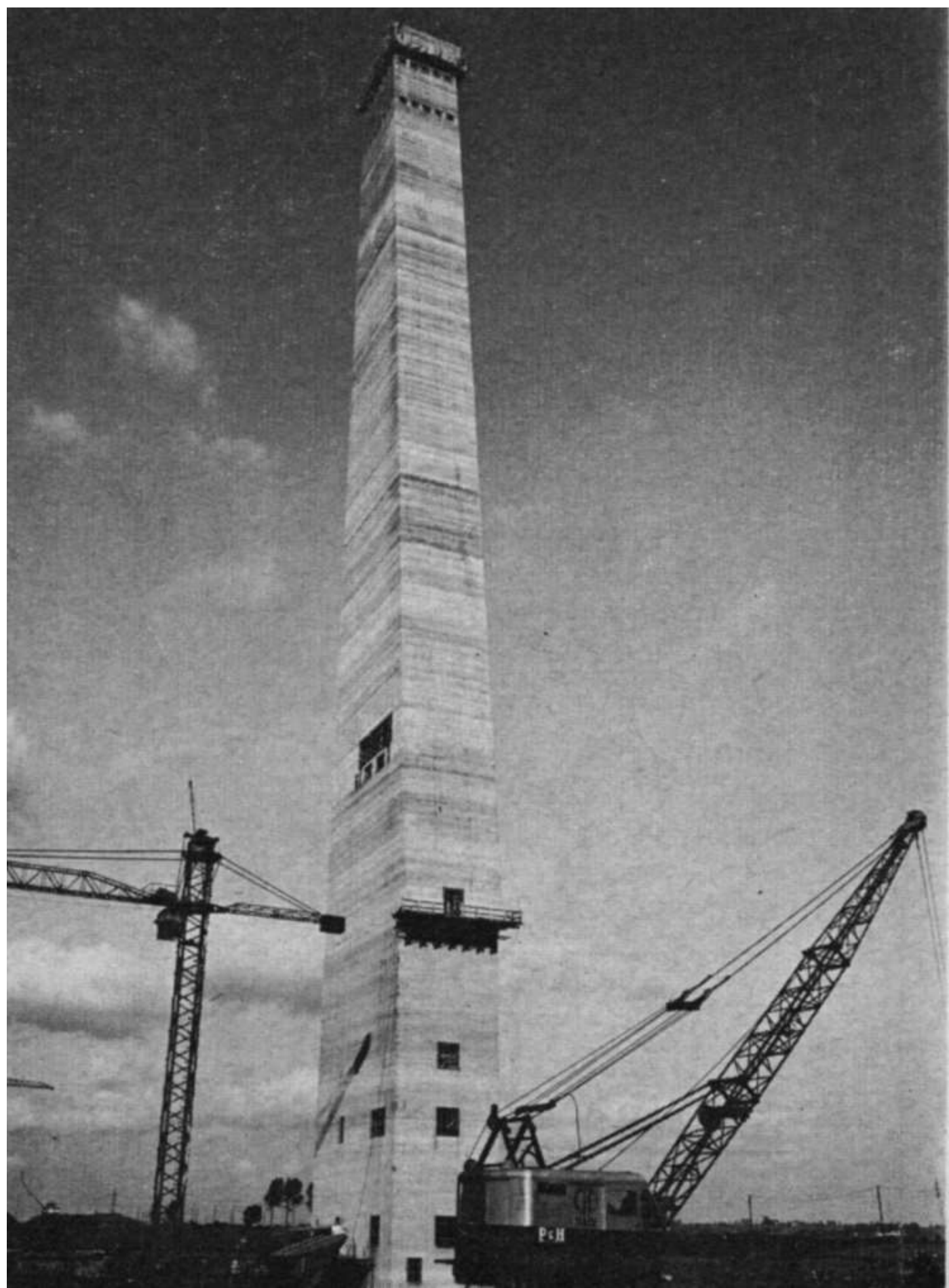




La construction de la tour de Ronquières

Christian Delsanne

D'après un texte original de 1964 de Michel Goreux



But et description de la tour

La tour de Ronquières mesure 160 mètres à partir de sa fondation (très exactement 159,10 mètres). Sur ces 160 mètres, 150 mètres sont situés au-dessus du niveau du sol. La hauteur au-dessus du plan de flottaison du pont canal est de 125 mètres.

La paroi Nord de la tour (côté Bruxelles) est verticale. La paroi Sud est partiellement oblique. Les dimensions en sont :

- Pour la partie inférieure prismatique : 20 mètres par 10 mètres et ceci sur une hauteur de 35,40 mètres.
- Au sommet de la tour, la section est de 10 mètres par 10 mètres.

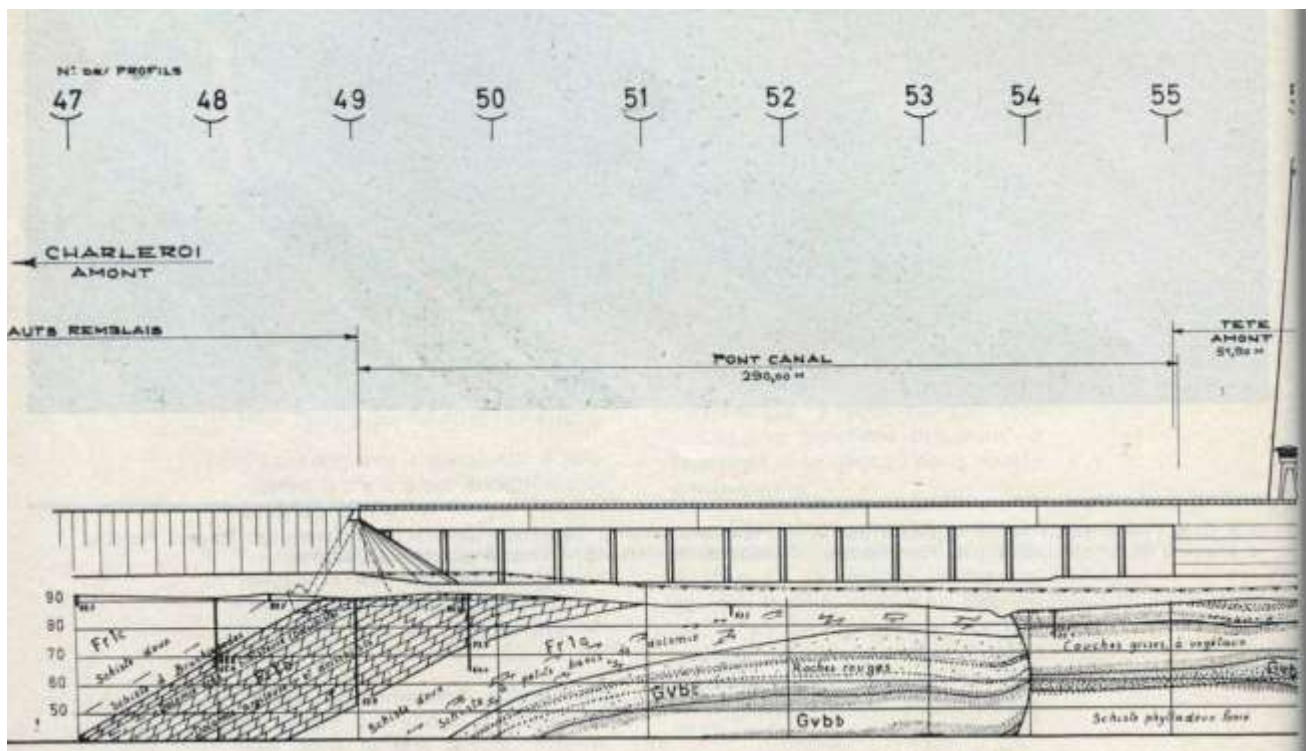
Elle a le grand avantage de conférer au complexe de Ronquières le caractère architectural et l'envergure qui s'imposent. La tour donne une troisième dimension à l'ouvrage et le dégage de la nature environnante.

La tour abrite jusqu'au niveau du poste de commande, soit sur près du tiers de sa hauteur, le cerveau du plan incliné.

Les faces extérieures de la tête amont, sous le niveau du plafond du pont canal, sont revêtues de plaques de petit granit de la région, sauf celles de la tour qui sont en béton soigneusement lissé.



Figure 1: SAR le Prince Albert visitant les chantiers en compagnie de Mr Georges Bohy, Ministre des travaux publics, du secrétaire général du Ministère des travaux publics et de différentes personnalités de l'Association Ronquières



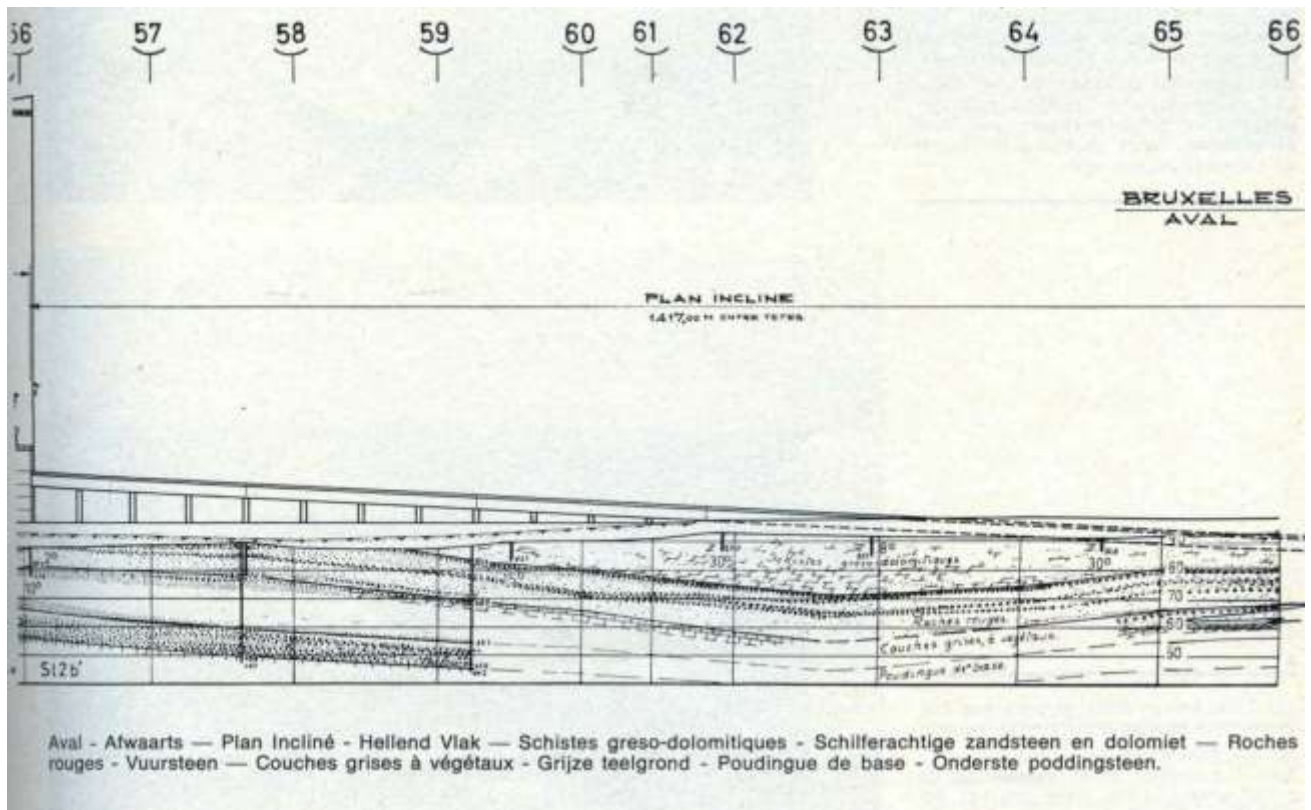


Figure 2: Description des sols et terrains en dans la zone du plan incliné de Ronquière



Figure 3: Tout le terrain situé sous la tête amont a fait l'objet d'une prospection minutieuse ayant pour but de déterminer les caractéristiques à donner aux puits des supports en béton.

Les terrassements, l'excavation

L'excavation de la tête amont, à l'exclusion des puits dont nous parlerons plus loin s'élève à 30.000 mètres cubes. La nature hétéroclite du sol a exigé l'emploi d'engins de terrassements différents.

Un bulldozer équipé d'un ripper lourd a morcelé les bancs rocheux, soit directement après les tirs d'ébranlements préalables. Les déblais ainsi scarifiés ainsi que les déblais meubles ont été chargés au moyen de bulldozers, dragline ou grues à grappin. En mars 1963, les parois de la fondation furent gunitées¹ afin de se prémunir contre les éboulements possibles.

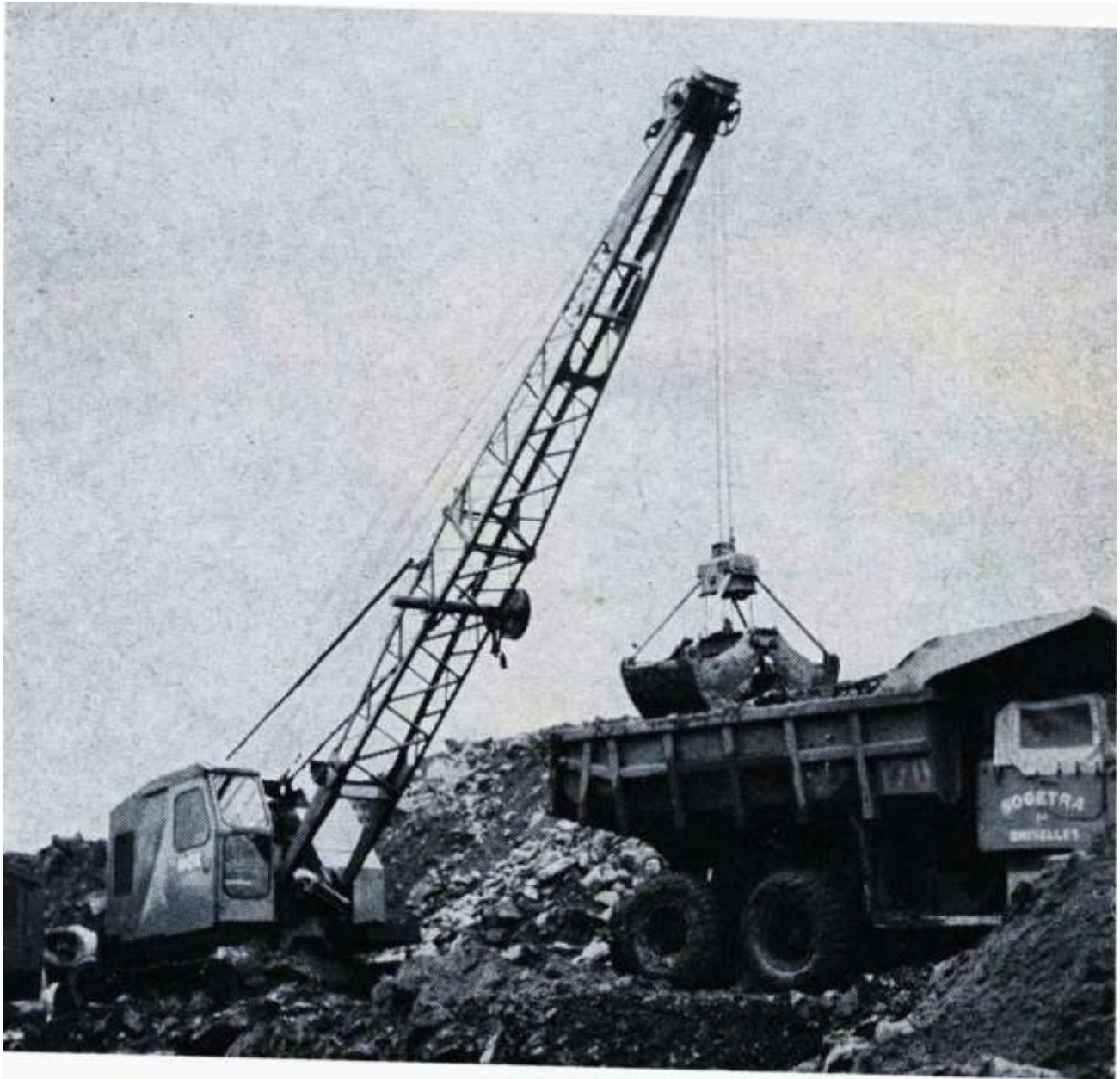


Figure 4: Excavations au moyen d'une grue à câbles et grappin des fondations de la tête amont

¹ Gunitage : Procédé de revêtement, par projection de mortier fluide au moyen d'air comprimé.



