

METHODES DE FORMULATION DES BETONS

1. Définitions

- L'étude de la composition d'un béton consiste à déterminer les quantités nécessaires en sable, gravillon, ciment et eau pour réaliser 1 m³ (1000 l) de béton mis en place.
- Presque toujours, il s'agit de rechercher deux qualités essentielles du béton :
 1. l'ouvrabilité
 2. la résistance

Mais il faudra, en fonction de l'utilisation du béton, rechercher d'autres qualités : Etanchéité, résistance au gel, parement, etc...

- La règle pratique et répandue de dosage : 350 kg de ciment, 400 l de sable et 800 l de gravillons, est très empirique car elle ne tient pas en compte:
 - de la nature des travaux;
 - des matériaux utilisés (granularité)
 - de la vibration.

D'où la nécessité d'opter pour une méthode de calcul de la composition du béton.

- Il n'existe pas une composition type, mais des méthodes de composition (**Faury, Bolomey, Valette, Deux – Gorisse, ...**). Elles sont toutes basées sur une adaptation de résultats expérimentaux.

2. Formulation de béton

1.2. Objectif

En fonction des paramètres principaux définis par le cahier des charges, on détermine la nature et les quantités de matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton (eau E, ciment C, sable S, et gravier G en kg/m³).

1.3. Les paramètres principaux définis par le cahier des charges

Les paramètres principaux devant être définis sont : la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats.

- a. La maniabilité:** La maniabilité est caractérisée, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams. Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (Tab.1)

Affaissement (cm)	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrages d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
≥ 16	Fluide	Fl	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

Tableau 1 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser

- b. La résistance:** Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28} . Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'_{28} = 1,15 \times f_{c28}$$

c. **Choix du ciment:** Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie σ'_c et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau 2.

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie σ'_c	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

Tableau 2 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Exemple : la classe vraie du ciment CEM II/B-S 32.5 R est de 45 MPa.

d. **Choix des granulats :** Les granulats à utiliser dans la fabrication du béton doivent permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. Pour permettre une mise en œuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{max} ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage. Le tableau 3 donne une borne supérieure de D_{max} à respecter en fonction de la densité du ferrailage, des dimensions de la pièce à réaliser, et de la valeur de l'enrobage des armatures. D_{max} est le diamètre des plus gros granulats entrant dans la composition du béton.

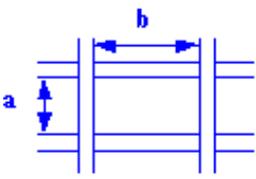
Caractéristiques de la pièce à bétonner		D_{max}
e_h	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$\leq e_h / 1,5$
e_v	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$\leq e_v$
d	Enrobages des armatures : Ambiance très agressive ≥ 5 cm Ambiance moyennement agressive ≥ 3 cm Ambiance peu agressive ≥ 3 cm Ambiance non agressive ≥ 1 cm	$< d$
r	Rayon moyen du ferrailage  $r = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$ Granulats roulés Granulats concassés	$\leq 1,4 r$ $\leq 1,2 r$
h_m	Hauteur ou épaisseur minimale	$\leq h_m / 5$

Tableau 3 : Détermination de D_{max} en fonction du ferrailage et de l'enrobage

3. MÉTHODE SIMPLIFIÉE POUR LA COMPOSITION DES BÉTONS D'USAGE COURANT (les abaques de G. Dreux)

- Les abaques de G. Dreux, présentés dans l'ouvrage de l'auteur : « **Nouveau guide du Béton** », permettent l'approche d'une composition de béton répondant à des objectifs déterminés, moyennant quelques hypothèses pratiques.
- Il est bien évident qu'une fois déterminée cette composition, elle devra être soumise à l'expérimentation afin d'affiner les dosages indiqués.

3.1. Les données retenues

En général, les données suivantes sont déterminées par le cahier des charges du projet, les conditions du chantier ou la disponibilité des matériaux.

- **La résistance à la compression du béton**

Les bétons usuels doivent présenter une résistance à 28 jours, qui varie entre 15 MPa et 40 MPa selon leur emploi.

