

## Campagnes de mesures effectuées en Lorraine

par L. CHAINEAUX,

Ingénieur au Cerchar,  
Secrétaire à la Commission d'Etudes des Pressions de Terrains.

### SAMENVATTING

Talrijke metingen werden in twee Lotharingische pijlers met Wöhlbier dynamometers uitgevoerd. Gezien het groot aantal en de spreiding van de meetresultaten moeten deze langs de statistische methode uitgewerkt worden. Deze werkwijze heeft het reeds mogelijk gemaakt enkele vaststellingen naar voor te brengen, alhoewel al de resultaten nog niet onderzocht werden.

De totale belasting op een rij stempels loodrecht op het pijlerfront stijgt evenredig met het aantal openstaande panden. In verband hiermee is een pand waar de kolen ondergesneden werden gelijkwaardig met de helft van een volledig ontkoelde pand. Men heeft er belang bij de openstaande breedte van de pijler tot een minimum te beperken.

Men stelt grotere belastingen op de stempels in de nabijheid van de steendammen vast dan tegenover het breukveld.

Het lastdiagram hangt af van de rol die door iedere stempel in het geheel van de ondersteuningsbouw vervuld wordt. Indien de ondersteuning uit verschillende groepen stempels bestaat die volgens verschillende karakteristieke curven, dan werken die afzonderlijke groepen volgens verschillende karakteristieke curven. Hierdoor ontstaat een ongelijkmatige verdeling van de belasting en een overbelasting van sommige stempels.

Het aantal « sprongen » of « slagen » van de stempels schijnt van de snelheid van de lastopneming afhankelijk te zijn : de slagen zijn des te talrijker naargelang de belasting sneller stijgt.

### RESUME

Des mesures nombreuses ont été effectuées dans deux tailles de Lorraine avec des dynamomètres Wöhlbier. Vu le grand nombre des résultats et leur dispersion, la méthode statistique seule permet de les interpréter correctement. Ce mode de travail a permis de mettre déjà quelques résultats en évidence, quoique le dépouillement ne soit pas achevé.

La charge totale sur une file d'étauçons perpendiculaire au front de taille croît proportionnellement au nombre d'allées ouvertes. A ce point de vue, une allée havée est équivalente à une demi allée ouverte. On a intérêt à réduire la largeur ouverte de la taille.

On constate des charges plus élevées sur les étauçons voisins des épis de remblai que sur ceux qui se trouvent en face du foudroyage.

Le diagramme de mise en charge dépend du rôle joué par chaque étauçon dans l'ensemble de l'architecture du soutènement. Si celui-ci comporte plusieurs séries d'étauçons utilisés suivant des cycles différents, ces diverses séries travailleront suivant des caractéristiques différentes. Il en résulte une répartition inégale des charges et une fatigue supplémentaire de certains étauçons.

La fréquence du bondissement des étauçons semble influencée par la vitesse de la mise en charge : les « sauts » sont d'autant plus nombreux que la charge est appliquée plus rapidement.

Des observations, des expériences diverses et des campagnes de mesures, concernant le soutènement et les terrains, ont été entreprises dans des bassins français au cours de l'année 1952, dont certaines sous l'égide du Cerchar et de la Commission d'Etude des Pressions de Terrains. Quelques-uns de ces travaux présentent une ampleur beaucoup plus considérable que tous ceux qui avaient été effectués en France auparavant dans cet ordre d'idées : parmi eux se situent les campagnes de mesures que

le Bassin de Lorraine a entreprises dans plusieurs de ses sièges et qui ont été animées par M. Schwartz, Professeur d'Exploitation à l'Ecole des Mines de Nancy, avec la collaboration de quelques ingénieurs de ce Bassin. L'examen des observations auxquelles elles ont donné lieu est très long et n'est pas actuellement terminé, de sorte que les résultats qu'il sera possible d'en tirer ne sont pas encore tous mis en évidence. Les auteurs se chargeront de les publier. En attendant, voici brièvement exposées

les premières constatations que l'on peut considérer comme acquises à ce jour.