Figure 5: Un bulldozer a scarifié la roche dans les fondations de la tête amont soit directement soit après des tris d'ébranlement



Figure 6: Un bulldozer occupé aux travaux de terrassement dans le secteur de la tête amont

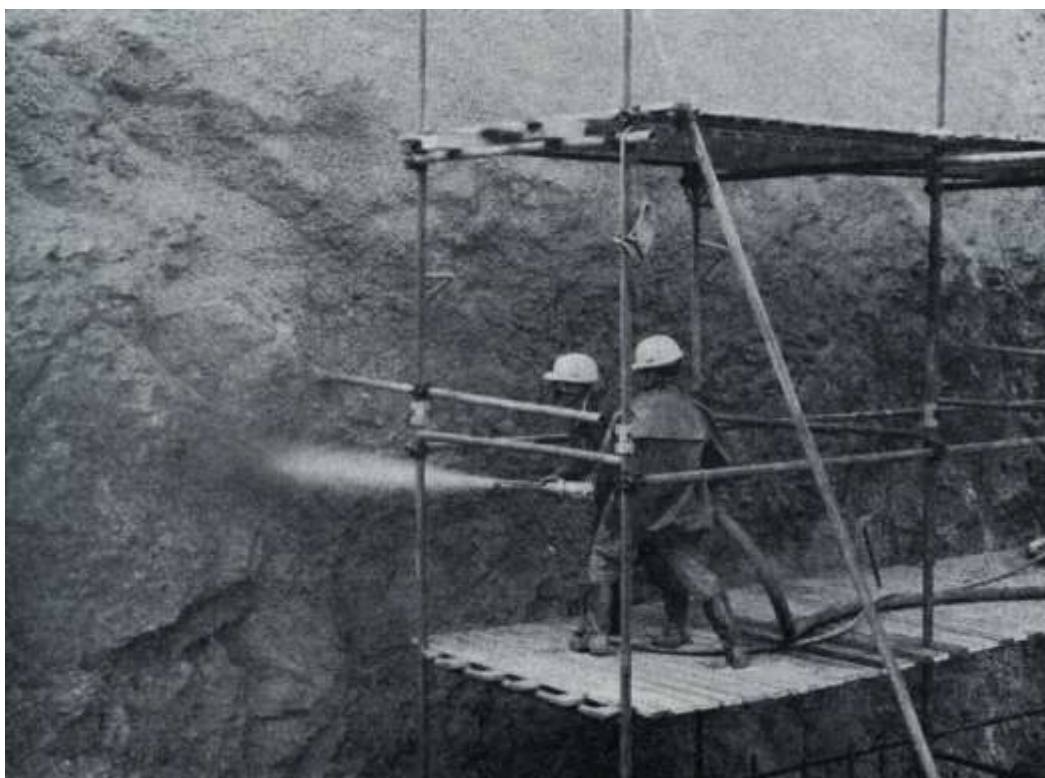


Figure 7: Gunitage des parois de la fondation de la tête amont



Figure 8: Une grue à grappin dans la fondation de la tête amont. Les têtes des puits de fondation sont clairement visibles. La couche de béton de propreté n'a pas encore été coulée.

Les puits

Caractéristiques des puits

Il a été impossible d'appuyer la tête amont et, partant de là, la tour sur un radier en fondation directe. Il a donc fallu chercher la roche saine là où elle se trouvait. Pour ce faire, 54 puits furent creusés sous la tête amont qui couvre une surface de 71,80 mètres par 51,90 mètres.

- 32 de ces puits sont creusés à l'aide de cintres métalliques de 2 mètres de diamètre intérieur ;
- Les 22 autres le sont avec des cintres de 2,75 mètres de diamètre.

Leur charge utile atteint respectivement 1900 tonnes et 4000 tonnes.

Les puits sont arasés à la cote +85 et reliés à ce niveau par une poutraison extrêmement puissante qui répartit entre les puits les efforts horizontaux très importants auxquels la tête amont est soumise.

Après une campagne très fouillée de reconnaissance géologique, les essais quantitatifs de résistance du sous-sol et la détermination du niveau d'assise des puits de fondation ont été faits par Mr

l'ingénieur conseil Ménard de Paris à l'aide du pressiomètre², appareil de mesure in-situ dont il est l'inventeur.

La tour porte sur 8 puits de grand diamètre d'environ 17 mètres de profondeur dont la section est dimensionnée pour une charge utile de 4000 tonnes.

Ces puits ont nécessité la mise en œuvre d'environ 1400 mètres cubes de béton.

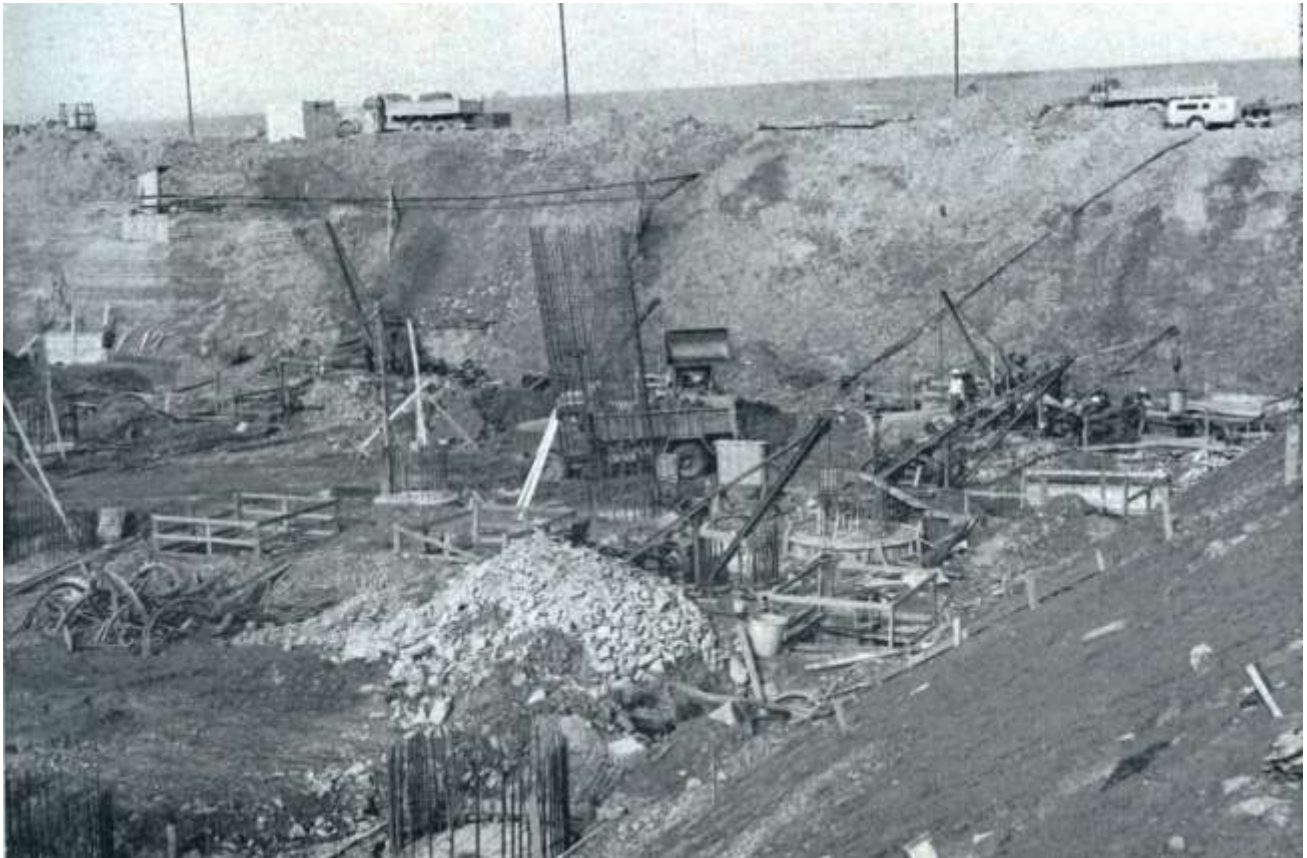


Figure 9: creusement des puits dans la fondation de la tête amont

Exécution des puits

Les 54 puits furent creusés à la main, avec l'aide d'outils pneumatiques et parfois explosifs. Les déblais furent chargés dans des bennes, remontées à la surface au moyen de petits derricks. Suivant leur nature, ces matériaux vont en dépôt ou sont mis en œuvre en remblais utiles.

Le creusement des puits blindés terminé, ils sont remplis de béton en déblindant progressivement de façon à assurer un contact parfait du béton à la roche.

La base des puits ne comprend pas d'armatures. Seule la partie supérieure est armée en fonction des sollicitations.

² Le pressiomètre MÉNARD est un essai de chargement de sol en place, réalisé à l'aide d'une sonde cylindrique dilatable, laquelle est disposée au sein du terrain, dans un forage préalable

Le béton est préparé à la centrale située tout près de l'ouvrage et est amené par camions munis de bennes d'approximativement 3 mètres cubes. Du camion, le béton est déversé dans la benne d'un hydro kuli.

Des vérins hydrauliques soulèvent cette benne et le béton passe alors dans la trémie incorporée qui, au cours du relevage, est elle-même passée dans la position verticale. Le béton coule alors dans le puits au travers d'une goulotte. L'homme dans le fonds oriente le flot de béton qui sera vibré et remonté jusqu'à la cote +85

Une fois terminés, les alentours des puits sont soigneusement nettoyés.



Figure 10: Les têtes de puits apparaissent les unes après les autres



Figure 11: Mise en place du béton à l'intérieur d'un puit de fondation

La semelle de la tour

De forme rectangulaire, elle repose sur huit puits.

Les puits sont répartis en deux files parallèles écartées de 12,50 mètres. La distance entre les puits d'une file est de l'ordre de 5,20 mètres.

Le coffrage préfabriqué de la semelle fut rapidement monté, une fois le béton de propreté coulé entre les têtes de puits. La mise en place des éléments de ce coffrage s'effectua partiellement au moyen d'une grue tour. L'armature d'acier du béton de la semelle pèse à lui seul quelques 143 tonnes. La semelle a une épaisseur de 2,50 mètres (soit entre les cotes + 85 mètres et + 87,50 mètres). Elle a nécessité 968 mètres cubes de béton mis en place par la grue tour mobile opérant depuis le fond de la tranchée de fondation.



Figure 12: Sommet de quatre des huit puits de la semelle de la tour.



Figure 13: Mise en place du coffrage de la semelle de la tour au moyen d'une grue tour

Construction de la tour proprement dite

L'exécution de la tour de Ronquières peut, sans aucune exagération être considérée comme une des grandes étapes dans l'histoire du progrès en matière de génie civil en Belgique.

En effet, il n'a fallu que 33 jours de bétonnage pour dresser une tour de 159,10 mètres de haut dont une face est oblique sur une partie de sa hauteur et dont l'épaisseur décroît au fur et à mesure qu'elle s'élève en hauteur.

Ce résultat est dû :

- À la méthode de travail adoptée
- À l'organisation du chantier
- À l'esprit de l'Administration qui a admis la méthode de travail et les adaptations du projet de base qu'elle nécessitait.

Le système de coffrage glissant adopté à Ronquières

Un ouvrage en béton armé de l'importance de la tour de Ronquières devait se faire au moyen de coffrages glissants. Cependant, avant tout démarrage, l'Association à qui sont confiés les travaux du plan incliné a voulu s'assurer que le système choisi permettait de résoudre parfaitement les problèmes.

Forme de la tour, épaisseur des parois

La face Nord de la tour est verticale du bas jusqu'au sommet. La face Sud est verticale jusqu'à approximativement 35 mètres. A partir de ce niveau, jusqu'au sommet, elle est inclinée. Par conséquent, les parois Est et Ouest vont en diminuant de largeur au fur et à mesure que l'on se rapproche du sommet. Jusqu'à 80 mètres, les parois ont 49 cm d'épaisseur. De 80 mètres à 118 mètres, elles ont 40 cm d'épaisseur. De 118 mètres jusqu'au sommet, elles ont 31 centimètres d'épaisseur.

Le choix a porté sur le système permettant de réaliser sans complications les modifications à apporter aux coffrages par suite de l'épaisseur décroissante des parois et de l'obliquité de la face Sud de la tour.

Montage progressif des escaliers.

L'accès de la main-d'œuvre aux plates-formes de travail du coffrage glissant aurait posé un problème très délicat quand on considère la hauteur finale de la tour. Le choix a porté sur le système disposant d'une plate-forme permettant le montage immédiat et définitif des escaliers et, de ce fait, l'accès de la main-d'œuvre aux plates-formes de travail.

Acheminement des matériaux

Etant donné que le centre de la tour peut rester creux ou partiellement creux pendant les travaux, il a semblé plus logique et plus sûr d'acheminer les matériaux par le centre plutôt que par l'extérieur.

