

NABONNE A.

Société la Terre Armée, France

SCHAEFFNER M.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France

GUITTON G.

Tierra Armada S.A., Espagne

Considérations sur le compactage des matériaux de remblai dans les ouvrages en terre armée

Note on compaction of the backfill in reinforced earth structures

The backfills for reinforced earth structures are as well compacted as the ordinary road embankment even if the friction between the strips and the backfill does not need high compaction. We distinguish two zones for the compaction :

- a zone 1,5 meter wide just behind the panels for which the deformability of the panels must be taken into account
- the fill beyond this region for which the ordinary methods of compaction are suitable

The test described in this paper has been made with the intention of :

- measuring the movement of the panel when a heavy compactor is used
- specifying the type of compactor to be used near the panels
- verifying the compaction of the backfill

The results confirm that a vibrating compactor of between 7 and 8 kg/cm is adequate to obtain a good compaction and to avoid excessive displacements of the panels.

INTRODUCTION

Un compactage léger par les engins de terrassement suffit à assurer le serrage minimum pour obtenir le frottement terre-armatures dans de bonnes conditions. Cependant, pour les ouvrages en Terre Armée devant supporter un corps de chaussée ou une culée d'ouvrage d'art, on exige les mêmes taux de compactage que pour les remblais routiers.

Dans un massif Terre Armée, on distingue deux zones au regard du compactage :

- la première, située de l'arrière des armatures jusqu'à 1,50 m du bord des écaillles, dans laquelle on utilise les compacteurs pour terrassements à l'exception des plus lourds d'entre eux qui, de toutes façons, sont économiquement inadaptés.
- la deuxième zone, contiguë au parement sur une largeur de 1,50 m, ne peut être compactée avec les mêmes engins. En effet, au moment du remblaiement d'un lit d'armatures tant que le frottement terre-armatures n'est pas assuré, les écaillles sont maintenues en place au moyen de coins et serres-joints. Pendant cette phase, l'expérience sur chantier a montré que l'emploi des compacteurs de terrassement entraînait des risques de déformation du parement.

En France, les règles d'utilisation des compacteurs utilisés pour les terrassements routiers ont été codifiées récemment dans un document officiel intitulé "Recommandation pour les Terrassements Routiers (R.T.R) Janvier 76. En revanche, des règles analogues n'existent pas encore pour les petits rouleaux. L'objet de cette communication est tout d'abord de présenter brièvement comment sont exprimées les règles d'utilisation des compacteurs dans la R.T.R. et ensuite de faire part d'une expérience entreprise pour :

- mettre en évidence les déformations du parement obtenues avec l'emploi d'un engin trop lourd près des écaillles
- déterminer le type de compacteur à utiliser près du parement et vérifier la compacité des remblais obtenue avec un tel engin.

LES REGLES D'UTILISATION DES COMPACTEURS DEFINIES DANS LA R.T.R.

La R.T.R. est un document méthodologique qui s'appuie sur une classification de sols présentant des propriétés analogues vis-à-vis de leur utilisation dans des remblais et des couches de forme.

Pour chacune des classes de sols ainsi définie, elle indique les conditions de mise en oeuvre pour garantir des ouvrages de qualité

acceptable.

Parmi ces conditions, celles relatives au compactage sont essentielles car pour la plupart des matériaux de remblai, le compactage ne peut être valablement contrôlé par manque de significations ou nombre insuffisant d'essais.

La R.T.R. propose donc de substituer à ce contrôle "a posteriori" un contrôle "pendant" des conditions d'emploi des compacteurs qui sont définies par les 2 paramètres :

e : épaisseur maximum de la couche d'un matériau d'une classe donnée que peut compacter un compacteur donné

Q/S : ratio entre le volume mis en oeuvre et la surface balayée par le compacteur sur ce volume

Pour un matériau d'une classe donnée, les valeurs des paramètres e et Q/S qui caractérisent la qualité d'un compactage, dépendent du type de compacteur utilisé. C'est pourquoi la R.T.R. définit également une classification des compacteurs suivant leur type tout d'abord (pneus, vibrant, pieds dameurs) vis-à-vis du compactage (charge par roue pour les compacteurs à pneus, charge par cm de génératrice pour les compacteurs vibrants et à pieds dameurs).

