

COLLOQUE DU CREUSOT



Petite histoire de la Fonderie Royale du Creusot

Le Creusot tire son nom d'un petit hameau de 7 à 8 feux appelé Crozot parce qu'il était situé dans le "crot" au creux d'une vallée.

Ce hameau du bailliage de Montcenis, englobé dans l'usine, a depuis longtemps disparu.

Le point de départ de la cité est la découverte en 1502 de gisements houillers à fleur de terre où chacun piochait et creusait à sa guise, et exploités à la suite en concession par François de la Chaise.

Longtemps avant l'établissement de hauts-fourneaux au Creusot, on fabriqua de la fonte au charbon de bois sur le plateau d'Antully (16 km du Creusot) près de carrières de minerai de fer.

L'Abbé Salignac de Fénélon, prieur de St Sernin-du-bois créa la forge du Mesvrin et exploita un haut fourneau à Bouvier (10 km du Creusot) ; en 1782 il mit en service le premier laminoir de la région.

Dès 1779, Louis XVI avait envisagé la possibilité de créer au Creusot une fonderie de canons et de réunir sous une même direction les mines de Montcenis et les forges du Mesvrin.

En 1781, le Maréchal de Castries ordonnait à MM. Vendel, Touffaire et Wilkinson de rechercher un lieu propice à l'établissement de hauts-fourneaux et de forges pour exploiter les minerais de fer avec du charbon de terre.

Le site du Crozot est choisi en juillet 1781 au détriment de St-Etienne en raison de la proximité des 2 gisements de matières premières.

En 1782, une puissante société se fonde sous le nom de Perier-Bettinger et Cie pour y fondre la mine de fer au coak suivant la méthode apportée d'Angleterre et mise en pratique par William Wilkinson. Elle assure l'exploitation des fonderies du Creusot et d'Indret.

En 1783, Louis XVI devient le principal actionnaire pour un douzième du capital soit 600 000 livres d'où le nom de Fonderie Royale.

Le nouvel établissement prend le nom de "Crozot" et la première coulée à hauts-fourneaux a lieu le 11 décembre 1785.

En 1785, Louis XVI autorisait le transfert de la cristallerie de St-Cloud au Creusot. La manufacture des Cristaux de la Reine est réunie aux Fonderies Royales d'Indret et de Montcenis en janvier 1787.

En 1786, 4 hauts-fourneaux (d'une hauteur d'environ 13 m) avec une machine soufflante mue à la vapeur étaient en fonctionnement. La fonderie comportait également une forge avec 2 marteaux et 2 martinets mus par une autre machine à vapeur.

La forerie permettait de forer 4 canons à la fois. La rotation des 4 canons était obtenue par une machine à vapeur qui assurait l'élévation de l'eau sur une roue tandis que les forets avançaient par une combinaison de chariots et de poulies. La fonderie comprenait également 7 corps de bâtiments où se trouvaient les bureaux et le logement des ouvriers.

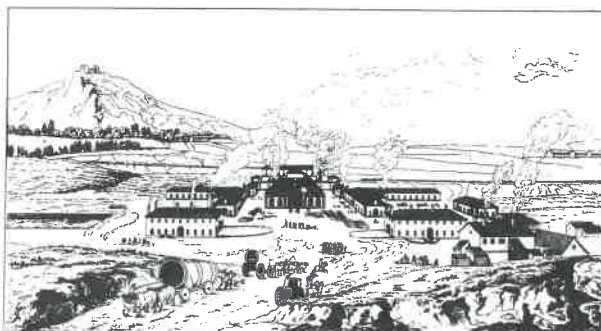
Environ 200 ouvriers travaillaient à la fonderie, probablement un peu moins à la mine. Le recensement de 1787 fait état de 578 personnes vivant de la fonderie.

En 1786, la production de fonte fut de 970 t et 1 370 t en 1787.

De nouveaux bancs de forage furent installés. Ainsi s'ébauchait la conversion de la fonderie en un arsenal désormais susceptible de fournir des canons de tous calibres.

Le bronze est réquisitionné en Saône-et-Loire; la statue de Louis XIV qui ornait la place Royale de Dijon est transformée en 88 canons de 4 pouces.

Devant la lenteur de livraison des 300 canons, la prise en charge de la fonderie par la nation fut envisagée ; la Comité de Salut Public refusa de mettre la fonderie en régie au compte de la République et autorisa la Commission des armes et poudres à passer une soumission à un entrepreneur M. Ramus



Dessin de Felz - 1782

La fonte produite alimentait les forges d'Indret ; la plus grande partie fut employée au moulage sur place (tuyaux, cylindres de machines à feu, rails, canons). En 1787 la première machine à forger au marteau fut mise en service.

Une commande de 1 500 t de canons fut passée par la marine française mais, création du "Régime", la fonderie du Creusot allait être ébranlée par la chute de ce "Régime". Les difficultés apparaissent dès 1787 et ne commencèrent à se résoudre qu'en 1792 avec la guerre et la constitution d'un nouvel état.

Avec la faillite des actionnaires, l'Etat devint le client le plus important et les délais de paiement s'allongèrent. Le manque d'argent paraît lié au manque de débouchés, les commandes de canons étant très réduites et la concurrence étrangère très active.

La production de 1789 ne s'élève qu'à 1 114 t, celle de 1811 à 900 t et l'on procède au renvoi d'un grand nombre d'ouvriers.

Les bouleversements politiques et la proclamation de la République précipitèrent les transformations tout en maintenant le caractère privé des Etablissements du Creusot.

A partir de 1792, la guerre, puis la mobilisation révolutionnaire allaient imposer aux problèmes financiers une solution momentanée avec le retour des commandes de canons.

