

Zeitschrift:	Bulletin technique de la Suisse romande
Band:	62 (1936)
Heft:	9
Artikel:	Considérations sur les pertes de charge des usines hydro-électriques à haute chute
Autor:	Mathys, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-47575

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs
Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 10 francs
Etranger : 12 francs

Prix du numéro :
75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & Cie, à Lausanne.

Paraissant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. — Organe de publication de la Commission centrale pour la navigation du Rhin.

COMITÉ DE RÉDACTION. — Président: R. NEESER, ingénieur, à Genève. — Secrétaire : EDM. EMMANUEL, ingénieur, à Genève. — Membres : *Fribourg*: MM. L. HERTLING, architecte; A. ROSSIER, ingénieur; *Vaud*: MM. C. BUTTICAZ, ingénieur; E. ELSKES, ingénieur; EPITAUX, architecte; E. JOST, architecte; A. PARIS, ingénieur; *Genève*: MM. L. ARCHINARD, ingénieur; E. ODIER, architecte; CH. WEIBEL, architecte; *Neuchâtel*: MM. J. BÉGUIN, architecte; R. GUYE, ingénieur; A. MÉAN, ingénieur cantonal; E. PRINCE, architecte; *Valais*: MM. J. COUCHEPIN, ingénieur, à Martigny; HAENNY, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION: H. DEMIERRE, ingénieur, 11, Avenue des Mousquetaires,
LA TOUR-DE-PEILZ.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DU BULLETIN TECHNIQUE
A. DOMMER, ingénieur, président; G. EPITAUX, architecte; M. IMER; E. SAVARY, ingénieur.

SOMMAIRE : *Considérations sur les pertes de charge des usines hydro-électriques à haute chute*, par G. MATHYS, ingénieur à la Société suisse d'électricité et de traction, à Bâle. — *Le déterminisme statistique et sa signification pour l'ingénieur*, par le Dr W. KUMMER, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, à Zurich. — *Concours pour l'aménagement de la propriété du Château de Beaulieu, à Lausanne*. — DIVERS : *Epuration des eaux usées et aménagement des eaux potables*. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des ingénieurs et des architectes*. — *Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*. — NÉCROLOGIE : *Henri Aguet*. — BIBLIOGRAPHIE. — SERVICE DE PLACEMENT. — NOUVEAUTÉS. INFORMATIONS DIVERSES.

Considérations sur les pertes de charge des usines hydro-électriques à haute chute,

par G. MATHYS, ingénieur à la Société suisse d'électricité
et de traction, à Bâle.

L'ingénieur, appelé à établir un projet de centrale hydro-électrique à haute chute, se place, dans la règle, à des points de vue très différents pour apprécier le rendement des diverses parties, qui constituent l'objet de son étude. Il cherche à augmenter le plus possible le rendement des turbines, des génératrices et des transformateurs et attache en général beaucoup moins d'importance à la perte de charge des ouvrages de génie civil (prise d'eau, galerie, conduite forcée et collecteur) qu'il considère souvent comme peu susceptible d'améliorations. De même, l'ingénieur qui exploite une centrale hydro-électrique voudra toute son attention à l'effet de l'usure sur les machines sans se préoccuper véritablement des pertes de charge supplémentaires que cause le vieillissement des ouvrages de génie civil. C'est cette recherche de la conservation du rendement des machines qui a provoqué l'invention du dessableur Dufour à fonctionnement continu, basé sur un principe simple et rationnel, et aux procédés modernes de recharge des aubes et des appareils de distribution des turbines. Le même ingénieur qui veille avec un soin jaloux sur ses machines, ignore complètement l'effet des incrustations et des dépôts qui se forment dans sa galerie et dans sa conduite forcée et connaît encore moins les moyens d'éviter les pertes de charge qui en résultent.

Il est assez naturel qu'en établissant le projet d'une usine hydro-électrique, l'ingénieur vole, avant tout, son attention à se procurer des machines aussi perfectionnées que possible, car les constructeurs, qui sont en compétition entre eux, cherchent à se surpasser les uns les autres, tant au point de vue de la bienfacture, du prix de revient que du rendement de leurs machines. Les ouvrages de génie civil, par contre, ne font que rarement l'objet d'un concours. On se contente de comparer les prix des différents concurrents ou des différentes solutions à envisager, on exigera peut-être de l'entrepreneur qu'il garantisse l'étanchéité des ouvrages, mais non leur rendement hydraulique. Il serait faux d'en conclure qu'on n'a pas réalisé de grands progrès dans ce domaine. Bien au contraire, mais ces progrès ne sont pas d'une application générale. Nous connaissons des conduites forcées vieilles de 25 ans, comme celle de la Biaschina,

