: Beschickung und Entleerung des Brennstoffes. D: Vorbereitung des Brennstoffes. e: Anpassung an Betriebsbedingungen.

Ewald hat auch die hier gebrachte Figurentabelle entworfen, wofür ich ihm meinen besten Dank ausspreche.

In der Tabelle ist alles für das Verständnis erforderliche enthalten. Wie zu ersehen, sind nur einige typische Vertreter ausgesucht worden, jedoch werden sich leicht auch andere Systeme in dieses Schema einfügen lassen. Als erste steht die Naturgasfeuerung, wie sie in Nordamerika benutzt wird. Etwas idealeres lässt sich tatsächlich nicht denken: die Bedienung ist so einfach, wie die eines Bunsenbrenners im Laboratorium, die Konstruktion die denkbar einfachste. Die Regelung ist leicht ausführbar, gleichfalls, wie im Laboratorium. Am entgegengesetzten Ende als letzte Type steht der gewöhnliche Planrost, gleichfalls äusserst einfach, aber ausserordentlich schwierig zu bedienen. Bekanntlich kann auf dem Planrost nur ein sehr geübter Heizer (ein sog. „Lehrheizer“ der Dampfkesselrevisionsvereine) eine vollkommene Verbrennung bei geringem Luftüberschuss erreichen und das bei sehr aufmerksamer Bedienung und mühsamer Arbeit. Da dieses aber bei gewöhnlichen Heizern nicht zu erreichen ist, so ist der durchschnittliche Effekt bei Planrostfeuerungen ein geringer. In der Mitte stehen die beiden Feuerungen Nr. 5 und 6, von denen die erste, der sog. Erith-Stockler\*), ein kontinuierliches Schmiedefeuer darstellt, die zweite das Beispiel einer Kettenrostfeuerung zeigt (Babcock & Wilcox, Steinmüller, Mantel — Riga u. a.). Der Effekt beider Feuerungen ist ungefähr der gleiche. Durch zwangsläufige Einführung des Brennstoffs wird der kontinuierliche Prozess eingeleitet, wobei im ersten Falle die Konstruktion einfacher ist. Während jedoch die erstere Konstruktion sich an das Prinzip der Brenner anlehnt, in Form eines Schmiedefeuers denselben nachahmend, ist beim zweiten System der Rost als Träger des Brennstoffs gewählt. Im ersten Falle sollen die Abbrände flüssig aus der Brennzone ausscheiden, im zweiten Falle wird die feste Schlacke zusammen mit der Asche vom Rost abgestreift. Die Bedienung zwecks Erreichung eines hohen Effektes ist besonders im zweiten Fall nicht leicht, daher wird er auch nicht im Durchschnitt in dem Maasse erreicht, wie bei den vorhergehenden Typen.

Die erläuterten Beispiele mögen genügen. Auf eine Frage möchte

\*) Vor dem Kriege in Russland vertreten von Smith, Mygind & Hüttemeyer, Kopenhagen, in Deutschland von den Guillaume-Werken. Nicht zu verwechseln mit den Stockern von Nyboe & Nissen, Bamag etc., die keine abfliessende Schlacke haben.

ich noch in aller Kürze eingehen: die Wahl des Brennstoffs. Mir scheinen die Dinge nun so zu liegen. Früher suchte man nach einem geeigneten Brennstoff für eine bestimmte Feuerung, jetzt jedoch, wo sogar alte Abbrandhalden und Feuerungsrückstände nach Brennbarem durchsucht werden, wird man wohl oder übel die Feuerung nach dem zur Verfügung stehenden Brennstoff wählen müssen. Natürlich wird man eine solche nehmen müssen, welche den Brennstoff möglichst kontinuierlich mit dem höchsten Effekte zu verbrennen imstande ist. Schwach backende auch kleinere Kohlen z. B. in der Erithfeuerung, nicht backende, leicht schüttende Brennstoffe, wie feinere Magerkohle, ev. auch Sägespähne auf dem Schrägrost oder Treppenrost, Scheitholz oder gröbere Abfälle in Schachtfeuerungen. Grösserstückige, besonders sortierte Kohle in Wurff Feuerungen, Kohlengruss auf horizontalen Feuerplatten mit Unterwindgebläse u. s. f.

Mir scheint, dass von diesem Ausgangspunkt aus eine klare Übersicht über das ganze grosse Gebiet der Feuerungen erreicht wird, welche dem angehenden Techniker ganz bedeutend die Orientierung erleichtert.

Eine *Systematisierung der Gasgeneratoranlagen* lässt sich von diesen Gesichtspunkten aus gleichfalls mühelos durchführen. Auch hier beachte man zunächst nicht die Kompliziertheit der Konstruktion und betrachte in erster Linie die ganze Gasgeneratorentechnik vom Standpunkte des Erreichens eines möglichst kontinuierlichen gleichmässigen Vergasungsprozesses. Dabei wird man gut tun, den Prozess in mehrere dynamische Elemente zu zerlegen: 1) die Bewegung des eintretenden Brennstoffs, 2) die Bewegung des austretenden Generatorgases, 3) die Bewegung der niedergehenden Brennstoffschicht, 4) die Bewegung der austretenden Abbrände und schliesslich 5) die Bewegung der eintretenden Luft. Alle diese Bewegungen müssen ununterbrochen, gleichmässig sein und, wenn nötig, automatisch vor sich gehen. Wenn ein Betrieb nicht so klappt, wie er soll, so liegt es meist an Stockungen in einem von diesen Elementen. Aber auch bei normalem Betriebe laufen alle diese Prozesse durchaus nicht immer gleichmässig und ununterbrochen ab. So ist schon *das Aufgeben des zu vergasenden Brennstoffes* bei den meist gebräuchlichen Generatorentypen ein periodischer Prozess, der bei an flüchtigen Bestandteilen reichen Stoffen naturgemäss Schwankungen in dem Kohlenwasserstoffgehalt des Gases veranlasst, welche nicht nur das Einhalten des geringsten Luftüber-

