

UTILISATION DES MATERIAUX ROCHEUX EN REMBLAI

M'RIZOU
Chef du Centre Technique
Régional de Fes
L P E E

I - RAPPEL DES SPECIFICATIONS EN VIGUEUR (C.P.C.)

Le fascicule n° 3 du Cahier des prescriptions communes applicables aux travaux routiers courants (C.P.C.) , relatif aux travaux de terrassements mentionne dans son article n° 2 que les sols rocheux non évolutifs sont utilisables sans restriction en remblais.

L'article n° 12 du même fascicule classe la nature des déblais en trois catégories :

1ère Catégorie: Terrains meubles

" Sont considérés comme déblais en terrain meuble ceux qui ne nécessitent ni l'intervention du ripper ni l'usage d'explosifs" .

2ème Catégorie : Rocher non compact

" Sont considérés comme déblais en rocher non compact ceux qui sans entrer dans la 1ère Catégorie , peuvent être extraits au moyen d'un ripper à une dent portée équipant un tracteur de moins de 3 ans d'âge et de 350 chevaux au plus " .

3ème Catégorie : Rocher compact

" Sont considérés comme déblais en rocher compact les déblais qui ne peuvent être extraits au ripper défini à l'alinéa précédent " .

Il précise en outre les prescriptions applicables aux déblais en rocher non compact (\$ 12,5) et celles applicables aux déblais en rocher compact (\$ 12,6) en matière de profil et tolérances y afférentes . Cependant , pour les déblais en rocher compact il est spécifié qu'en "cas de recours à l'explosif , l'Entrepreneur devra établir puis adapter ses plans de tir façon à aboutir directement au sautage :

- Le dégagement au gabarit des talus de déblais et de la plateforme .

-Le plus grand fractionnement possible de la roche ...".

En ce qui concerne l'exécution des remblais , l'article 14-6 définit les conditions de mise en oeuvre et contrôle comme suit :

" Le déchargement des déblais à utiliser en remblais et leur réglage seront organisés de façon à obtenir un matériau aussi homogène et aussi plein que possible

Les couches élémentaires auront une épaisseur qui sera déterminée en fonction de la dimension du matériau et des possibilités des moyens de compactage . Cette épaisseur ne pourra

en aucun cas dépasser 0,80 m dans le corps du remblai . Dans les trente centimètres supérieurs on éliminera les blocs dont la plus grande dimension excédera 0,20 m...

Les remblais seront compactés au cylindre vibrant de 8 tonnes au moins ou avec un engin à chenilles de 25 tonnes au moins ...

Le contrôle de compactage sera effectué par la mesure du paramètre Q/S où :

- Q représente le volume de remblai mis en une journée mesuré au m³ après compactage.

- S représente la surface balayée en une journée par l'engin de compactage se déplaçant à la vitesse fixée lors de la planche d'essai.

La valeur du paramètre sera fixée au moyen d'une planche d'essai contrôlée par des essais de plaque permettant d'obtenir un module de premier chargement au moins égal à 500 bars et un rapport E2/E1 inférieur à 1,5 ... "

Le C.P.S. de L'Autoroute Cacablanca - Rabat (tranche Oued Cherrat - Oued YKem) reprend intégralement ces mêmes spécifications . Ceci en vue de les appliquer lors des travaux de terrassement , car le tracé de l'Autoroute rencontre, surtout aux environs de l'oued YKem des déblais rocheux, importants sur la rive droite de l'oued et d'importance moyenne par ailleurs .

L'application de ces spécifications au cours des travaux a soulevé des difficultés majeures qu'il a fallu tenter de résoudre par des études techniques approfondies, tirs et planches expérimentaux tenant compte des moyens disponibles .

Les premiers résultats de cette expérience sont relatés ci-après et permettent d'ores et déjà :

-D'affiner la méthodologie d'approche de l'étude des terrassements rocheux .

- De définir les études techniques à mener avant travaux et les données nécessaires pour la détermination des méthodes et moyens d'exécution .

-De mieux préciser les modalités pratiques de leur prise en considération.

II - EXTRACTION DES MATERIAUX ROCHEUX EN VUE DE LEUR REUTILISATION EN REMBLAIS.