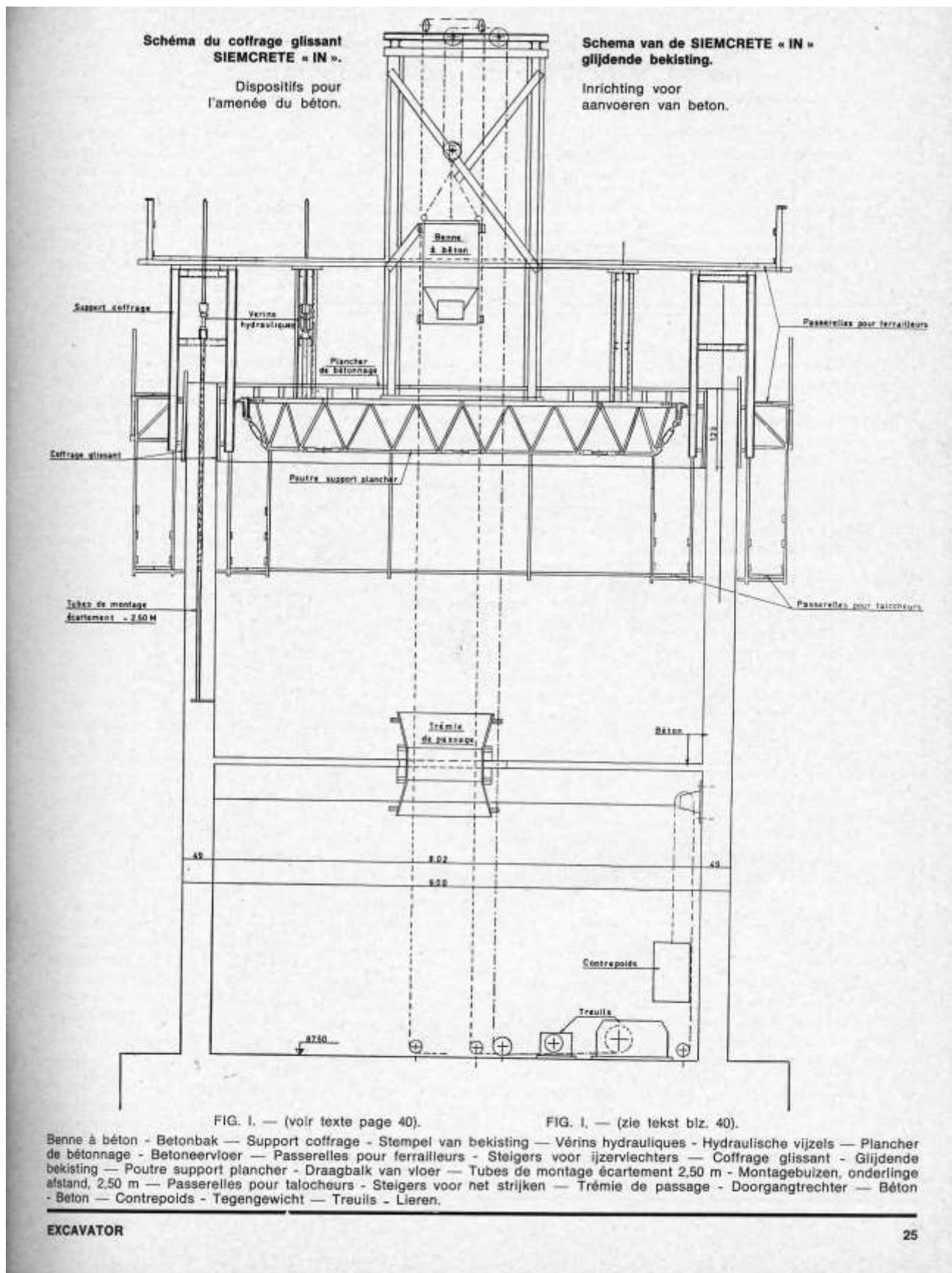


Figure 14: Plan du coffrage mobile "Siemcrete"

Il fallait, en tout cas, aménager le moins possible d'épargnes dans le béton extérieur, éviter de griffer ou de salir les parois extérieures dont l'aspect lisse, après talochage était une des conditions du cahier des charges.

Le choix a porté sur le système disposant d'une plate-forme permettant d'adapter les dispositifs de levage pour le béton et les armatures.

Les planchers intermédiaires à l'intérieur de la tour

Il y a 15 planchers en paliers qui servent également comme raidisseurs de la tour.

Le choix a porté sur le système permettant de supporter et de manœuvrer les coffrages utilisés à la fabrication de ces paliers.

Sécurité du personnel, facilité pour le placement des armatures et la coulée du béton, verticalité de l'opération de glissement, simplicité de marche

Tous les éléments pouvant contribuer à répondre aux impératifs ci-dessus ont joué un grand rôle.

Le choix a porté sur le système donnant le maximum de garanties à ce sujet et limitant au minimum les périodes de chômage.

En prenant en considération toutes les exigences auxquelles le système de coffrage glissant devait répondre, l'Association a opté pour le système « Siemcrete ».

Les parois de la tour et de la cage d'ascenseur

C'est en 1958 que la « Siemens Bau union » mit au point le « Siemcrete ³ » pour la réalisation d'ouvrages en béton armé ou non, présentant des épaisseurs de murs comprises entre 12 et 50 centimètres.

Ce système de coffrage glissant utilise comme supports de vérins, des tubes d'ascension de grand diamètre (48,25 mm) placés dans la masse du mur.

Des mandrins

Des mandrins glissant avec le coffrage forment dans la paroi du mur des conduits verticaux cylindriques où se situent les tubes d'ascension. Les mandrins protègent les tubes d'ascension du contact avec le béton frais.

Ainsi donc, les tubes d'ascension sont toujours récupérables. Ces tubes sont constitués d'éléments de différentes longueurs, assemblés par vis coniques, assurant des joints sans relief.

Lorsque l'ouvrage est élevé, ce qui est le cas de la tour de Ronquières, on limite la longueur des tubes d'ascension à 15 ou 20 mètres et souvent à moins et on les remonte alternativement à des périodes déterminées par l'avancement. Les tubes d'ascension prennent appui sur des plaques d'acier glissées provisoirement dans l'épaisseur du mur aux niveaux voulus.

³ Le système de coffrage Siemcrete a également été utilisé pour la construction de la tour Madou à Bruxelles.

On peut, à volonté, introduire ces plaques dans la paroi ou les en retirer.

Les conduits cylindriques laissés dans l'épaisseur du mur par les mandrins ont un diamètre d'environ 6 centimètres. Ils peuvent être remplis de béton ou laissés ouverts et servir ainsi à loger les câbles de précontrainte ou des conduits divers (électricité, antenne, prise de terre, descente de paratonnerre, etc.)

Les dispositifs de levage

Chaque dispositif de levage se compose de deux têtes d'accrochage (une inférieure et une supérieure) et de deux vérins munis de leurs tuyauteries haute et basse pression et d'une vanne de fermeture.

Les têtes d'accrochage sont traversées par les tubes d'ascension. Il y a donc autant de dispositifs de levage qu'il y a de tubes d'ascension. Un étrier métallique fixé sur la tête d'accrochage inférieure et chevauchant le coffrage a pour effet de raidir tout le système et de guider la verticalité du tube par le fourreau et la bague supérieure. Chaque tête coulisse librement sur le tube d'ascension et ce, uniquement vers le haut. Toutefois chaque tête comporte trois bagues obliques en métal dur disposées de manière à permettre la montée de la tête mais en interdisant tout mouvement de descente car les bagues se bloquent sur le tube. La résistance à la rupture est de 12 tonnes c'est-à-dire un coefficient de 300 % dans les cas extrêmes.

Les deux vérins hydrauliques à double effet sont fixés aux têtes d'accrochage. Lorsqu'ils s'appuient sur la tête inférieure, leur poussée a pour effet de remonter la tête supérieure et lorsqu'ils s'appuient sur la tête supérieure leur traction a pour effet de remonter tout l'ensemble du coffrage de 6,5 à 7 centimètres à la fois.

En pratique, chaque poste peut lever sans difficulté une charge de trois à quatre tonnes.

La pompe

Les vérins sont commandés par une pompe unique distribuant la pression à l'ensemble des postes de levage. La pompe unique est actionnée par un moteur de 2,5 cv donnant jusqu'à 400 kg / cm². Un manomètre indique la pression atteinte. Dès que la pression désirée est obtenue, la pompe s'arrête automatiquement et tout l'ensemble du coffrage glissant est arrêté à la hauteur voulue.

La partie inférieure de la tour de Ronquières a nécessité 28 postes de levage, soit 56 vérins.

La partie supérieure a nécessité 16 postes de levage soit 32 vérins.

La pompe unique ou le poste central hydraulique débite :

- Des basses pressions de 20 atmosphères ou 20 kg / cm². La basse pression est utilisée pour soulever la tête d'accrochage supérieure en fixant la tête d'accrochage inférieure. Les pistons des vérins travaillent en poussée.

- Des hautes pressions de 180 atmosphères ou 180 kg/cm². La haute pression est utilisée pour remonter les vérins, partant toute la plate-forme mobile, c'est-à-dire les coffrages, les passerelles, et tous les équipements montés sur le dispositif mobile. Lors de ce travail en traction, la tête d'accrochage supérieure est fixée et c'est à elle que la charge est alors suspendue.

Chaque vérin a une force de deux tonnes, ce qui représente quatre tonnes par poste de levage. Rappelons que les montées se font par sept centimètres à la fois.

L'étrier métallique

La tête d'accrochage inférieure sert de support à un double étrier en profilés métalliques qui supporte le coffrage glissant ainsi que toute la charpente des plates-formes de travail.

Ce double étrier a pour effet de raidir tout le système et de guider la verticalité du tube d'ascension d'une part par le mandrin au fourreau et d'autre part par la bague située au-dessus de la tête d'accrochage supérieure.

Le double étrier normal du système Siemcrete est réglable et convient pour des murs d'épaisseur variable jusqu'à 50 centimètres. Pour des épaisseurs plus grandes, on utilisera des traverses horizontales plus longues et, pour des épaisseurs exceptionnelles on mettra en œuvre deux postes de levage sur un même étrier.



Figure 15: Vue de la plateforme de bétonnage intérieure du coffrage glissant



Figure 16: Il est intéressant de remarquer sur cette photo la position de travail des maçons qui peuvent travailler tout à fait normalement.

Les plates-formes de travail

Etant donné que c'est sur les plates-formes que travaillent les ferrailleurs et les bétonneurs, celles-ci jouent un rôle très important, d'autant plus que dans le système adopté à Ronquières les plates-formes supportent divers dispositifs aussi bien pour les aciers et le béton que pour les coffrages des paliers et la mise en place des escaliers.

On utilise donc deux étages de plates-formes de travail.

Ces deux plates-formes constituent avec la charpente triangulée de l'ensemble un tout rigide et indéformable qui évite le vrillage et assure une parfaite verticalité de l'ouvrage en cours de montée.

La double plate-forme représente un avantage du point de vue de l'organisation du travail.

La plate-forme inférieure sert à la mise en place du béton et des armatures horizontales. La plate-forme supérieure est utilisée pour le stockage de certains matériaux et la pose des armatures verticales et, dans certains cas, pour la distribution du béton.

A Ronquières la plate-forme supérieure a servi presque exclusivement aux ferrailleurs. La hauteur restant libre entre le béton frais au niveau du plancher de travail de la plate-forme inférieure et la première traverse du double étrier à l'endroit de la tête d'accrochage est de 70 centimètres. Elle est suffisante pour permettre aux ferrailleurs de travailler dans une position normale et d'effectuer

ainsi leur tâche dans de bonnes conditions. Grâce à cette caractéristique, il est possible de mettre en place, et à l'avance, plusieurs barres d'armatures horizontales.

Ceci a pour résultat que les équipes de ferrailage et de bétonnage travaillent sans se gêner, ce qui a joué un rôle important quand on considère que dans les parois seules de la tour, il y a 298 tonnes d'acier.

Le béton est mis en place et vibré sans difficultés, tous les emplacements à bétonner et à vibrer étaient parfaitement accessibles.

A Ronquières, une fois que le coffrage glissant s'est élevé d'une hauteur suffisante, disons entre 8 et 10 mètres, on y a suspendu les passerelles de service et de talochage et, à l'intérieur une cage d'accès avec échelles incorporées.

Des bâches en matière plastique ont été disposées à l'extérieur du coffrage glissant. Elles ont pour but :

- De protéger le béton frais contre l'insolation. Il faut rappeler qu'il y a eu quand même quelques très belles journées en juillet et en août 1963.
- De protéger le béton contre les poussières. En effet, pendant que l'on construit la tour, les travaux de terrassements continuent. Les vents venant du Nord amènent les poussières du déblai en aval et les vents du Sud les poussières des remblais en amont.
- De protéger les hommes contre le vertige, le soleil, la pluie et le vent.

Le béton

Pour réaliser cet ouvrage dans les conditions que nous décrivons, il faut un béton ni trop sec ni trop humide et qui, après vibration, permet d'obtenir des durcissements assez rapides tout en ne bloquant pas les coffrages.

La stabilité des charpentes du coffrage glissant joue un rôle primordial car elle empêche la déformation des banches⁴.

Le béton obtenu est autoportant lorsqu'il est dégagé, malgré un rythme de montée du coffrage de l'ordre de 4 à 6 mètres par 24 heures. Grâce à la pervibration, on obtient une liaison intime des couches de béton mises en place successivement.

La rigidité des tubes d'ascension évite que les efforts dus aux charges soient transmis aux couches supérieures du béton. Ces efforts ne sont transmis qu'à des couches sensiblement plus basses qui ont déjà achevé leur prise.

Les parois de la tour représentent à elles seules 3345 mètres cubes de béton.

⁴ Une banche est un élément de coffrage d'abord utilisé dans la technique du pisé. Dans les travaux de bâtiment et travaux publics on les utilise désormais principalement pour coffrer les murs de béton généralement armé.

Ce béton se compose de :

Concassés calcaires 2/8	420 kilos
Concassés calcaires 8/22	1004 kilos
Sable de carrière	500 kilos
Ciment P.A.N	275 kilos
Pozzolith 5	730 grammes
Eau	175 litres

Pour un mélange théorique de 1 mètre cube de béton vibré en place.

Le début et la fin de prise réguliers du béton sont obtenus grâce au choix du ciment dont la totalité nécessaire a été gardée en silo à l'usine et dont la constance de la qualité a été spécialement soignée et de l'adjuvant. La composition de ce béton permet d'en talocher facilement les surfaces.

