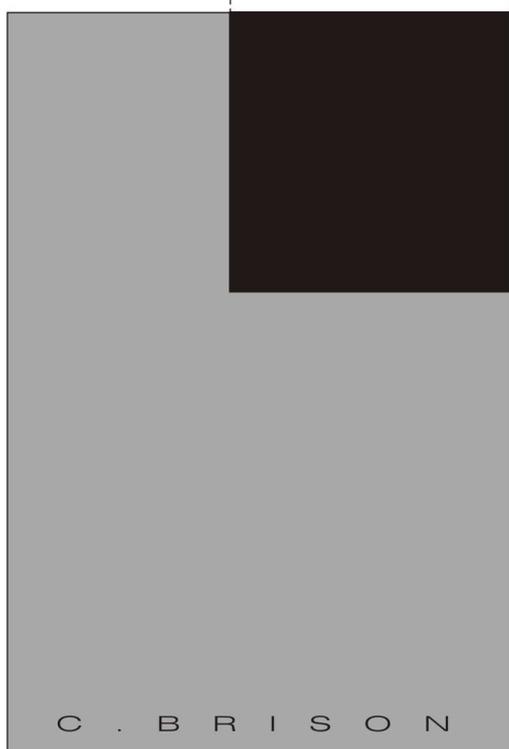
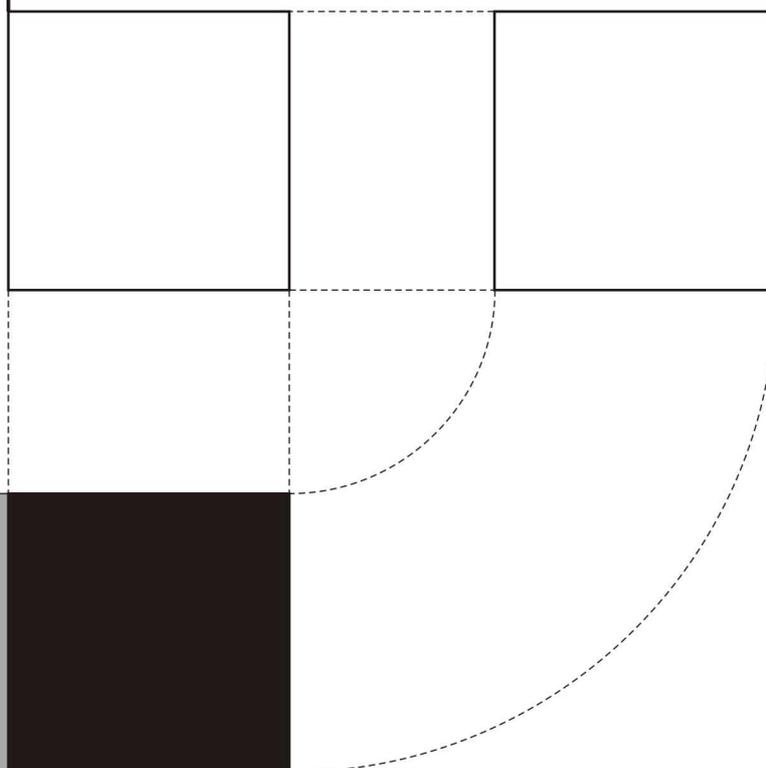


DESSIN SCIENTIFIQUE

TOME 1



C . B R I S O N

PROJECTIONS
ORTHOGONALES

Préface - v.01.1

Ce livre est un manuel scolaire qui reprend toute la matière ayant trait aux projections orthogonales suivant la méthode de Monge.

En principe, cela reprend la matière des 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} années du secondaire (technique de transition ou technique de qualification)

La plupart des dessins sont en perspective cavalière pour donner une idée précise des éléments situés dans l'espace.

Les conventions du dessin technique sont données dans le fascicule d'Introduction.

Droits d'auteur, licence et restrictions

Bien que ces notes de cours soient d'accès public, elles sont protégées par les droits d'auteur légaux et le droit moral reconnaissant la paternité de l'œuvre à son auteur sans limite de durée. Les notes restent donc la propriété intellectuelle de leur auteur.

Tout utilisateur, tant public que privé, est entièrement libre d'imprimer des copies de ces notes de cours, sous certaines réserves :

- Celles-ci doivent être destinées à un usage purement personnel ou à des fins d'éducation, et non commercial
- Celles-ci doivent porter une mention y indiquant leur source, le nom de l'auteur, et une copie de la présente licence
- Celles-ci ne peuvent pas être modifiées ou démantelées sans une autorisation écrite de l'auteur.

Table des matières

Table des matières	3
I. Introduction	5
1. Un peu d'histoire.....	5
2. Le but de la projection orthogonale	5
3. Conventions de projection	6
4. Deux ou trois plans de projections ?	6
5. Mise en oeuvre	7
II. Les éléments	8
1. Représentation du point	8
1a. Les coordonnées	8
1b. Marche à suivre	8
2. Représentation de droites	9
2a. Les droites quelconques.....	9
2b. Les droites remarquables	9
1) La droite horizontale.....	9
2) La droite frontale	10
3) La droite parallèle à LT ou fronto-horizontale	10
4) La droite verticale.....	10
5) La droite de bout	11
6) La droite de profil	11
2c. Les droites entre-elles.....	11
1) Les droites parallèles	11
2) Les droites sécantes	11
3. Représentation de plans et de surfaces planes	12
3a. Les plans quelconques	12
3b. Les plans remarquables	12
1) Le plan horizontal.....	12
2) Le plan frontal	13
3) Le plan parallèle à LT	13
4) Le plan vertical	13
5) Le plan de bout	14
6) Le plan de profil.....	14
3c. Les surfaces planes	15
4. Représentation de volumes.....	16
4a. Les vus et cachés	16
4b. Les polyèdres.....	17
1) Le prisme	17
2) La pyramide	18
4c. Les corps de révolution	19
1) Le cylindre.....	19
2) Le cône	20
III. Les sections	21
1. Les points de percée	21
1a. L'intersection d'une droite et d'un plan (ou surface) projetant.....	21
1b. L'intersection d'une droite et d'une surface quelconque	21
2. Les sections planes de polyèdres	22
2a. Section plane dans un prisme	22
2b. Section plane dans une pyramide	23
3. Les sections planes de corps ronds	27
3a. Diverses constructions :	27
1) Méthode des génératrices	27
2) Méthode des plans auxiliaires.....	27
3b. Section plane dans un cylindre.....	28
1) Section circulaire.....	28
2) Section elliptique.....	28
3) Section parabolique	28
4) Section droite	28
3c. Section plane dans un cône.....	29
1) Section circulaire.....	29
2) Section elliptique	29
3) Section parabolique	29
4) Section hyperbolique	29

1. Vraies grandeurs par rabattement.....	30
1a. Méthode du triangle rectangle	33
2. Vraies grandeurs par rotation	34
3. Développement de volume tronqué.....	37
4. Le relèvement	38
V. Les interpénétrations	40
1. Interpénétration de deux volumes à axes confondus ou parallèles	40
2. Interpénétration de deux volumes à axes non parallèles	43

I. Introduction

Les projections orthogonales s'appellent aussi la géométrie descriptive ou le dessin géométral. Celles-ci reprennent le dessin en plan, de face et de profil de l'objet à représenter. Géométriquement parlant, ce sont des projections orthogonales sur au moins deux plans de projections (un plan horizontal et un ou plusieurs plans verticaux).

1. Un peu d'histoire

La projection orthogonale a été ébauchée par Dürer dès le XVI^{ème} siècle à l'usage des peintres. C'est au XVIII^{ème} siècle que G. Monge en a développé la théorie et fixé les principes.

Gaspard Monge

Il naît à Beaune en mai 1746.

En 1764, Gaspard Monge dessine un plan de Beaune qui attire l'attention des professeurs.

Plus tard, il devient professeur de mathématiques et de physique.

Il développe de nouvelles méthodes graphiques et constructives pour les fortifications : la géométrie descriptive.

Il fait ses premières publications et prend contact avec d'Alembert (académicien et mathématicien célèbre).

Il fut également membre de l'Académie des sciences.

Après la révolution, il écrit encore de nombreux articles sur la géométrie descriptive, destinés notamment aux ingénieurs.

Il meurt en juillet 1818 à Paris.



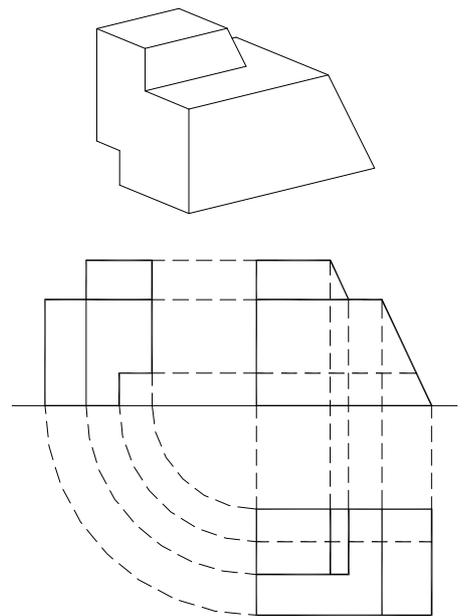
2. Le but de la projection orthogonale

La projection orthogonale (ou méthode de Monge) est une représentation des figures de l'espace en plans à l'aide de projections. On parvient ainsi à déterminer les dimensions et les formes exactes de l'objet.

La transposition d'une figure de l'espace en dessin plan demande un effort de réflexion soutenu.

A l'heure du dessin et de la conception assistée par ordinateur, cette méthode est toujours enseignée. Elle permet d'entraîner l'esprit à la vision dans l'espace. Cette capacité de jongler avec les trois dimensions est primordiale pour le créateur devant son ordinateur. Cette méthode permet également d'acquérir une grande rigueur dans le dessin au travers des épures. Cette rigueur est également essentielle dans le travail sur ordinateur.

La projection orthogonale se base sur une série de conventions tant dans la façon de projeter que dans le parachèvement du dessin.



3. Conventions de projection

Quelques conventions de bases sont importantes...

Il existe deux ou trois plans de projections :

- le plan horizontal de projection (PH)
- le plan frontal de projection (PF)
- le plan de profil de projection (PP) (facultatif)

De base, on exécute une double projection (PH, PF).

Le plan horizontal est perpendiculaire au plan frontal. Ils partagent l'espace en quatre régions, appelées « dièdres ». Dans cet ouvrage, seul le premier dièdre, au dessus du PH et devant le PF sera étudié.

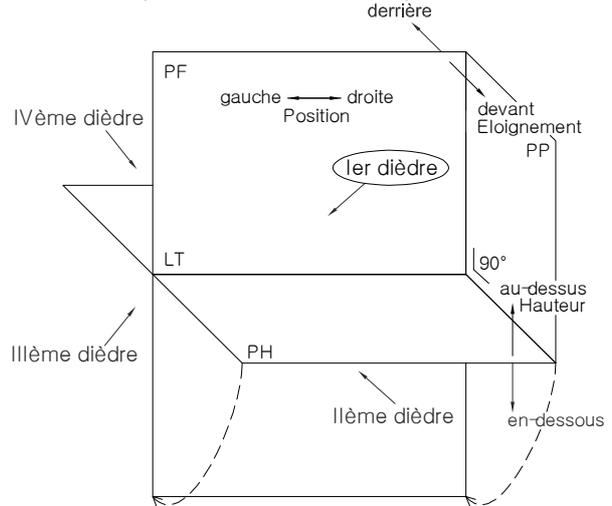
L'intersection entre ces deux plans de projection (horizontal et frontal) s'appelle l'« axe de projection » ou la « ligne de terre » (LT). Celle-ci est toujours horizontale et parallèle au bas du cadre de l'épure.

(NB. : elle peut aussi se noter « X Y »)

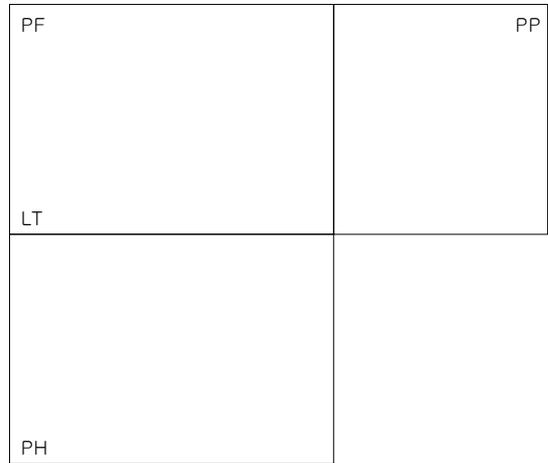
Les plans de projection (PF, PH et PP) et la ligne de terre (LT) sont illimités.

Pour arriver à représenter en 2D des plans situés dans un espace 3D, on fait pivoter le plan horizontal autour de la ligne de terre jusqu'à ce qu'il soit sur le même plan que le plan frontal. De la même manière, on fait pivoter le plan de profil autour de la charnière (intersection entre PF et PP) pour arriver dans le même plan que le plan frontal.

Voici la représentation dans l'espace ...



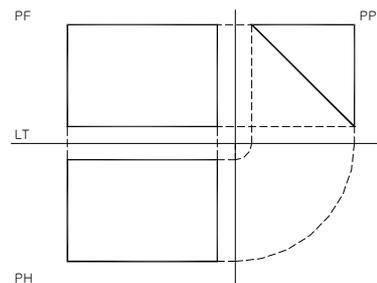
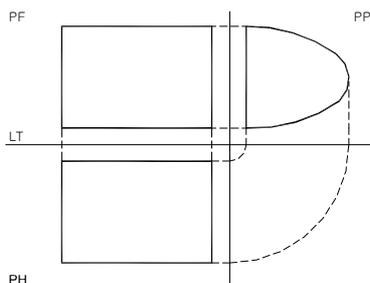
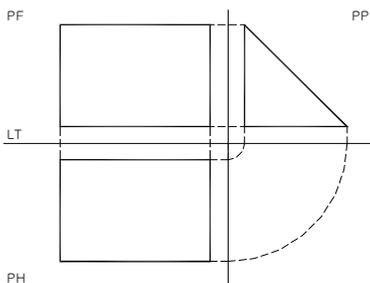
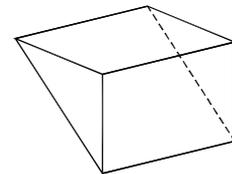
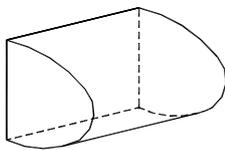
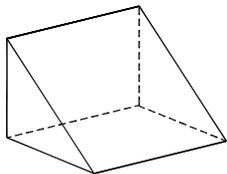
Voici la représentation en épure ...



4. Deux ou trois plans de projections ?

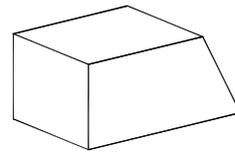
Beaucoup de sujets sont représentés en deux plans de projections. Il existe cependant certains sujets qui doivent faire appel à un troisième plan de projection afin d'être totalement documentés.

Ci dessous, quelques exemples de sujets pour lesquels deux plans de projections (PF, PH) ne suffisent pas à les renseigner dans leur ensemble, seule leur projection dans PP diffère.



5. Mise en oeuvre

Prenons un objet quelconque situé dans l'espace.
Voici la représentation isométrique de l'objet ...

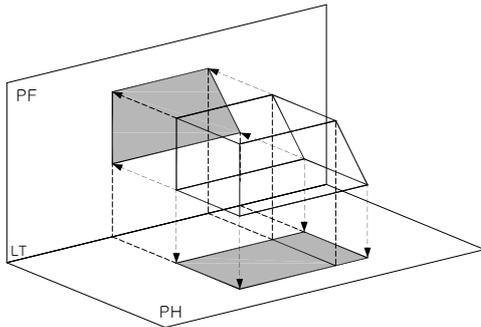


Projection de l'objet 3D sur deux plans de projections

On projette tous les points (sommets) de l'objet perpendiculairement au plan horizontal.

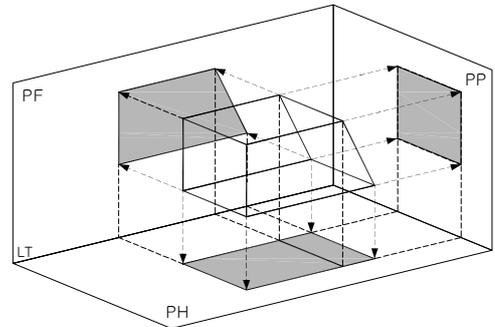
On fait ensuite de même perpendiculairement au plan frontal.

Nous obtenons alors les deux projections de l'objet : une dans le PH et une dans le PF.



