

Quelques procédures pouvant améliorer la qualité d'un réseau gravimétrique

M. IDRES, A. BOURMATTE, M. OUYED & M S. BOUGHACHA
USTHB - Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement
du Territoire - Laboratoire de Géophysique-Algérie.

ملخص: تتكون الشبكة القاعدية المرجعية من قواعد الجاذبية والتي تساعد على تحديد الجاذبية في محطات كثيرة أخرى، و يستوجب ذلك إنجازها باهتمام كبير من أجل الحصول على دقة عالية. يركز اهتمامنا في هذه الدراسة على بعض الإجراءات التي يمكن أن تحسن هذه الدقة دون التحلي عن كفاءة حملة القياسات. الإجراء الأول مرتبط بالحصول على المعطيات ومركز على تحقيق اتصال ذهاب-إياب-ذهاب بين قاعدتين متجاورتين، هذا ما يسمح باستخدام قيمتين من هذا الاتصال و حجم اختلافه مما يسمح بتقييم دقة القياسات، أما الإجراء الثاني فهو مرتبط بمعالجة المعطيات و الذي يتكون من قسمين.

التحليل في البداية لفوارق إغلاق الشبكة، يمكن أن يبلغنا حول دقة القياسات، لأنها تمثل لكل شبكة حاصل أخطاء الوصلات التي تكونها. في الأخير، إن اتصال شبكة الجاذبية من خلال توزيع الفوارق يسمح بتحسين جودة الشبكة ومنح قيمة واحدة للجاذبية لكل قاعدة مهما كانت و ذلك من خلال تحديدها.

الكلمات الأساسية: شبكة، الجاذبية، الدقة، الاتصال.

Résumé: Un réseau de bases de référence est composé de bases gravimétriques qui serviront à la détermination de la pesanteur en beaucoup d'autres stations, d'où la nécessité de le réaliser avec un grand soin pour obtenir une bonne précision. Dans cette étude nous nous sommes intéressés à certaines procédures pouvant améliorer cette précision sans sacrifier l'efficacité et la rentabilité de la campagne de mesures. La première procédure, liée à l'acquisition des données, est basée sur la réalisation d'un *Aller-Retour-Aller* entre deux bases voisines, ce qui permet de disposer de deux valeurs de la liaison et l'amplitude de leur différence peut servir à évaluer la précision des mesures. La seconde procédure, liée au traitement de données, est constituée de deux étapes. L'analyse, dans un premier temps, des écarts de fermeture des mailles peut aussi nous informer sur la précision des mesures puisqu'ils représentent, pour chaque maille considérée, la somme des erreurs des liaisons qui la composent. Enfin, la compensation du réseau gravimétrique, à travers la répartition des écarts de fermeture, permet d'améliorer la qualité du réseau

et d'attribuer une seule valeur de la pesanteur à chaque base, quelle que soit celle à partir de laquelle elle a été déterminée.

Mots clés: Réseau, base, gravimétrie, précision, compensation

Abstract: A gravity network is composed of bases which will be used for the determination of gravity in many other stations, hence it is necessary to achieve a high accuracy. In this study, we focused on procedures which can improve the accuracy of the bases gravity. The first one, related to the data acquisition, is based on the realization of a connection between two neighboring bases, which is constituted of Go-Return-Go. Then, we can obtain two values of the connection, and the magnitude of their difference can be used to evaluate the precision of measurements. The second procedure, related to the data processing, consists of two stages. First, the analysis of the stitch gaps can also inform us about the accuracy of the measurements since they represent, for each stitch, the sum of errors that can be attributed to the connections of each one. Next, the compensation of the gravity network, through the distribution of stitch gaps over the connections, improves the accuracy of the network and assigns a single value of gravity at each base.

Key words: Gravity network, base, accuracy, compensation.

1. Introduction

Le premier réseau de bases de référence de l'Algérie a été réalisé par Lagrula (1951; 1959), à partir de la station de Bouzaréa qui fait partie du réseau mondial. Malheureusement, ce réseau n'est d'aucune utilité du fait de l'absence d'un schéma de rattachement des stations et la description fort vague de leur emplacement (BGI, 1977; 1978). Vue l'impossibilité d'utiliser les bases de ce réseau, nous avons choisi de réaliser un nouveau réseau gravimétrique pour le Nord de l'Algérie qui est composé de 74 bases de référence et 05 stations de remplacement (Idres, 1983). L'objet de cet article est de montrer l'apport de deux procédures d'acquisition et de traitement des données, à une bonne qualité d'un réseau de bases de référence.