Afin de combattre une dessiccation⁵ de surface du béton et les microfissures qui en sont la conséquence, des dispositions spéciales ont été prises pour garder au béton la quantité d'eau voulue.

1. Une application au pistolet d'une couche de Curing-Compound qui empêche un séchage trop rapide. Les taches que l'on voit sur la tour sont des concentrations de Curing-Compound qui se délave du reste après quelques mois.
2. La mise en place de bâches en plastique évoquée plus haut.

Variations d'épaisseur des parois et obliquité de la paroi Sud

Nous avons vu que :

- L'épaisseur des parois va en diminuant en trois étapes.
- L'obliquité de la face Sud de la tour commence à partir du niveau 35 mètres

La face Nord étant parfaitement droite sur toute sa hauteur, il en résulte que les faces Ouest et est vont en diminuant de largeur au fur et à mesure que s'élève la tour.

Ces caractéristiques de l'ouvrage ont eu pour conséquence que le bétonnage a dû se faire en quatre étapes de glissement différentes.

Après la première étape, le système d'amenée du béton et des aciers a également été modifié. Du niveau de la semelle (cote + 87,50 mètres) (hauteur de la tour = 0) jusqu'au niveau +122,19 (hauteur de la tour = 34,69 mètres) où la tour émerge du bâtiment de la tête amont, l'amenée du béton et des aciers s'est faite au moyen d'une grue tour haubanée à poste fixe et d'emblée mise) à 42 mètres sous crochet.

Cette grue était alimentée directement à la bétonnière qui déversait dans une benne de 800 litres. Cette benne levée à la grue tour était amenée sur le plancher de travail du coffrage glissant et le

⁵ La dessiccation est un procédé d'élimination de l'eau d'un corps à un stade poussé. Il s'agit d'une déshydratation visant à éliminer autant d'eau que possible. Ce phénomène peut être naturel ou forcé.

béton versé dans des berlines sur pneus de 200 litres. Les berlines étaient à leur tour déversées dans les coffrages.

La période d'arrêt entre la première et la deuxième étape a été exploitée non seulement pour modifier les coffrages mais aussi pour installer le matériel de levage des matériaux.

Le coffrage intérieur de chaque paroi latérale était constitué de deux parties, l'une fixe, l'autre mobile.

La partie mobile pouvait être rapprochée de la partie fixe en la faisant coulisser sur une tôle rigide soudée à la partie fixe et colmatant ainsi l'ouverture laissée entre les panneaux métalliques.

Au fur et à mesure du rétrécissement des parois Est et Ouest de la tour, la partie mobile du coffrage était rapprochée de la partie fixe jusqu'au moment où les deux parties du coffrage étaient l'une contre l'autre. A ce moment, il suffisait simplement de démonter un élément de panneau de la partie glissant verticalement, recouvrant alors l'espace protégé par la tôle rigide.

Des tendeurs montés de part et d'autre de la paroi oblique permettaient d'assurer le rappel progressif de cette paroi en respectant la pente à réaliser.

Au fur et à mesure du rétrécissement de la tour, il fallait bien entendu réduire la surface du plancher de la plate-forme du coffrage glissant.

Le plancher est constitué de madriers reposant sur des fermes. Sur ces madriers sont simplement posés les planchers constituant la plateforme. Le couvre-joint dans le plancher est constitué d'une tôle métallique.

Pendant toute une période de glissement, il suffit de coulisser la partie du plancher côté face inclinée vers la partie du plancher côté face verticale. Pour cela, on enlevait simplement le nombre de planches excédentaires et on repose les tôles couvre-joints. Lorsque le coulisement est à bout de course, c'est-à-dire lorsque deux fermes se touchent, on démonte la première ferme du côté de la face verticale et, en même temps, les étriers de support des têtes d'accrochage correspondant à cette section.

Les madriers coulisant vont alors prendre appui sur la deuxième ferme située du côté de la paroi verticale et le processus recommence chaque fois que c'est nécessaire.

Le nombre d'étriers est resté toujours le même sur la face Nord et la face Sud. Il diminuait uniquement sur les faces Est et Ouest en fonction du rétrécissement progressif de ces parois.

La modification des coffrages pour réduire l'épaisseur des parois se faisait très facilement et ne posait aucun problème.

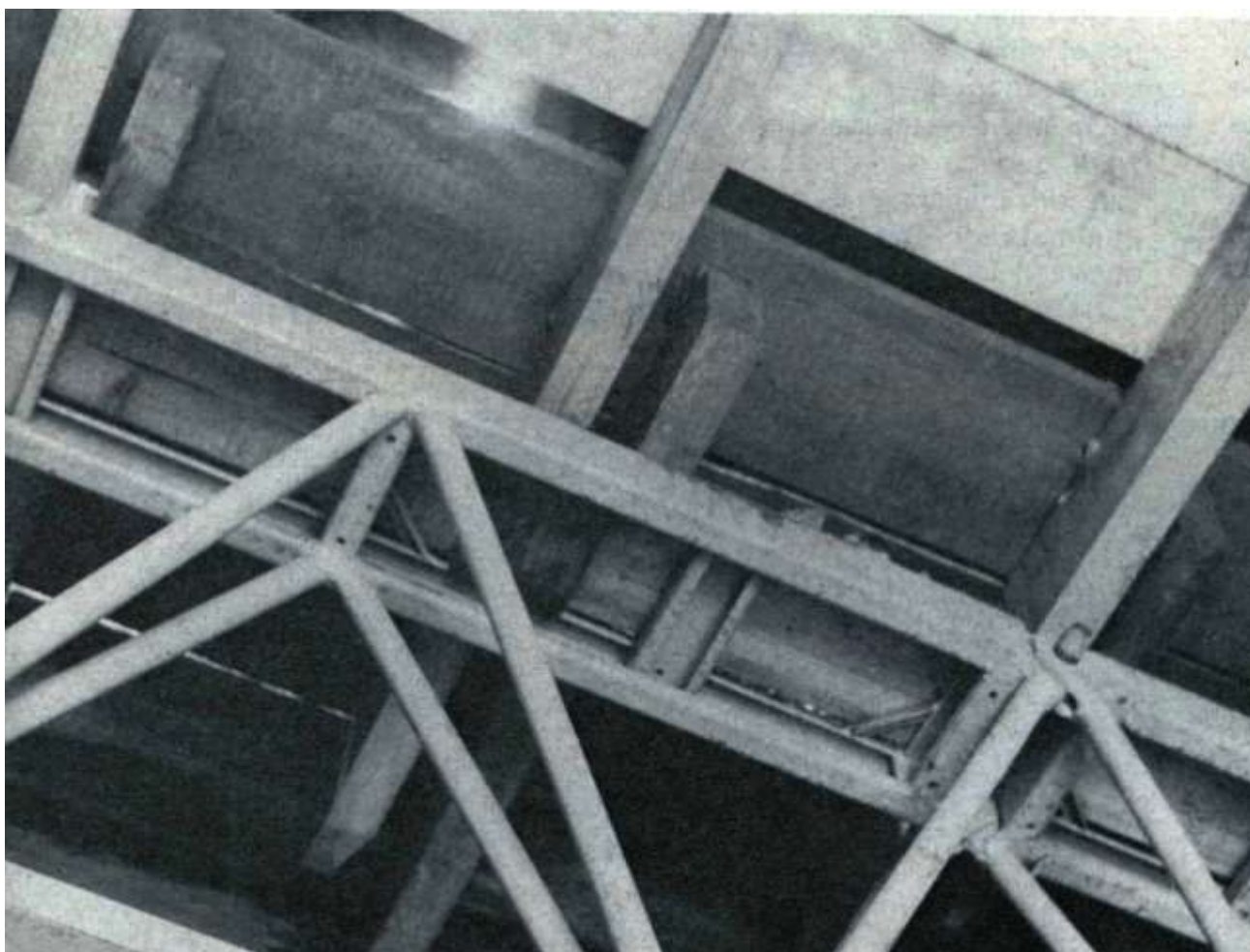


Figure 17: Plancher rétractable de la plateforme du coffrage coulissant.

Etape	Cote		Hauteur en Mètres		Epaisseur des parois	Longueur	Largeur
1	+87,50	+122,19	0	34,69	49 cm	20 m	10 m
2	+122,19	+168,17	34,69	80,67	49 cm	20	10
3	+168,17	+205,61	80,67	118,11	40 cm	Variable	10
4	+ 205,61	+246,60	118,11	159,10	31 cm	10	10

Amenée du béton

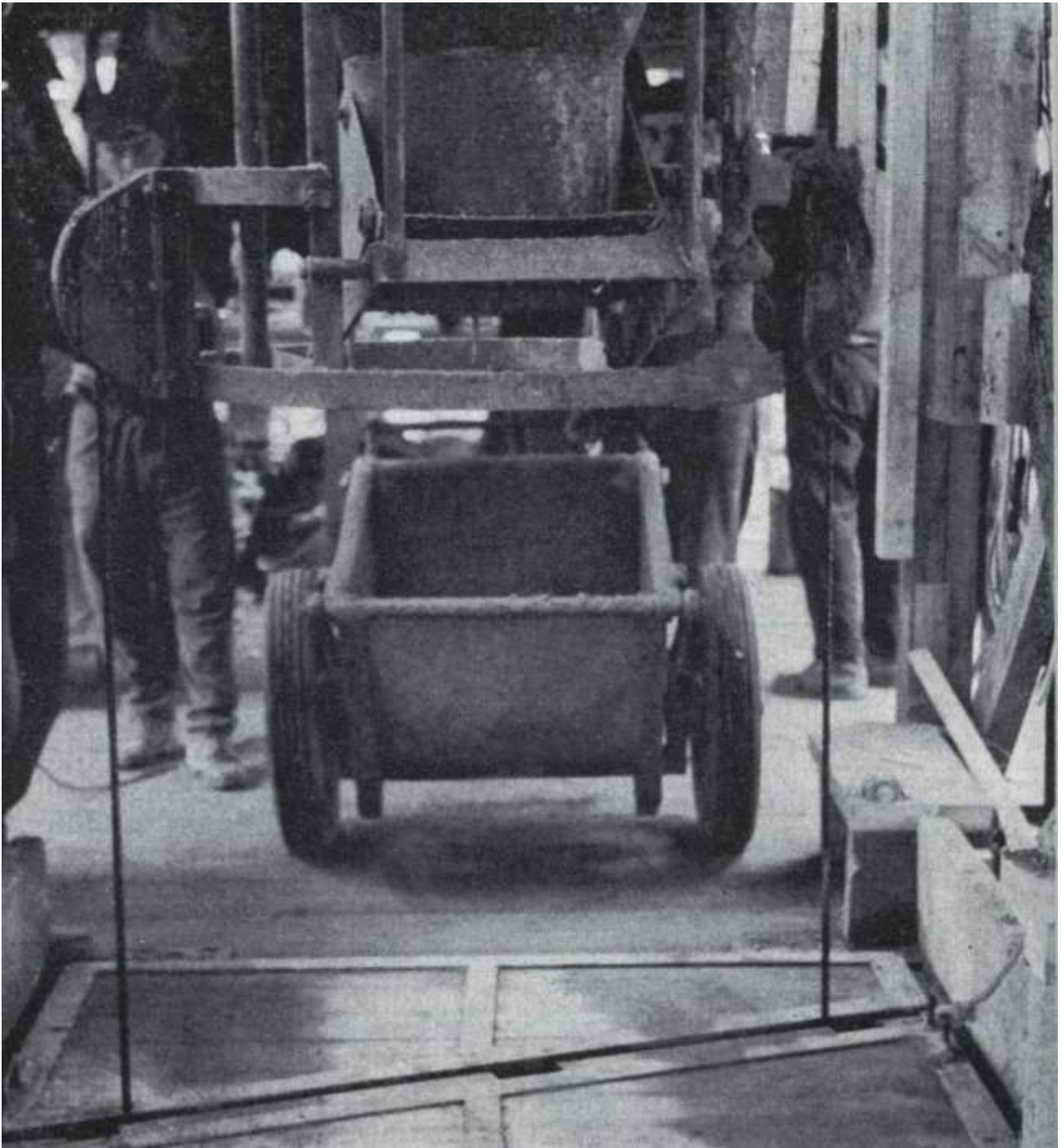


Figure 18: Une berline à béton

De 0 à 34,69 mètres, le béton et les aciers ont été amenés à pied d'œuvre au moyen d'une grue tour haubanée et à poste fixe. La grue tour prenait le béton directement à la bétonnière en trémies de 800 litres. Elle balayait la moitié de la surface de l'ouvrage.

A partir du niveau 34,69 mètres (cote 122,19) jusqu'au sommet, le béton a été amené de la bétonnière par deux bennes circulant sur un monorail et déversant dans une trémie d'attente accolée à la paroi Ouest de la tour à la cote + 93 soit 5,50 mètres depuis le dessus de la semelle.

De cette trémie, au travers d'un passage laissé dans le mur, le béton descend par gravité le long d'une goulotte dans une benne de 800 litres à déchargement par le fond.

Pour permettre d'élever la benne à béton à l'intérieur de la tour, une charpente spéciale a été adaptée sur la passerelle du coffrage glissant et faisant partie intégrante de cette passerelle.

Ce montage était possible grâce au fait que le plancher de la passerelle était à même de supporter une charge de 60 tonnes minimum.

Cette charpente reprend les poulies des câbles de levage et de guidage de la benne. Le câble de levage qui passe par deux poulies montées sur la tête de la charpente, s'enroule sur un treuil de 3 tonnes à la vitesse de 37 mètres à la minute situé sur la semelle de la tour.

Etant donné la hauteur à atteindre, la benne est guidée par deux câbles mis sous tension de 800 kilos par un contrepoids coulissant d'une course de 3,50 mètres.

Lorsque le coffrage glissant monte d'un mètre, le contrepoids se déplace de 2 mètres. Arrivé à bout de course, le contrepoids enclenche un signal audiovisuel indiquant à l'opérateur qu'il doit donner du mou au treuil du câble de guidage. Le signal s'arrête automatiquement dès que la longueur supplémentaire de câble est déroulée. La benne, une fois remplie, est montée par l'intérieur de la tour. Arrivée à 3 mètres de la plate-forme de travail, la benne à béton enclenche un signal d'approche audiovisuel destiné aussi bien au personnel sur la plateforme qu'à l'opérateur du treuil. A ce moment, l'opérateur actionnant le treuil depuis le niveau 0 de la tour et qui ne peut donc voir ce qui se passe au niveau de la passerelle ralentit la marche. L'arrêt du treuil se fait automatiquement par une fin de course fixée à la passerelle. La trappe en deux panneaux située sur la plate-forme est ouverte. Chaque panneau de la trappe sert de garde-fou pendant l'ouverture. Après le passage de la benne, la trappe est refermée et un double dispositif de sécurité empêche toute manœuvre intempestive du treuil de la benne.