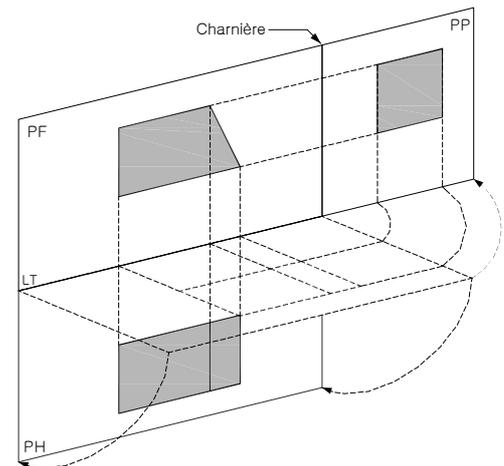
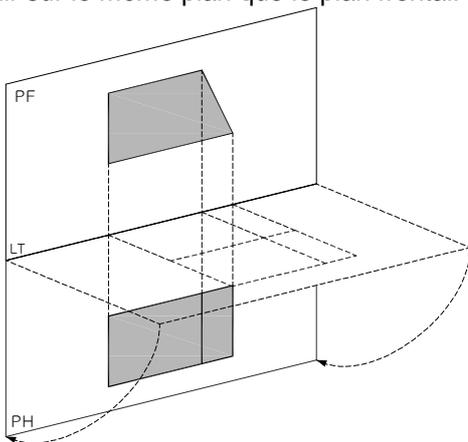
trois plans de projections :

Projection sur trois plans : le PH (plan horizontal), le PF (plan frontal) et le PP (plan de profil).



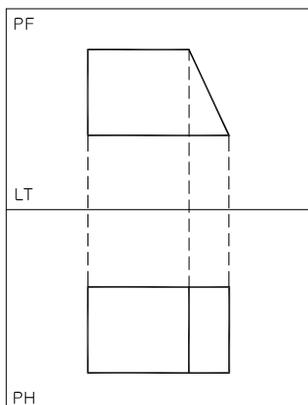
Passage vers la 2D :

Afin de pouvoir être dessiné sur une même épure, le plan horizontal doit faire une rotation autour de la ligne de terre jusqu'à venir sur le même plan que le plan frontal.

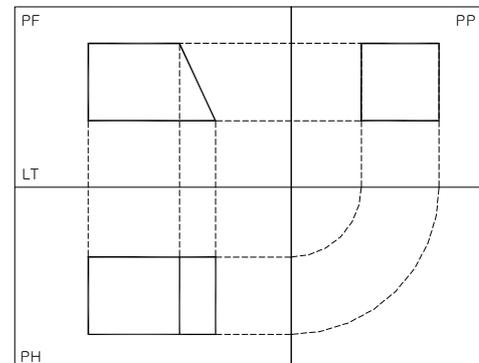


Représentation 2D sur une épure :

Dièdre de projection (2 projections de l'objet)



Trièdre de projection (3 projections de l'objet)



NB : Si les projections des sommets se font perpendiculairement aux plans de projection, elles se font donc aussi perpendiculairement à la ligne de terre dans la représentation en épure.

II. Les éléments

1. Représentation du point

1a. Les coordonnées

Les coordonnées d'un point dans l'espace contiennent trois valeurs, ce sont les trois dimensions (3D) :

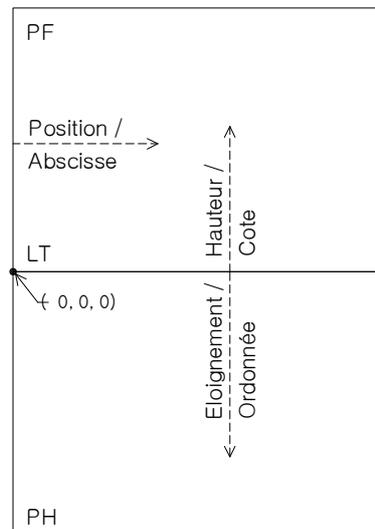
Sa position : position horizontale ou latérale de l'objet
(sur l'épure : distance entre l'objet et le bord du cadre, côté gauche) = l'abscisse.

Son éloignement : distance entre l'objet et le PF
(sur l'épure : distance verticale sur le PH, à partir de LT) = l'ordonnée.

Sa hauteur : distance entre l'objet et le PH
(sur l'épure : distance verticale sur le PF, à partir de LT) = la cote.

Les coordonnées dans les énoncés et les exercices sont toujours données dans cet ordre (abscisse, ordonnée, cote).

Le point (0, 0, 0) d'une épure se trouve à l'intersection de LT et du cadre à gauche.



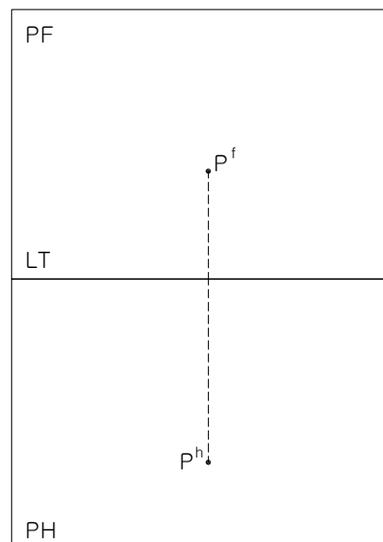
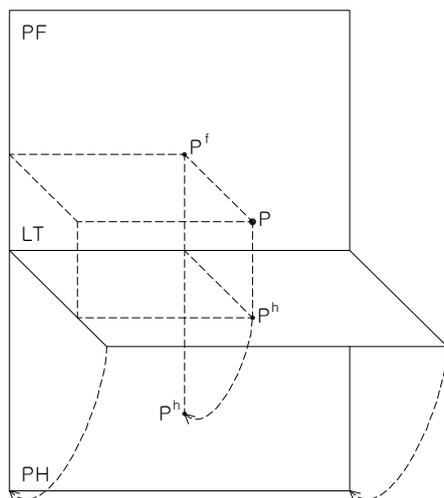
L'annotation d'un point se fait avec une majuscule (A, B, C,)

Cette lettre majuscule est flanquée d'un exposant h dans le PH et d'un exposant f dans le PF.

1b. Marche à suivre

Pour dessiner la projection d'un point P, on abaisse une droite projetante perpendiculaire au PH et on trace une droite projetante perpendiculaire au PF.

L'intersection de ces droites et des plans de projections donne respectivement les points de projections P^h dans le plan horizontal et P^f dans le plan frontal.



Le plan horizontal fait alors une rotation autour de la ligne de terre pour venir sur le même plan que le plan frontal.

Sur l'épure, les droites de projections se dessinent en lignes de rappel.

Les deux projections du point P (P^h et P^f) se trouvent donc sur la même ligne de rappel, perpendiculaire à la ligne de terre LT.

2. Représentation de droites

Une droite étant une liaison entre deux points et restant une droite après projection, il est facile de la dessiner. On peut également ne situer qu'un point de la droite (point de passage), il faut alors mentionner ses caractéristiques remarquables (parallélisme, perpendicularité,...) afin de pouvoir la dessiner. Sans mention de sa longueur, une droite est infinie.

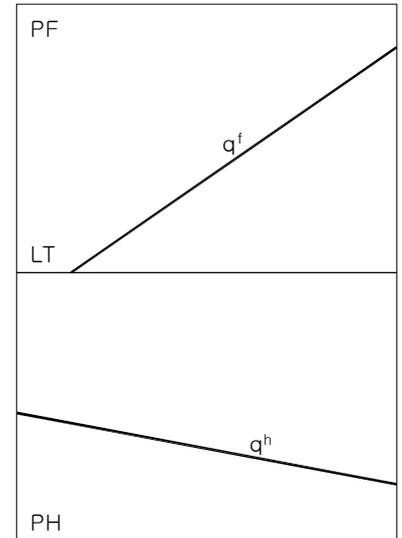
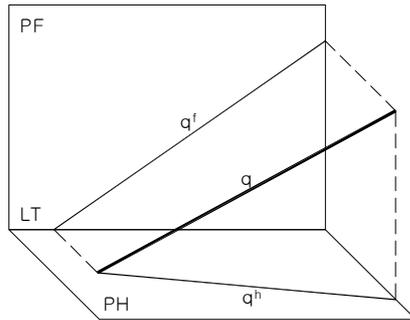
L'annotation d'une droite se fait avec une minuscule (a, b, c,)

Cette lettre minuscule est flanquée d'un exposant h dans le PH et d'un exposant f dans le PF.

2a. Les droites quelconques

Une droite quelconque est une droite qui n'est ni parallèle, ni perpendiculaire à aucun plan de projection. Ci-dessous, un exemple de droite quelconque...

Elle est oblique aux trois plans de projection.

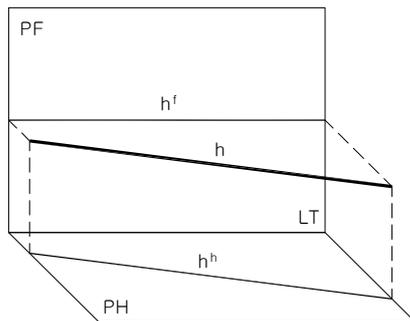


2b. Les droites remarquables

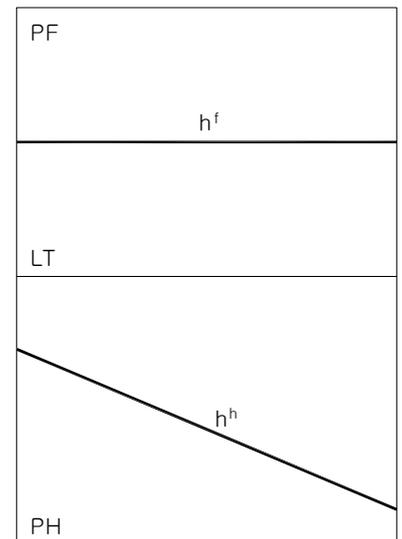
Les droites qui ne sont pas quelconques sont remarquables. Elles présentent une particularité au niveau du parallélisme ou de la perpendicularité qu'elles présentent par rapport à un ou aux deux plans de projection. Il est important de savoir que la vraie grandeur d'une droite est toujours sur le plan de projection auquel elle est parallèle. (Ex : la vraie grandeur d'une droite frontale se trouve sur le plan frontal.)

1) La droite horizontale

Elle est parallèle au PH et oblique au PF. Tous les points d'une droite horizontale se situent à la même hauteur mais pas au même éloignement.

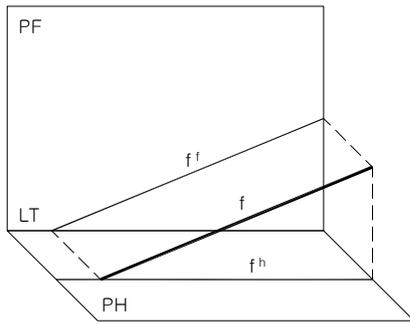


La vraie grandeur d'une droite horizontale se situe dans le PH.

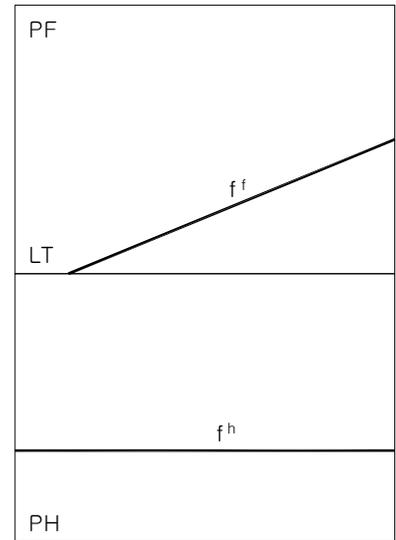


2) La droite frontale

Elle est parallèle au PF et oblique au PH. Tous les points d'une droite frontale se situent au même éloignement, mais pas à la même hauteur.

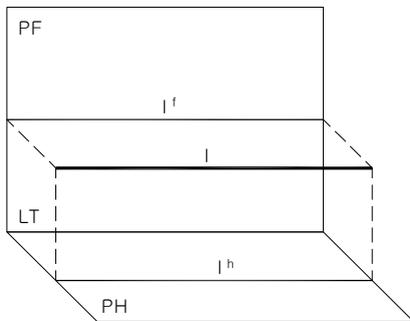


La vraie grandeur d'une droite frontale se situe dans le PF.

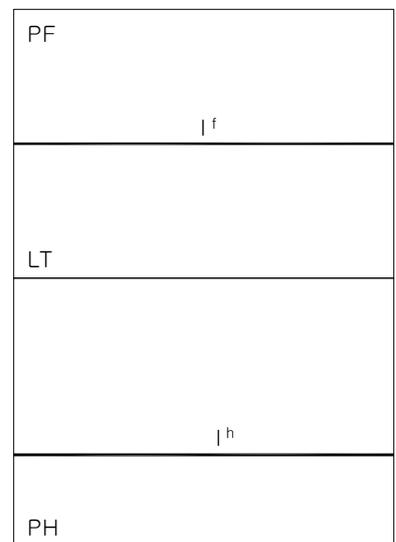


3) La droite parallèle à LT ou fronto-horizontale

Elle est parallèle au PH et au PF. Tous les points d'une droite parallèle à LT se situent au même éloignement et à la même hauteur. (Une droite fronto-horizontale est projetante au PP.)

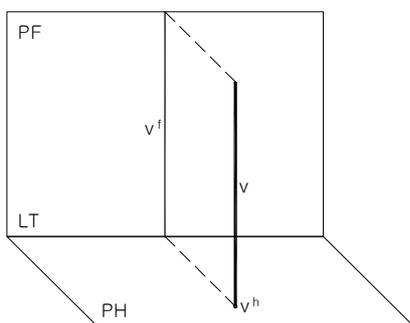


La vraie grandeur d'une droite fronto-horizontale se situe dans le PF et dans le PH.

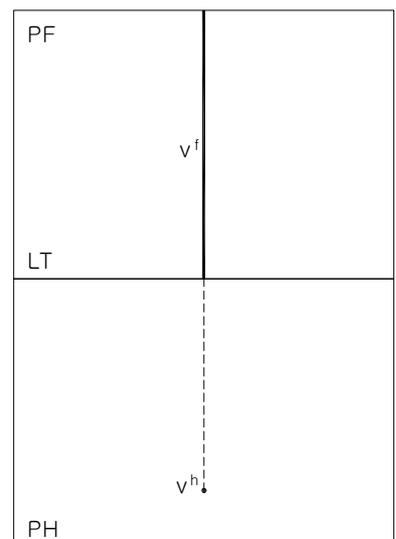


4) La droite verticale

Elle est perpendiculaire au PH. Tous les points d'une droite verticale se situent à la même position (latéralement) sur LT et au même éloignement. Une droite verticale est projetante au PH.

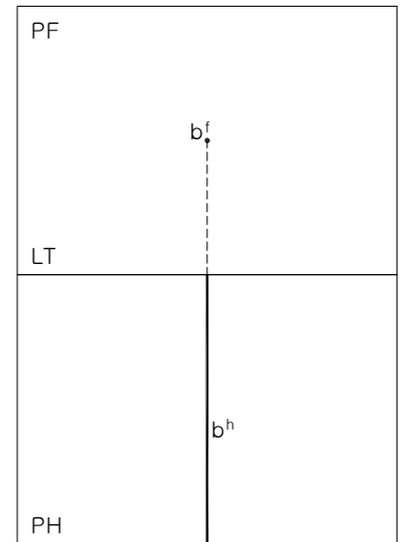
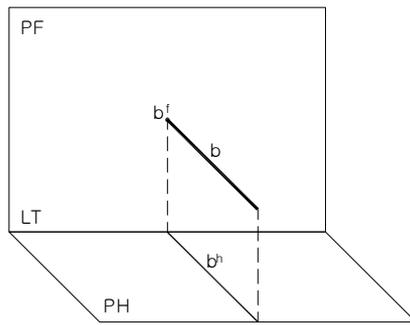


La vraie grandeur d'une droite verticale se situe dans le PF.

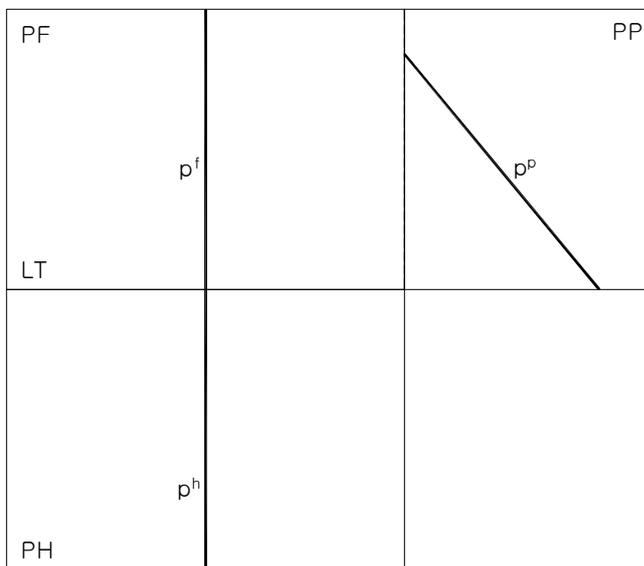


5) La droite de bout

Elle est perpendiculaire au PF. Tous les points d'une droite de bout se situent à la même position (latéralement) sur LT et à la même hauteur. Une droite de bout est projetante au PF.

