



Lantmäteriet
Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 12 GÄVLE · SWEDEN

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1984:15

ISSN 0280-5731

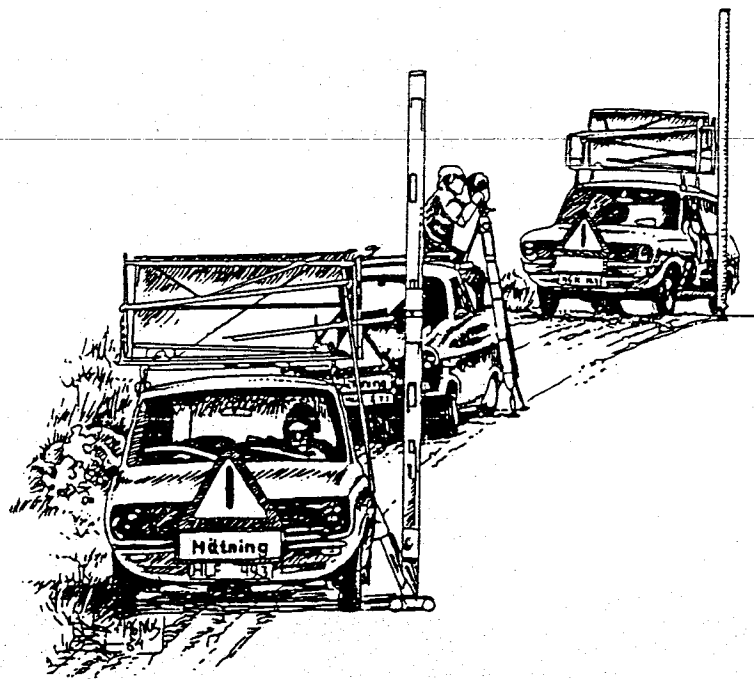
THE MOTORIZED LEVELLING TECHNIQUE THE SWEDISH EXPERIENCE

LA TECHNIQUE DU NIVELLEMENT MOTORISE L'EXPERIENCE SUEDOISE

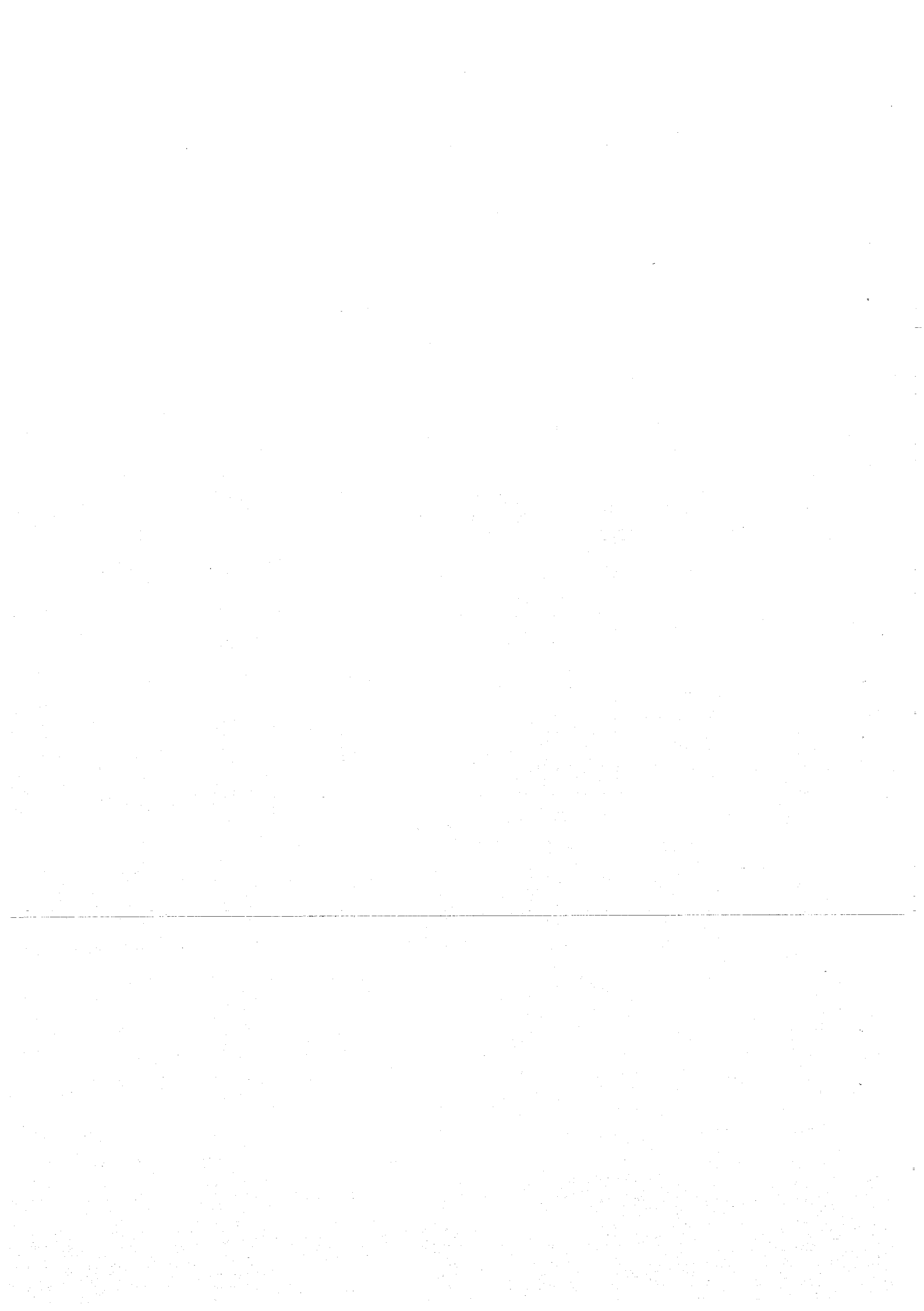
by

Jim Widmark, Director of the National Land Survey of Sweden (LMV)

Jean-Marie Becker, Head of Surveying Division



Gävle 1984



INDEX
TABLE DES MATIERES

		<u>Page</u>
1	Introduction	1
1	Introduction	1
2	The new levelling network	1
2	Le nouveau réseau de nivellement	1
3	Choise of a theoretical solution	2
3	Choix d'une solution théorique	2
4	Choice of a technical solution	3
4	Choix d'une solution technique	3
5	The motorized levelling technique	4
5	La technique du nivellement motorisé	4
5.1	Equipment and personnel	4
5.1	L'équipement et le personel	4
5.2	The work method	7
5.2	La méthode de travail	7
5.3	The observation and their registration	8
5.3	Les observations et leur enregistrement	8
5.4	The results obtained directly in the field	8
5.4	Les résultats obtenus directement sur le terrain	8
6	Analysis of the results	9
6	Analyse des résultats	9
6.1	Efficiency	9
6.1	Rentabilité	9
6.2	Quality of the results: accuracy	11
6.2	Qualité des résultats précision	11
6.3	The working conditions	12
6.3	Les conditions de travail	12
7	Conclusions	13
7	Conclusions	13
	Figurs	15
	Figures	15
	Tables	19
	Tableaux	19
	References	24

LA TECHNIQUE DU NIVELLEMENT MOTORISE

L'EXPERIENCE SUEDOISE

Jim WIDMARK, Directeur du Service Géographique National
du Suède (LMV)

Jean-Marie BECKER, Chef du Service Topographie

1. Introduction

Dés 1970 il fut constaté que le réseau national de nivellement composé de 3 ordres différents d'âges et de qualités fort variables ne répondait plus aux besoins et exigences de ses utilisateurs (services publics, privés et autres). Une analyse sur l'état des réseaux montra que:

- plus de 30% des repères étaient soit disparus soit détériorés,
- environ 30% des repères encore existant étaient inutilisables soit du fait de leur stabilité altimétrique insuffisante, soit encore à cause de l'imprécision de leur mesurage,
- le restant des repères de qualité acceptable était en général mal réparti géographiquement (inexistant dans certaines régions du pays) et difficilement accessibles pour ses utilisateurs (voies de chemins de fer).

Afin de remédier à cette situation, Le Service Géographique National de Suède (LMV = National Land Survey of Sweden) a dès 1973, entrepris des travaux en vue de l'établissement d'un réseau moderne de nivellement. Dans l'exposé qui suit nous parlerons de la solution adoptée par la Suède (= le nivellement motorisé) ainsi que des motifs à la base de ce choix. Finalement il est de mon intention de vous faire part de notre expérience dans ce domaine et des résultats acquis à ce jour.

2. Le nouveau réseau de nivellement

Les impératifs auxquels ce réseau devait répondre furent définis comme suit par un groupe de travail chargé des études préparatoires.
/31/

- homogénéité plus grande pour l'ensemble du territoire suédois c.à.d: à la fois en ce qui concerne la densité des points et de leur qualité,
- mailles plus petites (de l'ordre de 80 à 120 km) et densité supérieure (figure 1),
- densité plus grande des repères: distances entre repères de l'ordre de 0,8 à 1,2 km,
- augmentation de la stabilité des repères afin de garantir une meilleure conservation de leurs altitudes dans le temps (emplacements de préférence dans la roche),

THE MOTORIZED LEVELLING TECHNIQUE

THE SWEDISH EXPERIENCE

by Jim Widmark, Director of the National Land Survey of Sweden (LMV)

Jean-Marie Becker, Head Surveying Division

1. Introduction

As early as 1970 it was apparent that the national levelling network, which consists of three different orders of varying age and quality, did not meet user-needs and requirements. An analysis of the network showed that:

- more than 30% of the bench marks had either been lost or been damaged;
- about 30% of the existing bench marks could not be used because of their poor stability or the low level of accuracy;
- the remaining bench marks of acceptable quality were unevenly distributed over the country and even non-existent in some areas and could not easily be reached (location along railway tracks).

To remedy this situation, the National Land Survey of Sweden (LMV) in 1973 began a study with the goal of suggesting methods which would result in the establishing of a modern levelling network. In the following pages, I will deal with the solution adopted by Sweden (= motorized levelling) and the ground upon which this choice was made. Finally, I will inform you about our experiences and discuss the results which have been obtained so far.

2. The new levelling network

The working group responsible for carrying out the study made the following basic recommendations. The network should:

- be homogeneous both as far as the density and the quality of the bench marks are concerned;
- be made up of shorter circuits of between 80 to 120 km and with a greater density than in the existing network (figure 1);
- have a greater density of bench marks with a distance between the bench marks ranging from 0,8 to 1,2 km;
- only include bench marks which were carefully located and built so as to ensure their long-term stability (preferable location: in bed rock);

- transfert de toutes les lignes de nivellement le long des voies de chemins de fer aux voies routières (pour faciliter leur utilisation),
- augmentation de la précision des altitudes, l'erreur moyenne kilométrique devant être inférieure à ± 1 mm/km (standard international pour les réseaux de précision),
- l'ensemble des travaux devait être effectué avec la même technique.

