

Travaux Pratiques de Matériaux de Construction

Semestre de Printemps

Maçonnerie

Responsable : Jean Rego

Email : jean.rego@epfl.ch

Tél.: 021 693 28 22

Bureau : MXG 240

Soumis deux semaines après la TP, avec la date, le nom de groupe spécifié.

MAÇONNERIE

INTRODUCTION

Par définition, une maçonnerie est un composé de briques de terre cuite ou d'agglomérés liés entre eux par un mortier et qui se comportent comme un tout. Ce mode de construction remonte quasiment aux origines de l'humanité ; un des plus anciens vestiges est constitué par la muraille en pierre de Jéricho construite au huitième millénaire avant J.-C. Tant dans le bâtiment que pour les ouvrages d'art, la maçonnerie fut l'une des techniques de construction prépondérantes jusqu'à l'apparition des structures métalliques et du béton armé. Elle atteint ses heures de gloire dans les édifices religieux de l'art gothique, où les architectes et les bâtisseurs jouaient d'audace pour rendre ces monuments très aériens. Actuellement, la maçonnerie s'utilise presque exclusivement pour des éléments verticaux tels que murs porteurs, cloisonnements ou galandages, généralement pour des constructions de petites dimensions. La maçonnerie peut être également préférée au béton nu pour son aspect esthétique ou ses teintes plus variées.

Si la maçonnerie garde encore un attrait certain dans la construction, c'est que la manutention sur chantier des briques peut être réalisée avec des moyens légers et que la mise en œuvre ne nécessite aucun équipement lourd, il suffit d'une truelle, d'une caisse à mortier, d'un niveau et d'un fil à plomb.

Le but de ce travail pratique est de se familiariser avec quelques aspects fondamentaux de la maçonnerie, à savoir le gâchage d'un mortier et la réalisation d'un muret, ainsi que la mesure des propriétés physiques des différents constituants d'une maçonnerie.

DÉROULEMENT

Les participants de chacun des deux groupes effectuent les différentes parties du TP comme montré dans les tableaux ci-dessous.

Groupe	Capillarité + Flexion compression	Présentation Maçonnerie	Gâchées		Essais Mécaniques	Densité et capillarité
1	Capillarité	Présentation Maçonnerie	Fabrication mortier Fixit + Bâtarde + Fabrication des murets	Silico + Fixit	Compression Briques et murets	Mesure de la densité et de la capillarité en fin de TP
	Flexion + Compression			Béton + Bâtarde		
				Silico + Bâtarde		
2	Flexion + Compression	Capillarité		Béton + Fixit		

1. CAPILLARITÉ

BUT

La capillarité est le phénomène de remontée d'un liquide dans un tube étroit « fin comme un cheveu », déjà connu du temps de la Renaissance. Il s'observe évidemment dans les matériaux poreux, où les cavités jouent le rôle de capillaires. La réalisation d'un essai de remontée capillaire permet d'obtenir des informations sur la porosité des matériaux.

Suivre le protocole pour l'essai de remontée capillaire par trempage et reporter les valeurs dans le tableau des résultats.

MÉTHODE

Réaliser l'essai de capillarité par trempage comme suit :

- S'assurer que les briques ont bien été séchées au four à 110°C durant 6h au moins.
- Pesar les briques sèches et reporter les valeurs.
- Mesurer les dimensions des briques et reporter les valeurs.
- Remplir le bac d'eau de sorte que les supports triangulaires soient immergés sous 3 mm environ.
- Déposer soigneusement les briques sur les supports dans le bac, avec l'une des petites faces immergées.
- **Noter l'heure du début de l'essai.**
- Après avoir effectué les autres parties de ce travail pratique, sortir les briques du bac, les égoutter et noter l'heure de fin (au moins 1h30 après le début de l'essai).
- Pesar à nouveau les briques et mesurer la hauteur du front d'eau. Noter ces valeurs.

INTERPRÉTATION

Les mesures permettent de calculer la *porosité ouverte* des matériaux en supposant que les pores de la partie saturée sont entièrement remplis d'eau. Estimer le coefficient d'absorption capillaire donné par :

$$\alpha = \frac{\Delta m}{S \cdot \sqrt{t}}$$

Avec : Δm [kg] la masse d'eau absorbée durant le temps t [s] à travers une surface S [m^2].