IL ne sera traité que des matériaux rocheux à extraire au moyen de l'explosif. Bien entendu et à l'occasion de travaux ou thèmes de recherche appuyés par l'expérimentation vraie grandeur il sera fort utile de chercher à acquérir des résultats et données sur l'extraction par ripper.

Il faut d'abord souligner que le sautage à l'explosif est un procédé d'extraction contrôlée des massifs rocheux. L'objectif présent étant d'obtenir un matériau utilisable en remblai et une excavation (après sautage) selon une géométrie donnée et stable. Les contraintes à prendre en considération sont :

- Fragmentation poussée de la roche ,granularité pleine
- Coût peu élevé de la foration, sautage et également des opérations de chargement, transport, réglage et mise en oeuvre.
- Stabilité assurée des talus rocheux de l'excavation après sautage et ce à chaque stade.
- Absence de dommages et nuisances dûs aux tirs de, mines (ouvrages à proximité, projection de blocs et cailloux ,..)

Un compromis technico-économique doit être cherché pour satisfaire ces divers contraintes .C'est l'objet des études et expérimentations préalables .Celles -ci concernent :

- Le rocher
- Les moyens de foration
- De sautage : explosifs et dispositifs d'amorçage.

Ces études doivent intervenir avant le commencement de tous travaux et après l'étude géotechnique sommaire du tracé.

A - Etude du rocher

Un massif rocheux est constitué de matrice (roche pleine: assemblage de polycristaux avec microfissures) et discontinuités (fissures,vides,altérations,hétérogénéités,etc..) Ainsi donc deux niveaux d'études apparaissent :la roche, le massif rocheux.

a) pour la roche , l'étude doit aboutir à :

.L'identification pétrographique (succincte) .A cet effet on se référera à la terminologie conseillée par le tableau n°I joint en annexe.

.Détermination de la masse volumique

.Détermination de la porosité

.Mesure de la vitesse de propagation du son. Ce qui permettra d'une part de déterminer l'indice de continuité de la roche et par conséquent son degré de fissuration connaissant la porosité, et de caractériser la roche par son impédance mécanique: produit de la masse volumique exprimée en g/cm³ par la célérité des ondes de compression sonores exprimée en m/s.

.Détermination de la résistance statique en traction. Une échelle des résistances est donnée par le tableau n° II joint en annexe.

.Mesure de l'abrasivité (pour estimer les performances et coûts de la foration). L'échelle des valeurs est donnée par le tableau n° III joint en annexe.

b) Au niveau du massif rocheux :

Le paramètre fondamental à chercher à appréhender est l'état de fracturation du massif et son homogénéité .Il faut chercher à connaître :

-La densité des discontinuités ou hétérogénéités

-L'orientation

-Leur organisation en famille

-Leur résistance au cisaillement

Pour ce faire ,il faut procéder à :

.Une description géologique du massif rocheux ayant pour but le découpage en zones homogènes du point de vue lithologie, pétrographie et structuration. A cet effet on utilisera une terminologie simple telle que recommandée par le tableau n° IV joint en annexe pour la description de l'état d'altération.

Il ne faudrait pas également oublier de chercher à connaître l'hydrogéologie du massif (niveau de la nappe et perméabilité)

.Détermination de l'état de fracturation du massif :

-Soit directement par des mesures et observations sur les affleurements, fronts de taille ,parois de tranchées d'essai ou de sondages, ou sur des carottages (mesure de l'intervalle entre les discontinuités : ID) .L'intervalle entre les discontinuités est la longueur moyenne qui sépare deux discontinuités successives le long d'une ligne de mesure (dans un sondage carotté,c'est la longueur moyenne des carottes) .Déterminé mètre par mètre, il permet de distinguer et décrire des zones différentes correspondant à des états de fracturation différents .Une échelle des valeurs est donnée par le tableau V joint en annexe. C'est en quelque sorte l'indice global de la continuité du massif rocheux.

- Soit indirectement par la méthode dite de diagraphie microsismique : cette méthode consiste à mesurer dans la paroi des forages (carottés ou destructifs) et sur des courtes distances successives (tous les 50 cm en moyenne) la célérité des ondes microsismiques .

Elle indique :

- *la continuité de la roche

- *La localisation des zones de continuité faible ou élevée .

- *Une estimation des volumes respectifs de ces différentes zones en regroupant les résultats de plusieurs forages .
et permet le calcul de l'impédance de la roche en place .