schusses verhindern, sondern auch wegen der Temperaturschwankungen das Führen des betr. Schmelzprozesses erschweren. Die genügende Gleichmässigkeit liesse sich nur durch Anwendung mehrerer Generatoren erzielen, während die Anwendung eines einzigen grossen Generators die bedeutenden Anlagekosten ganz wesentlich verringert hätte. *Die Gasabführung* macht von diesem Standpunkte aus keine Schwierigkeiten, sie ändert sich in der Anlage mit der Einführung neuer Prinzipien in die Gastechnik (Digas-, Trigasgeneratoren, Urteergewinnung u. drgl.), was hier jedoch nicht eingend zu behandeln ist. Am meisten Schwierigkeiten bereitet das gleichmässige und ununterbrochene *Niedersinken des mit der Luft, bezw. den ersten Verbrennungsprodukten reagierenden Brennstoffs*. Wenn die Brennstoffschicht, welche stets in einer bestimmten Dichte und Höhe sich halten muss, durch Bildung von Höhlungen unterbrochen wird, so verbrennt ein Teil des Gases bereits im Generator durch Luft, welche an den Stellen geringeren Widerstandes eindringt. Daher müssen die Generatoren zum mindesten mit Stocherlöchern versehen sein, auch heisst es ordentlich aufpassen. Zur Gleichmässigkeit des Prozesses trägt natürlich das Stochern nicht bei. *Das Entfernen der Abbrände* erfordert ein periodisches Putzen und Schlacken des Rostes. Was das bedeuten kann, möge man daraus ersehen, dass man oft gezwungen ist, während des Schlackens, um nicht die ganze Schicht in ihrem dynamischen Gleichgewicht zu gefährden, über dem eigentlichen Rost einen provisorischen Hilfsrost zeitweilig einzustellen. *Die Luftzufuhr* ist vom Widerstande in der Brennstoffschicht abhängig, man macht sie verständlicherweise gerne zwangsläufig durch Anwendung von Dampf- oder Wasserinjektoren oder mechanischen Gebläsevorrichtungen.

Aus diesen Andeutungen ersieht man schon, was die Bestrebungen zur Einführung der Gleichmässigkeit und Kontinuität in die einzelnen Elemente des Generatorprozesses für ein reiches Tätigkeitsfeld erfinderischen Köpfen darbieten, zumal nach Einführung der gesicherten Kontinuität sich weitere interessante Ausblicke für die wirtschaftliche Vervollkommnung der Generatoranlagen bieten.

Die Figurentabelle II, welche gleichfalls einer von Herrn Ing. Ewald durchkonstruierten Wandtafel nachgebildet ist, zeigt in von oben nach unten gehenden Reihen eine Klassifizierung der einzelnen Elemente der Generatorkonstruktion, welche entsprechend kombiniert die zahlreichen Variationen der gangbaren praktischen Ausführungen ergeben. So beginnt die erste Reihe mit den primi-

tivsten Einrichtungen der ersten Generatorkonstruktionen und schliesst mit den modernen kontinuierlichen Beschickungsvorrichtungen von Blezinger und Anderen. In der zweiten Reihe steht zu oben das rein zufällige Niedergehen der Schicht, dann folgen verschiedene mechanische Vorrichtungen (Rührwerke, drehbare Mäntel und Unterlagen). Die dritte Reihe geht über verschiedene Drehrostkonstruktionen und schliesst mit dem Abstichgenerator. Weiter sind die gangbaren Methoden der Luftzufuhr und Gasabfuhr skizziert.

Um die Erreichung der Kontinuität und Gleichmässigkeit und das Einstellen von automatischen Einrichtungen gruppiert sich der weitere Fortschritt der Generatortechnik in seinen vielgestaltigen Einzelbestrebungen. Grosse Anlagen sind, wie bereits erwähnt, unter der Bedingung der gleichmässigen und ununterbrochenen Arbeit in der Anlage bedeutend billiger. Die zwangläufige Luftzufuhr überwindet jeden Widerstand und gestatte die Vergasung von feinem (Abfall-) Material, wobei die Abstichgeneratoren aschereiches Abfallmaterial zu verwenden ermöglichen, was jetzt besonders wertvoll ist. Das anstandslose Funktionieren eines zwangläufig geführten gleichmässig verlaufenden Generatorprozesses hat eine noch weitere wichtige Möglichkeit im Gefolge. Sowohl die Anlagekosten, wie auch die Verluste durch Strahlung und Leitung erfahren eine ganz bedeutende weitere Einschränkung durch die Steigerung der Intensität des Prozesses, d. h. der Durchsatzgrösse der Generatoren, derjenigen Menge an Brennstoff, welche in einer Stunde einen Quadratmeter der Generatorquerschnittes passiert. Nur wenn jede Möglichkeit einer Störung und Stockung beseitigt ist, ist man eines grossen Durchsatzes sicher.

Wie man sieht, lassen sich bei dieser Art der Betrachtung leicht gleich von vornherein wirtschaftliche Gesichtspunkte einflechten, was den angehenden Studierenden die Orientierung in dem Labyrinth wirtschaftlicher Kalkulationen erleichtern muss. Gerade in kleineren Staatswesen, wo das Wirtschaften aus dem Vollen sich von selbst verbietet ist das Eindringen in das Wesen des ganzen Gebietes, die wirtschaftliche Seite mit eingeschlossen, nicht zu missen. In dieser Beziehung haben unsere Vertreter der angewandten Wissenschaften an der Hochschule eine ganz besonders schwere Aufgabe zu erfüllen.

Riga, Mai 1921.

