

PUIG J.

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Toulouse, France

BLIVET J.-C.

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Rouen, France

PASQUET P.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

Remblai armé avec un textile synthétique

Earth fill reinforced with synthetic fabric

To improve the behaviour of embankment made with weak soils (clayey, moist soil) we have associated such soils with reinforcements composed of fabric sheets and thus we provide some cohesion to material.

We give details of construction and observations of an vertical embankment of 4 meters high 20 meters long built with weathered chalk, silt and fire stone ($W = 16$ à 20 % with an optimum moisture content according to Proctor test of 13 %, $I_p = 12$).

The foundation soil is mainly composed of peat.

The total behaviour, observed during 8 months, is satisfying ; it exhibit a good adaptation to large deformations (settlement of one meter) and a good mechanical behaviour.

Les textiles synthétiques sont susceptibles, grâce à la fois à leur qualité mécanique et à leur coût peu élevé suite à leur production industrielle, d'élargir le champ des possibilités de réemploi de certains matériaux.

Au début de 1971, A ROUEN sur l'Autoroute A. 15, un remblai en vraie grandeur armé avec un textile a été réalisé avec un matériau de qualités médiocres (sol sensible à l'eau, argileux et humide) sur un sol de fondation compressible (3 mètres de tourbe).

Dans le but d'essayer de mettre en évidence au mieux les conditions de stabilité, d'adaptation et de déformabilité du remblai constitué par l'association sol-textile, il est apparu intéressant de se placer dans des conditions supposées très défavorables (taux vertical, surcharge).

Ce remblai de 4 mètres de hauteur (sans la surcharge) et de 20 mètres de longueur comporte des armatures en nappes disposées tous les 50 centimètres.

A la suite de cette expérimentation en vraie grandeur, une étude théorique d'un remblai armé par un textile par la méthode des éléments finis (programme Rosalie du L.C.P.C.) a été abordée.

- une couche en surface de 1 mètre de matériau de remblai divers, peu compressible ;

- une couche de 3 mètres de tourbe, dont les caractéristiques moyennes sont $W = 300$ %, $\gamma_d = 3 \text{ KN/m}^3$ et l'indice de compressibilité $C_c = 3,2$ pour $e_0 = 6,8$;

- la grave limoneuse formant l'horizon incompressible.

Matériau de Remblai

Il est constitué d'un mélange de craie altérée, d'argile et de silex, 2 courbes granulométriques type sont données (Fig. 1). Il se classe parmi les graves argileuses. Les teneurs en eau de la fraction 0/20 à la mise en oeuvre varient de 16 à 21 %. La teneur en eau de l'Optimum Proctor Normal sur la même fraction granulométrique est de 13 %, pour $\gamma_d = 19 \text{ KN/m}^3$; les teneurs en eau en place sont supérieures de 3 points et plus (pourcentage de saturation de 94 à 98 %), ce qui explique une déformabilité importante rencontrée couramment sur le chantier, lors de la mise en oeuvre.

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Sol de Fondation

Cet ouvrage a été réalisé dans une vallée, sur une épaisseur de plusieurs mètres d'alluvions compressibles. La coupe schématique du sol de fondation est la suivante :

.../...

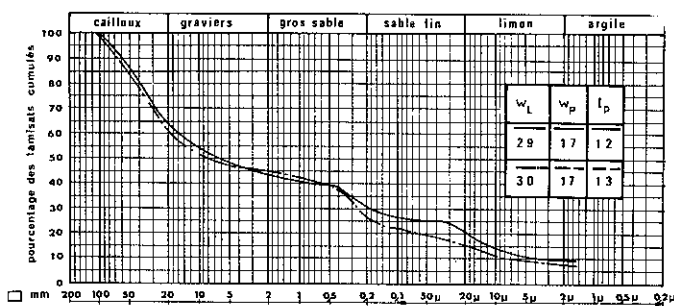


Fig. 1 - Caractéristiques géotechniques du matériau de remblai constitué de craie altérée, de silex et d'argile.

Textile

Le matériau utilisé est un non tissé polyester : Bidim U 34, poids $\sim 300 \text{ g/m}^2$, d'une résistance à la rupture en traction de 14 KN/m pour une déformation de 50 à 70 % (résultats obtenus à partir des "normes textiles" sur éprouvettes de 5 cm de large et 20 cm de long. NF.G 07001).