En particulier, le rouleau V1b de 15 kg/cml de génératrice dont il va être question dans la suite appartient à la classe V1 (15 à 25 kg) qui est la classe la plus légère prise en considération dans la R.T.R. Les rouleaux de 10 et 7 kg/cml de génératrice dont il sera question également échappent donc à la R.T.R.

DESCRIPTION DE L'ESSAI

L'essai s'est déroulé à Madrid en Juillet 1978 sur le polygone d'essai de la société Tierra Armada.

L'essai de compactage a été réalisé sur un massif de 37,50 m de longueur et 5 m de largeur, partagé en 4 massifs de 6 m de longueur séparés par une zone tampon de 1,50 m pour éviter les interférences de compactage d'un massif à l'autre

La partie arrière de chaque massif a été compactée avec le même engin vibrant V1b. Les parties avant ont été compactées avec des engins différents (15-10-7,2 et 6,6 kg/cml de génératrice) dont il s'agissait de mesurer l'effet sur le parement et les remblais. Du niveau 0 au niveau I, les remblais ont été mis en oeuvre de façon traditionnelle, par couche de 37,5 cm. Du niveau I au niveau II sur les massifs II et III, les remblais ont été mis en oeuvre par couche de 19 cm d'épaisseur.

On a mesuré après chaque couche de remblai et pour chaque massif le déplacement du

parement et la compacité obtenue.

MATERIAUX UTILISES

- Parement en écailles béton de 18 cm d'épaisseur
- Armatures en acier galvanisé à haute adhérence de 5 m de longueur et 40 mm de largeur
- Remblais : le matériau utilisé dénommé "arena de miga" a fait l'objet de 3 prélèvements dont les caractéristiques sont indiquées ci-dessous :

W_L	:	29
W_P	:	15
I_P	:	14
W nat	:	10,5
Passant à 80 μ	:	21 %
Passant à 15 μ	:	14 %
γ_d OPN	:	1,97
W % OPN	:	10 %
tg φ consolidé sous 2bars : cisaillé à 1 mm/mn	:	0,57
Angle de frottement interne	:	32 °
Classification R.T.R.	:	B 6 m

MATERIELS UTILISES

Les compacteurs utilisés sont :

- Pour l'arrière des massifs : V1b (15 kg/cml de génératrice)
- Pour les zones situées derrière les écailles, se reporter à la figure n° 1.
- Les mesures de déplacement du parement ont été réalisées au moyen de nivelles type L.C.P.C. La précision de lecture est de 1/10000).
- Les mesures de densité en place du remblai ont été réalisées avec un gammamètre à pointe donnant une compacité moyenne sur 25 cm d'épaisseur.

