

FORMES ET DIMENSIONS DES EXCAVATIONS MINIERES SOUTERRAINES

I- Forme de la section transversale

Avant de procéder au creusement d'une excavation minière souterraine, après détermination du cas de stabilité on doit choisir la forme de la section transversale de l'excavation appelée aussi *profil en travers*. Elle dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

- Les propriétés physico-mécaniques des roches et la nature du terrain traversée
- La durée de vie de l'excavation,
- Le type de pression exercée par les roches avoisinantes sur l'excavation, exprimé par le cas de stabilité
- Le matériau utilisé pour le soutènement.

Forme de la section transversale en fonction de la durée de vie et du coefficient de dureté f

Coef de dureté des roches f Durée de vie de l'excavation	Roches de dureté faible (f < 4)	Roches de dureté moyenne (f = 4 à 8)	Roches dures f > 8
< 5 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Trapézoïdale avec soutènement en bois. - Rectangulaire avec soutènement en bois (rarement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Trapézoïdale avec soutènement en bois. - Rectangulaire avec soutènement en bois 	<ul style="list-style-type: none"> - En voûte sans soutènement
5 à 10 ans	<ul style="list-style-type: none"> - En arc avec soutènement métallique. - Circulaire avec soutènement métallique (pression des terrains considérable et variée) 	<ul style="list-style-type: none"> - En arc avec soutènement métallique. - Trapézoïdale avec soutènement mixte (parois en béton, et toit avec poutres métalliques) - Trapézoïdale avec soutènement métallique. 	<ul style="list-style-type: none"> - En voûte sans soutènement
>10 ans	<ul style="list-style-type: none"> - En voûte avec soutènement en béton 	<ul style="list-style-type: none"> - En voûte avec soutènement en béton. - Rectangulaire avec soutènement mixte (parois en béton et toit en poutres métalliques) 	<ul style="list-style-type: none"> - En voûte avec par boulonnage - En voûte sans soutènement

Forme de la section transversale en fonction de la durée de vie et du type de la roche traversée

Type de la roche traversée	Durée de vie de l'excavation		
	< 5 ans	5 à 15 ans	>15ans
Roche stable, délai d'autoportage 20 ans	En voûte sans soutènement	En voûte sans soutènement	En voûte avec béton injecté
Chute de pierres	Trapézoïdale ou Rectangulaire avec boulonnage du rocher	- En voûte avec boulonnage du rocher -	En arc avec boulonnage du rocher
Roche faiblement délitée	- Trapézoïdale ou Rectangulaire avec béton injecté - En voûte avec boulonnage du rocher	- En voûte avec boulonnage du rocher	En arc avec béton injecté
Roche délitée	En voûte avec béton injecté	En arc avec béton injecté	En arc avec béton injecté
Roche fortement délitée	En voûte avec béton injecté	En arc avec béton injecté	En voûte avec soutènement combiné : béton injecté et boulonnage du rocher

En fonction du type de soutènement, on choisit :

- Pour le bois : la forme carrée, rectangulaire ou trapézoïdale.
- Pour le béton injecté et le béton : La forme en voûte.
- Pour le soutènement métallique : la forme en arc.
- Pour le soutènement par boulonnage : toute les formes sont possibles.

Le choix rationnel de la forme de la section transversale est basé sur une comparaison technico-économique des formes possibles.

Une galerie minière est la plupart du temps dimensionnée en fonction de son utilité : abattage du minerai, passage d'engins, aérage ou implantation d'une voie ferrée ou d'un convoyeur. Très souvent la forme rectangulaire est adoptée. Or cette forme ne correspond pas forcément à une forme d'équilibre naturel, et en conséquence un soutènement sera nécessaire. Dans les terrains stratifiés, les formes stables correspondent en général à des formes où la couronne est arrondie ou en ogive. Cette stabilité est due à une meilleure répartition des contraintes à la périphérie de la galerie. La figure 1 ci-dessous montre que, dans les mêmes conditions où deux formes sont possibles, pour la forme

rectangulaire il existe des points de concentration de contraintes (point C, figure a) qui risque d'être l'amorce de rupture dans le toit. Ces zones de concentration disparaissent si le toit est arrondi (1).

