



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

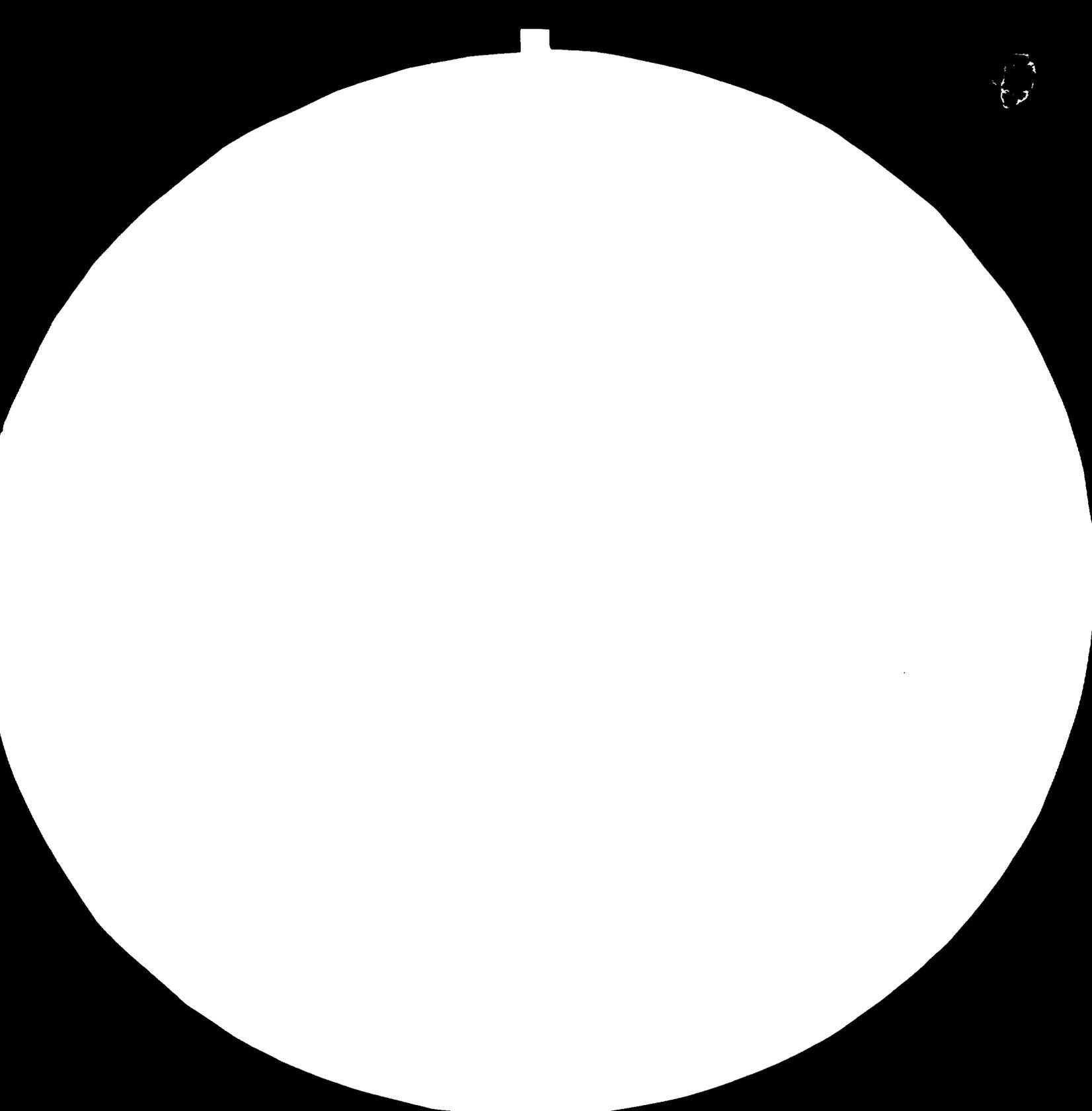
FAIR USE POLICY

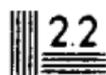
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





4



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

13497

Distr.
RESTREINT

UNIDO/IC/R.113
16 mars 1984

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

FRANCAIS

Madagascar.