En d'autres termes pour répondre aux exigences et impératifs fixés, il s'agissait d'effectuer environ 40 à 50 000 km de nivellement double dans un espace de temps d'environ 10 à 15 ans avec une solution technique adéquate, le tout avec des moyens financiers extrêmement réduits. (figure 2)

3. Choix d'une solution théorique

Différents modèles théoriques furent étudiés afin de trouver la solution la plus favorable. Parmi ceux-ci nous ne voulons rappeler ici que les deux plus intéressants:

Le premier modèle, de "type classique", consistait à conserver deux réseaux différents: un de 1er ordre et un de 2nd ordre, de qualités différentes. En principe il s'agissait d'une redéfinition et d'une modernisation des réseaux existants. Le réseau de 1er ordre serait doublé par une densification des lignes existantes afin d'atteindre environ 20 000 km d'envergure. Les travaux seraient, de façon "classique", effectués en deux étapes c.à.d: d'abord mesurage et compensation de réseau de 1er ordre et par la suite les travaux relatifs à celui de 2nd ordre et rattachement de ce dernier à celui de 1er ordre.

Les limites de tolérance pour les mesurages étaient fixées comme suit:

- pour le 1er ordre: $1 \sqrt{L}$ mm/km (avec L en km)
- pour le 2nd ordre: $4 \sqrt{L}$ mm/km

Le deuxième modèle était beaucoup plus "radical" et consistait dans la création d'un réseau "unique homogène entièrement nouveau ayant la même qualité dans son ensemble et ne tenant pas compte des réseaux existants. Les limites de tolérances proposées étant de: $2 \sqrt{L}$ mm/km.

A la suite de discussions approfondies c'est finalement le 2ème modèle qui fut adopté et ceci pour les motifs suivants:

- homogénéité plus grande pour l'ensemble du territoire tant au point de vue de la densité que de la qualité des points,
- livraison beaucoup plus rapide des résultats aux utilisateurs: de l'ordre de 3 à 5 ans au lieu de 10 à 15 années. Le premier modèle ne permettait aucune livraison avant que tous les travaux relatifs au réseau de 1er ordre étaient achevés,

The group recommended that:

- all new levelling lines should be located along roads (greater ease of access);
- accuracy. The mean error should be less than 1 mm/km (international standard error for precision networks);
- the same technique should be used for all levelling.

To meet these requirements a new precise levelling should be carried out of about 40 or 50 000 km, within a period 10 to 15 years, with an adequate technical solution and with extremely limited financial means (figure 2).

3. Choice of a theoretical solution

Different theoretical models were examined in order to identify the most favourable solution. Let us mention here the two most interesting models only:

The first model - of the classical type - comprising two different networks, i.e. a first order and a second order network. This model would, in fact, entail demarcation of new bench marks, densification and repositioning of many lines followed by a complete relevening of both existing and new bench marks. The first order network would be doubled through a densification of the existing lines, to a total length of 20 000 km. The work would be performed classically in two stages, i.e. first survey and adjustment of the first order network and afterwards operations relating to the second order network. The tolerance for the measurements was determined as follows:

- for the first order: $1 \sqrt{L}$ mm/km (L in km);
- for the second order: $4 \sqrt{L}$ mm/km

The second model was much more radical and consisted in the creation of one homogeneous network, which would be entirely new, of constant quality and fully independent of the existing networks. The proposed tolerance was: $2 \sqrt{L}$ mm/km.

After thorough discussions, the second model was finally adopted for the following reasons:

- greater homogeneity for the whole territory, both as far as the density and the quality of the points are concerned;
- much quicker availability of the results for the users: after about 3 to 5 years, instead of 10 to 15 years. With the first model the results could not be available before all the operations relating to the first order network were completed;

- prix de revient moins élevé du fait que: tous les travaux peuvent être accomplis simultanément, l'avancement journalier est supérieur à cause de limites de tolérances plus larges (=moins de remesurages), les erreurs sont plus faciles à identifier = recherche moins coûteuse.

4. Choix d'une solution technique

Jusqu'en 1973 tous les travaux de nivellement suédois avaient été effectués à l'aide soit de la technique du "nivellement à pieds" soit encore avec celle utilisant des "bicyclettes". Notre expérience avec ces deux techniques était grande. Un inventaire des techniques susceptibles à être utilisées pour la réalisation de notre projet, nous mis en contact avec une nouvelle technique: celle du "nivellement motorisé". Cette technique développée en DDR, sous l'égide du Pr. Peschel, avait donné des résultats fort prometteurs tant au point de vue qualitatif que quantitatif. /3, 15, 16, 23/

Une étude comparative de ses résultats avec ceux réalisés par les autres techniques connues à l'époque montrait que la technique du "nivellement motorisé" présentait des avantages indéniables. /4/

Suite à ceci il fut décidé se mettre en place une équipe motorisé dans le but d'étudier cette technique, d'acquérir de l'expérience avec celle-ci, de vérifier ses résultats et si possible l'améliorer. Au congrès de la FIG à Stockholm, en 1977, les premiers résultats de nos essais avec cette technique, furent publiés. /5, 30/

Ces résultats se rapportaient avant tout à des travaux relatifs au réseau de 2nd ordre, par la suite nos essais se concentrèrent sur le 1er ordre et les problèmes s'y rattachant.

Des travaux similaires et aux mêmes fins furent également entrepris soit séparément, soit en collaboration avec d'autres pays et spécialement les pays scandinaves tels que le Danemark et la Norvège. /1, 2, 6, 7, 28/

Le but de ces recherches était double. D'une part de voir son comportement (ses possibilités d'utilisation) sous les conditions les plus diverses de travail spécifiques à la topographie et aux réseaux routiers de ces pays:

DANEMARK = terrain plat, trafic intense;

NORVEGE = terrain très mouvementé, trafic minime, routes étroites;

SUEDE = un mélange de tous genres.

- lower cost price, because: all the operations can be executed simultaneously; the daily progress is larger owing to the greater tolerance (= less remeasurements); errors can be detected more easily = less expensive search.

4. Choice of a technical solution

Up to 1973 all Swedish levelling operations had been executed with the help of either the Foot Levelling Technique, or the Bicycle Levelling Technique. We had much experience in both techniques. When studying the different techniques which could be used to carry out our project, we became particularly interested in a new technique, namely the motorized levelling technique. This technique, which had been developed in the Democratic Republic of Germany under the leadership of Professor PESCHEL, had yielded results that were full of promise both from a qualitative and from a quantitative point of view (3, 15, 16, 23).

A comparison of the results obtained using this technique with those achieved using other techniques in use at that time had shown that the motorized levelling technique offered undeniable advantages (4).

Therefore we decided to create a motorised unit in order to experiment with this technique, to acquire experience and to verify its results and, if necessary, to improve it. The first results of our tests with this technique were published in 1977, at the IFS - Conference in STOCKHOLM (5, 30).

These results mainly referred to second order network operations. Later on, our tests were concentrated on the first order network and related problems.

Similar research has also been undertaken either independently, or in cooperation with other countries, especially Scandinavian countries such as DENMARK and NORWAY (1, 2, 6, 7, 28).

The object of this research was twofold. On the one hand, to study the "behaviour" of the technique (= its possibilities of use) under the very varying working conditions which are specific to the topography and road system of those countries:

DENMARK = flat ground, heavy traffic;

NORWAY = very undulating ground, little traffic, narrow roads;

SWEDEN = a mixing of those features.

D'autres études et tests s'attachaient aux problèmes relatifs aux erreurs de nivellement, leur détection et les moyens de soit les éliminer ou encore de les minimiser. /21, 22, 24, 25, 29/.

Au cours de cette période préparatoire plus de 10 000 km de nivellement de précision furent effectués avec cette technique du "nivellement motorisé". L'ensemble des résultats a fait l'objet d'un grand nombre d'analyses à la fois en Suède et à l'étranger. /8, 22/

Les conclusions tirées de l'ensemble de ces tests et analyses ont confirmés ceux publiés auparavant notamment que la technique du nivellement motorisé était la plus appropriée pour l'établissement d'un nouveau réseau de nivellement moderne. /9, 10/

5. La technique du nivellement motorisé

Cette technique a été amplement décrite dans bon nombre de publications /4, 8, 17, 20, 27/ c'est pourquoi nous nous contenterons d'en rappeler uniquement ses détails caractéristiques.

Des essais d'utiliser des véhicules pour les opérations de nivellement, ont été effectués dans de nombreux pays avec plus ou moins de succès. Le but primordial recherché était avant tout d'augmenter la rapidité des opérations afin de diminuer les frais tout en conservant la précision des résultats. Les efforts d'automatisation se sont fait en plusieurs étapes et à l'aide de moyens de transport divers tels que: vélos, mobylettes, motos, camions, draines et automobiles. Les solutions techniques existantes peuvent être rassemblées en deux groupes distincts. Dans le premier groupe que nous appellerons "semi-motorisé" les véhicules ne sont utilisés que pour le transport du personnel avec son matériel de station en station. Les observations se font de façon classique à l'écart des véhicules comme lors du nivellement à pieds. /7, 9, 11, 19, 26/

Avec la technique du nivellement "motorisé" l'ensemble des opérations s'effectue directement à partir des véhicules sans que les opérateurs quittent leurs places dans ceux-ci, seule exception à cette règle les rattachement aux repères.

La motorisation "totale" n'a en fait été possible que grâce: en premier lieu certaines modifications et accessoires aux véhicules, et en second lieu grâce à l'utilisation d'un niveau spécialement conçu à ces fins: le Ni002 de Carl Zeiss Jéna.

5.1. L'équipement et le personnel

Une équipe de nivellement du type "motorisé" comprend 4 personnes (2 opérateurs géomètres faisant office alternativement d'observateur et de secrétaire, et de 2 aides porte-mires) disposant de 3 véhicules (1 véhicule porte-instrument et 2 véhicules porte-mires).

On the other hand, to study problems relating to levelling errors, their detection and means to either eliminate or minimize them (21, 22, 24, 25, 29).

During the preparatory period, more than 10 000 km were levelled with the help of the motorised levelling technique. The results were used for a large number of analyses both in SWEDEN and abroad (8, 22).

The conclusions drawn from these tests and analyses confirmed those which had been published earlier namely, that the motorized levelling technique was the most appropriate technique for the establishment of a new, modern levelling network (9, 10).

5. The motorized levelling technique

This technique has been fully described in several publications (4, 8, 17, 20, 27). Therefore, we will only mention its essential characteristics.

Tests using vehicles for levelling operations have been performed in many countries more or less successfully. Their principal aim was to accelerate the rythm of the operations in order to reduce the expenses without reducing the accuracy of the results. The automation process has developed in several stages and with the help of various means of transport such as: bicycles, motor cycles trucks, trolleys and cars. The existing technical solutions fall into two distinct groups: semimotorized techniques and fully motorized techniques. With the semimotorized techniques, the vehicles are only used to transport personnel and equipment between set-ups. The observations are carried out in a classical way as is the case with the foot levelling technique.

With the motorized levelling technique, all work is performed directly from the vehicles. The operators do not leave their seats. The only exception to this rule is when connecting to bench marks.

The complete motorization of levelling techniques was made possible by the development of the specially designed ZEISS JENA Ni002 reversible compensator level; but also required modification of vehicles and the construction of special accessories.

5.1. Equipment and personnel

A motorized levelling party consists of four persons (two surveyors-operators acting alternatively as observer and booker and two assistants staff men, and three vehicles (one vehicle carrying the instrument and two vehicles carrying the staffs)).