### I. — GRANDEURS MESUREES

Elles comprennent :

— la tension des étauçons, en fonction du temps, à l'aide d'une quarantaine de dynamomètres Wöhlbier-Ambatiello. La précision des lectures, faible jusqu'à 10 kg/cm<sup>2</sup> (soit 2,5 tonnes, 1 tonne correspondant à 3,6 kg/cm<sup>2</sup>) s'opposait à la mesure de la charge de pose, ce qui constituait une assez grave lacune. On pourra reprocher à ces appareils de ne pas présenter au sol la même surface portante que les étauçons eux-mêmes, mais tous les étauçons observés étaient traités sous cet aspect de la même façon.

— le coulisement des étauçons à l'aide de repères et d'une règle (précision 1 mm).

— avec moins de continuité, la convergence des épontes et leur déplacement latéral relatif (méthode de la planchette).

Disons tout de suite que, dans tous les cas, on a observé une dispersion considérable des résultats relatifs à des grandeurs et des circonstances analogues, et que l'interprétation statistique des résultats s'est révélée tout de suite comme la seule praticable. Dans l'ensemble, les courbes de fréquence se sont présentées comme des courbes de Gauss, et une série de mesures était caractérisée par sa valeur moyenne et par son écart type :

Voici deux exemples de dispersion :

1) La charge d'un étauçon étant représentée en fonction du temps depuis sa pose jusqu'au foudroyage, on définit la charge normale comme la moyenne de la charge pendant cette période. Si l'on considère alors le même jour 6 étauçons appartenant à une même série, on observe les charges normales, en tonnes :

15      22      36      30      37      22  
moyenne : 26 tonnes      écart-type : 9,3 tonnes.

Si ce relevé est effectué sept jours de suite, on obtient :

Moyenne	Ecart-type	Rapport écart-type/moyenne
26 tonnes	9,3 tonnes	0,36
20 »	5,5 »	0,27
19 »	2,6 »	0,14
19 »	7 »	0,37
17 »	7,5 »	0,43
10,8 »	2,5 »	0,12
21,4 »	7,5 »	0,35

2) Si l'on observe les charges d'une série d'étauçons analogues en fonction de leur coulisement, on trouve :

Coulissements en millimètres	Charges moyennes correspondantes en tonnes	Ecart-types en tonnes
5	9,5	6,5
30	21	10
50	28	12
75	32	11

Malgré cette dispersion, le calcul a pu faire apparaître :

— des relations entre des valeurs moyennes et certaines données simples : exemple, charge totale sur une ligne d'étauçons perpendiculaire au front et nombre total d'allées ouvertes;

— des différences significatives entre la valeur moyenne d'une même grandeur relative à des séries différentes d'étauçons (on appelle série l'ensemble des étauçons s'insérant de la même façon dans le cycle d'une taille) : exemple, charges moyennes manifestées pour un coulisement donné par des étauçons de séries différentes;

— des corrélations entre différents paramètres relatifs aux étauçons d'une même série : exemple, nombre de bonds et vitesse de montée en charge au début de la pose.

### II. — CHANTIERS EXPERIMENTAUX

Les résultats mentionnés ici sont principalement relatifs à une taille (a) en veine Henri, à La Houve II, et à une taille (b) en veine E, champ médian, étage 270, Puits Barrois, à La Houve I.

a) Cette taille a été observée au cours de l'emploi de deux méthodes.

a-1) abattage successif de deux allées par jour — havage une seule fois par jour, sur deux allées; il y a toujours une allée havée d'avance — foudroyage une seule fois par jour. La période est donc de 24 heures et il y a deux séries d'étauçons qui ne s'insèrent pas de la même façon dans le cycle.

a-2) abattage successif de deux allées par jour — havage comme a-1) — foudroyage deux fois par jour. La période demeure 24 heures à cause du havage qui ne change pas. Il y a encore deux séries d'étauçons, mais la largeur maximum ouverte est modifiée.

b) Abattage successif de quatre allées successives par jour — havage deux fois par jour sur deux allées — foudroyage quatre fois par jour — construction d'épis de remblai deux fois par jour. A cause de la situation respective de ces phases, la

période est en réalité de 24 h et le soutènement comprend quatre séries d'étauçons.