- Adhérence armature/sol. - On suppose que l'adhérence du textile sur le sol, mobilise les deux tiers du frottement interne du sol. Des expériences en Laboratoire tendent à prouver que cette hypothèse se situe dans le sens de la sécurité. D'où le coefficient d'adhérence :

$$f = \frac{2}{3} \text{tg}\phi.$$

- Déformabilité du textile. - L'inconvénient de l'essai textile normalisé est de ne pas donner d'information sur le comportement d'un textile soumis à des efforts dans toutes les directions ou dont la déformation n'est pas autorisée librement dans le sens perpendiculaire à la direction principale de traction, ce qui est le cas, d'un textile incorporé dans un remblai.

On a alors mis au point [1] un essai donnant des informations plus complètes et dont le principe est de dilater un manchon cylindrique constitué du textile à étudier en maintenant constante la longueur du manchon. La contrainte de traction correspondant à la rupture donne la résistance du textile dans le cas d'une déformation nulle dans le sens perpendiculaire à la traction.

On constate des résistances à la rupture notablement plus élevées que celles obtenues par l'essai textile, avec des déformations à la rupture beaucoup plus faibles.

Les résultats sont donnés sur la Fig. 2. Le module ainsi obtenu est suivant la direction compris entre 50 et 60 KN/m. La résistance à la rupture varie de 19 à 24 KN/m suivant la direction pour un allongement de l'ordre de 30 %.

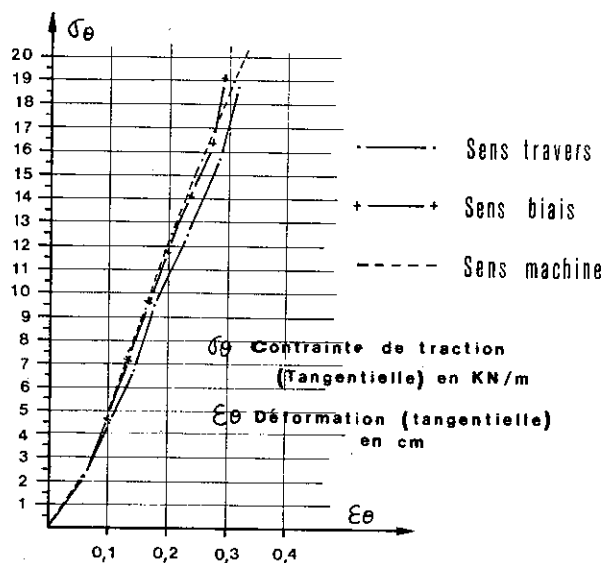


Fig. 2 - Déformabilité du textile suivant trois directions d'après les résultats obtenus au triaxial.

DIMENSIONNEMENT SOMMAIRE DU REMBLAI

Compte tenu des caractéristiques géométriques du remblai et des caractéristiques géotechniques et mécaniques des matériaux utilisés (remblai, sol de fondation, textile), le calcul de la stabilité générale de l'ouvrage est fait à l'aide de la méthode de calcul des ouvrages de soutènement. On a examiné successivement :

- la poussée sur le parement,
- le glissement circulaire du remblai seul,
- le glissement horizontal sur la base,
- le glissement général à court terme, compte tenu du sol de fondation.

Méthode de Calcul Utilisée

Le calcul de la poussée sur le parement, avec un choix d'une distance verticale entre armature de 50 cm et un angle de frottement interne du sol $\phi = 18^\circ$, conduit au résultat suivant :

- une longueur d'ancrage d'armature $L = 1,25 \text{ m}$ au delà du coin instable (Fig. 3) ;
- des efforts de traction dans les armatures allant de haut en bas, de 2,5 à 20 KN/m de largeur.

.../...

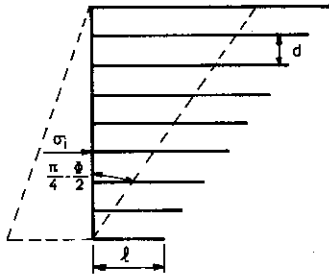


Fig. 3 - Poussée sur le parement. Une distance d'armature $d = 50$ cm, un angle de frottement interne du sol $\phi = 18^\circ$, une adhérence égale au $2/3 \phi$, donne, avec une poussée du type Rankine une longueur d'armature $L = 1,25$ m constante au-delà du coin instable d'angle $(\pi/4 - \phi/2)$.

