

# SUR CERTAINES FONCTIONS ANALYTIQUES UNIFORMES OBTENUES COMME LIMITES DE FONCTIONS MULTIFORMES

Autor(en): **Pompeiu, D.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **19 (1917)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-17320>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

SUR  
CERTAINES FONCTIONS ANALYTIQUES UNIFORMES  
OBTENUES  
COMME LIMITES DE FONCTIONS MULTIFORMES

PAR

D. POMPEIU (Bucarest).

---

1. — On connaît le procédé, aujourd'hui classique, pour définir sur un segment rectiligne un ensemble de points : parfait et partout non dense.

On enlève du segment donné  $(a, b)$  les points intérieurs appartenant à une suite dénombrable d'intervalles  $(a_k, b_k)$ , ces intervalles étant assujettis aux deux conditions suivantes :

1° Deux quelconques de ces intervalles n'empiètent jamais l'un sur l'autre et n'ont aucune extrémité commune ;

2° Dans toute portion de  $(a, b)$  il y a des points appartenant à des segments  $(a_k, b_k)$ .

Il est clair que

$$\Sigma(b_k - a_k) \leq b - a .$$

Dans le cas de l'égalité l'ensemble obtenu est de longueur nulle ; dans l'autre cas il est de longueur finie.

2. — Parallèlement à cette opération qui donne l'ensemble parfait partout non dense, considérons une fonction non uniforme  $F(z)$  admettant les points  $a$  et  $b$  comme points *critiques* et supposons qu'il soit possible de trouver une autre fonction  $F_1(z)$  admettant  $a_1$  et  $b_1$  comme points critiques, et telle que la différence

$$\Phi_1(z) = F(z) - F_1(z)$$

n'admette plus  $(a_1 b_1)$  comme coupure,  $\Phi_1(z)$  ayant deux coupures  $aa_1$  et  $bb_1$ .

Supposons maintenant que l'on puisse trouver  $F_2(z)$  de façon que retranchant  $F_2(z)$  de  $\Phi_1(z)$  la fonction

$$\Phi_2(z) = F(z) - F_1(z) - F_2(z)$$

soit *uniforme* le long de  $a_2 b_2$ , les points  $a_2$  et  $b_2$  étant des points critiques pour  $F_2(z)$ . — Et ainsi de suite.

On serait ainsi conduit à une série

$$\Phi(z) = F(z) - \Sigma F_k(z)$$

définissant une fonction analytique uniforme possédant des points singuliers formant un ensemble parfait non dense.

Dans ce qui suit nous nous proposons de développer ces indications générales et de préciser la méthode qui en découle.

3. — Soit  $F(z)$  une fonction analytique possédant deux points *critiques*  $a$  et  $b$ . Nous écrirons

$$F(z, a, b)$$

pour mettre en évidence les points critiques ; il est clair qu'en dehors des points d'une coupure  $(a, b)$  (qu'on peut supposer *rectiligne*) une quelconque des déterminations de  $F$  est uniforme : autrement le point à l'infini serait lui-même critique, ce qui n'est pas dans nos hypothèses.

Cela posé, soit

$$G(z, a_1, b_1)$$

une autre fonction analytique non uniforme, possédant les points critiques  $a_1$  et  $b_1$  ; je suppose, pour simplifier l'exposition, que  $a_1$  et  $b_1$  sont deux points situés sur le segment  $ab$ , de façon que

$$|a_1 - b_1| < |a - b|.$$

Cela précisé, je suppose que la fonction

$$H = F - G$$

(ou, d'une façon plus claire, toute détermination de cette

fonction) est uniforme en dehors des segments rectilignes  $aa_1$  et  $bb_1$ .

En d'autres termes nous admettons que : en retranchant de  $F$  (qui possède la coupure  $ab$ ) la fonction  $G$  (qui possède la coupure  $a_1b_1$ ) on *neutralise* la portion  $a_1b_1$  de la coupure  $ab$ . Nous nous proposons, en prenant ce fait analytique comme prémisses, de chercher la forme générale des fonctions  $F$  et  $G$ .

4. — Pour cela partons d'un point  $\zeta$ , situé sur  $ab$ , avec une certaine détermination  $F_0$  de  $F$  et tournons autour du point critique  $a$ , dans le sens direct, pour revenir au même point  $\zeta$  : nous arriverons avec une autre détermination  $F_1$  de  $F$  :

La différence

$$F_1(\zeta) - F_0(\zeta) = f(\zeta) \quad (1)$$

n'est pas nulle, en général, lorsque  $\zeta$  décrit le segment  $ab$  : c'est d'ailleurs une fonction analytique qui peut être prolongée en dehors du segment  $ab$ .

