



**HAL**  
open science

# Que peuvent nous dire les mesures d'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops ?

Charles Hirlimann

► **To cite this version:**

Charles Hirlimann. Que peuvent nous dire les mesures d'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops ?. 2019. hal-02381729

**HAL Id: hal-02381729**

**<https://hal.science/hal-02381729>**

Preprint submitted on 26 Nov 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Que peuvent nous dire les mesures d'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops ?

Charles Hirlimann

Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg (IPCMS), UMR7504 CNRS-  
Unistra, 23 rue du Lœss BP 43, F-67034 Strasbourg cedex 2, France.

## Résumé

L'analyse mathématique des mesures d'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops permet d'accéder à de nombreuses informations qui éclairent certains aspects de sa construction.

## 1. Introduction

Aujourd'hui encore la pyramide de Khéops fascine et interroge. Notre compréhension de sa construction, qui représente un effort collectif considérable, reste partielle et incomplète. Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, les chercheurs ont effectué des mesures de l'épaisseur de ses assises observant une inattendue structure en dents de scie, observable sur la Figure 1.

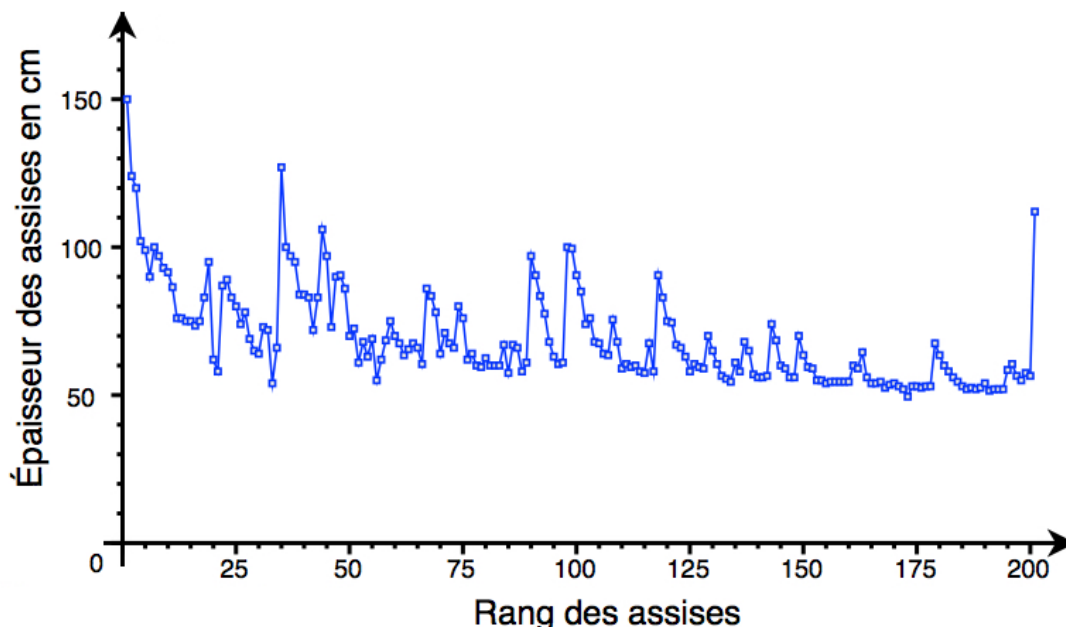


Figure 1. Représentation graphique des mesures d'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops réalisées en 1978 par Georges Goyon sur l'arête N-E.

Le travail relaté ici est destiné à établir par le calcul des éléments factuels qui permettent de proposer des hypothèses alimentant la réflexion des chercheurs sur le mode de construction de la grande pyramide.

Pour cela, il convient d'abord d'effectuer une étude critique des données disponibles dans la littérature et d'établir un plusieurs jeux de valeurs sur lesquels effectuer les analyses mathématiques. Ces analyses mettront en jeu des régressions linéaires et quadratiques, des corrélations, pour essayer d'extraire une structure de la distribution des épaisseurs d'assise avec l'altitude. À partir des résultats issus de ces calculs nous proposerons des modèles explicatifs plausibles de certains aspects de la construction de la pyramide.

## ***II. Les données disponibles***

### **II.1 Sources**

On trouve dans la littérature quatre sources fiables donnant des mesures de l'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops.

- Nathaniel Davison (1736 – 1809), découvreur de la première chambre de décharge de la chambre du roi. Ses mesures d'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops ont été publiées par Robert Walpole<sup>i</sup>.
- Edmé François Jomard (X 94, 1777 – 1862)), ingénieur géographe, fit parti du corps expéditionnaire scientifique de la campagne d'Égypte (1798). Il publia dans « La description de l'Égypte »<sup>ii</sup> les mesures qu'il a effectué en compagnie de François-Charles Cécile. Il publia aussi les mesures des épaisseurs d'assises relevées par Jacques Marie Le Père (1763 – 1841) et Jean-Marie-Joseph Coutelle.
- Sir William Matthiew Flinders Petrie (1853 – 1942) a publié deux séries de mesures des assises<sup>iii</sup>, l'une à l'arrête Sud-Ouest et l'autre à l'arrête Nord-Est. Il a en fait effectué des mesures aux quatre coins de la pyramide mais les résultats sont donnés sous la forme d'indications sur le schéma général de la répartition des épaisseurs et leur mesure sur le schéma n'est pas fiable. Ronald Birdsall a publié un site ouèbe consacré à Petrie et en particulier une liste corrigée de ses deux mesures N-E et S-O, qui sont utilisées ici<sup>iv</sup>.
- Georges Goyon (1908 – 1996) a publié les mesures d'assises les plus récentes en 1978<sup>v</sup>. Ces mesures sont données avec la précision du demi-centimètre.
- John Tarrell a publié, par la plume de Petrie, un jeu de mesures en 1925<sup>vi</sup>. Ce jeu de mesures se présente sous la forme d'un diagramme et il n'est donné aucune information sur son origine. Une mesure des épaisseurs avec correction d'échelle montre que la série de Tarrell est une simple moyenne des deux mesures principales de Petrie.

- Il existe, par ailleurs des jeux de mesures partielles. Julien Bruchet a ainsi publié les 20 premières assises<sup>vii</sup> en 1965 ; en 1984 McKenzie a effectué deux jeux de mesures partielles qu'il n'a pas publié<sup>viii</sup>. Charles Piazzi Smyth (1819 - 1900), astronome écossais, a exécuté de nombreuses mesures de la grande pyramide, mais n'a publié que les 50 premiers niveaux mesurés par d'autres (Aiton et Inglis) ainsi que les mesures de Jomard et Le père qu'il a transposées en pouces anglais. Ses livres sont teintés de numérologie et de mysticisme religieux<sup>ix</sup>. Aucune de ces mesures n'a été retenue.
- Il faut mentionner, enfin, la série des épaisseurs des assises utilisée par McKenzie pour effectuer ses calculs<sup>8</sup>. Avec l'idée d'améliorer la précision des mesures il a effectué une moyenne des séries de Davison, Petrie, Goyon et des séries partielles mentionnées plus haut. Cette série est donc statistiquement inhomogène et n'a pour cela pas été retenue dans ce travail.

On dispose donc de sept séries de mesures complètes de l'épaisseur des assises de la grande pyramide de Khéops.

- Davison, 1765<sup>1</sup>
- Jomard et Cécile, 1798<sup>2</sup>
- Le Père et Coutelle, 1798<sup>2</sup>
- Petrie, 2 séries de mesures, 1925<sup>3</sup>
- John Tarrell, publié par Petrie, 1925<sup>6</sup>
- Goyon, 1978<sup>5</sup>

Sur ces sept séries, seules deux d'entre elles portent un indication de localisation. Petrie indique avoir fait une de ses mesures à l'arrête Nord-Est et l'autre à l'arrête Sud-Ouest et Goyon indique l'arrête Nord-Est comme lieu de mesure. Même ainsi la localisation est ambiguë car chaque arrête est commune à deux faces et rien n'assure l'identité des mesures N-E de Goyon et de Petrie. L'un pourrait avoir travaillé sur la face Nord et l'autre sur la face Est ?

Il convient maintenant d'étudier la qualité de ces mesures.

## **II.2 Qualité des données**

### ***Nombre d'assises***

Le nombre d'assises publié varie d'un auteur à l'autre ainsi qu'on peut le voir dans le tableau suivant qui ne tient pas compte des valeurs publiées qui ne sont pas associées à une mesure des épaisseurs.

<b>Auteur</b>	<b>Mesure</b>	<b>Sens</b>	<b>année</b>
Jomard et Cécile	203	H → B	1798
Le Père et Coutelle	204	H → B	1798
Davison	201	B → H	1817
Petrie N-E	203	H → B	1883
Petrie S-O	201	B → H	1883
Goyon	201	B → H	1978

*Tableau 1. Nombre d'assises de la pyramide de Khéops publié par les différentes sources. L'indication H→ B tient pour : du haut vers le bas, B→ H pour : du bas vers le haut.*

Jomard indique que des 203 mesures les deux plus hauts niveaux sont la mesure des blocs posés sur la plateforme et il signale le niveau le plus bas comme correspondant au rocher (plateforme). On ne doit donc considérer comme des assises que les 200 niveaux compris entre ses numérotations 3 à 202.

Dans son étude, Petrie indique avoir ajouté à l'assise 2 (à partir de la surface du roc du plateau de Gizeh) ce qu'il estime être l'erreur totale cumulée sur les mesures<sup>x</sup> des deux arêtes qu'il a effectuées. Les niveaux 202 et 203 correspondent aux blocs épars en place, décrits par Goyon<sup>xi</sup>, sur le plateau sommital rassemblés dans la moitié Nord-Est de l'assise<sup>xii</sup> et ne sont donc pas repris dans la mesure sur l'arrête Sud-Ouest. Cela laisse 201 séries communes aux 2 mesures.

Georges Goyon, offre une liste de 201 épaisseurs d'assises, la dernière étant la mesure globale d'épaisseur des blocs disposés sur la plateforme ce qui laisse 200 niveaux comparables aux autres.

L'article de Walpole relatif aux mesures de Davison<sup>xiii</sup> livre une liste de 206 assises. L'article lui-même est confus mentionnant des valeurs allant de 205 à 208 selon les auteurs cités. L'interprétation la plus évidente du surnombre d'assises dans la liste de Davison consiste à considérer que les trois dernières mesures correspondent aux blocs disposés sur la plateforme. Le nombre d'assises mesurées est alors de 203.

De cette analyse des données il ressort que la pyramide de Khéops est constituée de 200 assises communes à toutes les mesures et que les variations autour de cette valeur résultent de la manière de compter l'empilement de la plateforme sommitale et d'une assise partielle au niveau du plateau. Quelque soit la série de mesures retenues pour les calculs on limitera donc leur nombre aux 200 communes.

### **Qualité des mesures**

Il convient d'essayer d'estimer la qualité des mesures effectuées par les différents auteurs avant de pouvoir les utiliser.

Pour les mesures les plus anciennes, la principale source d'erreur est le passage d'unités de mesure d'ancien régime au système métrique. Considérons, par exemple, les mesures de Le Père et Coutelle publiées par Jomard et qui sont données à la fois en pied/pouce/ligne ainsi qu'en mètre. Pendant la campagne d'Égypte, le système métrique est encore récent et les mesures restent faites dans les anciennes unités. La première vérification concerne donc le passage au système métrique. Les coefficients de transpositions sont données ci-après :

- 1 pied = 12 pouces = 32,484 cm
- 1 pouce = 12 lignes = 2,707 cm
- 1 ligne = 12 points = 0,226 cm

L'utilisation d'un tableur permet de refaire rapidement les calculs de conversion et une simple soustraction entre les résultats calculés et les valeurs publiées permettent de détecter facilement les erreurs. Le tableau suivant liste les erreurs détectées (valeurs en cm).

Rang	Publié cm	Calculé cm	remarque
18	5	106	1 → .
19	5	106	1 → .
35	103,5	193,5	9 → 0
36	103,5	193,5	9 → 0
58	59,3	50,3	0 → 9
104	90,2	190,2	1 → .
168	106,8	6,8	. → 10

*Tableau 2. Typologie des erreurs de transcription d'unités dans le tableau des valeurs de Le Père et Coutelle. 1 → . disparition d'un 1, 9 → 0 - 0 → 9 erreurs d'écriture, erreur de transcription.*

Les erreurs commises sont essentiellement des erreurs de transcription de zéros en neuf et de disparitions de 1.

Cependant, au-delà des erreurs repérables, la simple observation visuelle des données de Le Père et Coutelle (Figure 2) permet de déterminer leur piètre qualité intrinsèque en ce qu'elles s'éloignent trop des valeurs mesurées par tous les autres auteurs. Ces mesures comportent une énorme dispersion des valeurs qui oblige à les ignorer dans tout travail sérieux.

Dans le même article, Jomard a publié ses propres résultats. La technique employée ci-dessus permet de déceler et corriger des erreurs de transcription en 59, 131, 142, 157, 161, 171 et 201.