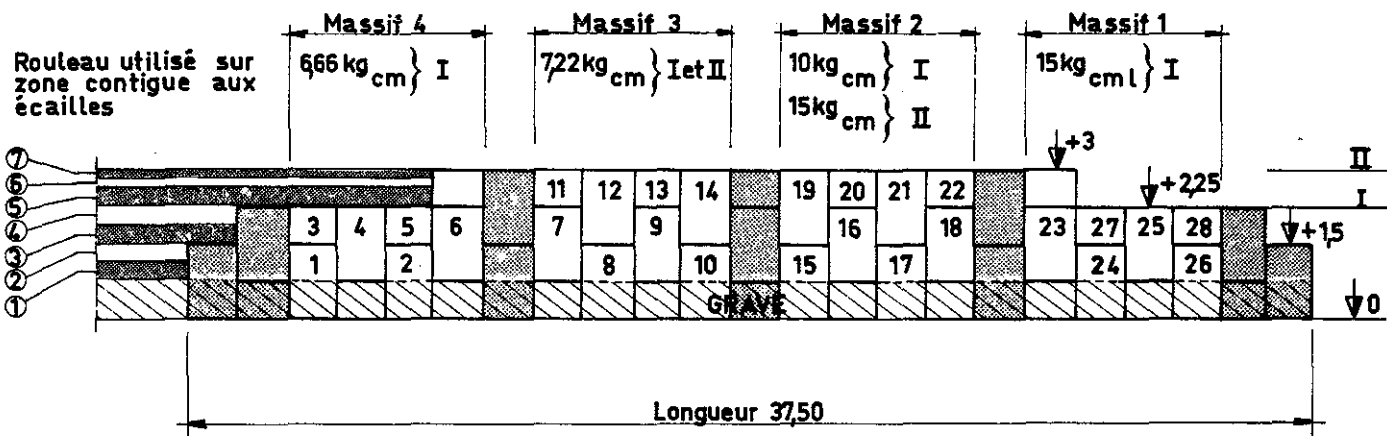


Figure 1. - Elévation du massif

MISE EN OEUVRE DE LA TERRE ARMEE

- Le montage a été réalisé de façon traditionnelle. Les premières grandes écaillés ont été étayées jusqu'à la mise en oeuvre de la couche de remblai n° 2.
- Les 75 premiers centimètres ont été réalisés en grave légèrement argileuse compactée de façon à assurer une bonne homogénéité de l'assise de la première couche donnant lieu aux mesures.
- Dans tous les cas, l'arrière de chacun des massifs a été compacté au rouleau V1 jusqu'à 1,80 m derrière les écaillés.
- Puis chacun des massifs a été compacté sur les 1,80 m derrière les écaillés avec le compacteur affecté au massif.
- Sur tous les massifs, 4 couches de remblais de 37,5 cm d'épaisseur ont été mises en oeuvre (numérotées de 1 à 4) et compactées par 10 passes d'engin (niveau 0 à I) ce qui correspond à la valeur recommandée par la R.T.R. pour le couple matériau B6s et le rouleau V1b.
- Ensuite, sur les massifs 2 et 3, ont été mises en oeuvre avec 10 passes :
 - 1 couche de 37,5 cm
 - 2 couches de 19 cm

pour tester par les rouleaux 15 kg/cm et 7 kg/cm l'influence de l'épaisseur des couches de remblais.

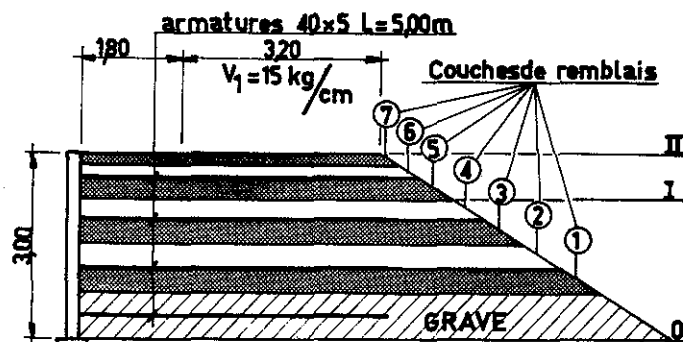


Figure 2. - Coupe en travers du massif

- Les mesures de déformations ont été réalisées avant mise en oeuvre de la couche de remblai (lecture zéro) et après compactage de la même couche de remblai.

Les déformations constatées sont données par massif et par écaille sur les croquis qui suivent :

Massif 1 -

Compactage du niveau 0 au niveau I

- Compacteur 15 kg/cml
- Déplacement moyen en % d'une écaille du massif 1 = 2,15

Niveau I ↓

	<p>④</p>	<p>②③</p> <p>I</p> <p>(4) 0,32</p> <p>(3) 1,39</p> <p>(2,95) (2) 0,72</p> <p>(1) 0,52</p>	<p>⑦</p> <p>I</p> <p>(4) 0,99</p> <p>(3,205) (3) 2,21</p>	<p>⑤</p> <p>I</p> <p>(4) 0,42</p> <p>(3) 0,79</p> <p>(2,165) (2) 0,61</p> <p>(1) 0,33</p>	<p>⑧</p> <p>I</p> <p>(4) 0,73</p> <p>(0,845) (3) 0,11</p>
	<p>③</p>		<p>②④</p> <p>I</p> <p>(4) 0,05</p> <p>(3) 0,15</p> <p>(0,91) (2) 0,35</p> <p>(1) 0,36</p>	<p>⑥</p> <p>I</p> <p>(4) 0,05</p> <p>(3) 0,13</p> <p>(0,675) (2) 0,31</p> <p>(1) 0,18</p>	
	<p>②</p>				
	<p>①</p>				
<p>GRAVE</p>					

Légende : (23) n° de l'écaille
4) n° des couches

0,32 : déplacement de l'écaille en % correspondant à chaque couche

2,95 : déplacement total en %

Massif 2 -

Compactage du niveau 0 au niveau I

- compacteur 10 kg/cml
- déplacement moyen en % d'une écaille du massif 2 = 2,266