Commenter les résultats.

Quelles estimations *qualitatives* du réseau poreux des matériaux peut-on tirer de ces mesures, sachant que la pression capillaire provoquant la remontée des liquides est donnée par la loi de Jurin :

$$h = \frac{2\gamma \cdot \cos \theta}{r \cdot \rho \cdot g}$$

Où : *La hauteur du liquide h est proportionnelle à la tension de surface γ, de l'angle de mouillage θ et inversement proportionnelle au rayon capillaire r, à la densité du liquide ρ et à l'accélération de pesanteur g.*

D'après vos observations, quelle brique à la porosité **la plus fine** et pourquoi ?

Quelle brique risque de s'endommager le plus en cas de gel ?

TABLEAU DES RÉSULTATS

Heure de début : _____ Heure de fin : _____

Matériaux	masse sèche [g]	masse après essai [g]	Volume d'eau absorbé [cm ³]	Hauteur du front [cm]	Volume de la brique [cm ³]
Terre cuite					
Silico-calcaire					
Brique béton					
Béton cellulaire					
Béton usuel					
Matériaux	Section de remontée [cm ²]	Volume saturé [cm ³]	Porosité [%]	Coeff. d'abs. capillaire	
Terre cuite					
Silico-calcaire					
Brique béton					
Béton cellulaire					
Béton usuel					

2. GÂCHAGE D'UN MORTIER

BUT

Gâcher un mortier de jointoyage d'une ouvrabilité satisfaisante et réaliser un muret de maçonnerie.

Suivre le mode opératoire pour confectionner un mortier et un muret et reporter toutes les valeurs demandées dans le tableau des résultats.

MÉTHODE

A. MORTIER PRÊT À L'EMPLOI « FIXIT »

- Pesar environ 5 kg de mortier prêt à l'emploi Fixit dans un bac de gâchage. Noter cette masse.
- Remplir un arrosoir d'eau et peser le tout. Noter cette masse.
- Ajouter l'eau peu à peu et mélanger le mortier à l'aide d'une truelle. Mesurer l'ouvrabilité grâce au test d'étalement décrit au point C. Rajouter de l'eau et mélange jusqu'à obtenir un mortier d'un étalement de 120 à 130 mm.
- Une fois que la consistance désirée est atteinte, peser à nouveau l'arrosoir et noter la masse d'eau utilisée.
- Se référer au point C pour la caractérisation du mortier.

B. MORTIER BÂTARD

- Préparer un mortier bâtard ayant comme base 4 kg de sable 0/4 et 1 kg de ciment gris CEM I – les autres ingrédients ont été discutés auparavant – dans un bac de gâchage. Noter les masses utilisées.
- Remplir un arrosoir d'eau et peser le tout. Noter cette masse.
- Ajouter l'eau peu à peu et mélanger le mortier à l'aide d'une truelle.
- Une fois que la consistance désirée est atteinte, peser à nouveau l'arrosoir et noter la masse d'eau utilisée.
- Se référer au point C pour la caractérisation du mortier.

C. CARACTÉRISATION DU MORTIER

La densité ρ du mortier réalisé est estimée comme suit :

- Vérifier que les deux parties du pycnomètre sont propres et légèrement humidifier l'intérieur avec une éponge.

- Peser le pycnomètre à vide et reporter cette valeur ou tarer la balance.
- Remplir le pycnomètre en deux fois, en veillant à tasser le mortier en tapotant le pycnomètre à l'aide d'un marteau ou contre le sol. Remplir le pycnomètre jusqu'au sommet de la partie supérieure.
- Nettoyer l'extérieur du pycnomètre si nécessaire et le peser à nouveau. Déduire la masse de mortier contenue et calculer sa densité, connaissant le volume du pycnomètre qui est indiqué sur ce dernier.

L'ouvrabilité du mortier s'estime grâce à l'essai d'étalement

- Effectuer l'essai d'étalement selon la norme *EN 1015-3* en annexe.

D. PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Préparer 3 prismes 40 x 40 x 160 mm suivant la norme *NF EN 196-1* en annexe.