En 1793, l'entrée en guerre de l'Angleterre dans la coalition décupla les commandes. 300 canons furent commandés.

dans le secteur de la grosse artillerie, les bâtiments de la cristallerie étant mis à sa disposition.

Les difficultés d'approvisionnement ne furent pas résolues par les réquisitions ; on manqua de fonte. Coak, bougies, graisse pour machines, blé et même de chevaux car la fonderie en employait plus de 150.

En août 1796, M. Ramus remet la fonderie à ses propriétaires après une gestion qui semble bénéficiaire.

L'activité se concentrait sur la fonderie de cuivre, la matière première provenant toujours du métal des cloches mais aussi des vieux canons pris à l'ennemi.

Deux grands laminoirs avec des cylindres de longueur 1,80 m furent construits au Creusot en 1801. Les débouchés sont toujours l'artillerie mais aussi les tôles pour les chaudières de machines à vapeur.

En 1800, 1 000 t de canons avaient déjà été fournies. Les administrateurs font état d'une production de fonte de 5t/jour et la fonderie affrontait parfaitement la concurrence tout en étant à la merci de la conjoncture.

En 1802, plusieurs accidents provoquent l'arrêt de 2 fourneaux et de plusieurs puits. L'arrêt des fourneaux semblait d'ailleurs prévu du fait de l'arrêt des commandes Marine (paix avec l'Autriche).

Les effectifs diminuèrent considérablement puis les commandes affluèrent avec la reprise de la guerre contre l'Angleterre (le département de la Côte-d'Or passa commande de 100 canons, le Ministre de la Marine de 350).

A partir de 1806, à la suite de plusieurs incidents les commandes de raréfient et en 1807, un seul haut fourneau était en service pour la fabrication de lest, bombes et boulets.

La suppression des commandes d'artillerie devait entraîner une véritable reconversion. Tout en produisant toujours lest, boulets, balles, vis de pointage, la fonderie retrouva ses fabrications de chaudières, tuyaux, bornes-fontaines, réalisations d'art.

La production de fer coulé s'élevait à 2 750 t en 1809, 2 337 t en 1810, 3 440 t en 1811 et 2 616 t en 1812, le marché étant toujours très fragile du fait des prix de revient trop élevés.

Les prix de vente restaient stables mais les matières premières étaient en constante augmentation.

En 1810, la fonderie refusa des commandes qui devaient être livrées avec les tarifs de 1808. L'activité baissa dans les ateliers. Les problèmes financiers ne pouvaient se résoudre que par la liquidation et en 1814 la fonderie entra dans sa phase d'inactivité totale.

La fonderie devient la propriété de MM. Mamby et Wilkinson. Grâce à de nouvelles méthodes apportées d'Angleterre la nouvelle société paraît devoir donner au Creusot une nouvelle impulsion. Le succès sera de

courte durée et la société est achetée par MM. Coste frères et J. Chagot.

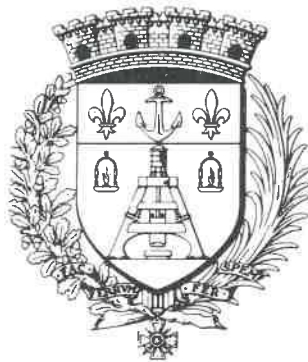
En 1836, M. Eugène Schneider, maître de Forges à Bazeilles (Ardennes) et son frère Adolphe acquièrent la fonderie et fondent une société commandite par action "Schneider frères et Cie". C'est le début du prodigieux essor industriel du Creusot.

ARMES DU CREUSOT

Au chef de gueules chargé d'une ancre d'argent accostée de deux fleurs de lys d'or. D'azur au Marteau-pilon d'argent posé sur une terrasse d'or, l'enclume sommée d'un lingot de gueules accosté en chef de deux lampes de mineur d'or allumées de gueules.

Ecu timbré d'une couronne murale à quatre tours d'or et entouré par une branche de chêne fruitée et une palme d'or passée en sautoir, en pointe, soutenant la croix de guerre 1939 - 1945 et un listel de parchemin chargé de la devise :

"Par le Fer l'Espoir"



Allocution de M. CHARVET Directeur Général

Vous avez choisi de tenir le colloque technique de votre Association au Creusot. Je ne sais si votre choix a été motivé par l'amitié portée à vos collègues Creusotins, ou par la curiosité de découvrir cette mystérieuse activité industrielle établie depuis deux siècles dans une région généralement située entre la Creuse et Saint-Etienne !

Pour satisfaire votre légitime curiosité, je vous dirai donc ce qu'est le Creusot aujourd'hui.

Mais je voudrais aussi vous exprimer la gratitude d'une collectivité de 2 445 ingénieurs et techniciens qui se sent reconnue par ses pairs au moment où elle traverse une période difficile de son histoire industrielle. Votre venue est donc tout à la fois un honneur pour notre cité et un signe d'espoir pour ceux qui la font vivre.

Mais, le Creusot qu'est-ce que c'est ?

Le Creusot, c'est à l'origine l'œuvre de l'un de vos éminents collègues et ancien, Pierre Toufaire, ingénieur de la Marine, qui, dès l'automne 1781 a visité et fait des relevés topographiques des terrains de mines de la vallée de la Charbonnière. Il signe peu après les plans de la Fonderie Royale du Creusot, qui débute son activité en 1782 avec la mission de fabriquer des canons en fonte au "coke" pour la Marine Royale. Ainsi, au commencement de toutes les grandes activités et de tous les grands aménagements de l'espace, il y a la topographie !