ASSISTANCE AUX TRANSPORTS EN ZONE RURALE

UC/MIAC/SI/048

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DE MADAGASCAR

Rapport technique: Effondrement du pont prototype ONUDI, Route Lakato*

Etabli pour le Gouvernement de la République démocratique de Madagascar
par l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

D'après les travaux de C. R. Francis

Ingénieur du bois

* Ce document n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

V.84-83445

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
Historique	1
Inspection	1
Analyse	2
Observations	3
Conclusions	4

Annexes

- A Rapport de visite du pont modulaire de LAKATO
- B Analyse des efforts

HISTORIQUE

Ce pont a été construit en mai 1982 par l'équipe "Ponts Bailey" du Ministère des Travaux Publics. Les éléments furent préfabriqués sous la supervision de M. C. R. Francis, Ingénieur spécialiste du bois de l'ONUDI; le pont aussi fut construit sous sa supervision. Les éléments préfabriqués présentent une variation par rapport aux dessins contenus dans le "Rapport technique", Construction de ponts en bois bon marché à partir d'éléments modulaires préfabriqués. Les variations apportées sont complètement décrites dans le "Rapport technique ONUDI/IO/R.30" - Construction de ponts d'éléments préfabriqués en bois", page 7-9. Une photographie du pont se trouve à la page 10 de la brochure de l'ONUDI "Wooden Bridges" Document PI/88.

Le pont fut examiné en mai 1983 par M. Rasolohery Adolphe, Chef de subdivision des T. P. de Moramanga. Il l'a trouvé en bonne condition et il l'a considéré comme pouvant supporter des charges jusqu'à 10 tonnes. Un peu plus tard, la Brigade de construction chinoise qui reconstruit la Route Nationale 2 a commencé à utiliser le pont pour le passage de ses engins, contrairement à l'avis des T. P.

En juillet 1983, le pont s'effondra sous la charge d'un scraper remorqué par un bulldozer.

Les T. P. ont fait un rapport qui fut adressé au PMUD le 6 octobre (voir Annexe A).

INSPECTION

Le 9 novembre, M. Francis a inspecté le pont détruit en compagnie de M. G. Stevens, Conseiller hors-siège de l'ONUDI, de l'Adjoint de M. Rasolohery Adolphe, Chef de Subdivision des T. P. à Moramanga et de l'Ingénieur de liaison malgache à la brigade de construction chinoise.

Le pont a été complètement démolé pendant les opérations de récupération du bulldozer et du scraper et les madriers furent coupés à la hache près des plaques de jointure. Quelques noeuds complets d'assemblage des

membrures supérieures et inférieures se trouvent sur la rive et dans le cours d'eau. (Figs. 1 et 2)

D'après le rapport de l'Annexe A, il faut accorder une attention toute particulière à l'état du bois de ces noeuds. Tous les morceaux des membrures sont en excellente condition et ne montrent aucune indication de défaillance. On n'a pu y constater que de petites fissures. Il n'était pas possible de faire pénétrer la pointe d'un couteau de poche de plus de 3 mm environ dans le bois, même dans le sens des fibres.

Par contre, les diagonales étaient en état avancé de pourriture. Le bois était cassé à l'extérieur; les plaques de jointure et le bois restant étaient mous et faibles. Dans un cas, il a été possible de faire pénétrer la lame d'un couteau de poche jusqu'à une profondeur de 5 cm (voir fig. 3).

Un morceau de bois de la face verticale situé face à un autre montrait une excroissance fongueuse due à l'humidité (voir fig.4). On suppose que la même situation existe dans les jointures où les éléments qui se font face retiennent l'eau.