Compactage du niveau I au niveau II

- compacteur 15 kg/cml
- déplacement moyen en % d'une écaille du massif 2 = 0,536

Déplacement moyen total en % = 2,154

	<p>⑦</p>	<p>①⑨</p> <p>I à II</p> <p>(7) 0,155</p> <p>(6) 0,16</p> <p>(1,075) (5) 0,76</p> <p>I (4) 0,545</p> <p>(2,24) (3) 1,695</p> <p>I+II (3,315)</p>	<p>⑩</p> <p>II</p> <p>(7) 0,135</p> <p>(6) 0,315</p> <p>(5) 0,13</p> <p>(0,375)</p>	<p>⑪</p> <p>I à II</p> <p>(7) 0,115</p> <p>(6) 0,17</p> <p>(5) 0,70</p> <p>(0,985) (4) 0,525</p> <p>I (3) 2,34</p> <p>(2,865)</p>	<p>⑫</p> <p>II</p> <p>(7) 0,18</p> <p>(6) 0,325</p> <p>(5) 0,305</p> <p>(0,81)</p>
	<p>⑥</p>		<p>⑬</p> <p>I à II</p> <p>(7) 0,025</p> <p>(6) 0,035</p> <p>(5) 0,18</p> <p>(4) 0,305</p> <p>(3) 1,56</p> <p>(2) 0,395</p> <p>(1) 0,085</p> <p>(0,24)</p> <p>I+II (2,585)</p>	<p>⑭</p> <p>I à II</p> <p>(7) 0,01</p> <p>(6) 0,01</p> <p>(5) 0,025</p> <p>(4) 0,10</p> <p>(3) 0,37</p> <p>(2) 0,30</p> <p>(1) 0,125</p> <p>(0,025)</p> <p>I (0,92)</p> <p>(0,895)</p>	<p>⑮</p> <p>I à II</p> <p>(7) 0,03</p> <p>(6) 0,045</p> <p>(5) 0,19</p> <p>(4) 0,335</p> <p>(3) 1,305</p> <p>(2) 0,685</p> <p>(1) 0,285</p> <p>(0,245)</p> <p>I (2,865)</p> <p>(2,52)</p>
	<p>⑤</p>				
	<p>④</p>				
	<p>③</p>				
	<p>②</p>				
	<p>①</p>				
<p>GRAVE</p>					