Paradoxalement, dans cette région Morvandelle que la nature vouait à la modestie, tout a été pensé par les ingénieurs et techniciens en termes de records de dimensions : le plus gros marteau pilon, la plus grande capacité de coulée d'acier, les ateliers de mécanique les plus grands d'Europe, les plus gros canons, la plus grosse presse, les plus gros tours verticaux, la plus grande production de locomotives : 5 000 locomotives à vapeur, le train le plus rapide du monde en 1955 avec le BB 9004 et ses 331 km/h, les plus grandes roues hydrauliques du monde. Enfin, qui mieux que Le Creusot, pouvait tenter l'aventure nucléaire, avec la haute qualité requise dans la métallurgie fine et la mécanique de précision ?

Le Creusot doit donc être associé aux grandes masses d'acier et aux réalisations de grandes dimensions.

Ces grandes masses et ces grandes dimensions ne vont pas sans poser des problèmes non seulement pour le métallurgiste, mais aussi pour le mécanicien,

c'est-à-dire que vos recherches et les moyens que vous nous apportez dans le contrôle de nos fabrications sont d'une importance capitale.

Le Creusot, c'est depuis son origine une synergie entre la métallurgie fine et la mécanique. Le Creusot est la seule usine au monde capable de passer du tas de ferrailles au support usiné du cœur d'un réacteur nucléaire en acier inoxydable. La présence sur un même site de métallurgistes et de mécaniciens est un atout remarquable pour toutes les réalisations difficiles exceptionnelles.

Le Creusot, c'est deux cents ans de travail de qualité. Deux siècles d'industrie, de produits exceptionnels, modèlent les hommes. Au Creusot, la qualité se transmet de génération en génération, le premier cercle de qualité, c'est le cercle de famille ! Nos monteurs, ces messagers ultimes de notre technique, nous reviennent toujours avec les félicitations de nos clients.

Mais, Le Creusot, malgré ses 2 siècles d'industrie ou à cause d'eux, c'est aussi l'ouverture aux techniques nouvelles, aux produits nouveaux.

L'informatique a envahi tous nos bureaux scientifiques ou de gestion, la commande numérique et la robotique se sont développées dans tous nos ateliers, des procédés de soudage par faisceau d'électrons sur de très grandes dimensions sont en cours d'implantation, la C.A.O. supprime déjà des plans d'exécution, des matériaux composites s'imposent dans les domaines de pointe.

Nous avons ouvert depuis 7 ans un Laboratoire énergétique pour étudier de nouvelles sources d'énergie : l'hydrogène, le méthanol, la gazéification du bois, du charbon, le pompage, le broyage, l'énergie solaire, l'hydrolyse du bois...

C'est cette image de modernité, de gigantisme, de qualité, que nous souhaitons vous voir emporter du Creusot !

J'ai dit que votre visite nous apportait la bouffée d'espoir dont nous avons besoin dans nos difficultés industrielles. Notre existence, notre cohérence industrielle sont mises en cause, non par quelque erreur de gestion - nos unités métallurgiques et mécaniques restent saines, nos ratios de production sont parmi les meilleurs. Mais, comme le dit Roger Schulz — ancien président de AA — dans un article récent du Monde, nous sommes victimes de "contraintes dirigistes dont les effets pervers mettent en

péril les sociétés privées qui ne bénéficient pas de la pérennité institutionnelle des sociétés nationalisées". Nous nous sommes épuisés à financer seuls, le déficit de notre métallurgie. Mais, Le Creusot a déjà connu des moments difficiles et il saura, nous l'espérons, s'en sortir comme toujours, grâce à l'esprit d'entreprise de son encadrement et à la qualité de son personnel.

Vous avez vu, par la visite que vous avez faite cet après-midi, dans une partie des ateliers du Creusot, que les méthodes de mesures qui ont fait l'objet des exposés de ce matin peuvent trouver leur application dans nos fabrications.

C'est une des raisons qui nous ont fait participer, modestement, au lancement de l'AFT. Le responsable du contrôle dans les ateliers que vous avez visités a adhéré à l'association avec le numéro 9.

Les appareils de topographie sont utilisés depuis fort longtemps sur le domaine de nos établissements.

A l'origine, ils ne servaient qu'à l'implantation des bâtiments et des installations. Puis, ils furent utilisés dans nos ateliers pour l'installation des machines et le contrôle des pièces.

Dans les années 50, le réglage en atelier des tourelles d'artillerie était fait à l'aide d'un théodolite. Notre premier N3 date de plus de 20 ans. Dans notre démarche pour assurer la qualité, nous avons introduit le contrôle préventif des machines outils. Les massifs de fondation bougent, les machines s'usent.

Nous utilisons des moyens classiques auxquels nous avons adjoint, il y a une dizaine d'années déjà, l'interférométrie LASER. Ce dernier moyen nous a permis de faire de grands progrès dans le contrôle dimensionnel, notamment le positionnement des machines outils.

La commande numérique, tout en rendant plus nécessaire le contrôle dimensionnel des machines outils, a permis de perfectionner ce contrôle à partir du moment où nous avons disposé d'appareils délivrant des signaux codés utilisables par l'informatique. Dans quelques cas, nous avons corrigé les données de la commande numérique pour tenir compte des erreurs systématiques des machines et améliorer leur précision.

Nous avons automatisé le programme de contrôle des machines à commande numérique, la saisie des valeurs mesurées, le traitement et la présentation des résultats.

Nous souhaitons en faire de même pour les contrôles géométriques.

Nous sommes tributaires de l'évolution des appareils car il faut que ceux-ci délivrent des informations utilisables directement par nos moyens informatiques et, si possible, en temps réel.

Nous avons expérimenté deux matériels nouveaux mais les résultats ne sont pas encore tout à fait ceux que nous attendions. L'arrivée sur le marché des théodolites automatiques nous donne de l'espoir et nous nous intéressons de près à la micro triangulation à trois dimensions. Il n'est pas défendu d'espérer que nous pourrions résoudre nos problèmes dans un proche avenir.