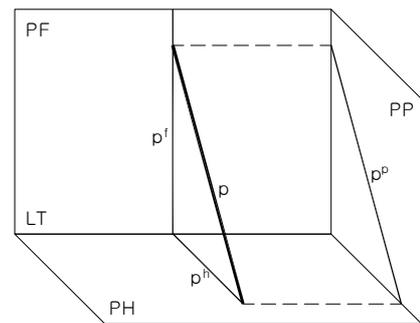


La vraie grandeur d'une droite debout se situe dans le PH.
On peut écrire « de bout » en 1 ou 2 mots (de bout ou debout)



6) La droite de profil

Elle se trouve dans un plan perpendiculaire au PH et au PF. Tous les points d'une droite de profil se situent à la même position (horizontalement) sur LT, mais ils ont tous des éloignements et hauteurs différents.

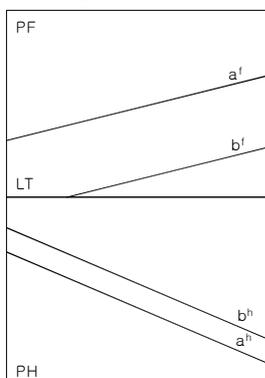


La vraie grandeur d'une droite de profil se situe dans le PP (plan de projection de profil).

2c. Les droites entre-elles

1) Les droites parallèles

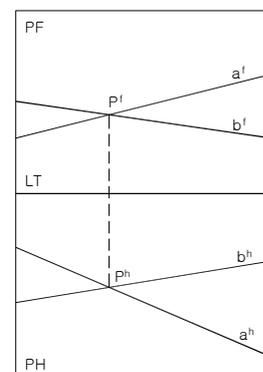
Deux droites parallèles dans l'espace donnent des projections parallèles également.



les droites a, b sont parallèles entre elles

2) Les droites sécantes

Deux droites sécantes se coupent en un point. Les projections de ce point doivent donc se situer sur la même ligne de rappel.



les droites a et b se croisent au point P

3. Représentation de plans et de surfaces planes

Un plan est plus difficile à situer. Si le plan est quelconque, on peut le situer de plusieurs manières :

- Par trois points non alignés.
- Par une droite et un point situé à l'extérieur de cette droite.
- Par deux droites sécantes.
- Par deux droites parallèles
- S'il est en position remarquable, on donne alors un de ses points (point de passage), il faut alors mentionner ses caractéristiques remarquables afin de pouvoir le dessiner (ex. perpendiculaire au PH, parallèle au PH,...).

L'annotation d'un plan se fait avec une lettre grecque ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$) (Voir dans l'introduction au point 3d).

Cette lettre grecque est flanquée d'un exposant h dans le PH et d'un exposant f dans le PF

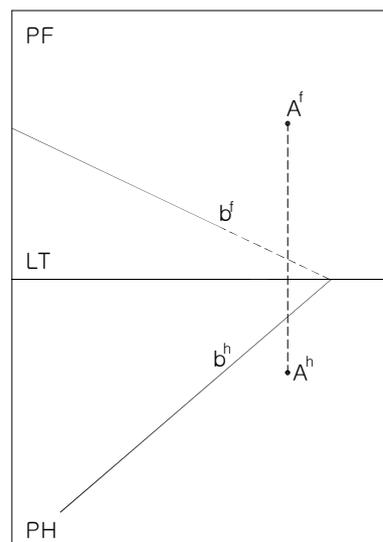
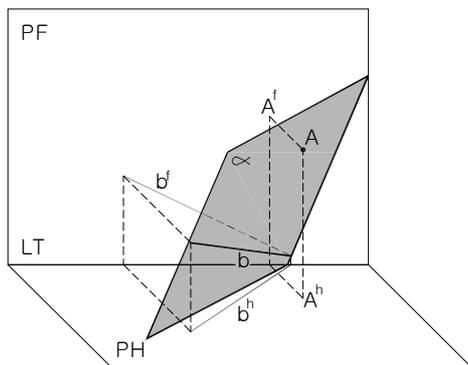
Sans mention de son contour ou périmètre, un plan est infini.

On dessine sur l'épure la trace projetante du plan.

3a. Les plans quelconques

Un plan quelconque est un plan qui n'est ni parallèle ni perpendiculaire à aucun plan de projection.

Exemple d'un plan alpha défini par le point A et la droite b.



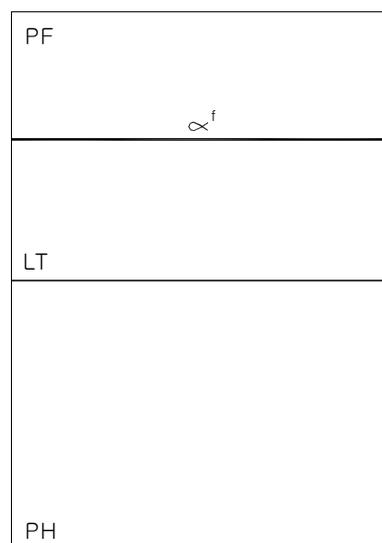
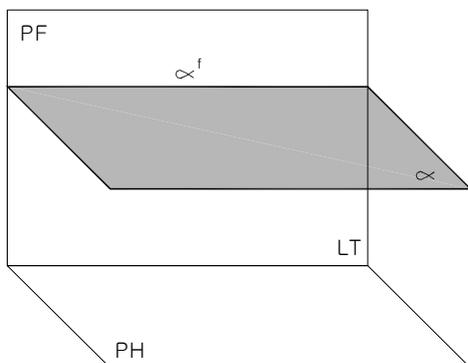
3b. Les plans remarquables

Les plans qui ne sont pas quelconques, sont remarquables. Ils présentent une particularité au niveau du parallélisme ou de la perpendicularité qu'ils opèrent par rapport à un ou des deux plans de projections. Un plan remarquable est représenté par sa trace sur un ou deux des plans de projection.

1) Le plan horizontal

Il est parallèle au PH (et donc aussi perpendiculaire au PF). Tous les points d'un plan horizontal se situent à la même hauteur mais pas tous au même éloignement. Une figure située sur un plan horizontal sera projetée en vraie grandeur dans le PH.

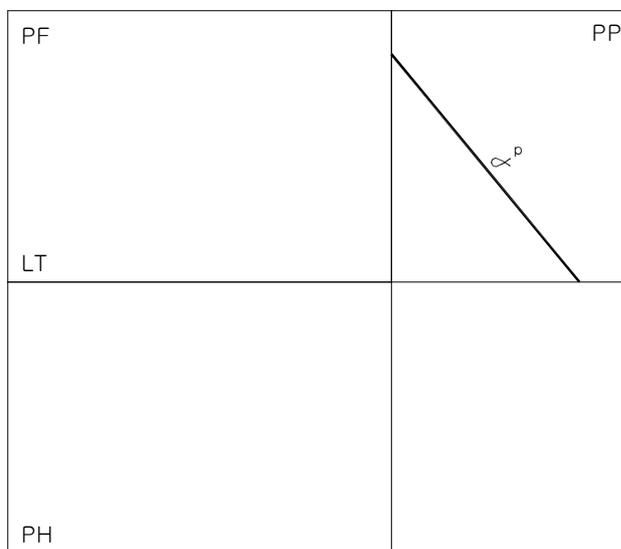
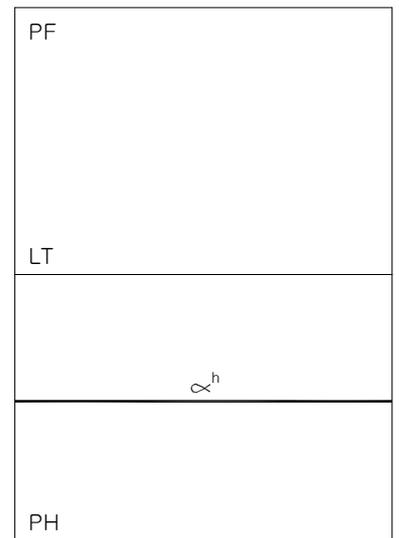
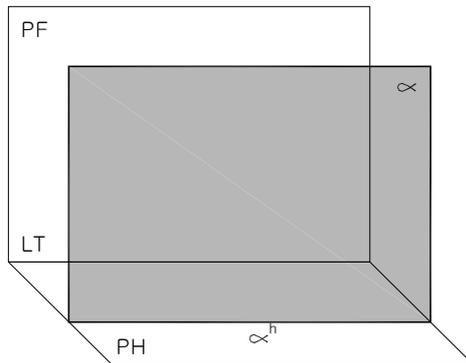
La trace d'un plan horizontal se dessine sur le PF.



2) Le plan frontal

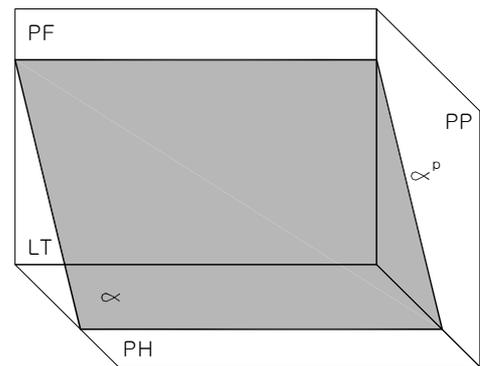
Il est parallèle au PF (et donc aussi perpendiculaire au PH). Tous les points d'un plan frontal se situent au même éloignement, mais pas tous à la même hauteur. Une figure située sur un plan frontal sera projetée en vraie grandeur dans le PF.

La trace d'un plan frontal se dessine sur le PH.



3) Le plan parallèle à LT

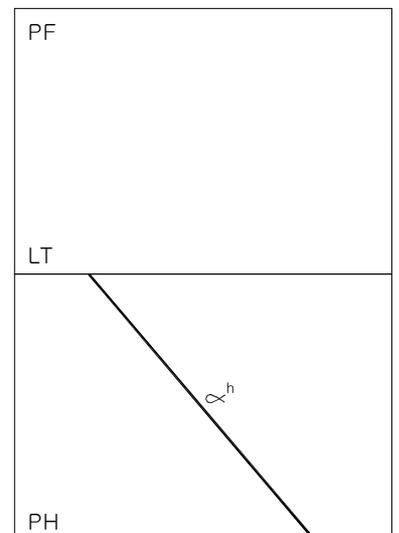
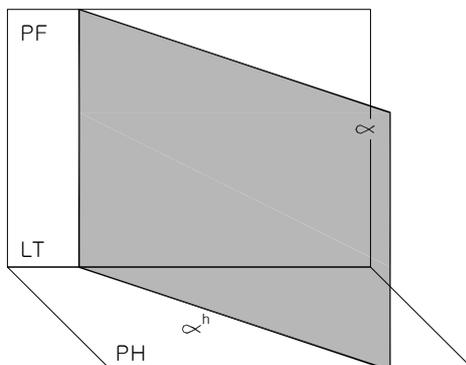
Un plan parallèle à la ligne de terre a ses traces horizontales et frontales parallèles à la ligne de terre. Ce plan est également perpendiculaire au PP (plan de projection de profil) et est oblique par rapport au PH et au PF.



4) Le plan vertical

Il est perpendiculaire au PH. Une figure située sur un plan vertical ne sera projetée en vraie grandeur ni dans le PF, ni dans le PH (sauf s'il est frontal).

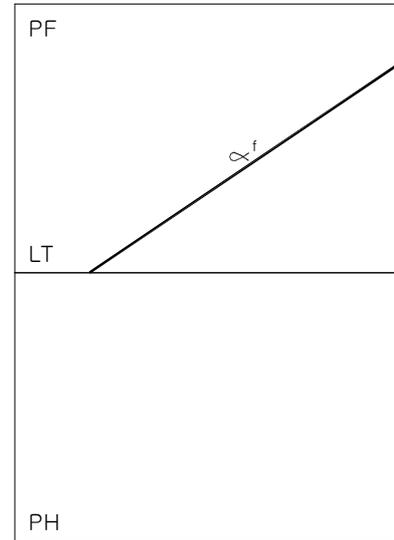
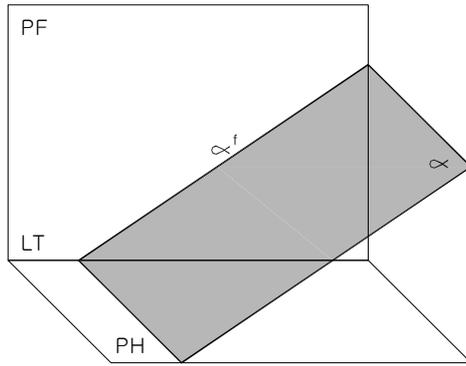
La trace d'un plan vertical se dessine sur le PH.



5) Le plan de bout

Il est perpendiculaire au PF. Une figure située sur un plan de bout ne sera projetée en vraie grandeur ni dans le PF, ni dans le PH (sauf s'il est horizontal).

La trace d'un plan de bout se dessine sur le PF.



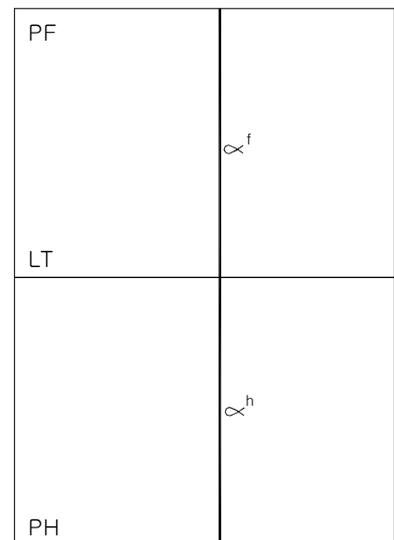
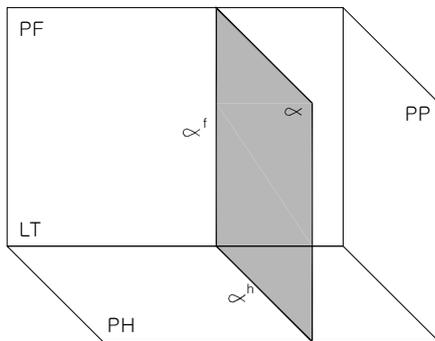
PS : On peut écrire de bout en 1 ou 2 mots (de bout ou debout)

6) Le plan de profil

Il est perpendiculaire au PH et au PF et est parallèle au PP (plan de projection de profil).

Tous les points d'un plan de profil se situent au même endroit (horizontalement) sur LT, mais ils ont tous un éloignement et une hauteur différente. Une figure située sur un plan de profil sera projetée en vraie grandeur dans le PP.

La trace d'un plan debout se dessine sur le PF et sur le PH.

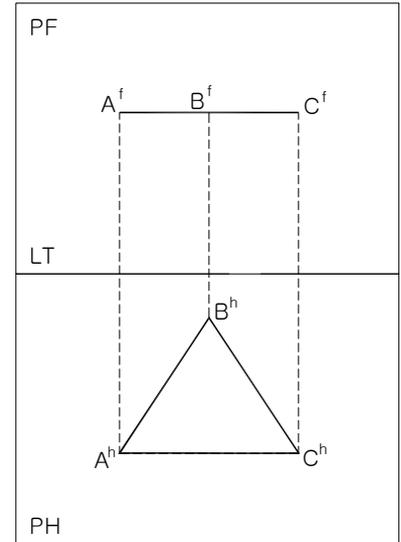
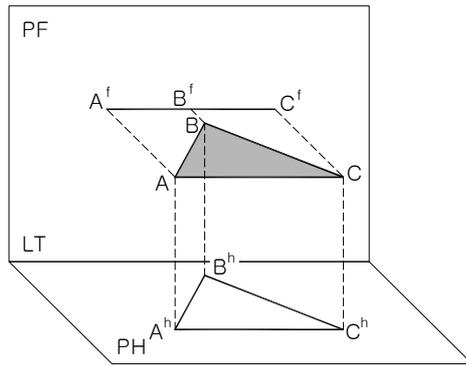


3c. Les surfaces planes

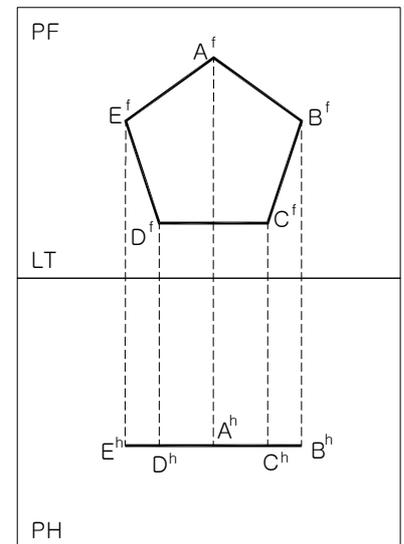
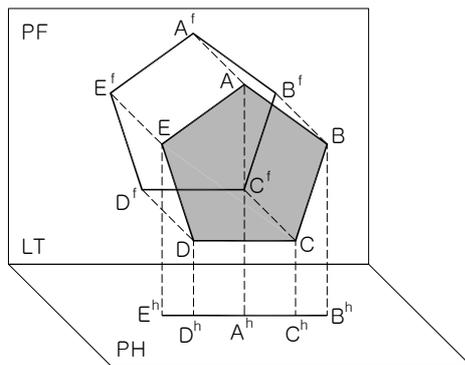
Une surface plane est un polyèdre sans épaisseur ou une section de plan délimitée. Une surface plane « régulière » comporte un certain nombre de côtés égaux, un triangle, un carré, un pentagone, un hexagone, etc.