.Outre ces indications et compte tenu de l'influence de l'orientation des discontinuités sur les performances de la foration , sautage et stabilité du massif, il est nécessaire de déterminer le pendage des couches et une hiérarchisation des familles des discontinuités .Ce qui permettra de choisir en conséquence l'orientation des fronts de taille de telle sorte à " prendre le massif dans le bon sens " .

.Comportement mécanique : mesure par l'essai de cisaillement (en laboratoire ou in-situ) de l'angle de frottement mobilisé dans le plan de la discontinuité . La classification suivant la valeur de cet angle est donnée par le tableau n° VI joint en annexe .

B - Les moyens de foration

Le choix des moyens de foration est dicté par :

- Assurer à l'énergie explosive une meilleure efficacité : elle est mieux transmise à la roche s'elle est bien confinée dans un trou de mine .

- Nature de la roche et état du massif rocheux

- Rendement de l'atelier de foration pour satisfaire le programme des travaux .

Les différents engins de foration actuellement utilisés peuvent être classés selon :

- La technique de forage :
 - *roto percussion avec en tête (hors du trou)
 - *roto percussion avec marteau en fond de trou
 - *rotation avec outil tricône rotatif

- Les sources d'énergie :
 - *hydraulique (moteur électrique)
 - *hydraulique (moteur thermique)
 - *pneumatique (avec compresseur)
 - *hydropneumatique (moteur électrique ou thermique) .

Le choix de l'engin de foration considérera les paramètres suivants :

-La hauteur à miner ou profondeur à excaver, définissant un diamètre de forage limite.

-La productivité recherchée en fonction du type d'ouvrage et du rythme des travaux . Celle-ci évoluera selon :

- * Le diamètre des forages
- * La puissance des engins de foration
- * La technique de forage.

Choix du diamètre de foration

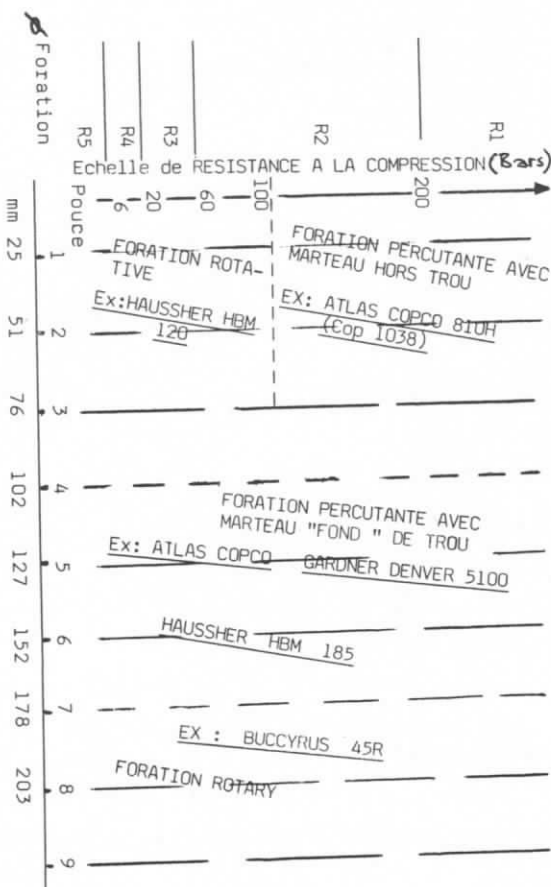
Le tableau suivant donne des indications sur le choix du diamètre en fonction de la profondeur à forer :

Profondeur à forer(m)	Diamètre de foration / diamètre de tige en pouces et mm			
0 - 3/4	45 mm	51 mm	64 mm	76-89 à 102 et + mm
	1" (25mm)	1 1/4" (32mm)	1 1/2" (38 mm)	1 3/4 (45mm)
3 - 6	Oui	Oui	Oui	Oui
6 - 9	Non	Oui	Oui	Oui
9 - 12	Non	Non	Oui	Oui
12 et +	Non	Non	Oui	Oui
type d'engin	wagon-drill léger	wagon-drill moyen	Wagon-drill lourd	Crawl moyen et lourd (0 115 mm)
			Crawl léger	
Exemples		LC50 montabert	BVB 25 (AC) LMI00- (IR)	ATD 3100 (GD)
			Motofore (Mont)	Roc 601 (AC) Hydrofore (Mont)
			Roc 301 (AC)	

Choix du mode de foration:

Les tableaux suivants permettent de guider le choix du mode de foration en fonction du diamètre de forage et de la résistance et abrasivité de la roche à forer.