Les berlines à béton de 200 litres dans lesquelles la benne est vidée et qui servent à l'amenée du béton à pied d'œuvre peuvent donc circuler sur la trappe fermée en toute sécurité.

Notons que le préposé sur la plate-forme de travail ainsi que l'opérateur du treuil au bas de la tour disposent d'un bouton qui, par simple pression, arrête le treuil en cas d'urgence.

Une fois la vidange du béton terminée, la trappe est rouverte rendant de nouveau possible la manœuvre du treuil. L'intervention du préposé à la plate-forme de travail est toutefois indispensable pour que la descente de la benne puisse avoir lieu. L'opérateur du treuil ne peut donc faire de fausse manœuvre. Un ingénieux dispositif rend impossible d'actionner la montée quand le signal de descente est donné, le mouvement inverse pouvant avoir des conséquences graves. Les

opérateurs communiquent entre eux, en cas de nécessité, au moyen d'un téléphone avec casques permettant trois communications simultanées.

La fourniture du courant en 380 volts à la plate-forme se fait par un câble de 4x25 sur dévidoir afin de suivre l'ascension progressive du coffrage glissant.

Amenée des aciers

Un dispositif similaire et indépendant avec le même appareillage de sécurité fonctionnait pour la montée des aciers. Toutefois, ceux-ci étaient hissés dans un panier carcan spécial voyageant à l'intérieur de la cage d'ascenseur définitive de la tour bétonnée en même temps que les parois de la tour.

Pour les aciers, le treuil avait une force de 700 kilos et le contrepoids était de 500 kilos.

Ici, comme pour le dispositif de levage de la benne à béton, chaque mouvement de câble était précédé d'un signal auditif et visuel simultané au niveau du treuil et au niveau de la plate-forme du coffrage glissant.

Le circuit établi subordonnait le fonctionnement des treuils au déclenchement de ces signaux. De plus, des dispositifs ont également été prévus pour assurer un démarrage progressif.

Si nous avons décrit en détails ces dispositifs de sécurité c'est parce qu'ils sont dus au savoir-faire de l'ingénieur-électricien de l'Association d'abord et qu'ensuite leur efficacité a été telle qu'aucun accident n'a été à déplorer au cours de la construction de la tour.

Signalons à propos des mesures de sécurité, qu'au cours du bétonnage, les huit descentes du parafoudre définitif ont été utilisées pour constituer une cage de Faraday et protéger ainsi le personnel contre la foudre.

Le placement des volées d'escaliers

Voyons maintenant comment la plate-forme du coffrage glissant a été utilisée pour placer les volées d'escaliers.

Pourquoi mettre en place définitivement les escaliers au fur et à mesure de la montée des parois ?

Dans un ouvrage de cette hauteur et dont la partie intérieure est pratiquement creuse, l'accès de la main d'œuvre à la plateforme mobile de travail posait un sérieux problème qu'il fallait résoudre avant le démarrage.

Pour permettre cet accès, on aurait pu utiliser un ascenseur, un échafaudage tubulaire etc... Ces solutions étant onéreuses et provisoire, l'Association opta pour le placement définitif des escaliers au fur et à mesure de l'élévation de la tour. Le personnel emprunta directement les escaliers définitifs et, pour atteindre la plate-forme de travail, il suffisait de quitter la dernière volée définitivement ancrée et d'utiliser les échelles placées dans cage en éléments tubulaires suspendue à la plate-forme du coffrage glissant pour atteindre le plancher de travail.

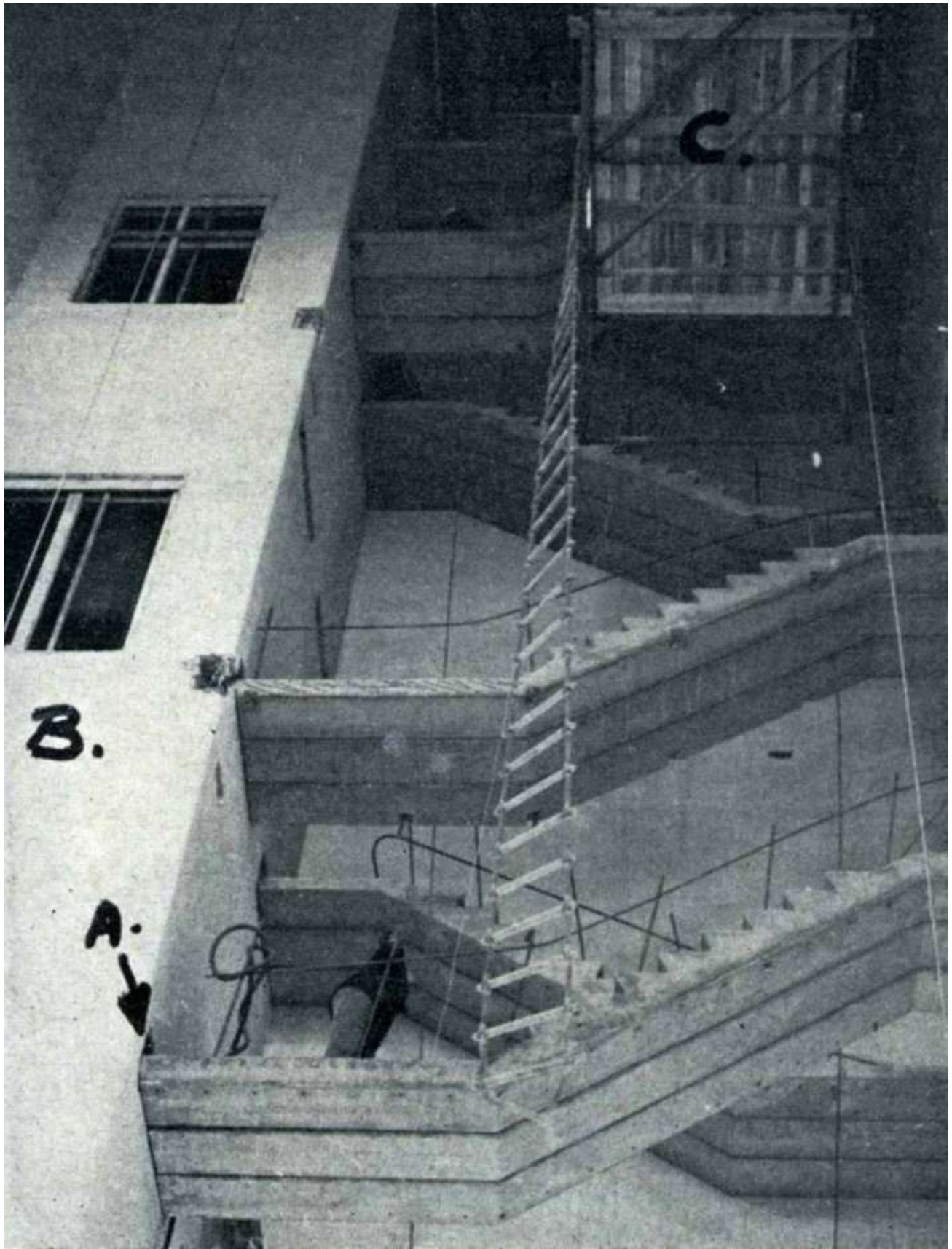


Figure 19: escaliers définitivement mis en place A : épargne dans les parois pour l'ancrage des escaliers. B : cage d'ascenseur définitif C : bas de la cage suspendue au plancher du coffrage glissant

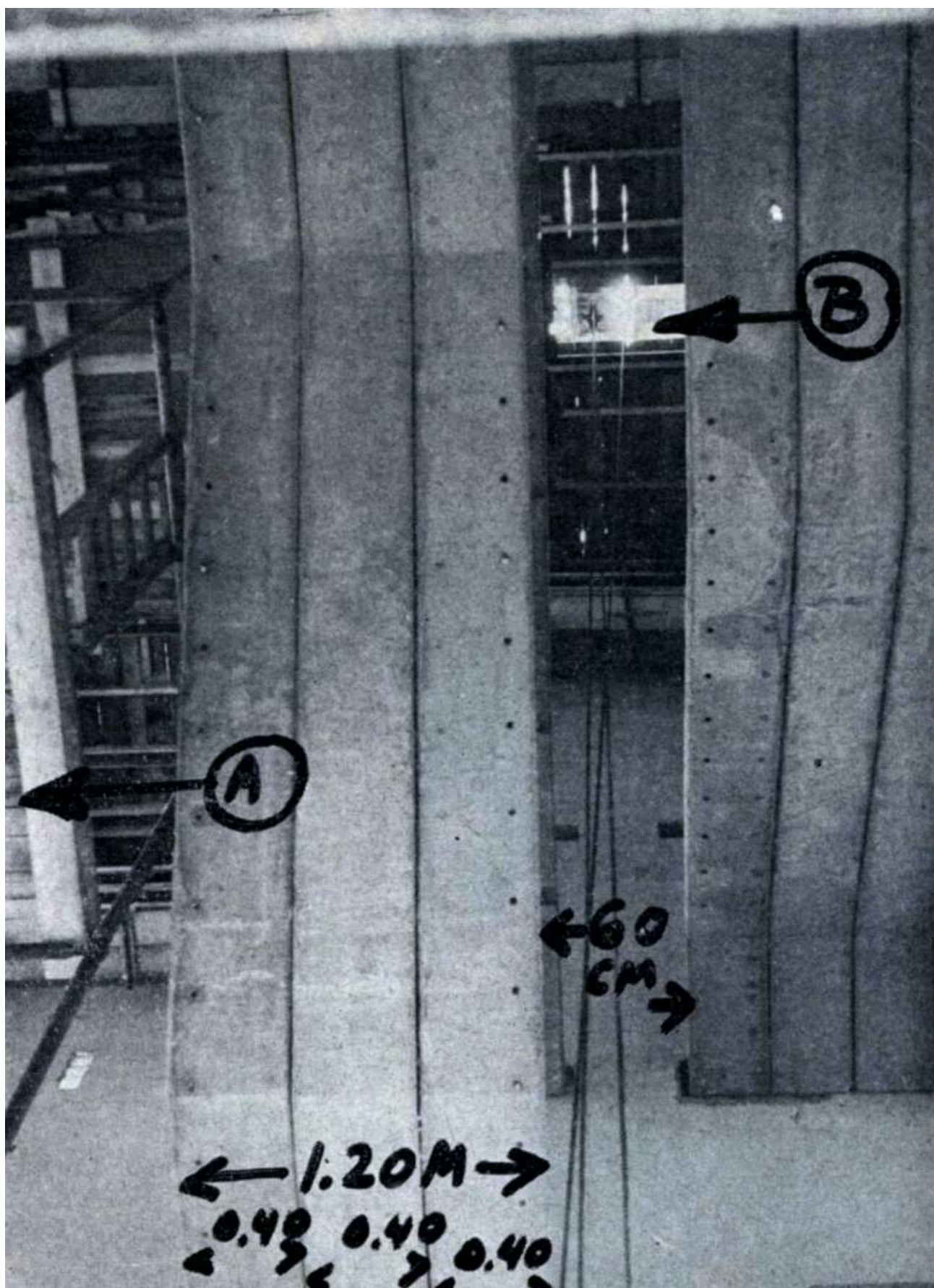


Figure 20: Montée des éléments d'escaliers

Comment monter et placer les volées d'escaliers ?

Etant donné que la plate-forme du coffrage glissant permet des charges de 60 tonnes, l'Association décida de se servir de celle-ci pour hisser et mettre en place les volées d'escaliers au fur et à mesure de l'ascension. Elle installa, pour ce faire, un treuil de 700 kilos sur la plate-forme.

Le problème du levage des escaliers était donc résolu. Restait à résoudre celui de l'espace disponible pour lever les éléments d'escaliers et manœuvrer ces éléments afin de les ancrer définitivement dans les parois. Cet espace est relativement restreint.

Une volée mesure 1,20 mètre de large et pèse en moyenne 4,5 tonnes. Pour simplifier le problème de la charge, et celui de l'encombrement, l'Association opta pour la construction des volées en trois éléments préfabriqués distincts et juxtaposables, n'ayant chacun que 40 centimètres de large et ne pesant qu'une tonne et demie. La largeur libre entre les volées est de 60 centimètres.

En plus des 54 volées, les escaliers comprennent 54 dalles palières dont le placement n'a posé aucun problème.

Afin de lier les trois éléments séparés formant une volée, la marche supérieure et la marche inférieure de chaque élément avaient été laissés en attente, les armatures dépassant ces deux marches étant bétonnées sur place pour lier les trois éléments.

Suivons maintenant un élément de volée d'escaliers.

Ces éléments préfabriqués préalablement numérotés et pourvus des trous de fixation pour garde-fous étaient amenés par camion depuis le chantier « Betonwerken De Nethe » à Duffel, déchargés et stockés à proximité. Un chariot sur rails les amenait dans la tour.

Un œillet spécial a été prévu dans chaque marche non bétonnée afin de pouvoir amarrer facilement l'élément au crochet de levage du treuil situé sur la plate-forme du coffrage glissant. Une fois arrivé à la hauteur voulue, l'élément était immédiatement encastré de 17 centimètres dans des épargnes de 20 centimètres de profondeur et de 20 centimètres de hauteur. Ces épargnes sont pratiquées dans les parois au moment du bétonnage au moyen de prismes en polystyrène expansé.

Les trois éléments de chaque volée une fois en place sont solidarisés et scellés définitivement.

Suivant l'usage auquel sont destinés ces escaliers, les marches et contremarches resteront soit en béton poli ou seront recouvertes de granito coulé ou de marbre.

Cette ingénieuse conception appliquée avec une précision remarquable a permis de monter et mettre en place 162 éléments d'escaliers représentant 243 tonnes en seulement 28 jours.

Le premier élément a été posé de la manière décrite ci-dessus le 23 juillet, c'est-à-dire lorsque le coffrage glissant était à 25,60 mètres de haut. Etant donné que la cage d'accès suspendue au plancher du coffrage mesure 12 mètres, l'opération de mise en place définitive des volées d'escaliers a débuté pratiquement au niveau de 13,60 mètres.