CONCLUSION

En espérant que vous gardiez du Creusot l'image d'une industrie moderne prête à assimiler de nouvelles grandes innovations, solide de la qualité de ses racines bicentennaires, je vous remercie de l'avoir choisi, en ce moment de nos difficultés, pour conduire vos travaux*. Je vous redis tout l'intérêt que nous portons aux sujets du colloque. Je souhaite que vos travaux combler les attentes de chacun et je remercie particulièrement les organisateurs et les conférenciers, pour les travaux de valeur qu'ils veulent bien mettre à notre disposition.

En souvenir de ce passage au Creusot, qu'il me soit permis de remettre à votre Association le sceau de la Fonderie Royale et l'un des premiers plans de la ville et de l'usine signé par l'un des nombreux géomètres topographes qui ont jalonné l'histoire du Creusot.

* Difficultés qui ne doivent pas entacher l'image de marque de ce site qui a été et restera un haut lieu du monde industriel.



Sceau de la Fonderie Royale du Creusot remis au Président VINCENT.

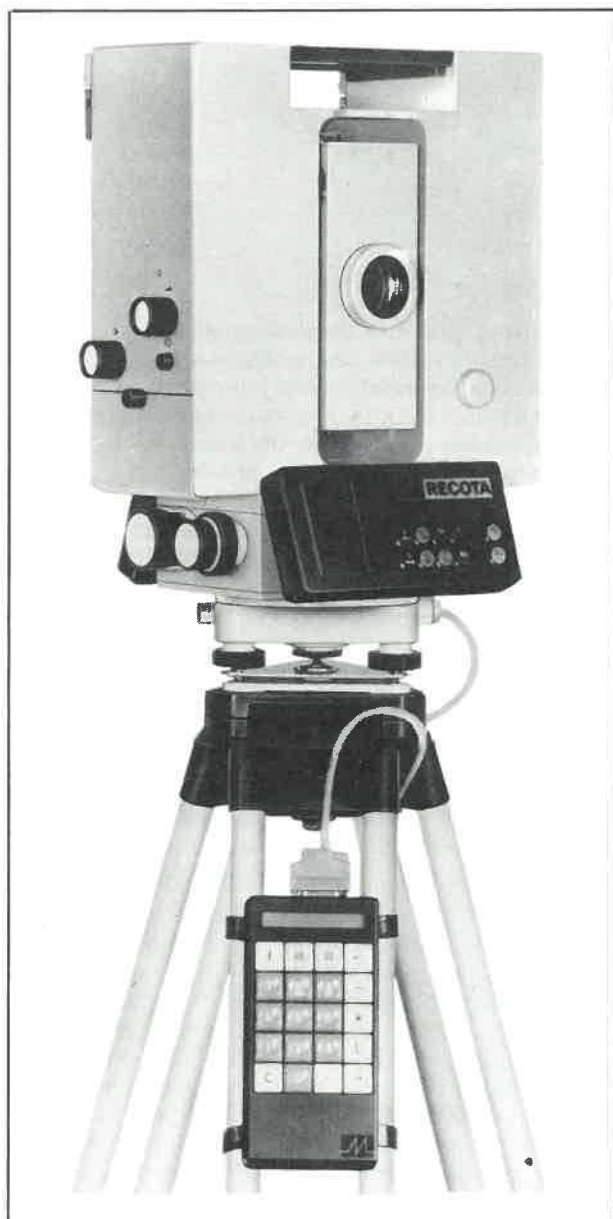
1983 : 75 années d'expérience !

RECOTA



TACHEOMETRE ELECTRONIQUE

*POUR RENTABILISER ET FACILITER TOUS
VOS TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES*



Système de mesure et de saisie automatique des données du terrain.

Calculs topographiques, géodésiques et piquetage avec calculateur intégré.

Enregistrement sur système "MICRONIC" 48 K à mémoire vive CMOS.

Cassettes complémentaires de transfert "MEMPAC".

Traitement sur micro-informatique courante — V 24/RS 232 C.

Distances jusqu'à 3000 m
angles affichés à 0,0001 G.

DE MULTIPLES POSSIBILITES AU PLUS JUSTE PRIX

Garantie totale 1 ANNEE
Service après-vente assuré par
nos ateliers à Paris.

Demander offre et documentation, démonstration aux agents généraux

COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE

48, Bd de la Bastille 75012 PARIS — ☎ 344.12.34
Télex : COGEPHY - 220 231

Analyse de précision du système de mesure 140 AGA GÉODIMETER

*Extrait de la revue
"Der Vermessungsingenieur 6/83 (RFA)"
"L'ingénieur Géomètre 6/83"*

*Ing. Dipl. I. Farhur
Prof. Dr. Ing. H. Kapelle
Prof. Dr. Ing. E. Jacobs*

Introduction

Étant donné l'étendue de l'offre et le besoin partiellement saturé en la matière, les nouveaux appareils de mesure de distance électroniques ne peuvent trouver une place sur le marché que :

- s'ils répondent aux exigences de plus en plus grandes de la pratique en ce qui concerne une communication avec le système de mesure,
- s'ils respectent le tout dernier niveau de la technique de l'électronique, en ce qui concerne l'exactitude de la mesure de distance et d'angle,
- s'ils présentent un bon rapport qualité/prix, alors qu'ils possèdent une amélioration notable sur le plan technique par rapport aux autres appareils.