Cependant, les différentes vérifications de la stabilité conduisent à augmenter fortement la longueur de ces armatures. Ainsi, la sécurité face à un glissement circulaire du remblai seul, nécessite des armatures de 6 m de longueur à la base. La stabilité relative à un glissement à court terme dans la tourbe du sol de fondation n'était pas assurée pour le remblai à talus vertical (coefficient de sécurité $F = 0,80$) elle devenait suffisante avec la butée formée par le talus provisoire de pente 2/3 (zones 1 et 2 de la Fig. 4). Imaginé pour la réalisation du remblai à parement vertical, ce talus provisoire devenait nécessaire pour assurer la stabilité à court terme. La vérification de la stabilité fut complétée par l'étude du comportement au renversement ainsi qu'au glissement horizontal sur la base.

Schéma Définitif Retenu pour les Armatures

La Fig. 4 précise les dimensions retenues pour les armatures, les nappes 6, 7 et 8 ayant une épaisseur double à cause de l'effort de traction prévu à ce niveau. En cas de construction rapide du remblai, il est prévu d'enlever dès la fin du chantier, la partie (1) du talus provisoire, puis, après consolidation du sol de fondation la partie (2), la partie (3) haute de 50 cm restant en place.

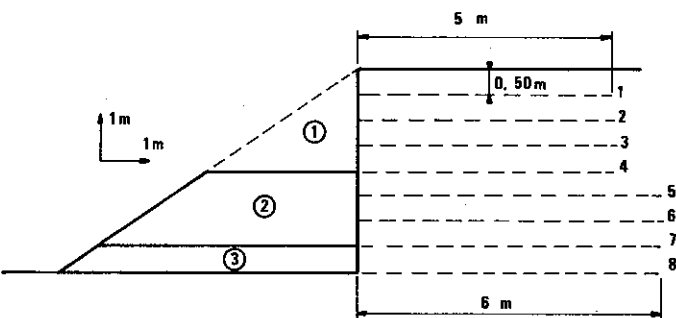


Fig. 4 - Les armatures 1 à 4 ont une longueur utile de 5 m ; de 5 à 8, une longueur utile de 6 m. Les zones (1) et (2) constituent le talus provisoire, une butée (3) de 50 cm de hauteur reste en place.

Protection du Parement Vertical

Elle a été obtenue par le prolongement de l'armature continue en textile avec un accrochage systématique sur toute la largeur à l'armature précédente (Fig. 5).

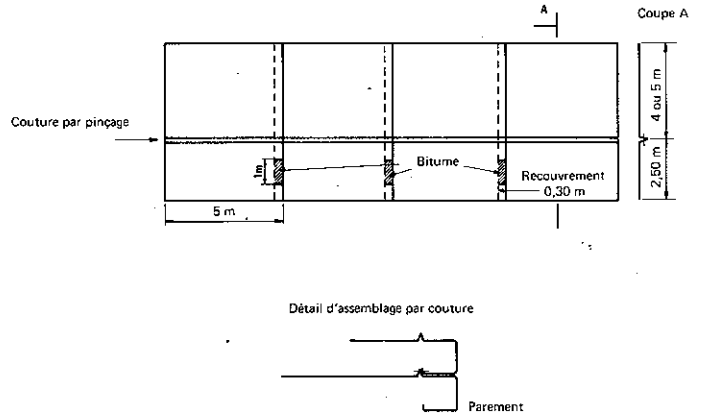


Fig. 5 - Schéma de préparation des armatures.

Préparation des Armatures

Le textile est livré en laize de 5,40 m. De façon à faciliter la manutention et la mise en place, quatre éléments de 7 ou 8 m ont été préalablement assemblés (Fig. 5). Le collage d'une laize sur l'autre a été obtenu au moyen d'émulsion de bitume. Une couture par pincage du textile a été réalisée sur toute la largeur (19,30 m environ) ; celle-ci ayant pour but de permettre l'accrochage par couture de l'armature suivante.