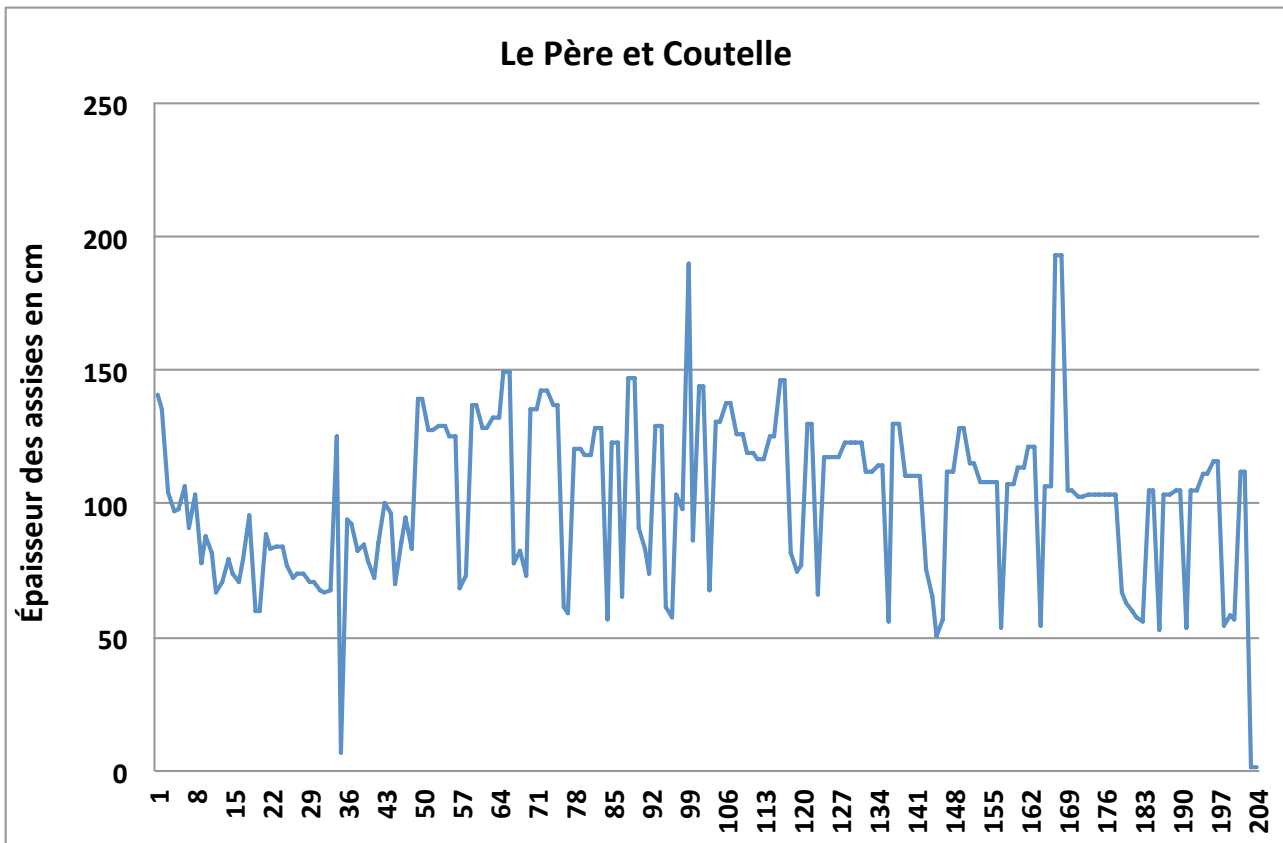


Figure 2. Les mesures de Le Père et Coutelle telles qu'elles sont rapportées par Jomard. La structure en dents de scie rapportées par tous les autres auteurs a disparu. Ces auteurs semblent s'être plus préoccupés de la mesure de la hauteur de la pyramide que de l'épaisseur des assises ?

Goyon en 1978 a indiqué la précision de ses mesures qu'il a dit faites à 0,5 cm près, soit une précision deux fois meilleure que celle annoncée par Jomard qui indique une précision de 6 « lignes » pour ses mesures, ce qui avec une ligne française d'ancien régime égale à 2,256 mm donne une précision de 13,5 mm.

Sans leur être identiques, les mesures des deux premières assises de la série de Davison sont proches de celles de Jomard.

En conclusion de cette étude on trouve dans l'annexe A des données supplémentaires une liste corrigées des mesures d'assises Ainsi que la valeur moyenne calculée pour les rangs 3 à 201.

### III. Analyses des données

L'article de McKenzie<sup>8</sup> est dévolu à l'analyse de la moyenne de toutes les mesures d'épaisseurs trouvées dans la littérature, à l'exception notable de nos compatriotes Jomard-Cécile et Le Père-Coutelle. Cette méthode de calcul de la moyenne à partir de séries partielles produit une inhomogénéité statistique dans la série obtenue, dont le rapport signal sur bruit\* varie en fonction de la valeur du rang d'assise ce qui est propice à la production d'artéfacts.

L'analyse De Mac Kenzie consiste en une décomposition de chacune des 18 « dents de scie » de la variation d'épaisseur des assises qu'il a déterminées en trois segments de droite de pente variable. Cette méthode est stérile comme il le dit lui-même dans sa conclusion : « We do not understand why this was done », nous ne comprenons pas pourquoi cela a été fait. Pour qu'une méthode soit utile il convient qu'elle permette de construire des hypothèses sur la construction de la pyramide qui puissent être réfutées.

### III.1 Comparaison des données

#### *Analyse différentielle*

La comparaison entre elles des différentes mesures peut se faire le plus simplement du monde en calculant leur différence avec la valeur moyenne. La figure 3 montre la différence à la valeur moyenne des cinq séries qui ont été retenues. On retrouve pour les séries Davison et Jomard l'écart considérable, déjà mentionné, introduit par la présence de la plateforme rocheuse au niveau des deux premières assises.

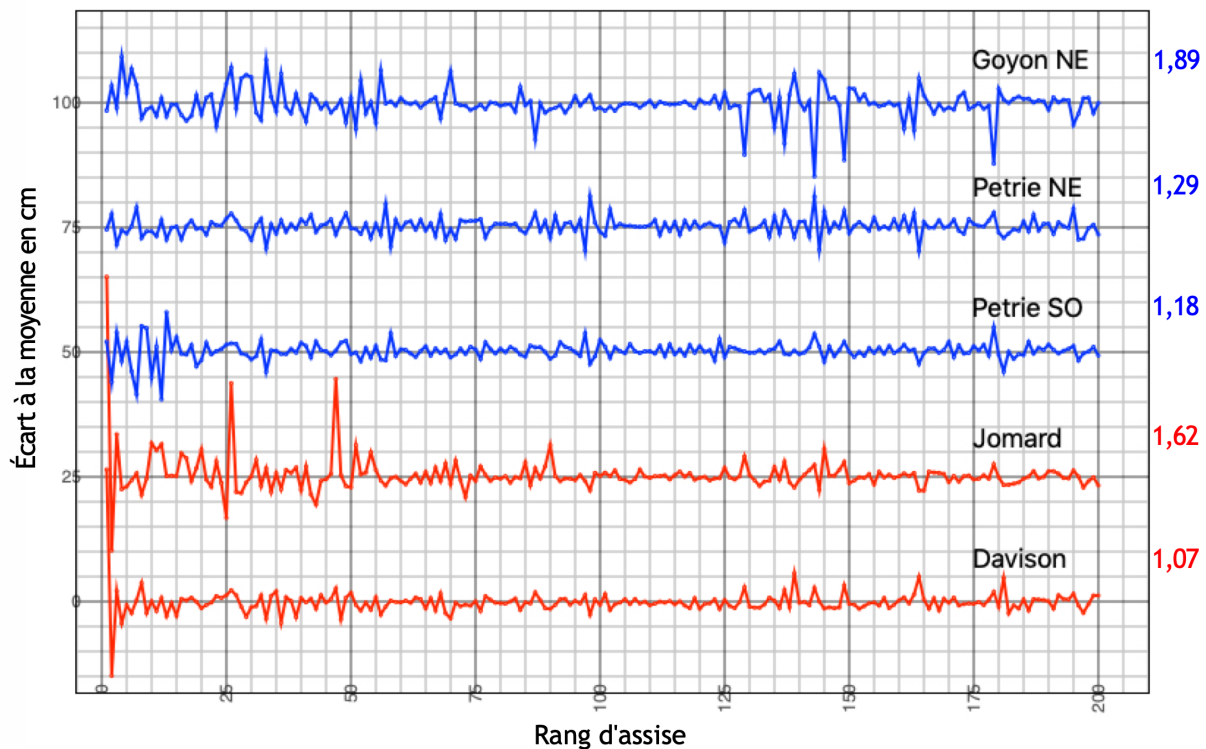


Figure 3. Calcul de la différence entre la valeur moyenne des épaisseurs des assises de la pyramide Khéops et chacune des cinq séries retenues dans ce travail (moyenne - série). À droite de la figure sont reportés les écarts moyens à la valeur moyenne calculés pour chaque série. Pour chaque série, la moyenne arithmétique de ses valeurs est calculée, puis la différence entre cette moyenne et chaque valeur de la série est à son tour calculée ; chaque nombre mesure l'écart à la moyenne. La valeur moyenne arithmétique des écarts donne alors l'écart moyen donné sur la figure. Pour les séries Davison et Jomard les deux premières assises ne sont pas prises en compte pour ne pas surestimer la valeur moyenne de la série.



Dans la marge droite de la figure sont inscrits les écarts moyens des points de chaque série différentielle. Ce nombre permet de quantifier le caractère subjectif de la « lissitude » d'une courbe : plus l'écart moyen est grand, moins une courbe est « lisse ». Ainsi la courbe différentielle Davison (1,07) est-elle plus lisse que la série Goyon NE (1,89) et la série Jomard (1,62) moins lisse que la série Petrie SO (1,18) ce que l'œil perçoit sans difficulté à l'observation de la Figure 3. Physiquement, plus une série est lisse moins elle comporte de variations statistiques. Ces variations peuvent être dues à une erreur de lecture, à une conformation particulière de l'assise au point de mesure, à une erreur de notation ou à une erreur de transcription. Les trois séries Davison, Petrie SO et Petrie NE sont les trois séries les moins bruitées et donc les plus fiables.

### ***Corrélations inter-séries***

Après avoir comparé les séries à la série moyenne, il convient de déterminer le degrés de corrélation entre les séries, leur degrés de « ressemblance ». Le calcul de la corrélation entre deux séries de nombre est disponible sur pratiquement tous les tableurs permettant les calculs.

Le coefficient de corrélation R est une grandeur qui varie entre 1 et -1. Deux quantités complètement corrélées ont pour coefficient  $R = 1$ . Deux quantités indépendantes l'une de l'autre ne sont pas corrélées et leur coefficient  $R = 0$ . Le cas  $R = -1$ , correspond à deux quantités qui varient en opposition : quand l'une croît l'autre décroît. Les séries de mesures traitées ici s'adressent à un objet unique, la pyramide de Khéops, on s'attend donc à ce qu'elles soient très fortement corrélées entre elles et que leur coefficient de corrélation soit proche de  $R = 1$ .

R	Davison	Petrie NE	Petrie SO	Jomard	Goyon NE	Le Père
Davison	1					
Petrie NE	0,989	1				
Petrie SO	0,987	0,987	1			
Jomard	0,977	0,974	0,971	1		
Goyon NE	0,925	0,932	0,933	0,914	1	
Le Père	0,193	0,130	0,137	0,169	0,168	1

*Tableau 3. Valeurs du coefficient de corrélation R pour toutes les paires de séries de mesures de l'épaisseur des assises de la grande pyramide. Les valeurs de la partie au-dessus de la diagonale sont les valeurs symétriques en dessous de la diagonale, car une corrélation est indépendante de l'ordre des séries. Une série est complètement corrélée avec elle-même et donc pour chacune des paires d'auto-corrélation  $R = 1$ . Les séries sont ordonnées pour simplifier la discussion dans le texte.*

Le Tableau 3 donne la valeur de R pour toutes les paires de séries de mesures prises entre les rangs 3 à 200, et indique donc leur proximité. Il apparaît clairement que les valeurs mesurées par Le Père et Coutelle ne sont que très peu corrélées, confirmant s'il

en était besoin leur médiocre qualité. Les deux séries les plus proches sont celles de Davison et de Petrie NE avec  $R = 0,989$ . Remarquons, par ailleurs, que la corrélation des deux mesures de Petrie, au Sud-Ouest et au Nord-Est de la pyramide, ont une corrélation plus faible à  $R = 0,987$  qui indique que les distributions d'épaisseur des assises sont légèrement différentes sur ces deux arrêtes. On note, de plus, que Davison a la même corrélation  $R = 0,987$  avec Petrie SO. On peut dès lors en déduire, avec une confiance d'autant plus grande que les trois séries concernées sont les plus fiables, que Davison a effectué sa mesure sur l'arrête Nord-Est !

Jomard est corrélé au plus fort avec Davison et aussi plus fortement avec Petrie NE qu'avec Petrie SO. Cependant, les valeurs de corrélation sont plus faibles que dans le cas précédent et nous irions trop loin dans la spéculation si nous affirmions que lui aussi a effectué ses mesures au Nord-Est en passant par un raisonnement indirect à travers Davison. Ce d'autant plus, que ces séries sont bruitées et risquent d'introduire des biais de corrélation.