Un raisonnement analogue nous conduit à une fonction

$$G_1(\zeta) - G_0(\zeta) = g(\zeta) \quad (2)$$

définie sur le segment  $ab$  et qui est aussi analytique et prolongeable en dehors de  $ab$ .

Il est clair que le fait analytique qui constitue notre hypothèse se traduit par la condition

$$g(\zeta) \equiv f(\zeta) \quad (\text{à une condition uniforme près}) . \quad (3)$$

Je dis que cette condition entraîne la conclusion suivante :  $f(z)$  est nécessairement une fonction uniforme.

En effet, envisageons la relation (1) par laquelle est définie  $f(z)$ .

Si cette fonction est non uniforme elle ne peut admettre d'autres points critiques que  $a$  et  $b$ , d'après nos hypothèses relatives à  $F$ .

De la même manière raisonnant sur la relation (2) nous voyons que  $g(z)$  ne peut admettre d'autres points critiques que  $a_1$  et  $b_1$ .

Mais dans ces conditions, on le voit clairement, la relation (3) ne peut subsister que si  $f(z) \equiv g(z)$  est une fonction *uniforme*.

C'est la conclusion à laquelle nous voulions arriver. Mais cette conclusion nous conduit au *problème général* suivant :

Soit  $F(z)$  une fonction non uniforme ayant deux points critiques  $a$  et  $b$  : elle est, par suite, uniforme le long de tout contour fermé contenant  $a$  et  $b$  dans son intérieur (autrement le point à l'infini serait aussi *critique*).

Joignons  $a$  et  $b$  par un segment rectiligne  $\overline{ab}$ . Lorsque l'on part d'un point  $\zeta$ , situé sur  $\overline{ab}$  avec une certaine détermination  $F_0(z)$  de  $F(z)$  et que l'on tourne autour du point  $a$  on revient en  $\zeta$  avec une valeur  $F_1(\zeta)$  différente de la valeur initiale  $F_0(\zeta)$  : c'est en quoi consiste la non-uniformité autour de  $a$ .

Si maintenant on considère la différence

$$f(\zeta) = F_1(\zeta) - F_0(\zeta)$$

pour tous les points  $\zeta$  du segment  $ab$  on définit ainsi une fonction  $f(\zeta)$  qui est *régulière* en tout point  $\zeta$  autre que  $a$  et  $b$ , et par suite *prolongeable* en dehors du segment  $ab$ .

Maintenant deux cas peuvent se présenter :

1°  $f(z)$  est une fonction *uniforme* ;

2°  $f(z)$  est une fonction *non uniforme*.

Nous ne nous occuperons que du premier cas et nous nous proposons de trouver la forme générale de  $F(z)$ .

5. — Prenons, pour cela, la fonction

$$G(z) = \frac{1}{2\pi i} f(z) \log \frac{z-a}{z-b}$$

et considérons la différence

$$u(z) = F(z) - G(z) .$$

Partons du point  $\zeta$  avec la valeur

$$u_0(z) = F_0(z) - G_0(z)$$

$G_0(z)$  étant une, quelconque, des déterminations de  $G(z)$  : on voit qu'en tournant autour de  $a$  on revient au point de départ avec la même valeur  $u_0$ . Donc  $u(z)$  est une fonction uniforme.

Ainsi

$$F(z) = u(z) + \frac{1}{2\pi i} f(z) \log \frac{z-a}{z-b}$$

qui est la forme générale de  $F(z)$ .

6. — Maintenant, pour simplifier et considérer un cas précis, supposons

$$u(z) \equiv 0, \quad f(z) \equiv 1,$$

alors

$$F(z) = \frac{1}{2\pi i} \log \frac{z-a}{z-b},$$

que nous écrivons aussi sous la forme  $F(z, a, b)$  pour mettre en évidence les points critiques.

Soit maintenant  $F(z, a_1, b_1)$  une fonction de même forme mais dont les points critiques sont  $a_1$  et  $b_1$  situés dans l'intérieur du segment  $\overline{ab}$ . Si je forme la différence

$$F(z, a, b) - F(z, a_1, b_1),$$

j'observe que cette fonction est uniforme en dehors des coupures  $\overline{aa_1}$  et  $\overline{bb_1}$ . Donc la soustraction de  $F(z, a_1, b_1)$  a eu comme effet de neutraliser la portion  $\overline{a_1b_1}$  de la coupure primitive.