Après examen du lieu, le groupe s'est rendu au camp de la Brigade de construction chinoise où il apprit que le poids du tracteur était de 11500 kgs et le poids du scraper, de 5000 kgs. L'expert a demandé quelles étaient les charges par essieu pour le scraper mais, en raison des difficultés de traduction, il n'est pas certain que les 5000 kgs se rapportent à l'axe antérieur ou au poids total de l'engin.

ANALYSE

Les T. P. de Moramanga disposaient d'une vue en plan du pont et des engins dans la position qu'ils occupaient dans le fleuve. La reproduction du dessin montre un pont de 15 m de longueur, et la position de la rupture du plancher à environ 6 m du bout, direction Lakato. En revanche, le rapport (annexe A) considère que le pont a une longueur de 21 m, et que la rupture a eu lieu après le troisième panneau, c'est-à-dire 9 m du bout, direction Lakato. Le pont avait en fait une longueur de 18 m (voir la photo p. 10, PI/88). Pour l'analyse des forces, on a fait l'hypothèse que la situation est conforme à la figure dans le rapport des T.P.

Une analyse des forces fait voir que les trois diagonales de bout supportent un effort de 14790 kgs distribué entre les quatre panneaux. Une rupture de traction dans un de ceux-ci, côté amont du pont, peut entraîner un effondrement compatible avec les positions respectives des engins telles que les montre le rapport. De plus, la torsion de l'ouvrage comme un tout et les entre-toises de liaison entre les poutres individuelles (visibles dans la photo de référence) sont compatibles avec le genre de rupture qu'on a relevé dans les diagonales. Il n'a pas été possible de déterminer quel bout de la diagonale a cédé; les bouts cassés qui restent sur le lieu du sinistre paraissent montrer des ruptures latérales en flexion, consécutives à la torsion décrite ci-dessus.

La contrainte de traction induite dans la troisième diagonale était de 28,4 kgs/cm² (voir annexe B). Ceci fait un tiers environ de la contrainte admise pour du bois de force F 11.

Un essai rapide de flotation sur un échantillon de ce bois pourri a donné une densité de 0,6. Or la densité initiale était de 0,8 environ; une perte de poids de 25 p. cent semble s'être produite depuis son utilisation. Diverses autorités reconnues considèrent qu'une perte de résistance en traction de 60 p. cent résulte d'une perte de poids de 5 à 10 p. cent seulement.

OBSERVATIONS

Le bois livré pour la confection des éléments est arrivé en deux dimensions, de 23 cm x 6 cm et 20 cm x 7,5 cm. Ces éléments ont été rabotés aux épaisseurs de 5 cm et 6,5 cm respectivement.

On a remarqué que les madriers les plus minces utilisés pour les membrures sont tous de teinte rougeâtre mais que, par contre, le bois plus épais utilisé pour les diagonales et les montants comprend une grande partie de bois couleur blanche. Ceci peut être aisément vérifié par une inspection des 19 poutres qui restent encore à l'atelier "Ponts

Bailey" d'Alarobia. Il semble que deux espèces différentes aient été livrées, le rouge étant tenu pour avoir beaucoup plus de résistance à la pourriture que le blanc.

Quoique lors de la première mission de l'expert en juin-juillet 1981 il avait spécifié et passé la commande pour des sciages d'Eucalyptus Robusta, il a constaté lors de sa seconde mission, en avril-mai 1982, que les scieurs avaient livré aussi du bois d'une autre essence. Vu qu'il était matériellement impossible dans le temps prévu d'obtenir la quantité manquante d'Eucalyptus Robusta, sec à l'air, il a été obligé d'utiliser cette autre essence.