### *Choix des données*

Pour conclure cette partie nous allons faire le choix du jeu d'épaisseurs des assises sur lequel faire les analyses mathématiques futures. Suivant McKenzie, nous choisissons de travailler sur une valeur moyenne pour améliorer la qualité des données, un processus déjà longuement décrit par Jomard dans sa publication des épaisseurs<sup>2</sup>. Mais, contrairement à McKenzie, nous prenons soin de ne moyenniser que des valeurs de mesures du même objet de manière à assurer l'homogénéité statistique du résultat. Ce choix limite alors à ne faire que la moyenne entre les valeurs de Davison et de Petrie NE dont la corrélation statistique est la plus forte ainsi que nous avons vu plus haut. On pourrait ajouter Petrie SO au calcul de la moyenne compte tenu de sa forte corrélation avec les deux autres jeux de mesures, mais ce faisant on associerait les mesures de deux arrêtes différentes de la pyramide, c'est à dire de deux objets différents. En faisant ce choix on dispose de 202 valeurs d'épaisseur des assises.

## **III.2 Analyse des données**

### *Détermination des saisons*

Le découpage en sections de l'épaisseur des assises est une caractéristique remarquable de la pyramide de Khéops. Toutes les périodes plus ou moins longues de décroissance continue des épaisseurs des blocs de calcaire qui les constituent se terminent par une forte augmentation de cette épaisseur. On arrive ainsi à un décompte assez largement admis de 18 sections.

Pour expliquer cette variation étrange des épaisseurs, différents auteurs ont évoqué la nature du sol d'où sont extraits les blocs. En effet, les couches calcaires du plateau de Gizeh sont disposées horizontalement et séparées les unes des autres par une couche d'argile. Les couches les plus épaisses se trouvent en surface et l'épaisseur diminue avec la profondeur d'extraction, de sorte qu'une exploitation verticale des carrières conduirait naturellement à la structure observée sur la pyramide<sup>xiv</sup>.

Dans ce travail nous faisons l'hypothèse que les sections observables dans la répartition des épaisseurs des assises reflètent en réalité la dynamique de la construction du monument. Autrement dit que chaque section correspond à une « saison » de construction dans l'année. Cette valeur est à mettre en regard de la durée d'au moins 23 ans du règne de Khéops comparable aux 18 saisons repérées ; il reste ainsi 5 saisons pour la préparation de la base, la pose du revêtement et la construction du temple funéraire pour que la pyramide soit prête au décès du pharaon. Cette remarque conduit à la conclusion que chaque section que l'on peut distinguer dans le montage des assises doit correspondre à une saison annuelle de travail des paysans convoqués pendant la saison de la crue du Nil où le travail au champ est empêché. Il nous semble donc que la dénomination de « saison » convient mieux aux sections de blocs évoqués jusqu'à présent en ce qu'elle insère la description statique de la construction dans une dynamique temporelle. S'il en a été ainsi, chaque saison aurait duré environ 4 mois, valeur dont il faudra vérifier qu'elle est cohérente avec la vitesse de construction.

Le Tableau A, placé en annexe donne la liste des saisons utilisées dans ce travail. On comprend que la définition de ces saisons est d'une grande importance et devra être scrutée par les meilleurs spécialistes car leur « durée » varie du simple au triple, ce qui pourrait constituer une formidable source d'information quant aux événements climatiques, politiques, économiques, sociaux ou autres qui ont conduit à une accélération ou un freinage de la construction de la pyramide.

### ***Pente générale***

Comme il en va généralement en architecture on observe que l'épaisseur des assises décroît avec l'altitude, selon une disposition volontaire prise par les constructeurs. Cette décroissance peut être quantifiée à partir de la valeur de l'épaisseur des assises en début et en fin de saison. La figure 4 montre une telle quantification avec les épaisseurs portées en fonction de l'altitude des assises. Il apparaît que la pente de la droite qui reflète la baisse de l'épaisseur avec l'altitude vaut  $a = - 0,005$ . Cela signifie que lorsque l'on s'élève de 10 m sur la pyramide l'épaisseur des blocs d'assise diminue de 5 cm. Goyon a établi l'épaisseur moyenne des assises à 69 cm de sorte que la perte moyenne d'épaisseur par assise est de 3,5 cm.

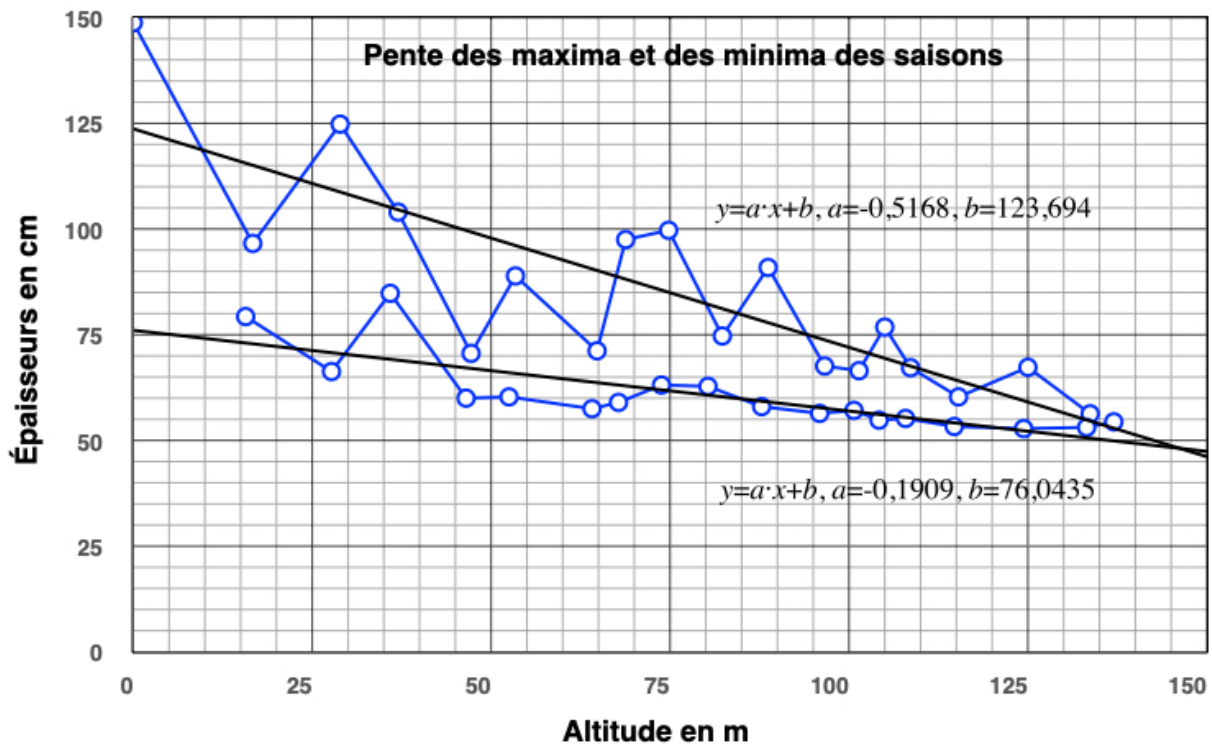


Figure 4. Variation des épaisseur maximum et minimum en fonction de l'altitude. Les droites sont le résultat d'une régression linéaire sur les épaisseurs. Les assises épaisses perdent 0,5 cm par mètre d'élévation de l'altitude tandis que les plus minces ne perdent que 0,2 cm/m.

Le même calcul effectué avec la définition des saisons donnée par Goyon donne une diminution d'épaisseur des blocs d'assise de 4,8 cm pour une élévation de 10m. Cette valeur est complètement équivalente à celle obtenue avec la définition des saisons utilisée ici, tandis que l'écart quadratique est moins bon de 41% ce qui supporte le choix fait dans ce travail.

Sur la Fig. 4, on distingue facilement deux régions ; la partie basse qui s'élève jusqu'à une altitude d'environ 75 m et la partie haute. À l'altitude de transition, les structures internes de la pyramide, chambres, couloirs, événements, rampes sont terminés et l'on peut émettre l'hypothèse qu'il n'y a plus alors de concurrence entre plusieurs équipes de travailleurs et qu'à partir de là, la construction a suivi un rythme plus régulier. Si cette hypothèse était avérée, on devrait en conclure, qu'au moins dans son dernier tiers, au dessus de 95 m, il n'existe pas de structure interne dans la pyramide. La zone de transition entre 75 et 95 m, laisse place à d'éventuelles structures comme celles détectées par tomographie muonique<sup>xv</sup>.

#### **Dénombrement des blocs par assise**

L'annexe D donne le calcul du nombre de blocs contenus dans une assise. Le choix a été fait de blocs ayant deux fois leur épaisseur comme longueur et une fois et demi cette épaisseur comme largeur. Avec une masse volumique du calcaire constitutif des blocs de

2 600 kg/m<sup>3</sup>, chacun d'eux pèse environ 2,5 tonnes. Ce choix est un peu différent de celui de Riedl<sup>xvi</sup> qui a choisit 1,27x1,27,0,69 m<sup>3</sup> pour ses blocs mais donne des résultats très proches.

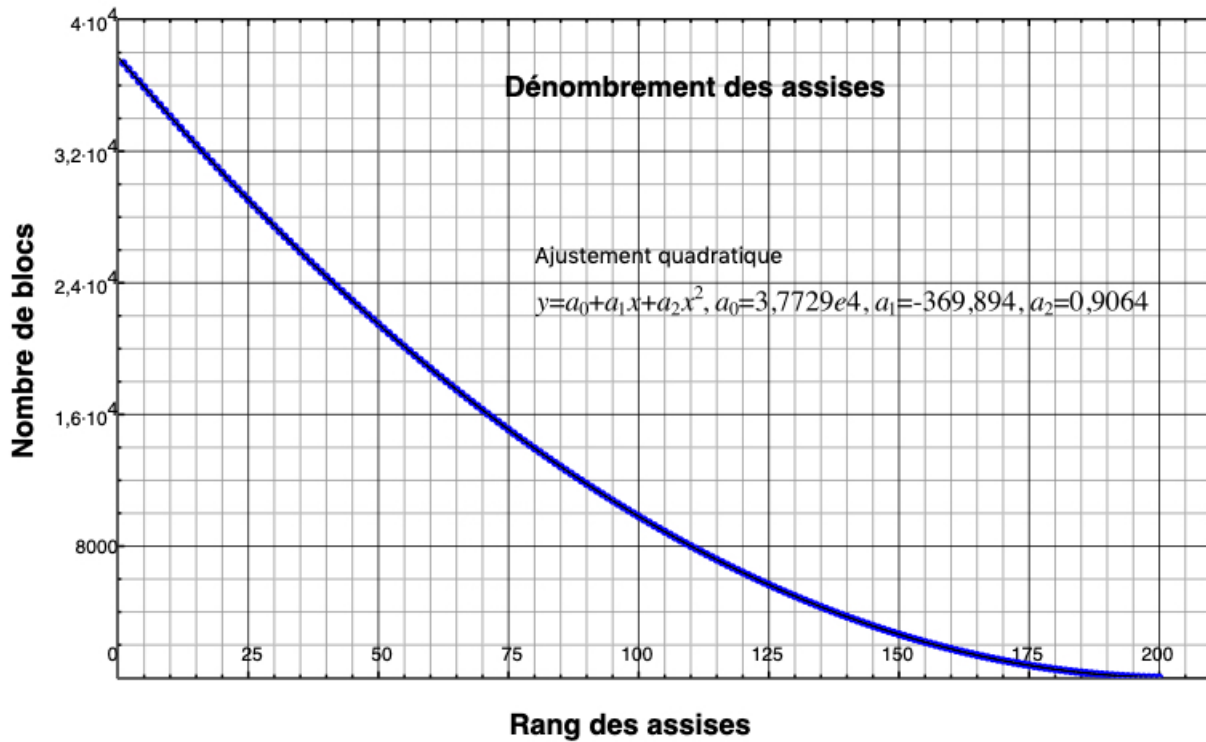


Figure 5. Variation du nombre de bloc dans chaque assise en fonction du rang pour des blocs calcaires de 0,69x1,38x1,04 m<sup>3</sup> pesant environ 2,5 tonnes.

La figure 5 montre la variation du nombre de blocs par assise avec l'altitude. La longueur du côté d'une assise est proportionnelle à l'altitude et le nombre de blocs est inversement proportionnel à la surface de l'assise donnée par le carré de ce côté, ce qui induit une variation de type quadratique du nombre de blocs par assise. Ce résultat est important pour la suite.

En sommant le nombre de blocs dans les assises on trouve que la pyramide de Khéops est constituée d'environ 2,5 millions de blocs empilés.