Cette propriété peut être utilisée pour obtenir une fonction uniforme intéressante comme somme d'une série de fonctions non uniformes.

7. — En effet, sur un intervalle  $(a, b)$  découpons une suite dénombrable, d'intervalles  $(a_n, b_n)$  de manière à définir sur  $ab$  un ensemble parfait, partout non dense.

Cela fait, considérons la série

$$\varphi(z) = \log \frac{z-b}{z-a} - \sum_1^{\infty} \log \frac{z-b_n}{z-a_n},$$

qui est convergente en dehors de  $ab$ , comme on peut facilement l'établir.

On démontre aisément que tous les points  $a_n$  et  $b_n$  sont des points *singuliers* pour  $\varphi(z)$ .

En effet, la série étant absolument et uniformément convergente dans tout domaine fermé ne contenant aucun des points  $a_n$  ou  $b_n$ , on peut dériver terme à terme et représenter  $\varphi'(z)$  par la série

$$\varphi'(z) = \left( \frac{1}{z-b} - \frac{1}{z-a} \right) - \sum \left( \frac{1}{z-b_n} - \frac{1}{z-a_n} \right).$$

Or, pour cette série tous les points  $a_n$  et  $b_n$  sont singuliers, comme on le voit tout de suite. Donc il en est de même pour la fonction primitive  $\varphi(z)$ .

Ainsi la fonction  $\varphi(z)$  est *uniforme* et admet un ensemble parfait et non dense de points singuliers, cette fonction étant obtenue comme somme d'une série de fonctions non uniformes.

8. — Reprenons la série qui définit  $\varphi(z)$  et cherchons une limite supérieure des modules des termes de cette série pour une valeur donnée de la variable  $z$ .

Prenons la fonction

$$k(z) = \log \frac{z - a_1}{z - a_2},$$

on a

$$k(z) = \log \frac{r_1 e^{i\theta_1}}{r_2 e^{i\theta_2}} \quad \left( \begin{array}{l} z - a_1 = r_1 e^{i\theta_1} \\ z - a_2 = r_2 e^{i\theta_2} \end{array} \right)$$

et l'on peut supposer

$$|\theta_1 - \theta_2| < \pi,$$

si l'on prend la détermination de  $k(z)$  qui s'annule à l'infini.

En écrivant  $k(z)$  sous la forme

$$k(z) = \log(z - a_1) - \log(z - a_2)$$

et appliquant le théorème des accroissements finis on arrive à

$$|k(z)| \leq \frac{|a_1 - a_2|}{\delta} \quad (4)$$

$\delta$  étant la distance du point  $z$  au segment rectiligne  $ab$ .

L'inégalité ci-dessus pouvant d'ailleurs s'établir aussi en

écrivait  $k(z)$  sous la forme d'une intégrale définie où  $z$  entre comme paramètre.

9. — La relation (4) va nous permettre d'établir un résultat intéressant, relatif à la fonction  $\varphi(z)$  du n° 7.

Soit  $ab$  l'intervalle primitif et  $a_1 b_1$  le premier intervalle d'uniformité obtenu en retranchant  $F(z, a_1, b_1)$  de  $F(z, a, b)$ .

On a

$$F(z, a, b) - F(z, a_1, b_1) = \log \frac{z - b}{z - a} - \log \frac{z - b_1}{z - a_1}.$$

Mais le second membre peut s'écrire aussi

$$\varphi_1(z) = \log \frac{z - a_1}{z - a} + \log \frac{z - b}{z - b_1},$$

et sous cette forme en appliquant la relation (4) nous trouvons

$$|\varphi_1(z)| < \frac{|a - a_1|}{\alpha} + \frac{|b - b_1|}{\beta},$$

$\alpha$  et  $\beta$  étant les nombres qui remplacent ici  $\delta$ .

Mais on peut prendre au lieu de  $\alpha$  et  $\beta$  la distance de  $z$  au segment  $(a, b)$  c'est-à-dire la plus petite valeur de  $|Z - z|$  lorsque  $Z$  parcourt l'intervalle  $(a, b)$ : nous désignerons cette valeur par  $\delta$ .