De ces descriptions, il est essentiel de retenir que

— la taille de La Houve II a été observée au cours de deux organisations différentes, donnant lieu à des largeurs maximums ouvertes différentes;

— dans tous les cas, plusieurs séries d'étauçons, au sens défini plus haut, étaient mis en place au cours d'une période de la taille.

### III. — CHARGE OU TENSION DES ETANÇONS

Les données fournies par ces mesures ont été utilisées pour trois ordres d'études.

#### 1) Etude du soutènement lui-même.

##### a) Définition de quelques paramètres :

a-1) les sauts : on appelle ainsi tout repli rapide de l'étauçon au cours duquel se produit une perte de la charge appréciable avec les dynamomètres dont on disposait, c'est-à-dire supérieure ou égale à 5 tonnes.

Un saut est caractérisé par le rapport de la perte de la charge à laquelle il donne lieu, à la charge avant la perte. Les sauts sont comptés pour chaque service de l'étauçon.

a-2) la charge maximum, la charge finale et leur rapport.

a-3) la charge normale : c'est la charge moyenne dans le temps déduite de la courbe charge-temps.

a-4) enfin, la courbe caractéristique charge-coulissement.

Rappelons que, par définition, la charge qui correspond à un coulissement  $y$  mm est celle qui provoque un coulissement au-delà de  $y$  mm. La courbe caractéristique a été tracée en prenant la moyenne des mesures et en établissant des tableaux fournissant l'écart-type de la charge en fonction du coulissement.

##### b) Résultats :

b-1) on a constaté qu'il y avait corrélation entre le nombre de sauts et la vitesse de montée en charge aussitôt après la pose de l'étauçon, et que ces deux grandeurs variaient dans le même sens : la régularité de l'étauçon dépend donc des circonstances de sa mise en charge.

b-2) la charge normale et la charge maximum ont été trouvées en corrélation dans toutes les séries.

b-3) les observations les plus importantes sont toutefois celles qui concernent les courbes caractéristiques.

Malgré la dispersion considérable observée, on peut affirmer qu'elles sont très nettement différenciées pour les différentes séries, c'est-à-dire pour des modes de mise en charge différents. Ainsi, il semble que l'on parle à tort de la caractéristique d'un étauçon, même pour un individu, car sa conformation, l'état de ses surfaces, et les circonstances de sa pose, ne sont pas seuls à intervenir, et l'allure de cette courbe paraît nettement subordonnée à la façon dont le toit agit sur l'étauçon. Si la charge n'augmente pas, ou peu, ou très lentement, l'étauçon risque de coulisser à charge constante; si la charge augmente beaucoup ou brusquement, l'étauçon finit par se resserrer et par acquiescer une rigidité.

En conséquence, le fait pour une taille de comporter plusieurs séries d'étauçons ne s'insérant pas de la même façon dans le cycle, est équivalent au fait de comporter des séries dont les courbes charge-affaissement sont différentes.

#### 2) Charge totale supportée par le soutènement en fonction de la méthode d'exploitation.

L'évolution en fonction du temps des pressions relevées au cours du déroulement du cycle d'une taille, a révélé qu'on pouvait distinguer approximativement des phases de transformation et des phases d'équilibre. Pendant plusieurs jours, et pour les différentes phases d'équilibre, on a pu déterminer à La Houve II la charge totale moyenne  $N$  sur une rangée d'étauçons perpendiculaire au front. Il était intéressant de rechercher s'il existait une relation entre la charge moyenne et la largeur ouverte. Une difficulté se présentait du fait que la largeur ouverte comprenait  $a$  allées complètement découvertes et  $b$  allées havées et non encore défilées, qui ne jouent pas vis-à-vis du toit le même rôle que les allées découvertes. On a alors imaginé qu'il existait entre  $N$ ,  $a$  et  $b$ , la relation :

$$N = N_0 (a + bh)$$

où  $N_0$  est une constante et où  $h$  est un coefficient inférieur à 1 qui représente le rapport de l'influence d'une allée havée à celui d'une allée découverte.