### III.3 Analyse des saisons

#### *Distribution des saisons*

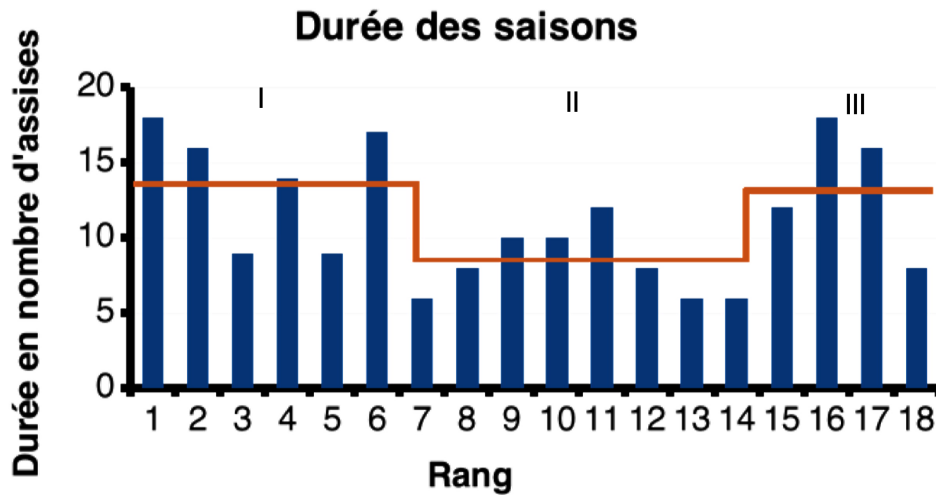


Figure 6. Distribution des saisons en fonction de leur nombre d'assises. En rouge : les moyennes par parties numérotées I à III.

La figure 6 présente la distribution des saisons mesurées en nombre d'assises qui les constituent. Le premier tiers des travaux, les six premières saisons, ainsi que les quatre dernières saisons comportent un plus grand nombre d'assises en moyenne que les huit années intermédiaires. Les valeurs moyennes sont respectivement de 13,8, 8,25 et 13,25 assises. Le sens de cette distribution est biaisé par la variation régulière de la taille des assises et n'apporte pas d'information majeure.

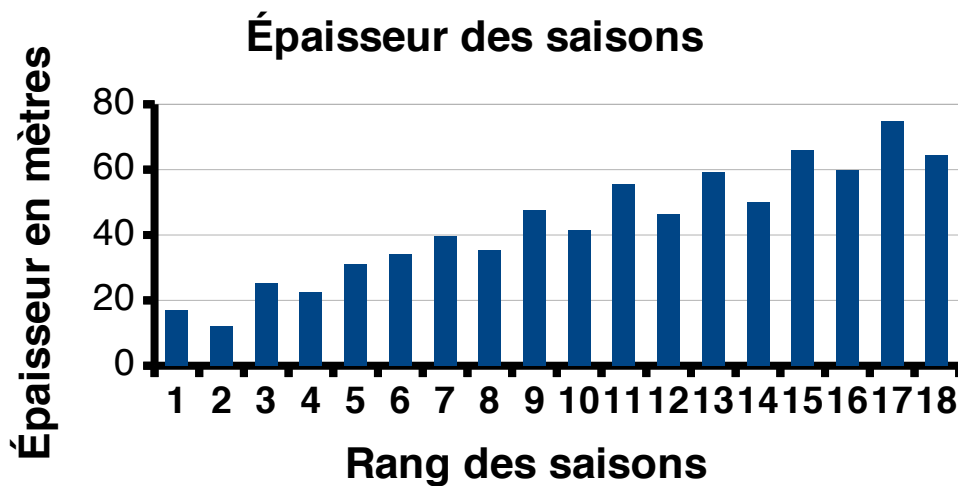


Figure 7. Variation de l'épaisseur des saisons.

La figure 7 rapporte le nombre d'assises par saisons dans l'ordre chronologique du bas vers le haut. Cette variation est relativement uniforme et croît à mesure que le nombre de blocs par assise diminue. Si, au lieu de reporter les épaisseurs des saisons, on reporte l'altitude de leur dernière assise en fonction de leur rang on obtient un diagramme similaire beaucoup plus régulier, éclairant l'élévation saison après saison de la pyramide. Cet

aspect régulier de cette élévation a sans doute pleinement satisfait le commanditaire de la pyramide ! (Voir Figure 8).

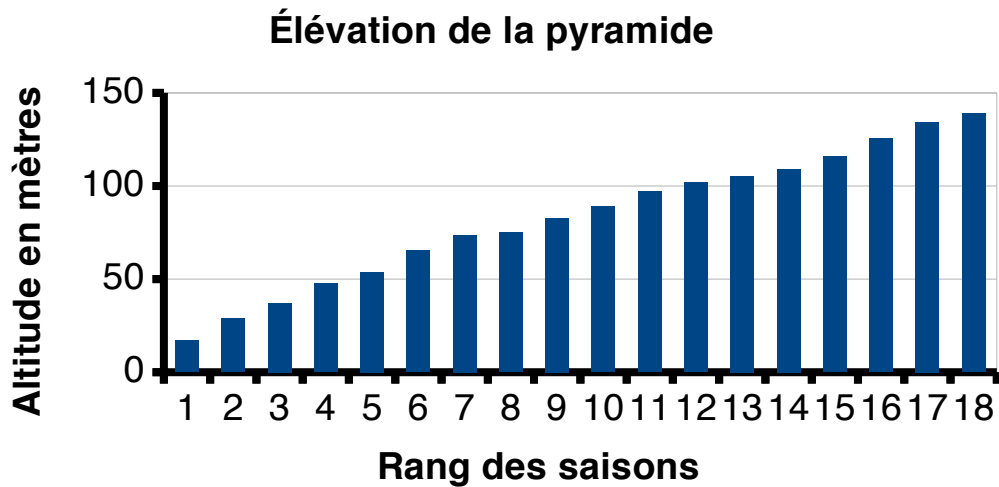


Figure 8. Élévation de la pyramide de Khéops après chaque saison

Le résultat le plus intéressant est obtenu en traçant le diagramme du nombre de blocs par assise (Figure 9).

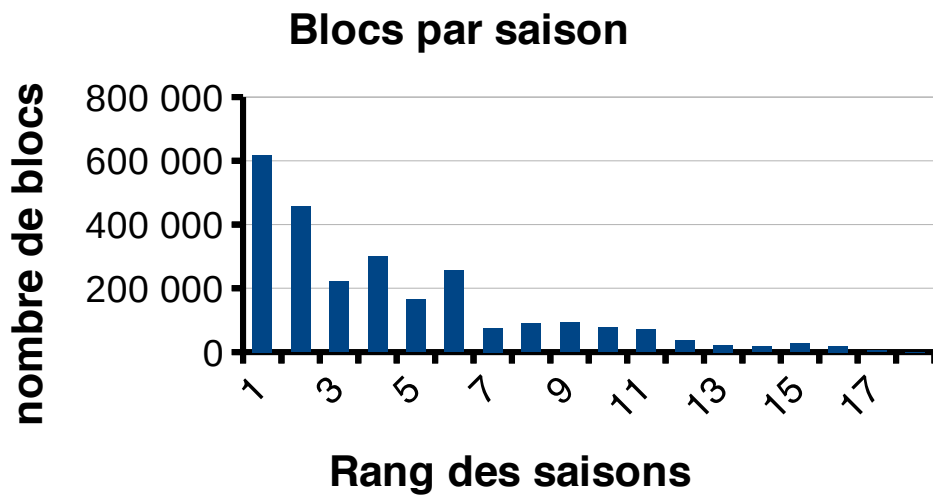


Figure 9. Diagramme du nombre de blocs par saison.

On retrouve dans cette distribution la tripartition observée dans le diagramme du nombre d'assises par saison, mais avec cette fois une décroissance rapide du nombre de blocs avec l'altitude due à la forme même de la pyramide (Figure 5). Le nombre de blocs mis en place chaque saison diminue fortement avec l'élévation de la pyramide. On observe que

les six premiers rangs contiennent à eux seuls 79 % du nombre total de blocs de la pyramide et il a fallu le double de saisons pour poser les 21 % de blocs restant.

### Structure quadratique des saisons

Étudions maintenant la distribution interne des épaisseurs des saisons. Visiblement cette variation d'épaisseur n'est pas linéaire : l'épaisseur n'est pas proportionnelle à l'altitude dans la saison (voir la Figure 10). On a reporté sur cette figure l'ajustement, par la méthode des moindres carrés, d'une fonction polynomiale d'ordre deux, somme d'une droite et d'une parabole.

$$f(e) = a_0 + a_1 e + a_2 e^2 \quad \text{où } e \text{ est l'épaisseur, } a_0, a_1 \text{ et } a_2 \text{ les paramètres ajustables,}$$

$a_0$  est l'épaisseur à l'origine,  $a_1$  est la pente de la droite et  $a_2$  la courbure parabolique.

Les trois saisons représentées sur la figure, 1, 11, et 17 sont représentatives des trois grandes périodes observées plus haut (Figures 6 et 9).

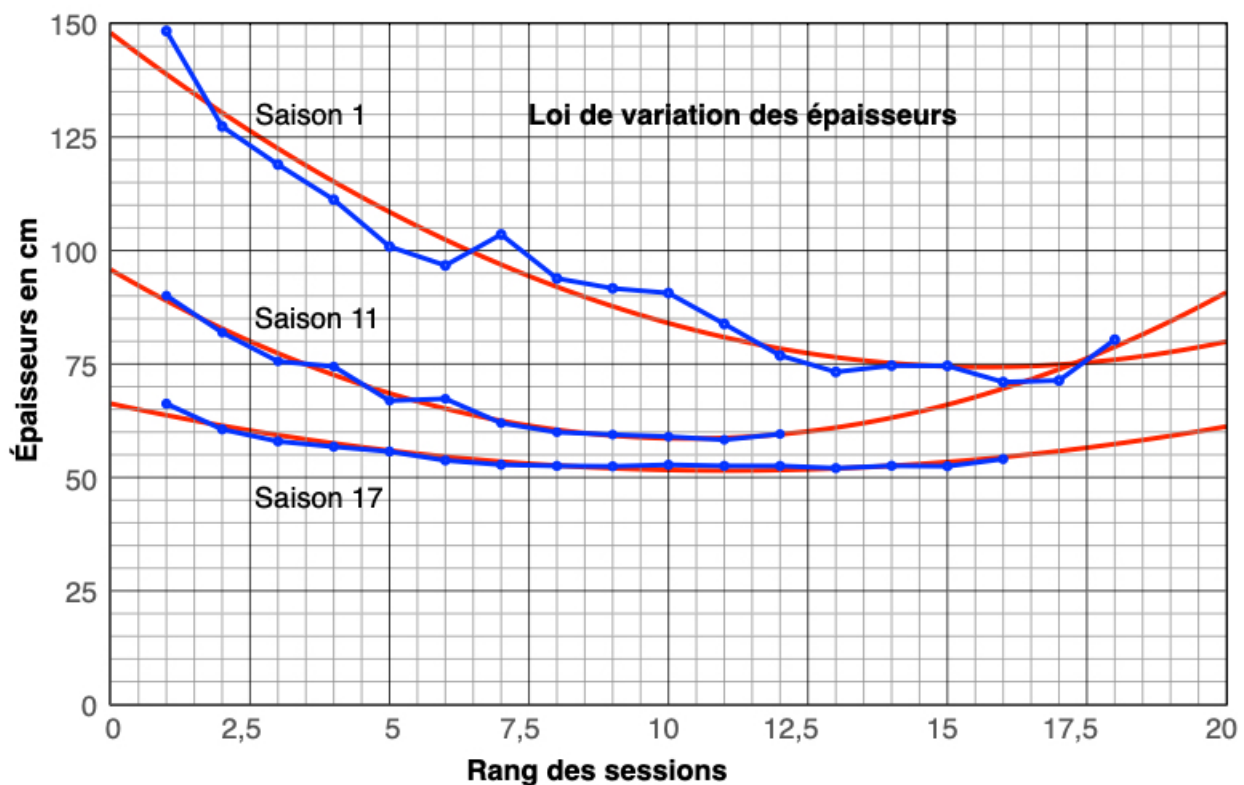


Figure 10. Loi de variation des épaisseurs d'assises dans les saisons (bleu). Pour chaque saison un ajustement quadratique est calculé et reporté en rouge sur la figure.

L'accord entre les mesures d'épaisseur et la fonction quadratique permet d'observer visuellement que la pente globale des saisons décroît à mesure que s'élève la pyramide.



Les calculs d'ajustement ont été effectués sur toutes les saisons et sont reportés dans le Tableau 4.

Saison	$a_0$	$a_1$	$a_2$	Chi <sup>2</sup>
1	148	-9,4	0,3	390
2	99,7	-3	0,05	46
3	135	-14	0,32	60
4	111,2	-8	0,88	16
5	72,7	-1,1	-	52
6	88,9	-4,3	0,15	50
7	72,2	-5,1	0,48	93
8	107	-10,4	0,55	18
9	112,3	-9,2	0,42	34
10	77,3	-5,6	0,38	38
11	95,8	-6,4	0,35	17
12	72,7	-7,2	0,61	3
13	76	-9,9	1,18	6
14	85,6	-12,8	1,38	2
15	68,9	-3,7	0,22	7
16	62,2	-1,8	0,08	26
17	66,3	-2,7	0,12	15
18	58,8	-0,8	0,02	2

*Tableau 4. Paramètres d'ajustement de la somme d'une droite et d'une parabole aux épaisseurs des saisons. Le paramètre Chi<sup>2</sup> mesure l'accord entre la fonction d'ajustement obtenue et les valeurs expérimentales des épaisseurs. L'accord est d'autant meilleur que ce nombre est petit.*

L'analyse des ajustements montre les points suivants : 1) l'ensemble des paramètres  $a_0$  redonne bien l'épaisseur des assises de base, confortant la confiance que l'on peut avoir dans la procédure d'ajustement (voir la Figure 11) ; 2) l'épaisseur des assises décroît proportionnellement à l'altitude à l'intérieur de chaque saison (paramètre  $a_1$  négatif) ; 3) la loi de variation des épaisseurs montre que 13 saisons sur 18 présentent une courbure quadratique significative (voir 3 exemples sur la Figure 10).