Les 3 véhicules sont dotés :

- d'un télémètre électronique de précision, type Digitrip, permettant des déplacements précis et garantissant l'égalité des portées avant et arrière pour chaque station,
- d'un appareil d'enregistrement électronique, type Micronic 445 (data stack) préprogrammé à l'avance servant au captage-stockage des informations intéressantes en cours d'opération,
- d'un ensemble de signalisation (panneaux et feux clignotants) conforme aux normes et directives de la Prévention Routière,
- d'un certain nombre de pièces de rechange.

Les accessoires et modifications spécifiques au véhicule instrument sont :

- un trou dans sa plate-forme arrière pour le libre-passage d'une des jambes du trépied (mise en station sans contact avec le véhicule),
- un système d'élévation (vérin mécanique -hydraulique- ou autre) permettant de soulever - abaisser l'ensemble trépied-niveau en cours d'opérations (déplacements-mise en station),
- un toit en toile démontable pour la protection contre le vent, la pluie et le soleil,
- un système de communication radio (interphone) pour faciliter l'échange d'informations entre le secrétaire et l'observateur,
- un trépied spécial à longues jambes coulissantes, munies de pieds spéciaux: plaques rondes articulées pour diminuer les effets d'enfoncement,
- un système de calage grossier rapide pour faciliter la mise à l'horizontale du niveau,
- un trépied supplémentaire type classique pour les raccordements impossibles directement depuis le véhicule,
- un thermomètre électrique pour l'enregistrement de la température de l'air ambiant,
- une table de travail (remplaçant le siège du passager) adaptée aux besoins du secrétaire (Micronic, imprimante, carnets, documents et carte,
- une imprimante couplée au Micronic pour l'enregistrement simultané de toutes les données (doublement et contrôle).

The three vehicles are equipped with:

- a precision electronic trip meter, Digitrip type, to facilitate selection of set-up points and guaranteeing equal fore- and backsights at each set-up;
- an electronic recorder, Micronic 445 Type, (data log) preprogrammed, used to collect and store observed and other necessary data;
- a set of warning signs (boards and flashing-light signals) in conformity with the rules and directions given by the Office for the Prevention of Road Accidents;
- some spare parts.

Accessories were specially constructed and the vehicle carrying the instrument was modified:

- a hole in the rear-platform for one of the legs of the tripod (set-up without contact with the vehicle);
- a lifting device (mechanical, hydraulic or other kind of jack) to lift up or lower the tripod and instrument (movement between set-up);
- a removable linen roof for protection against wind, rain and sun;
- a radio communication system (interphone) to facilitate the exchange of information between the booker and the observer;
- a special tripod with long adjustable legs and special feet (articulated round plates to reduce the sinking effect);
- a quick-setting device to facilitate the levelling of the level;
- an additional tripod of the classical type for use when connections cannot be made from the vehicle;
- an electric thermometer for the registration of air temperature;
- a desk (replacing the passenger's seat) specially designed (Micronic, printer, note-books, documents and map);
- a printer coupled to the Micronic for the simultaneous print-out of all data (doubling and control).

Les accessoires des véhicules porte-mires sont:

- une porte de travail facilitant les manoeuvres du porte-mire (la porte d'origine modifiée, sa partie supérieure pouvant être enlevée lors des mesurages),
- un système de suspension et d'élévation de la mire permettant de manoeuvrer la mire lors de la mise en station et des transports,
- un crapaud spécial lourd avec poignée doté d'un têt on en acier,
- une mire de précision, avec ruban-invar, de 3,5 m de longueur à double graduation centimétrique commençant à 0,5 m. Chaque mire est dotée de certains accessoires; crochet de suspension à la porte, écrou d'attache à la rotule du bras de manoeuvre, cercle de centrage à son embase d'assise, trois nivelles à miroirs orientables de sortes que deux soient toujours visibles simultanément, deux senseurs thermo-électriques accolés sur le ruban-invar pour l'enregistrement de ses températures,
- une mire supplémentaire courte pour les rattachements difficiles: type repères placés dans des immeubles avec corniches surplombantes,
- crapaux classiques, piquets en fer etc.

Le Niveau: Ni002 de Carl Zeiss Jéna: /13/

Cet instrument est un niveau automatique de haute précision spécialement construit et adapté pour le nivellement motorisé. A ces fins il a été doté:

- d'un oculaire mobile donnant une image droite de la mire,
- de vis de commande placées symétriquement,
- d'un pendule réversible travaillant dans deux positions symétriques et donnant un horizon quasiabsolu,
- d'un réticule centré sur l'objectif,
- d'un index micrométrique séparé solidaire des mouvements verticaux de l'objectif,
- concentration dans l'oculaire des images de la mire, de la bulle et de l'échelle micrométrique.

Cet instrument grâce aux nouveautés apportées à sa construction, marqua une étape décisive dans la "motorisation totale" du nivellement. En effet, son oculaire mobile permet d'effectuer des visées en tour d'horizon de la même station debout de l'observateur (indispensable du fait du peu de place disponible); son pendule réversible éliminant les contraintes imposées par l'égalité des visées avants et arrières (difficilement réalisables avec des véhicules).

The vehicles carrying the staffs were specially equipped

- a specially modified door to facilitate the movements of the staff-holder (modification of the original door: its upper part can be removed during the measurements);
- a mounting system allowing movement of the staff during set-up and transport;
- a special, heavy base plate;
- a precise levelling staff with an invar inset. This staff is 3,5 m long and has double graduations in centimeters starting at 0,5 m. Each staff is fitted with accessories, namely an arrangement for hanging the staff on the car door when moving between set-ups; a knuckle joint for fitting the staff on the mounting frame on the car roof; a centring arrangement on the base of the staff; three bull's eye levels with viewing mirrors; two of which are always visible simultaneously and electronic sensors coupled to the invar band for recording the band temperature;
- an additional staff for the difficult connections (type) of staff used for bench marks placed in buildings with overhanging cornices;
- classical foot plates, iron pins, etc.

The ZEISS JENA Ni002 level: (13)

This instrument is a high accuracy automatic level, specially designed for motorized levelling. The instrument is fitted with:

- a swivel, elbowjoint eyepiece giving a right image of the staff;
- focussing screws places symmetrically;
- a reversible pendulum working in two symmetrical positions and giving an almost absolute horizon;
- a reticle centered on the object lens;
- a separate micrometric index coupled to the vertical movements of the object lens;
- simultaneous viewing in the eyepiece of the images of the staff, of the bubble and of the micrometric scale.

Thanks to innovations in its design, this instrument has played a decisive roll in the full motorization of levelling. The elbowjoint eyepiece permits pointing of the instrument and the observation of fore- and backsights from one fixed observing position. Moreover, the reversibl

5.2. La méthode de travail

Toutes les opérations sont effectuées à partir des véhicules. Pour ce faire il a fallu adapter la méthode de travail de sorte à minimiser le temps d'opération et d'optimiser la qualité des résultats.

Pour concilier ces deux buts nous procédons de la manière suivante:

- les déplacements des véhicules se font toujours suivant le même ordre chronologique; ainsi la première mire étant en place (pos. arrière) c'est le véhicule-instrument qui se met en station suivi par le 2ème véhicule porte-mire, le tout en respectant l'égalité des visées AV-AR,
- le calage à l'horizontale du niveau se fait suivant le principe de la méthode "du pantalon rouge" c-à-d la lunette étant toujours dirigée vers le même porte-mire: d'abord calage rapide grossier, ensuite fin de calage avec les vis de l'instrument,
- les observations sur les mires se font toujours dans le même ordre en chaque station instrument comme suit:
(1) à (6)

Position I, coté gauche,

visée AR:	Fil stad. (1)	-	Fil Niv. (2)
visée AV:	" "	(3)	" " (4)

Position II, coté droit,

visée AV:	" "	(5)
visée AR:	" "	(6)

Cette méthode d'opérer est une "variante" de la méthode classique du pantalon rouge. Une alternance supplémentaire survient encore du fait qu'à chaque nouvelle station instrumentale la série des lectures commence avec la même position qu'avait le pendule lors des lectures (5) et (6) à la station précédente.

Les mesurages simples "aller" et "retour" d'une même travée ne se font jamais directement l'un à la suite de l'autre, ni par le même opérateur. En général les nivellements simples se font à des jours, heures et conditions météorologiques différentes. Les motifs en sont plusieurs: diminution de la fatigue (alternance des observateurs), augmentation de la production (meilleure continuité dans le flux opératoire), diminution des sources d'erreurs (fatigue, coefficient personnel et météos).

Tous les instruments sont soumis une fois par semaine à un contrôle. Ce contrôle, basé sur le procédé classique avec station centrale et station latérale pour la détermination d'une dénivellée unique, est fait simultanément avec deux instruments. Il s'effectue donc de sorte que les deux instruments alternent sur les mêmes trépieds en visant sur les mêmes mires, le tout sous des conditions opératoires identiques.

pendulum eliminates the problems related to the necessity of having equal fore- and backsights (difficult to realize with vehicles).

5.2. The work method

All operations are performed from the vehicles. For this reason we had to design working methods so as to minimize observing time and optimize the quality of the results.

To conciliate both aims, we use the following routine:

- the movement of the vehicles always occurs in the same chronological order: the vehicle carrying the first staff (back position), carrying the instrument and the vehicle carrying the second staff are positioned successively. The fore- and backsights are kept equal during the whole operation
- the Ni002 is set up according to the principle of the "red trousers" method (i.e. the instrument is always directed to the same staff holder): first rough levelling followed by fine adjustment using the instrument footscrews as follows: (1) to (6)

Position I, left scale

backsight	Stadia line (1)	-	levell. line (2)
foresight	" "	(3)	" " (4)

Position II, right scale

foresight	" "	(6)
backsight	" "	(5)

This method is a modified version of the classical red trousers method. It differs from the classical method in as much as at each new set-up of the instrument, the series of readings begins with the pendulum in the same position as for readings (5) and (6) of the preceding station.

The separate forward and reverse measurements of a line are never carried out immediately after each other. Nor are they done by the same observer. As a rule, the forward and reverse levellings are executed at different times (day, hour) and under different meteorological conditions.

There are several reasons for changing observers: they are less tired (they take turns), production increases (better continuity in the flow of operations), the sources of errors are reduced (fatigue, personal and meteorological coefficient).

All instruments are checked once a week. This check, based on the classical method is made simultaneously with two instruments. Both instruments alternate on the same tripods using the same staffs, under identical working con-

Cette façon de procéder permet de détecter rapidement tout changement ou défaut instrumental.

- Toutes les mires sont contrôlées au moins deux fois par an. /18/

5.3. Les observations et leur enregistrement

La quantité des informations recueillies sur le terrain est fonction des besoins à la fois techniques et scientifiques nécessaires à la détermination du réseau altimétrique.

Pour ce faire le captage de celles-ci se fait simultanément aux trois véhicules suivant un schéma déterminé et préprogrammé dans les data-stacks. Chaque opérateur est assujéti à répondre aux questions affichées sur l'écran de son Micronic, dans l'ordre où elles apparaissent et selon la fonction opératoire qu'il remplit: soit instrument, soit mire.

En cours d'enregistrement les data-stacks effectuent calculs et contrôles suivant les normes imposées. En cas de dépassement des limites de tolérance (non-acceptance) une nouvelle série de lectures est demandée et ainsi de suite.

Le type d'information recueillie à chaque data stack est variable suivant sa fonction de travail (voir tableau nr:1).

Notons encore ici que le doublement sur bande de papier n'intervient que pour l'enregistrement effectué dans le véhicule-instrument.