- **La maniabilité du béton**

En fonction des caractéristiques de l'ouvrage et des moyens du chantier, on se fixe pour le béton une maniabilité caractérisée par la consistance et mesurée par l'essai au cône d'Abrams.

3.2. Les granulats choisis

Pour l'établissement des abaques, trois classes granulaires ont été retenues :

- un sable 0/5 ;
 - deux gravillons 5/12,5 et 5/20.
- Le ciment choisi est de classe 32,5 selon les hypothèses de la théorie de G. Dreux.

3.3. Considérations pratiques sur les abaques

- Pour tenir compte de l'apport d'eau dû au degré d'humidité des granulats, les abaques introduisent un correctif selon les critères suivants :

		Degrés d'humidité des granulats			
		Sec	Humide	Mouillé	Trempé
Aspect		Mat Un peu poussiéreux	Brillant Légère adhérence sur la main	Très humide Dépôt d'eau sur la main	L'eau ruisselle sur les granulats qui sont saturés
% d'eau	Sables	0 à 3%	4 à 7%	8 à 11%	12 à 15%
	Gravillons	1%	3%	5%	6%

- Ces indications ne restent qu'approximatives, et seule une mesure d'affaissement au cône est susceptible de préciser le dosage en eau à adopter.
- Les abaques donnent une indication sur la réduction d'eau procurée par l'emploi d'un adjuvant de type plastifiant réducteur d'eau, mais il est évident que la valeur réelle de réduction d'eau sera à déterminer selon l'adjuvant utilisé, son dosage – et en fonction des indications données par le fabricant.

3.4. L'utilisation des abaques

- Sur l'abaque correspondant à la valeur **D** adoptée, on part **verticalement** de la plasticité désirée jusqu'à rencontrer au point **R** la droite de résistance souhaitée.
- A partir de **R**, on part horizontalement et vers la droite jusqu'à trouver au point **C** le dosage en **ciment** (en kg/m³) sur l'échelle verticale.

- En poursuivant cette horizontale on détermine les points **G1** et **G2** à l'intersection avec les droites de granulats (sable, gravier).
- En descendant verticalement à partir de **G1** et **G2** (et **G3** éventuellement) on trouve sur l'échelle horizontale, les volumes en litres de ces granulats.
- Quant au dosage en eau, on détermine le point **D** à l'intersection de la première verticale avec la droite « dosage en eau » et l'on part horizontalement à partir de **D** vers la droite jusqu'au point **E**. à l'intersection de la verticale correspondant au degré d'humidité apparent des matériaux. Le dosage en eau à ajouter se lit sur le réseau de droites inclinées.

Dans le cas où l'horizontale issue de **R** coupe l'échelle du ciment au-dessus de la valeur 400 kg/m^3 , il est conseillé, plutôt que d'augmenter le dosage en ciment au-delà de 400, de prévoir un adjuvant (plastifiant ou superplastifiant), et dans ce cas le point **D** est à remplacer par le point **D'** pour déterminer le dosage de l'eau à ajouter.

3.5. Exemples d'application

1. Cas d'un béton fin **D = 12,5 mm**

- On désire :
 - un béton très plastique (affaissement 10 cm);
 - une résistance moyenne : 20 MPa .
- On suppose que les granulats sont « mouillés ».
- D'après l'**abaque n° 1**, on trouve :
 - Eau (sur granulats mouillés) : 80 l (environ).
 - Ciment (classe 32.5) : 300 kg/m^3 .
 - Sable 0/5 mm : 625 l.
 - Gravillons 5/16 mm : 705 l.

1. Cas d'un béton normal **D = 20 mm**

- On désire :
 - un béton très plastique (affaissement 11 cm);
 - une résistance élevée : 35 MPa (environ).
- On suppose que les granulats sont simplement « humides ».
- D'après l'**abaque n° 2**, on trouve :
 - Eau (sur granulats humides) : 105 l (environ).
 - Ciment (classe 32,5) $400 \text{ kg/m}^3 + \text{adjt.}$
 - Sable 0/5 mm : 435 l.
 - Gravier 5/25 mm 795 l.