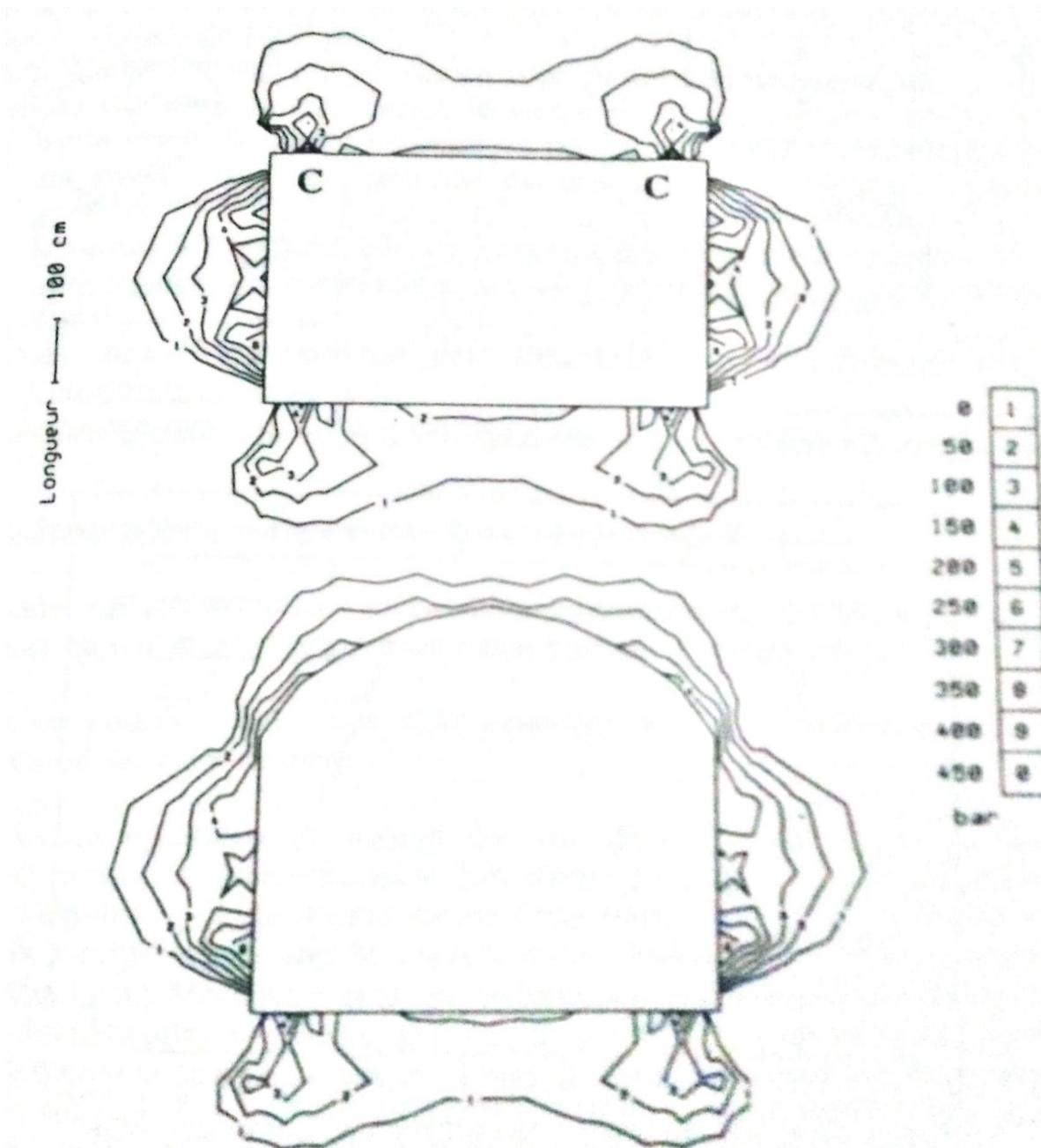


Figure 1 : Courbes iso-valeurs de la résistance à la compression pour deux formes de toit (1)

Sections d'un souterrain

On distingue 3 types de section à savoir :

- Section à terre nue S_{tm} (Figure 2a) : C'est la surface du profil au tracé extérieur du soutènement, c-à-d l'espace théorique délimité par le contour extérieur du soutènement. On l'appelle aussi *section de creusement au projet*.
- Section au creusement S_{cr} (Figure 2b) : C'est la section du souterrain qui apparaît après le tir à l'explosif. Dans ce cas la périphérie du souterrain est plus ou moins régulière. Elle est aussi appelée section courante de d'excavation.