Ainsi, dans la première méthode de La Houve II, les coefficients à considérer au cours des différentes phases étaient :

$$2 + h \quad 2 + 3h \quad 3 + 2h \quad 4 + h$$

et les moyennes trouvées pour  $N$  sont :

$$\begin{array}{l} 30 \text{ tonnes pour } 2 + h, \\ 49 \text{ tonnes pour } 3 + 2h, \\ 56 \text{ tonnes pour } 4 + h. \end{array}$$

Pour la taille observée, le calcul conduit à adopter 0,5 comme valeur de  $h$ , et en fait si dans la relation :

$$N = N_0 (a + 0,5 b)$$

on donne à  $N$  les valeurs moyennes relevées, on trouve  $N_0 = 12 \pm 0,55$  tonnes.

Un changement d'organisation de la taille, donnant lieu aux ouvertures  $2 + h$ ,  $3 + 2h$  et  $3 + h$  au cours des phases d'équilibre, devait donner l'occasion de vérifier l'exactitude de la loi et de la valeur adoptée pour  $h$ .

Le gain sur la charge totale moyenne pendant la phase la plus défavorable est donc :

$$\frac{(4 + h) - (3 + 2h)}{4 + h} = \frac{4,5 - 4}{4,5} = 11 \%$$

En fait, si la charge totale au cours de la phase la plus ouverte est moins élevée pour la deuxième

méthode que pour la première, elle pèse sur un nombre plus faible de lignes d'étauçons et, en moyenne, la charge par ligne s'y trouve un peu plus élevée. Cependant, comme on le mentionnera au 3) -a), la répartition des charges entre les lignes est très inégale, et d'autant plus que la largeur ouverte est plus grande : ce qui vient d'être dit n'est donc pas en contradiction avec l'observation que la charge maximum moyenne est significativement moins élevée pendant l'application de la deuxième méthode (54 tonnes), que pendant l'application de la première (40 tonnes). L'examen des courbes de fréquence de ces charges maxima montre d'ailleurs qu'à un décalage de 6 t pour la moyenne correspond une réduction très sensible du % d'étauçons dont la charge maximum dépasse un taux donné, et que pour 60 tonnes par exemple, cette proportion tombe de 24 % pour la première méthode à 10 % pour la seconde.

Ainsi, le changement de méthode a amené :

- la réduction du nombre d'étauçons et de rallonges en service dans la taille,
- la réduction de la charge totale sur le soutènement pendant la phase la plus ouverte,
- la réduction de la valeur moyenne de la charge maximum,
- la réduction très sensible du nombre de charges maxima dépassant des taux élevés, et par suite :
- un accroissement de la sécurité et une réduction consécutive du nombre de foudroyeurs,
- une moindre usure du matériel.

Jusqu'à présent, on n'a considéré que la charge totale pendant une phase d'équilibre de durée normale.

En d'autres circonstances, on a observé que le temps influait très nettement sur cette charge totale et que celle-ci croissait d'autant plus rapidement que le nombre d'allées ouvertes était plus élevé (la vitesse de croissance pour quatre allées est plus du triple de celle pour trois allées). Enfin, il est apparu que l'accroissement des charges qui intervenait dans ces conditions affectait presque uniquement la ligne la plus anciennement posée.

#### 3) Etude de la charge sur les différents étauçons.

Il y a lieu de considérer les étauçons sous trois aspects :

a) en regard de la situation qu'ils occupent entre le front et le foudroyage au cours d'une phase d'équilibre. En première approximation, la répartition des charges entre les lignes parallèles au front, pendant une phase donnée, présente la même allure, que la taille comprenne plusieurs séries d'étauçons ou qu'elle n'en comprenne qu'une. (Rappelons encore une fois que nous entendons par série un ensemble d'étauçons jouant le même rôle dans le cycle).

Ce sont les résultats acquis à La Houve II, concernant cette répartition entre lignes, qui ont mis en évidence ce qu'on vient d'évoquer, à savoir la réduction sensible de la proportion d'étauçons dont la charge maximum dépasse un certain taux, quand on réduit le nombre d'allées ouvertes.

b) comme occupant des situations différentes dans une même ligne si, comme c'était le cas à La Houve I, la taille comporte des épis de remblai. On a observé que ceux-ci, en retardant le foudroyage, maintiennent plus large l'ouverture de la taille, et il en résulte que la charge normale des étauçons en face des épis est en moyenne de 50 % plus élevée que celle des étauçons entre épis — et que les charges maxima des étauçons en face des épis sont de 25 % plus élevées que celles des étauçons entre épis.