Techniques de foration . Matrice de choix



DIAMETRE DE FORAGE ET TECHNIQUE DE FORATION

Diamètre des trous à forer	Caractéristiques de la roche	Technique de foration
54 à 102 mm Voire 127 mm	Tous types de roches	Rotopercussi- on marteau en- tête
95 à 102 mm Voire 152 mm	Abrasivité faible Résistance faible à moyenne	rotation outil à lames Carbure
102 à 203 mm Voire 254 mm avec taillant aléseur	Résistance moyen à très élevée Roches abrasives ou non	Rotopercussion à marteau "fond de trou"
Supérieur à 152	Toutes roches	rotation avec outil tricoté système Rotary

C - Le sautage :explosifs, dispositifs d'amorçage et plan de tir.

a)Les explosifs sont de trois types

- dynamites
- Nitratés
- Bouillies ou gels

Outre sa nature, l'explosif se caractérise par les propriétés suivantes :

-Vitesse de détonation (fonction du diamètre de l'explosif, température au cours de la détonation et mode d'amorçage).

-Masse volumique (paramètre important

-Brisance (fonction de la vitesse de détonation et de la masse volumique)

-Puissance (efficacité de l'explosif,appréhendée par le CUP coefficient d'utilisation pratique)

-Sensibilité (capacité que possède un explosifd'être amorcé)

-Sel-excitation (capacité d'un explosif à faire détoner un autre explosif placé à côté).

-Résistance à l'humidité (aptitude à résister à la pénétration de l'eau).

-Nocivité des gaz de détonation

-Inflammabilité

Ces caractéristiques sont nécessaires à connaître (généralement elles sont données par les fournisseurs) pour permettre de définir avec une plus grande efficacité le type à employer.

Le tableau n° VII joint en annexe donne à titre indicatif pour différents type d'explosifs quelques valeurs caractéristiques des propriétés énumérées ci-dessus .

b) Dispositifs d'amorçage ou artifices de mise à feu

Les différents modes d'initiation des explosifs sont schématisés en chaînes pyrotechniques (schéma - tableau VIII joint en annexe) suivant trois modes de transmission de l'ordre de détonation.

MODE A : transmission mécanique
MODE B : transmission électrique
MODE C : transmission mécanique

Le tableau n°IX joint en annexe détaille certaines chaînes de mise à feu en précisant certains avantages et inconvénients de leurs éléments .

D - dimensionnement d'un abattage

Une fois toutes les données précisées ,le dimensionnement de l'abattage peut être mené en suivant les étapes suivantes :

Ière phase :

* Etude de la roche et du massif (§ 2-1)

* Choix de la nature et type d'explosif :ce choix s'effectue dans une adéquation de l'explosif au rocher à abattre .Cette adéquation se traduit par le rapport Z de l'impédance mécanique de l'explosif I_c à l'impédance mécanique du rocher I_r à l'impédance mécanique du rocher I_r compris entre 0,4 et 0,7 .

$$I_c = V_d \times \gamma_c$$

V_d (en m/s):vitesse de détonation
de l'explosif
 γ_c (en g/cm³) : densité de
chargement de l'explosif
c'est à dire la quantité
d'explosif par centimètre
cube du trou de mine.

V_d et V_c sont déterminées suivant les conditions du site.

$$I_R = V_{ls} \times \gamma_r$$

v_{ls} en m/s): Célérité des ondes
 microsismiques dans le
 rocher (diagraphie) .
 γ_r (en g/m³) : Masse volumique de la
 roche.

* Détermination du diamètre de foration (§ 2-2)

* Détermination de la maille de foration :

la maille de foration est composée de deux dimensions:
 l'entre-axe (ou espacement : s) des trous entre eux ,et la
 banquette (b) : distance des trous au front de taille .

L'épaisseur de la banquette conditionne la dimension maximale
 des blocs et réciproquement ,celle -ci étant fixée par le godet
 de la pelle ,l'épaisseur de la banquette égale à quatre fois la
 dimension maximale des blocs .