- c) Section nette S_{net} (Figure 2c) : Elle caractérise le souterrain déjà préparé à l'exploitation, autrement dit c'est la section du souterrain nécessaire et utile pour le transport des charges et la circulation de l'air et du personnel.

La section de creusement ne doit pas dépasser de 3 à 12% la section à terre nue.

$$S_{cr} = (1,03 \text{ à } 1,12) S_{tn}$$

$$S_{net} = S_{tn} - S_0$$

Où S_0 : Section occupée par le soutènement et le ballast (en cas du transport sur rails).

Remarque : La section nette de l'excavation souterraine doit assurer une circulation d'air à une vitesse comprise entre 0,15 et 8 m/s (selon les normes de sécurité).

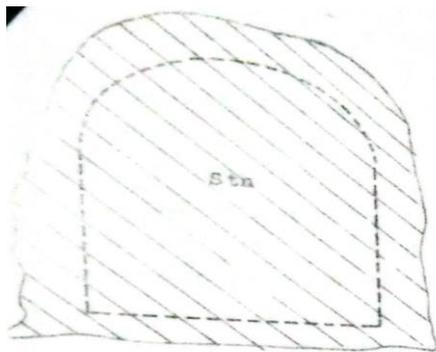


Figure 2a : Section à terre nue

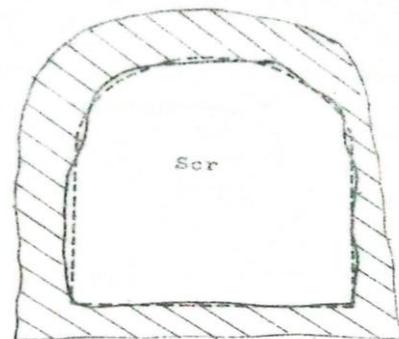


Figure 2b : Section au creusement

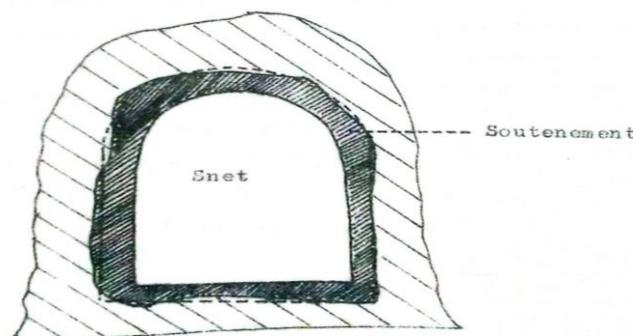


Figure 2c : Section nette

II- Dimensions des excavations minières souterraine

a) Excavation de forme trapézoïdale (figure 3)

Largeur nette de l'excavation

- Au niveau supérieur du matériel roulant

- A une voie (figure 3a) : $B_n = m + A + n$

Où m : distance entre le matériel roulant et le soutènement.

Lors du soutènement en bois ou métallique $m = 25$ cm

Lors du soutènement en béton $m = 20$ cm

A : largeur maximum du matériel roulant. Elle dépend du type de locomotive et du type de berline

n : largeur (distance) de passage du personnel au niveau supérieur du matériel roulant

$$n = n_1 + (1,8 - h - h_0) \text{ctg}\alpha$$

n_1 : largeur (distance) de passage du personnel à une hauteur de 1,8m. $n_1 = 70 \text{ cm}$

h : hauteur maximale du matériel roulant. Elle dépend du type de locomotive et du type de berline.

h_0 : hauteur du ballast jusqu'à la tête des rails.

Si le volume V de la caisse de la berline est $V < 2\text{m}^3$ $h_0 = 16 \text{ cm}$

Si le volume V de la caisse de la berline est $V > 2\text{m}^3$ $h_0 = 19 \text{ cm}$

α : angle d'inclinaison des montants du cadre de soutènement par rapport au plan horizontal $\alpha = 80^\circ$