2. Acquisition des données

Notre premier souci, lors de la réalisation du nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie (Figure 1), a été d'obtenir la meilleure précision possible de la pesanteur aux bases du réseau.

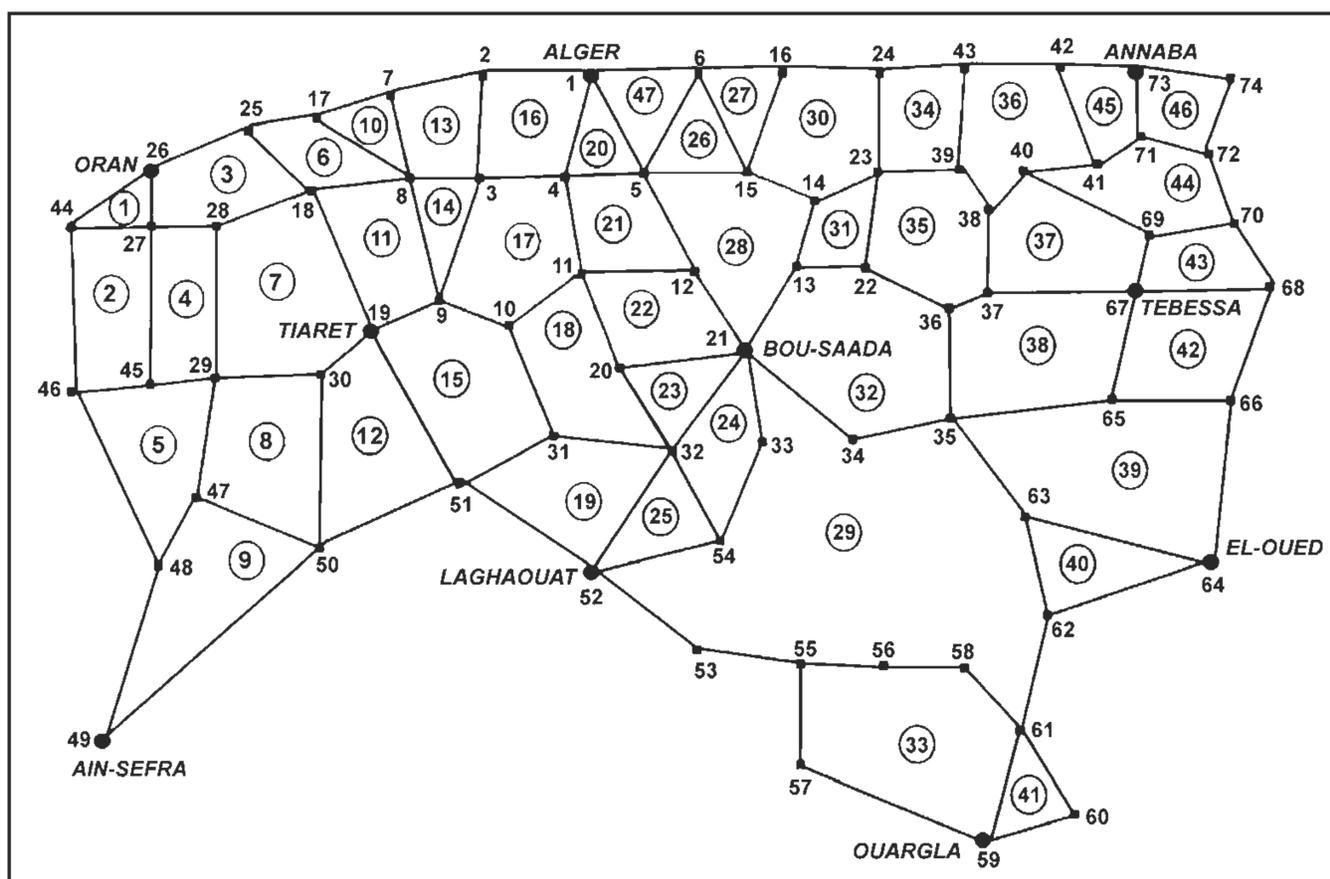


Fig. 1 Représentation schématique du nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie. Les chiffres indiquent les numéros des bases et des mailles (à l'intérieur des cercles).