Deux exemples :

Surface plane triangulaire parallèle au plan horizontal...



Surface plane pentagonale parallèle au plan frontal...



Une figure plane parallèle à un des plans de projection se projettera toujours en vraie grandeur sur ce plan.

4. Représentation de volumes

4a. Les vus et cachés

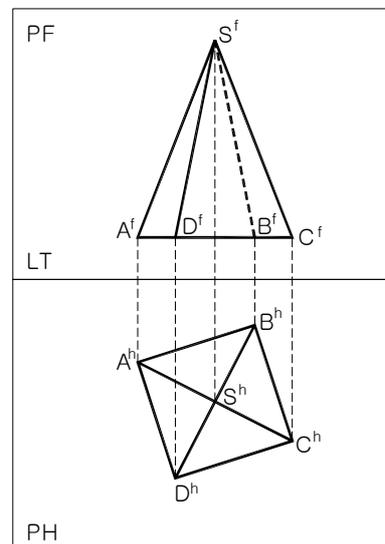
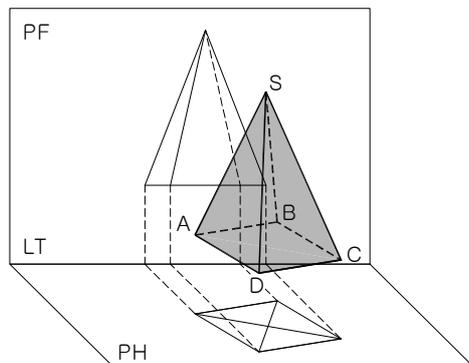
Dans la représentation des projections, on considère que tous les volumes sont des corps opaques. Il faut représenter en traits pleins les arêtes vues et en traits pointillés les arêtes cachées.

Tout ce qui est à l'avant (vu du bas de l'épure) et au dessus (vu du haut de l'épure) du volume est vu ; ce qui est derrière un élément vu est un élément caché.

La vue de haut donne la solution des éléments de projection qui se trouvent dans le PH.

La vue de face donne la solution des éléments de projection qui se trouvent dans le PF.

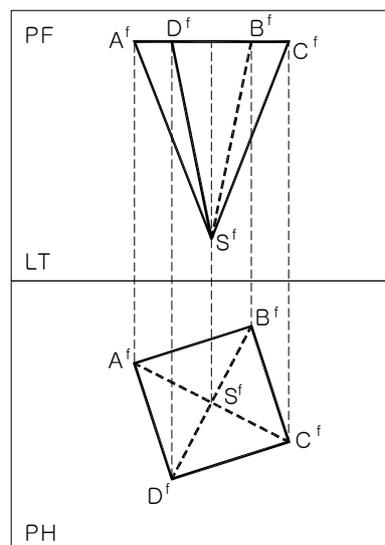
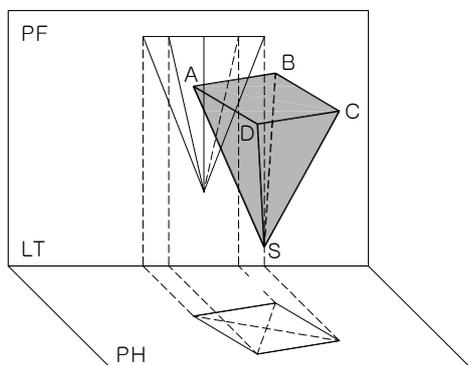
Une pyramide avec une base horizontale :



Remarque :

L'arête BS est à l'arrière-plan, elle est donc cachée dans le PF.

Une pyramide renversée sur son sommet :



Remarque :

Les arêtes qui partent de la base vers le sommet sont toutes en dessous, elles sont donc toutes cachées dans le PH.

L'arête DS est à l'arrière-plan, elle est donc cachée dans le PF.

Quelques principes :

- Il faut savoir que le contour apparent de la projection d'un solide est toujours vu.
- Deux arêtes vues ou deux arêtes cachées peuvent se rejoindre (par exemple en S) mais ne se croisent jamais.

4b. Les polyèdres

Un polyèdre est un corps solide à plusieurs faces. (Ex. : le cube, 6 faces, est un polyèdre régulier)
Il existe les prismes et les pyramides.

1) Le prisme

Un prisme est un volume dont la surface de la base est égale à la surface du sommet et parallèle à celle-ci.
La base et le sommet peuvent être des surfaces à 3, 4, 5, 6, ... côtés.

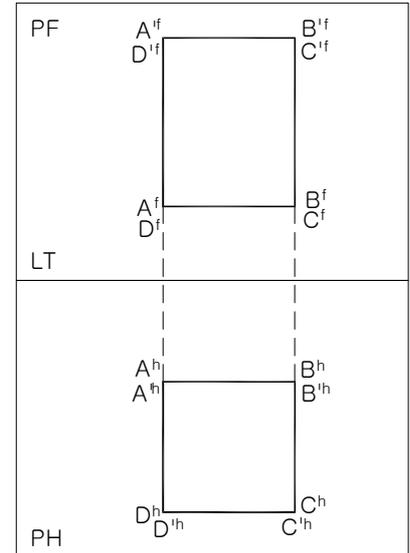
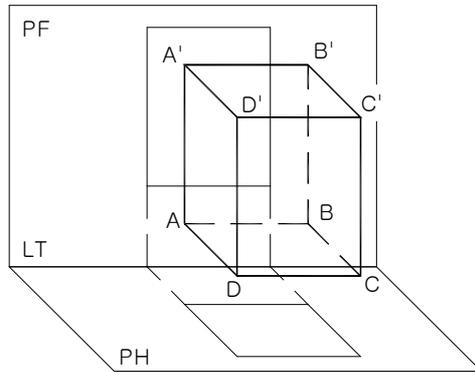
Un prisme « droit » a des faces latérales perpendiculaires à la base et au sommet.

Si la base du prisme est un polygone régulier, les faces latérales sont toutes identiques (dans le prisme droit).

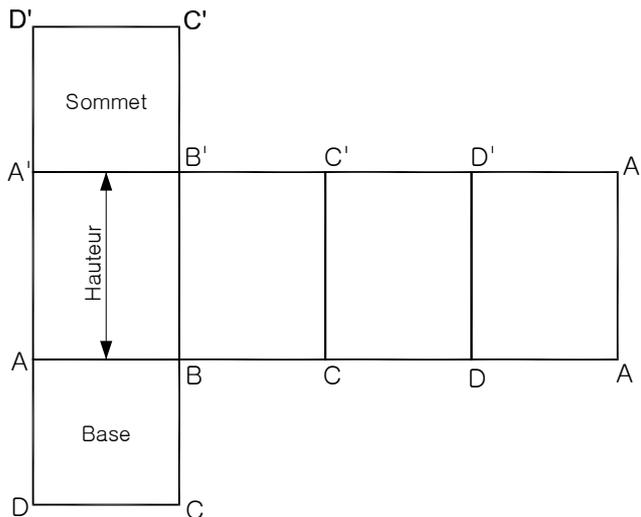
La base est annotée de lettres, les sommets correspondants sont annotés des mêmes lettres suivies d'un prime.

Un « prisme oblique » est un prisme dont le sommet et la base ne sont pas alignés, les faces latérales sont inégales.

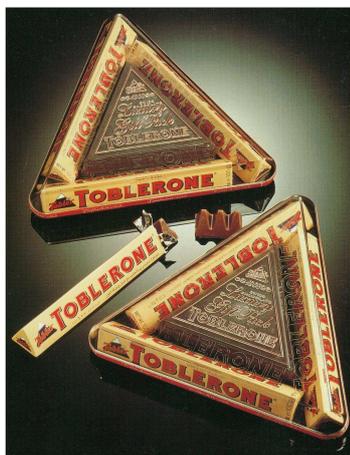
Exemple d'un prisme droit :



Développement :



Quelques exemples d'utilisation dans les domaines publicitaires (le packaging) :



2) La pyramide

La pyramide est un volume dont la base est une surface et le sommet est un point.

La base peut être une surface à 3, 4, 5, 6, ... côtés.

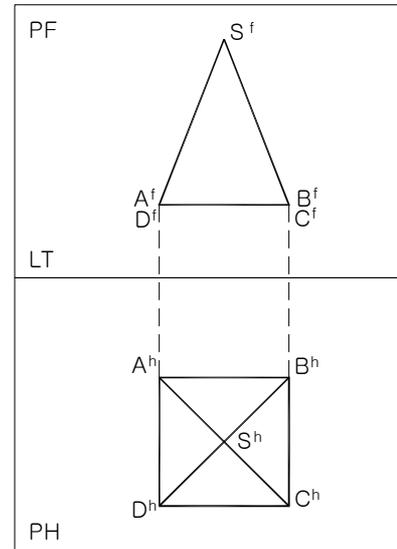
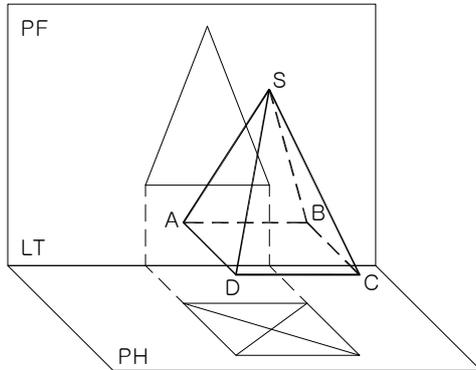
Une pyramide « droite » a toujours son sommet aligné (perpendiculairement) avec le centre de la base.

Si la base de la pyramide est un polygone régulier, les faces latérales sont toutes identiques.

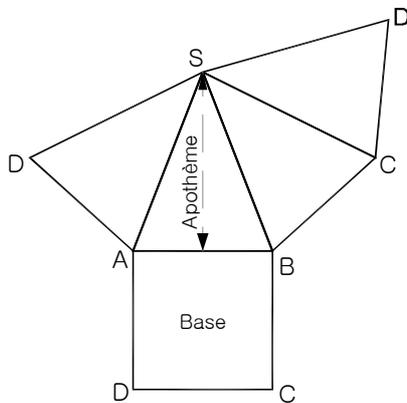
La base est annotée de lettres, l'unique sommet est annoté de la lettre S pour « sommet ».

Une pyramide « oblique » est une pyramide dont le sommet est décalé par rapport à la base.

Exemple d'une pyramide droite :



Développement :



Exemple d'utilisation dans le domaine publicitaire :



4c. Les corps de révolution

Un corps de révolution est le résultat d'une révolution de surface autour d'un axe.
Il existe entre autres le cylindre et le cône.

1) Le cylindre

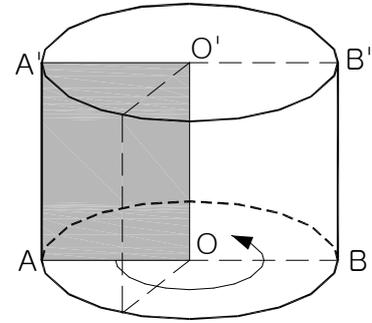
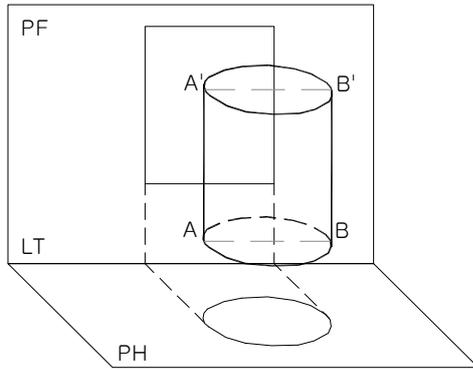
Le cylindre de révolution est un solide engendré par un rectangle tournant autour d'un de ses côtés ($OO' = l'$ axe).
Le côté $A A'$ qui décrit la surface cylindrique s'appelle « génératrice ». Ce sont toutes les positions de ce côté lors de la révolution qui créent la surface du cylindre.

La surface de la base et celle du sommet sont deux cercles identiques et parallèles.

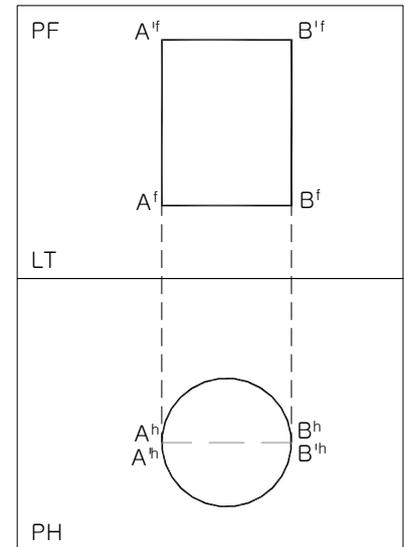
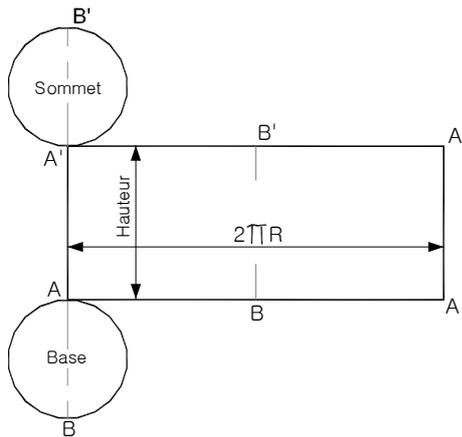
Un cylindre « droit » a sa base et son sommet alignés.

Un cylindre « oblique » est un cylindre dont la base et le sommet sont désaxés.

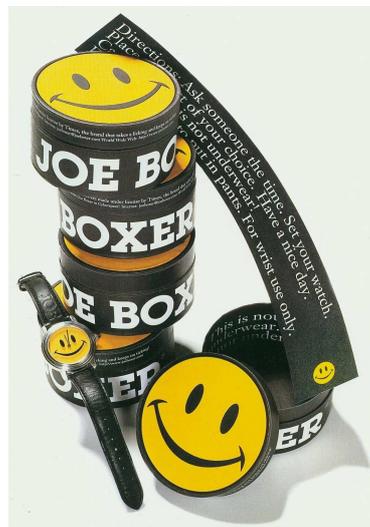
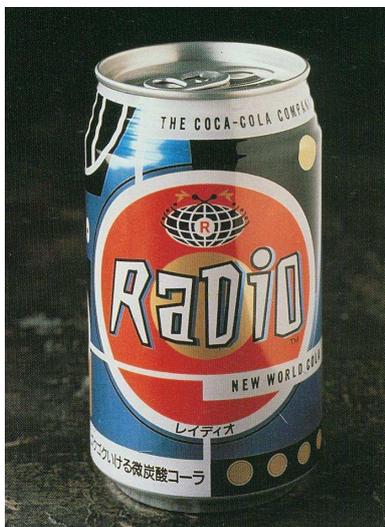
Exemple d'un cylindre droit :



Développement :



Quelques exemples d'utilisation dans les domaines publicitaires :



2) Le cône

Le cône de révolution est un solide engendré par un triangle rectangle tournant autour d'un de ses côtés de l'angle droit (OS = l'axe).

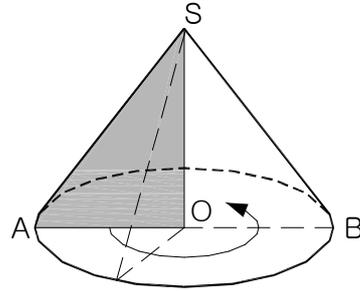
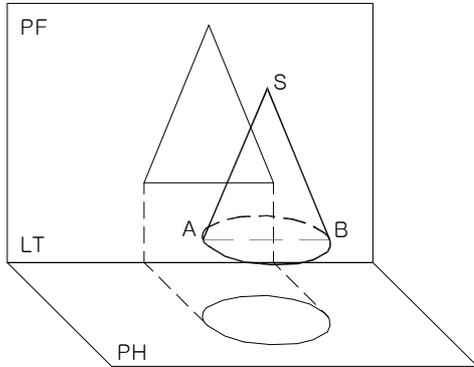
Le côté AS qui décrit la surface conique s'appelle « génératrice ». Ce sont toutes les positions de ce côté lors de la révolution qui créent la surface du cône.

La surface de la base est un cercle et le sommet est un point.