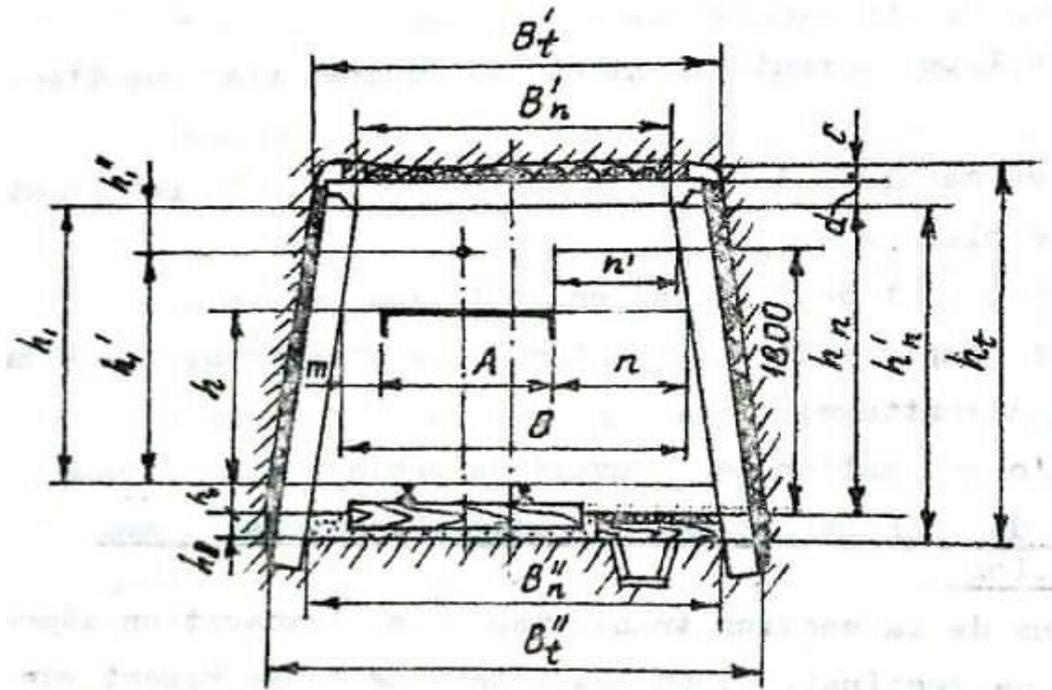


Figure 3a : Section trapezoidale à une voie avec soutènement en bois et transport sur rails

- A 2 voies (Figure 3b) $B_n = m + 2A + P + n$

Où P : Distance entre deux convois dans une excavation $P = 20 \text{ cm}$

- Au niveau de la partie supérieure du soutènement (chapeau du soutènement)

$$B'_n = B_n - 2(h_1 - h - h_0) \text{ctg}\alpha$$

h_1 : hauteur de l'excavation à partir de la tête des rails jusqu'au chapeau du soutènement.