3.6. Abaque pratique de dosage des bétons courants

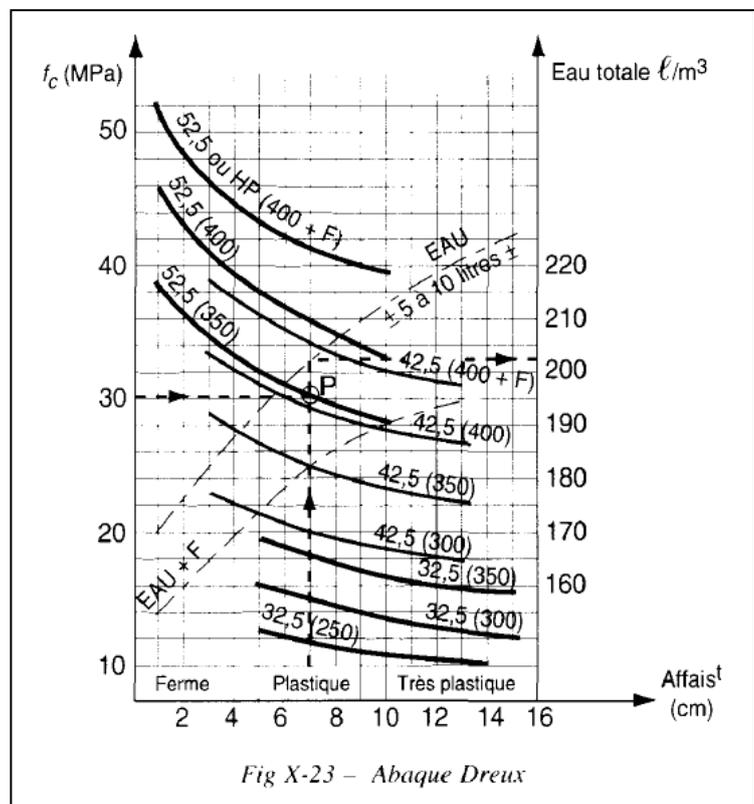
Sur l'abaque (fig X-23), on a porté en abscisse la plasticité désirée (en cm d'affaissement au cône d'Abrams) et en ordonnée la résistance moyenne souhaitée f_c en MPa. Les courbes en trait plein correspondent à la classe du ciment qu'il conviendra d'utiliser (52,5 — 42,5 ou 32,5), entre parenthèses, le dosage à adopter en kg/m^3 de béton (300, 350, 400 ou $400 + F$ avec superplastifiant.); les courbes en trait discontinu correspondent au dosage en eau (à ± 5 à 10 litres) qui serait à ajuster par un essai préalable d'affaissement; la courbe inférieure correspond à un dosage en eau avec usage d'un superplastifiant. Les dosages en eau totale sont indiqués en ordonnée à droite du graphique. Selon le dosage en ciment, on évaluera sur le tableau inférieur le dosage en volumes apparents (en litre) des granulats pour

obtenir 1 m³ de béton. Si l'on désire avoir un dosage pondéral, il suffira de multiplier le volume apparent par la densité apparente du granulat.

Par exemple : nous souhaitons une résistance moyenne f_c d'environ 30 MPa avec un affaissement de $A = 7$ cm. La verticale à partir de $A = 7$ cm et l'horizontale issue de 30 MPa se coupent en un point P qui montre que l'on pourrait adopter un dosage en ciment de 350 kg/m³ de classe 52,5 ou un dosage de 400 kg/m³ de classe 42,5 les 2 courbes étant très voisines. Adoptons, par exemple, 350 kg/m³ de CPA-CEM I 52,5.