Massif 3 -

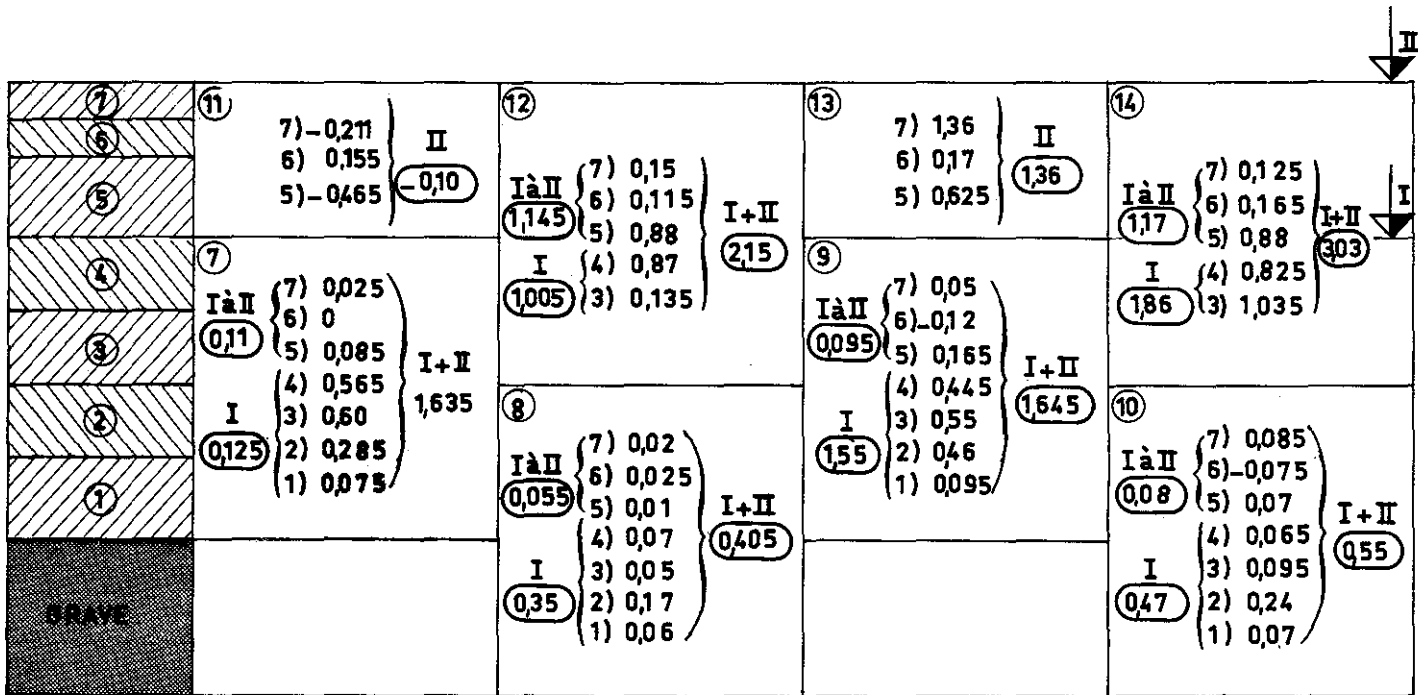
Compactage du niveau 0 au niveau I

- compacteur 7,2 kg/cm²
- déplacement moyen en % d'une écaille du massif 3 = 1,363

Compactage du niveau I au niveau II

- compacteur 7,2 kg/cm²
- déplacement moyen en % d'une écaille du massif 3 = 0,559