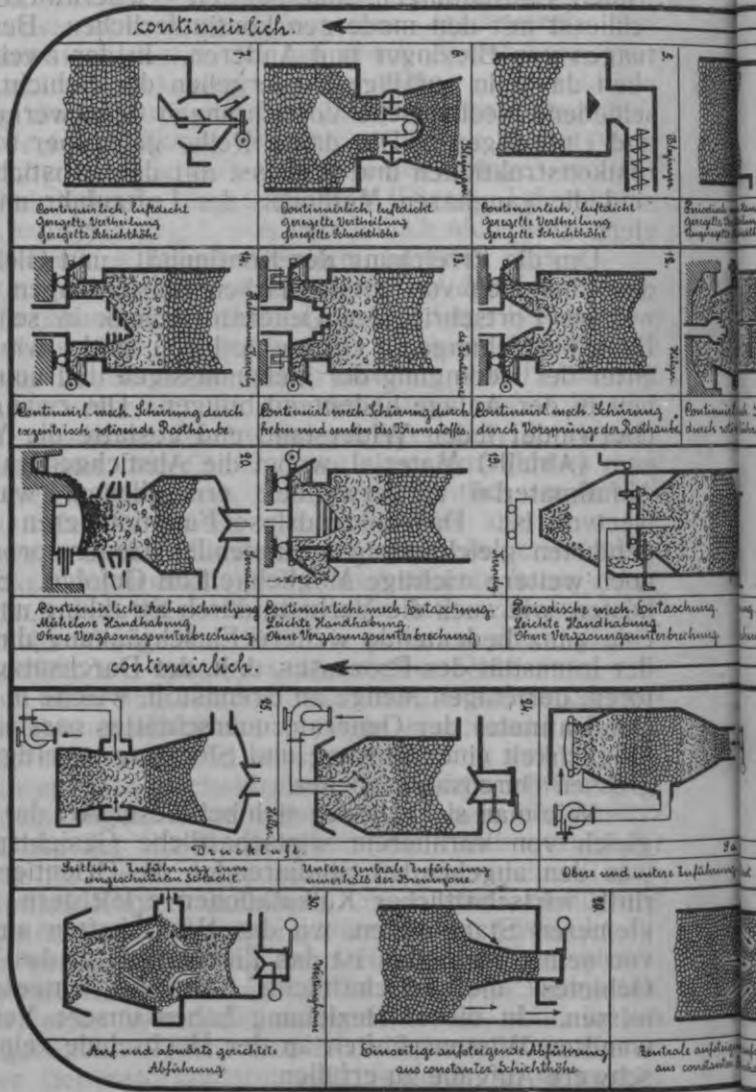


Tabelle II. Vorschlag einer pädagogischen Systematisierung der Gasgeneratoren von Prof. C. Blacher.

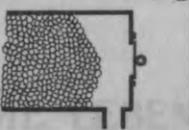
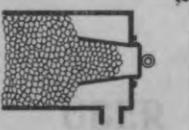
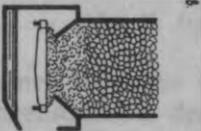
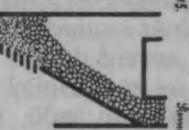
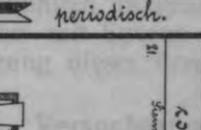
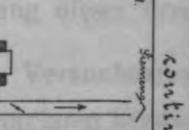
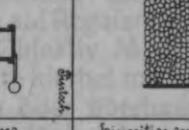
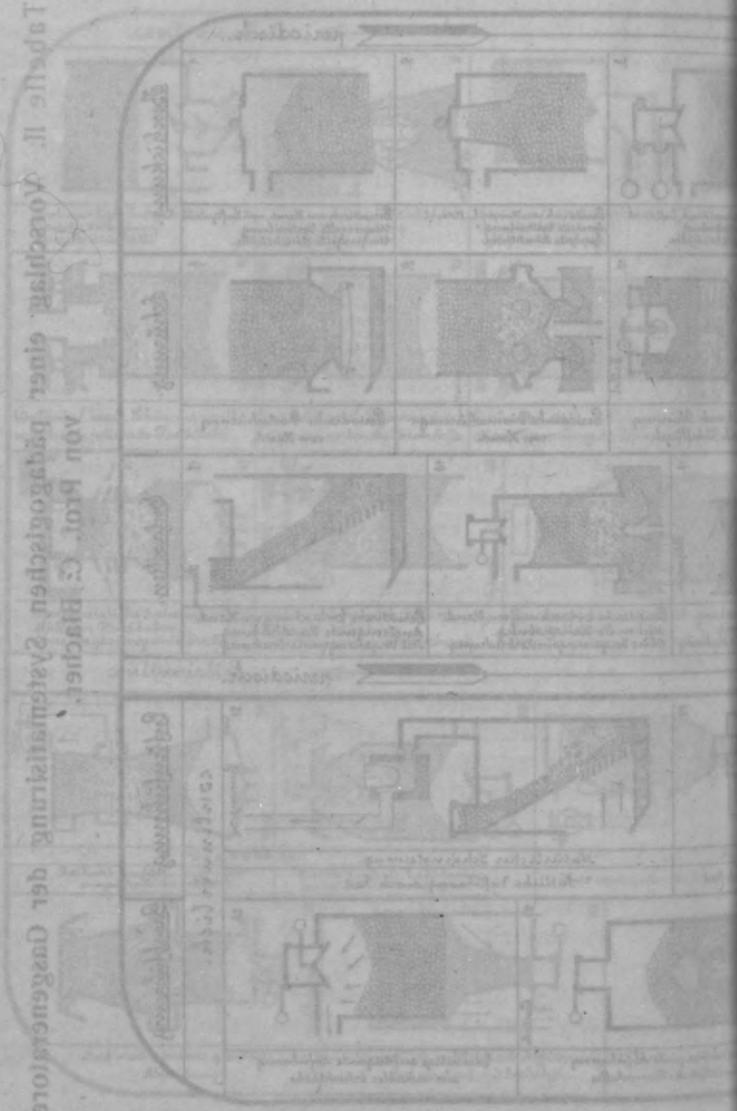
|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| periodisch.  |  | periodisch.  |   |
| Übersichtung.  |  | Schüttung.   |   |
| 1  | 2  | 3  | 4   |
|                   |       |              |    |
| Periodisch von Hand, luftdicht.<br>Eingegüllte Vertiefung.<br>Eingegüllte Schichthöhe.             | Periodisch von Hand, luftdicht.<br>Eingegüllte Vertiefung.<br>Eingegüllte Schichthöhe. | Periodisch von Hand, mit Luftzutritt.<br>Eingegüllte Vertiefung.<br>Eingegüllte Schichthöhe. | Periodisch von Hand.<br>Periodische Protschüttung.                                  |
| Übersichtung.  |  | Schüttung.   |   |
| 5  | 6  | 7  | 8   |
|                   |       |              |   |
| Periodische Entschüttung von Hand.<br>Mit Handwelle Handabhebung.<br>Ohne Vergasungsunterbrechung. | Periodische Entschüttung von Hand.<br>Ohne Vergasungsunterbrechung.                    | Periodische Entschüttung von Hand.<br>Ohne Vergasungsunterbrechung.                          | Periodische Entschüttung von Hand.<br>Ohne Vergasungsunterbrechung.                 |
| periodisch.  |  | periodisch.  |   |
| Entführung.  |  | Entführung.  |   |
| kontinuierlich.  |  | kontinuierlich.  |   |
| 9  | 10   | 11   | 12  |
|                  |      |             |  |
| Natürlicher Schornsteinzug.<br>Tätliche Zuführung durch Rost.                                      | Natürlicher Schornsteinzug.<br>Tätliche Zuführung durch Rost.                          | Natürlicher Schornsteinzug.<br>Tätliche Zuführung durch Rost.                                | Einseitige aufsteigende Abführung<br>aus variabler Schichthöhe.                     |
| periodisch.  |  | periodisch.  |   |
| Übersichtung.  |  | Übersichtung.  |   |
| 13   | 14   | 15   | 16  |
|                 |     |            |  |
| Einseitige aufsteigende Abführung<br>unterhalb des Brennstoffes.                                   | Einseitige aufsteigende Abführung<br>unterhalb des Brennstoffes.                       | Einseitige aufsteigende Abführung<br>unterhalb des Brennstoffes.                             | Einseitige aufsteigende Abführung<br>unterhalb des Brennstoffes.                    |

Tabelle II. Vorschlag einer pädagogischen Systematisierung der Gasgeneratoren  
von Prof. C. Blasche



## ÜBER DIE LEBENSDAUER DER LAUBMOOSSPOREN.

Von N. Malta.