La société AGA OPTRONIK, filiale d'AGA GÉOTRONICS — Allemagne Fédérale, depuis l'année dernière, offre comme station complète, le Géodimeter 140, système de mesure, qui présente un confort maximum sur le plan du travail, équipé d'un système de mesure angulaire nouveau, et qui a été fortement amélioré au niveau de l'exactitude de la distance mesurée. Nous décrirons dans ce qui suit la conception et la fonction de l'appareil, ainsi que les résultats d'analyse, qui pourront illustrer l'exactitude et les possibilités d'application de ce système de mesure.

Description de l'appareil

Le nouveau système Géodimeter est composé de l'instrument de mesure propre et de l'appareil d'enregistrement Geodat. Ce système permet, en se basant sur la prise en compte automatique de tous les défauts de collimation verticale et horizontale, de

tourillonnement et de nivellement, de réaliser toutes les mesures dans une position de lunette, de telle sorte que des rendements journaliers élevés peuvent être atteints. En cas de mesure sur réflecteur, il existe superposée au faisceau de travail électronique une communication de parole unilatérale avec le support du réflecteur, ce qui accélère également les travaux d'implantation. La totalité des données de mesure peuvent être mémorisées immédiatement grâce au système d'enregistrement des données Geodat, et après achèvement des travaux sur le terrain, peuvent être restituées sur une imprimante, par un interface RS232/V24 standard ou entrées dans un ordinateur, ou retransmises sur des cassettes digitales, en vue d'une exploitation ultérieure. Pour des calculs immédiats sur le champ, les données de mesure peuvent être entrées par un interface, directement de l'instrument de mesure dans le minicalcateur (par exemple HP41) disponible à cet effet.

La forme externe de l'appareil de mesure correspond à celle d'un théodolite compact. Pour le nivellement, on utilise une nivelle sphérique (10'/2mm), une nivelle cylindrique (22"/2mm) et un capteur d'inclinaison/clinomètre, qui enregistre l'inclinaison de l'axe vertical dans le sens de collimation et en sens transversal, dans une plage de $\pm 0,1$ gon, avec une exactitude de $\pm 0,1$ mgon, et qui compense sur le plan du calcul au moyen d'un microprocesseur. Le nivellement de l'appareil est ainsi fortement simplifié et stabilisé. Pour le centrage on ne dispose, cependant, que d'un plomb optique sur trépied.

La lunette excentrique déterminée par la construction (agrandissement 30 fois, 40 mm d'ouverture d'objectif) permet de viser à partir de 1,3 m dans une plage de distance zénithale de 56-155 gon, un viseur

dioptre pour une visée grossière assurant ici un service tout à fait fonctionnel.

Les dispositifs de mesure angulaire des arcs gradués verticaux et horizontaux sont formés d'une construction totalement nouvelle, mesurant chaque fois, en intégrant un champ haute-fréquence électrodynamique, sur la totalité du cercle gradué (surface averaging electro-dynamics high frequency device).

Ces dispositifs permettent, avec des dimensions et poids faibles, d'éliminer tous les défauts possibles d'excentricité et de graduation, et apportent des divergences de standards, pour chaque direction orientable au choix, qui sont inférieures à 0,6 mgon. Puisqu'il n'existe pas d'éléments de construction en verre, ces dispositifs sont insensibles aux influences externes, telles que l'humidité, la poussière, etc...

Le dispositif de mesure de distance évite la synchronisation optique, au moyen du système de mesure optique biaxial. La divergence du faisceau de rayons comporte 2,5 mrad ou 25 cm/100 m. Dans de bonnes conditions de visibilité, on peut mesurer au moyen d'un prisme, des distances allant jusqu'à 2 500 m et au moyen de 8 prismes, jusqu'à 5 500 m.

Tout comme la lunette optique, le dispositif de mesure de distance est situé avec une très faible excentricité par rapport à l'axe de renversement, ce qui est pris en compte en utilisant un prisme et voyant correspondants. La mesure de distance n'est cependant possible que dans la position I de la lunette. La commande du microprocesseur permet l'exécution de la mesure de distance en mode standard, en procédé tracking et en mesure permanente, de faire la moyenne (mode D), avec une indication de la distance sur un dixième de millimètre, ce qui est absolument justifié, eu égard à l'exactitude de mesure de l'appareil (comparer avec le paragraphe 4).

Il est naturellement possible de réaliser une réduction interne à l'appareil des distances mesurées en incliné, sur l'horizontale, ainsi qu'une détermination de la différence d'altitude, en tenant compte des phénomènes de réfraction et de courbure de la terre.

Pour obtenir une visée maximale, l'intensité du signal réfléchi est indiquée par un signal sonore, réglable, d'intensité variable, et également par la déviation d'un uvernètre.

Une diode dans le display indique si le signal est reçu ou non. Le travail est simplifié par un microphone incorporé, au moyen duquel on peut transmettre les instructions à l'auxiliaire de mesure, sur le réflecteur. Étant donné que ceci est effectué sur le faisceau de mesure modulé, il n'est pas nécessaire d'obtenir à cet effet une autorisation du service des postes ou des organes officiels.

Le microprocesseur incorporé teste, au début des mesures, la totalité du système et donne des indications sur les sources éventuelles de défauts. Il peut permettre diverses unités de mesures, apporter des améliorations au niveau des défauts des instruments et des conditions de mesure, et indiquer les différen-

ces trop importantes en cas de double mesure, ceci n'étant pas réalisé au moyen d'une indication d'erreur, mais par un signal acoustique.

Les appareils d'indication et de commutation disposés sur la plaque frontale permettent un service rationnel du géodimètre 140. Le display à 8 chiffres, encore équipé de diodes LED en raison du pouvoir de réaction plus rapide, permet d'indiquer, à la suite, la direction observée, la distance zénithale et le type d'éloignement sélectionné.

Il permet également l'indication de défaut d'axes de collimation et d'axes de renversement, et des signalisations de défauts.