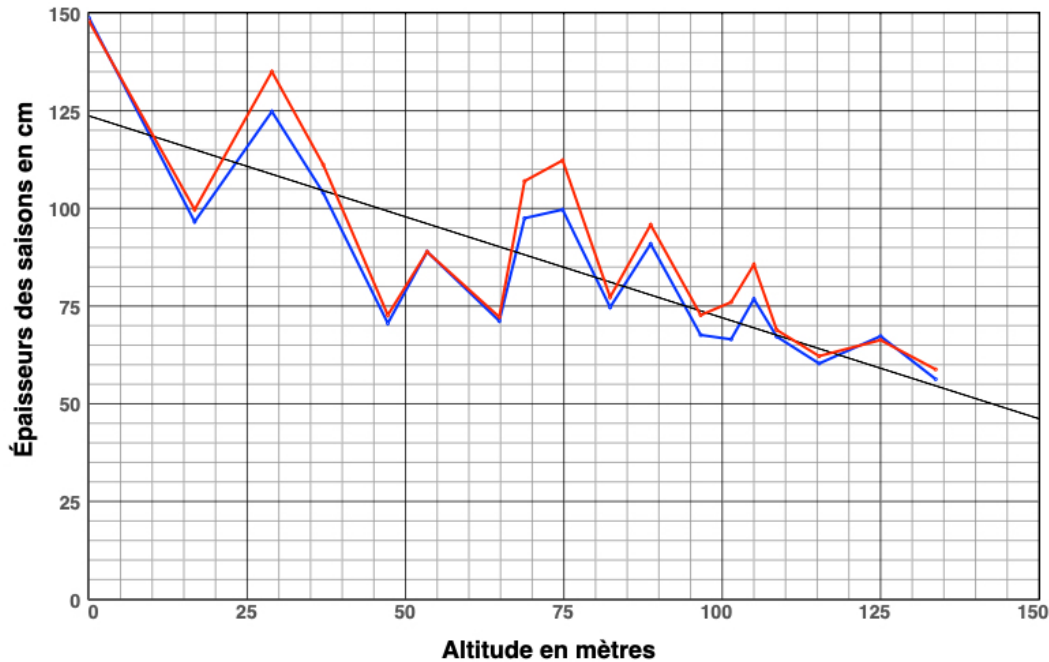


Figure 11. En bleu les épaisseurs des assises de base des saisons, en rouge les mêmes épaisseurs obtenues par la procédure d'ajustement résumée dans le Tableau 4.

4) la distribution de ces trois paramètres avec les saisons ne comporte pas de lois de variation définie. Tous se passe comme si, les saisons étaient indépendantes les unes des autres. La saison 5 illustre parfaitement ce point : l'épaisseur de ses assises est constante avec un bruit important et ne comporte pas la courbure quadratique caractéristique des autres saisons.

En résumé on retiendra que la structure d'une saison est la somme d'une décroissance linéaire de l'épaisseur avec l'altitude probablement voulue par le constructeur, d'une variation quadratique de cette épaisseur, dont le sens reste à déterminer et d'une variation aléatoire, résultant de causes externes : structure des veines dans la carrière, erreurs d'exécution, incompétences diverses et autres. Les deux premiers termes sont obtenus par l'ajustement des mesures expérimentales.

Illustrons maintenant la variation quadratique de l'épaisseur des assises à l'intérieur d'une saison en prenant l'exemple de la saison 11 entre les assises 118 et 129. On calcule d'abord la diminution d'épaisseur des assises entre chaque rang successifs et, pour éliminer le « bruit » des données, on utilise les valeurs correspondantes obtenues en utilisant la fonction d'ajustement dont les paramètres sont disponibles dans le Tableau 4.

Nous avons vu plus haut (Figure 5) que le nombre de blocs par assise de la pyramide varie lui même de manière quadratique avec l'altitude car il est proportionnel à la surface des assises qui, par définition est le carré de leur côté. Y-a-t-il un lien entre la variation d'épaisseur des assises et leur surface ? Ce point est central dans ce qui suit. Pour

comparer les deux séries on effectue le même calcul différentiel entre les rangs 118 et 129 sur le nombre de blocs par assise à partir du calcul effectué pour la Figure 5. Cependant, numériquement, les différences d'épaisseur entre assises sont de quelques unités tandis que les différences entre nombre de blocs sont de l'ordre de la centaine, on ne peut donc pas les comparer directement. Il convient dès lors d'effectuer une renormalisation en ramenant une valeur d'une des séries à celle correspondante de l'autre. La Figure 12 présente le résultat de cette procédure.

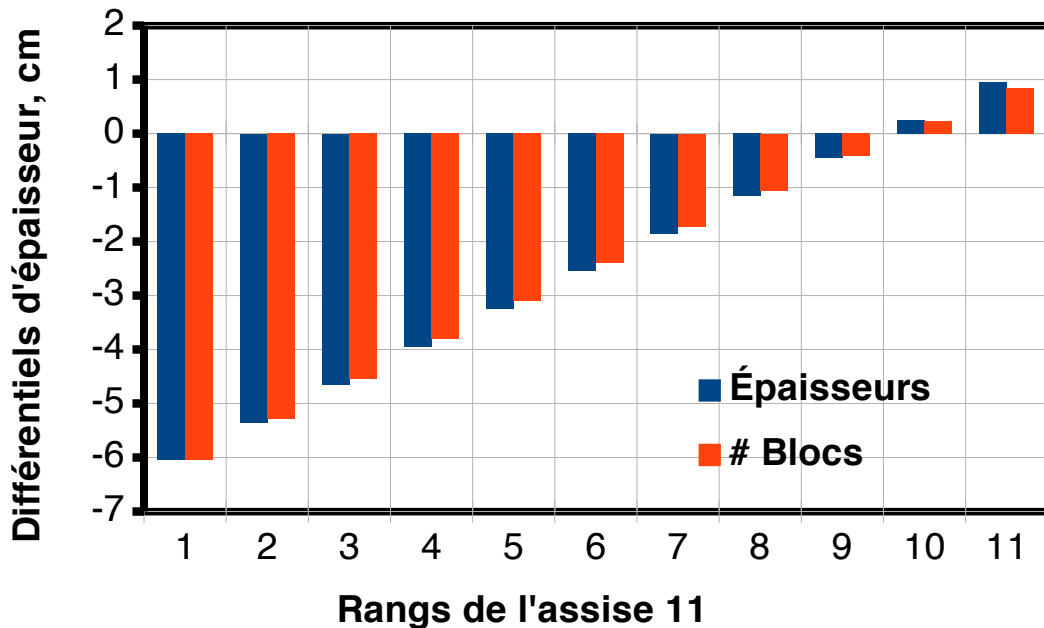


Figure 12. Comparaison de l'amincissement quadratique des assises (bleu) avec la variation du nombre de blocs avec l'altitude (rouge). On notera que la normalisation des grandeurs a été effectuée sur les plus petites d'entre elles.

On observe l'excellent accord entre les deux séries, dont on peut déduire une possible relation causale.

#### IV. L'hypothèse de l'abrasion

Les résultats des analyses mathématiques des mesures présentés ci-avant plaident fortement en faveur de décisions délibérées des maîtres d'œuvre ayant coordonné la construction de la pyramide de Khéops : décroissance générale à mesure de l'élévation de la pyramide, décroissance à l'intérieur des saisons, discernement de trois grandes périodes, courbure quadratique systématique des épaisseurs à l'intérieur des saisons. Bien sûr tout cela ne permet pas d'exclure une coïncidence avec la structure des blocs extrait des carrières d'approvisionnement, simplement, l'hypothèse d'une intervention

humaine devient plausible et surtout elle tient compte de la compétence des acteurs de la construction qui pour un ouvrage d'une telle importance n'avaient certainement pas le goût de se laisser forcer la main par la nature.

L'interprétation de ces analyses des mesures de l'épaisseur des assises de la pyramide de Khéops commence donc par la reconnaissance des saisons définies par l'ensemble des assises comprises entre deux fortes augmentations de l'épaisseur. Nous avons, pour les calculs, discerné 18 de ces saisons. Ce nombre peut-être discuté, mais qu'il y ait eu 18 ou 19 saisons ne change rien à la compréhension nouvelle à la construction de la pyramide qu'apporte le concept de saison, durée déterminée dans une année. Dans ce travail les saisons sont supposées être consécutives et leur étalement global dans le temps est de 18 ans. Là encore, il se pourrait parfaitement que la chaîne des saisons ait été interrompue une ou plusieurs fois et que la durée totale ait été plus longue. De nouveau cela n'entrave en rien la compréhension de la construction apportée par le concept. La saison 5, qui n'a pas de structure clairement définie, semble indiquer cependant que les travaux ont été poursuivis coûte que coûte. Cette saison s'étend entre 48,33 m et 53,68 m d'altitude début de la construction du toit de la chambre du roi. Le travail reste à faire de déterminer les perturbations qu'ont pu apporter les constructions intérieures en granit sur l'avancement des assises.

Pour assurer la stabilité d'un empilement de blocs comme une pyramide il est essentiel d'assurer un contact homogène entre les assises successives, d'éviter les protubérances pour empêcher l'apparition de zones de forte pression à mesure qu'augmente le poids de l'empilement qui les surmonte. Laisser des points de pression risquerait de créer des lignes de fractures délétères. Nous faisons ici l'hypothèse que les constructeurs de la pyramide ont mis en œuvre une procédure d'abrasion permettant un contact le plus homogène possible entre deux assises successives. Le procédé le plus simple que l'on puisse envisager consiste, avant de placer les blocs dans leur position finale, à les faire glisser sur la surface terminale de la construction en cours, en interposant une couche de sable abrasif faisant simultanément office de lubrifiant. Par ce processus de polissage l'interface entre les blocs s'affine et l'épaisseur des blocs diminue. La surface disponible d'un rang au suivant d'une saison diminue quadratiquement, la surface disponible pour le procédé diminue et dès lors l'usure des blocs diminue d'une assise à la suivante.

Le sable est un fluide rhéologique dont la viscosité diminue avec la vitesse d'écoulement. Plus un bloc est déplacé rapidement sur un lit de sable plus la traction est facile. À l'arrêt, à fréquence nulle, le lit de sable se comporte comme un solide. De sorte que l'on peut se demander si le sable n'a pas été utilisé pour faire gravir des pentes à de lourdes charges, car, en effet, tout arrêt dans la traction immobilise la charge qui ne repart pas en arrière. Ce n'est évidemment pas le cas des lubrifiants susuellement évoqués : argile humide et matières grasses qui restent bien sûr plus efficaces dans le transport à plat.

Dormion et Goidin évoquent d'importantes quantités de sable fin et cristallin présent dans la grande pyramide, ce qui vient sans doute à l'appui de l'hypothèse de l'abrasion des blocs<sup>xvii</sup>.

Les travaux de Huy Duong Bui<sup>xviii</sup> de mesure de micro-gravité dans la grande pyramide, publiés en 2011, ont mis en évidence une spirale de sous-densité gravifique tournant dans le sens direct. Cette structure spiralée pourrait être la trace laissée par la procédure d'abrasion utilisée par les constructeurs de la grande pyramide de Khéops !

Pour aller plus loin il faudrait maintenant procéder à une expérience directe de déplacement d'un bloc calcaire sur lit de sable pour mesurer et calibrer l'usure produite par le procédé et vérifier ainsi la validité de l'hypothèse d'abrasion des assises.

## V. Conclusions

Des analyses mathématiques simples permettent de mettre en évidence des faits nouveaux et proposer de nouvelles hypothèses. Ainsi, il ressort de l'analyse de corrélations entre les mesures des différents auteurs disponibles, qu'à l'instar de Petrie, Davison<sup>1</sup> a effectué ses mesures à l'angle Nord-Est de la pyramide. La structure même de la série des assises suggère l'hypothèse que les 18 sections observables sont en réalité des saisons de travail qu'il est rationnel de confondre avec la saison de crue du Nil. Chaque saison des paysans désœuvrés ont pu être embauchés comme manutentionnaires logés-nourris, des sortes de fonctionnaires, pour manœuvrer les blocs constitutifs des assises. Le gros œuvre de la pyramide aurait, dans cette hypothèse, été réalisé en au moins 18 ans. La construction de la pyramide respecte globalement la loi de décroissance linéaire de la taille des blocs utilisés à mesure de l'élévation. Le nombre de blocs d'une assise diminue quadratiquement en fonction de son altitude et on retrouve cette variation à l'intérieur des saisons : l'épaisseur d'une assise diminue quadratiquement en fonction de son rang. De cette variation on peut déduire l'hypothèse de l'abrasion : pour assurer la stabilité de l'édifice les constructeurs auraient procédé à une abrasion de chaque lit de blocs sur la surface terminale du chantier. Cette surface diminuant avec l'altitude la quantité de matière abrasée diminue avec l'élévation du rang. Au démarrage de chaque nouvelle saison, les constructeurs ont tenu compte de cet amincissement des blocs engendré par la procédure de « polissage » en augmentant chaque début de saison l'épaisseur des blocs. Au long de la saison ils utilisèrent des blocs d'épaisseur décroissante que la procédure d'abrasion a courbé.