Chaque soir, après retour au quartier l'information des data stacks est transférée sur une bande magnétique unique pour les trois. Une fiche d'identification; avec date, nr. de l'équipe et l'ordre de transfert, est appliquée sur celle-ci. Toutes les semaines ces bandes sont envoyées au siège central pour stockage de leur contenu dans une banque de données. Vidées elles sont retournées sur le chantier pour nouvel usage.

5.4. Les résultats obtenus directement sur le terrain

Pour chaque station instrument les résultats suivants sont affichés:

- différence entre les longueurs des visées AV-AR
- en cas de non-acceptance: l'écart constaté

Pour chaque travée mesurée:

ditions. This method allows us to detect very quickly any change or fault in the instrument.

- All staffs are calibrated at least twice a year (18).

5.3. The observations and their registration

The quantity of data, collected in the field, depends on the technical and scientific requirements. The data log system is very flexible.

The data are collected simultaneously in the three vehicles, according to a fixed schedule, preprogrammed in the data stacks. Each operator must answer the questions displayed on the screen of his Micronic, in the sequence of their appearance. Recording routines are not the same for instrument and staff vehicles.

During the registration process, simple computations and checks against given tolerances are done automatically in the data log. If rejection levels are exceeded an order is displayed telling the observer that non observations must be made.

The type of information collected in data stacks is shown table no 1.

A separate print-out on paper is only made in the vehicle carrying the instrument.

Each evening, after return to quarters, the information stored in the data stacks is transferred on to magnetic tapes. These tapes are carefully tagged with the date, number of the party and order of storage. Once a week the tapes are sent to head office for transfer into the data bank. The empty tapes are then returned to the field.

5.4. The results obtained directly in the field

For each instrument set-up the following results are displayed:

The accumulates difference with between the lengths of the fore- and backsights; the differences obtained from the left scale and right scale readings respectively are only displayed if given tolerances are exceeded in which case the computed difference is displayed.

For each measured line:

- difference in elevation obtained from the left scale readings;
- difference in elevation obtained from the right scale readings;

- dénivelée provenant des lectures coté gauche de la mire
- " " " " " droit
- " moyenne
- distance totale de la travée
- distance moyenne des portées

Pour chaque journée de mesurage: un tableau récapitulatif sur l'ensemble des travées mesurées indiquant:

- numéro de la travée (de ... à ...)
- dénivelée moyenne de celle-ci
- longueur de la travée (distance entre repères)

6. Analyse des résultats

Pour mieux juger les résultats obtenus par la technique du nivellement motorisé nous allons, dans ce qui suit, les comparer avec ceux des autres techniques de nivellement. Les critères choisis pour cette étude comparative seront les suivants: rentabilité, qualité, conditions de travail. /8, 9, 27/

6.1. Rentabilité

La rentabilité d'une technique de nivellement peut être illustrée d'une part par le rendement moyen journalier, d'autre part par le prix de revient du kilomètre nivellé.

Les rendements moyens journaliers propres aux diverses techniques de nivellement sont représentés dans le tableau nr. 2 et la fig. 3. Ils donnent en km la production utile, répondant aux normes qualitatives fixées, obtenue au cours d'une journée normale de 8 heures de travail. Le temps propre aux mesurages proprement dit est en moyenne de l'ordre de 5 à 6 heures. De façon générale l'on constate une forte production avec la technique motorisée, celle-ci représente une augmentation de l'ordre de 80% par rapport au niv. à l'aide de bicyclettes, et de plus de 100% par rapport au niv. à pieds, en ce qui concerne les travaux de 1er et 2nd ordre.

Une autre manière d'illustrer la capacité de production d'une équipe de nivellement est son rendement moyen horaire = vitesse de progression. Les chiffres s'y rapportant et que l'on retrouve dans bon nombre de publications /26/ peuvent facilement conduire à des conclusions erronées au cas où l'on extrapole ceux-ci pour obtenir la production journalière. Dans le cas du niv. motorisé le rendement moyen horaire est de l'ordre de 2,2 km/h de mesurage: avec une longueur moyenne des visées de 35 m, le maximum toléré étant de 50 m. (Voir tableau 6.)

Une troisième manière d'illustration est le temps moyen nécessaire pour accomplir toutes les opérations relatives à une station - instrument, y compris les temps de transport et de calage. En moyenne le temps total par dénivelée est de l'ordre de 1,6 à 2,4 minutes pour le niv. motorisé, ceci dépendant des facteurs suivants: longueur de visée, intensité du trafic, largeur des routes, topographie, volume de l'information recueillie, conditions de travail.

- mean difference in elevation;
- total length of the line;
- mean length of the sights.

After each day's work a table giving a summary of the measured lines showing:

- the number of lines (from... to ...);
- the mean difference in elevation for each line;

6. Analysis of the results

To better illustrate the results yielded by the motorized levelling technique, a comparison with standard techniques is made below. The following criteria have been chosen for the comparative study: efficiency, quality, working conditions.

6.1. Efficiency

The efficiency of a levelling technique can be illustrated on the one hand by the average daily production, and on the other hand by the cost per levelled kilometre.

Average daily production typical for the various levelling techniques is shown in table 2 and fig. 3. These tables give the effective production in Km, which complies with the quality norms and which is obtained during a normal 8 hour working day. The effective working time is on an average 5 to 6 hours. As a rule, with the motorized technique, we note a production increase of about 80% compared with foot levelling, as far as the 1st and 2nd order work is concerned.

The productivity of a levelling party can also be illustrated by an average hourly production: progression rate. These figures are often misinterpreted and give an erroneous daily productive when extrapolated. With the motorized levelling technique, the average hourly production is about 2.2 km; the average length of the sights being 35 m; with a maximum permitted length of 50 m (see table 6).

Thirdly, the productivity of a levelling party can be illustrated by the averages time needed to perform all operations relating to one set-up of the instrument, including the time for transport. On an average, the total time for each complete observation is about 1.6 to 2.4 minutes. This time depends on following factors: sight length, traffic intensity, road width, topography, volume of the collected information, working conditions.

Comme exemple des variations possibles nous pouvons citer:

- un record de production journalière obtenu en 1981 de 27 km;
- des productions moyennes supérieures à 17 km pendant plusieurs semaines (7);
- des productions faibles de l'ordre de 8 km au Danemark et en Norvège (trafic intense, terrain excessivement accidenté, visée moyenne de l'ordre de 10 m).

Un facteur important au sujet de la rentabilité des diverses techniques de nivellement est celui correspondant au temps total où celles-ci peuvent être utilisées en cours de saison, au cours d'une année. Les figures (4) et (5) montrent les périodes pendant lesquelles les diverses techniques peuvent être utilisés en Scandinavie. L'on voit ainsi qu'il est possible de faire du niv. motorisé sans interruptions d'avril à novembre c.a.d pendant environ 140 jours de travail. Les techniques de niv. à pieds et à bicyclettes ne peuvent être utilisées au cours de cette période que pendant environ 90 jours, de plus faut-il prendre des précautions spéciales et interrompre les observations au milieu de la journée (vibrations de l'air, réfraction). Ces figures montrent également que la production totale par saison pour le niv. motorisé par rapport aux autres techniques est plus du double (niv. à bicyclettes) et du quintuple (niv. à pieds).

Dans les pays industrialisés et en particulier en Suède, les salaires sont très élevés, ils représentent environ 90% du prix de revient d'un kilomètre nivelé. Les frais relatifs aux véhicules et aux instruments ne sont que de l'ordre de 6 à 7% du total.

Pour diminuer les frais de nivellement il est donc important de réduire à un minimum le nombre d'opérateurs tout en maintenant une production optimale. La technique motorisée n'emploie que 4 personnes alors que pour le niv. à pieds il en faut 4 à 5, et pour le niv. à bicyclettes (version finlandaise) 6 à 7.

Dans cette étude comparative relative à la rentabilité des techniques de nivellement nous n'avons en principe parlé que des facteurs relatifs à la production sur le terrain. Il va de soi que cette comparaison doit également englober la partie traitement des données qui s'en suit. Là encore il y a des gains importants à la fois en personnel et économiques, liés à l'automatisation totale de l'ensemble des étapes de la chaîne de production. Le système suédois est entièrement datorisé: depuis le captage sur le terrain (Micronic), en passant par l'exploitation et le traitement des données (ordinateur Prime), jusqu'au stockage et à la livraison des résultats (banque de données altimétriques).

L'ensemble des facteurs précités nous permet de conclure que le niv. motorisé est la technique la plus avantageuse: tant au point de vue rendement (plus du double) qu'au point de vue économique (moitié prix) pour effectuer du nivellement de précision.

As an example of the possible variations we can quote:

- a record of daily production obtained in 1981: 27 km;
- average production exceeding 17 km during several weeks (7);
- low production rates (8 km) in DENMARK (heavy traffic) and NORWAY (very undulating ground, average sight length 10 m).

An important factor when comparing the efficiency of the different levelling techniques is the total effective, possible working time per field season.

Figures (4) and (5) show the periods during which the various techniques can be used in Scandinavian countries. We see that it is possible to use motorized levelling without interruption from April to November, i.e. during about 140 working days. The foot and bicycle levelling technique can only be used during 90 days in the same period. Moreover, using standard methods special precautions must be taken and the observations must be interrupted in the middle of the day (shimmer, refraction). The figures also show that with the motorized technique the total production per season is doubled compared with bicycle levelling and quintupled compared with foot levelling (is increased by a factor of two for bicycle levelling and a factor of four for foot levelling).

In the industrialized countries, and especially in SWEDEN, wages are relatively high and they represent about 90% of the cost for a levelled kilometre. Capital costs are only about 6 to 7 % of the total cost.

To reduce costs, it is therefore important to reduce the number of operators to a minimum while maintaining an optimal production rate. The motorized technique requires only four persons, while foot levelling and bicycle levelling (Finnish version) require four to five and six to seven persons respectively.

In this comparative study we have as a principle only deal with the factors related to production in the field. A better comparison is obtained if data processing and work which follows the field work is also included. Also in this respect the integrated motorized levelling process permit a reduction on the need for personnel and rationalization gains. The Swedish system is fully computerized: from data collection in the field (Micronic) through processing (computer Prime), to the storage and output of the results height data bank).

From the above it can clearly be seen that motorized levelling is the most advantageous precise levelling technique, both as far as efficiency is concerned (the output is doubled) and from an economic point of view (price is reduced by 50%).

6.2 Qualité des résultats précision

Afin de pouvoir juger de cette qualité il est bon de rappeler les conditions (prescriptions et tolérances) définies l'exécution des travaux de terrain.

Ainsi la limite de tolérance entre deux nivellements simples, aller et retour, d'une même travée est de: $2\sqrt{L}$ mm (avec L = distance en km) pour le 1er ordre, pour 2nd ordre elle était de $4\sqrt{L}$ mm/km.

Les travaux sont effectués pendant toute la saison sans interruptions.

Le tableau (3) présente la distribution des écarts, entre niv. aller et retour, obtenus lors des travaux préparatoires avant 1977. Une première constatation intéressante est qu'il n'y a que 5 à 6 % de ceux-ci qui dépassent les limites de tolérance fixées. Le taux de renouvellement moyen pour l'ensemble des travaux effectués jusqu'à ce jour (plus de 30 000 km) avec la technique motorisée est de 5,2 % (voir tableau nr. 4). En fait il n'y a qu'une seule période en 1979 où ce taux était de plus de 10 %, cette anomalie est probablement due au fait que les travaux étaient effectués en période de dégel sur des routes situées dans une région plus ou moins marécageuse.