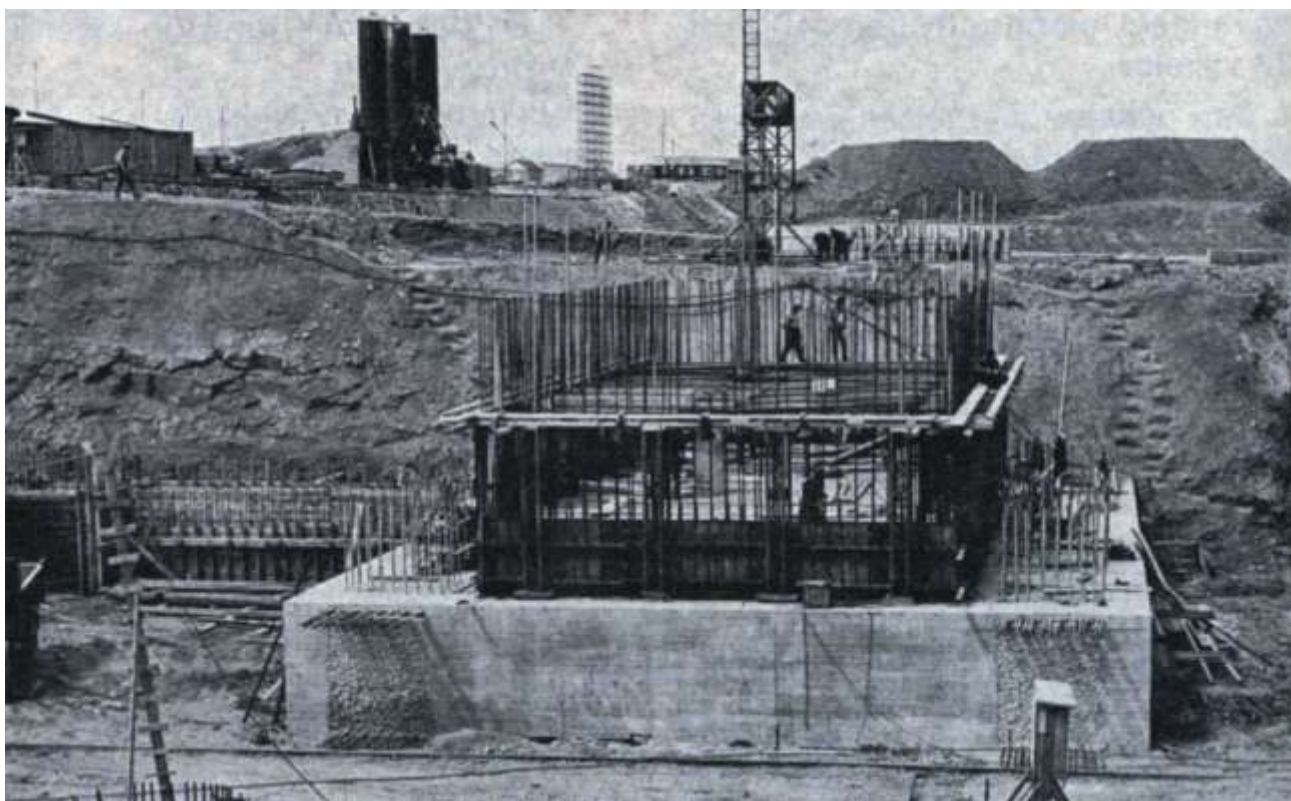


Figure 21: Mise en place du coffrage mobile sur la semelle de la tour. On distingue à l'arrière-plan la centrale où était produit tout le béton nécessaire à la construction de la tour

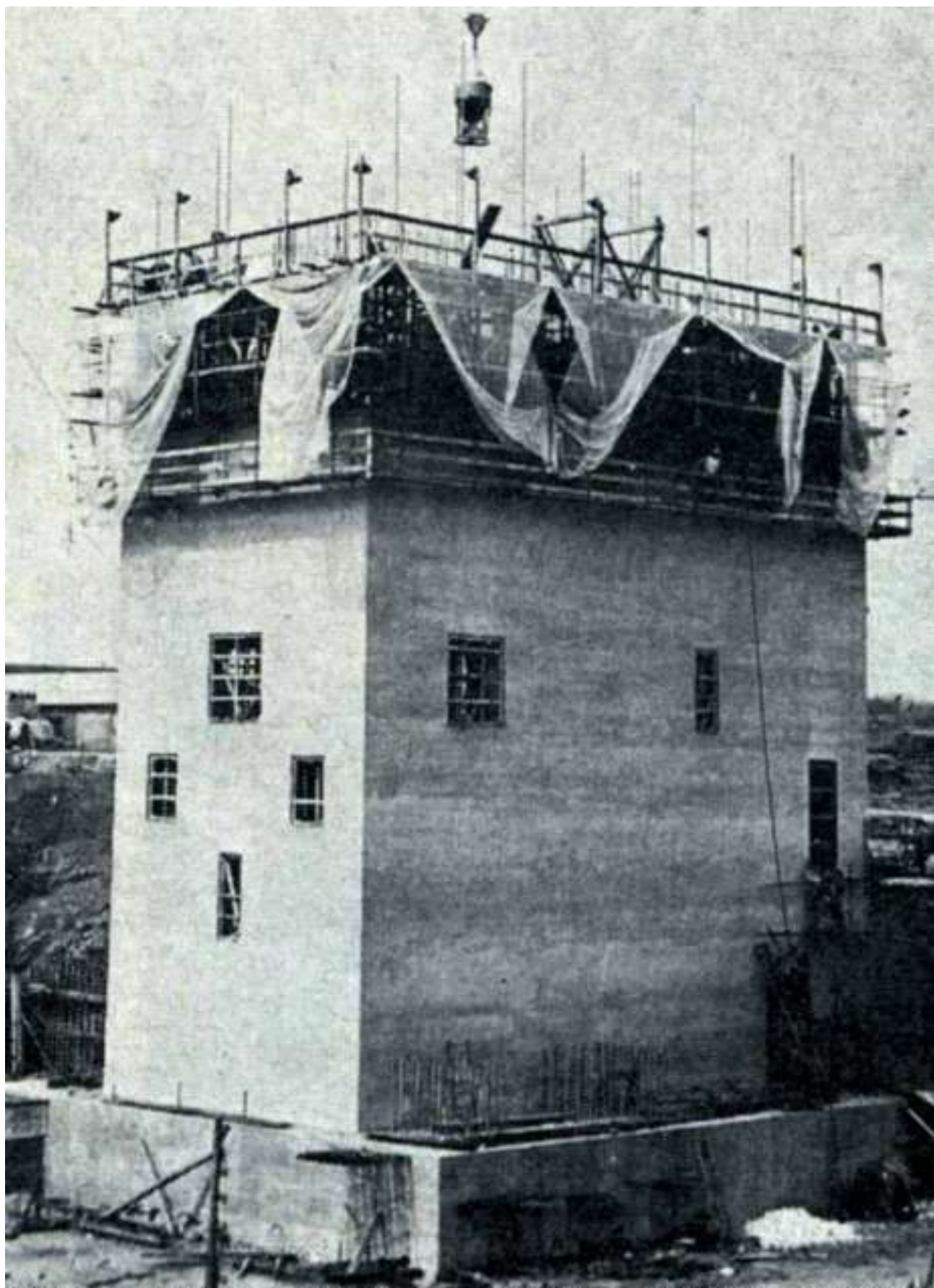


Figure 22: L'état de la tour le 22 juillet 1963

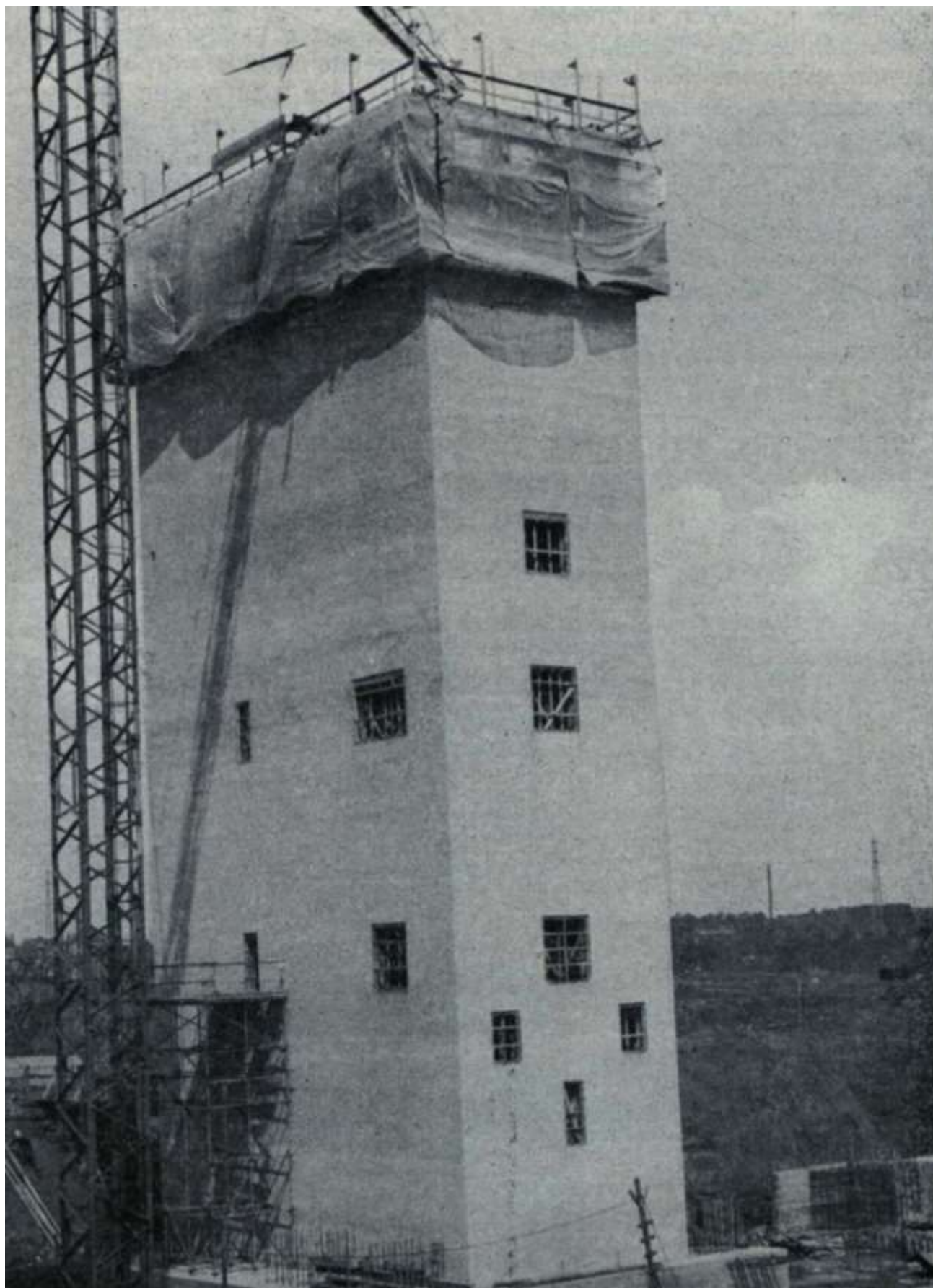


Figure 23: Etat de la tour à la mi-juillet 1963

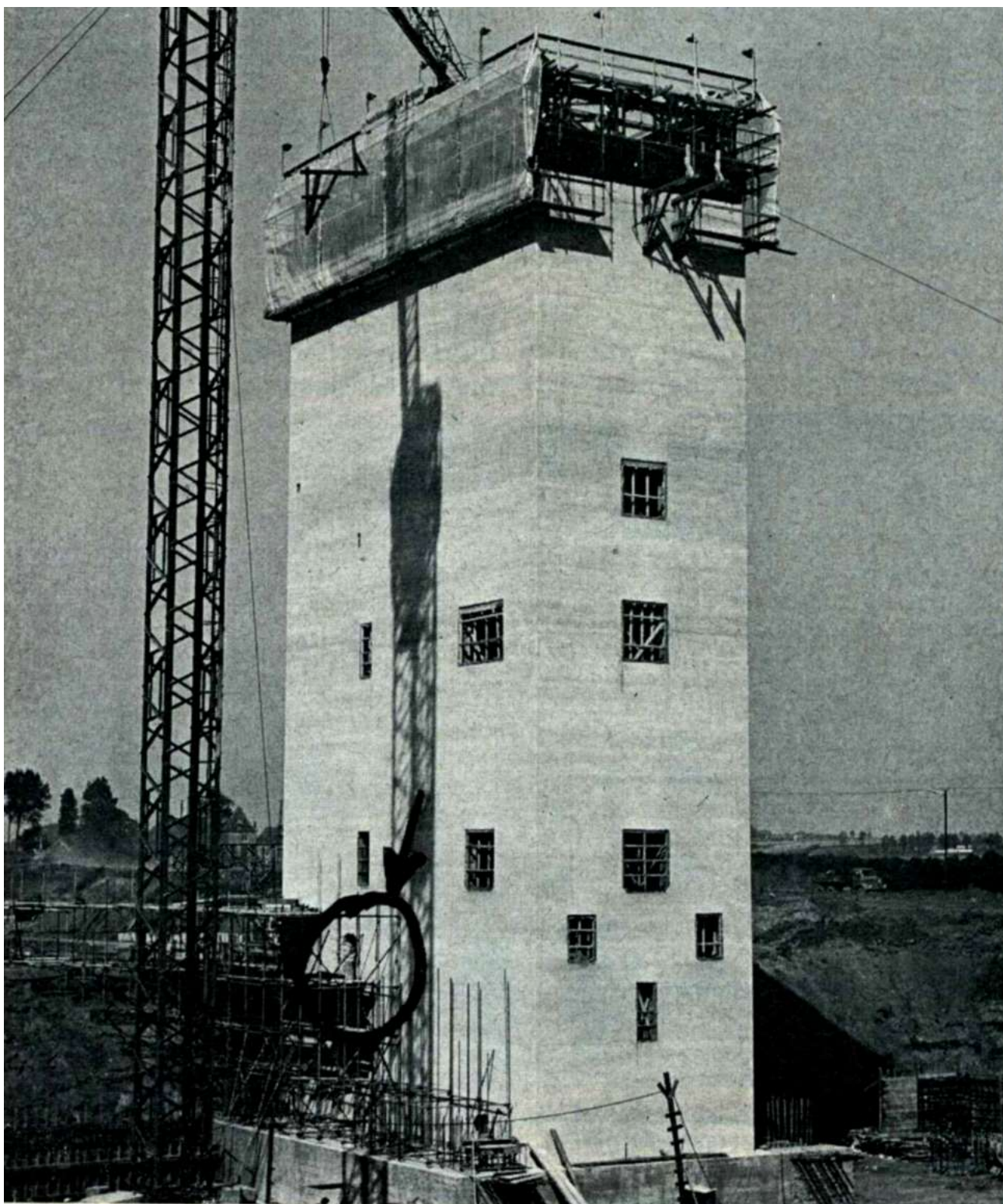


Figure 24: Le coffrage au moment de la modification de l'inclinaison de la face Sud de la tour. Celle-ci a alors une hauteur de 34,69 mètres. La photo a été prise entre le 25 juillet et le 22 août 1963