Les travaux de Huy Duong Bui<sup>xix</sup> de mesure de micro-gravité dans la grande pyramide, publiés en 2011, ont mis en évidence une spirale de sous-densité gravifique tournant dans le sens direct. Cette structure spiralée pourrait être la trace laissée par la procédure d'abrasion utilisée par les constructeurs de la grande pyramide de Chéops !

Pour aller plus loin il faudrait maintenant procéder à une expérience directe de déplacement d'un bloc calcaire sur lit de sable pour mesurer et calibrer l'usure produite par le procédé et vérifier ainsi la validité de l'hypothèse d'abrasion des assises.

- i *Memoirs Relating to European and Asiatic Turkey ; Edited from Manuscript Journals* by Robert Walpole, London 1817.
- ii *Description de l'Egypte ou Recueil des observations et des recherches qui ont été faites en Egypte pendant l'expédition de l'armée française* (2e éd.) [par Edme- François Jomard... et al.]. 1821-1830. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France.
- iii *The Pyramids and Temples of Gizeh*, Flinders Petrie, 1883. Planche 8.
- iv *The Pyramids and Temples of Giseh online*, <http://www.ronaldbirdsall.com/gizeh/index.htm>
- v *Les rangs d'assises de la Grande Pyramide*, Georges Goyon, BIFAO **78**, 405-413, 1978
- vi *The Great Pyramid courses*, John Tallard, W. M. Flinders Petrie, Ancient Egypt, juin 1925, Pages 36 – 39.
- vii *Nouvelles recherches sur la Grande Pyramide*, Julien Bruchet, Aix-en-Provence : la pensée universitaire , 1965
- viii *The course thicknesses of the Great Pyramid*, Douglas McKenzie, Nexus Network Journal, **18**, 347-372, 2016
- ix *Our Inheritance in the Great Pyramid*, London: A. Strahan, 1864 ou *Life and Work at The Great Pyramid*, 1867
- x Voir référence 3, page 41
- xi Voir référence 5
- xii Une simple observation sur Google Earth permet de vérifier ce point.
- xiii *Observations relating to some of the antiquities of Egypt, from the journal of the late Mr. Davison*. Voir ii, p. 345.
- xiv Voir par exemple Goyon dans la référence 5 ci-dessus.
- xv *Discovery of a big void in Khufu's pyramid by observation of cosmic-ray muons*, K. Morishima et al, Nature, **552**, 386 (2017).
- xvi *Die Mashinen des Herodot : der Pyramidenbau und seine Transportprobleme : die Lösung des Jahrtausendrätselfs ohne Wunder und Zauberei*, Oskar M. Riedl, Selbstverlag, 1986. Commenté par Franz Löhner sur <https://www.cheops-pyramide.ch/pyramid-building.html>
- xvii *Les nouveaux mystères de la Grande Pyramide*, Gilles Dormion et Jean-Patrice Goidin, Albin Michel 1987. p. 198-199.
- xviii *Imaging the Cheops pyramid*, Huy Duong Bui, Springer Verlag, 2011. p. 47.
- xix *Imaging the Cheops pyramid*, Huy Duong Bui, Springer Verlag, 2011. p. 47.

## Annexe A

Rang;Petrie S0;;Rang;Petrie NE;;Rang;Jomard;;Rang;Goyon  
NE;;Rang;Davison;;Rang;Tarrell;;Rang;Le  
Père;;Rang;moyenne ;;;;;;;;;;

1;146,30;;1;148,84;;1;108,28;;1;150,00;;1;121,92;;1;147,19;;1;111,7;;1;148,38  
2;133,35;;2;124,71;;2;142,12;;2;124,00;;2;142,24;;2;129,87;;2;111,7;;2;127,35  
3;115,06;;3;122,43;;3;120,46;;3;120,00;;3;116,84;;3;115,58;;3;56,6;;3;118,96  
4;113,03;;4;111,76;;4;113,69;;4;102,00;;4;115,57;;4;112,99;;4;58,0;;4;111,21  
5;98,81;;5;102,11;;5;102,87;;5;99,00;;5;101,60;;5;101,73;;5;54,5;;5;100,88  
6;100,58;;6;96,52;;6;97,45;;6;90,00;;6;99,06;;6;100,00;;6;115,7;;6;96,72  
7;112,01;;7;99,57;;7;102,87;;7;100,00;;7;103,29;;7;104,76;;7;115,7;;7;103,55  
8;88,65;;8;96,01;;8;97,45;;8;97,00;;8;90,17;;8;92,21;;8;111,2;;8;93,86  
9;86,87;;9;92,46;;9;92,04;;9;93,00;;9;93,98;;9;93,07;;9;111,2;;9;91,67  
10;95,76;;10;91,44;;10;83,92;;10;91,50;;10;90,59;;10;91,34;;10;104,7;;10;90,64  
11;82,80;;11;85,60;;11;78,50;;11;86,50;;11;85,73;;11;84,85;;11;104,7;;11;83,83  
12;86,36;;12;75,44;;12;70,38;;12;76,00;;12;76,20;;12;85,28;;12;53,9;;12;76,88  
13;65,28;;13;75,69;;13;73,09;;13;76,00;;13;76,20;;13;76,19;;13;104,9;;13;73,25  
14;74,17;;14;74,68;;14;74,44;;14;75,00;;14;74,93;;14;75,32;;14;104,9;;14;74,64  
15;71,63;;15;74,42;;15;74,44;;15;75,00;;15;77,47;;15;73,16;;15;103,8;;15;74,59  
16;71,37;;16;73,41;;16;66,32;;16;73,50;;16;70,49;;16;71,43;;16;103,8;;16;71,02  
17;71,88;;17;71,12;;17;67,68;;17;75,00;;17;71,12;;17;70,56;;17;52,6;;17;71,36  
18;78,99;;18;78,99;;18;81,21;;18;83,00;;18;79,59;;18;78,79;;18;106,0;;18;80,36  
19;99,31;;19;96,77;;19;94,75;;19;95,00;;19;96,52;;19;96,97;;19;106,0;;19;96,47  
20;61,21;;20;59,69;;20;54,14;;20;62,00;;20;60,96;;20;59,31;;20;56,1;;20;59,60  
21;57,15;;21;60,45;;21;59,55;;21;58,00;;21;59,69;;21;58,87;;21;57,5;;21;58,97  
22;89,15;;22;87,63;;22;90,68;;22;87,00;;22;88,90;;22;88,31;;22;59,8;;22;88,67  
23;84,07;;23;83,82;;23;81,21;;23;89,00;;23;83,19;;23;83,55;;23;63,2;;23;84,26  
24;82,04;;24;82,30;;24;83,92;;24;83,00;;24;81,92;;24;81,82;;24;66,8;;24;82,64  
25;82,30;;25;82,04;;25;92,04;;25;80,00;;25;82,55;;25;80,95;;25;103,8;;25;83,79  
26;79,25;;26;78,23;;26;94,75;;26;74,00;;26;78,74;;26;77,49;;26;103,8;;26;80,99  
27;75,18;;27;75,44;;27;79,86;;27;78,00;;27;75,57;;27;73,16;;27;103,3;;27;76,81  
28;74,17;;28;74,17;;28;77,15;;28;69,00;;28;74,93;;28;72,73;;28;103,3;;28;73,88  
29;71,12;;29;71,37;;29;71,74;;29;65,00;;29;73,66;;29;70,56;;29;103,3;;29;70,58  
30;70,61;;30;71,63;;30;69,03;;30;64,00;;30;70,27;;30;69,70;;30;103,3;;30;69,11  
31;71,88;;31;70,61;;31;67,68;;31;73,00;;31;71,97;;31;68,83;;31;103,1;;31;71,03  
32;66,04;;32;66,80;;32;70,38;;32;72,00;;32;67,31;;32;65,80;;32;103,1;;32;68,51  
33;66,55;;33;66,80;;33;59,55;;33;54,00;;33;66,04;;33;65,37;;33;104,9;;33;62,59  
34;66,80;;34;66,55;;34;70,38;;34;66,00;;34;66,04;;34;64,94;;34;104,9;;34;67,15  
35;124,97;;35;126,49;;35;124,52;;35;127,00;;35;123,19;;35;125,54;;35;103,5;;35;1  
25,23  
36;106,17;;36;104,39;;36;108,28;;36;100,00;;36;110,07;;36;103,90;;36;103,5;;36;1  
05,78  
37;96,52;;37;97,03;;37;94,75;;37;97,00;;37;95,25;;37;96,54;;37;106,2;;37;96,11  
38;92,20;;38;92,20;;38;92,04;;38;95,00;;38;92,71;;38;93,51;;38;106,2;;38;92,83  
39;85,85;;39;86,11;;39;83,92;;39;84,00;;39;88,90;;39;87,45;;39;54,4;;39;85,76  
40;80,77;;40;81,03;;40;85,27;;40;84,00;;40;81,92;;40;81,39;;40;121,8;;40;82,60  
41;77,98;;41;78,49;;41;77,15;;41;83,00;;41;79,38;;41;77,92;;41;121,8;;41;79,20  
42;74,68;;42;71,12;;42;77,15;;42;72,00;;42;73,03;;42;74,46;;42;113,4;;42;73,60  
43;81,53;;43;84,58;;43;83,92;;43;83,00;;43;85,09;;43;82,68;;43;113,4;;43;83,62  
44;104,39;;44;104,39;;44;105,57;;44;106,00;;44;103,51;;44;103,90;;44;107,2;;44;1  
04,77  
45;96,77;;45;96,27;;45;97,45;;45;97,00;;45;97,16;;45;96,10;;45;107,2;;45;96,93  
46;71,63;;46;69,34;;46;70,38;;46;73,00;;46;70,49;;46;70,13;;46;54,0;;46;70,97  
47;88,65;;47;90,42;;47;89,33;;47;90,00;;47;86,36;;47;87,88;;47;108,1;;47;88,95  
48;89,15;;48;90,17;;48;90,68;;48;90,50;;48;94,62;;48;88,74;;48;108,1;;48;91,02  
49;79,76;;49;79,25;;49;83,92;;49;86,00;;49;81,28;;49;78,35;;49;108,1;;49;82,04  
50;71,37;;50;71,12;;50;73,09;;50;70,00;;50;69,22;;50;71,00;;50;108,1;;50;70,96  
51;67,31;;51;67,56;;51;60,91;;51;72,50;;51;67,95;;51;65,37;;51;115,5;;51;67,25  
52;67,31;;52;66,80;;52;64,97;;52;61,00;;52;67,31;;52;66,23;;52;115,5;;52;65,48