Dans ses études et analyses sur nos travaux des années 1977-78, REMMER /22/ constate que:

- la limite optimale de rejection est de l'ordre de $2,3\sqrt{L}$ mm/km entre deux niv. simples aller et retour;
- et que dans ce cas le nombre d'erreurs grossières non découvertes n'est que de 2 o/oo.

Toutefois le meilleur critère pour juger de la qualité des mesures est celui donné par l'erreur moyenne kilométrique. Celle-ci peut-être calculée soit à partir des fermetures des mailles soit encore des écarts des travées. Dans les deux cas nous constatons que ces erreurs moyennes sont inférieures à ± 1 mm/km, ce qui satisfait aux normes fixées pour le nivellement de précision. (Voir tableau 5.)

Il est encore bon de rappeler que ces résultats proviennent de mesures effectuées sans interruptions sous les conditions de travail les plus diverses et avec un personnel plus ou moins expérimenté.

Du fait qu'il n'est pas possible d'obtenir des résultats identiques avec les autres techniques de nivellement dans les mêmes conditions opératoires, il nous semble bon d'indiquer ici les facteurs qui rendent ceci possible en utilisant le technique motorisée.

Parmi ceux-ci nous pouvons citer:

- rapidité plus grande des opérations = diminution des effets d'enfoncements liés au facteur temps (mire, trépied);

6.2. Quality of the results: accuracy

In order to be able to correctly judge of the quality of the results, we should keep in mind the conditions (regulations and tolerances) which have steered the execution of the field work.

The permitted difference between the forward and reverse levelling of a linje is $2 \sqrt{L}$ mm/km (L = distance in km) for the first order network, and $4 \sqrt{L}$ mm/km for the second order network.

Field work is in progress during the whole season without interruption.

Table (3) shows the distribution of the deviations between forward and reverse levelling during the preparatory work before 1977. It is worth noting that only 5 to 6 % of the deviations exceed the non-acceptance level. The average percentage of relevening for all levelling carried out up to the present time (more than 30.000 km) with motorized techniques is 5,2 % (see table 4). There was only one period in 1979 when the percentage was more than 10 %. This anomaly is probably due to the fact that the work was performed in a period of thaw, on roads located in a more or less marshy region.

In his studies and analysis of our work in the years 1977-1978, REMMER (22) notes that:

- the optimal non-acceptance limit is about $2,3 \sqrt{L}$ mm/km between a forward and reverse levelling;
- in this case, the number of undetected gross errors only amounts to 2 o/oo.

However, the best criterion to judge of the quality of the measurements is the mean error per kilometre, which can be calculated either from the circuit closures, or from the deviations of the runs. In both cases we note that these mean errors remain under ± 1 mm/km, which complies with the norms for precise levelling (see table 5).

We should also bear in mind that these results are obtained from measurements carried out without interruption, under the most varying working conditions and by a variety of staff.

Since it is impossible to obtain as good results with other levelling techniques under the same working conditions, we think it is worth mentioning here some of the factors which make these results possible with motorized techniques.

Among these we can quote:

- a higher speed of operation: reduction of the settlement and heaving effects linked to the time factor (staff, tripod);

- surélévation des lignes de visée: l'instrument est à plus de 2 m au-dessus du sol, les visées basses ne sont jamais inférieures à 0,7 m = élimination presque totale des effets de réfraction et des vibrations de l'air;
- stabilité parfaite des mires: maintenance à la verticale mécanique et non humaine (fatigue des porte-mires sans influence);
- contrôle permanent de cette verticalité grâce aux 3 nivelles;
- supports (crapauds) plus stables;
- aucuns mouvements autour du trépied = enfoncements moindres;
- stabilité plus grande du trépied grâce aux plaques des pieds (=enfoncements moindres);
- contrôles permanents de toutes les observations: = data stack;
- contrôles supplémentaires: = doublement de l'enregistrement;
- fatigue moindre du fait du changement d'observateurs et du transport à l'aide des véhicules = diminution des effets dus à la fatigue;
- visées avants et arrières passant toujours au-dessus des mêmes surfaces (routes ou chemins) = réfraction symétrique identique.

Des améliorations pour augmenter la précision des résultats ont été faites tout au long du développement de l'équipement et de la méthode opératoire. L'équipement et son emplacement sur les véhicules ont une importance prépondérante au sujet de la précision obtenue.

6.3 Les conditions de travail /2, 9/

De façon générale l'on constate que la technique motorisée a fortement amélioré les conditions de travail des opérateurs lors des travaux de terrain.

Du fait que presque toutes les opérations sont faites à partir des véhicules c'est avant tout la partie purement physique qui a été fortement allégée:

- plus de marches à pieds longues et fatigantes avec un équipement lourd et encombrant;
- plus besoin de tenir les mires en cours d'observations en position verticale (grâce au système de suspension);
- travail en position assise pour les opérateurs porte-mires et le secrétaire;
- table de travail facilitant le travail du secrétaire;

- a higher line of sight: the instrument is more than 2 m above the ground. The lowest lines of sight are never below 0,7 m = almost total elimination of the refraction effects and of shimmer effects;
- perfect stability of the staffs: they are kept vertical mechanically and not by human beings (fatigue of the staff holders has no influence);
- permanent check of verticality with the help of the 3 bull's eye levels;
- greater stability of the foot plates;
- no movement around the tripod: sinking effect reduced;
- greater stability of the tripod thanks to the modified feet (=sinking effect reduced);
- continuous check of all observations = data log;
- additional check = double registration;
- less fatigue because of the regular change of observers and transport in vehicles: less errors due to fatigue;
- fore- and back sights always over the same surfaces (roads or backs) = identical symmetrical refraction.

In order to further increase the accuracy of the results, the equipment and the working method have gradually been improved. Indeed, the equipment and its position on the vehicles are very important factors influencing the accuracy of the measurements.

6.3. The working conditions (2.9)

The introduction of motorized techniques has greatly improved the field working environment since nearly all operations are performed from the vehicles. The purely physical part of levelling has been considerably lightened:

- no more long and tiring walks with heavy and cumbersome equipment;
- no need to manually hold the staffs in a vertical position (thanks to the suspension system);
- work in seated position for the staff men and the booker;
- special desk facilitating the bookers work;

- enregistrement automatique préprogrammé à l'aide des data-stacks Micronic;
- protection contre le pluie, le vent etc.

Il n'y a plus de limitations quant au poids, au volume et à la quantité du matériel utilisé en cours d'opération, ceci nous permet l'usage d'un matériel plus lourd et mieux adapté aux mesurages et à l'enregistrement des données.

En fait les conditions de travail sont telles qu'à présent environ la moitié du personnel est féminin ce qui était impossible auparavant avec les techniques classiques.

Un autre point important est celui de la sécurité en cours de travail, celle-ci a été fortement améliorée grâce aux nombreux panneaux et signaux adaptés aux véhicules. Nous avons constaté qu'à présent les autres usagers de la route respectent d'avantage les équipes de nivellement, aucun incident n'est intervenu au cours des dix années que nous avons travaillé sur celles-ci. La sécurité du personnel est donc mieux garantie.

Une autre avantage est la plus grande flexibilité en cours d'opérations, la facilité de rapidement changer de lieux de travail au cas ou pour des raisons non prévues des difficultés se faisaient jour et compliqueraient celles-ci.

7. Conclusions

L'expérience suédoise se basant sur plus de 30 000 km de nivellement effectués au cours des 10 dernières années avec la technique du niv. motorisé, a confirmé que celle-ci était la plus appropriée pour les travaux de nivellement de grande envergure.

Les résultats obtenus et relatés aux chapitres précédents démontrent sa supériorité d'ensemble par rapport aux autres techniques existances c.à.d:

- augmentation de la production totale saisonnière: plus du double;
- diminution du prix de revient de km nivellé de plus de moitié;
- travail continu toute la saison aux heures normales de travail;
- conditions de travail améliorées;
- précision égale et même supérieure lors de conditions défavorables.

Cette technique a dépassé le stade de l'expérimentation, sa compétitivité avec les autres techniques ainsi que ses possibilités d'amélioration font que les pays en voie de redéfinir ou de restaurer leurs réseaux nationaux de nivellement l'adopteront à ces fins. Ceci est déjà le cas pour la France, les Etats-Unis, le Canada, la DDR, le Danemark et la Norvège; d'autres pays suivront cet exemple. /9,12,14,20,27,28/

- preprogrammed automatic registration with the help of the Micronic data logs;
- protection against rain, wind, etc.

The weight, volume and quantity of the equipment used need not be limited. It is thus possible to use a heavier equipment, which is better suited for the survey and to the data registration.

Currently, working conditions are such that nearly half of the personnel is female. This was for several of the reasons listed above impossible with the classical techniques.

Another important aspect is the safety during the work. This has been strongly improved because of the numerous warning signs and signals which are mounted on the vehicles. Road users have more respect for the levelling parties. No incident has occurred in the ten past years.

Another advantage of the new technique is the greater flexibility of the operations, i.e. the possibility to move quickly to another working area when, for unforeseen reasons, some difficulties arise which complicate the previously planned.

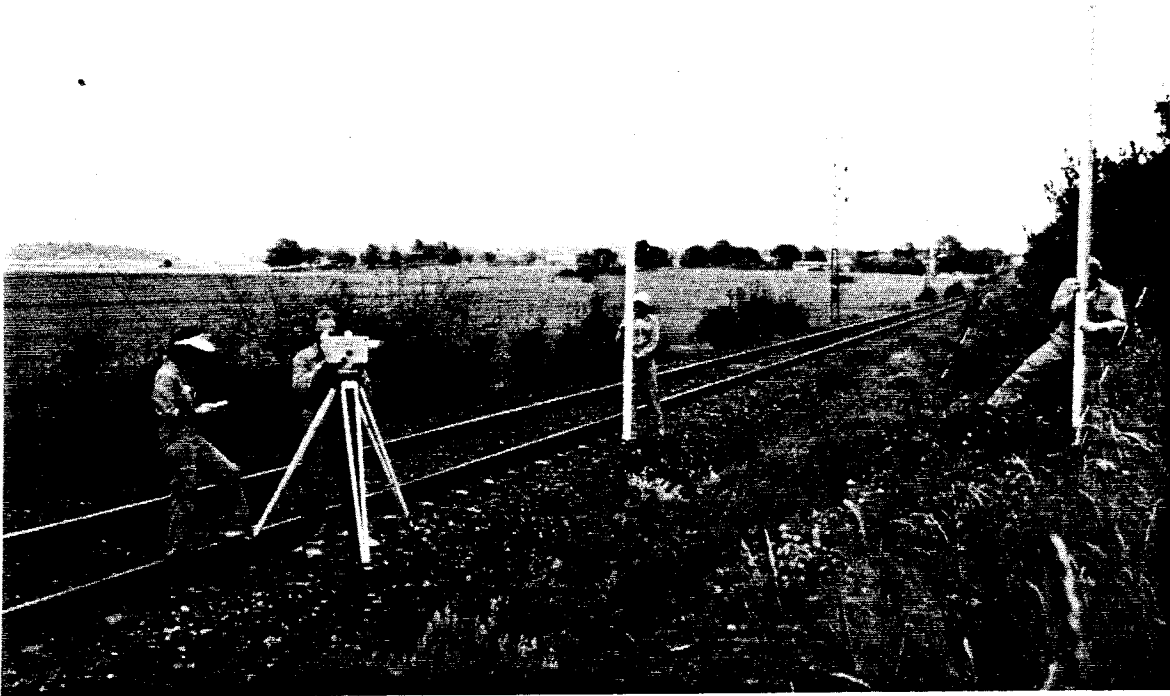
7. Conclusions

The Swedish experience, which is based on more than 30.000 km of levelling carried out during the last 10 years with the motorized levelling technique, has confirmed that this technique is the most appropriate one for largescale levelling work.