Mise en Oeuvre du Matériau de Remblai

Il s'agit d'un remblai méthodiquement compacté par couches élémentaires de 30 cm d'épaisseur maximale. En moyenne deux couches de remblai ont été mises en oeuvre entre chaque armature.

Le remblai a été monté avec un talus provisoire à pente de 2/3. Dans le triangle formé par ce talus et le talus vertical définitif (Fig. 6) le remblai a été mis en place de façon qu'il y ait toujours deux couches élémentaires en retard par rapport au corps de remblai proprement dit. Ce procédé permettrait la pose d'un coffrage bois de 60 cm de hauteur le long de la paroi verticale, permettant la mise en oeuvre des terres dans les armatures au voisinage du parement définitif.

Equipement des Profils de Mesure

Deux profils en travers de mesure ont été équipés comme l'indique le schéma de la Fig. 6.

.../...

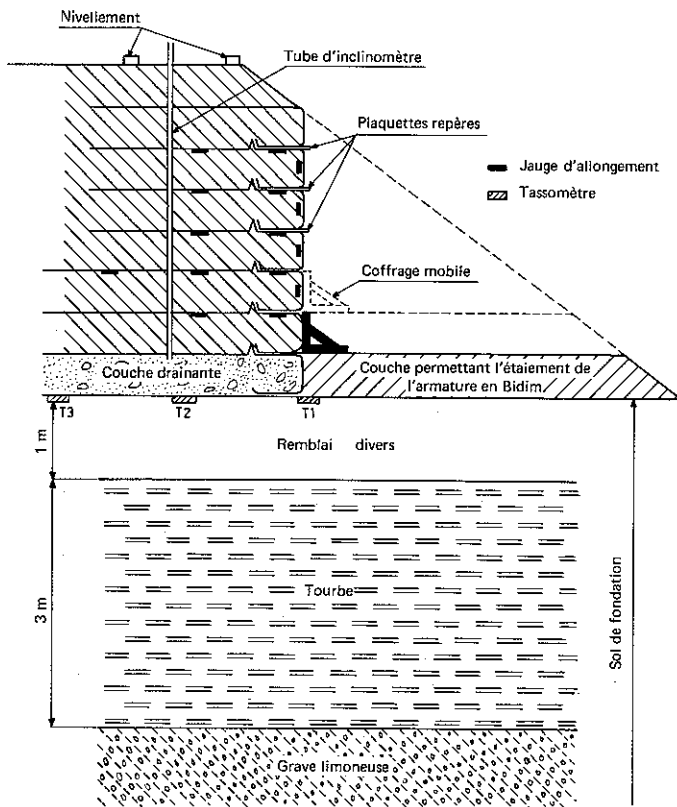


Fig. 6 - Schéma de mesure. Détail de construction avec talus provisoire et de disposition des appareils.

- Sol de fondation compressible. Trois tassomètres.

- Armatures. Plusieurs niveaux équipés de jauges à grand allongement. Ces jauges de 6 m utiles, sont constituées d'un fil résistant en Constantan fixé sur un support plastique (référence : Tokio Sokki - YL 60 type grand allongement). Elles ont été fixées sur le textile par pincement à leurs extrémités entre deux plaquettes d'acier.

- Remblai. Un tube d'inclinomètre et bornes de nivellement. Plaquettes repères sur le parement.

Réalisation

La réalisation a comporté trois phases :

Première phase : Mise en oeuvre du matériau de remblai avec armature et talus provisoire (Fig. 7).

Deuxième phase : Enlèvement des matériaux servant de butée (talus provisoire - Fig. 8, 9 et 10).

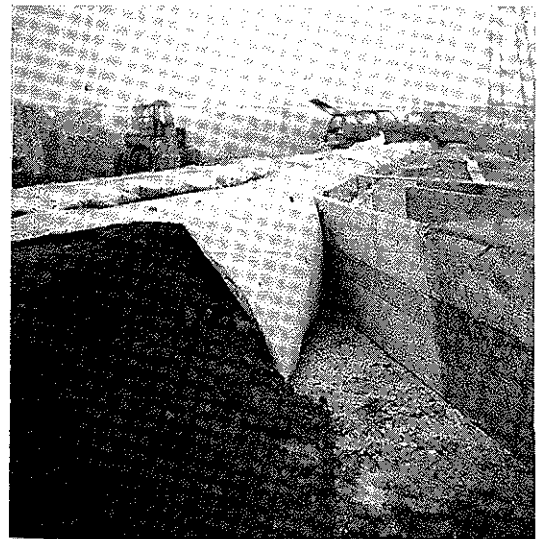


Fig. 7 - Décoffrage du deuxième élément. On remarque une surépaisseur de la couche et un défaut de compactage près du coffrage. Le matériau s'éboule en partie, mais il est retenu par le textile. On peut noter la pince réalisée sur la laize en attente pour permettre la couture de l'armature suivante.