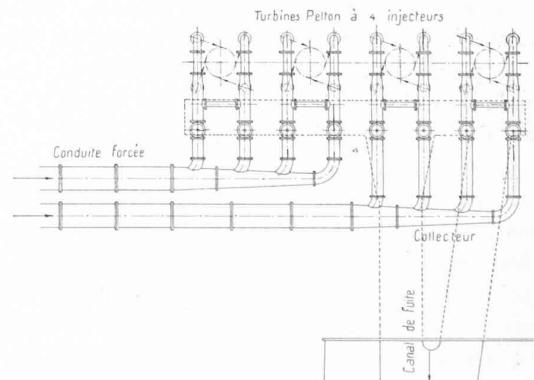


Fig. 1. — Disposition de l'usine de la Biaschina construite de 1907 à 1911.
Echelle 1 : 500.

par exemple (fig. 1), qui sont des modèles par les dispositions adoptées en vue de réduire la perte de charge, et nous possédons depuis très longtemps des galeries à section circulaire et en pression, très avantageuses au point de vue de leur rendement hydraulique. En revanche, on a réalisé, il y a peu de temps, en Suisse, des galeries à écoulement libre de plus de 4 % de pente moyenne et des dispositions de conduite forcée analogues à celles de la figure 2, qui présentent des pertes de charge exa-

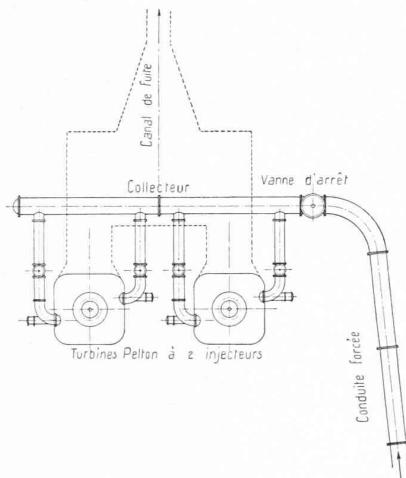


Fig. 2. — Disposition d'une usine suisse récente, construite vers 1930.
Echelle 1 : 500.

gérées. Si on établit le rapport de la perte de charge des ouvrages de génie civil des usines suisses récentes à haute chute, à leur chute brute totale, on obtient un chiffre en pourcents, qui varie de 5,5 à 20,8. Généralement, ce chiffre est plus favorable pour les usines à très haute chute que pour celles à chute faible et au moment de l'étiage qu'à celui du plein débit. Mais il est, avant tout, fonction des conditions locales et permet, sous toutes réserves et jusqu'à un certain point d'apprécier si le projet considéré vaut la peine d'être exécuté. Pour une usine moderne, bien comprise, ce chiffre devrait, sauf exception, varier de 5 à 10 %, et il y a tout avantage à le réduire dans la mesure du possible si on peut le faire sans augmenter sensiblement le prix de revient de l'installation. Les ouvrages de génie civil, qui contribuent le plus à augmenter la perte de charge, sont la galerie, la conduite forcée, le collecteur et, le cas échéant, le canal de fuite. La prise d'eau, le dessableur, l'entrée de la galerie et la chambre d'équilibre provoquent en général une faible perte de charge, qu'une disposition judicieuse permettra de réduire à un minimum. Mais il sera bon que l'ingénieur y voie toute son attention, sous peine de sacrifier une bonne partie du gain qu'il pourrait réaliser par ailleurs.

Nous allons examiner les possibilités qu'il y a de réduire les pertes de charge des conduites forcées et des galeries et par là d'améliorer le rendement total des ouvrages de génie civil.

Conduites forcées.

1. La disposition générale de la conduite forcée et du collecteur exerce un rôle prépondérant sur les pertes de charge. Jusqu'à ces dernières années, cette disposition a été influencée par la crainte qu'avaient les ingénieurs d'une rupture éventuelle des conduites (fig. 1 et 2), mais depuis quelques années, aussi bien en Suisse qu'à l'étranger, on paraît s'être enfin affranchi de cette phobie (fig. 3)