The results obtained prove its superiority compared with the other existing techniques:

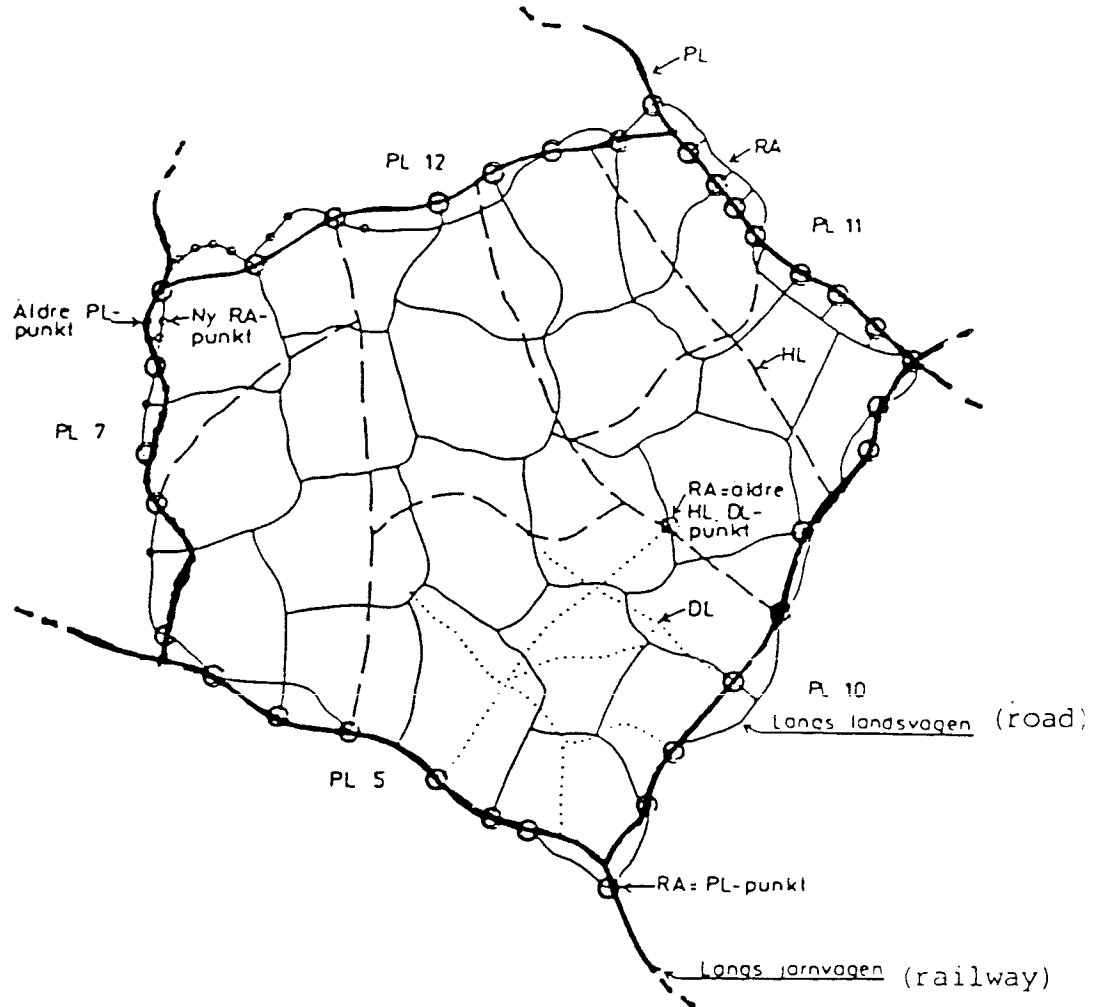
- doubling of the total production per season;
- cost per levelled km reduced by more than 50 %;
- uninterrupted working throughout the season and during the normal working hours;
- improved working environment;
- accuracy as good or even higher as with classical methods even under unfavourable conditions.

This technique is now far beyond the experimental stage. Because of its superiority compared with the other techniques and the possibilities of further improvement, countries which are going to redefine or revise their national levelling networks plan to adopt it for this purpose. FRANCE, THE UNITED STATES, CANADA, THE DRG, DENMARK and NORWAY have already adopted it; other countries plan to follow their example (9, 12, 14, 20, 27, 28).



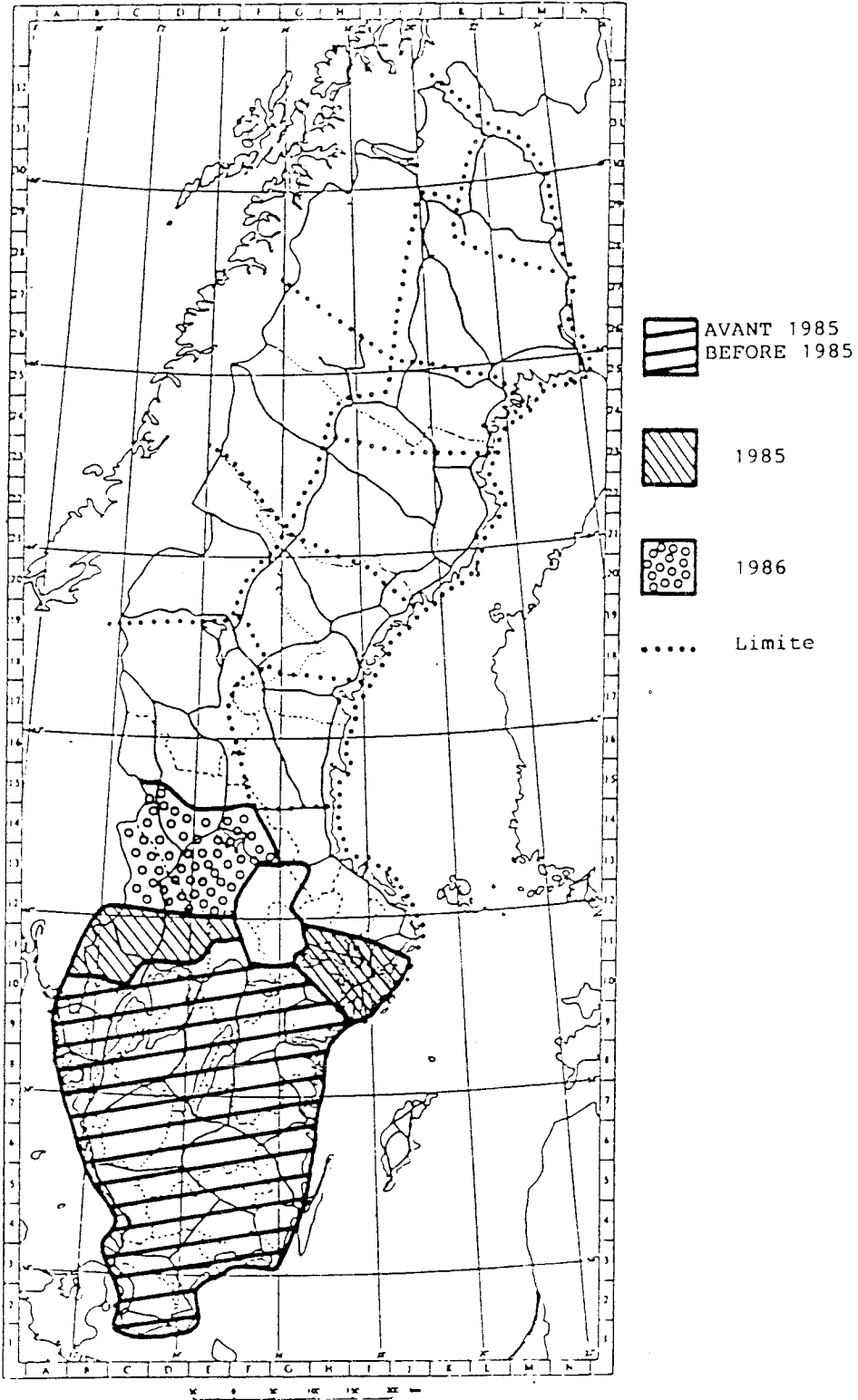
FIGUR 1 COMPARAISON ENTRE LES CONFIGURATIONS
DES DIVERS RESEAUX: ANCIENS - NOUVEAUX