La hauteur à abattre (H) et diamètre de foration (d) sont
 liés par la relation $d = 0,5 \text{ à } 1,25\%$ de H.

*Détermination de la qualité d'explosif au mètre cube : se
 calcule par différentes formules qu'on peut trouver dans la
 littérature (formule d'Oppenan ,de Langefois).
 A titre indicatif ,elle peut varier de 180 g à 2500 g/m³ selon
 les roches et les explosifs .

* Calcul de la quantité d'explosif par trou

* Détermination de la répartition de l'explosif dans les
 trous

* Etude du bourrage

* Choix du plan de sautage

* Détermination des artifices de mise à feu

* Analyse de la stabilité des talus réalisés à l'explosif
 (techniques particulières d'amélioration des tirs)

* Analyse de la sécurité vis à vis des projections et vib
 rations

* Analyse de la sécurité "Onde de choc dans l'air " ,
 "courants vagabonds" , "Orages".

* Calcul des prix de revient et analyse économique .

2ème phase :

Tirs expérimentaux pour réadapter ,compte tenu des conditions in-situ ,certains paramètres et pour analyser le produit d'abattage (blocométrie) .

E - Cas de l'Autoroute Casablanca-Rabat (déblais Oued ykem)

.Déblai rocheux sur la rive droite de L'Oued Ykem : il s'agit d'un déblai de hauteur maximale dépassant les 8 mètres dans le calcaire cristallin de l'oued Ykem dont les matériaux extraits pourraient être utilisés en remblai.

Le tir expérimental réalisé présentait les caractéristiques suivantes:

- Foration : roto percussion avec marteau hors de trou diamètre de foration :89 mm

-Maillage : 7 rangées de 40 m de long avec des trous en quiconce distants de 1 m.

Hauteur de foration : 4 m

-Explosifs : 1 kg du sigma 505 +7 kgs d'amonix / trou répartis comme explicité par le schéma :

Les caractéristiques du sigma 505 sont :

$v_d = 7000 \text{ m/s}$
 $\gamma_e = 1,2$
 $d = 25 \text{ mm}$

-dispositif d'amorçage : au cordeau détonant 12

-contraintes d'environnement : pas d'ouvrage à proximité circulation momentanément arrêtée sur la route avoisinante (RP 36). Donc l'objectif principal était l'obtention d'un matériau à granulométrie pleine et à diamètre maximal réduit

Les matériaux extraits soumis à un essai bloco-granulométrique ont donné la courbe suivante :

1er trou

B
A
B
A
Σ

150 à 200 mm

trou suivant

B
A
B
A
B
Σ

A: amonix
($\approx 3 \text{ kg}$)

B: bourage
en terre

Σ: Sigmas type
505

On note que la courbe obtenue est pleine et que le diamètre maximal obtenu est de 500 mm. Ce qui conclut à la réutilisation de ce matériau en remblai avec des couches élémentaires de 80 cm au moins .Il reste à définir par une planche expérimentale les conditions de mise en oeuvre et de contrôle .

BIBLIOGRAPHIE :

- "Cahier des prescriptions communes ,fascicule n°3"
 ,Ministère de l'Equipement, Direction des Routes et de la Circulation Routière, 1983.

- "Les dérochements à l'explosif " par D.FOURMAINTRAUX et Y.SIFRE, Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, N° 564

- "Déblais rocheux de l'oued YKem " rapport LPEE n°85.164.0.034.

ANNEXE : tableaux de I à IX

TABLEAU II: DESCRIPTION DE LA RESISTANCE DE LA ROCHE
(MPa = 10 Kg/cm²)

Résistance en traction (en MPa)	Description
20	résistance très élevée
20 à 6	résistance élevée
6 à 2	résistance moyenne
2 à 0,6	résistance faible
0,6	résistance très faible

TABLEAU III: ABRASIVITE DES ROCHES

ABRASIVITE (en g/t) (*)	DESCRIPTION
2 000	très forte
1500 à 2 000	forte
1 000 à 1 500	moyenne
500 à 1 000	faible
500	très faible

! (*) mesurée à l'abrassimètre LCPC exprimée en gramme de
! métal enlevé par tonne de roche traitée !