Die hier beschriebenen Versuche sind im Anschluss an eine Untersuchung über die Trockenresistenz des Moosgametophyten ausgeführt, über welche ich in einer vorläufigen Mitteilung berichtet habe<sup>1)</sup>. Bei mehreren Arten, die nach mehrjährigem Liegen im Herbar sekundäres Protonema aus blattachselständigen Stammzellen gaben, wurden vergleichsweise auch Sporenaussaaten vorgenommen. Schon bei den ersten Versuchen stellte es sich heraus, dass die Lebensdauer der Moossporen im allgemeinen keineswegs so bedeutend ist, wie man das auf Grund einiger Angaben über die Keimung mehrere Jahrzehnte alter Moossporen erwarten konnte. Da über die Lebensdauer der Moossporen in der Literatur nur einzelne Angaben vorhanden sind, und systematische Untersuchungen an grösserem Material fehlen, habe ich ausgedehntere Versuche mit Sporen von etwa 200 Arten, darunter 80 Gattungen, zur Klärung dieser Frage vorgenommen.

### Versuchsordnung.

Die von Herbarexemplaren herstammenden Sporen wurden auf mit Fliesspapier bedeckte Objektträger ausgesät, und diese in weithalsige Flaschen mit 1 cm hoher Schicht destillierten Wassers gesetzt. Die Flaschen wurden darauf mit Wattepfropfen verschlossen und in Reihen auf Regalen aufgestellt. Die Kontrolle erfolgte mit dem Mikroskop unter Objektiv № 3. Der feuchte Objektträger samt dem Fliesspapier brauchte hierbei nur auf eine Glasplatte gesetzt zu werden. Bei kleineren Sporen oder überhaupt in zweifelhaften Fällen konnten von dem ausgesäten Material Sporen für ein mikroskopisches Präparat entnommen

<sup>1)</sup> Malta, N. Versuche über die Widerstandsfähigkeit der Moose gegen Austrocknung. Acta Univers. Latviensis I, 1921, Riga.

werden. Als Kennzeichen der Keimung galt die Bildung eines Keimschlauches bei mehreren Sporen. Sporen, welche im Laufe von 2—3 Monaten keine Keimungserscheinungen, auch nicht das Anschwellen oder Ergrünen zeigten, wurden als tot notiert. Zur Aussaat gelangten Sporen nur ganz reifer, wohlausgebildeter Kapseln. In den Herbarien findet man öfters Kapseln vor, welche in unreifem Zustande eingesammelt worden sind. Obgleich sie während des Trocknens nachreifen, so erkennt man sie doch an der helleren Farbe und der stark runzligen Kapselwand. Auch löst sich der Deckel bei ihnen nur schwierig ab. Solche während des Trocknens nachgereifte Kapseln besitzen gewöhnlich nur zum Teil keimfähige Sporen. Um ihrer Verwendung für die Saaten vorzubeugen, habe ich überhaupt entdeckelte Kapseln bedeckelten vorgezogen.

Verschiedene Kapseln eines Rasens verhalten sich oft in betreff der Keimfähigkeit ihrer Sporen sehr verschieden. So fand ich bei den Orthotrichaceen wohlausgebildete Kapseln, deren Sporen durchweg tot waren, während Sporen anderer Kapseln desselben Rasens gut keimten. Daher wurden, wo das Material es erlaubte, immer Sporen mehrerer Kapseln ausgesät. Beim grössten Teil des verwendeten Materials, waren auch die Austrocknungsverhältnisse einigermaßen bekannt. Es stand wenigstens fest, dass die Pflanzen ohne Anwendung erhöhter Temperatur getrocknet waren. Im entgegengesetzten Falle könnten die Sporen schon beim Trocknen der Moose getötet worden sein.

Die Temperatur des Versuchsraumes unterlag grösseren Schwankungen von 8—18° C. Die Versuche wurden vom Oktober 1921 bis Juni 1922 ausgeführt. Eine grössere Anzahl im Spätherbst negativ ausgefallener Versuche wurde im Frühjahr mit demselben Ergebnis wiederholt.

#### Tabelle.

Die erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Reihenfolge der Gattungen ist ungefähr die bei Roth in „Europäische Laubmoose“. Dass sie einem veralteten System folgt ist wohl hier kaum von Bedeutung. Die Zahlen 1—26 bedeuten das Alter der Sporen in Jahren. Um die Tabelle wegen der verhältnismässig wenigen Versuche mit älteren Sporen nicht zu recken, sind die Resultate dieser Versuche in  gestellt. Die Zahl bedeutet auch hier das Alter der Sporen in Jahren. Versuche, bei denen eine Keimung beobachtet wurde, sind mit +, bei denen die Keimung ausblieb mit — bezeichnet.