On aura alors en général

$$|\varphi_n(z)| < \frac{1}{\delta} \sum |a_n - b_n|,$$

Cela nous fait voir que: si l'ensemble des points  $\zeta$  qu'on veut conserver sur  $(a, b)$  comme points singuliers est de largeur nulle la fonction  $\varphi(z)$  est identiquement nulle.

En d'autres termes: *On ne peut pas former, avec le procédé que nous avons employé ici, une fonction analytique uniforme et possédant des points singuliers formant un ensemble de longueur nulle.*

Ce résultat négatif ne tient nullement à une particularité de la méthode employée pour construire  $\varphi(z)$ : il peut être expliqué d'une manière générale et rattaché à une propriété des fonctions *uniformes*, relative à la manière de se comporter de ces fonctions autour des points singuliers.



Si le degré d'infinitude de la fonction dans le voisinage d'un point singulier est inférieur à l'unité, ou encore si la fonction est bornée dans le voisinage des points singuliers, alors ces points ne peuvent pas former un ensemble de longueur nulle.

Mais il n'est pas possible d'insister ici sur cette propriété fondamentale des points singuliers.

10. — J'indiquerai, en terminant, une recherche qui généralise celle que nous avons développée ici.

Au lieu de considérer des fonctions multiformes dont les points singuliers sont *tous* situés sur un segment rectiligne, on peut considérer des fonctions multiformes dont les points critiques sont distribués dans le plan, et, reliant ces points par des lignes (segments rectilignes), obtenir une région  $R$  en dehors de laquelle la fonction considérée soit *uniforme*.

Ensuite on peut se proposer de retrancher de la fonction  $F$ , premièrement définie, une autre fonction  $F_1$ , de même nature, et telle que, faisant la différence

$$F - F_1,$$

la fonction obtenue continue à être uniforme en dehors de  $R$ , mais qui soit aussi uniforme en certaines régions  $R_1, R_2, \dots, R_n$  intérieures à  $R$ , qu'on peut appeler régions neutralisées par la soustraction de  $F_1$ . En continuant à retrancher de  $F - F_1$  une autre fonction  $F_2$  on obtiendrait d'autres régions neutralisées dans l'intérieur de  $R$  et, à la fin, on obtiendrait comme somme d'une série une fonction  $\Phi$  *uniforme* possédant un ensemble parfait et non dense de points singuliers (si, bien entendu, les régions neutralisées ont été introduites de façon convenable).

J'ai pu obtenir par cette méthode la fonction uniforme que j'ai donnée dans les *Comptes Rendus* (28 novembre 1904) comme exemple d'une fonction analytique partout continue, donc continue aussi sur l'ensemble des points singuliers.

Dans les *Comptes Rendus* la fonction en question est définie par une intégrale double. D'ailleurs aussi la fonction du n° 7, qui est désignée par  $\varphi(z)$ , peut être définie par une intégrale; mais l'intérêt de la recherche qui précède nous

paraît résider dans le fait que le problème général posé au n° 2 conduit à la forme générale de la fonction  $F(z)$  donnée au n° 5.

Une recherche analogue et présentant même intérêt peut être faite pour le problème généralisé que nous venons d'indiquer.

Jassy, décembre 1916.

---

## NOTIONS D'ARITHMOGÉOMÉTRIE

(3<sup>e</sup> article)<sup>1</sup>

PAR

Emile TURRIÈRE (Montpellier).

---

### Les quartiques gauches.

43. — MÉTHODE DU PLAN OSCULATEUR. — De même que, sur une cubique plane dont l'équation a ses coefficients rationnels, l'existence de deux arithmopoints quelconques entraîne *par alignement* celle d'un troisième arithmopoint, sur une quartique gauche d'équations rationnelles l'existence de trois arithmopoints particuliers quelconques entraîne celle d'un quatrième arithmopoint, trace de la courbe gauche sur l'arithmoplan défini par les trois arithmopoints connus.

Le plan défini par une tangente en un arithmopoint d'une quartique gauche et par un autre arithmopoint rencontre la courbe en un nouvel arithmopoint.

Enfin, le plan osculateur en un arithmopoint rencontre à nouveau la quartique gauche en un nouvel arithmopoint.

---

<sup>1</sup> Voir *L'Enseignement mathématique*, 18<sup>e</sup> année, 15 mars 1916, pp. 81-110, et 15 novembre 1916, pp. 397-428.