$$h_1 = 230 \text{ à } 250 \text{ cm}$$

- Au niveau du ballast

$$B''_n = B'_n + 2(h + h_0) \text{ctg}\alpha$$

Section nette de l'excavation

$$S_n = \frac{B'_n + B''_n}{2} \cdot h_n$$

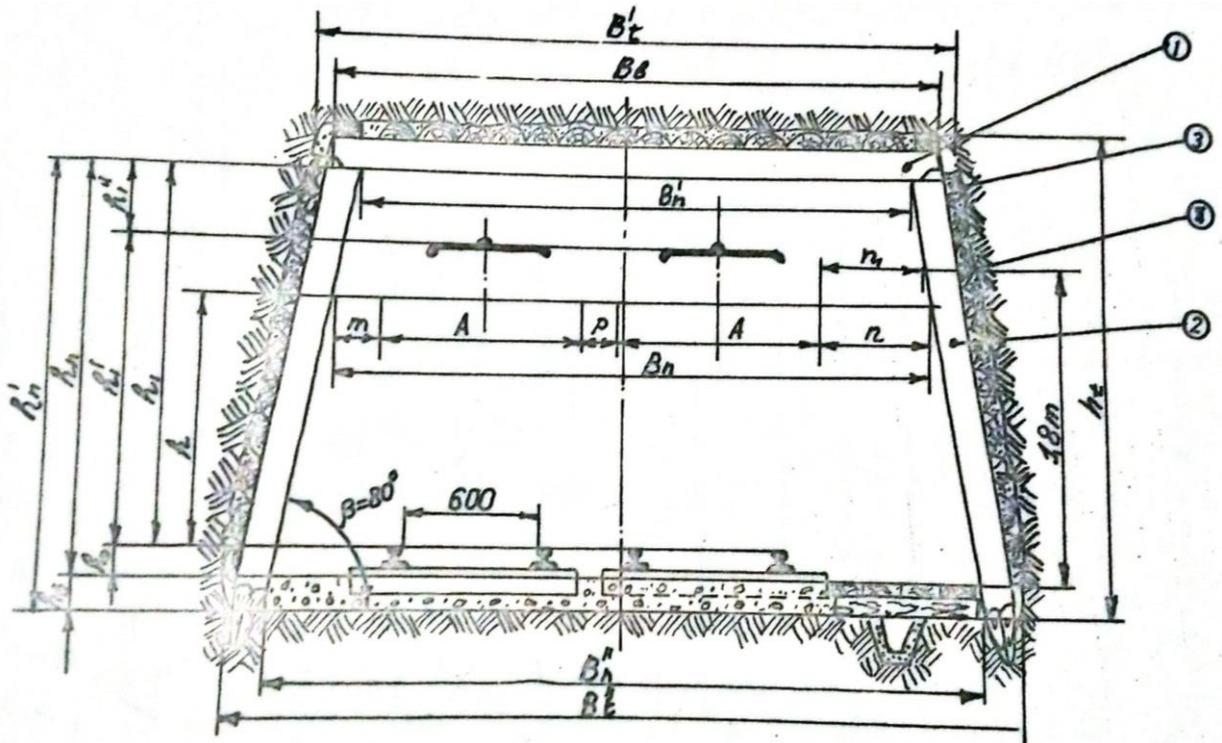


Figure 3b : Section trapézoïdale à deux voies avec soutènement en bois et transport sur rails

b) Excavation en voûte (figure 3)

La hauteur de la voûte dans les roches de dureté :

$$f > 3 \quad h_v = \frac{B_n}{3}$$

$$f < 3 \quad h_v = \frac{B_n}{2}$$

La largeur nette de l'excavation au niveau supérieur du matériel roulant est :

- A une voie : $B_n = m + A + n$

- A 2 voies (figure 4) : $B_n = m + 2A + P + n$

n : largeur (distance) de passage du personnel au niveau supérieur du matériel roulant

$$n = n_1 + (1,8 - h - h_0) \text{ctg} \delta$$

h_p : hauteur du pied droit à partir de la tête des rails jusqu'à l'appui de la voûte.

Pour les locomotives à contact :

Si le volume V de la caisse de la berline est $V < 2\text{m}^3$ $h_p = 150$ cm

Si le volume V de la caisse de la berline est $V = 2\text{m}^3$ $h_p = 162$ cm

Si le volume V de la caisse de la berline est $V > 2\text{m}^3$ $h_p = 166$ cm

Pour les locomotives à accumulateur :

Si le volume V de la caisse de la berline est $V < 2\text{m}^3$ $h_p = 142$ cm

Si le volume V de la caisse de la berline est $V = 2\text{m}^3$ $h_p = 150$ cm

Si le volume V de la caisse de la berline est $V > 2\text{m}^3$ $h_p = 160$ cm

h_0 : hauteur de la part de la superstructure à partir du ballast jusqu'à la tête des rails.

Si le volume V de la caisse de la berline est $V < 2m^3$ $h_0 = 16$ cm

Si le volume V de la caisse de la berline est $V > 2m^3$ $h_0 = 19$ cm

δ : angle d'inclinaison du début r (naissance) de la voûte par rapport au plan vertical ; $\delta = 72^\circ$

La hauteur de l'ouvrage à partir de la tête des rails :

$$h_1 = h_p + h_v$$

La hauteur à partir du ballast jusqu'à l'appui de la voûte

$$h'_p = h_p + h_0$$

La hauteur à partir du sol jusqu'à l'appui de la voûte

$$h''_p = h'_p + h_b$$

h_b : hauteur du ballast.

Si le volume V de la caisse de la berline est $V < 2m^3$ $h_b = 19$ cm

Si le volume V de la caisse de la berline est $V > 2m^3$ $h_b = 20$ cm

Si $f > 3$ la courbe de la voûte de l'excavation est formée par la jonction des trois arcs, à savoir l'arc axial et les deux arcs latéraux.