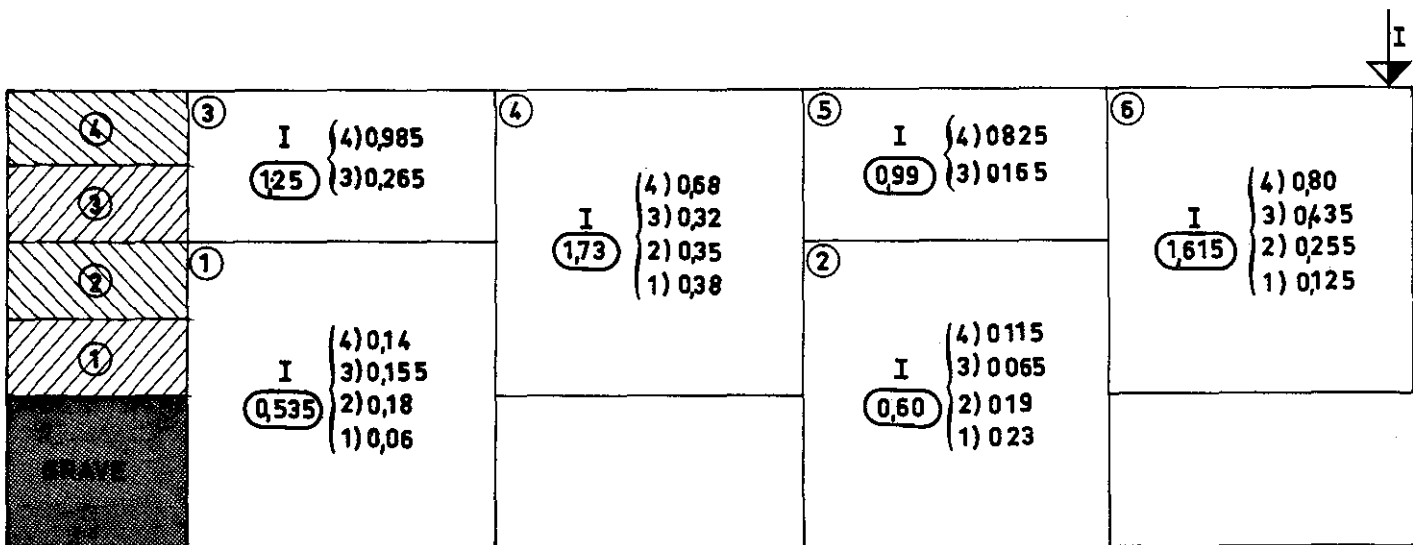
Déplacement moyen total en % = 1,533



Massif 4. -

Compactage au niveau I

- compacteur 6 kg/cm²
- déplacement moyen en % d'une écaille du massif 4 = 1,344



- En moyenne, le déplacement constaté avec l'engin le plus lourd utilisé (15kg/cml) est 60 % supérieur à celui constaté avec un engin de 7 kg/cml (pour le massif 1, au niveau I, le déplacement moyen est de 2,15% soit un déplacement du haut des écaillés de 3,3 cm contre 2 cm sur le massif 2).
- On peut constater que le compacteur de 10 kg/cml n'est pas différent quant aux déformations du compacteur de 15 kg/cml.
- L'effet du compactage se fait sentir de façon significative pour les déformations jusqu'à 1 m de profondeur, ce qui nous conduit à préconiser de laisser durant le montage les coins de pose des écaillés en place sur au moins 3 rangées.
- Au montage de la Terre Armée, les déformations sont compensées par un contrefruit donné aux écaillés à la pose qui est résorbé au compactage. Ce contrefruit dépend de la nature des matériaux. Il est très aisément déterminé par l'équipe de pose au montage du premier rang. Il est de l'ordre de 1 %.
- Les compacités obtenues sur la zone située derrière les écaillés sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

du niveau 0 au niveau I				
	Massif n° 1 compacité	Massif n° 2 compacité	Massif n° 3 compacité	Massif n° 4 compacité
Couche n° 1	91,90	94,90	93,60	92,40
Couche n° 2	94,30	93,20	98,90	95,50
Couche n° 3	97,40	95,70	90,70	89,60
Couche n° 4	95,50	97,30	93,60	92,00
Moyenne γ_d sèche γ_d proctor	94,77	95,27	94,20	92,37
du niveau I au niveau II				
Couche n° 5		92,60	94,30	
Couche n° 6		96,23	90,45	
Couche n° 7		99,73	98,70	
Moyenne γ_d sèche γ_d proctor sur couches 6 et 7		98,05	94,60	

- Au niveau I, sur le massif 2 compacté avec le rouleau V1b, l'application des règles de la R.T.R. permet effectivement d'atteindre une compacité moyenne de 95 % de l'OPN. Le même nombre de passes effectué avec le rouleau de 7 kg/cml donne un résultat très voisin (compacité = 94,20 % de l'OPN).
- Au niveau II où l'épaisseur des couches a été réduite de moitié, la compacité a fortement augmenté avec le compacteur lourd (15 kg/cml) alors que le gain avec le compacteur léger (7 kg/cml) n'est pas significatif. Ceci provient sans doute de la couche 6 pour laquelle le résultat est anormalement bas. On peut normalement s'attendre à un gain de compacité équivalent à celui constaté avec le compacteur lourd.
- Au montage de la Terre Armée, les déformations sont compensées par un contrefruit donné aux écaillés à la pose qui est résorbé au compactage. Ce contrefruit dépend de la nature des matériaux. Il est très aisément déterminé par l'équipe de pose au montage du premier rang. Il est de l'ordre de 1 %.
- Les compacités obtenues sur la zone située derrière les écaillés sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :
- compacteurs figurant dans la R.T.R. et par les résultats des essais qui sont décrits dans cette communication. On a montré notamment :
 - que l'emploi derrière le parement d'un compacteur type VI entraînait des déplacements d'écaillé incompatibles avec une bonne esthétique du parement
 - que la partie contiguë aux écaillés pouvait être compactée avec un compacteur de 7 à 8 kg/cml de génératrice en adoptant des nombres de passes du même ordre que ceux préconisés dans la R.T.R. pour des rouleaux VI. Dans ce cas, les déplacements sont très inférieurs et contrôlables.
 - que dans le cas où une compacité élevée est exigée (cas des culées), on doit augmenter sensiblement ce nombre de passes ou mieux réduire de moitié l'épaisseur des couches.
 - que dans la partie centrale du massif, les règles d'utilisation des compacteurs envisagées dans la R.T.R. s'appliquent directement.

CONCLUSION

L'expérience acquise jusqu'à présent sur le compactage des matériaux de remblai utilisés dans les ouvrages en Terre Armée se voit confirmée par les règles d'utilisation des