Figure 25: Vue de la tour depuis le Sud durant le mois d'août 1963

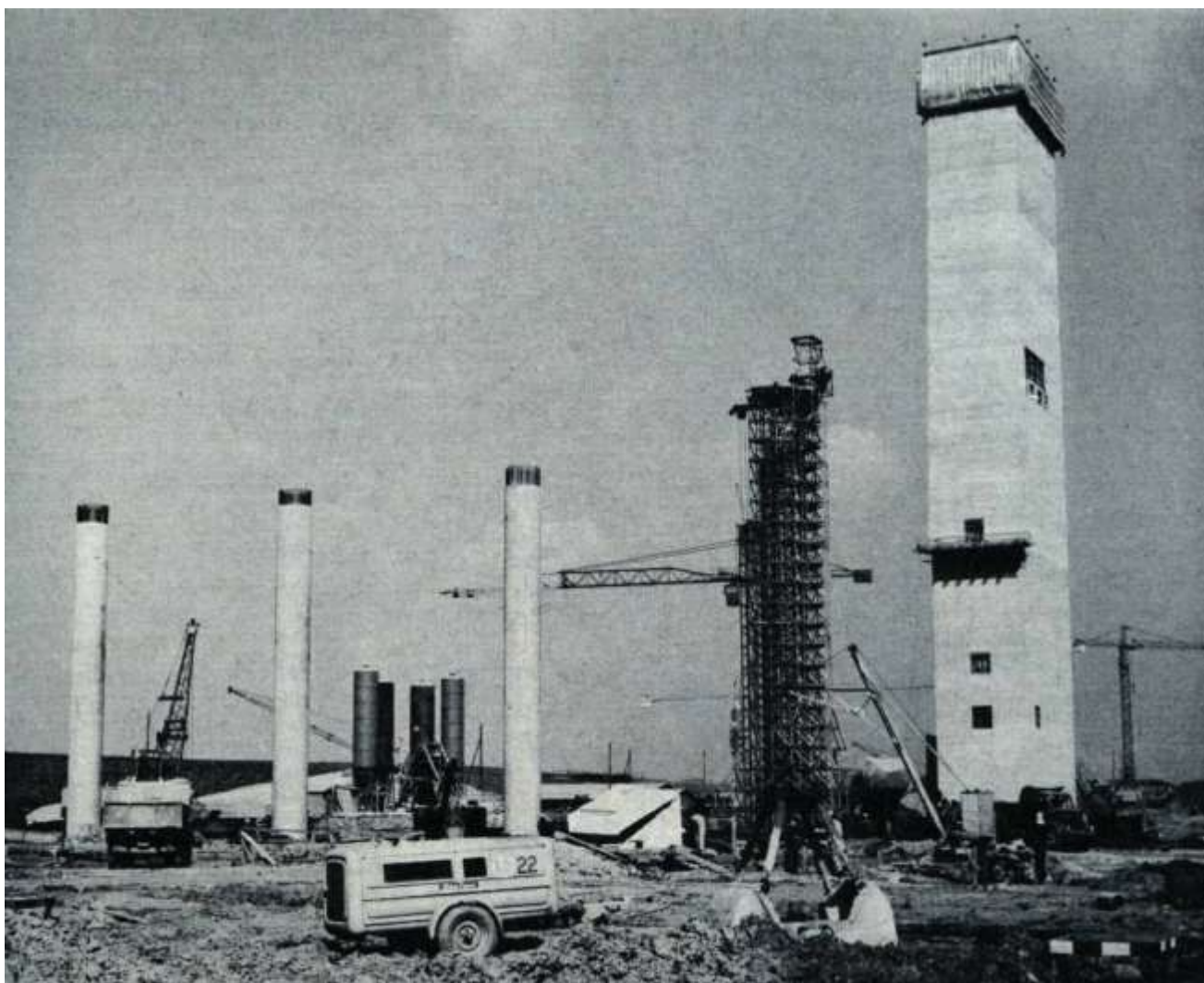


Figure 26: La tour et son environnement en juillet 1963.

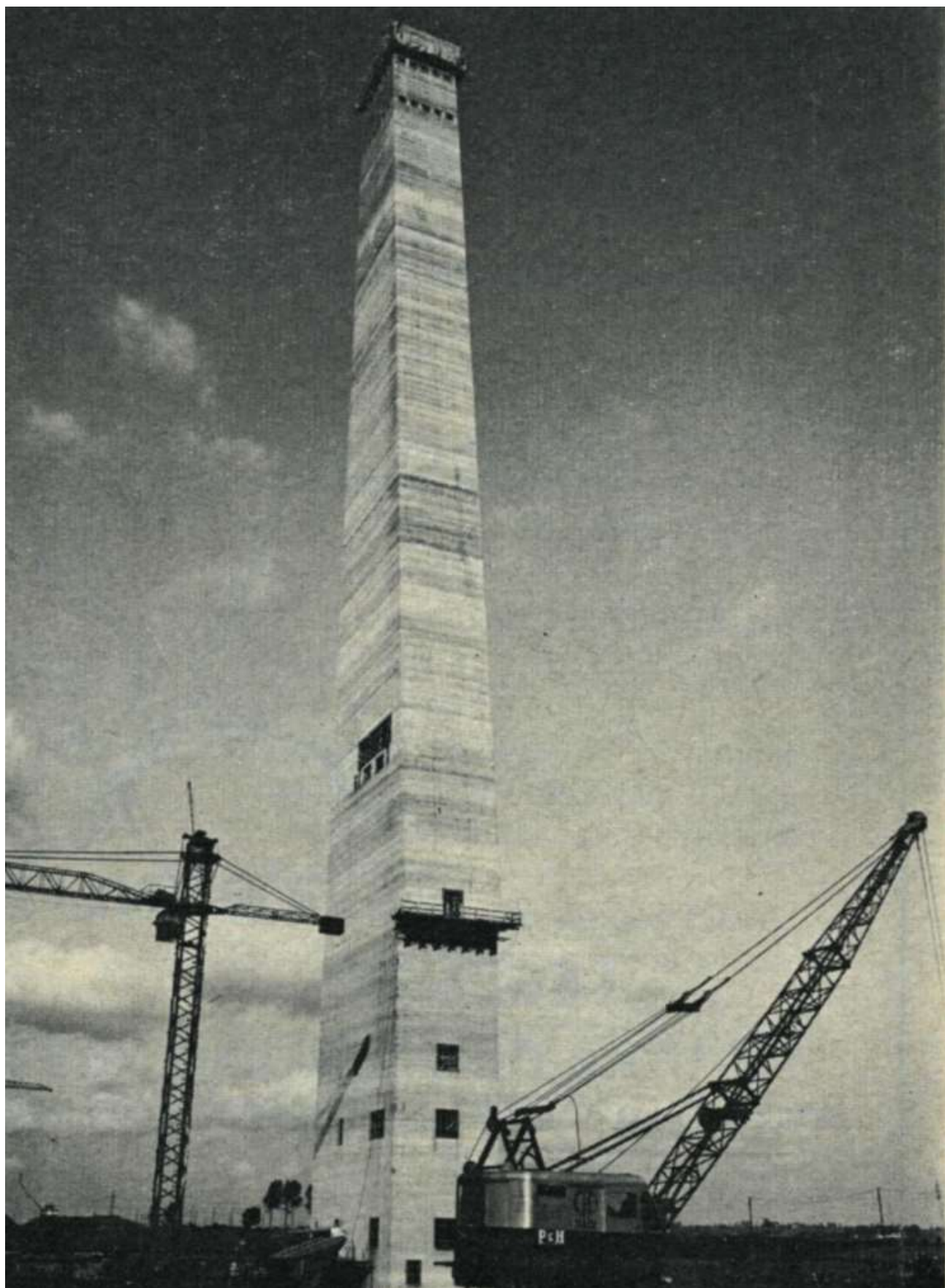


Figure 27: La tour le 29 septembre 1963

Etapes	Jour de bétonnage	Date	Avancemen t du bétonnage de la tour en hauteurs cumulées en mètres	Hauteur correspon dante de la tour	Volume de béton en m3
1	1	18/07/1963	3,82	34,69	105
	2	19/07/1963	8,175		106
	3	20/07/1963	12,855		110
	4	21/07/1963	17,08		122
	5	22/07/1963	21,00		112
	6	23/07/1963	25,60		127
	7	24/07/1963	30,45		136
	8	25/07/1963	34,69		123
2	1	22/08/1963	3,22	80,67	86
	2	23/08/1963	8,04		140
	3	24/08/1963	13,35		151
	4	25/08/1963	17,82		106
	5	26/08/1963	22,55		106
	6	27/08/1963	27,74		123
	7	28/08/1963	33,06		136
	8	29/08/1963	38,50		143
	9	30/08/1963	43,60		132
	10	31/08/1963	45,98		64
3	1	10/09/1963	5,19	118,11	108
	2	11/09/1963	11,50		115
	3	12/09/1963	16,80		104
	4	13/09/1963	21,80		92
	5	14/09/1963	25,90		72
	6	15/09/1963	30,13		84
	7	16/09/1963	35,68		91
	8	17/09/1963	37,44		35
4	1	25/09/1963	5,58	159,10	76
	2	26/09/1963	11,18		80
	3	27/09/1963	16,90		78
	4	28/09/1963	22,63		75
	5	29/09/1963	26,76		48
	6	30/09/1963	31,80		61
	7	01/10/1963	36,20		53
	8	02/10/1963	40,99		45

La construction de la tour de Ronquières a nécessité la mise en place 3345 mètres cube de béton. Le sapin fut placé au sommet de la tour le 3 octobre 1963.

L'exécution des planchers intermédiaires.

La tour est pourvue de 15 planchers situés à des hauteurs variables et qui servent également comme raidissement de l'ensemble de l'ouvrage.

Sur ces 15 planchers, 2 ont été exécutés de manière classique et 13 ont été bétonnés sur des plateaux mobiles.

Ces 13 planchers sont coffrés, ferrailés et bétonnés sur des plateformes de travail constituées de poutrelles métalliques avec abouts télescopiques et d'un platelage en bois. Les différentes poutrelles sont liaisonnées entre elles par des doubles fers en U et des tubes.

Une fois le coffrage glissant arrivé au niveau 122,30 (34,80 mètres), le plateau a été hissé dans le vide de la tour jusqu'à ce niveau, à partir de la plateforme de travail du coffrage glissant au moyen de 8 câbles actionnés par 8 tire forts.

A cet endroit, les abouts télescopiques des poutrelles ont été glissés dans toutes les encoches prévues à cet effet dans les parois de la tour et tout le platelage est alors fixé rigidement dans ces encoches. A partir de ce moment, le plancher en béton a pu être réalisé sur ce platelage.

Une fois ce plancher en béton suffisamment résistant pour se porter seul, le platelage a été descendu au moyen de 8 câbles et de 8 tire forts prenant cette fois appui sur le plancher en béton terminé après déblocage des abouts des poutrelles, jusqu'au niveau du plancher immédiatement inférieur où l'opération fut recommencée.

Le même processus est réalisé avec un second platelage monté à blanc au niveau 122,30 (34,80 mètres) pour l'exécution des planchers entre le niveau 168 (80,50 mètres) et 122,30.

Un troisième plateau similaire a été monté à blanc au niveau 168 et a servi à bétonner les planchers supérieurs.

Les quelques dates citées ici à titre d'exemple permettent de se faire une idée de l'avancement de cette phase des travaux.

- Le plancher au niveau 34,80 m a été bétonné le 7 août 1963
- Le plancher au niveau immédiatement en dessous c'est-à-dire 22 mètres a été bétonné le 6 septembre 1963
- Le même jour, le plancher à 80,50 mètres était bétonné au moyen du second plateau
- Le 19 septembre, le plancher à 17 mètres était bétonné au moyen du 1^{er} plateau
- Le 21 septembre, le plancher à 118 mètres était bétonné au moyen du 3^{eme} plateau
- Le 8 octobre, le toit de la tour était bétonné à 156 mètres alors que les parois étaient terminées depuis le 3 octobre 1963
- Le 11 octobre, le plancher à 9,24 mètres était bétonné au moyen du 1^{er} plancher
- Le 17 octobre, le plancher à 49,50 mètres était bétonné au moyen du second plateau.

EXECUTION DES PLANCHERS INTERMEDIAIRES.
Bétonnage sur plateaux mobiles.

UITVOERING VAN TUSSENVLOEREN.
Betonneren op losse bladen.

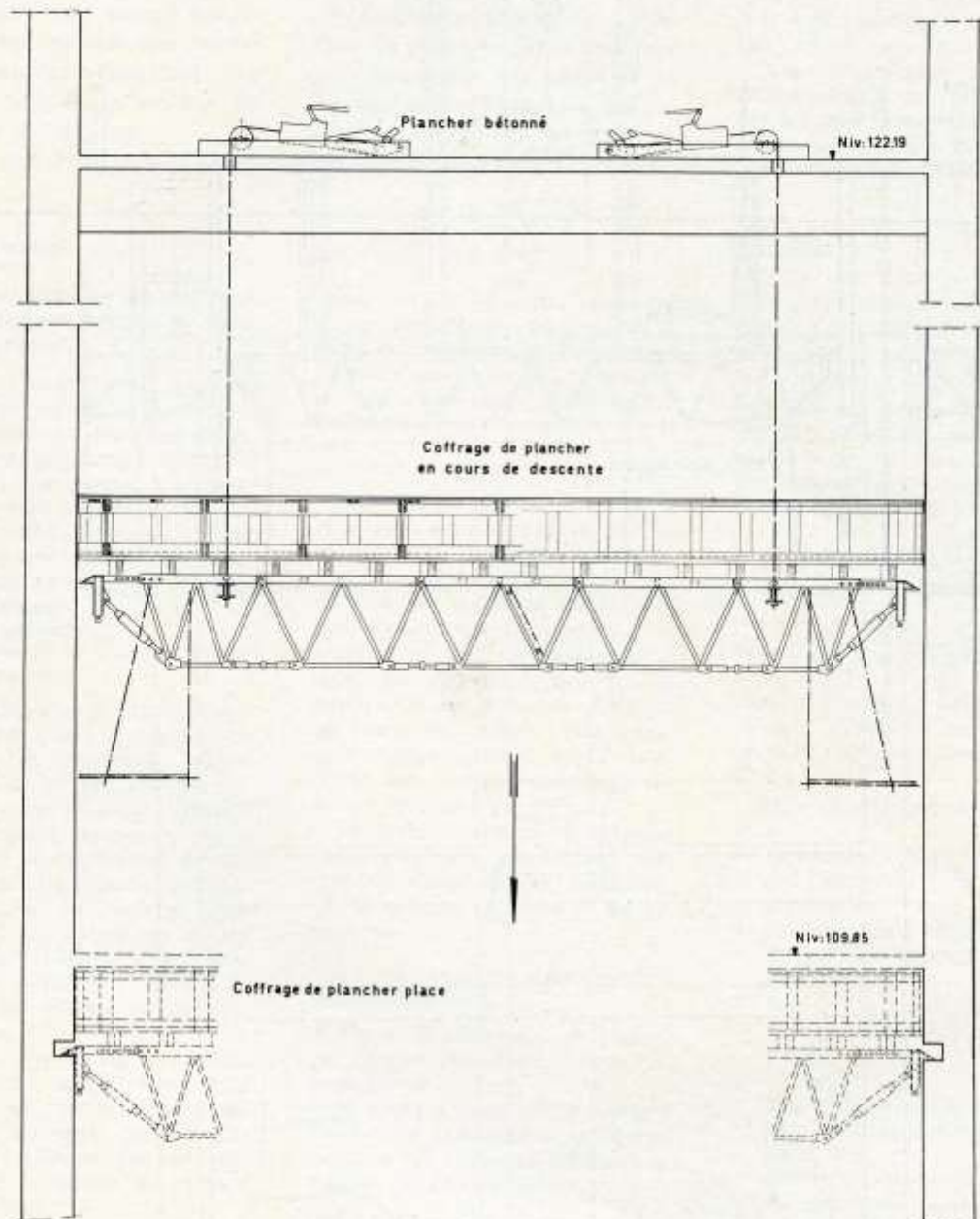


FIG. II (voir texte page 46)

FIG. II (zie tekst bladz. 46).