Par un potentiomètre rotatif, on peut régler la valeur ppm et par un bouton rotatif, les procédures de mesure et les types de réduction. Des commutateurs, moins souvent utilisés, pour la sélection de l'unité de mesure de longueur et l'unité d'angle, ainsi que pour le réglage du sens de départ des cercles sont disposés en d'autres endroits, facilement accessibles.

L'unité de mémorisation Geodat est une mémoire électronique qui enregistre les données de mesure et les numéros de points et permet de transférer des informations au géodimètre. On peut ainsi, depuis le clavier, enclencher ou déclencher le compensateur d'axe vertical, ou entrer une constante d'addition modifiée. Le Geodat dispose d'une mémoire de 32 kbytes, ce qui permet de mémoriser des numéros de points ; direction, distances zénithales et éloignement mesuré pour 700 à 1 000 points de terrain.

Comme batterie, on dispose d'accumulateurs NiCa rechargeables, avec une tension de 12 V et une capacité de 2 ou 6 Ah. Lors d'une consommation d'énergie d'environ 12 W, on peut donc les utiliser pendant 2 à 6 heures. La possibilité de démarrer la mesure en appuyant un bouton sur la batterie est également un avantage, ce qui évite de toucher la partie supérieure.

3. CALIBRAGE DE L'ÉLÉMENT DE MESURE DE LA DISTANCE

Chaque appareil EDM présente des propriétés particulières connues, et qui influencent les valeurs de mesure. Si on les utilise pour corriger les valeurs de mesure, l'exactitude du système pourra en être accrue d'une façon non négligeable (1). Les corrections spécifiques aux appareils sont obtenues uniquement par un calibrage détaillé de la partie de mesure de la distance, cette correction ou calibrage devant s'étendre au facteur d'échelle et plus particulièrement à la constante d'addition.

3.1 Analyses du facteur d'échelle

L'échelle d'un appareil de mesure de distance électro-optique est déterminée, comme on le sait, par la longueur d'onde de mesure de précision, donc, à la vitesse de la lumière connue, par la fréquence de cette onde de mesure de précision. Cette dernière, pour le géodimètre 140, est de $f = 14\,985\,523$ hz, ce qui correspond, pour une longueur d'onde porteuse de λ . Tr = $0,91\ \mu$ à d'une atmosphère standard, avec l'indice de réfraction $n = 1,000275$.

Si l'atmosphère de mesure réelle diverge de cette atmosphère standard, les résultats de mesure doivent être corrigés au moyen de la correction atmosphérique (première correction de vitesse), qui, pour un géodimètre 140, peut être prise en compte au moyen de l'équation

$$V_{\text{atm}} = 275,0 - 79,55 \frac{P}{273 + t} \quad (\text{mm/km})$$

ou, en cas de réglage correspondant du commutateur de sélection ppm, par une modification de la fréquence de modulation interne à l'appareil.

Pour analyser les défauts d'échelle de l'appareil, et pour contrôler la constance de l'échelle en cas de modifications des conditions de température, l'onde de mesure de précision émise est enregistrée, à des températures d'appareil variables sur une photodiode (1), (2) et est envoyée sur un compteur de fréquence. Dans les cas individuels, on obtient alors le défaut d'échelle suivant l'équation

$$M = \frac{-f_0 - f_{\text{mes}}}{f_0} \cdot 10^6 \quad (\text{mm/km})$$

dans laquelle $f_0 = 14\,985\,523$ Hz et f_{mes} = fréquence mesurée en Hz

Dans l'appareil que nous avons testé, nous avons obtenu pour la température standard $t_0 = 15^\circ\text{C}$, un défaut d'échelle de $M_0 = -1,0$ mm/km.

Pour la plage de température de $+5$ à $+30^\circ\text{C}$, on a découvert des divergences significatives, mais cependant négligeables pour les travaux pratiques, et inférieures à 1 mm/km. En position 0 du commutateur de sélection ppm, on calcule donc, pour l'appareil EDM analysé, la correction d'échelle en fonction de la longueur + correction atmosphérique d'une atmosphère de mesure donnée suivant :

$$V_m + V_{\text{atm}} = 274,0 - 79,55 \frac{P}{273 + t} \quad (\text{mm/km})$$

dans laquelle P = pression de l'air en mb, t = température de l'air en $^\circ\text{C}$.

3.2 Analyse de la constante d'addition

Pour la constante d'addition, on devra déterminer les éléments de l'équation (1) $A = A_0 + A\varphi + A_s$, dans laquelle A_0 = constante d'addition, $A\varphi$ = amélioration cyclique d'addition, A_s = correction de l'addition en fonction de la distance.

L'analyse de l'amélioration cyclique additionnelle $A\varphi$ a eu lieu au moyen d'une règle de mesure de 12 m de long, avec des intervalles de séparation pratiquement sans défauts de 50 cm pour la plage de mesure de 0,2 à 11,5 m et 50,1 à 61,4 m. Les variations se situent pratiquement uniquement dans une plage de $\pm 0,5$ mm et sont donc très petites et de ce fait négligeables. Pour des mesures de plus grande précision, nous recommanderions une correction suivant l'équation :

$$A\varphi = 0,3 \cdot \sin\left(\frac{D - n \cdot 10 - 6,0}{10} \cdot 2\pi\right) \quad (\text{mm})$$

Les parties A_0 et A_s de la valeur additionnelle peuvent être déterminées d'après les mesures ultérieures mentionnées au paragraphe 4.3 de 19 segments comparatifs, de 0,2 à 850 mètres de longueur, et dont les longueurs vraies S ont été déterminées par des mesures micrométriques répétées. D'après (1),

$$A_0 + A_s = S - (S_{\text{mes}} + V_m + V_{\text{atm}} + A\varphi)$$

Les résultats ne montrent aucune dépendance significative de la distance, de telle sorte que $A_0 = 0$ et $A_s = 0$.