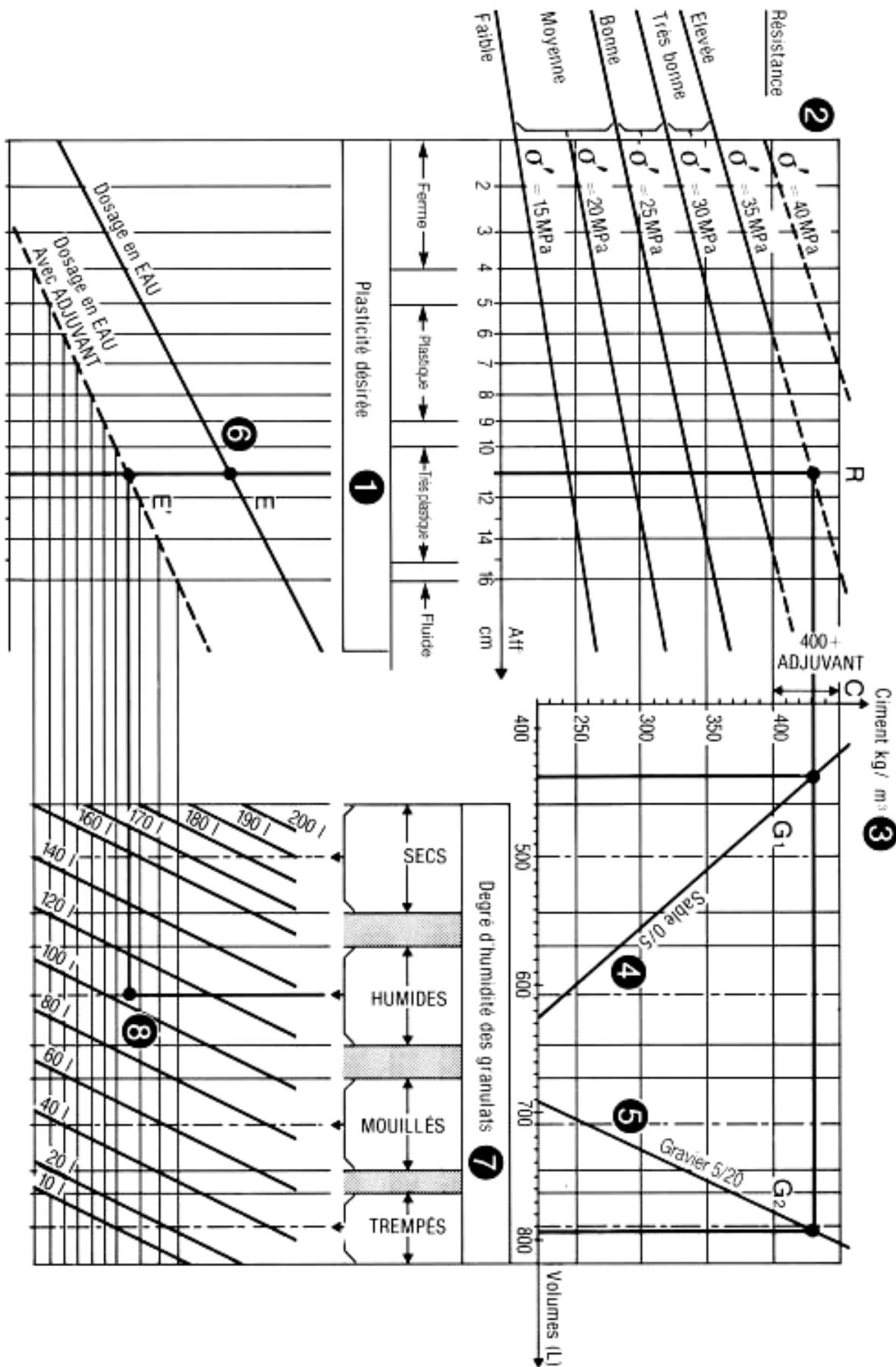
La verticale issue de $A = 7$ cm est prolongée jusqu'à la courbe dosage en eau qui permet de lire un dosage en eau totale d'environ 205 l/m³. Si on avait utilisé un superplastifiant, le dosage en eau aurait dû être lu sur la courbe inférieure : eau +superplastifiant soit environ 185 -e/m³. Avec 350 kg/m³ de ciment il faudra environ 480 de sable et 765 C/m³ de gravier (en volume apparent). Si la densité apparente du sable est 1,6 et celle du gravier 1,7 il faudra pour le m³ de béton :