Plancher bétonné - Vloer in beton — Coffrage de plancher en cours de descente - Dalende vloerbekisting — Coffrage de plancher placé - Geplaatste vloerbekisting — Niveau - Peil.

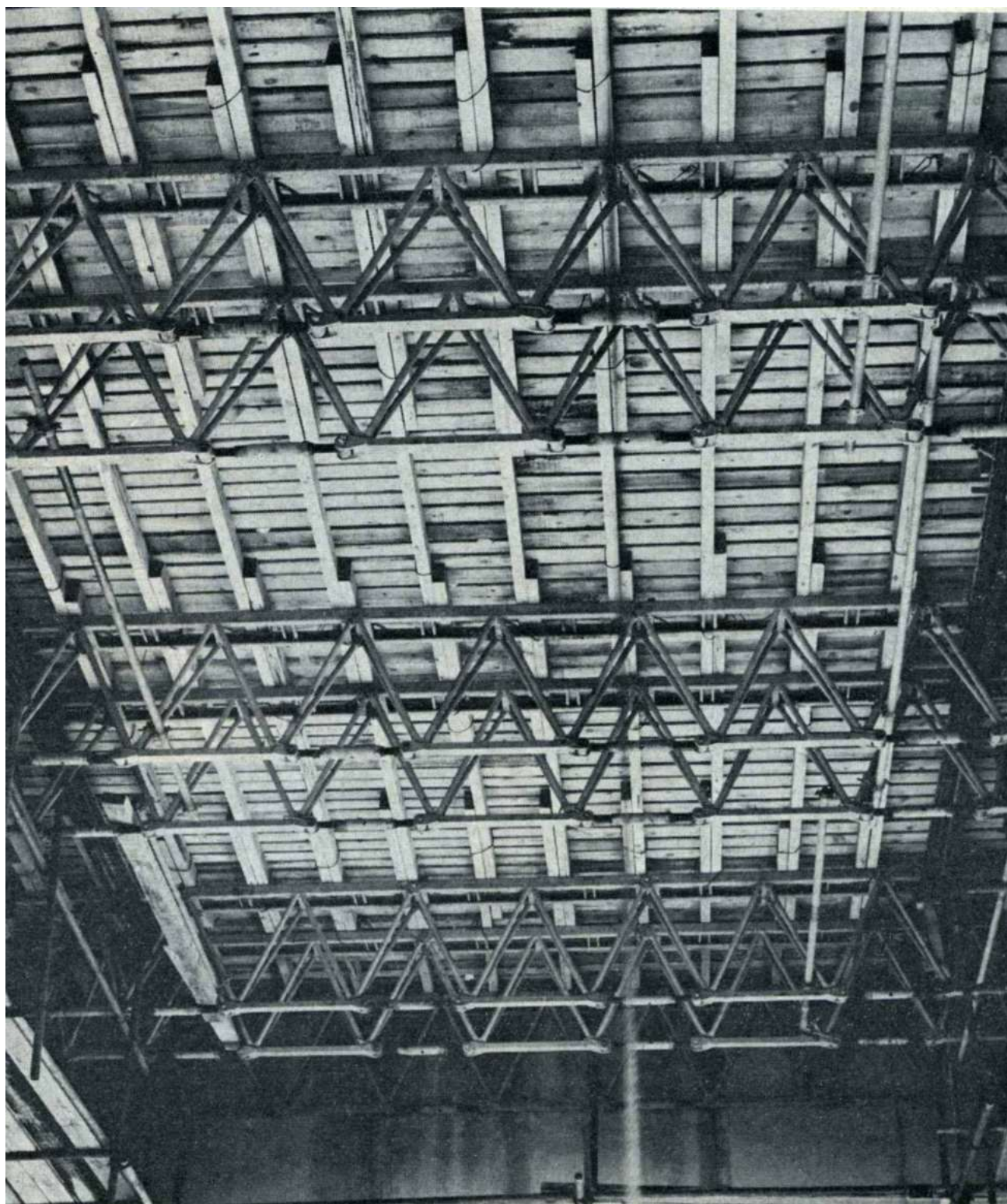


Figure 28: Vue d'un plateau coulissant servant de support au coffrage des planchers.

La centrale à bétons



Figure 29: La centrale à bétons

L'installation de bétonnage utilisée par l'Association Ronquières pour préparer le béton des ouvrages de la tête amont se compose de :

- L'étoile de stockage et de dosage à quatre compartiments d'une capacité totale de 1450 mètres cube
- Une tourelle centrale avec dragline et flèche mobile de 20 mètres
- Les 4 silos à ciment de 50 tonnes, la trémie d'attente de 3,4 mètres cube
- Les 4 vis transporteuses à ciment
- Le malaxeur Elbamix à contre-courant
- Le monorail à béton partant de la trémie de l'installation de bétonnage vers la tour.

La centrale pouvait produire 30 mètres cubes de béton par heure.

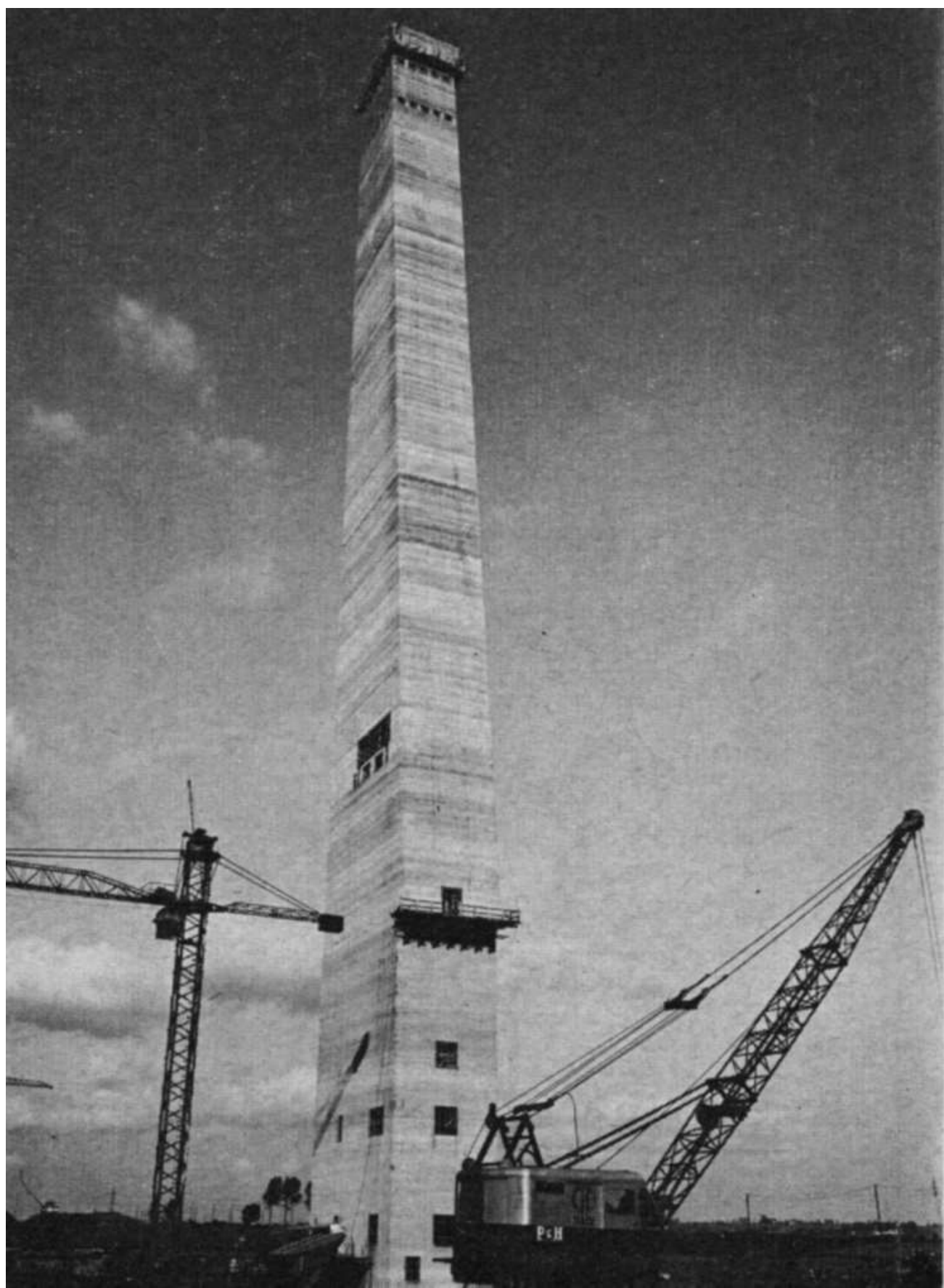


Table des illustrations

Figure 1: SAR le Prince Albert visitant les chantiers en compagnie de Mr Georges Bohy, Ministre des travaux publics, du secrétaire général du Ministère des travaux publics et de différentes personnalités de l'Association Ronquières	3
Figure 2: Description des sols et terrains en dans la zone du plan incliné de Ronquières	5
Figure 3: Tout le terrain situé sous la tête amont a fait l'objet d'une prospection minutieuse ayant pour but de déterminer les caractéristiques à donner aux puits des supports en béton.	5
Figure 4: Excavations au moyen d'une grue à câbles et grappin des fondations de la tête amont	6
Figure 5: Un bulldozer a scarifié la roche dans les fondations de la tête amont soit directement soit après des tris d'ébranlement	7
Figure 6: Un bulldozer occupé aux travaux de terrassement dans le secteur de la tête amont	8
Figure 7: Gunitage des parois de la fondation de la tête amont	8
Figure 8: Une grue à grappin dans la fondation de la tête amont. Les têtes des puits de fondation sont clairement visibles. La couche de béton de propreté n'a pas encore été coulée.....	9
Figure 9: creusement des puits dans la fondation de la tête amont	10
Figure 10: Les têtes de puits apparaissent les unes après les autres	11
Figure 11: Mise en place du béton à l'intérieur d'un puit de fondation.....	12
Figure 12: Sommet de quatre des huit puits de la semelle de la tour.	13
Figure 13: Mise en place du coffrage de la semelle de la tour au moyen d'une grue tour.....	13
Figure 14: Plan du coffrage mobile "Siemcrete"	15
Figure 15: Vue de la plateforme de bétonnage intérieure du coffrage glissant	18
Figure 16: Il est intéressant de remarquer sur cette photo la position de travail des maçons qui peuvent travailler tout à fait normalement.....	19
Figure 17: Plancher rétractable de la plateforme du coffrage coulissant.....	23
Figure 18: Une berline à béton.....	24
Figure 19: escaliers définitivement mis en place A : épargne dans les parois pour l'ancrage des escaliers. B : cage d'ascenseur définitif C : bas de la cage suspendue au plancher du coffrage glissant	27
Figure 20: Montée des éléments d'escaliers	28
Figure 21: Mise en place du coffrage mobile sur la semelle de la tour. On distingue à l'arrière-plan la centrale où était produit tout le béton nécessaire à la construction de la tour	30
Figure 22: L'état de la tour le 22 juillet 1963.....	31
Figure 23: Etat de la tour à la mi-juillet 1963	32
Figure 24: Le coffrage au moment de la modification de l'inclinaison de la face Sud de la tour. Celle-ci a alors une hauteur de 34,69 mètres. La photo a été prise entre le 25 juillet et le 22 août 1963	33
Figure 25: Vue de la tour depuis le Sud durant le mois d'août 1963.....	34
Figure 26: La tour et son environnement en juillet 1963.	35
Figure 27: La tour le 29 septembre 1963	36
Figure 28: Vue d'un plateau coulissant servant de support au coffrage des planchers.	40
Figure 29: La centrale à bétons.....	41

Table des matières

But et description de la tour	2
Les fondations de la tour	4
Les caractéristiques du sol.....	4
Les terrassements, l'excavation	6
Les puits.....	9
Caractéristiques des puits.....	9
Exécution des puits	10
La semelle de la tour	12
Construction de la tour proprement dite	14
Le système de coffrage glissant adopté à Ronquières.....	14
Forme de la tour, épaisseur des parois.....	14
Montage progressif des escaliers.....	14
Acheminement des matériaux	14
Les planchers intermédiaires à l'intérieur de la tour.....	16
Sécurité du personnel, facilité pour le placement des armatures et la coulée du béton, verticalité de l'opération de glissement, simplicité de marche.....	16
Les parois de la tour et de la cage d'ascenseur.....	16
Des mandrins	16
Les dispositifs de levage	17
La pompe	17
L'étrier métallique	18
Les plates-formes de travail	19
Le béton.....	20
Variations d'épaisseur des parois et obliquité de la paroi Sud.....	21
Amenée du béton.....	24
Amenée des aciers	26
Le placement des volées d'escaliers.....	26
Comment monter et placer les volées d'escaliers ?.....	29
L'exécution des planchers intermédiaires.....	38
La centrale à bétons	41
Table des illustrations	43
Table des matières	44