53;65,02;;53;65,02;;53;64,97;;53;68,00;;53;66,04;;53;64,07;;53;128,8;;53;65,81  
54;64,26;;54;65,28;;54;58,20;;54;63,00;;54;64,77;;54;62,77;;54;128,8;;54;63,10  
55;63,75;;55;64,26;;55;63,61;;55;69,00;;55;64,14;;55;61,47;;55;111,7;;55;64,95  
56;62,99;;56;62,99;;56;62,26;;56;55,00;;56;64,14;;56;62,77;;56;111,7;;56;61,48  
57;63,50;;57;57,15;;57;63,61;;57;62,00;;57;62,87;;57;67,10;;57;56,4;;57;61,83  
58;65,02;;58;72,64;;58;69,03;;58;68,50;;58;68,58;;58;72,29;;58;59,3;;58;68,75  
59;75,18;;59;72,90;;59;74,44;;59;75,00;;59;74,51;;59;73,59;;59;65,0;;59;74,41  
60;70,36;;60;71,37;;60;71,74;;60;70,00;;60;71,12;;60;69,26;;60;75,1;;60;70,92  
61;67,06;;61;66,55;;61;69,03;;61;67,50;;61;67,31;;61;65,80;;61;110,8;;61;67,49  
62;63,50;;62;61,98;;62;63,61;;62;63,50;;62;63,50;;62;62,34;;62;110,8;;62;63,22  
63;66,55;;63;66,04;;63;64,97;;63;65,50;;63;64,77;;63;63,64;;63;110,5;;63;65,57  
64;66,29;;64;65,02;;64;67,68;;64;67,50;;64;66,04;;64;64,50;;64;110,5;;64;66,51  
65;64,77;;65;66,55;;65;64,97;;65;66,00;;65;67,31;;65;64,94;;65;130,0;;65;65,92  
66;61,72;;66;60,20;;66;62,26;;66;60,50;;66;60,33;;66;62,77;;66;130,0;;66;61,00  
67;86,36;;67;88,90;;67;85,27;;67;86,00;;67;88,90;;67;87,45;;67;56,1;;67;87,09  
68;80,52;;68;77,72;;68;81,21;;68;83,50;;68;78,74;;68;77,06;;68;114,5;;68;80,34  
69;79,25;;69;82,30;;69;77,15;;69;78,00;;69;82,13;;69;77,49;;69;114,5;;69;79,77  
70;71,37;;70;70,61;;70;71,74;;70;64,00;;70;73,66;;70;71,43;;70;112,2;;70;70,28  
71;71,37;;71;73,15;;71;67,68;;71;71,00;;71;71,12;;71;70,13;;71;112,2;;71;70,86  
72;66,29;;72;65,53;;72;67,68;;72;67,50;;72;67,95;;72;64,94;;72;123,3;;72;66,99  
73;65,79;;73;64,26;;73;64,97;;73;66,00;;73;66,04;;73;63,64;;73;123,3;;73;65,41  
74;77,47;;74;77,22;;74;78,50;;74;80,00;;74;79,38;;74;76,62;;74;122,7;;74;78,51  
75;74,42;;75;73,66;;75;75,80;;75;76,00;;75;74,93;;75;73,16;;75;122,7;;75;74,96  
76;62,99;;76;59,94;;76;59,55;;76;62,00;;76;63,50;;76;61,90;;76;117,8;;76;61,60  
77;60,71;;77;64,77;;77;62,26;;77;64,00;;77;61,60;;77;59,74;;77;117,8;;77;62,67  
78;59,44;;78;60,20;;78;60,91;;78;60,00;;78;59,69;;78;58,01;;78;117,5;;78;60,05  
79;59,69;;79;58,67;;79;59,55;;79;59,50;;79;59,69;;79;58,87;;79;117,5;;79;59,42  
80;61,21;;80;61,21;;80;62,26;;80;62,50;;80;62,23;;80;61,04;;80;66,3;;80;61,88  
81;59,69;;81;58,93;;81;59,55;;81;60,00;;81;60,11;;81;59,31;;81;130,2;;81;59,66  
82;58,67;;82;59,18;;82;60,91;;82;60,00;;82;59,69;;82;58,44;;82;130,2;;82;59,69  
83;57,66;;83;57,40;;83;58,20;;83;60,00;;83;57,57;;83;69,26;;83;76,9;;83;58,17  
84;70,61;;84;70,61;;84;70,38;;84;67,00;;84;71,76;;84;64,07;;84;74,4;;84;70,07  
85;57,91;;85;58,17;;85;54,14;;85;57,50;;85;57,15;;85;59,31;;85;81,4;;85;56,97  
86;66,04;;86;66,80;;86;69,03;;86;67,00;;86;67,73;;86;56,71;;86;146,2;;86;67,32  
87;57,66;;87;55,63;;87;56,85;;87;66,00;;87;56,73;;87;57,58;;87;146,2;;87;58,57  
88;56,90;;88;58,67;;88;58,20;;88;58,00;;88;57,57;;88;57,14;;88;125,0;;88;57,87  
89;58,93;;89;57,66;;89;56,85;;89;61,00;;89;60,33;;89;58,44;;89;125,0;;89;58,95  
90;97,03;;90;97,79;;90;89,33;;90;97,00;;90;97,16;;90;96,97;;90;117,1;;90;95,66  
91;90,17;;91;87,12;;91;89,33;;91;90,50;;91;90,17;;91;89,18;;91;117,1;;91;89,46  
92;81,03;;92;84,07;;92;83,92;;92;83,50;;92;82,55;;92;81,39;;92;119,2;;92;83,01  
93;74,42;;93;74,68;;93;75,80;;93;77,50;;93;74,93;;93;75,76;;93;119,2;;93;75,47  
94;66,55;;94;66,29;;94;67,68;;94;68,00;;94;67,95;;94;66,23;;94;126,3;;94;67,29  
95;64,26;;95;65,02;;95;64,97;;95;63,00;;95;64,14;;95;63,20;;95;126,3;;95;64,28  
96;60,71;;96;58,42;;96;59,55;;96;60,50;;96;60,33;;96;60,61;;96;137,8;;96;59,90  
97;57,66;;97;66,04;;97;62,26;;97;61,00;;97;60,11;;97;62,77;;97;137,8;;97;61,41  
98;103,89;;98;95,25;;98;104,22;;98;100,00;;98;104,14;;98;105,19;;98;130,7;;98;10  
1,50  
99;99,06;;99;97,28;;99;97,45;;99;99,50;;99;97,79;;99;97,84;;99;130,7;;99;98,22  
100;87,12;;100;90,42;;100;89,33;;100;90,50;;100;90,17;;100;87,88;;100;67,4;;100;  
89,51  
101;82,30;;101;85,09;;101;82,56;;101;85,00;;101;81,92;;101;82,68;;101;144,1;;101  
;83,37  
102;74,42;;102;69,60;;102;73,09;;102;74,00;;102;74,93;;102;73,59;;102;144,1;;102  
;73,21  
103;73,41;;103;74,42;;103;73,09;;103;76,00;;103;74,93;;103;73,16;;103;86,1;;103;  
74,37  
104;67,31;;104;66,80;;104;67,68;;104;68,00;;104;67,73;;104;68,40;;104;90,2;;104;  
67,50  
105;67,56;;105;67,06;;105;67,68;;105;67,50;;105;66,89;;105;67,53;;105;97,7;;105;  
67,34  
106;62,23;;106;63,50;;106;64,97;;106;64,00;;106;64,35;;106;65,80;;106;103,2;;106

;63,81  
107;62,99;;107;62,99;;107;63,61;;107;63,50;;107;62,65;;107;65,37;;107;57,6;;107;  
63,15  
108;74,68;;108;74,42;;108;73,09;;108;75,50;;108;74,93;;108;76,62;;108;61,2;;108;  
74,52  
109;67,56;;109;67,56;;109;67,68;;109;68,00;;109;67,73;;109;64,94;;109;129,3;;109  
;67,71  
110;59,18;;110;58,93;;110;59,55;;110;59,00;;110;60,11;;110;56,28;;110;129,3;;110  
;59,35  
111;59,94;;111;58,17;;111;59,55;;111;60,50;;111;60,11;;111;58,87;;111;73,8;;111;  
59,65  
112;58,42;;112;61,21;;112;59,55;;112;59,50;;112;59,69;;112;60,17;;112;83,0;;112;  
59,67  
113;60,71;;113;58,93;;113;59,55;;113;60,00;;113;60,11;;113;58,87;;113;90,9;;113;  
59,86  
114;56,13;;114;58,42;;114;58,20;;114;58,00;;114;57,57;;114;57,58;;114;147,4;;114  
;57,66  
115;57,66;;115;56,13;;115;56,85;;115;57,50;;115;57,79;;115;56,28;;115;147,4;;115  
;57,19  
116;66,80;;116;68,83;;116;66,32;;116;67,50;;116;67,31;;116;67,53;;116;65,0;;116;  
67,35  
117;58,93;;117;56,90;;117;58,20;;117;58,00;;117;59,06;;117;59,31;;117;122,6;;117  
;58,22  
118;88,65;;118;90,42;;118;89,33;;118;90,50;;118;91,44;;118;89,61;;118;122,6;;118  
;90,07  
119;82,04;;119;80,77;;119;82,56;;119;83,00;;119;81,28;;119;75,32;;119;56,8;;119;  
81,93  
120;74,42;;120;75,69;;120;75,80;;120;75,00;;120;77,05;;120;74,89;;120;128,7;;120  
;75,59  
121;74,42;;121;73,91;;121;74,44;;121;74,50;;121;74,93;;121;74,46;;121;128,7;;121  
;74,44  
122;66,55;;122;66,04;;122;67,68;;122;67,00;;122;67,31;;122;67,53;;122;118,5;;122  
;66,92  
123;69,09;;123;67,06;;123;67,68;;123;66,00;;123;66,89;;123;66,67;;123;118,5  
;;123;67,34  
124;59,44;;124;61,72;;124;62,26;;124;63,00;;124;63,50;;124;64,07;;124;120,9;;124;61,98  
125;60,96;;125;62,99;;125;58,20;;125;58,00;;125;59,69;;125;61,90;;125;120,9;;125;59,97  
126;58,42;;126;58,42;;126;59,55;;126;60,50;;126;60,33;;126;58,87;;126;59,2;;126;59,44  
127;58,17;;127;57,40;;127;59,55;;127;59,50;;127;60,33;;127;56,71;;127;61,8;;127;58,99  
128;57,91;;128;57,91;;128;58,20;;128;59,00;;128;58,42;;128;57,14;;128;137,0;;128;58,29  
129;59,44;;129;56,13;;129;55,49;;129;70,00;;129;56,73;;129;58,44;;129;137,0;;129;59,56  
130;66,80;;130;67,56;;130;66,32;;130;65,00;;130;67,73;;130;66,23;;130;142,6;;130;66,68  
131;62,99;;131;63,25;;131;63,61;;131;60,50;;131;64,14;;131;63,20;;131;142,6;;131;62,90  
132;58,67;;132;58,93;;132;60,91;;132;56,50;;132;60,33;;132;58,87;;132;135,6;;132;59,07  
133;56,13;;133;54,61;;133;56,85;;133;55,50;;133;56,52;;133;54,11;;133;135,6;;133;55,92  
134;55,63;;134;57,91;;134;56,85;;134;54,50;;134;55,25;;134;56,28;;134;73,3;;134;56,03  
135;55,37;;135;53,85;;135;54,14;;135;61,00;;135;55,88;;135;54,11;;135;82,1;;135;56,05  
136;56,90;;136;60,20;;136;59,55;;136;58,00;;136;60,33;;136;56,28;;136;77,5;;136;59,00  
137;60,20;;137;56,64;;137;56,85;;137;68,00;;137;57,57;;137;57,58;;137;149,1;;137;59,85  
138;67,06;;138;65,28;;138;67,68;;138;65,00;;138;67,73;;138;65,80;;138;149,1;;138;66,55  
139;62,48;;139;64,77;;139;64,97;;139;57,00;;139;64,77;;139;62,34;;139;132,2;;139;62,80  
140;56,64;;140;55,12;;140;56,85;;140;56,00;;140;56,52;;140;54,98;;140;132,2;;140;56,23  
141;54,61;;141;53,34;;141;54,14;;141;56,00;;141;54,61;;141;53,68;;141;128,6;;141;54,54  
142;55,88;;142;58,67;;142;55,49;;142;56,50;;142;57,57;;142;54,55;;142;128,6;;142;56,82  
143;55,63;;143;53,09;;143;56,85;;143;74,00;;143;56,52;;143;53,68;;143;136,9;;143;59,22  
144;73,41;;144;78,99;;144;77,15;;144;68,50;;144;74,51;;144;76,19;;144;136,9;;144;74,51