E. CONSTRUCTION D'UN MURET DE MAÇONNERIE

- Vérifier que 2 des 3 briques à utiliser ont chacune une face rectifiée. Commencer par poser une brique avec sa face plane sur une surface plate et horizontale.
- Poser un lit de mortier d'environ 10 mm sur la face supérieure de la brique.
- Placer la seconde brique – celle non rectifiée – sur la première.
- Vérifier la verticalité et l'alignement des briques à l'aide d'un niveau et en tapant légèrement sur la face supérieure du muret à l'aide d'un marteau en nylon.
- Répéter en plaçant la troisième brique avec sa face rectifiée contre le haut.
- Marquer sur le muret et les moules la date de confection, le type de mortier utilisé et le rapport eau sur solide du mortier. Recouvrir l'ouvrage d'une bâche plastique pour éviter la dessiccation.

INTERPRÉTATION

Comparer les teneurs à celles d'un béton et discuter les implications sur les propriétés du matériau.

TABLEAU DES RÉSULTATS

Mortier prêt à l'emploi Composants	Quantités [kg]		Caractéristiques	
	Prévue	Effective		
Mortier anhydre	5		e/s =	Teneur en eau = [l/m ³]
Eau			$\rho = m/V =$	[kg/m ³]
TOTAL			Étalement =	[mm]

Heure de gâchée : _____

Mortier bâtarde Composants	Quantités [kg]		Caractéristiques	
	Prévue	Effective		
Ciment CEM I	1		e/s =	e/c =
Sable	4		$\rho = m/V =$	[kg/m ³]
Chaux hydraulique	0.38		Étalement =	[mm]
Lamit	0.014		Teneur en eau =	[l/m ³]
Eau			Teneur en ciment =	[kg/m ³]
TOTAL			Teneur en chaux =	[kg/m ³]

Heure de gâchée : _____

COMMENTAIRES

Comment la composition (teneur) des mortiers se compare-t-elle à celle d'un béton ?
D'où viennent les différences, s'il y en a ?

3. ESSAIS MÉCANIQUES SUR MORTIER DURCI

BUT

Les essais mécaniques destructifs font partie des tests de routine pour évaluer la résistance – et donc la bonne réalisation – de toute pièce d'ouvrage. Des formules empiriques permettent ensuite de relier la résistance des éléments individuels d'une maçonnerie à la résistance globale du mur (voir section 6).

Préparer les appareils et effectuer les essais mécaniques. Remplir le tableau des résultats avec les valeurs obtenues et les résistances correspondantes.

MÉTHODE

Effectuer les essais en flexion et en compression sur les échantillons des groupes de travaux pratiques précédents suivant la norme EN 196-1. La vitesse de charge doit être de 0.021 kN/s en flexion et 1.5 kN/s en compression. Un essai doit durer environ entre 30 et 120 secondes. Reporter toutes les valeurs dans le tableau ci-après. S'assurer que l'appareil soit propre avant chaque essai

INTERPRÉTATION

Calculer les valeurs de résistance et vérifier que les mortiers préparés satisferaient aux normes (voir extrait de la norme SIA 177 en annexe).

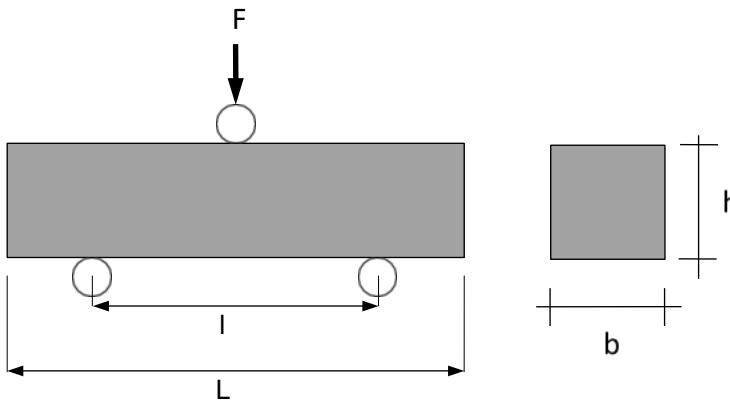
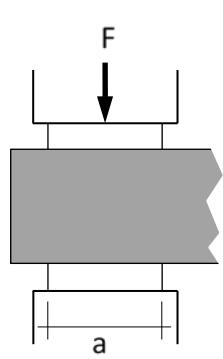
Essai de flexion	Essai de Compression
 $f_{fl} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$	 $f_c = \frac{F}{a \cdot b}$