|                                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |  |
|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| <i>Physcomitrella patens</i>     |   |   |   |   | - |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Caulon muticum</i>            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Phascum cuspidatum</i>        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>piliferum</i>                 |   |   |   |   | - |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Hildeella bryoides</i>        |   | + |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Stomum crispum</i>            |   |   |   |   |   |   |   |   | - |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Leuridium alternifolium</i>   |   |   |   |   | - |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>subulatum</i>                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Porledera palustris</i>       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Hyemnostomum microstomum</i>  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Hyemnostylium curvirostre</i> |   | + |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Moectangium compactum</i>     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Polendoa Hornschuchiana</i>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Weisia viridula</i>           |   |   |   |   |   |   |   |   |   | +  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Microanoweisia compacta</i>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | +  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>cirrata</i>                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | +  | -  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Gynodontium gracilescens</i>  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>strumifer</i>                 |   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>fallax</i>                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Leucophorus virens</i>        |   |   |   |   |   | + |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Microanella Grevilleana</i>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>cerviculata</i>               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>varia</i>                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>heteromalla</i>               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Microcranium falcatum</i>     |   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>scoparium</i>                 |   | + |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>congestum</i>                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>fuscescens</i>                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>elongatum</i>                 |   |   | + |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>montanum</i>                  |   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>undulatum</i>                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | +  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Desmatodon ambiguus</i>       |   |   |   |   |   |   |   |   | + |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Trachydus trichodes</i>       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Camptostelium saxicola</i>    |   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Desmatodon purpureus</i>      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | +  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Trichodon cylindricus</i>     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | +  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Trichum pallidum</i>          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>oblongum</i>                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Laelia caesia</i>             |   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Distichum capillaceum</i>     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Leptodontium truncatula</i>   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Heimii</i>                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Desmatodon rubellus</i>       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>alpigenus</i>                 |   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>rigidulus</i>                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Trichostomum caespitosum</i>  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Desmatodon latifolius</i>     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

131

13-26

28

|                           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |     |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Desmatodon cernuus        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Crossidium squamigerum    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | -31 |
| Barbula unguiculata       |   |   |   | + |   | + |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " convoluta               |   |   |   | + |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " flavipes                | + |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " fallax                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Tortula lingulata         |   |   |   |   |   | + |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " inermis                 | + |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " canescens               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | -  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " subulata                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | +  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " ruralis                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " aestiva                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Fissidens bryoides        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " gymnandrus              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " pusillus                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " crassipes               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " adiantoides             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " tamarindifolius         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Schistidium apocarpum     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " lineare                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Grimmia Doniana           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " commutata               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " pulvinata               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " Mühlenbeckii            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " montana                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " ovalis                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Racomitrium protensum     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " microcarpum             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " canescens               | + |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Ptychomitrium polyphyllum |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Ulota Bruchii             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " curvifolia              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " crispula                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Orthotrichum anomalum     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " speciosum               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " Schimperii              | + |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Encalypta rhabdocarpa     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " ciliata                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " vulgaris                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " longicolla              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Tetraplodon pallidus      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " bryoides                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " Wormskjoldii            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| " angustatus              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Physcomitrium pyriforme   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Entosthodon Templetoni    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Funaria hygrometrica      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

+ nur einzelne Sporen keimten.





|                                       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |  |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| <i>Stereodon reptilis</i> . . . . .   |   |   |   |   |   | — |   |   |   |    |    |    |    |    | —  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| „ <i>cupressiforme</i> . . . . .      |   |   |   |   |   |   |   |   | — |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Ctenidium molluscum</i> . . . . .  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | —  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Hygrohypnum palustre</i> . . . . . |   |   |   | — |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Chrysohypnum Halleri</i> . . . . . | + |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| „ <i>Sommerfeltii</i> . . . . .       |   |   |   | — |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <i>Hylacomium Schreberi</i> . . . . . |   |   |   |   |   |   |   |   | — |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

### Resultate.

Schon bei flüchtiger Betrachtung der Tabelle fällt das starke Dominieren der negativ ausgefallenen Versuche auf. Die schnelle Abnahme der Keimfähigkeit der Sporen bereits im Laufe der ersten 7 Jahre ist an folgender Zusammenstellung ersichtlich.

|   |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Alter der Sporen in Jahren . . . . .                        | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| Anzahl der Versuche mit beobachteter Keimung in % . . . . . | 90% | 67% | 43% | 41% | 24% | 16% |

Man ist bei der Durchsicht der Tabelle geneigt die Lebensdauer der Sporen verschiedener systematischer Gruppen der Laubmoose untereinander zu vergleichen. Dazu ist die Anzahl der Versuche mit Sporen verschiedenen Alters bei einzelnen Arten meist zu gering. Nur einige grössere Gruppen lassen sich auch bei vorliegendem Beobachtungsmaterial in betreff der Keimfähigkeit ihrer Sporen vergleichen. So weisen die Akrokarpn im allgemeinen resistenter Sporen als die Pleurokarpn auf. Wenn wir die Versuche mit 4 Jahre alten Sporen herausgreifen, so erweist es sich, dass in diesem Alter bei den Akrokarpn 70%, bei den Pleurokarpn dagegen nur 6,6% keimten. Dieser sehr auffallende Unterschied lässt sich vielleicht mit den verschiedenen Standortsverhältnissen der beiden Moosgruppen erklären. Man könnte erwarten, dass die Lebensdauer der Sporen, ähnlich der Trockenresistenz der Moospflanze, mit den Feuchtigkeitsverhältnissen des Standortes der betreffenden Art im Zusammenhange steht. Die Sporen der hygrophilen Arten finden bei ihrer Befreiung von der Kapsel fast immer soviel Feuchtigkeit vor, dass eine sofortige Keimung möglich ist. Die Sporen der Xerophyten müssen dagegen oft auf längere Zeit die Keimung hinausschieben, bis die zur Keimung nötige Feuchtigkeit durch Witterungswechsel oder andere Umstände

besorgt wird. Die Sporen der Xerophyten müssten daher die Fähigkeit besitzen, längere Zeit keimfähig bleiben zu können, was bei den Hygro- und teils auch Mesophyten von keiner so grossen Bedeutung ist. Von diesem Standpunkte aus, lässt sich auch einigermaßen der Unterschied zwischen der Lebensdauer der Sporen der Akro- und Pleurokarpen erklären. Die Pleurokarpen sind vornehmlich schattenliebende Erd- und Rindenmoose oder Sumpf- und Wassermoose. Unter den Akrokarpen dominieren dagegen xerophytische Formen. Es ist hier gleich zu bemerken, dass die eben angeführte Abhängigkeit nicht überall streng besteht. In vielen Fällen treten auch umgekehrte Verhältnisse auf. So ist die Lebensdauer der Sporen einiger hygrophytischer *Bryum*-Arten grösser als vieler xerophytischer Grimmiaceen.