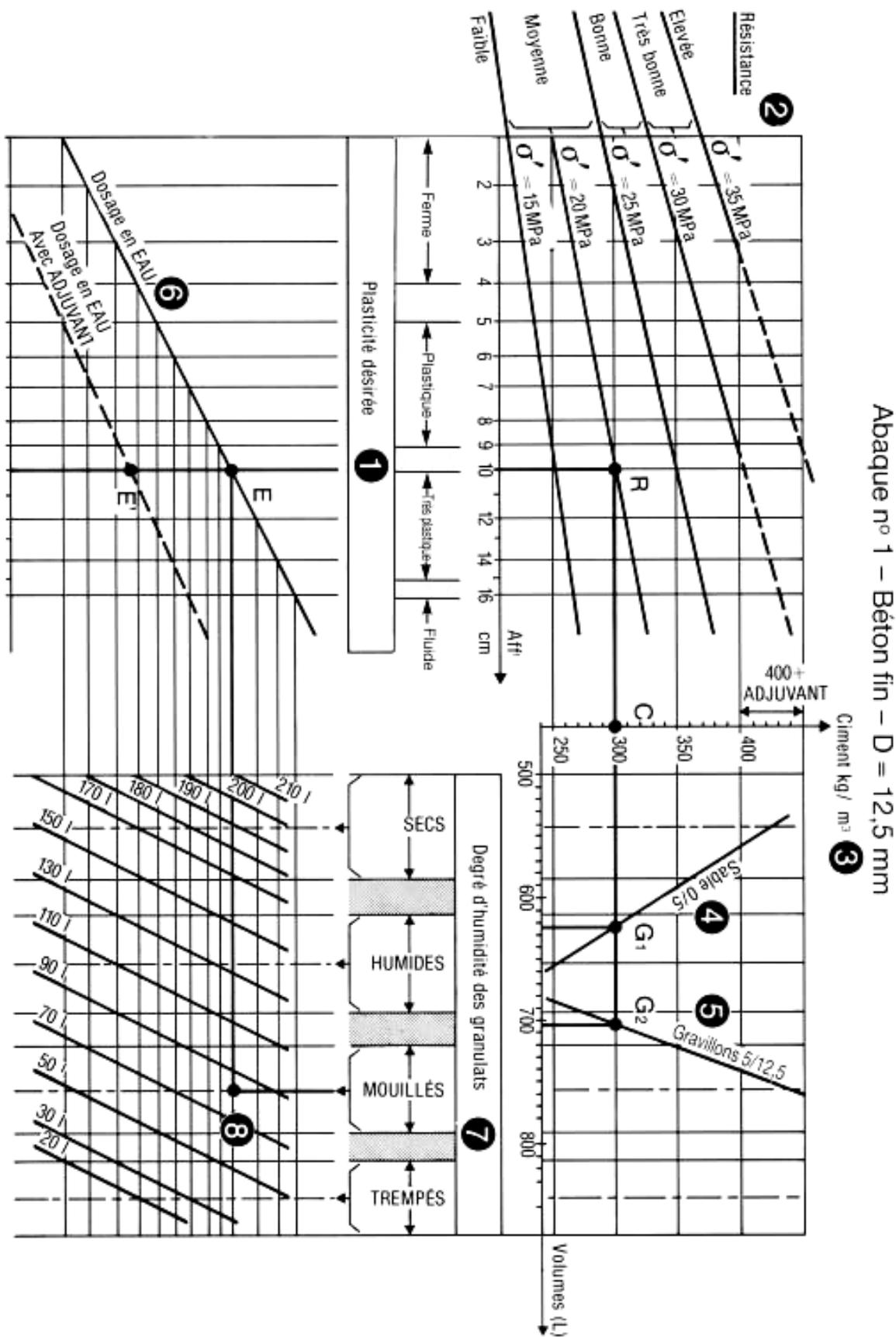
- sable $1,6 \times 480 = 768$ kg
- gravier $1,7 \times 765 = 1\ 300$ kg
- ciment = 350 kg
- eau totale = 205
- Le poids du m³ de béton serait 2 623 kg.



Ciment en kg/m ³	250	300	350	400
Sable 0/5 en litres	565	520	480	450
Granulats 5/12,5 à 5/40 en litres	735	750	765	785
Rapport G/S	1,30	1,45	1,60	1,75

Abaque n° 2 – Béton normal – D = 20 mm





ABaque n° 3 - GROS BÉTON D = 40 mm