TABLEAU DES RÉSULTATS

Mortier prêt à l'emploi		#1	#2	#3
Flexion	Charge de rupture [kN]			
	Résistance f_{fl} [MPa]			
Compression	Charge de rupture [kN]			
	Résistance f_c [MPa]			

Mortier bâtard		#1	#2	#3
Flexion	Charge de rupture [kN]			
	Résistance f_{fl} [MPa]			
Compression	Charge de rupture [kN]			
	Résistance f_c [MPa]			

COMMENTAIRES

Quel est l'effet de la vitesse de charge sur la résistance d'un matériau ? Que se passe-t-il si la vitesse de charge est trop rapide ou, au contraire, trop lente ?

.....

.....

.....

.....

.....

4. MESURE DE DENSITÉ

BUT

La densité est une propriété intrinsèque à tout matériau, qu'il est nécessaire de connaître précisément pour de nombreux calculs et applications. La masse volumique, autre définition de la densité, est simplement la masse d'un objet divisé par son volume. Ce calcul est aisément possible pour des objets géométriques simples et réguliers, mais dans la plupart des cas il n'est pas possible de connaître le volume d'un objet en mesurant ses dimensions. Le principe d'Archimède permet de connaître le volume apparent d'un objet plus dense que l'eau et le pesant une fois dans l'air, puis immergé.

Estimer la masse volumique apparente de divers éléments de maçonnerie par pesée hydrostatique. Utiliser les résultats pour estimer la section pour l'essai de capillarité.

MÉTHODE

- S'assurer que le bac d'eau sous la balance est suffisamment rempli pour que l'échantillon soit totalement immergé par la suite.
- Pesaient l'échantillon à sec reporter cette masse.
- Mettre le crochet et le plateau en place sous la balance et tarer.
- Placer l'échantillon sur le plateau immergé et prendre une mesure immédiatement.

TABLEAU DES RÉSULTATS

Matériaux	Masse à sec [g]	Masse immergée [g]	Densité [g/cm³]

COMMENTAIRES

Pourquoi parle-t-on de masse volumique *apparente* ?

.....

.....

5. ESSAIS MÉCANIQUES SUR BRIQUES

BUT

Tout comme le béton utilisé pour un ouvrage, les briques d'une maçonnerie doivent satisfaire aux normes de résistance qui leur sont propres. L'estimation de la charge de rupture notamment fait partie des critères de qualité.

Reporter les valeurs des essais dans le tableau suivant et répondre aux questions.

MÉTHODE

Effectuer des essais de compression sur différentes briques de maçonnerie.

INTERPRÉTATION

Vérifier que les briques satisfont aux normes.

TABLEAU DES RÉSULTATS

Type de brique	Silico-calcaire	Béton	Terre cuite
Section nominale [mm ²]			
Charge de rupture [kN]			
Résistance [MPa]			

Quel est le mode de rupture de chacune des briques ?

Pourquoi les fissures sont-elles parallèles à l'axe de charge ?

6. ESSAIS DE COMPRESSION SUR MURETS

BUT

Les essais de compression sur des petits murets en briques permettent de se rendre compte, à moindre coût, de la qualité de la maçonnerie. Selon la norme, l'essai doit être réalisé sur un élément de mur de 1 m². On observe surtout l'effet de l'adhésion mortier-brique et l'effet de la concentration des charges au niveau du joint.

MÉTHODE

Assister aux essais de compression sur les murets de trois briques réalisés durant les travaux pratiques précédents et reporter les valeurs dans le tableau des résultats.

INTERPRÉTATION

Vérifier si les murets satisfont aux normes. Il est possible d'estimer de façon empirique la résistance d'une maçonnerie en connaissant les résistances individuelles des constituants. La formule est la suivante :

$$f = k \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$$

Où f_b est la résistance des briques, f_m la résistance du mortier et k , α et β sont des coefficients empiriques valant respectivement 0.55, 0.65 et 0.25 environ dans le cas de la maçonnerie simple.