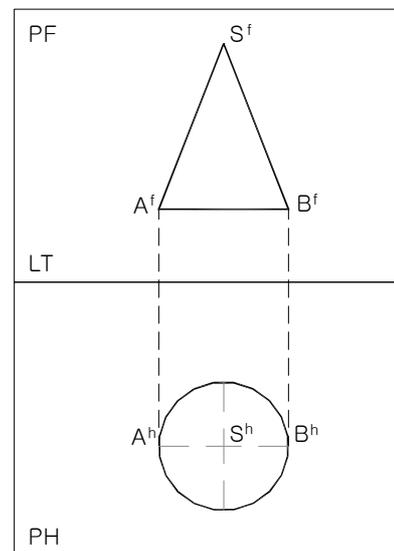
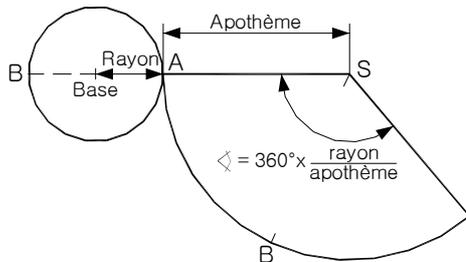
Un cône « droit » a son sommet aligné sur le centre de sa base.

Un cône « oblique » est un cône dont le sommet est décalé par rapport à la base.

Exemple d'un cône droit :



Développement :



III. Les sections

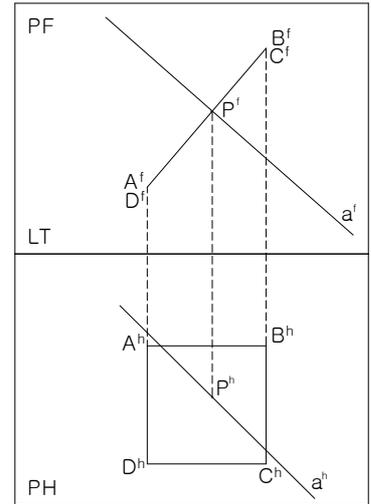
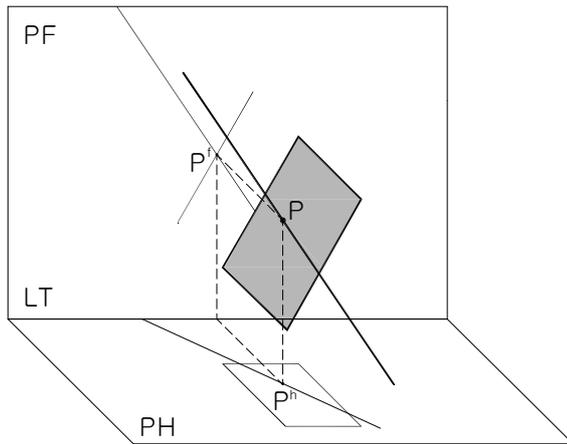
1. Les points de percée

Les points de percée sont les intersections d'une droite avec une surface.
 Un point de percée est annoté à l'aide d'une lettre (A, B, C, ... , P, ...)

1a. L'intersection d'une droite et d'un plan (ou surface) projetant

Elle se trouve facilement sur un des plans de projections (PH ou PF) suivant le type du plan.
 ex : Un plan vertical et une droite quelconque donneront d'abord leur intersection sur le PH car le plan vertical est projetant au PH. Cette intersection sera ensuite reportée verticalement dans le PF, sur la droite.
 ex : Un plan de bout et une droite quelconque donneront d'abord leur intersection sur le PF car le plan de bout est projetant au PF. Cette intersection sera ensuite reportée verticalement dans le PH, sur la droite.

Exemple d'une surface projetante de bout ABCD traversée par une droite quelconque a :

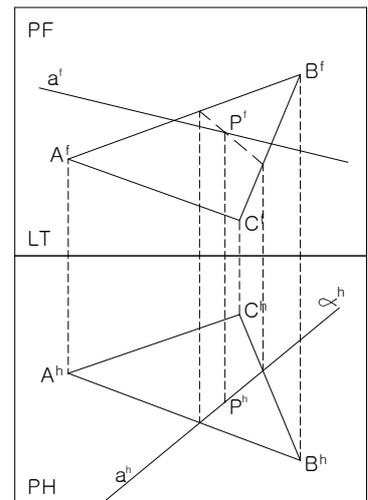
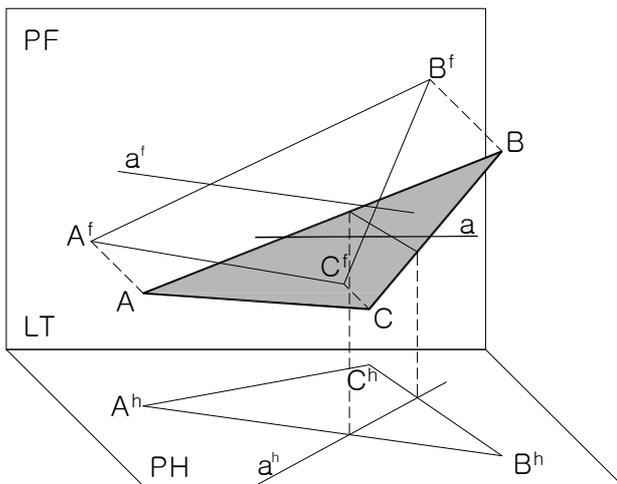


On trouve d'abord le point de percée P^f sur le PF (croisement visible des deux éléments projetés $A^f B^f C^f D^f$ et a^f).
 Ce point sera ensuite projeté dans le PH pour trouver P^h , sur la droite a^h correspondante.

1b. L'intersection d'une droite et d'une surface quelconque

Dans ce cas, on fait passer un « plan auxiliaire » par la droite. Un plan auxiliaire est un plan de construction qui doit être projetant. Ce plan auxiliaire va couper la surface et donner une droite comme intersection. L'intersection de cette droite obtenue de la droite donnée donne le point de percée.

Exemple d'une surface quelconque ABC traversée par une droite a quelconque :



Dans cet exemple, on choisit un plan vertical alpha contenant la droite a comme plan auxiliaire. α^h est confondu dans le PH avec a^h . On trouve d'abord l'intersection de α et de la surface quelconque dans le PH, puis dans le PF en remontant les lignes de rappel. Dans le PF, cette intersection coupe la droite a^f au point P^f , qui est aussi le point de percée de a dans ABC. Il suffit alors de reporter verticalement le point P^h dans le PH, sur la droite a^h correspondante.
 P.S. : Il est également possible de résoudre le problème en utilisant un plan de bout comme plan auxiliaire.

2. Les sections planes de polyèdres

Une section plane dans un volume est provoquée par un plan qui vient couper ce volume en deux parties.

La surface de coupe s'appelle la « section ». C'est l'intersection entre le plan de coupe et le volume.

Dans la représentation en projection la section est hachurée.

C'est la partie la plus « stable » des deux morceaux de volume qui est dessinée en tant que solution.

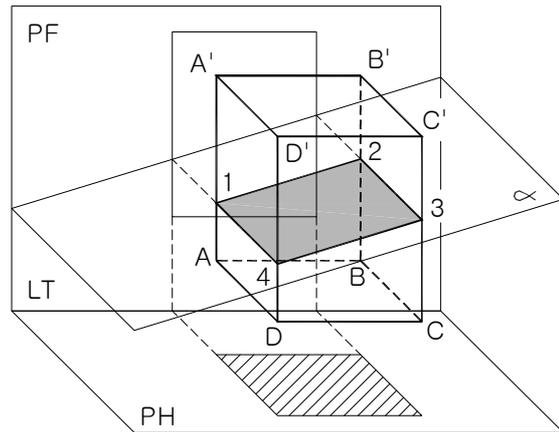
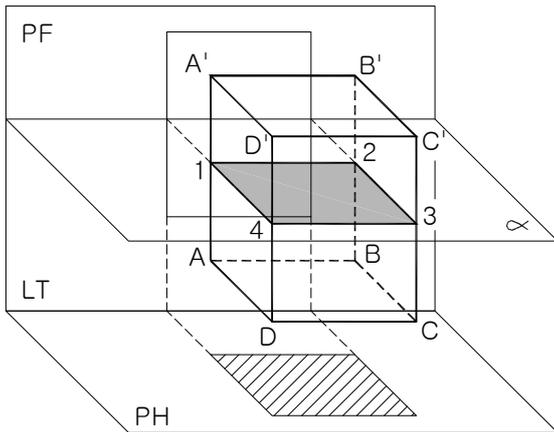
L'autre partie, celle qui disparaît, est dessinée en traits de construction.

Les points créés par la section plane entre le plan de section et les arêtes du volume, doivent être annotés sous forme de chiffres (1, 2, 3,)

2a. Section plane dans un prisme

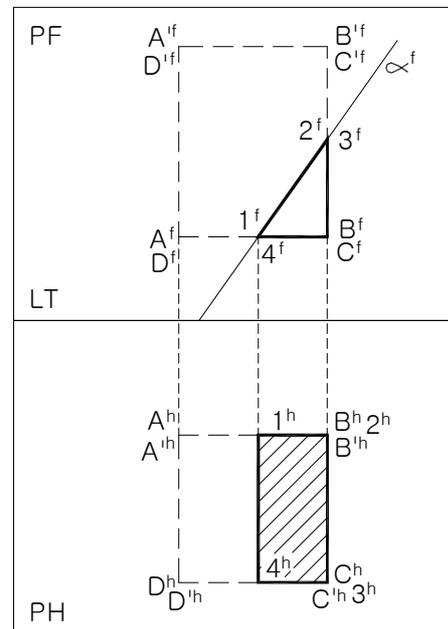
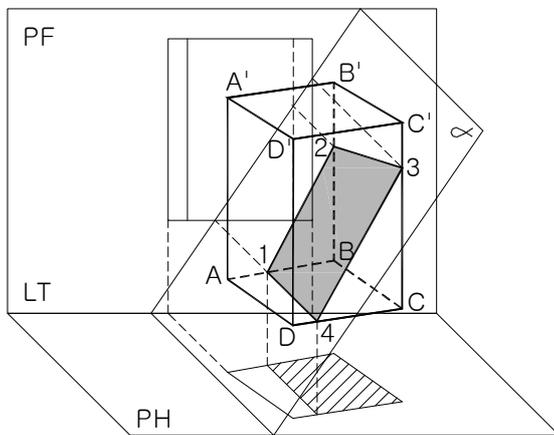
Un prisme coupé par un plan parallèle à la base donne deux prismes.

Un prisme dont tous les côtés latéraux sont coupés par un plan non parallèle à la base donne deux prismes tronqués.



Un prisme dont la base et certains côtés latéraux sont coupés par un plan oblique (par rapport à la base et aux côtés) donne deux volumes quelconques

Exemple d'un prisme parallèle au PF, coupé par un plan de bout Alpha.

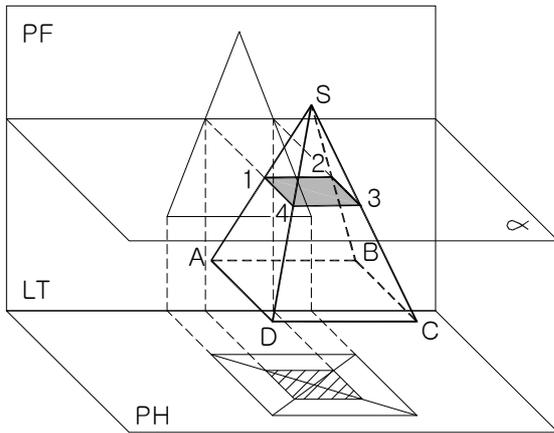


2b. Section plane dans une pyramide

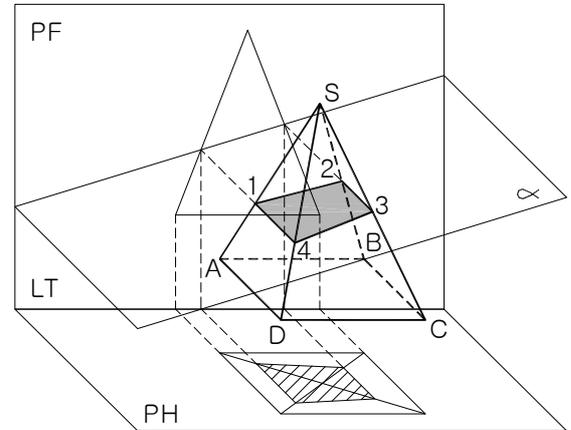
Une pyramide coupée par un plan parallèle à sa base donnera une petite pyramide (partie qui contient le sommet) et un tronc de pyramide (partie qui contient la base).

La section aura la même forme (carrée, hexagonale, ...) que la base.

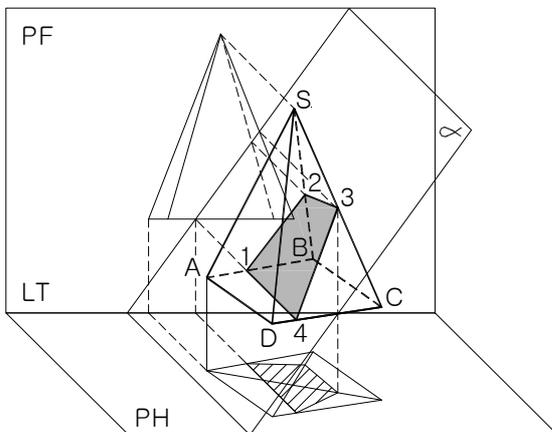
NB. : Une section plane parallèle à la base d'une pyramide a la particularité de donner une section qui garde les mêmes proportions que la base. Cela veut dire également que tous les points de section sont projetés à égale distance du centre de la pyramide.



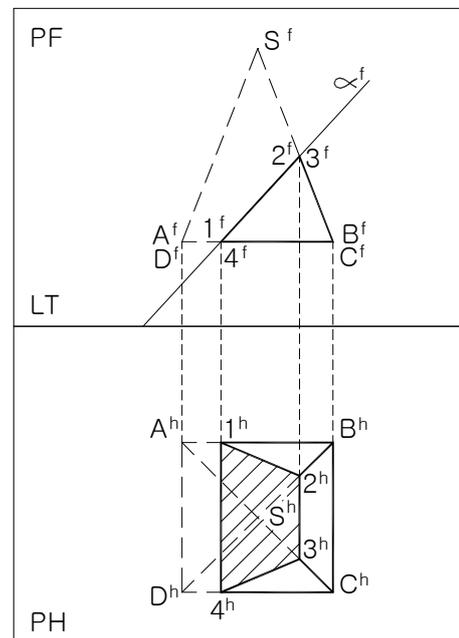
Une pyramide dont tous les côtés latéraux sont coupés par un plan non parallèle à la base donne deux volumes quelconques.



Une pyramide dont la base et certains côtés latéraux sont coupés par un plan oblique (par rapport à la base et aux côtés) donne deux volumes quelconques.



Exemple d'une pyramide parallèle au PF, coupée par un plan de bout Alpha.

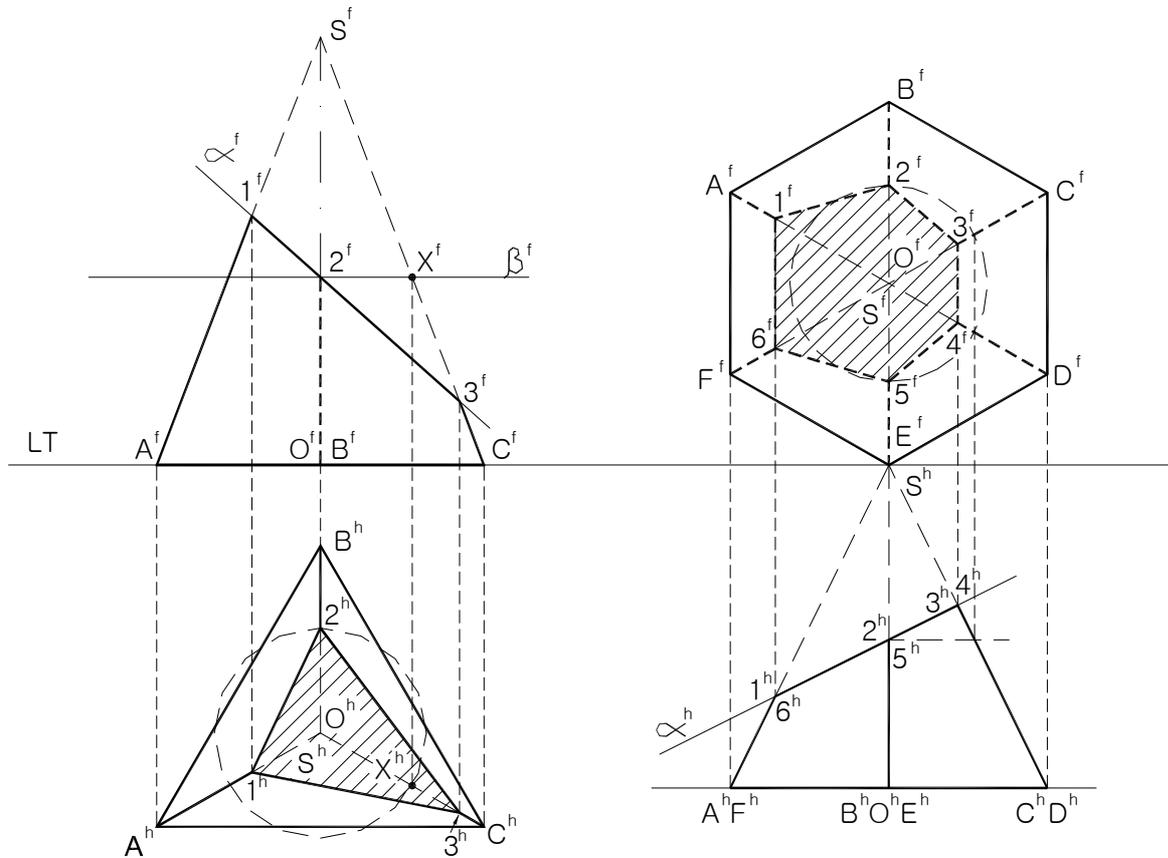


Cas où il existe une arête de profil :

Comment projeter un point de section sur un trait d'axe ; où arrêter la droite de rappel sur l'axe?