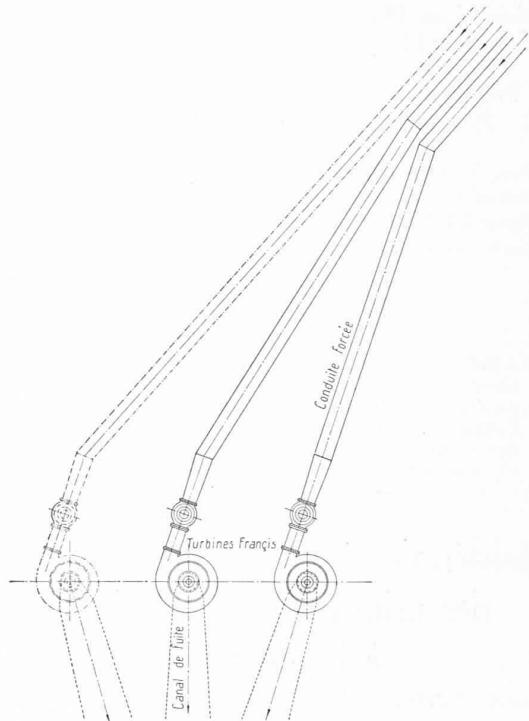


Fig. 3. — Disposition de l'usine de Piottino, mise en service en 1932.
Echelle 1 : 500.

et 4). Le meilleur rendement hydraulique sera réalisé par la conduite la plus droite, avec départs des tubulures se faisant sous un angle aussi aigu que possible avec la direction de la conduite. La disposition adoptée pour l'usine de l'Etzel est particulièrement intéressante sous ce rapport.

2. Le nombre de conduites forcées, qui alimentent une usine, est fixé, en général, à la suite de considérations particulières, telles que désir de desservir chaque groupe par une conduite indépendante, nécessité d'équiper l'usine en plusieurs étapes, etc. De plus, jusqu'à ces dernières années, l'obligation qu'on avait de ne pas employer de tôles de plus d'environ 30 mm d'épaisseur, limitait le diamètre des conduites.

Or, il y a, au point de vue de la perte de charge, un très gros avantage à réduire le nombre de conduites à un minimum.

Envisageons en effet, pour l'équipement de la même usine exigeant un débit Q , d'une part, une seule conduite de section F , de poids P et de perte de charge J , d'autre part n conduites de section F_n , de poids P_n et de perte de charge I_n .

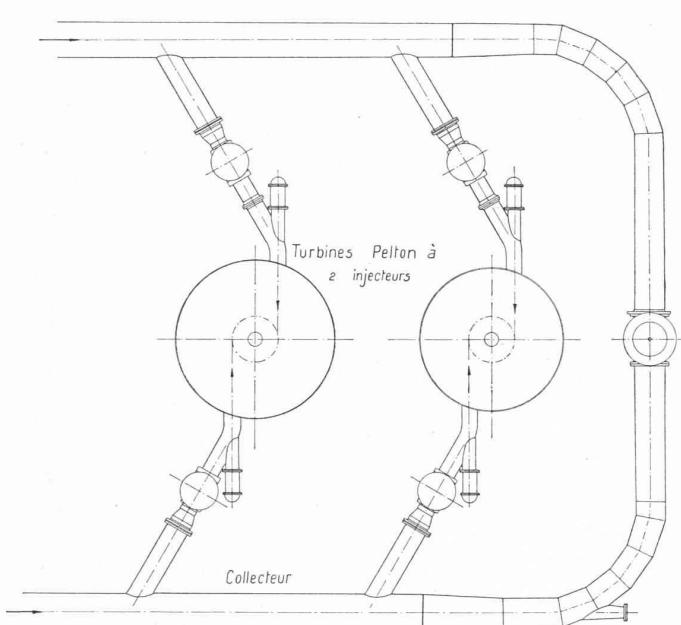


Fig. 4. — Usine de l'Etzel, en construction, 2 groupes, sur 6 prévus.
Echelle 1 : 250.

Si on admet que la vitesse de l'eau reste la même dans les deux cas, on a $F = nF_n$
et il est facile de démontrer que $P = nP_n$
c'est-à-dire qu'à vitesse constante et si le métal est soumis aux mêmes fatigues, le poids total des conduites forcées reste le même, quel que soit leur nombre.

Si on admet la formule de Strickler

$$\varphi = kJ^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}},$$

pour le calcul de la perte de charge, on peut établir

$$J = \frac{\varphi^2}{k^2 \left(\frac{Q}{4\pi v} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad \text{dans le cas d'une seule conduite et}$$

$$J_n = \frac{\varphi^2}{k^2 \left(\frac{Q}{4\pi v n} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad \text{dans le cas de } n \text{ conduites.}$$

Il en résulte $J_n = J n^{\frac{2}{3}}$, c'est-à-dire que dans le cas de n conduites la perte de charge est $n^{\frac{2}{3}}$ fois plus grande que dans le cas d'une seule conduite. Si $n = 3$, $n^{\frac{2}{3}} = 2,08$, donc trois conduites forcées de même poids qu'une seule, présenteraient une perte de charge 2,08 fois plus grande que la conduite unique.