COMPARISON OF THE CONFIGURATION OF THE
OLD AND NEW NETWORKS

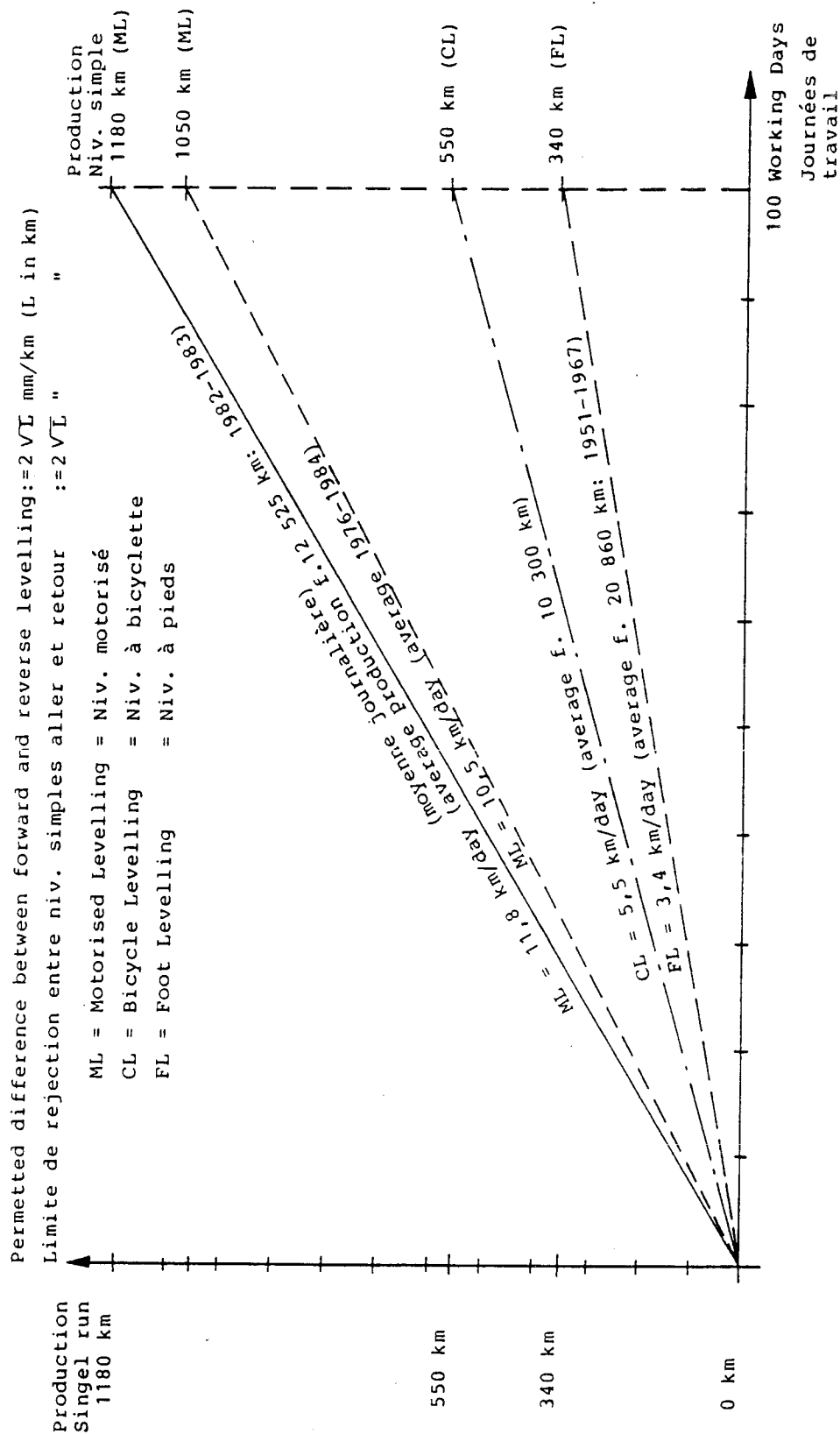


- (PL) = Existing older precise levelling line
Reseau ancien de précision
- - - - (HL) = Existing older 2nd order line
Reseau de second ordre
- (DL) = Existing older 3rd order line
Reseau de troisieme ordre
- (RA) = New precise levelling line
Nouveau reseau de précision
- = Connection between (RA) and (PL)
Point commun (RA) et (PL)
- = Connection (RA)=(HL)=(DL)

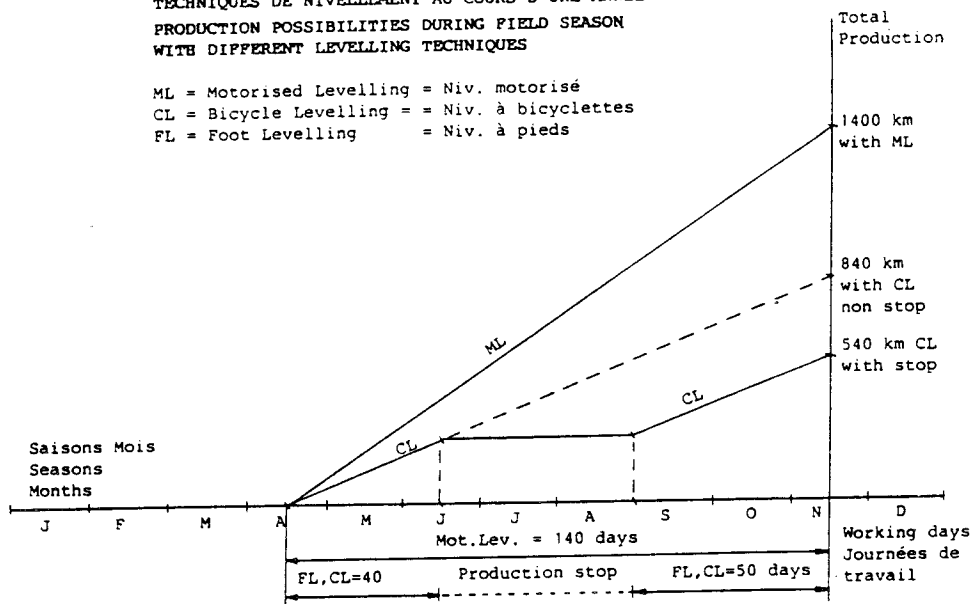
FIGUR 2 PLAN DE REALISATION DU NOUVEAU RESEAU SUEDOIS
(1980-1997)
IMPLEMENTATION PLAN FOR LEVELLING IN SWEDEN



FIGUR 3 COMPARAISON DES RENDEMENTS OBTENUS EN SUEDE L'AIDE DE 3 TECHNIQUES DIFFERENTES DE NIVELLEMENT
 COMPARISON OF PRODUCTION FIGURES FOR 3 TYPES OF LEVELLING TECHNIQUES IN SWEDEN



FIGUR 4 POSSIBILITES DE TRAVAIL AVEC LES DIVERSES TECHNIQUES DE NIVELLEMENT AU COURS D'UNE ANNEE
 PRODUCTION POSSIBILITIES DURING FIELD SEASON WITH DIFFERENT LEVELLING TECHNIQUES



FIGUR 5 POSSIBILITES DE TRAVAIL AU COURS D'UNE JOURNEE AVEC DIVERSES TECHNIQUES DE NIVELLEMENT
 DAILY PRODUCTION POSSIBILITIES WITH DIFFERENT LEVELLING TECHNIQUES

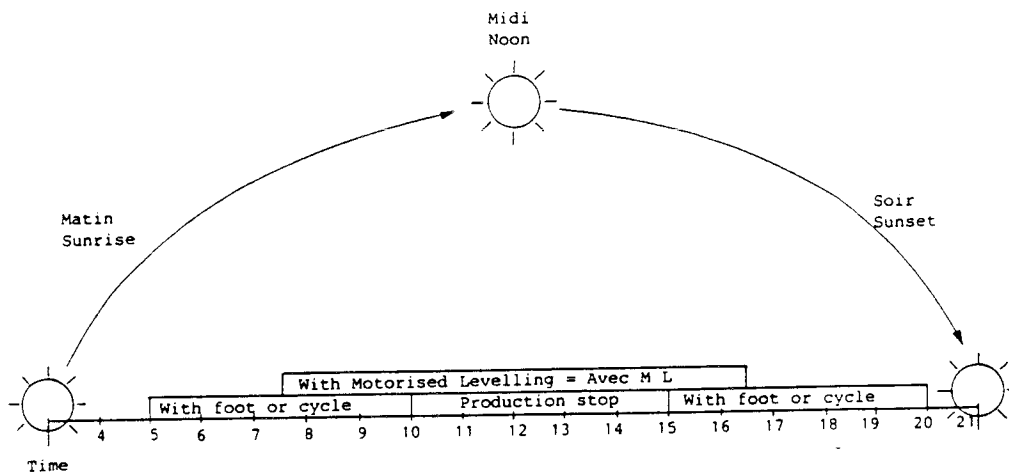


TABLE 1 A INFORMATIONS ENREGISTRÉES AU DEPART
 DE CHAQUE JOURNÉE DE MESURAGE
 INFORMATION REGISTERED WHEN STARTING
 THE DAILY FIELD PRODUCTION

Different questions Differentes questions	Instr. stack	Staff. stack I Mire	Staff. stack II Mire	
BEGIN YES/NO	YES	YES	YES	
DATA STACK NO	x	x	x	
ALTERNATIVE	x	x	x	
DATE	x	x	x	
TYPE OF LEVELLING	x	x	x	
FROM JUNCTION PT	x	x	x	
TO FUNCTION PT	x	x	x	
STAFF NO (1); (Mire)	x	x	x	
STAFF NO (2); (Mire)	x	x	x	
STAFF CONSTANT	x	x	x	
GRADUATION 10 mm? YES/NO	YES	YES	YES	
INSTRUMENT NO	x	-	-	
ADDITION CONSTANT	x	-	-	
STAFF TEMP. NO	-	x	x	
OBSERVING METHOD	x	x	x	
STADIA READINGS? YES/NO	x	-	-	
TOLERANCE (1-4)	x	-	-	
ALTERNATIVE {	OBSERVER YES/NO	YES	YES	YES
	AIR TEMP YES/NO	YES	NO	NO
	ROAD SURFACE CODE YES/NO	YES	YES	YES
	WEATHER CODE YES/NO	YES	YES	YES
	STAFF TEMP A-B	NO	YES	YES

TABLE 1 B INFORMATION ENREGISTREES EN COURS D'OPERATION
DANS LES 3 DATA-STACKS
INFORMATION REGISTERED DURING LEVELLING
OPERATIONS INTO THE 3. DATA STACK

Questions	1ere station			Station intermediaire			Derniere station		
	STARTING SET UP BM			NORMAL SET UP			ENDING SET UP BM		
Different questions	Instr. stack	Staff. stack I	Staff. stack II	Instr. stack	Staff. stack I	Staff. stack II	Instr. stack	Staff. stack I	Staff. stack II
Repère de départ STARTING AT BM (NO)	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Repère d'arrivée ENDING AT BM (NO)	x	x	x	-	-	-	-	-	-
DATE	x	x	x	-	-	-	-	-	-
OBSERVER	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Mire sur repère de départ STAFF NO; STARTING BM	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Type de surface de route ROAD SURFACE CODE	x	-	-	-	x	x	-	-	-
Heure TIME	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Type de météorologie WEATHER CODE	-	-	-	-	x	x	-	-	-
Températures des mires STAFF. TEMP. A-B	-	-	-	-	x	x	-	-	-
Echelle coté gauche; Pos. I L.H. BACKSIGHT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STADIA HAIRS I (AR, fil stadia)	-	-	-	x	-	-	-	-	-
CENTER HAIR I (AR, fil niv.)	-	-	-	x	-	-	-	-	-
L.H. FORESIGHT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STADIA HAIR I (AV, fil stadia)	-	-	-	x	-	-	-	-	-
CENTER HAIR I (AV, fil niv.)	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Echelle coté droit; Pos II R.H. FORESIGHT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CENTER HAIR II (AV, fil niv.)	-	-	-	x	-	-	-	-	-
R.H. BACKSIGHT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CENTER HAIR II (AR, fil niv.)	-	-	-	x	-	-	-	-	-
WEATHER CODE: Météorologie	-	-	-	x	-	-	-	-	-
AIR TEMP: Temp. de l'air	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Dernière station inst.: OUI/NON	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FINAL SET UP YES/NO	-	-	-	NO	NO	NO	YES	YES	YES
Dernier repère (NON)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAST BM (NO)	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Mire sur dernier repère	-	-	-	-	-	-	x	x	x
STAFF NO; LAST BM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
surface de la route	-	-	-	-	-	-	x	-	-
ROAD SURFACE CODE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heure TIME	-	-	-	-	-	-	x	x	x

TABLE 2 COMPARAISON DES RESULTATS DE DIFFERENTES TECHNIQUES
DE NIVELLEMENT
COMPARISON OF DIFFERENT LEVELLING TECHNIQUES

TECHNIQUE	PERMITTED DIFF TOLERANCE $x \sqrt{L}$ mm (L in km)	KM LEVELLED KM NIVELLES		PRODUCTION STOPPAGES ARRETS DE TRAVAIL POUR RAISONS		DAILY PRODUCTION PROD. JOURNALIERE RATE - SINGLE Nivellement simple LEVELLING KM
		TOTAL	RELEVELLED Renivelles	MECH. Mecaniques	WEATHER Météos	
		km	%	%	%	km
FOOT A Pieds	x = 2,0	20.830	6 - 7		10 - 15	3 - 4
MOTORISED Motorisé	x = 2,0	22.695	5 - 6	5	-	9 - 11*
BICYCLE A Bicyclette	x = 2,0	600	6 - 8	2	6 - 8	5
BICYCLE	x = 4,0	10.325	6 - 7	3	4 - 5	6
MOTORISED	x = 4,0	5.080	2 - 4	6	2	11 - 12*