Wenn wir uns der Betrachtung der Keimungsverhältnisse bei den Akrokarpen zuwenden, so finden wir die Keimungen älterer Sporen bei folgenden Arten:

- 16 Jahre *Ceratodon purpureus*.
- 13 „ *Funaria hygrometrica*.
- 12 „ *Schistidium lineare*.
- 11 „ *Dicranum undulatum*, *Trichodon cylindricus*.
- 10 „ *Encalypta vulgaris*.
- 9 „ *Weisia viridula*, *Dicranoweisia cirrata*, *Bryum Klingraeffii*.
- 8 „ *Trematodon ambiguus*, *Pohlia bulbifera*, *Bryum purpurascens*, *Bryum alpinum*, *Polytrichum alpinum*.
- 7 „ *Bryum caespiticium*, *Polytrichum commune*.
- 6 „ *Distichium capillaceum*, *Desmatodon latifolius*, *Barbula unguiculata*, *Bryum inclinatum*, *Bryum oblongum*.
- 5 „ *Oncophorus virens*, *Didymodon rubellus*, *Didymodon rigidulus*, *Tortula lingulata*, *Tortula subulata*, *Grimmia Mühlenbeckii*, *Orthotrichum speciosum*, *Tetraplodon pallidus*, *Leptobryum pyriforme*, *Bryum pendulum*, *Bryum lacustre*, *Bryum bimum*.

Die ältesten Sporen, welche in meinen Versuchen keimten, gehören *Ceratodon purpureus* und *Funaria hygrometrica* — zwei weitverbreiteten Moosen. Wenn das nicht bloss ein Zufall ist, so dürfte die relativ hohe Resistenz der Sporen eine Rolle bei der Verbreitung beider Arten mitgespielt haben. Eine geringe Lebensdauer der Sporen unter den Akrokarpen war bei *Fissidens*, den meisten *Dicranum*-Arten und den Kleistokarpen zu konstatieren.

Die Sporen vieler *Dicranum*-Arten zeigten beim Aussäen schöne grüne Chromatophoren. Einige Tage nach der Aussaat hatte die grüne Farbe der Chromatophoren noch bedeutend an Stärke zugenommen, so dass man von einer nachträglichen Keimung der Sporen überzeugt sein konnte. Die Keimung blieb aber dennoch aus, denn die Chromatophoren erblassten allmählich und die Sporen nahmen eine „tote“ graue Färbung an. Dieser Vorgang wurde wiederholt an mehreren *Dicranum*-Arten beobachtet. Bei anderen Gattungen habe ich niemals was Ähnliches gesehen. Das Ergrünen der Sporen führte sonst immer zur Keimung.

Bei den Pleurokarpen keimten als älteste die Sporen von *Fabronia pusilla* nach 6 und Sporen von *Plagiothecium denticulatum* nach 5 Jahren. Die Gattungen *Drepanocladus*, *Stereodon* und *Brachythecium* wiesen Sporen von sehr geringer Lebensdauer auf. So waren bei *Brachythecium salebrosum* schon nach 1 Monat langem Aufbewahren 30% der Sporen tot.

In Anbetracht der grossen Anzahl negativ ausgefallener Versuche könnte man fragen, ob nicht durch ungünstige Verhältnisse der Versuchsanordnung viele noch keimfähige Sporen nicht gekeimt sind. Ist z. B. destilliertes Wasser, wenn auch nicht direkt schädlich, so doch wenigstens infolge der Armut an Nährstoffen nicht ein ungeeignetes Substrat für Keimungsversuche? Diese Frage versuchte ich dadurch zu beantworten, dass ich, parallel mit Aussaaten auf Filtrirpapier in destilliertem Wasser, etwa 35 Aussaaten in 0,1% sterilisierte Glykoselösung vornahm. Ausgesät wurden Sporen von Vertretern verschiedener systematischer Gruppen aus den Gattungen *Funaria*, *Bryum*, *Grimmia*, *Racomitrium*, *Polytrichum*, *Buxbaumia*, *Eurhynchium*, *Brachythecium*, *Drepanocladus* und *Pylaisia*. Das Ergebnis dieser Versuche war dasjenige, dass in der Glykoselösung nur bei denjenigen Sporen eine Keimung zu beobachten war, welche auch in destilliertem Wasser keimten. Die Keimung erfolgte in beiden Substraten fast zugleich, und nur die Entwicklung des Protonemas nahm in der Nährlösung nachher einen viel schnelleren Verlauf als im destillierten Wasser. Die Vorzüge des destillierten Wassers bestanden darin, dass die Entwicklung von Algen direkt gehemmt wurde. Auch machten sich bei Anwendung von destilliertem Wasser die Pilze erst nach längerer Zeit — 1 — 1½ Monaten störend bemerkbar.

Weiter könnte man darauf hinweisen, dass es überhaupt unzulässig ist, Keimungsversuche mit Sporen biologisch ganz verschiedener Moose auf *einem* Substrat auszuführen. So könnten Sporen von

*Drepanocladus*-Arten, die im destillierten Wasser nicht keimten, mit Erfolg vielleicht auf Torf gekeimt sein. Ich habe diesem Einwande Rechnung getragen, indem ich Sporen, welche trotz ihres geringen Alters im Wasser nicht keimten, auf ein den Standortsverhältnissen der Art entsprechendes Substrat aussäte. So wurden Sporen von *Drepanocladus*-Arten, *Dicranella cerviculata* und *Polytrichum*-Arten auf feuchte Torfplatten gebracht. Aber auch hier keimten nur diejenigen Sporen, welche vorher auch in destilliertem Wasser gekeimt hatten. Man wird wohl annehmen können, dass lebende Sporen fast aller Arten, vielleicht einige Splachnaceen ausgenommen, auch im Wasser Keimungserscheinungen, wie die Sprengung der Exine und Heraustritt des Keimschlauches zeigen dürften. Für die Weiterentwicklung des Protonemas ist selbstverständlich nährstoffhaltiges und in vielen Fällen auch ein spezielles Substrat notwendig. Bei den vorliegenden Versuchen handelte es sich aber nicht um Mooskulturen im Wasser, sondern bloss um die Feststellung der Keimfähigkeit der Sporen auf Grund des Beginnes des Keimungsvorganges.

Wie es schon aus dem Titel der Arbeit folgt, sind nur Laubmoose, resp. Vertreter der *Bryales* untersucht worden. Dass Lebermoose nicht herangezogen sind, hat seinen Grund in dem relativ schweren Erlangen grösseren Sporenmaterials dieser Moosgruppe. Ist die Lebermooskapsel reif, so klappt sie auf und die Sporen sind verschüttet. Von einer entdeckelten Laubmooskapsel kann man dagegen fast immer noch Sporenmaterial entnehmen. Einzelversuche wurden bei Lebermoosen mit Sporen von:

- Pellia Neesiana* — 4 Jahre alt,  
*Preissia commutata* — 8 Jahr alt,  
*Plagiochila asplenioides* — 4 Jahre alt,

mit negativem Erfolge ausgeführt. Ebenfalls negativ verliefen Keimungsversuche mit Sporen von Torfmoosen:

- Sphagnum Lindbergii* — 4 Jahre alt,  
 „ *subbicolor* — 5 Jahre alt,  
 „ *squarrosum* — 9 Jahre alt.