Il faut avoir de nouveau recours aux plans auxiliaires (plans de construction)

On part du principe qu'une pyramide, coupée par un plan parallèle à sa base, donne une section dont tous les points sont situés à égale distance du centre de sa base.



Dans l'exemple ci-dessus à gauche : la pyramide à base triangulaire ABCS est coupée par le plan Alpha mais l'arête BS étant de profil, on ne peut déterminer facilement la projection 2^h du point de percée 2 de ABS dans Alpha.

On trace alors un plan auxiliaire horizontal Bêta passant par l'intersection de Alpha et de l'axe du volume. On obtient le point de section 2^f sur l'arête BS.

Prendre un point de section entre le plan horizontal Bêta et une autre arête de la pyramide (ici, l'arête CS), on obtient un point de section X^f sur C^fS^f .

Descendre ce point de section X^f sur l'arête correspondante C^hS^h dans l'autre plan de projection pour obtenir le point X^h . Tracer alors un cercle dont le centre est O^h et le rayon est la distance $O^h X^h$.

L'intersection de ce cercle avec l'arête B^hS^h donne la projection 2^h recherchée.

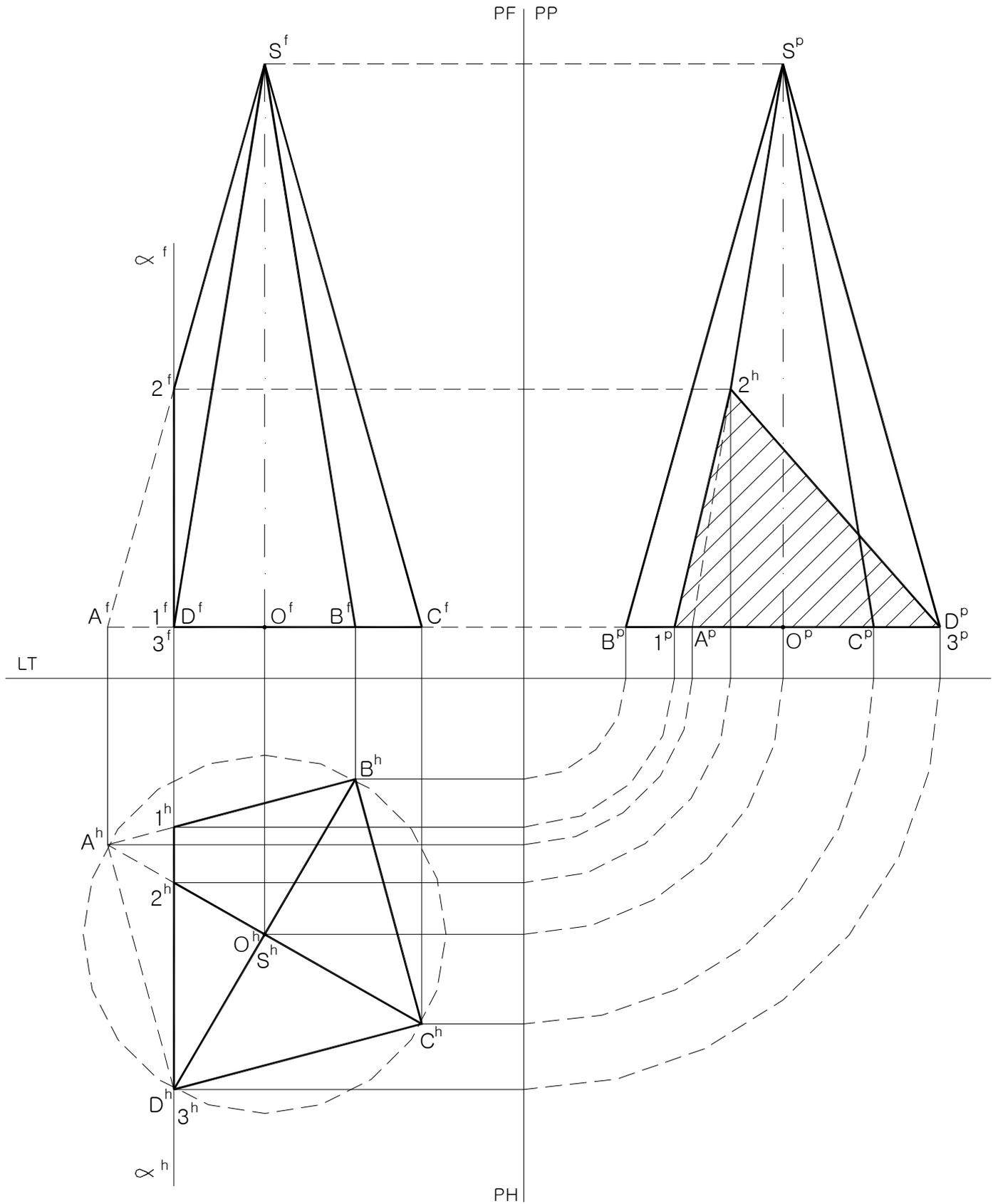
Dans l'exemple ci-dessus à droite : la pyramide à base hexagonale ABCDEFS est coupée par le plan Alpha mais les arêtes BS et ES sont de profil et on ne peut donc déterminer facilement les projections 2^f et 5^f .

Dans ce cas-ci, on trace un plan auxiliaire frontal coupant les arêtes CS et DS, ce qui permet de tracer le cercle $O^f 2^f 5^f$ et de trouver les projections 2^f et 5^f par intersection avec les arêtes BS et ES.

NB. : Ce système ne fonctionne que dans le cas de pyramides régulières.

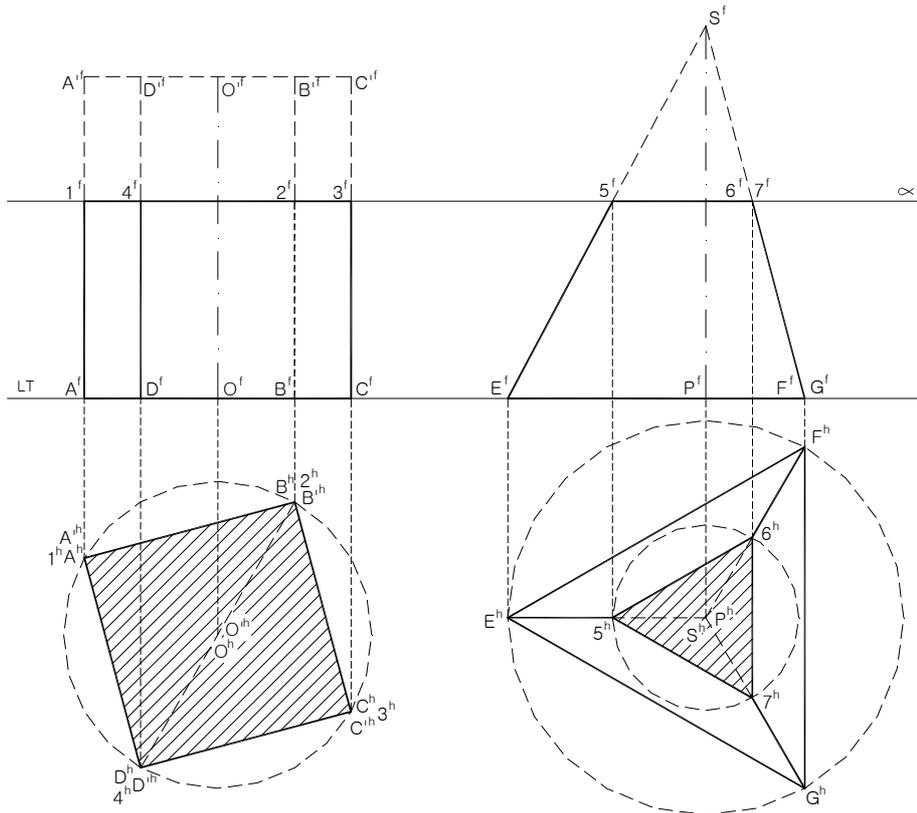
Cas de section par un plan de profil : section de la pyramide carrée ABCDS par le plan de profil Alpha.

Le principe général reste le même. La surface à hachurer se trouvera dans le plan de projection de profil (PP)

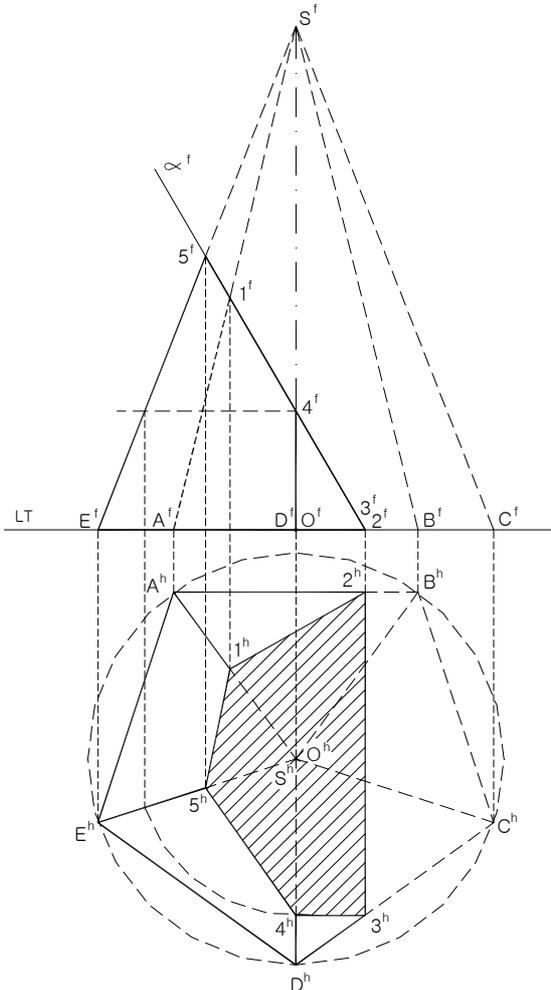


Quelques autres exemples :

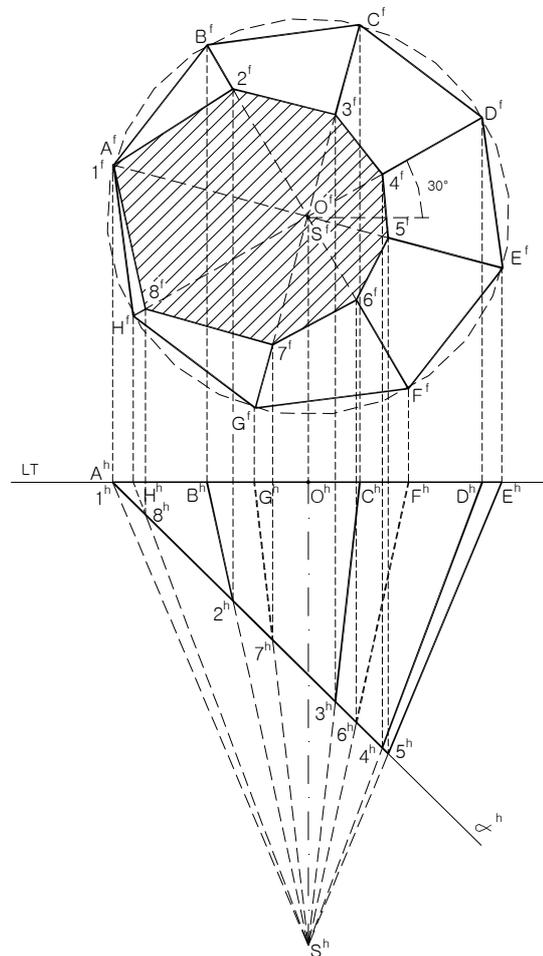
Section plane d'un prisme et d'une pyramide par un plan horizontal.



Section plane d'une pyramide par un plan de bout.



Section plane d'une pyramide par un plan vertical.



3. Les sections planes de corps ronds

Un corps rond a l'inconvénient d'être dépourvu d'arête. Il faudra donc user de plusieurs constructions pour arriver à trouver la section.

Les annotations de section sont toujours des chiffres (1, 2, 3, ...).

La section sera dessinée à l'aide des pistolets.

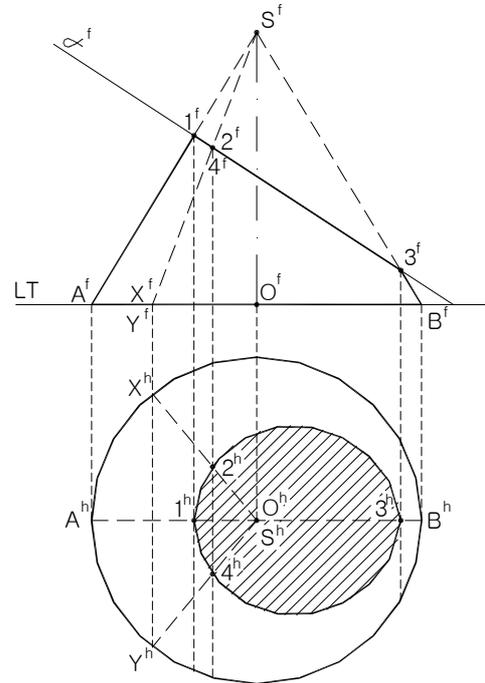
3a. Diverses constructions :

1) Méthode des génératrices

Cette méthode consiste à tracer des génératrices* sur le pourtour du volume (celles-ci sont des sortes d'« arêtes fictives », comme les arêtes d'une pyramide).

Sachant qu'un point situé sur une droite dans un plan de projection, se situe verticalement sur la droite correspondante dans l'autre plan de projection, il est facile de trouver les points sur les génératrices.

Dans l'exemple de la section du cône par le plan Alpha ci-contre, on trace les génératrices $X^f S^f$ et $Y^f S^f$ dans le PF et on trouve les points 2^f et 4^f de la section. On reporte ensuite ces génératrices dans le PH pour situer les points 2^h et 4^h .



* Une génératrice est une droite de construction.

Celle-ci va du sommet à la base du volume en passant par le point de section à trouver.

2) Méthode des plans auxiliaires

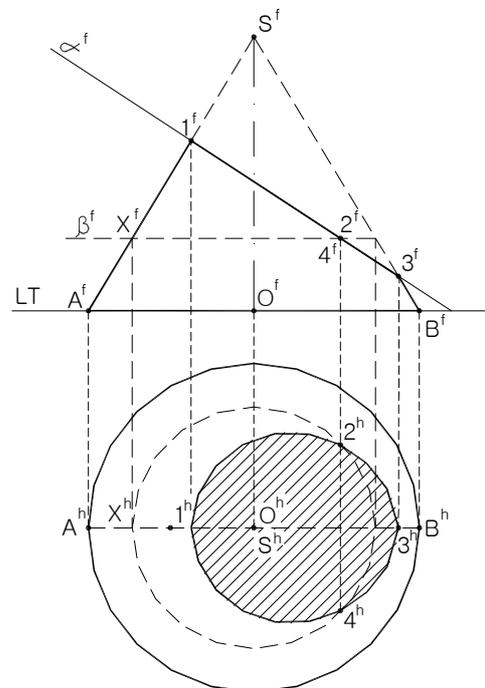
Cette méthode consiste à créer des plans auxiliaires* parallèlement à la base du volume. Ceux-ci forment des sortes de tranches de volume dont on dessine les traces en construction.

Sachant qu'un point situé sur une trace dans un plan de projection, se situe verticalement sur la trace correspondante dans l'autre plan de projection, il est facile de trouver les points.

Dans l'exemple de la section du cône par le plan Alpha ci-contre, on coupe le volume avec le plan auxiliaire horizontal Bêta à la hauteur des points 2^f et 4^f .

On projette les points X^f et Y^f dans le PH pour trouver la trace circulaire de Bêta dans le PH (cercle de centre O^h et de rayon $O^h X^h$).