* FOR A NOMINAL 8 HR WORKING DAY: EFFECTIVE TIME 5-6 HRS
* JOURNEE DE TRAVAIL NORMALE DE 8 HRS: TEMPS EFFECTIF DE MESURAGE 5-6 HEURES

TABLE 3 DISTRIBUTION DES ECARTS ENTRE NIVELLEMENTS SIMPLES ALLER ET RETOUR DES DIVERSES TRAVÉES
DIFFERENCES BETWEEN FORWARD AND REVERSE IN PERCENT OF TOTAL LEVELLED

Tolérance = PERMITTED DIFF $X\sqrt{L}$ mm (L in km)	$X = d/\sqrt{L}$	DISTRIBUTION					
		0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	>4,0 mm
FOOT Niv. à pieds $X = 4,0^*$		5 %	15 %	25 %	35 %	15 %	5 %
MOTORISED Niv. motorisé $X = 4,0^*$		25 %	43 %	23 %	8 %	1 %	-
MOTORISED $X = 2,0^{**}$		33 %	25 %	36 %	5 %	1 %	-

* SECOND ORDER: MAX LENGTH OF SIGHT 50 m Niv. 2ème ordre: visée max. de 50 m
** PRECISION LEVELLING: MAX LENGTH OF SIGHT 50 m Niv. 1er ordre: " " " 40 m

TABLE 4 RESULTATS OBTENUS DE 1976 à 1984 AVEC LE NIV. MOTORISE
PRODUCTION STATISTICS FOR PERIOD 1976 - 1984 WITH MOTORISED LEVELLING

YEAR Années	NUMBERS OF Nombre PARTY d'Equipes	FIELD WORK Journées DAYS de travail	Production totale TOTAL PRODUCTION IN KM			Production journalière DAYLY PRODUCTION KM			Renivellement RELEVELLING %
			ACCEPTED	RELEVELLED Renivellé	TOTAL	ACCEPTED	RELEVELLED	TOTAL	
1976	1	137	1475	70	1545	10,8	0,5	11,3	4,5
1977	2	193	1829	134	1963	9,5	0,7	10,2	6,8
1978	2	284	2896	121	3017	10,2	0,4	10,6	4,0
1979	3	370	2771	394	3165	7,5	1,1	8,6	12,4
1980	4	487	4152	226	4378	8,5	0,5	9,0	5,2
1981	5	552	5251	241	5492	9,5	0,4	9,9	4,4
1982	5	566	6390	256	6646	11,3	0,4	11,7	3,9
1983	6	557	6600	295	6895	11,9	0,5	12,4	4,3
1984 partiel	5	181	1894	118	2012	10,5	0,6	11,1	5,9
Total		3146	31364	1737	33101	10,0	0,5	10,5	5,2

TABLE 5 PRECISION DES MESURES: ERREURS MOYENNES KILOMETRIQUES
POUR 1 KM DE NIVELLEMENT DOUBLE
STANDARD ERROR PER KM
(FORWARD AND REVERSE LEVELLING)

PAYS ANNEE	TOLERANCE MAXIMALE MM/KM	Nr. de MAILLES	Nr. de TRAVEES	Nr. de KILO- METRES	Erreurs moyennes kilométriques (niv.double) en provenance de:	
					m _d * discordances allers-retours des travées	m _f **fermetures des mailles
COUNTRY YEAR	SIGHT LENGTH PERMITTED DIFF	NO. OF CIRCUIT	NO. OF SECTIONS/ LINES	DISTANCE IN km	STANDARD ERROR PER km	
					m _d * from diffe- rence forward-reverse	m _f * from CIRCUIT closures
Sweden 1979	2√L mm (max 50 m)	15	1732	1663	± 0,50 mm/km	± 0,81 mm/km
USA 1980	2√L mm	3	1	160	± 0,60 mm/km	-
Denmark 1978	2√L mm (max 40 m)	1	112	46	± 0,44 mm/km	± 0,47 mm/km
DDR 1974/77	2√L mm (max 40 m)			5000	± 0,38 mm/km	± 0,97 mm/km
Holland 1978	2,5√L mm (max 50 m)	28	633	540	± 0,58 mm/km	± 0,92 mm/km

$$* m_d = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{dd}{l} \right]}$$

$$** m_\psi = \pm \sqrt{\frac{1}{m} \left[\frac{\psi\psi}{L} \right]}$$

where l = distance in km
n = number of section
d = differences forward-reverse mm

where m = number of circuits
L = length of circuit in km
ψ = circuit closures in mm

avec l = longueur en km chaque travée
n = nombre de travées
d = discordances aller-retour (mm)

avec m = nombre de mailles
L = périmètre de chaque maille (km)
ψ = fermetures des mailles en mm

TABLE 6 LEVELLING STATISTICS FOR PERIOD 820501 TO 821027
STATISTIQUES SUR LE NIVELLEMENT AU COURS DE LA
PERIODE 820501 à 821027

PARTY	KM TOTAL	KM CHECK	KM REPAY	EFF HRS	NO. BMs	NO. SET-UPS	SET-UPS PR.HR	DIFFERENT BM	BM BM	BM BM	BM BM	AVSIGHT LGTH	AV. LGTH	KM PR.HR	NO. WORK DAYS
1	1,293.6	0.0	18.7	586.4	1387	16004	27.3	1307	12	10	47	40.4	932,7	2,21	100
2	1,101.3	216.3	0.0	589.9	1183	16496	28.0	1104	35	68	22	33,4	930,9	1,87	112
3	1,493.6	5.6	12.1	603.2	1623	18551	30.8	1304	91	67	90	40,3	920,3	2,48	112
4	1,358.7	33.4	27.0	622.2	1599	17217	27.7	1169	94	73	115	39,5	849,7	2,18	109
5	1,328.1	169.8	0.0	572.4	1400	17990	31.4	1140	165	45	50	36,9	948,6	2,32	107
=====	6,575.3	425.1	57.8	2974.1	7192	86,258	29.0	6024	397	263	324	38,1	916,4	2,21	540



REFERENCES

- /1/ **ANDERSEN,** Ole Bedsted (1978) Rapport om bilnivelement i Danmark-Resultater
- /2/ **ANDERSEN,** Ole Bedsted (1978) Report from the Nordic Levelling Group under the Nordic Geodetic Commission IAG-Assembly XVII IUGG Canberra
- /3/ **AUST,** R (1968) Wirtschaftlichkeitsvergleich des motorisierten Präzisionsnivelements zum Fusnivelement 1. Ord -Ökonomischer Beleg T U Dresden
- /4/ **BECKER,** J-M (1973) Den Motoriserade Avvägningen. RAK D20 - Stockholm
- /5/ **BECKER,** J-M (1977) Experiences using Motorized Levelling Techniques in SWEDEN. FIG Stockholm 1977 - Commission 5
- /6/ **BECKER,** J-M (1978) Nuvarande tekniska mätmetoder som används vid avvägning - Framtidsutsikter. VIII Kongress NKG Oslo maj 1978
- /7/ **BECKER,** J-M (1979) Heutige Messverfahren beim Nivellement - Erfahrungen mit dem Motorisierten Nivellement in Schweden. Veröff.d. Geod. Inst. d.Rheinisch-Westfälischen Tech. Hochschule Aachen, Nr. 26
- /8/ **BECKER,** J-M (1980) Le Nivellement motorisé en Suède - Techniques et Résultats à ce Jour. North American Datum Symposium - Ottawa 1980
- /9/ **BECKER,** J-M (1981) Begründung der Wahl des Motorisierten Nivellements für die Modernisierung des Schwedisches Präzisionshöhenetzes - Symposium für motorisiertes Präzisionsnivelement - Wiesbaden 1981
- /10/ **BROOK,** I & **BECKER,** J-M (1980) The Establishment of a Basic National Geodetic System. Ninth United Nations Reg. Cart. Conf. for ASEA and the Pasific, Wellington, New Zealand, February 1980, E/CONF. 72/L. 70
- /11/ **BUSBY,** J.R. (1977) - The Development of Precise Leveling in New Zealand - Dept of L.S. Wellington
- /12/ **DEUMLICH,** F. (1983) - Beitrag Zum Präzisionsnivelement - XVII FIG - SOFIA 1983

- /13/ **HÜTHER** G (1977) - The Ni002 Automatic Geodetic Level of VEB Carl Zeiss Jena - FIG Special Issue 1977
- /14/ **KASSER,** Michel (1981) - Nivellement motorisé du Boulevard Périphérique de PARIS - IGN./France
- /15/ **NITZSCHE,** S & **SCHÖNE** (1970) Erfahrungen mit dem motorisierten Nivellement T U Dresden
- /16/ **NITZSCHE,** S & **PESCHEL** (1973) Modernste Technologie der Präzisionshöhenmessungen zur Erforschung rezenter Erdkrustanbewegungen T U Dresden
- /17/ **PESCHEL,** H (1974) Das motorisierte Präzisionsnivellement leistungsfähigstes Verfahren genauer Höhenmessungen Verm. Techn. Heft 2
- /18/ **PETERSON,** I (1982) Om invarstänger och deras komparation. Gävle 1982
- /19/ **POETZSCHKE,** H (1980) - Motorised Levelling at the NGS - NOAA/NGS 26
- /20/ **PREISS,** W.J & **HEAD,** R.E (1983) - Motorised Levelling: The Ordnance Survey Experience - Conference of Commonwealth Surveyors 1983
- /21/ **REMMER,** Ole (1977) The Direct Experimental Detection of the Systematic Refraction Error in Precise Levelling. Geod. Inst. Medd. Nr 52
- /22/ **REMMER,** Ole (1979) The Variance, Distribution and Protection Against Gross Errors in the Swedish Automated Levelling Report to the NLG, Gävle April 3-4, 1979
- /23/ **RODIG,** K H (1970) Zum Einfluss systematischer Fehler beim Nivellement, insbesondere beim motorisierten Präzisionsnivellement T U Dresden
- /24/ **SJÖBERG,** L, An Analys of systematic and random errors in the Swedish Motorized Levelling Techniques (1979). Lantmäteriet. Sweden 1981:2
- /25/ **STEINBERG,** J (1978) Anwendung moderner Verfahren bei der Auswertung von Präzisionsnivellements Verm. Tech. Heft 7
- /26/ **TAKALO,** M (1978) Measuring Method for the Third Levelling of Finland Rep. 78:3 of the Finn. Geod. Inst. Helsinki

- /27/ **WHALEN,** A United States test of the Swedish motorized levelling system. E/CONF. 75/L.47 United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific-Bangkok - 17-18 January 1983
- /28/ **URBAN,** A & **BECKER,** J-M (1979) Gemotoiseerde nauwkeurigheidswaterpassing Geodesia, april - HOLLAND
- /29/ **USSISOO,** Il (1978) En statistisk undersökning av Sveriges andra Precisionsavvägning 1951-67 Rapport VIII Cong. Nord. Geod. Com Oslo maj 1978
- /30/ **ZEISS,** **JENA VEB** (1977) Vermessungs Informationen FIG Sonderheft - Stockholm
- /31/ **PRECISIONS- OCH HUVUDLINJEAVVÄGNINGENS FÖRNYELSE.**
Rapport av Projektgruppen för Riksavvägningen vid LMV
- 1976