Fig. 8 - Découverte du mur. L'opération de déblaiement est effectuée à la pelle, puis à la main à partir de 50 cm du parement pour éviter de le dégrader.

.../...

Troisième phase : Chargement du remblai par mise en oeuvre de matériau identique sur 4 m de hauteur réaligné avec un talus à pente 2/3 (Fig. 11).

OBSERVATIONS DU COMPORTEMENT

Déplacements Horizontaux du Parement (Fig. 10)

Le zéro des mesures correspond à la lecture effectuée le 23 Mars 1971 juste après le dégagement du mur et la mise en place des plaquettes repères.

- La première série de mesures (31 Mars), soit 8 jours après le dégagement, met en évidence un déplacement de 6 mm en pied et de 15 à 25 mm en tête.

- La deuxième série donne des valeurs absolues plus faibles, mais il y a eu entre-temps des tassements différentiels importants du sol de fondation, le mur ayant eu tendance à basculer vers l'intérieur.

- La troisième série (31 Octobre) après le chargement donne des déplacements de l'ordre de 20 mm, malgré une reprise des tassements différentiels de l'ensemble du sol de fondation en profil en travers (25 cm pour 3 m de longueur).

On ne peut pas prendre en compte les valeurs absolues des déplacements horizontaux ainsi mesurées à cause, d'une part, des tassements différentiels du sol de fondation et, d'autre part, du basculement des éléments du parement. Cependant, on peut considérer qu'il y a eu des déplacements horizontaux de l'ordre de quelques centimètres. Ces valeurs sont d'ailleurs confirmées par les mesures effectuées avec l'inclinomètre.



Fig. 9 - Vue générale du mur après le déblaiement (20 Avril 1971).

Déplacements Verticaux - Tassements du sol de Fondation

Le tassement total, au début du mois de Novembre de l'année 1971, soit huit mois après la deuxième phase, atteignait 110 cm. Le tassement à la même époque pour T1 est de 85 cm et pour T3 de 97 cm (Fig. 6).



Fig. 10 - Détail à la fin du déblaiement.

Contraintes dans les Armatures

Sur les 35 Jauges mises en oeuvre, 6 seulement fonctionnaient encore trois mois après la construction. De plus, un grand nombre ont été mises hors service dans les jours qui ont suivi le dégagement du mur. Ce matériel est donné par le constructeur pour la mesure d'un allongement maximal de 10 %, cela a été vérifié en Laboratoire. Les déformations mesurées avant leur détérioration étaient inférieures à cette valeur, de l'ordre de 2 à 3 %, de plus, les risques de poinçonnement des jauges ont été diminués par les précautions prises à la mise en oeuvre (jauges recouvertes d'une nappe de textile et protégées par un tapis de sable), ainsi il est probable que les ruptures soient dues essentiellement à la corrosion des fils des jauges (le remblai était proche de la saturation).

Néanmoins, on peut faire les remarques suivantes :

- en général, il se produit une décroissance de $\Delta l/l$ lorsque pour une nappe donnée, on s'éloigne du parement ;

- après enlèvement du talus provisoire, les valeurs de $\Delta l/l$ atteignent en certains points 17 à 18×10^{-3} , ce qui prouve que les nappes ont été effectivement sollicitées. Ces valeurs correspondent à une nappe constituée par deux feuilles de textile superposées.

.../...

Compte tenu de la déformabilité du textile, on peut estimer l'effort de traction correspondant à une telle déformation à 2 KN/m. Ce chiffre est à rapprocher de celui pris en compte dans le calcul (paragraphe "Méthode de calcul utilisée") où à ce niveau la valeur prise était de 10 KN/m.