Comparer les valeurs réelles aux valeurs estimées. Discuter les différences et proposer des solutions pour améliorer la précision de l'estimation.

TABLEAU DES RÉSULTATS

Muret de mortier Fixit	Silico-calcaire	Béton
Charge de rupture [kN]		
Résistance [MPa]		

Muret de mortier bâtarde	Silico-calcaire	Béton
Charge de rupture [kN]		
Résistance [MPa]		

INTERPRÉTATION

Estimer la résistance théorique des murets en se basant sur les résistances des éléments individuels.

Muret de mortier Fixit	Silico-calcaire	Béton
Résistance mesurée [MPa]		
Résistance théorique [MPa]		

Muret de mortier bâtarde	Silico-calcaire	Béton
Résistance mesurée [MPa]		
Résistance théorique [MPa]		

COMMENTAIRES

Est-ce que la formule empirique fournit une bonne estimation ? Au besoin, comment pourrait-on améliorer la situation ?

.....

.....

.....

.....

.....

7. ANNEXES

EXTRAIT DE LA NORME EN 1015-3

6 Mode opératoire

Avant chaque essai, essuyer le disque ainsi que la surface intérieure et les bords du moule (4.2) à l'aide d'un chiffon humide, laisser sécher et lubrifier légèrement les surfaces à l'aide d'une huile minérale non résineuse de très basse viscosité. Si la table n'a pas été utilisée durant les dernières 24 h, effectuer 10 secousses avant l'utilisation.

Placer le moule au centre du disque de la table à secousses (4.1) et introduire le mortier en deux couches, chaque couche étant compactée par au moins 10 coups brefs de dame (4.3) afin d'assurer un remplissage uniforme du moule. Durant le remplissage, maintenir fermement d'une main le moule sur le disque.

Éliminer l'excédent de mortier à l'aide d'un couteau à araser et essuyer la surface libre du disque afin qu'elle soit propre et sèche, en prenant soin d'ôter toute l'eau autour du bord inférieur du moule. Au bout d'environ 15 s, soulever lentement et verticalement le moule et étaler le mortier sur le disque en imprimant 15 secousses à la table, à une fréquence constante d'environ 1 secousse par seconde.

Mesurer le diamètre du mortier dans deux directions perpendiculaires à l'aide du pied à coulisse (4.4). Consigner les résultats en millimètres, à 1 mm près.

EXTRAIT DE LA NORME NF EN 196-1

7 Préparation des éprouvettes

7.1 Dimensions des éprouvettes

Les éprouvettes doivent être de forme prismatique et mesurer 40 mm x 40 mm x 160 mm.

7.2 Moulage des éprouvettes

Mouler les éprouvettes immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement fixés sur la table à chocs, introduire, à l'aide d'une cuiller appropriée, en une ou plusieurs fois, la première des deux couches de mortier (chacune d'environ 300 g) dans chacun des compartiments du moule, directement à partir du bol de malaxage.

Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule (voir Figure 3), tenu presque verticalement, avec ses épaulements en contact avec la partie supérieure de la hausse, et mue en avant et en arrière, une fois, sur toute la longueur de chaque compartiment du moule. Ensuite, serrer la première couche de mortier par 60 chocs de l'appareil à chocs (4.6). Introduire la seconde couche de mortier, en veillant à assurer un surplus, niveler à l'aide de la petite spatule (Figure 3) et serrer à nouveau par 60 chocs.

Retirer doucement le moule de la table à chocs et ôter la hausse. Enlever immédiatement l'excès de mortier à l'aide de la règle métallique (voir Figure 3), en la tenant presque verticalement mais inclinée dans le sens de l'arasement. Déplacer la règle lentement, en la tirant dans un mouvement de scie transversal, une fois dans chaque sens. Refaire l'opération d'arasement en tenant la règle selon un angle plus aigu pour lisser la surface.

NOTE Le nombre de mouvements de scie et l'angle de la règle plate dépendent de la consistance du mortier. Les mortiers durs nécessitent un plus grand nombre de mouvements de scie et un angle plus aigu. Le nombre de mouvements de scie transversaux nécessaires est plus petit pour le lissage que pour l'arasement (voir Figure 2).