Nous avons donc commencé par choisir des mailles avec un nombre de liaisons réduit, ainsi 84% des mailles sont composées d'au plus 5 liaisons, alors que 40% ont au maximum 4 liaisons et 23% ont seulement 3 liaisons (Tableau 1).

Tableau 1. Nombre de liaisons des mailles

Nombre de liaisons	3	4	5
Nombre de mailles	11	19	10
Pourcentage	23	40	21

Ce choix, déterminé par les routes reliant les bases, nous a contraints à accepter, dans la région située entre Laghouat et Touggourt, une maille composée de 12 liaisons. Pour corriger l'influence de la dérive du gravimètre, nous considérons sa variation linéaire en veillant à ce que le temps de fermeture à la même base ne dépasse pas un temps de trois heures, valeur communément admise dans l'acquisition des données gravimétriques. Notons que, plus le temps de fermeture est court, plus la dérive calculée, se rapproche de la dérive réelle. Pratiquement, on

relie la base de départ (A), où l'on connaît la valeur du champ de pesanteur, à la base (B) où l'on veut déterminer celle-ci, par un Aller-Retour-Aller. L'avantage d'effectuer trois trajets est qu'on se retrouve toujours à la base d'arrivée pour entamer une nouvelle liaison. De plus, nous pouvons disposer de deux liaisons pour seulement trois trajets, ce qui est économique et la comparaison entre les deux liaisons corrigées peut nous informer sur la précision des mesures.

Si:

(L_{A1}) et (L_{A3}) sont, respectivement, les lectures effectuées en (A) au temps (t_1) et (t_3) et (L_{B2}) et (L_{B4}) sont celles effectuées, respectivement, en (B) au temps (t_2) et (t_4)

Alors, la correction de dérive en (B) et au temps (t_2) sera déterminée par la relation suivante:

$$C_{dB2} = -k(L_{A3} - L_{A1})(t_2 - t_1) / (t_3 - t_1), \text{ où } (k)$$

représente le coefficient d'étalonnage du gravimètre. La première liaison corrigée, entre les bases (A) et (B), sera donnée par la relation:

$$k(L_{B2corr} - L_{A2}), \text{ avec : } kL_{B2corr} = kL_{B2} + C_{dB2}$$

Pour calculer la seconde liaison entre les bases (A) et (B), nous considérons la correction de dérive en (A) et au temps (t_3) qui sera déterminée par la relation suivante :

$$C_{dA3} = -k(L_{B4} - L_{B2}) (t_3 - t_2) / (t_4 - t_2)$$

Alors la valeur corrigée de la seconde liaison sera déterminée à partir de la relation suivante :

$$k(L_{B3} - L_{A3corr}), \text{ avec : } kL_{A3corr} = kL_{A3} + Cd_{A3}$$

La valeur finale de la liaison entre les bases (A) et (B) sera représentée par la moyenne des deux valeurs précédentes de la liaison:

$$k(L_B - L_A) = [k(L_{B2corr} - L_{A2}) + k(L_{B3} - L_{A3corr})] / 2$$

Remarquons que l'amplitude de la différence entre les deux valeurs de chaque liaison permet de nous informer sur la précision des mesures. Dans le cas où celle-ci est faible, alors nous pouvons adopter la liaison finale, entre les bases (A) et (B), ainsi déterminée. Dans le cas contraire, nous devons déterminer une nouvelle valeur de la liaison, à l'aide d'un nouveau trajet, et la comparer aux deux premières pour éliminer celle qui est erronée.