145;66,55;;145;61,47;;145;69,03;;145;60,00;;145;66,04;;145;65,80;;145;73,1;;145;64,62  
146;58,67;;146;60,71;;146;59,55;;146;59,00;;146;60,96;;146;59,31;;146;68,1;;146;59,78  
147;57,91;;147;56,13;;147;56,85;;147;56,00;;147;58,42;;147;58,44;;147;125,5;;147;57,06  
148;55,12;;148;55,63;;148;54,14;;148;56,00;;148;56,73;;148;54,55;;148;125,5;;148;55,52  
149;56,39;;149;55,12;;149;55,49;;149;70,00;;149;55,25;;149;53,68;;149;129,5;;149;58,45  
150;66,29;;150;67,56;;150;67,68;;150;63,50;;150;66,89;;150;67,10;;150;129,5;;150;66,38  
151;63,25;;151;61,98;;151;63,61;;151;59,50;;151;62,87;;151;63,20;;151;127,2;;151;62,24  
152;59,44;;152;58,42;;152;59,55;;152;59,00;;152;60,96;;152;61,04;;152;127,2;;152;59,47  
153;57,40;;153;56,39;;153;56,85;;153;55,00;;153;57,57;;153;56,71;;153;139,0;;153;56,64  
154;53,85;;154;55,37;;154;54,14;;154;55,00;;154;55,03;;154;53,68;;154;139,0;;154;54,68  
155;54,10;;155;52,07;;155;55,49;;155;54,00;;155;54,19;;155;53,68;;155;83,0;;155;53,97  
156;52,83;;156;54,10;;156;52,79;;156;54,50;;156;54,61;;156;53,25;;156;94,6;;156;53,77  
157;54,36;;157;53,85;;157;54,14;;157;54,50;;157;53,34;;157;52,38;;157;85,5;;157;54,04  
158;53,34;;158;54,86;;158;54,14;;158;54,50;;158;55,88;;158;53,25;;158;69,9;;158;54,54  
159;54,10;;159;52,32;;159;54,14;;159;54,50;;159;54,61;;159;52,81;;159;96,4;;159;53,93  
160;53,85;;160;54,61;;160;54,14;;160;54,50;;160;53,98;;160;52,81;;160;100,2;;160;54,22  
161;53,34;;161;52,58;;161;54,14;;161;60,00;;161;53,98;;161;53,25;;161;85,5;;161;54,81  
162;59,44;;162;60,45;;162;59,55;;162;59,00;;162;60,11;;162;58,87;;162;72,0;;162;59,71  
163;58,42;;163;56,13;;163;58,20;;163;64,50;;163;57,57;;163;57,14;;163;78,8;;163;58,96  
164;63,25;;164;65,53;;164;63,61;;164;56,00;;164;55,88;;164;64,50;;164;84,7;;164;60,85  
165;55,63;;165;54,36;;165;58,20;;165;54,00;;165;55,03;;165;55,84;;165;82,7;;165;55,44  
166;53,09;;166;53,85;;166;52,79;;166;54,00;;166;55,25;;166;52,38;;166;92,3;;166;53,80  
167;51,56;;167;52,32;;167;51,43;;167;54,50;;167;51,65;;167;50,22;;167;94,1;;167;52,29  
168;52,32;;168;50,80;;168;51,43;;168;52,50;;168;53,98;;168;51,52;;168;106,8;;168;52,21  
169;51,56;;169;52,07;;169;51,43;;169;53,50;;169;51,44;;169;50,65;;169;125,7;;169;52,00  
170;51,05;;170;52,83;;170;54,14;;170;54,00;;170;53,34;;170;51,08;;170;67,3;;170;53,07  
171;52,58;;171;50,04;;171;51,43;;171;53,00;;171;50,80;;171;50,22;;171;66,5;;171;51,57  
172;51,82;;172;53,85;;172;54,14;;172;52,00;;172;53,98;;172;51,52;;172;67,4;;172;53,16  
173;51,82;;173;52,83;;173;51,43;;173;49,50;;173;52,07;;173;50,22;;173;70,6;;173;51,53  
174;51,82;;174;50,04;;174;51,43;;174;53,00;;174;52,07;;174;51,08;;174;70,9;;174;51,67  
175;51,05;;175;51,56;;175;52,79;;175;53,00;;175;52,71;;175;50,22;;175;73,8;;175;52,22  
176;52,07;;176;52,07;;176;52,79;;176;52,50;;176;52,49;;176;51,08;;176;73,7;;176;52,38  
177;50,29;;177;51,56;;177;51,43;;177;53,00;;177;52,49;;177;50,22;;177;72,0;;177;51,75  
178;53,09;;178;51,05;;178;52,79;;178;53,00;;178;52,07;;178;51,08;;178;76,9;;178;52,40  
179;50,29;;179;52,32;;179;52,79;;179;67,50;;179;53,34;;179;49,78;;179;84,3;;179;55,25  
180;66,80;;180;67,31;;180;66,32;;180;63,50;;180;67,31;;180;66,67;;180;84,3;;180;66,25  
181;64,52;;181;54,00;;181;62,26;;181;60,00;;181;62,23;;181;64,94;;181;83,6;;181;60,60  
182;57,91;;182;53,98;;182;59,55;;182;58,00;;182;60,33;;182;60,61;;182;88,7;;182;57,95  
183;58,17;;183;53,95;;183;58,20;;183;56,00;;183;57,57;;183;58,87;;183;59,8;;183;56,78  
184;56,13;;184;53,92;;184;56,85;;184;54,50;;184;57,15;;184;56,28;;184;60,0;;184;55,71  
185;54,36;;185;53,90;;185;54,14;;185;53,00;;185;53,34;;185;54,98;;185;95,6;;185;53,75  
186;50,80;;186;53,87;;186;52,79;;186;52,00;;186;54,61;;186;54,11;;186;79,1;;186;52,81  
187;52,83;;187;53,85;;187;51,43;;187;52,50;;187;52,07;;187;53,25;;187;70,6;;187;52,54  
188;51,56;;188;53,82;;188;52,79;;188;52,00;;188;52,07;;188;54,11;;188;73,9;;188;52,45  
189;52,32;;189;53,80;;189;52,79;;189;52,50;;189;52,50;;189;53,25;;189;77,6;;189;52,78  
190;51,05;;190;53,77;;190;51,43;;190;54,00;;190;52,50;;190;54,11;;190;70,6;;190;52,55  
191;52,07;;191;53,75;;191;51,43;;191;51,50;;191;53,98;;191;53,25;;191;67,0;;191;52,54  
192;52,32;;192;53,72;;192;51,43;;192;52,00;;192;50,80;;192;54,11;;192;84,4;;192;52,05  
193;52,32;;193;53,70;;193;52,79;;193;52,00;;193;52,07;;193;53,68;;193;88,2;;193;52,57

194;51,82;;194;53,67;;194;52,79;;194;52,00;;194;52,07;;194;52,81;;194;77,6;;194;52,47  
195;52,83;;195;53,64;;195;52,79;;195;58,50;;195;52,50;;195;53,25;;195;103,1;;195;54,05  
196;59,94;;196;53,62;;196;58,20;;196;60,50;;196;59,06;;196;61,47;;196;90,8;;196;58,26  
197;57,66;;197;53,59;;197;59,55;;197;56,50;;197;59,69;;197;59,31;;197;106,3;;197;57,40  
198;55,88;;198;55,63;;198;56,85;;198;55,00;;198;56,52;;198;57,14;;198;98,2;;198;55,97  
199;54,36;;199;55,37;;199;55,49;;199;57,50;;199;54,18;;199;54,55;;199;97,2;;199;55,38  
200;57,15;;200;55,12;;200;58,20;;200;56,50;;200;55,25;;200;58,87;;200;104,1;;200;56,44  
201;56,90;;201;54,86;;201;56,85;;201;112,00;;201;56,52;;201;56,71;;201;135,1;;201;67,43 ;5  
4,22;;54,61;;202;54,14;;;;202;54,18;;202;57,58;;202;141,0;;202;54,29 ;;;54,36;;203;54,14;;;;  
203;52,71;;203;55,84;;203;133,1;;203;53,73 ;;;;;;;;;;;204;52,48;;;;204;51,9;;204; ;;;;;;;;;;;205;5  
2,71;;;;;;;;;; ;;;;;;;;;;;206;97,16;;;

## Annexe B

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$



rang	cm	rang	cm	rang	cm	rang	cm	rang	cm	rang	cm
VII		VIII		IX		X		XI		XII	
84	71,2	90	97,5	98	99,7	108	74,7	118	90,9	130	67,6
85	57,7	91	88,6	99	97,5	109	67,6	119	81,0	131	63,7
86	67,3	92	83,3	100	90,3	110	59,5	120	76,4	132	59,6
87	56,2	93	74,8	101	83,5	111	59,1	121	74,4	133	55,6
88	58,1	94	67,1	102	72,3	112	60,5	122	66,7	134	56,6
89	59,0	95	64,6	103	74,7	113	59,5	123	67,0	135	54,9
		96	59,4	104	67,3	114	58,0	124	62,6	136	60,3
		97	63,1	105	67,0	115	57,0	125	61,3	137	57,1
				106	63,9	116	68,1	126	59,4		
				107	62,8	117	58,0	127	58,9		
								128	58,2		
								129	56,4		

rang	cm	rang	cm	rang	cm	rang	cm	rang	cm	rang	cm
XIII		XIV		XV		XVI		XVII		XVIII	
138	66,5	144	76,8	150	67,2	162	60,3	180	67,3	196	56,3
139	64,8	145	63,8	151	62,4	163	56,9	181	58,1	197	56,6
140	55,8	146	60,8	152	59,7	164	60,7	182	57,2	198	56,1
141	54,0	147	57,3	153	57,0	165	54,7	183	55,8	199	54,8
142	58,1	148	56,2	154	55,2	166	54,6	184	55,5	200	55,2
143	54,8	149	55,2	155	53,1	167	52,0	185	53,6	201	55,7
				156	54,4	168	52,4	186	54,2	202	54,4
				157	53,6	169	51,8	187	53,0		
				158	55,4	170	53,1	188	52,9		
				159	53,5	171	50,4	189	53,2		
				160	54,3	172	53,9	190	53,1		
				161	53,3	173	52,5	191	53,9		
						174	51,1	192	52,3		
						175	52,1	193	52,9		
						176	52,3	194	52,9		
						177	52,0	195	53,1		
						178	51,6				
						179	52,8				

## Annexe C

## Calcul du nombre de blocs par assises

### Données

$$H = 140 \text{ m}, b = 231 \text{ m}$$

$$N = 203 \text{ assises}$$

$$e = 0,69 \text{ m}, \text{ épaisseur moyenne}$$

### Modèle bloc

$$l = 1,5 e \text{ largeur}$$

$$L = 2 e \text{ Longueur}$$

$$s = l.L = 3.e^2 = 1,4283 \text{ m}^2$$

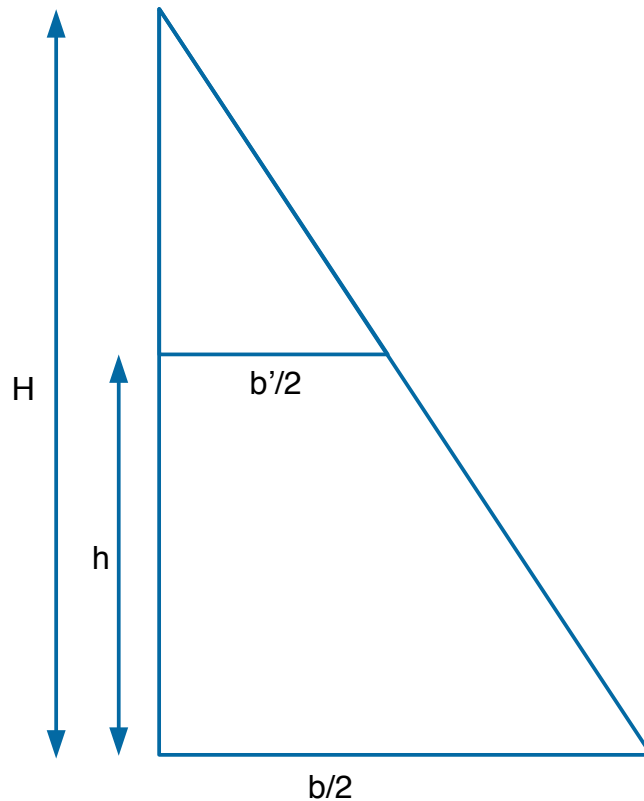
### Triangles semblables

$$\frac{H-h}{H} = \frac{b'}{b} \quad (1)$$

### Altitude de l'assise n

$$h = (n-1).e \quad (2)$$

On compte ainsi 0 pour l'altitude de la première assise.



### Calcul du nombre de bloc par assise

#### Côté des assises

À partir de l'expression (1) on obtient : 
$$b' = b \left(1 - \frac{h}{H}\right) \quad (3)$$

et en tenant compte de (2) :

$$b' = b \left(1 - \frac{(n-1).e}{H}\right) \quad (4)$$

Le nombre de blocs est donné par la surface d'une assises divisée par la surface d'un bloc :

$$N_n = \left(\frac{b'^2}{s}\right) \quad (5)$$

soit :

$$N_n = \frac{b^2}{s} \left(1 - \frac{(n-1).e}{H}\right)^2$$

(6)  
Application numérique :

(7)

$$N_1 = \frac{b^2}{s} = \frac{b^2}{3e^2} = \frac{231^2}{3 \times 0,69^2} = 37360$$

$$\frac{e}{H} = \frac{1}{203}$$

$$N_n = 37360 \cdot \left(1 - \frac{(n-1)}{203}\right)^2 \quad (8)$$



Rang	# blocs	Rang	# blocs	Rang	# blocs	Rang	# blocs	Rang	# blocs	Rang	# blocs
1	37360	35	25893	69	16523	103	9248	137	4070	171	987
2	36993	36	25588	70	16279	104	9066	138	3949	172	928
3	36627	37	25284	71	16037	105	8886	139	3830	173	871
4	36264	38	24982	72	15797	106	8707	140	3713	174	816
5	35902	39	24682	73	15558	107	8530	141	3598	175	762
6	35542	40	24384	74	15322	108	8355	142	3485	176	711
7	35184	41	24087	75	15087	109	8182	143	3373	177	661
8	34828	42	23793	76	14854	110	8011	144	3264	178	613
9	34473	43	23500	77	14623	111	7841	145	3156	179	567
10	34121	44	23209	78	14393	112	7673	146	3050	180	522
11	33770	45	22920	79	14166	113	7508	147	2946	181	480
12	33421	46	22632	80	13940	114	7343	148	2843	182	439
13	33074	47	22347	81	13716	115	7181	149	2742	183	400
14	32728	48	22063	82	13494	116	7021	150	2644	184	363
15	32385	49	21781	83	13274	117	6862	151	2547	185	327
16	32043	50	21501	84	13055	118	6705	152	2451	186	294
17	31703	51	21223	85	12838	119	6550	153	2358	187	262
18	31365	52	20946	86	12623	120	6397	154	2266	188	232
19	31028	53	20671	87	12410	121	6246	155	2177	189	204
20	30694	54	20398	88	12199	122	6096	156	2089	190	178
21	30361	55	20127	89	11990	123	5948	157	2003	191	153
22	30030	56	19858	90	11782	124	5802	158	1918	192	131
23	29701	57	19591	91	11576	125	5658	159	1836	193	110
24	29374	58	19325	92	11372	126	5516	160	1755	194	91
25	29048	59	19061	93	11170	127	5375	161	1676	195	73
26	28725	60	18799	94	10970	128	5237	162	1599	196	58
27	28403	61	18539	95	10771	129	5100	163	1524	197	44
28	28083	62	18281	96	10575	130	4965	164	1451	198	33
29	27765	63	18024	97	10380	131	4831	165	1379	199	23
30	27448	64	17769	98	10187	132	4700	166	1309	200	15
31	27134	65	17516	99	9995	133	4570	167	1241	201	8
32	26821	66	17265	100	9806	134	4442	168	1175	202	4
33	26510	67	17016	101	9618	135	4316	169	1111	203	1
34	26201	68	16768	102	9432	136	4192	170	1048	<b>Tot. 2255253</b>	