Il y a peu de temps encore, l'obligation de limiter l'épaisseur des tôles à environ 30 mm exigeait pour les fortes pressions et les grands diamètres l'emploi de tuyaux frettés qu'on ne pouvait fabriquer en Suisse. Mais il n'en est plus de même suivant un article récent du « Bauingenieur »¹, d'après lequel la métallurgie allemande a réalisé des progrès considérables, qui lui permettent d'exécuter actuellement des tuyaux d'acier doux de 70 mm d'épaisseur ou plus, soudés en atelier au gaz à l'eau, ou laminés d'un seul bloc sans soudure longitudinale. L'assemblage en chantier de ces tuyaux, dont

¹ Prof. Dr. F. TÖLKE, Ueber die Fortschritte in der Herstellung und Planung von Druckrohrleitungen, « Bauingenieur », 26 oct. 1934.

le poids peut atteindre 37 t, a lieu par soudure à l'arc électrique. Au dire de l'auteur, le Dr Tölke, on peut renoncer désormais aux tuyaux frettés, dont le prix est de 50 % plus élevé que celui des tuyaux non frettés de même résistance. Les perspectives ouvertes par l'auteur permettraient donc, soit de diminuer fortement les pertes de charge des conduites forcées en réduisant leur nombre à un minimum, soit de diminuer le poids des conduites sans modifier la perte de charge, partant de réduire le prix de premier établissement de ces conduites.

3. La substitution de conduites entièrement soudées aux conduites rivées a pour conséquence une diminution importante de la perte de charge. Malheureusement, on connaît encore très mal les coefficients de rugosité des différentes conduites¹. A la suite de la note, qui a paru l'année dernière, ici même, la Société suisse des ingénieurs et des architectes avait convoqué, le 16 janvier dernier, une assemblée des principaux intéressés, représentants de nos écoles techniques supérieures, industriels, bureaux d'ingénieurs, producteurs d'énergie électrique, etc. Cette assemblée a décidé la création de deux commissions, l'une qui, à la demande de la S. I. A., sera présidée par M. Meyer-Peter, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, aura pour but l'étude des coefficients de rugosité des conduites forcées et des galeries, l'autre, présidée par M. Dubs, professeur à la même école, étudiera les phénomènes du coup de bêlier. On s'occupe en ce moment de constituer les deux commissions, ainsi qu'un comité directeur et de financer le mouvement.

M. Meyer-Peter se propose de se servir de la formule de Strickler, d'un usage de plus en plus courant. Cette formule

$$\varphi = kJ^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}},$$

dans laquelle φ désigne la vitesse de l'eau, k un paramètre qui dépend de la nature des parois, J la perte de charge et R le rayon hydraulique, présente de grands avantages. Si on l'écrit sous la forme

$$J = \frac{\varphi^2}{k^2 R^{\frac{4}{3}}}$$

on reconnaît que k , nul pour des parois de très grande rugosité, augmente au fur et à mesure que la rugosité diminue et tend vers l'infini. Pratiquement, ses limites extrêmes sont 10 et 150. Le fait que sa valeur diminue quand la rugosité augmente, fait apparaître la désignation de coefficient de rugosité comme un non-sens, et c'est pourquoi nous nous proposons d'appeler ci-après k , coefficient d'écoulement, ce qui semble répondre davantage à sa nature.

Il serait extrêmement intéressant, non seulement de déterminer la valeur exacte du coefficient d'écoulement, qui doit varier de 60 à 80 pour les conduites rivées, et de 90 à 100 pour les conduites soudées, mais aussi d'arriver à découvrir des aciers spéciaux, particulièrement lisses, dont l'usage permettrait de pousser la valeur de ce coefficient à 110 ou à 120.

¹ G. MATHYS, Contribution à l'étude du coefficient de rugosité des conduites forcées, « Bulletin technique de la Suisse romande », 17 et 31 août 1935.

L'examen d'un cas particulier permettra au lecteur de se rendre compte de la portée d'une telle amélioration.

Soit une usine de 330 m de chute brute, alimentée par 3 conduites de 570 m de long, de 1,55 m de diamètre à leur extrémité supérieure et de 1,30 m de diamètre à leur extrémité inférieure, dans lesquelles l'eau coule à une vitesse qui passe de 4,45 à 6,30 m/s.

Si les conduites étaient en tuyaux soudés, assemblés par joints coniques à 2 lignes de rivets, le coefficient k serait de l'ordre de 80 et la perte de charge comporterait 10,25 m.