3. Traitement des données

Après avoir déterminé les valeurs des liaisons entre les bases du réseau, il est nécessaire d'évaluer une deuxième fois la précision des mesures à travers l'analyse de l'écart de fermeture de chaque maille défini comme étant la somme des liaisons constituant cette dernière. Si nous considérons, par exemple, une maille (α) déterminée par 03 bases de référence (A, B et C), alors son écart de fermeture, qui serait nul si les 03 liaisons de la maille ont été déterminées avec précision, est donné par la relation suivante:

$$F_\alpha = k(L_B - L_A) + k(L_C - L_B) + k(L_A - L_C) = 0$$

Généralement, cet écart de fermeture n'est pas nul et il représente la somme des erreurs des liaisons de la maille. Pour le montrer, considérons ces mêmes liaisons avec leurs erreurs respectives (E_{AB} , E_{BC} , E_{CA}), nous pouvons écrire que :

$$k(L_B - L_A)_{mesurée} = k(L_B - L_A)_{précise} + E_{AB}$$

$$k(L_C - L_B)_{mesurée} = k(L_C - L_B)_{précise} + E_{BC}$$

$$k(L_A - L_C)_{mesurée} = k(L_A - L_C)_{précise} + E_{CA}$$

Notons que ces erreurs, qui peuvent être positives ou négatives, peuvent s'ajouter ou se compenser

dans le calcul de l'écart de fermeture mais comme nous n'avons pas de méthode précise permettant l'évaluation de la précision d'un réseau de bases gravimétriques, nous pouvons raisonnablement estimer que la précision de la liaison entre deux bases de la maille considérée est de l'ordre de son écart de fermeture divisé par le nombre de liaisons qui la compose. Ensuite, une étude statistique sur toutes les précisions, ainsi déterminées, peut nous permettre d'adopter la précision du réseau de bases de référence.

4. Nécessité de la compensation du réseau de bases de référence

Avant de développer ce sujet, il faut noter que les mesures sont ce qu'elles sont et qu'aucune compensation ne peut corriger entièrement les erreurs commises sur celles-ci. Toutefois, si nous avons observé les procédures développées précédemment, nous pouvons améliorer la précision des mesures lors de l'acquisition des données et l'évaluer par l'analyse des écarts de fermeture. Avant la réalisation de la compensation, il se pose un problème lié à l'uniformité du réseau de bases. En d'autres termes, pour déterminer la pesanteur en une base du réseau, à partir de la base de départ, nous pouvons suivre des cheminements différents qui peuvent avoir des parties communes ou non et nous aurons une valeur de la pesanteur à la base considérée pour chaque cheminement.

Or il est indispensable à une exploitation correcte des programmes de mesures que chaque base de référence ait une valeur de la pesanteur et une seule. La compensation du réseau, basé sur la répartition des écarts de fermeture des mailles sur les liaisons qui les composent, a pour objectif l'obtention de résultats ayant un caractère univoque. Remarquons que cette compensation ne peut être réalisée maille par maille mais pour toutes les mailles du réseau en même temps car elles sont interdépendantes. Pour ce faire, on peut utiliser plusieurs méthodes, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Nous citerons ici deux méthodes qui peuvent être programmées sur ordinateur. Avant de les utiliser, il est nécessaire de prendre certaines précautions:

1- Orienter les liaisons de la base où la lecture est la plus faible à celle où elle est la plus élevée. Ainsi les liaisons seront toutes positives.

2- Définir un sens conventionnel de rotation, le même pour toutes les mailles et on comptera en positif toute liaison orientée dans ce sens et en négatif celles qui sont orientées dans le sens contraire, ainsi les écarts de fermeture prendront un signe.

5. La méthode des coefficients auxiliaires

Elle est réalisée en deux étapes. La première consiste à déterminer le coefficient auxiliaire (L_μ) de chaque maille (μ), par la résolution du système linéaire ($AX=B$), obtenu à partir de l'application de la relation suivante à toutes les mailles du réseau:

$$F_\mu = P_{i\mu} L_\mu - \sum_\lambda N_{\lambda\mu} L_\lambda$$

Où (F_μ), ($P_{i\mu}$) et (L_μ) représentent respectivement l'écart de fermeture, le nombre de liaisons et le coefficient auxiliaire de la maille (μ).

($N_{\lambda\mu}$) et (L_λ) représentent respectivement le nombre de liaisons communes aux mailles (λ) et (μ) et le coefficient auxiliaire de la maille (λ).