L'expert se déclare d'accord avec toutes les considérations faites dans le rapport en Annexe A sur le pourrissement. Il semble par contre qu'il y ait un malentendu dans ce document sous para. 8 et dans la seconde conclusion. L'utilisation des demi-goujons est conforme avec le dessin de référence où existent les diagonales doubles et chaque module est formé par l'assemblage de deux demi-unités. Les goujons qui font fonction de connection travaillent au cisaillement seulement. Que les goujons soient ou non formés de deux demi-goujons n'a aucun effet sur leur efficacité dans la liaison qu'ils assurent. Le soudage aux bouts aussi bien que le boulonnage au milieu des membrures supérieures et à travers les montants empêchent l'écartèlement des membrures. Mais certainement la torsion brutale que ces éléments ont du supporter doit être le résultat de la flexion de ces demi-goujons. De l'avis de l'expert, c'est le résultat et non la cause de cet effondrement.

CONCLUSION

L'effondrement a été occasionné par la fracture d'une diagonale non traitée près du bout Lakato du pont, sous une charge un peu plus élevée que la charge indiquée sur le dessin. La variété de bois qui a été utilisé pour les diagonales paraît être plus prédisposée à la pourriture que la variété utilisée pour les autres parties du pont.

On ne doit confectionner aucun pont de ce modèle en utilisant du bois non traité.

Si le programme est poursuivi, les recommandations qui concernent le traitement du bois - référence DP/IP/SER.A/201, ONUDI/IO/R.30 et Annexe A - doivent être suivies.



Figure 1



Figure 2



Figure 3



Figure 4

ANNEXE A

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
CENTRE D'EXPERIMENTATION DE
L'AMENAGEMENT

RAPPORT DE VISITE DU PONT MODULAIRE DE LAKATO

Ce rapport est relatif à la visite le 19 juillet 1983 par un membre du CEA avec la DPCH du pont de LAKATO, un pont modulaire ONUDI établi en prototype sur une route d'exploitation forestière près de la RN2, en vue de déterminer les causes d'effondrement de ce pont. Les constatations faites et renseignements recueillis sont:

1. Tout d'abord, ce n'est pas l'état immédiatement après effondrement du pont que nous avons trouvé. Divers éléments du pont avaient en effet subi des manipulations, manutentions et déplacements nécessaires pour dégager l'engin qui se trouvait sur le pont lors de l'effondrement et restait coincé dans l'eau, perturbation qui s'ajoute à l'écrasement de certaines pièces par le poids de l'engin.
2. Le pont est à 4 poutres comportant chacune 7 panneaux modulaires de 3 mètres, donc faisant 21 m de longueur, en bois qui n'a pas fait l'objet de traitement préalable.
3. La rupture peut être localisée après le troisième des trois premiers panneaux restés relativement entiers, les quatre autres derniers panneaux étant réduits en morceaux entremêlés ou éparpillés dans l'eau.
4. Il a été constaté que les bois des membrures, montants et diagonales sont, en dehors des noeuds d'assemblage, en bon état de conservation et ne paraissent pas avoir été le siège de désintégration par travail excessif.
5. Par contre aux noeuds de jonction de deux panneaux successifs au niveau des membrures supérieures, quelques assemblages ont été vus avec l'embout de la diagonale du noeud entièrement disloqué et les demi-goujons qui le traversent déformés dans leur quasi-totalité. Les parties d'extrémités des membrures n'ont soufferts qu'à un degré beaucoup moindre que celles des diagonales dans les assemblages rompus.

6. De plus, à l'intérieur de ces assemblages, le bois se trouve dans un état de pourriture remarquable.

7. A en juger d'après une goupille trouvée, les goupilles des tourillons dans les assemblages rompus ont été cassés.

8. Il a été signalé que le fait de mettre des demi-goujons à la place de goujons continus dans les assemblages de liaisonnement des différents panneaux n'est pas conforme à la conception initiale du projet, mais qu'il a été décidé par l'expert à la suite de difficultés rencontrées lors de la mise en oeuvre des goujons.