Le rayon de l'arc axial est : $R = 0,692 B_n$

Les rayons des arcs latéraux : $r = 0,262 B_n$

Si $f < 3$ le rayon de courbure de la voûte est : $R = h_v = \frac{B_n}{2}$

La section nette de l'excavation

$$\text{Si } f > 3 \quad h_v = \frac{B_n}{3} \quad S_n = B_n(h'_p + 0,26B_n)$$

$$\text{Si } f < 3 \quad h_v = \frac{B_n}{2} \quad S_n = B_n(h'_p + 0,39B_n)$$

Le périmètre de l'excavation

$$\text{Si } f > 3 \quad P_{ex} = 2h'_p + 2,33 B_n$$

$$\text{Si } f < 3 \quad P_{ex} = 2h'_p + 2,57 B_n$$

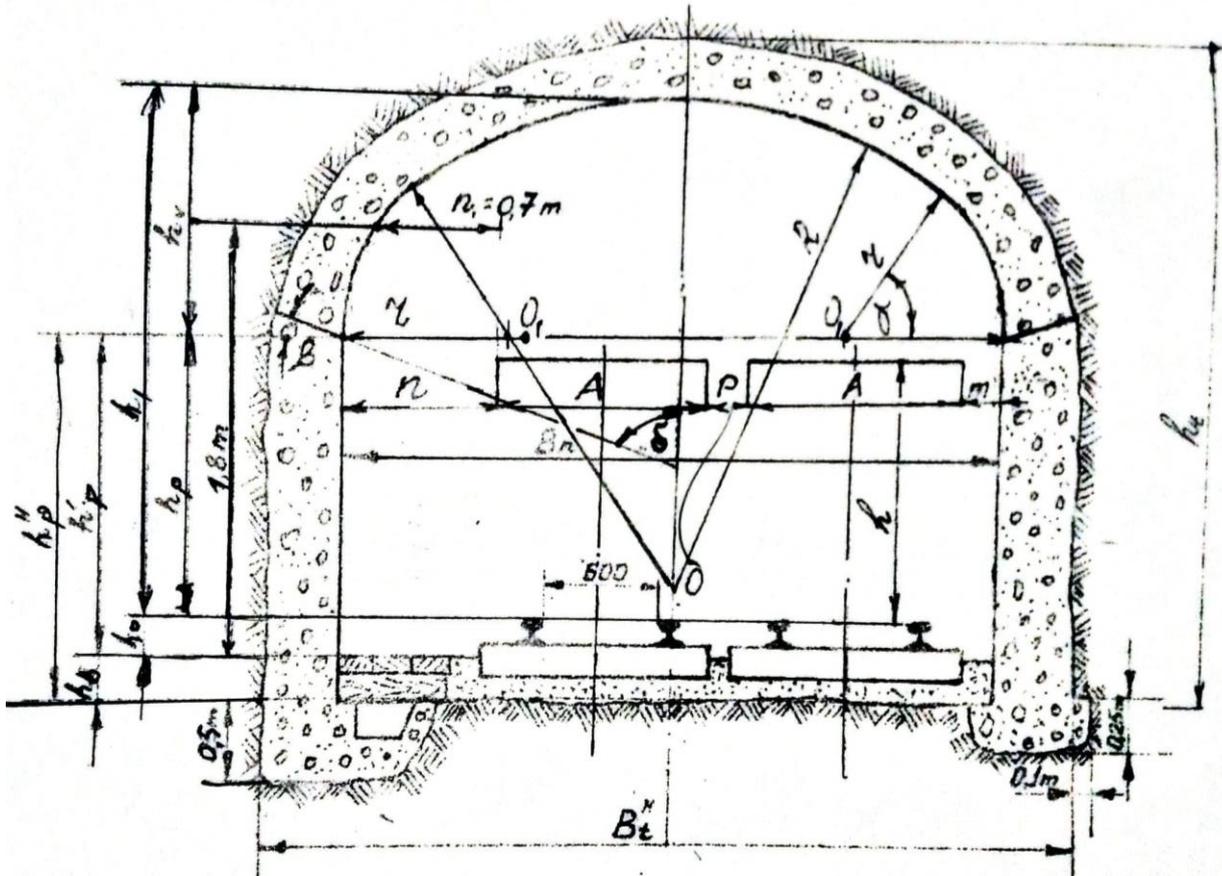


Figure 4 : Profil en travers de forme en voûte avec transport sur rails (2voies) et soutènement en béton

(1) Jacques Fine, « Le soutènement des galeries minières », Les Presses de l'École des Mines de Paris, Paris 1998