L'intersection de cette trace circulaire avec la ligne de rappel de 2^f et 4^f permet de trouver 2^h et 4^h , points de la section.

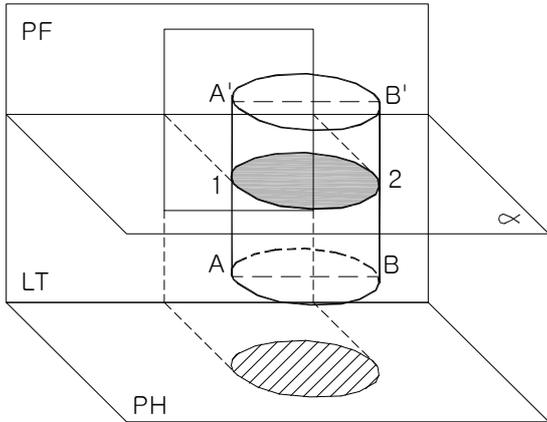


* Un plan auxiliaire est un plan de construction qui doit être projetant.

3b. Section plane dans un cylindre

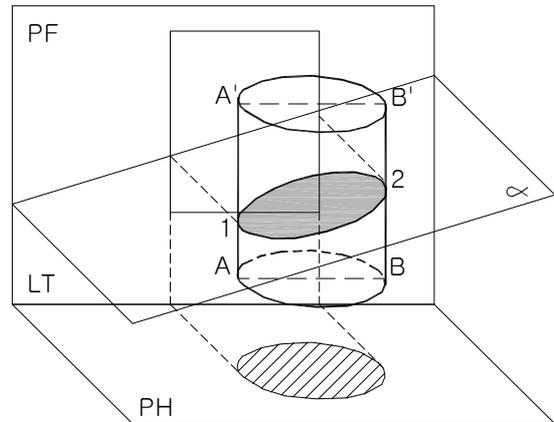
1) Section circulaire

Un cylindre coupé par un plan parallèle à sa base donnera deux cylindres. Sa section sera un cercle de la même grandeur que la base.



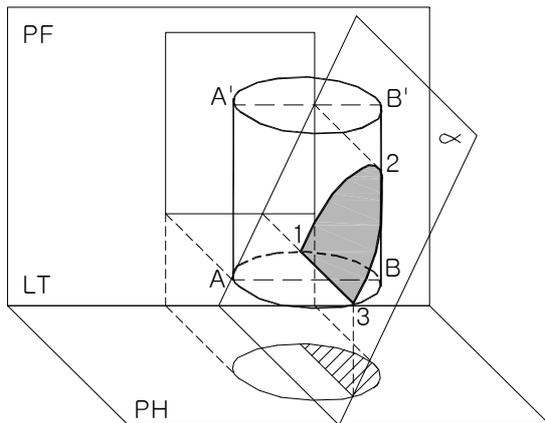
2) Section elliptique

Un cylindre coupé de part en part par un plan non - parallèle à sa base donnera deux cylindres tronqués. Sa section sera une ellipse.



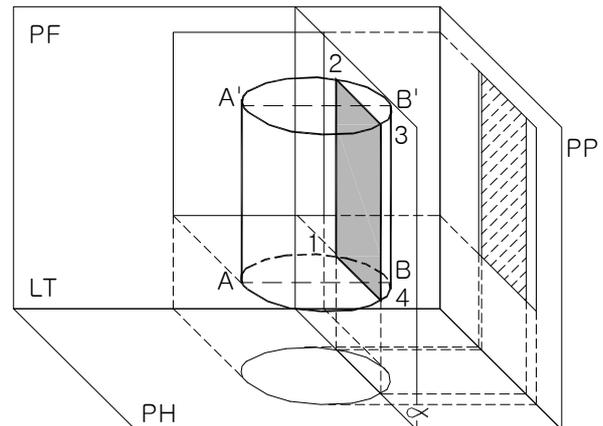
3) Section parabolique

Un cylindre coupé par un plan non-parallèle à sa base donnera deux volumes quelconques. Sa section sera une parabole.



4) Section droite

Un cylindre coupé par un plan perpendiculaire à la base et au sommet donnera une coupe droite du cylindre. La section sera une surface rectangulaire.



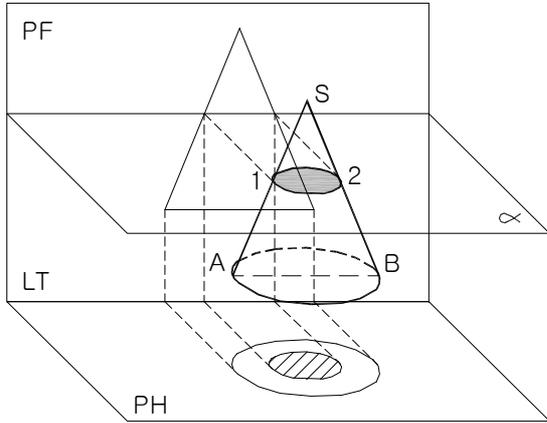
Si le plan sécant est de profil, il faut ajouter la projection de profil (sur le PP) pour avoir la section hachurée.

3c. Section plane dans un cône

1) Section circulaire

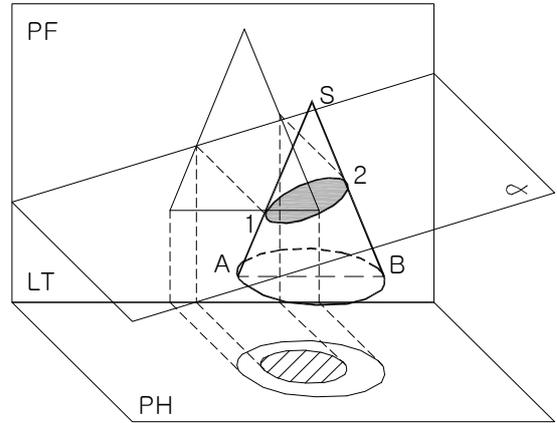
Un cône coupé par un plan parallèle à sa base donnera un plus petit cône (partie qui contient le sommet) et un tronc de cône (partie qui contient la base).
Sa section sera un cercle.

NB. : Une section plane parallèle à la base d'un cône a la particularité de donner une section qui garde les mêmes proportions que la base. Cela veut dire également que tous les points de section sont projetés à égale distance du centre du cône.



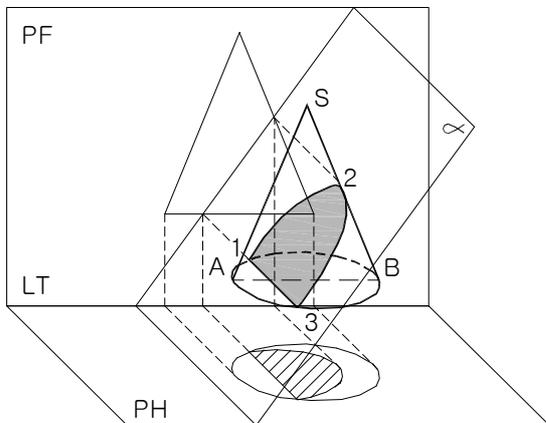
2) Section elliptique

Un cône coupé de part en part par un plan non - parallèle à sa base sera une coupe elliptique de cône. Sa section sera une ellipse.



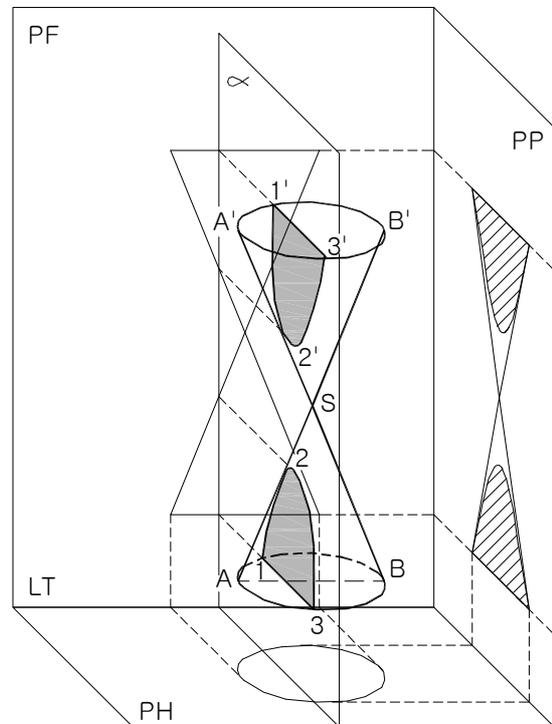
3) Section parabolique

Un cône dont la base est coupée par un plan non perpendiculaire à celle-ci donnera une coupe parabolique de cône (sa section sera une parabole).



4) Section hyperbolique

Deux cônes inversés (de sommet commun et dans le même axe), coupés par un plan perpendiculaire ou non aux bases donneront une coupe hyperbolique. Leur section sera une hyperbole.



Si le plan sécant est de profil, Il faut ajouter la projection de profil (sur le PP) pour avoir la section hachurée.

IV. Les vraies grandeurs

Pour faire le développement d'un volume tronqué, il faut rechercher toutes les vraies grandeurs des différentes faces de ce volume. Les éléments à rechercher en vraies grandeurs sont des droites ou des surfaces.

En projection parallèle, tout élément parallèle à un plan de projection est en vraie grandeur. Les éléments non parallèles à un des plans de projections ont une représentation biaisée par rapport à la réalité de leurs dimensions.

Un rabattement ou une rotation va permettre de faire pivoter les éléments, non parallèles au plan de projection, pour qu'ils deviennent parallèles à un plan de projection. On pourra alors mesurer les vraies grandeurs des éléments.

1. Vraies grandeurs par rabattement

Un rabattement simple consiste à rabattre un plan projetant sur son plan de projection : les plans verticaux seront rabattus sur le PH et les plans de bout seront rabattus sur le PF. Les plans de profil seront rabattus sur l'un ou sur l'autre, au choix.

Les plans sont rabattus autour de leur « trace » de projection. Celle-ci est appelée « charnière » (Ch). Une charnière étant une droite, elle doit être annotée dans les deux plans de projection. Les points situés sur la charnière pivotent sur eux-mêmes.

Le sens du rabattement est indiqué par une flèche perpendiculaire à la charnière. Il est au choix suivant la place disponible sur l'épure.

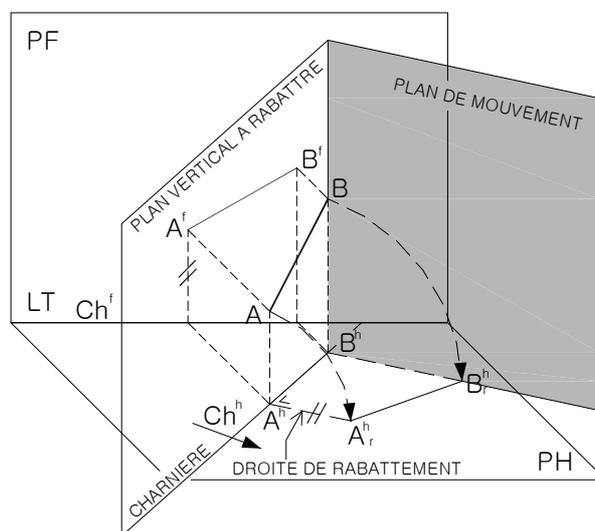
En pratique, chaque point à rabattre décrit un arc de cercle autour de la charnière dans un plan appelé « plan de mouvement ».

Une droite de rabattement est une droite perpendiculaire à la charnière (sur l'épure)

Dans ces deux exemples, les points A et B font une rotation dans le plan de mouvement autour de la charnière.

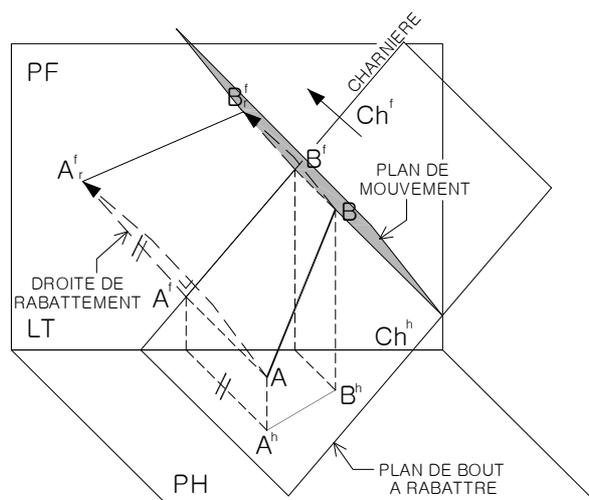
Si les éléments à rabattre sont situés sur un **plan vertical** à rabattre sur le PH :

Le résultat, sur l'épure, fait que **la hauteur** de chaque point devient la valeur des « droites de rabattement » de ces points.



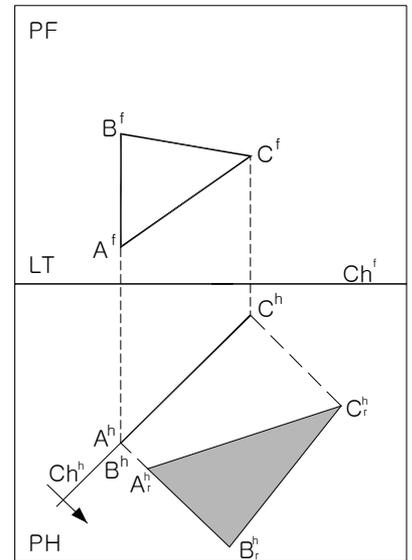
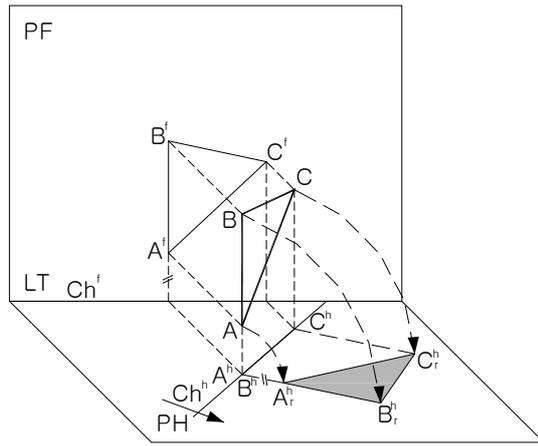
Si les éléments à rabattre sont situés sur un **plan de bout** à rabattre sur le PF :

Le résultat, sur l'épure, fait que **l'éloignement** de chaque point devient la valeur des « droites de rabattement » de ces points.

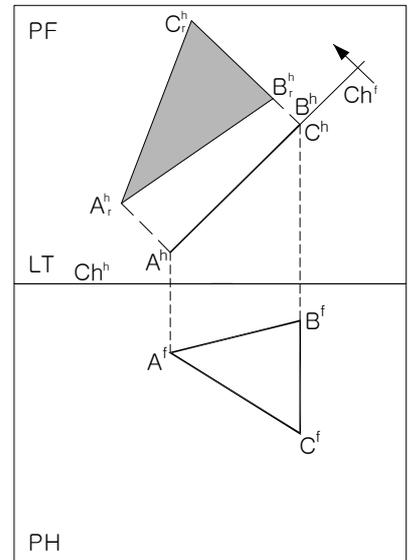
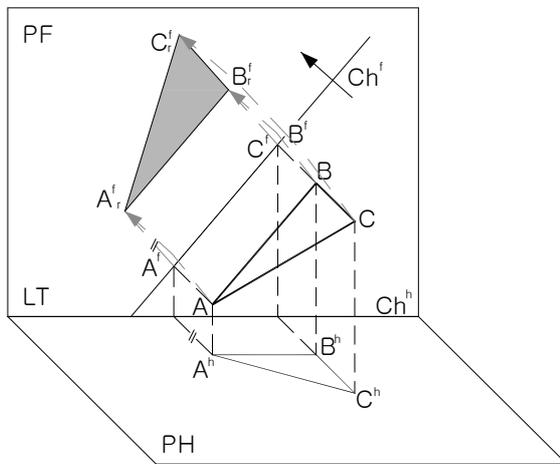


NB. : Il existe des rabattements plus complexes : dans le cas d'un élément quelconque, il faudra faire deux rabattements successifs pour en trouver la vraie grandeur.