La valeur additionnelle de l'appareil analysé deviendra donc, généralement

$$A = 0 + 0,3 \cdot \sin\left(\frac{D - n \cdot 10 - 6,0}{10} \cdot 2\pi\right) \quad \text{mm}$$

3.3. Influences des inhomogénéités de phases

Les manques d'homogénéité de phase de la diode d'émission peuvent influencer les résultats de mesures de distances électro-optiques lorsque les mesures sont réalisées dans les plages différentes du lobe de rayonnement émetteur (2). Ceci est certainement le cas pour des distances différentes ; lorsque un décalage apparaît entre l'axe de collimation optique et électronique de l'appareil, on se trouve aussi en présence de ce phénomène. Pour constater ces influences, appelées également inhomogénéités de phases, on a effectué des mesures comparatives suivant un quadrillage sur la totalité de la surface de réflexion, la distance entre l'appareil EDM et le réflecteur étant de 31,5 mètres. Les résultats montrent des variations très faibles, qui dans la zone centrale, sont inférieures à 0,5 mm, et dans les zones périphériques du réflecteur, peuvent atteindre 1,5 mm. On peut, sans nul doute, considérer que la grande exactitude de mesure de cet appareil géodimètre 140 analysé dépend essentiellement de la qualité exceptionnelle des diodes émettrices et réceptrices.

4. ANALYSES D'EXACTITUDE

Les précisions de mesure du géodimètre AGA, système 140 sont indiquées par le fabricant de la manière suivante :

Divergence standard de la mesure de direction
 $m_r = \pm 0,6$ mgon

Divergence standard de la mesure de distance
 en mode normal $m_s = \pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$
 en mode D (formation de la moyenne glissante)
 $m_s = \pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$
 en fonction tracking : $m_s = \pm (20\text{mm} + 5\text{ppm})$

Ces précisions correspondent aux conditions normales et courantes d'exactitude d'appareils comparables et montrent également cette différence cou-

rante et insatisfaisante entre la précision de mesure de la distance et la précision de mesure d'angle. En cas de détermination du point de mesure polaire, ceci devant rester le domaine d'application principal de telles stations totales, et en cas de définition d'une distance test d'environ 60 m, la précision de détermination des points mesurés en sens transversal du faisceau de visée est alors de $m_q = +$ ou $- 0,6$ mm, et dans la direction du faisceau $m_s = \pm 5$ mm. (Donc le rapport $m_q : m_s$ est d'environ 1 : 10). Ces précisions peuvent être considérées comme absolument suffisantes pour des travaux de mesure normaux.

Cependant pour des travaux géodésiques, l'insécurité relativement importante au niveau de la mesure de la distance est considérée comme très perturbatrice, d'autant plus qu'il s'agit pour ces indications de précision, d'erreurs moyennes quadratiques et non de barrières limites d'erreurs.

Les résultats du calibrage (voir paragraphe 3) et les analyses suivantes indiquent cependant que le dispositif de mesure de distance du géodimètre 140 peut être amélioré de façon notable et que les indications du fabricant citées ci-dessus ne prennent pas ces améliorations en compte.

4.1 Exactitude de la mesure de direction

Pour déterminer le défaut de direction moyen, on a réalisé, sur plusieurs jours de travail, et à des conditions atmosphériques différentes, chaque fois 5 jeux de directions dans une position de lunette, avec compensation automatique des défauts d'axes du théodolite en 4 points de visée nettement marqués.

a) à des distances d'environ 50 m

b) à des distances d'environ 200 m

Les défauts de direction résultant de ces mesures étaient de $\pm 0,35$ mgon et $\pm 0,32$ mgon. La moyenne $m_r = \pm 0,34$ mgon se situe donc clairement à l'intérieur de la spécification du fabricant.

4.2 Précision de la détermination de coordonnées des points par relevé polaire

Pour déterminer l'exactitude normale de relevé, on a simulé un champ de points local de 13 points de relevé, par des trépieds installés au choix. Ces points ont été déterminés depuis des points fixes A et E, chaque fois selon le procédé courant de relevé polaire tridimensionnel des coordonnées (mesure dans une position de lunette avec compensation automatique des défauts d'axes, correction atmosphérique directe et interne à l'appareil et correction d'inclinaison des segments obliques mesurés ainsi que calcul direct des coordonnées x, y et z par mini-calculateur HP 41 (incorporé). On pouvait alors considérer les points A et E (poteaux en béton avec centrage forcé) comme ne présentant pratiquement aucun défaut.

On a alors déterminé les défauts moyens de détermination depuis les différences de coordonnées Δy ,

Δx , Δz de ces relevés doubles.

$m_y = \pm 0,9$ mm, $m_x = \pm 0,9$ mm et $m_h = \pm 1,0$ mm

Le résultat démontre clairement qu'on a réussi, au niveau de ce poste de mesure, à éliminer cette différence jusqu'alors existante entre l'exactitude de mesure de la distance et l'exactitude de mesure de la direction, ceci, sans diminuer inutilement l'exactitude de mesure de la direction, mais, au contraire, en augmentant notablement l'exactitude de mesure de la distance.

Dans la disposition choisie du champ ponctuel, on aurait dû découvrir les insécurités au niveau de la mesure de distance, et ceci très clairement dans un défaut moyennement grand m_y .