c) comme appartenant à des séries différentes : on examine alors les charges normales des étauçons de chaque série, depuis leur pose jusqu'à leur dépose. On a en fait trouvé des différences sensibles entre les charges normales des séries I et II de la taille de La Houve II (25 tonnes contre 20). Comme la charge totale sur une rangée perpendiculaire au front paraît ne dépendre que de la largeur ouverte, cette dissymétrie, ajoutée au fait que les caractéristiques sont rendues différentes par les rôles différents des étauçons dans le cycle, entraîne pour une des séries une fatigue plus élevée qu'elle ne le serait s'il y avait symétrie.

### IV. — COULISSEMENT DES ETANÇONS ET CONVERGENCE DES EPONTES

En ce qui concerne ces grandeurs, voici ce qu'on a observé. Elles diffèrent entre elles parce que :

- les bois qui surmontent souvent le soutènement s'écrasent,
- l'étauçon s'enfoncé dans les épontes, par suite des déformations élastiques et pseudo-plastiques de celles-ci,
- la convergence commence à se manifester avant la pose des étauçons (pré-convergence).

Ainsi, la convergence totale est de l'ordre du double du coulissement.

D'autre part, les séries d'étauçons présentent des coulissements moyens nettement différenciés, comme elles présentaient des charges moyennes différenciées.

Enfin, le coulissement est très irrégulier dans le temps et se montre particulièrement important après le havage et le foudroyage.

### V. — DEPLACEMENTS HORIZONTAUX RELATIFS DU TOIT ET DU MUR

Il se produit un mouvement général du toit vers l'amont qui correspond à un déplacement du toit parallèlement à lui-même et un mouvement du toit vers le front.

### IV. — CONCLUSIONS

— Les mesures effectuées ont révélé une dispersion importante pour toutes les grandeurs mesurées. Toutefois, les courbes de fréquence ont l'allure de courbes de Gauss.

— La courbe charge-affaissement d'un étauçon paraît dépendre du mode de mise en charge, un étauçon rapidement chargé se montrant plus rigide qu'un étauçon chargé plus lentement. De même, le nombre de sauts dont un étauçon est l'objet

dépend de la vitesse de mise en charge après la pose.

Il y a une relation entre le nombre des allées ouvertes et havées, et la charge sur une ligne d'étauçons perpendiculaire au front. Cette relation a été vérifiée au cours de l'application de deux méthodes différentes dans une même taille.

— La réduction du nombre d'allées ouvertes diminue évidemment le nombre total des étauçons en service dans une taille. Ce qui est très important, c'est qu'elle diminue sensiblement la fatigue des étauçons en service.

— Toute dissymétrie entre les lignes d'étauçons introduit une fatigue supplémentaire du matériel.

## Discussion

### CARACTERISTIQUES DES ÉTAUÇONS - BONDISSEMENT

#### M. CHAINEAUX

M. Chaineaux signale qu'il résulte des observations faites en Lorraine que la caractéristique des étauçons en service au fond dépend de leur place dans l'architecture du soutènement. Il en déduit que cette caractéristique charge-affaissement dépend de la courbe chargement-temps définissant le mode d'application de la charge, et demande si ce phénomène a été étudié systématiquement en laboratoire.

#### M. VELZEBOER

a) Contrairement aux observations effectuées en nombre important dans le bassin de Lorraine, on n'a jamais constaté dans les charbonnages néerlandais le moindre rapport entre la vitesse du coulissement et le nombre de « sauts » de l'étauçon.

On a par contre constaté que le nombre de sauts dépend de la qualité du toit.

On a aussi constaté que le « bondissement » ne se produit que dans les tailles foudroyées, à l'exclusion des tailles remblayées.

Il est probable qu'intervient ici l'énergie qui est brusquement libérée par la rupture des bancs de roche.

En effet, les essais de laboratoire ont mis en évidence que le bondissement des étauçons se produit beaucoup plus facilement si on les place sur une presse légère, relativement élastique (par exemple 60 tonnes) que si on les sollicite sur une presse plus puissante, beaucoup plus rigide (par exemple 500 tonnes).