Diese wenigen Versuche berechtigen uns nicht Schlüsse über die Lebensdauer der Sporen von Leber- und Torfmoosen zu ziehen. Nach der Analogie mit den Keimungsverhältnissen der Sporen hygrophytischer *Bryales*, dürften wir bei den Leber- und Torfmoosen doch nur eine geringe Lebensdauer der Sporen erwarten. Eine Ausnahme davon

könnten die Sporen xerophytischer Lebermoose des Mittelmeergebietes wie *Grimaldia*, *Plagiochasma* u. a., die auch eine grosse Trockenresistenz des Gametophyten aufweisen, bilden.

Die erhaltenen Resultate können uns nur ein allgemeines Bild von der Lebensdauer der Laubmoossporen liefern. Im idealen Falle müsste durch zahlreiche Versuche die Grenze der Keimfähigkeit der Sporen bei jeder einzelnen Art festgestellt werden. Die Schwierigkeit dabei besteht im Erlangen des Sporenmateri als der betreffenden Arten in einer ganzen Reihe von verschiedenen Altersstufen. In vorliegender Abhandlung ist die Grenze der Keimfähigkeit der Sporen nur bei einigen Arten wie *Ceratodon*, *Funaria hygrometrica*, *Bryum pendulum*, *Bryum caespiticum* und *Polytrichum commune* provisorisch festgestellt.

Die grosse Lebensdauer der Laubmoossporen, welche nach *Schimper*<sup>1)</sup> 50 Jahre erreichen kann, ist schon von *Correns*<sup>2)</sup> angezweifelt worden. Auch *Treboux*<sup>3)</sup> konstatierte bei einigen Arten schon nach einjährigem Aufbewahren der Sporen eine geschwächte Keimfähigkeit. Meine frühere Angabe<sup>4)</sup> über die Keimung 70 Jahre alter Sporen von *Grimmia pulvinata* konnte durch wiederholte Nachversuche nicht bestätigt werden. Es hat in diesem Falle vermutlich eine Verunreinigung der Kultur mit fremden, jüngeren Sporen von aussen stattgefunden. Es ist trotz meiner Befunde selbstverständlich nicht ausgeschlossen, dass Keimungen von Laubmoossporen auch nach mehreren Jahrzehnten möglich sind. Den angeführten Resultaten zufolge dürften solche Fälle jedoch nur seltene Ausnahmen darstellen.

Herrn cand. rer. nat. K. Ābele spreche ich für die Hilfe bei der Ausführung der Versuche auch hier meinen besten Dank aus.

Riga, Botan. Laborat. der Universität, Juni 1922.

1) *Schimper, W.* Recherches anatomiques et morphologiques sur les mousses. Strassburg, 1848.

2) *Correns, C.* Untersuchungen über die Vermehrung der Laubmoose etc. Jena, 1899.

3) *Treboux, O.* Die Keimung der Moossporen in ihrer Beziehung zum Lichte. Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch. Bnd. XXIII, Heft 8, 1905.

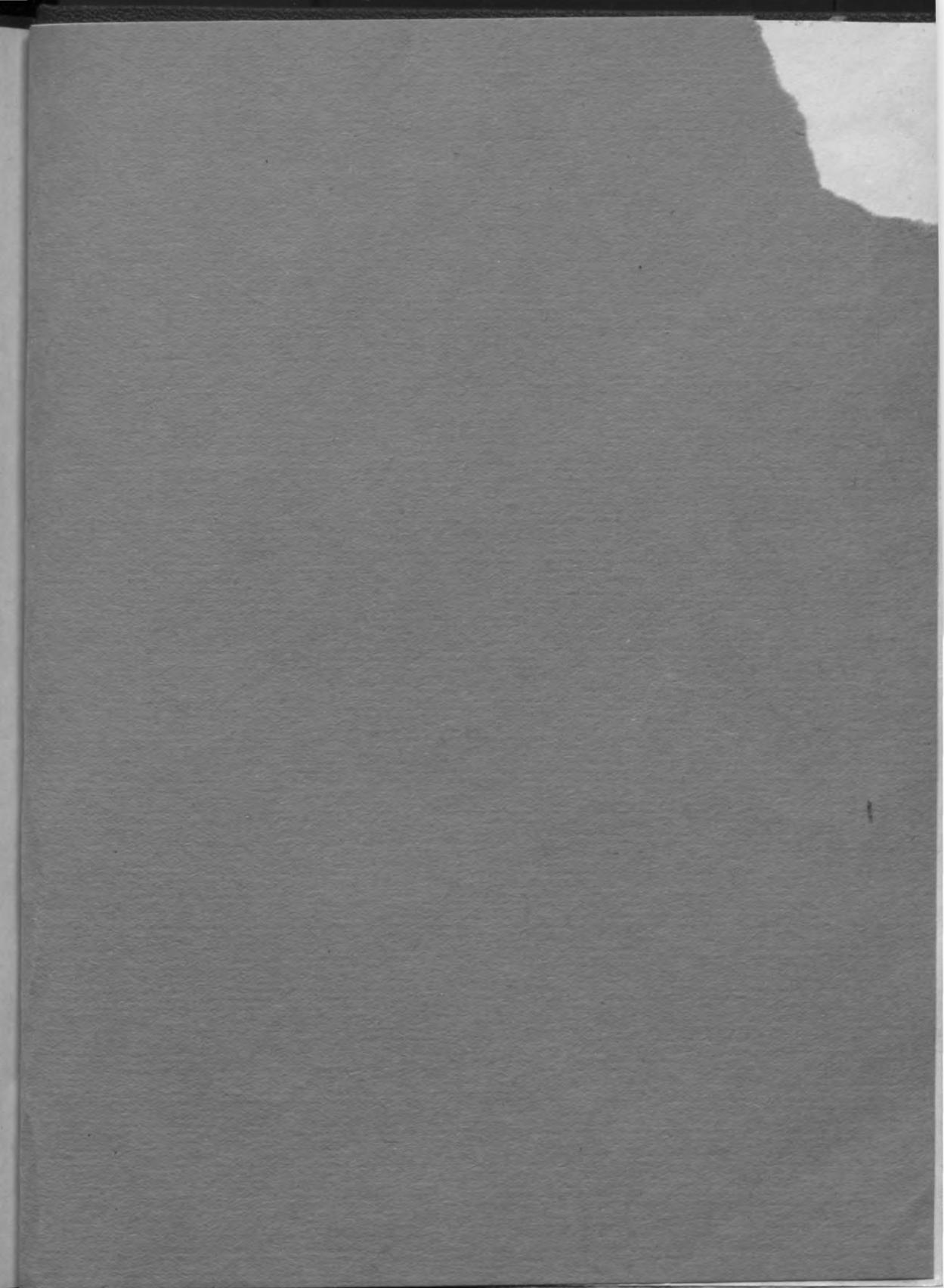
4) *Malta, N.* Versuche über die Widerstandsfähigkeit der Moose gegen Austrocknung. Acta Univers. Latviensis I, 1921, Riga.