Enlever le résidu de mortier laissé sur le périmètre du moule par suite de l'arasement.

Étiqueter ou marquer les moules pour permettre leur identification.

9 Modes opératoires d'essai

9.1 Résistance à la flexion

Utiliser la méthode de la mise en charge en trois points, au moyen d'un des types d'appareil décrits en 4.7.

Installer le prisme dans l'appareil (4.7), en plaçant une face latérale sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculairement aux appuis. Au moyen du rouleau de mise en charge, appliquer la charge verticalement sur la face latérale opposée du prisme et augmenter régulièrement la charge à la vitesse de (50 ± 10) N/s, jusqu'à la rupture.

Couvrir les demi-prismes d'un chiffon humide, jusqu'au moment des essais de résistance à la compression.

Calculer la résistance à la flexion, R_f en mégapascals, par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (1)$$

où

R_f est la résistance à la flexion, en mégapascals ;

b est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres ;

F_f est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons ;

l est la distance entre les appuis, en millimètres.

9.2 Résistance à la compression

Effectuer l'essai sur les deux moitiés du prisme rompu comme décrit en 9.1 ou par d'autres moyens qui ne soumettent pas les demi-prismes à des contraintes néfastes.

Essayer chaque demi-prisme en appliquant la charge sur les faces latérales, au moyen de l'équipement décrit en 4.8 et 4.9.

Centrer les demi-prismes latéralement par rapport aux plateaux de la machine, à $\pm 0,5$ mm, et longitudinalement de façon que l'extrémité du prisme dépasse de 10 mm environ, par rapport aux plateaux ou aux plaques auxiliaires.

Augmenter la charge régulièrement à la vitesse de $(2\ 400 \pm 200)$ N/s pendant toute la durée d'application de la charge, jusqu'à la rupture.

Lorsque l'accroissement de la charge est régulé manuellement, il convient de procéder avec soin au réglage de la baisse de la vitesse de mise en charge à l'approche de la charge de rupture, car ceci peut influer de manière significative sur les résultats.

Calculer la résistance à la compression, R_c , en mégapascals, par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{1\ 600} \quad (2)$$

où

R_c est la résistance à la compression, en mégapascals ;

F_c est la charge maximale à la rupture, en newtons ;

1 600 est l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires (40 mm x 40 mm), en millimètres carrés.

EXTRAIT DE LA NORME SIA 177

M açonnerie	M B	M BL	M C	M CL	M K	M P	M PL
Résistance à la compression f_c [N/mm ²]	8.0	4.0	8.0	2.0	7.0	3.2	1.8
Résistance à la traction par flexion f_{fx} [N/mm ²]	0.15	0.10	0.25	0.15	0.15	0.90	0.60
Module d'élasticité E_x [N/mm ²]	4500	2500	8000	2500	4000	2200	1000
Brique / aggloméré type	B brique terre cuite	BL brique terre cuite légère isolante	C aggloméré de béton	CL aggloméré de béton à granulats légers	K silico-calcaire	P béton cellulaire	PL béton cellulaire léger
Résistance à la compression f_b [N/mm ²]	28.0	14.0	18.0	5.0	22.0	5.0	2.5
Résistance à la traction transversale f_{bq} [N/mm ²]	8.0	4.0	5.0	2.0	10.0	-	-
M ortier type, exemple	normal*, prêt à l'emploi	bâtarde*, prêt à l'emploi, allégé	normal, prêt à l'emploi	bâtarde, prêt à l'emploi, allégé	normal, prêt à l'emploi	mortier colle	mortier colle
Résistance à la compression f_m [N/mm ²]	15.0	5.0	15.0	5.0	15.0	-	-

*selon l'ancienne norme SIA 177 :

- mortier normal : mortier à base de ciment Portland uniquement (CP 300 à 400 kg/m³)
- mortier bâtarde : mortier à base de ciment Portland et de chaux (CP 100 + CH 250 kg/m³)

8. SIGNATURES DES PARTICIPANTS

Date _____

Numéro du groupe _____

Prénom

Nom

Signature

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

7. _____

8. _____

9. _____

10. _____