Si, par contre, il est permis d'interpréter les observations citées par M. Chaineaux dans le sens d'une relation entre le nombre de sauts des étauçons et la vitesse d'avancement du front de taille, il est possible d'appliquer à ce phénomène la théorie « énergétique » qui résulte des essais de laboratoire effectués aux Pays-Bas et en Allemagne (GHH) de la manière suivante :

Nous savons que la pente de la « surface enveloppe » dépend fortement de la vitesse d'avancement du front de taille. Pour les grandes vitesses d'avancement, la surface enveloppe s'aplatit et l'épaisseur des roches désolidarisées du massif ferme, au-dessus et en dessous de la taille, diminue. Ceci influence dans une mesure importante l'énergie qui peut être libérée lors des « sauts » d'étauçons.

Un problème important est celui de la granulométrie des matériaux de foudroyage, qui dépend des cassures introduites dans le toit au-dessus et devant la taille, et donc aussi des caractéristiques du soutènement. L'effet d'un étauçon sur la granulométrie des éboulis est donc un facteur non négligeable dans l'appréciation de la valeur économique de cet étauçon.

#### M. CHAINEAUX

M. Chaineaux répond qu'on n'observe pas de charge dans les tailles qui ont été étudiées en Lorraine, à cause de la nature de leur toit.

#### M. BRISON

M. Brison signale que, dans la couche étudiée à Terre — haut toit gréseux — des coups de charge se produisaient souvent avec les soutènements en bois utilisés antérieurement. L'introduction du soutènement rigide a rendu ce phénomène beaucoup plus rare.

#### M. DUPONT

M. Dupont, qui a exploité la même couche aux Charbonnages du Levant et des Produits du Flénu, confirme qu'avec un soutènement peu rigide on a des coups de toit périodiques et qu'un soutènement plus rigide a pu améliorer sensiblement la situation.

### COUPS DE TOIT

#### M. WARZEE

M. Warzée demande si des observations ont pu être faites lors d'une mise en charge brusque du soutènement, provoquée par une rupture du haut toit.

Il a souvent observé, à ce moment, la mise hors service simultanée d'un grand nombre d'étauçons. Le comportement du soutènement dans ces cas constitue, à ses yeux, le facteur d'appréciation le plus important.

Ainsi, une modification quelconque du rythme de l'abatage modifiera la pente de la surface enveloppe, ainsi que la quantité de roche ébranlée au-dessus et en dessous de l'étauçon et, par voie de conséquence, l'énergie libérée lors d'un saut éventuel de l'étauçon.

b) Dire que la charge sur les étauçons varie en fonction du temps depuis lequel ils sont placés est une façon fort subjective de voir les choses, car ce n'est pas la charge des étauçons qui conditionne l'ensemble des phénomènes, mais le mouvement général des roches du toit. C'est de ce dernier et de la caractéristique de l'étauçon que résulte la charge, avec de nombreuses irrégularités qui viennent se superposer aux phénomènes principaux.

Une différence éventuelle entre les charges exercées sur des étauçons après des temps de placement variables doit donc résulter des vitesses de déhouillement, des constantes physiques des roches des épontes et de la caractéristique des étauçons.

#### M. JACOBI

M. Jacobi a fait des constatations analogues en Allemagne, au laboratoire de la GHH. Le bondissement est affecté en particulier par l'élasticité de la presse et des points d'appui de l'étauçon. Ceci apparaît nettement quand on charge l'étauçon par l'intermédiaire d'un ressort ou d'une bête travaillant à la flexion.

#### M. FORST

M. Forst traduit de l'allemand l'intervention de M. Jacobi et rappelle que les trois facteurs intervenant dans le bondissement de l'étauçon sont les coefficients de frottement au repos et en mouvement et l'énergie élastique emmagasinée dans les pièces sollicitées.

#### M. LABASSE

M. Labasse insiste sur le fait que les courbes de mise en charge des étauçons n'ont aucun sens si on n'y joint toute une série de renseignements complémentaires que l'on néglige trop souvent : type d'étauçon, architecture du soutènement, nature des épontes et des bancs encaissants (sur plusieurs dizaines de mètres), mode d'exploitation, anciens travaux voisins, morts-terrains, etc.