Après avoir déterminé le coefficient auxiliaire de chaque maille à partir du système linéaire précédemment défini, on calcule, en utilisant la relation suivante, la correction (C_i) à apporter à chaque liaison (i) de chaque maille (α) du réseau de bases.

$$C_i = - \sum_\alpha L_\alpha \varepsilon_{i\alpha}$$

Où

$\varepsilon_{i\alpha} = +1$ si le coté (i) est parcouru dans le sens positif

$\varepsilon_{i\alpha} = 0$ si le coté (i) n'appartient pas à la maille considérée

$\varepsilon_{i\alpha} = -1$ si le coté (i) est parcouru dans le sens négatif

6. La méthode de Kirchhoff

Elle est basée sur l'analogie que l'on peut remarquer entre le réseau de bases gravimétriques et les circuits électriques. En effet, on peut assimiler les corrections, à apporter aux liaisons du réseau, au courant circulant dans les branches d'un circuit électrique et on écrit les équations aux nœuds et les équations aux mailles.

6.1 Equations aux nœuds

$\sum_i C_i = 0$ où C_i représente la correction à apporter à la liaison (i)

6.2 Equations aux mailles

$\sum_i C_i = -F_\mu$ où (F_μ) représente l'écart de fermeture de la maille (μ) composée des liaisons (i).

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'obtenir directement les corrections, à partir de la résolution du système linéaire ($AX=B$) obtenu à partir équations précédentes. Son inconvénient, s'il en est un, réside dans la multiplication du nombre d'équations, donc de la dimension du système linéaire.

Remarque

Pour les deux méthodes précédentes, il faut ajouter chaque correction à la valeur de la liaison correspondante pour obtenir la valeur de la liaison corrigée. Il faut ensuite vérifier que l'écart de fermeture de chaque maille s'annule.

L'étape finale consiste à déterminer la pesanteur en chaque base du réseau à partir de la base voisine où la pesanteur est connue, en utilisant la relation suivante:

$g_B = g_A + k(L_B - L_A)$ Où (g_A) et (g_B) représentent les valeurs de la pesanteur aux bases (A) et (B) respectivement et $k(L_B - L_A)$ la valeur de la liaison entre les mêmes bases, déterminée après la compensation du réseau.

7. Précision du réseau de bases de référence

Pour réaliser un réseau de qualité, il faut commencer par choisir des bases pouvant être reliées entre elles en un temps le plus court possible en tenant compte de la qualité des routes et des moyens de locomotion. On peut, par exemple, installer ces bases en dehors des agglomérations et réaliser les liaisons pendant les jours où les routes sont moins encombrées.

Ensuite, comparer toujours les valeurs des liaisons entre deux bases voisines, corrigées de l'effet de la dérive et de la luni-solaire, et évaluer si la différence, entre ces valeurs, se situe dans la norme fixée auparavant. Avant de réaliser la compensation du réseau, il faut analyser les rapports de l'écart de fermeture de chaque maille sur le nombre de ses liaisons. Dans le cas du nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie, nous avons disposé de 47 mailles dont les écarts de fermeture sont donnés par le tableau 2:

Tableau 2. Précision des liaisons déterminée à partir des écarts de fermeture des mailles.

Maille	Ecart (F) (mgal)	Nombre de liaisons	Précision	Maille	Ecart (F) (mgal)	Nombre de liaisons	Précision
1	0,2	3	0,1	25	0,01	3	0,003
2	0,1	4	0,025	26	0,32	3	0,107
3	0,21	5	0,042	27	1,21	3	0,403
4	0,02	4	0,005	28	0,39	6	0,065
5	0,06	5	0,012	29	0,15	13	0,012
6	0,27	4	0,068	30	0,16	5	0,032
7	0,51	5	0,102	31	0,3	4	0,075
8	0,07	4	0,018	32	0,42	6	0,07
9	0,07	4	0,018	33	0,1	6	0,017
10	0,03	3	0,01	34	0,02	4	0,005
11	0,14	4	0,035	35	0,1	6	0,017
12	0,71	4	0,178	36	0,14	6	0,023
13	0,26	4	0,065	37	0,26	5	0,052
14	0,33	3	0,11	38	0,1	5	0,02
15	0,1	5	0,02	39	0,17	5	0,034
16	0,3	4	0,075	40	0,06	3	0,02
17	0,59	5	0,118	41	0,2	3	0,067
18	0,19	5	0,038	42	0,09	4	0,023
19	0,04	4	0,01	43	0,1	4	0,025
20	0,4	3	0,133	44	0,44	6	0,07
21	0,39	4	0,133	45	0,31	4	0,078
22	0,13	4	0,033	46	0,27	4	0,068
23	0,78	3	0,26	47	0,1	3	0,033
24	0,29	4	0,073				