L'emploi de tuyaux soudés assemblés bout à bout par soudure électrique avec $k = 95$ ramènerait la perte de charge à 7,25 m et l'emploi d'une seule conduite entièrement soudée particulièrement lisse, à coefficient $k = 110$, réduirait cette perte à 2,60 m.

L'économie de perte de charge par rapport à la chute brute serait donc de

0,91 % dans le 2^e
et de 2,31 % dans le 3^e cas.

4. Comme nous l'avons dit, on connaît très mal la façon dont le vieillissement agit sur les conduites forcées. Ce qui paraît certain c'est que leur rugosité augmente avec les années de service. La recherche des moyens propres à combattre l'augmentation de perte de charge qui en résulte, figurera également au programme de la première des commissions dont il vient d'être question.

(A suivre).

Le déterminisme statistique et sa signification pour l'ingénieur,

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

Ensuite de notre étude « Sur l'application du calcul des probabilités dans les projets de l'ingénieur » que le « Bulletin technique » a publiée en 1933 (N^o 11 du 27 mai, page 129, et N^o 12 du 10 juin, page 141), et aussi à d'autres occasions, on nous a objecté parfois, qu'une évaluation *a priori*, par le calcul des probabilités, de données techniques ne pouvait être admise que si ces données relevaient de causes entièrement fortuites. En effet, très souvent le calcul des probabilités est considéré comme applicable uniquement à l'analyse du hasard illimité. Sans doute, ce point de vue trop étroit est dû à une conception inexacte de la définition même de la probabilité. Car, en définissant comme probabilité d'un événement le rapport des cas favorables à cet événement au nombre total des cas possibles, à condition que tous ces cas soient également vraisemblables, on oublie généralement que ce total des cas possibles doit former un *collectif*, c'est-à-dire une collection de cas justement compatibles avec la structure de l'événement en ques-

tion. Ainsi, il y a, par le fait du collectif et par le fait que la probabilité d'un événement est identique à sa fréquence, une sorte de *détermination* de l'événement. Cette détermination est d'ordre statistique ; la règle qu'elle comporte est celle de la loi dite des grands nombres.

Il importe de rappeler ce que S.-D. Poisson en a écrit, il y a cent ans¹ : « Les choses de toutes natures sont soumises à une loi universelle qu'on peut appeler la *loi des grands nombres*. Elle consiste en ce que, si l'on observe des nombres très considérables d'événements d'une même nature, dépendants de causes constantes et de causes qui varient irrégulièrement, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, c'est-à-dire sans que leur variation soit progressive dans aucun sens déterminé, on trouvera, entre ces nombres, des rapports à très peu près constants. Pour chaque nature de choses, ces rapports auront une valeur spéciale, dont ils s'écartent de moins en moins, à mesure que la série des événements observés augmentera davantage, et qu'ils atteindraient rigoureusement s'il était possible de prolonger cette série à l'infini ».

Dans le même ouvrage¹, un peu plus loin nous lisons : « Cette loi des grands nombres s'observe dans les événements que nous attribuons à un aveugle hasard, faute d'en connaître les causes ou parce qu'elles sont trop compliquées ».

Nous extrayons encore du même ouvrage ces quelques lignes² : « La même loi régit également les phénomènes qui sont produits par des forces connues, concurremment avec des causes accidentelles dont les effets n'ont aucune régularité ».

Il résulte de l'ouvrage de Poisson qu'il avait bien la conscience du fond empirique du principe de la probabilité. Dans la suite, cette conscience s'est affaiblie, pour être reprise seulement ces dernières années. Ainsi l'on comprend encore mieux la répulsion des techniciens vis-à-vis d'un principe dont le fond était considéré comme étranger à la fois à l'empirisme et à la causalité rigoureuse. En effet, l'essor de la technique, repose sur l'empirisme et sur la causalité. En se servant du premier outil, l'homme primitif a inauguré cette technique basée sur l'empirisme et la causalité. Le développement de la technique, accompagné du développement de la physique, a particulièrement consolidé l'idée de la causalité rigoureuse. Pour la physique, cette idée est reconnue indispensable pendant 22 siècles et demi, c'est-à-dire depuis les expériences d'Architas de Tarente jusqu'aux recherches des Clausius, Maxwell et Boltzmann. Avec ces recherches, l'atomisme moderne des substances pondérables devient l'hypothèse féconde de la thermodynamique, exprimée sur la base d'une détermination statistique. Ensuite, au cours de ce dernier demi-siècle, l'importance de la détermination statistique s'est accentuée dans la physique moderne. Actuellement, on constate

¹ S.-D. Poisson. Recherches sur la probabilité des jugements, Paris 1837, page 7.

² *l. c.*, page 8. — ³ *l. c.*, page 9.