9. D'après les renseignements recueillis, quelques temps avant et jusqu'à l'effondrement du pont, les engins de la Mission Chinoise de la RN2 qui rentraient du chantier au camp de la Mission passaient sur le pont, les premiers sans incident. L'effondrement eut lieu lorsque ce fut le tour d'un scraper tracté.

10. Avant d'utiliser le pont pour faire passer leurs engins, les Chinois auraient demandé l'avis du Chef de la Subdivision des Ponts et Chaussées de Moramanga. Celui-ci les aurait déconseillé de faire passer leurs engins sur le pont dont la charge est limitée à 8 tonnes par une pancarte. Les chinois auraient donc agi à leurs risques et périls.

De ce qui précède, on peut dire que le pont a péri par flexion excessive de la travée et que dans cette flexion, ce sont les assemblages du milieu de la portée qui sont les points faibles ayant cédé et entraîné la rupture. Le sectionnement des goupilles des tourillons et le ripage des pattes de fixation aux appuis ne sont que la conséquence des grandes déformations qui s'ensuivirent.

On peut incriminer dans les assemblages leurs tendances à se comporter comme des pièges à eau qui retiennent l'humidité. D'où l'accélération du pourrissement dans les noeuds d'assemblage. D'autre part, la non-continuité des goujons dans les assemblages constitue certainement, à preuve les déformations des parties d'à bout des tiges de ces goujons, un défaut qui compromet très sérieusement le système de transmission des efforts.

La charge du scraper tracté supporté par le pont, et dont le poids est estimé à 15 tonnes, a été certainement déterminante pour la ruine du pont.

En effet, si on se réfère aux tableaux du Rapport Technique de M. James E. Collins sur la construction de ponts modulaires, un pont modulaire ONUDI de 21 m de portée et à 4 poutres ne supporte pas un camion de 10 tonnes si le bois utilisé est de la classe inférieure. Il ne convient à cette charge qu'avec du bois de la classe moyenne. Il ne peut supporter une charge de 15 tonnes (poids estimé du scraper tracté) que si le bois est de la meilleure qualité qu'on trouve.

Pour éviter que l'accident du pont de LAKATO ne se reproduise sur les ponts modulaires ONUDI qu'on pourrait être amené à construire, il faudrait donc:

- Prendre des mesures pour le traitement du bois employé, tout au moins le bois des noeuds d'assemblages enfermés dans les plaques de panneaux.
- Mettre au point la méthode de goujonement de ces plaques et des éléments en bois qu'elles contiennent de façon qu'elle soit pratique tout en assurant un système parfait de transmission des efforts.
- Faire compléter le travail de l'ONUDI pour Madagascar par l'étude et l'établissement de normes locales de classement des bois utilisables à Madagascar permettant des compositions types de ponts ONUDI pour différents traffic types.

Antananarivo, le 9 septembre 1983

ANNEXE B

Analyse des efforts

Pour la situation après l'effondrement, voir la fig. , copie du dessin des T. P. A noter: en fait, le pont avait une longueur de 18 m, et non pas 15 m, comme le montre le dessin. On a supposé que la rupture est dans la position indiquée à ± 6 m du bout Lakato.

Charges données par le traducteur chinois.

Prendre des moments de flexion par le bout gauche -

$$11500 \times 10,5 + 5000 \times 13,5 = Vd$$

$$Vd = 10458 \text{ kgs}$$

$$Vg = 11500 + 5000 - 10458$$

$$= 6042 \text{ kgs.}$$

Voir schéma des efforts fig. .

Efforts diagonales:

4 - 15	= 10458	2 = + 14790 kgs (traction)
15 - 14		= - 14790 kgs (compression)
14 - 13		= + 14790
13 - 12	= 5458	2 = - 7719
12 - 11		= + 7719
11 - 10 etc.	= 6042	2 = 8545

$$\begin{aligned} \text{Force dans la diagonale } 14 - 13 &= \frac{14790}{4 \times 20 \times 6,5} \\ &= 28,4 \text{ kgs/cm}^2 \end{aligned}$$