La précision, obtenue pour chaque liaison a été déterminée par le rapport de l'écart de fermeture de chaque maille sur le nombre de ses liaisons. L'étude statistique de cette précision (Figure 2) montre que 24 liaisons ont une valeur située autour de 0.02 mgal, 13 liaisons ont une valeur située autour de 0.06 mgal et 05 liaisons ont une valeur située autour de 0.1 mgal. Donc, sur un total de 47 mailles, 43 mailles (91%) sont composées de liaisons dont l'indice de qualité est inférieur ou égal à 0.1mgal.

Même si l'on ne peut pas calculer la précision du réseau, à partir des données précédentes, on peut raisonnablement penser que le nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie est de bonne qualité.

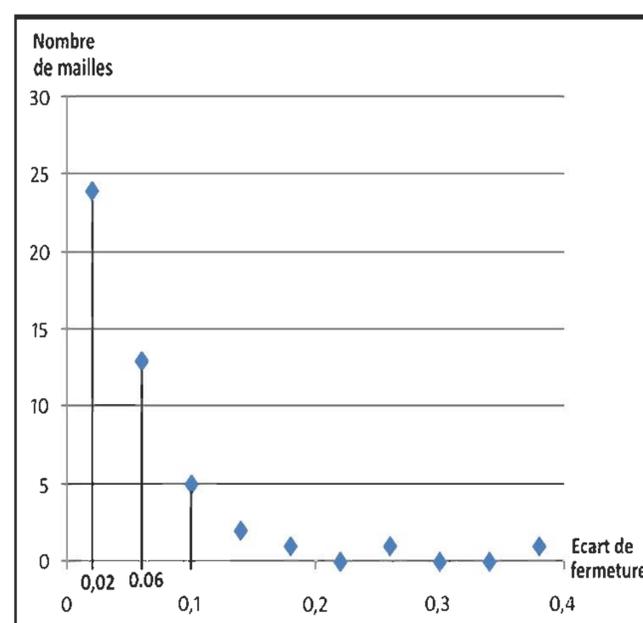


Fig. 2 Nombre de mailles du réseau en fonction de leur écart de fermeture.

8. Conclusion

Réaliser un réseau de bases gravimétriques de qualité est nécessaire car il est à la base de toute étude gravimétrique ultérieure. Pour cela, on doit d'abord choisir la position des stations telle que les liaisons entre les bases doivent être effectuées en un temps le plus court possible pour considérer la variation la dérive du gravimètre linéaire. Au fur et à mesure de l'acquisition des données, on doit toujours évaluer la qualité des mesures en comparant les valeurs des liaisons entre deux bases voisines et c'est pour cela que l'on doit disposer d'au moins deux valeurs pour chaque liaison. La compensation du réseau permet, en plus d'attribuer une seule valeur de la pesanteur à chaque base, d'améliorer les résultats en répartissant les écarts de fermeture des mailles sur les liaisons qui les composent. Si l'erreur sur une liaison est importante mais acceptable, la compensation permet de réduire son influence en la diluant sur les autres liaisons de la maille.

Références bibliographiques

- B.G.I., 1977; 1978. Transformation du système ORSTOM en IGSN1971 à partir des résultats publiés dans le catalogue: « Etablissement . . . ». Cf (4), Univ. P. et M. Curie, Paris (France).
- Idres, M., 1983. Réseau de bases de référence et cartes des anomalies de Bouguer et isostatique de l'Algérie du Nord; Etude gravimétrique du massif d'Alger. Thèse de Magister, USTHB, Alger (Algérie), 75p.
- Lagrula, J., 1951. Etude gravimétrique de l'Algérie-Tunisie. Bull. Serv. Carte Géol., Algérie, 4, 2, 114p.
- Lagrula, J., 1959. Nouvelles études gravimétriques, première partie, stations de référence de l'Algérie et du Sahara. Publ. Serv. Carte Géol., Algérie, Nouvelle série, 25, travaux collaborateurs, p. 265-304.