Il est indiscutable que ces précisions de déterminations élevées ne sont pas nécessaires pour des tâches normales d'un géomètre. On notera cependant que ces précisions ne nécessitent pas des dépenses importantes, de telle sorte qu'en cas normal, elles peuvent être considérées comme un adjuvant agréable, et que d'autre part, une utilisation du système pour des mesures de précision géodésiques est ainsi autorisée.

4.3 Exactitude de mesure absolue

Pour l'analyse de l'exactitude de mesure absolue, on a mesuré avec l'appareil 140 calibré 19 segments comparatifs connus, entre 0,2 et 850 m de longueur dans le mode D (calcul de la moyenne pendant une durée d'environ 15 s de mesure). Les longueurs vraies de ces segments avaient été déterminées, jusqu'à 10 m sur une règle de mesure, au moyen d'un microscope de mesures d'outils, et au-dessus, au moyen de mesures micrométriques répétées.

La comparaison des valeurs de mesure, avec toutes leurs corrections, avec les valeurs vraies, a montré une exactitude surprenante de l'appareil.

Comme on pouvait s'y attendre, les plus grandes différences apparaissent pour les plus grands segments, en raison des conditions atmosphériques. Pour des segments inférieurs à 100 m, les différences absolues se situent dans une plage de 0,6 mm maximum, ce qui permet l'utilisation de l'appareil dans des mesures techniques nécessitant une grande précision.

On notera, en outre, que des distances extrêmement courtes, à partir de 0,2 m, peuvent déjà être mesurées avec une très grande précision. Sur la base de ces résultats, il n'existe donc aucun inconvénient à ce que l'appareil soit utilisé pour des mesures industrielles dans la construction des récipients, réservoirs, énergie électrique et thermique, constructions navales et aéronautiques.

4.4 Précisions de mesures de distances relatives pour déterminer des modifications

Les précisions de mesure élevées ont incité à analyser l'appareil en vue d'une application dans le contrôle des ouvrages de construction. Les tâches consistent essentiellement ici, en règle générale, à enregistrer les modifications, dans l'espace de points déterminés, avec la plus grande exactitude possible, pour un projet. Dans la forme la plus simple de telles modifications sont déterminées par des déterminations polaires répétées de marques de mesure concernées. Alors qu'ici, les composantes y et z peuvent être définies avec une exactitude suffisante par mesure angulaire verticale et horizontale, la détermination de la composante x en direction du faisceau de mesure présente d'énormes difficultés par suite d'une mesure de distance la plupart du temps, très incertaine.

a) Pour simuler de petites modifications d'objet, de courte durée, le réflecteur a été monté sur un chariot micrométrique, et décalé au moyen d'une vis micrométrique de distances mesurables, pratiquement sans erreurs, comprises entre 0 et 40 mm. Parallèlement à cette opération, les distances de décalage ont été déterminées au moyen du géodimètre 140, par des mesures comparatives, à un éloignement de 14 mètres. A partir des divergences des résultats de mesure de 15 valeurs de décalage, au total, on a obtenu la divergence standard d'une modification d'objet déterminée avec un système AGA 140

$$m \Delta_s = \pm 0,2 \text{ mm}$$

b) A une distance d'environ 55 m, les espacements de forage de centrage disposés sur une règle de mesure de 10 mètres de long, ont été mesurés avec une grande précision (espacements de 0,2 - 0,5 m) avec le système AGA 140. On peut ici aussi considérer les espacements des forages de centrage comme pratiquement sans défauts par rapport aux mesures électro-optiques. Depuis les différences de 24 valeurs de mesure, au total, on a obtenu la divergence standard d'une différence de longueur mesurée avec le géodimètre 140. Elle est de :

$$m \Delta_s = \pm 0,3 \text{ mm}$$

c) Les mesures de test mentionnées aux points a) et b) doivent être définies, en principe, comme des

mesures de courte durée. Les ouvrages d'ingénierie doivent être, par contre, contrôlés, d'une manière générale, sur des périodes de longue durée. De telles mesures peuvent être falsifiées par des dérives de constantes d'appareils influençant les valeurs de mesure, et qui ne peuvent être enregistrées par calibrage que jusqu'à un certain degré. Pour analyser ces influences, on a mesuré les longueurs de deux segments de mesure fixés par deux poteaux en béton avec centrages forcés de 50 et 100 m, sur plusieurs jours, toutes les 2 ou trois heures, avec le géodimètre 140 suivant le mode D. Les résultats individuels ont été corrigés uniquement avec la première correction de vitesse (amélioration atmosphérique). A partir des divergences par rapport aux valeurs moyennes, on a obtenu la divergence standard d'une mesure, égale à $m \Delta_s = \pm 0,2 \text{ mm}$

La plus grande différence de deux valeurs de mesure était, dans les deux segments, de 0,6 mm.

5. CONCLUSION

Nous venons de décrire la nouvelle station totale géodimètre 140, nous l'avons calibrée, et nous avons analysé son exactitude. Si on la compare à des appareils de même fonction, on peut considérer que dans le cas présent, l'exactitude de mesure de distance peut être accrue notablement, de telle sorte que cette station ne présentera plus cette différence jusqu'alors existante pour la plage normale de travail allant jusqu'à 200 m entre la précision de mesure de la direction et la précision de mesure de la distance.

La précision de mesure extraordinairement élevée permet d'utiliser cet appareil pour des tâches courantes de mesures, mais également pour des mesures de précision dans le domaine géodésique.

LITTERATURE

(1) Jacobs, E. : procédure de contrôle économique et conforme pour les appareils de mesure de distance électro-optiques, l'Ingénieur Géomètre, 1980, page 32 ff (Verm. Ing 1980, en Allemand).

(2) Schwarz, W : calibrage, appareil de mesure de distance électro-optique, Revue technique du géomètre, 1981, page 65 ff (Verm. Techn. Rundschau, en Allemand).