Tableau IV: Description de l'état d'altération du massif rocheux

classe	DESCRIPTION	TERMINOLOGIE
A M 1	Pas de signe visible d'altération ou très légères traces d'altération limitées au surface des discontinuités principales.	Massif Sain
A M 2	Les surfaces des discontinuités principales sont altérées mais la roche n'est que légèrement altérée.	Légèrement altéré
A M 3	L'altération s'étend à toute la masse mais la roche n'est pas friable.	moyennement altéré
A M 4	L'altération s'étend à toute la masse rocheuse et la roche est en grande partie friable.	très altéré
A M 5	La roche est entièrement décomposée et très friable. Cependant la texture et la structure, de la roche sont conservées.	Complètement altéré Complètement altéré
Notes: (1) dans le cas de roches altérées contenant un fort pourcentage de minéraux argileux, le matériau peut présenter de la plasticité plutôt que de la friabilité. (2) Lorsque cela est possible, on précisera s'il s'agit d'une altération essentiellement métorique ou d'une altération d'origine profonde, hydrothermale.		

**TABLEAU V: DESCRIPTION DE LA FRACTURATION DU MASSIF
ROCHEUX**

!CLASSES !	!INTERVALLE ENTRE !LES DISCONTINUITES	!DENSITE DE DISCONTINUITES! !DANS LE MASSIF ROCHEUX	!
! ID1	! 200 cm	! très faible	!
! ID2	! 60 à 200 cm	! faible	!
! ID3	! 20 à 60 cm	! moyenne	!
! ID4	! 6 à 20 cm	! forte	!
! ID5	! 6 cm	! très forte	!

TABLEAU VI: ANGLE DE FROTTEMENT DES DISCONTINUITES

! Angle de frottement	! Description	!
! 50°	! très fort	!
! 40 à 50°	! fort	!
! 30 à 40°	! moyen	!
! 20 à 30°	! faible	!
! 20°	! très faible	!

TABLEAU VII - CARACTERISTIQUES DE CERTAINS EXPLOSIFS

Nature de l'explosif	Etat	Types	QP	T M	Diamètre nominal	Vitesse de détonation		Vitesse de détonation	Brisance	Mecroage	Sensibilité aux chocs	Inflam.	Projet.	Résistance	Résistance	Aut. de l'explosif
						# > 30 mm	# > 30 mm	# > 30 mm								
DYNAMITE	EX	SONNE A	1151	139		12000	8000	7 500	1,50							
		SONNE BLM	1151	132		14000	6000	2 500	1,45							
	GENE	SONNEZ	1144			14500	5500	3 500	1,53							
	SAL	SONNE F 15	1127					4 300	1,50							
	PATRU	NIXE F 15 B	1126					2 800	1,10							
NITRATES		NIXE F 15 B	1108	114				3 000	1,83							
	PUL-	N 31 B	1108					4 400	1,15							
	VERD-	N 40 B	1122	114				4 700	1,10							
VRAC PULVERULENTS		AMFOTITE 1	1112	123	45			2 900	0,83							
		AMFOTITE 3	1114	132	50			2 250	0,95							
	GRA-	N 135	961			3350	4050	2 250	0,91							
		MOLEUS						2 950	0,80							
	SP 4		1116					3 200	0,85							
	SP 2							3 000	0,78							
	SR 20		1107		35			3 350	0,90							
BOULLES DE GEL		SR 10	1105		60			2 100								
		SIGMA 5		111	25			3 900	1,20							
		SIGMA 505		113	25			3 850	1,20							
		SIGMA 512		113	25			4 100	1,20							
		TITAGEL 1 000		95	25			3 650	1,20							
		TITAGEL 1 200		183	25			2 600	1,35							
		GELUNIT 2000		98	25			4 000	1,30							
		GELUNIT 3000		102	25			3 700	1,20							
		UNIT 85		100	25			2 700	1,20							
		UNIT 140		103	25			3 470	1,20							
BOULLES DE GEL		SIGMA 80			60				1,38							
		TRIGEL N05 SD		106	65			3 320	1,43							
		BYDOLITE AP			40			5 350	1,49							
		BYDOLITE S		91	50			4 700	1,32							
		BYDOLITE BP		94	70			3 950	1,35							

(*) TRAVAIL AU MORTIER BALLISTIQUE.

Tableau VIII. Différentes chaînes pyrotechniques