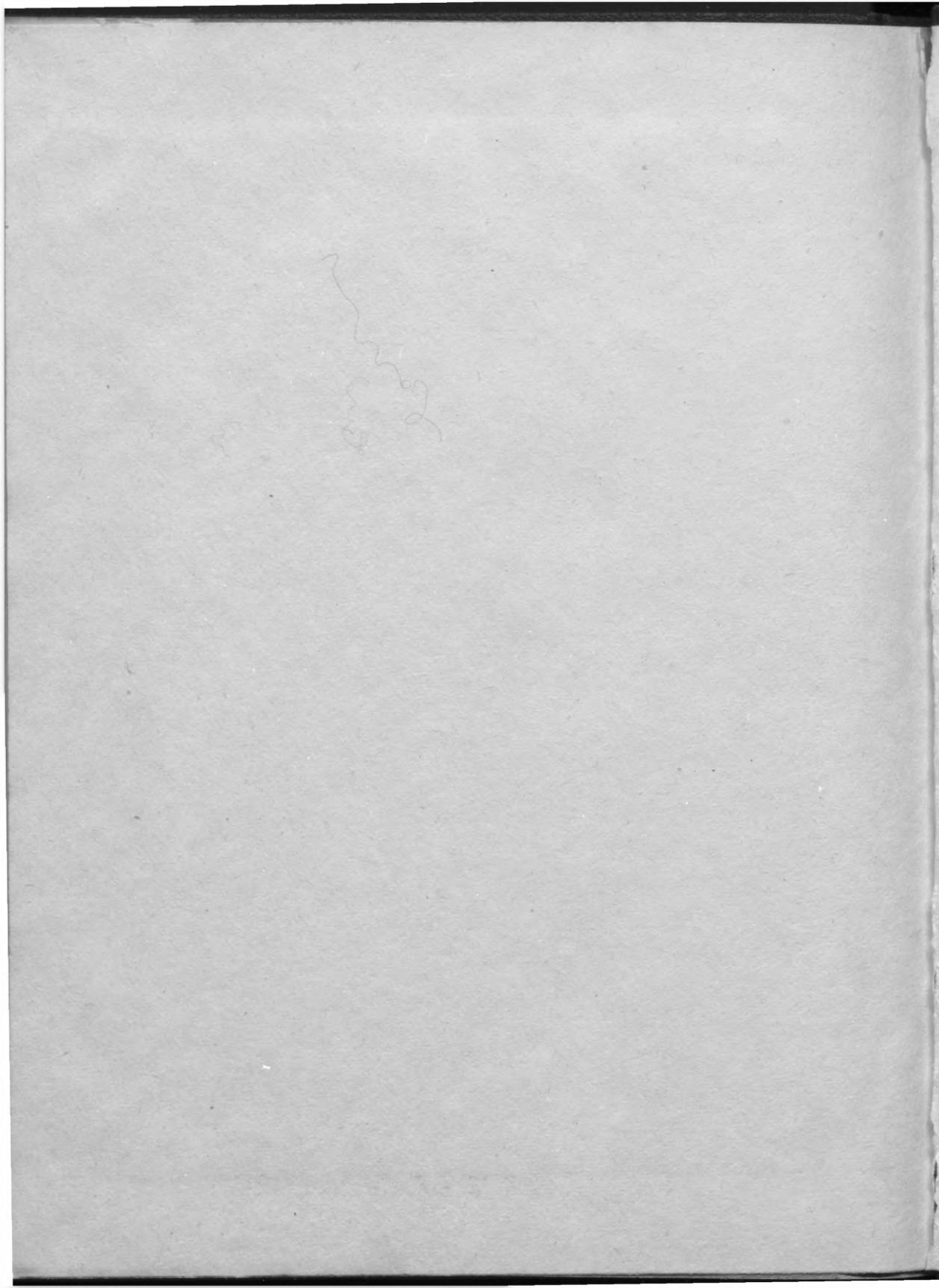
### Lapu sūnu sporu dzīves ilgums.

Par jautājumu, cik ilgi sūnu sporas var uzglabāt dīgšanas spēju, literatūrā sastopami tikai atsevišķi un pretrunīgi dati. Jautājuma noskaidrošanai tika izdarīti lapu sūnu sporu dīgšanas mēģinājumi pie lielāka materiala — apmēram 200 sugām. Dažāda vecuma sporas no herbarija izseja uz filtra papīra strēmelēm, kuņas bija piestiprinātas uz priekšmetstikliem un iemērkotas ar vienu galu destilētā ūdenī. Kontrolē notika ar mikroskopu tieši zem objektīva № 3.

Iegūtie rezultāti, kas sakopoti tabeļē, rāda, ka sūnu sporu dzīves ilgums nav tik liels, kā to varēja domāt pēc dažiem agrākiem datiem. Vecākās sporas, kuņas mēģinājumos dīga, bija 16 gadus vecas *Ceratodon purpureus* sporas. Pēc 10 gadus ilgas uzglabāšanas dīga tikai 6 sugu sporas. Pie daudzām sugām jau 2 gadus vecas sporas izrādījās par nedzīvām. Akrokarmo sūnu sporas uzglabā dīgšanas spēju daudz ilgāk nekā pleurokarmo sūnu sporas.

Sporu dzīves ilgums stāv sakarā ar attiecīgās sūnu sugas dzīves apstākļiem. Uz mitriem substrātiem augošo sugu sporas drīz zaudē dīgšanas spēju, kamēr sausaudžu (kserofītu) sporām ar maz izņēmumiem ir ievērojams dzīves ilgums.





LU bibliotēka



220027881

134879