ETUDE THEORIQUE SUR MODELE

L'influence de l'interposition de plusieurs couches de textile sur le comportement mécanique d'un remblai moyen dans le domaine de l'élasticité plane et pour des lois de comportement non linéaire est en cours d'étude.

Deux modèles ont été retenus :

- un premier modèle où le remblai ne peut pas glisser sur sa base,
- un second modèle où le remblai peut glisser librement sur sa base.

Le sol de fondation étant dans les deux cas infiniment rigide.

CONCLUSIONS GENERALES

Cette expérimentation fut une première approche du comportement sol-textile dans un remblai. Elle a pu être réalisée grâce à l'obligeance de M. BRAULT, Ingénieur des Ponts et Chaussées et M. RACLIN, Ingénieur des T.P.E., maîtres d'oeuvre de l'Autoroute A.15 et le concours de l'entreprise.

On a pu suivre la tenue générale de ce type d'ouvrage sur une période de 8 mois. On peut retenir que :

- le comportement d'ensemble du mur a été correct bien que le parement fut très déformable et que le sol argileux, constituant le remblai, fut proche de la saturation. Il faut noter sa très bonne adaptation aux grandes déformations (tassement d'ensemble de l'ordre de un mètre, tassement différentiel de l'ordre de 20 cm).

- les armatures continues apparaissent ici, comme une solution intéressante, dans le cas d'utilisation de sol douteux. En effet, les valeurs faibles de la traction unitaire dans les armatures conduisent à utiliser un textile dans sa zone de déformation la plus favorable (module élevé) sans destruction, semble-t-il de sa structure originale (les liaisons mécaniques de l'aiguilletage n'étant pas encore détruites). Cette faible traction unitaire est compensée par la présence d'armatures continues.

- la parement, bien qu'ayant subi de grandes déformations dues essentiellement au défaut de mise en oeuvre (compactage et ségrégation), a eu une bonne tenue mécanique. Il aurait été souhaitable d'améliorer la réalisation d'un tel parement, d'une part, au point de vue esthétique, d'autre part, au niveau de la protection contre les actions extérieures agressives (UV, déchirure volontaire).

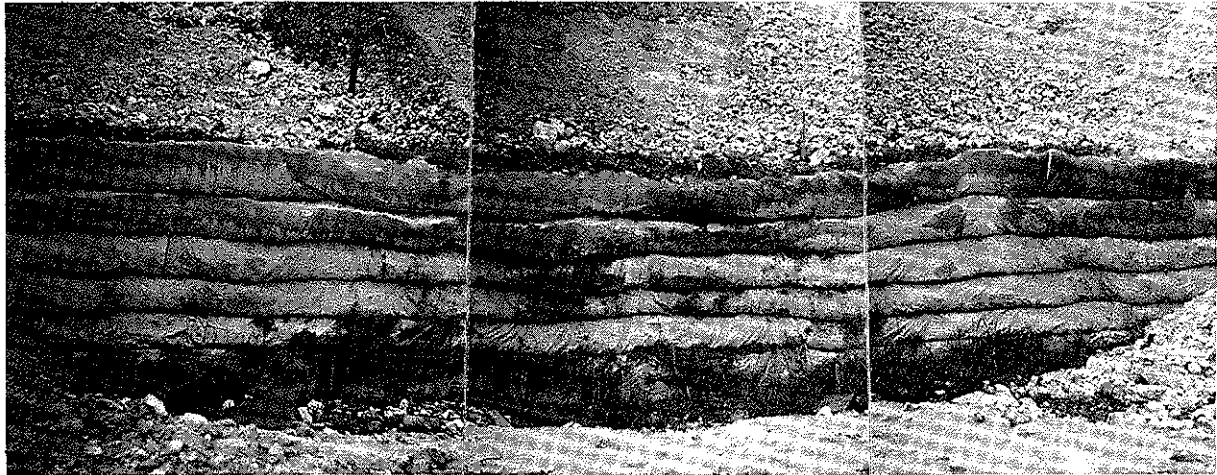


Fig. 11 - Vue après le chargement de la partie supérieure (8 Novembre 1971).

[1] LEFLAIVE, E., PUIG, J. - "L'emploi des textiles dans les travaux de terrassements et de drainage" - Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées - n° 69 - Janvier-Février 1974 - Réf. 1419.