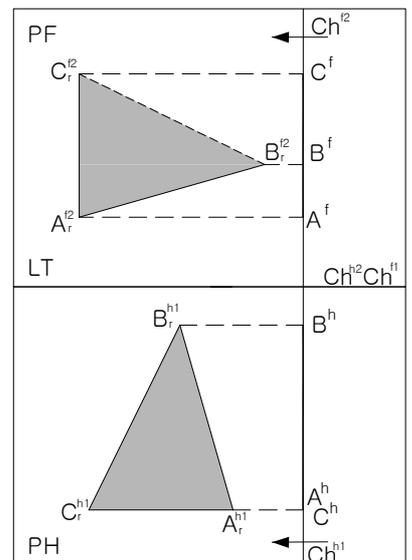
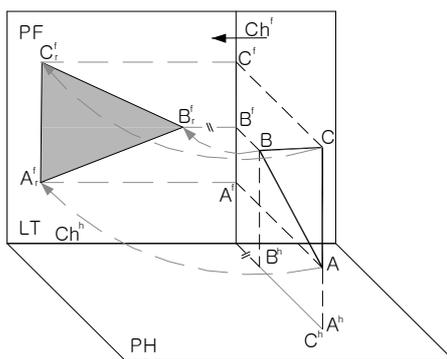
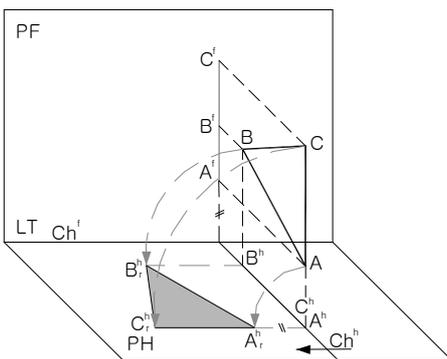
Rabattement sur le PH d'une surface ABC (située dans un plan vertical):



Rabattement sur le PF d'une surface ABC (située dans un plan de bout):



Rabattement sur le PH ou sur le PF d'une surface ABC (située dans un plan de profil):

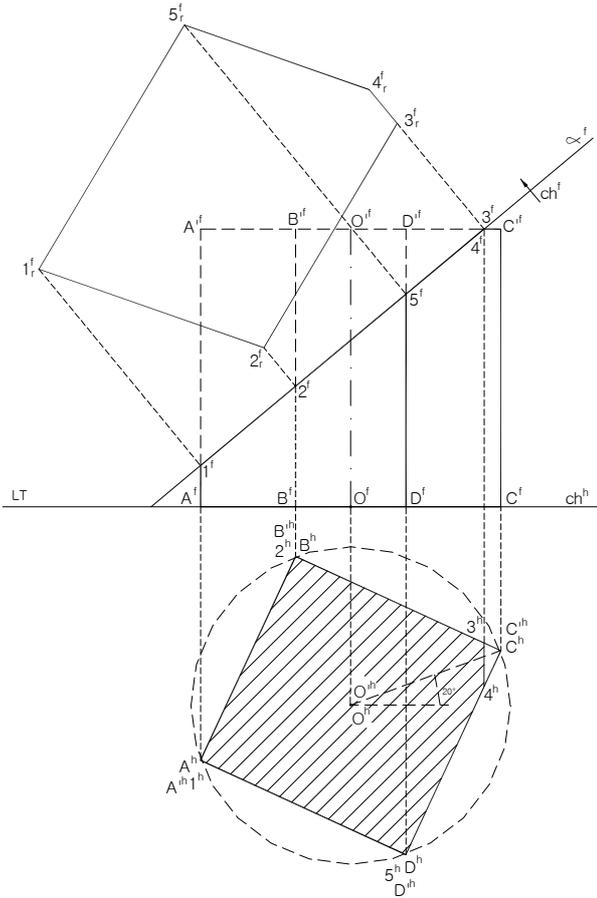


Que l'on choisisse de rabattre une surface de profil sur le PH ou sur le PF, le résultat des vraies grandeurs est identique comme on peut le voir ci-contre.

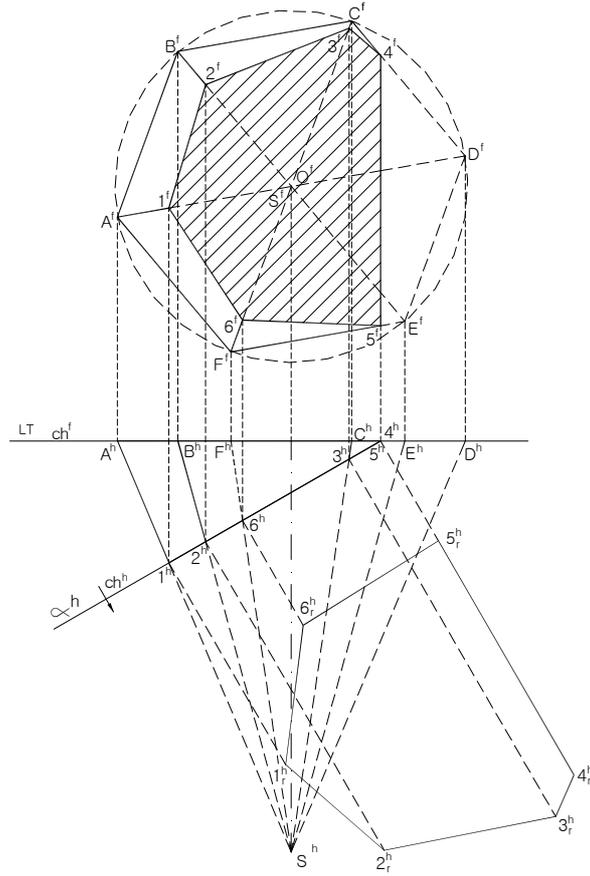
Le rabattement sur le PH = n°1
Le rabattement sur le PF = n°2

Quelques exemples de rabattements :

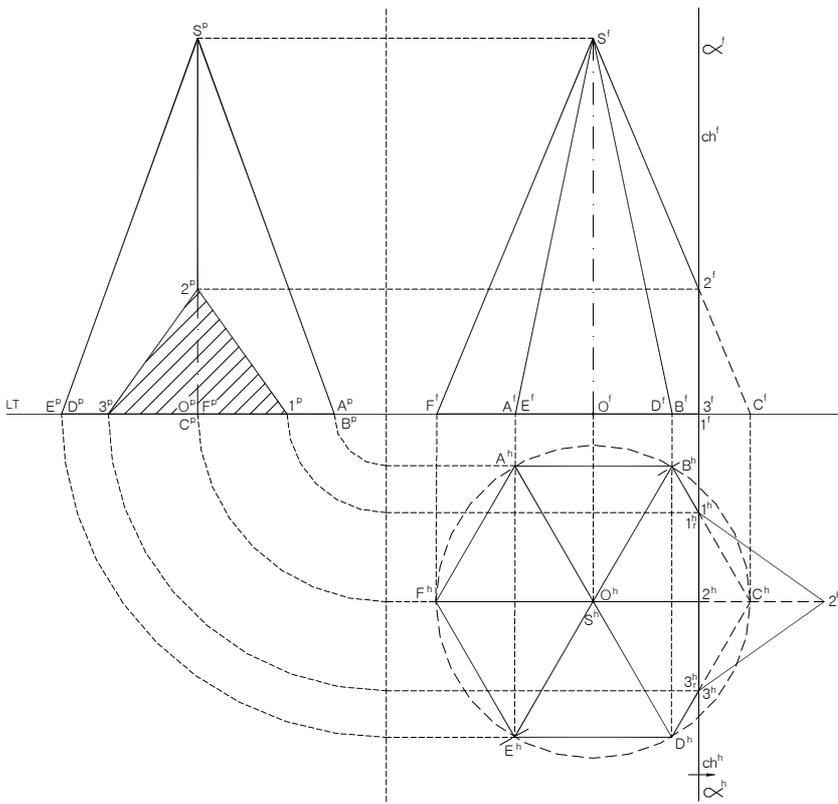
Section d'un prisme par un plan de bout, rabattue sur le PF.



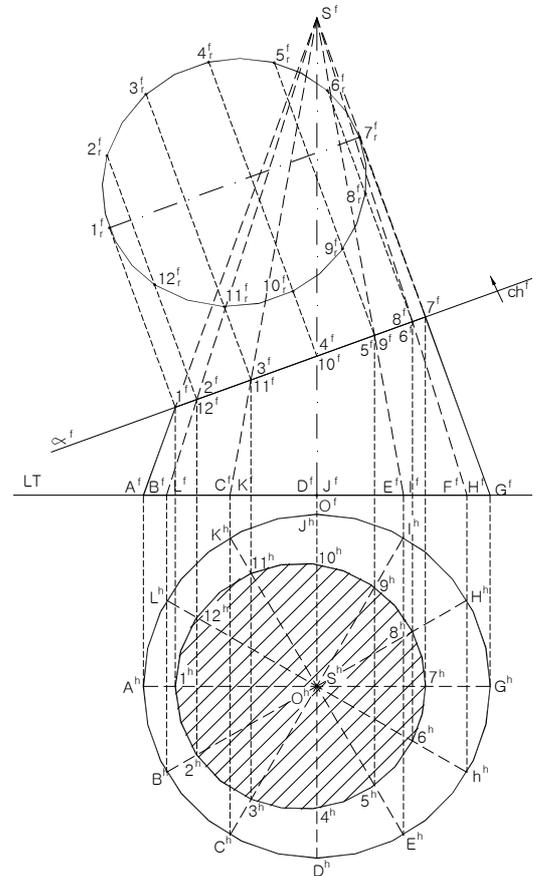
Section d'une pyramide par un plan vertical, rabattue sur le PH.



Section d'une pyramide par un plan de profil, rabattue sur le PF.



Section elliptique d'un cône par un plan de bout, rabattue sur le PF.



1a. Méthode du triangle rectangle

Pour rappel, tout élément non parallèle à un plan de projection est faussé au niveau de ses dimensions.

Si l'on a une pyramide, les arêtes qui vont vers le sommet sont, en général, faussées dans les projections au niveau de leurs dimensions réelles.

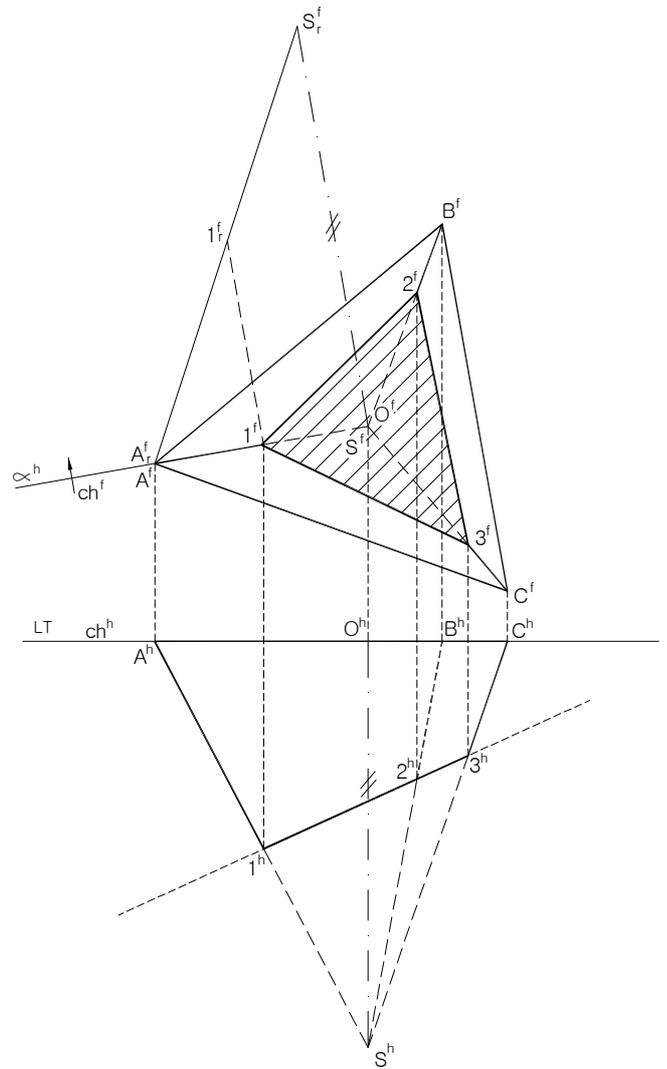
La méthode du triangle rectangle revient à faire un rabattement de chaque arête latérale de la pyramide pour trouver les vraies grandeurs de ces arêtes.

Par exemple, prenons une pyramide à base triangulaire ABCS : concrètement, on fait passer un plan qui doit inclure l'arête latérale à rechercher (AS) et être perpendiculaire à la base de la pyramide. Ici, le plan de bout Alpha comprend la surface AOS.

On fait pivoter ce plan autour d'une charnière (AO) afin de rabattre l'arête AS sur le plan de projection PF.

On obtient alors la vraie grandeur $A_r^f S_r^f$ de l'arête AS.

Si la pyramide est coupée un plan de bout avec une section 123, on rabat le point 1_r^f et on obtient la vraie grandeur $A_r^f 1_r^f$ et $1_r^f S_r^f$ des arêtes A1 et 1S.



2. Vraies grandeurs par rotation

Une rotation simple consiste à faire tourner un plan projetant pour l'amener à être parallèle à un plan de projection. Ainsi, les plans verticaux pivoteront autour d'une droite verticale, sur le PF et les plans de bout pivoteront autour d'une droite de bout, sur le PH. Les plans de profil pivoteront sur l'un ou sur l'autre, au choix.

Les plans font une rotation autour d'une droite projetante appartenant au même plan. Celle-ci est appelée « droite de rotation ». Une droite de rotation est annotée comme une droite simple (en général, on utilise la lettre r). Le sens de rotation est indiqué par une flèche arrondie, autour de la droite de rotation. Il est au choix suivant la place disponible sur l'épure.

En pratique, chaque point qui subit une rotation décrit un arc de cercle autour de la droite de rotation dans un plan appelé « plan de mouvement ». Le plan de mouvement, lors d'une rotation, est toujours un des plans de projection :

Un plan de bout est perpendiculaire au PF (projetant au PF), le plan de mouvement sera donc le PF.

Un plan vertical est perpendiculaire au PH (projetant au PH), le plan de mouvement sera donc le PH.

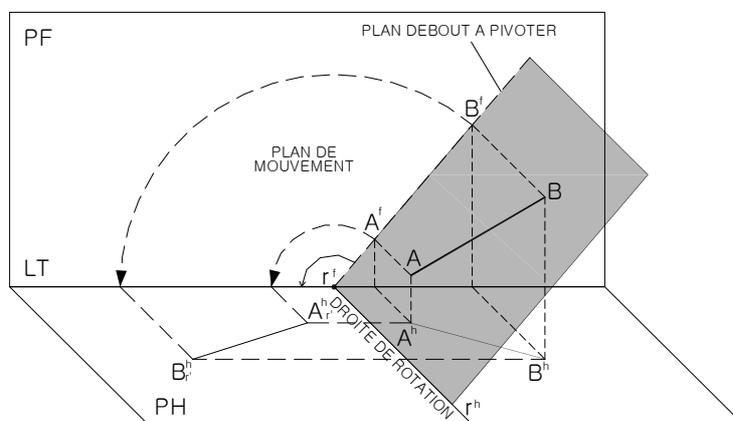
Un plan de profil est perpendiculaire au PH et au PF, on peut donc choisir le plan de mouvement.

C'est sur le plan de mouvement qu'on dessine les arcs de rotation.

Dans les deux exemples ci-dessous, les points A et B font une rotation dans le plan de mouvement autour de la droite de rotation :

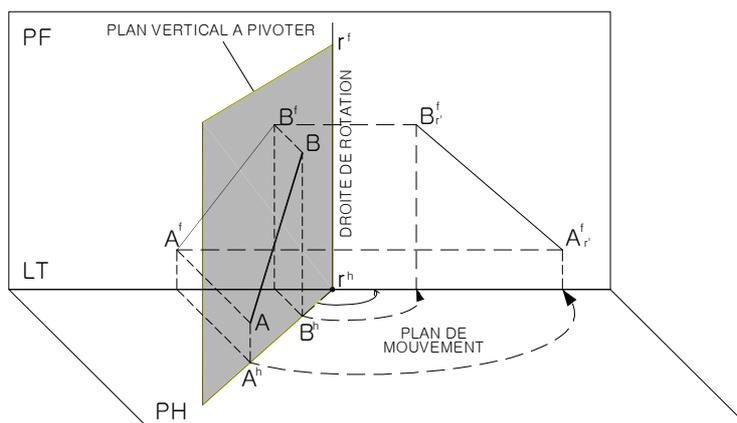
Si les éléments à pivoter sont situés sur un **plan de bout** qui tourne sur le PH :

Le résultat, sur l'épure, fait que les arcs de cercles se trouveront sur le PF. On trouvera le résultat sur le PH au même éloignement. Le plan de mouvement est le PF.



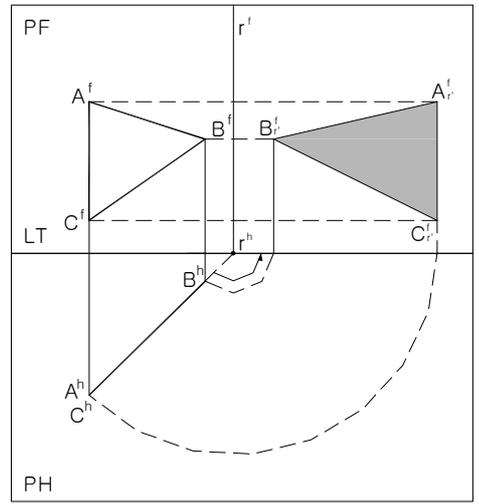
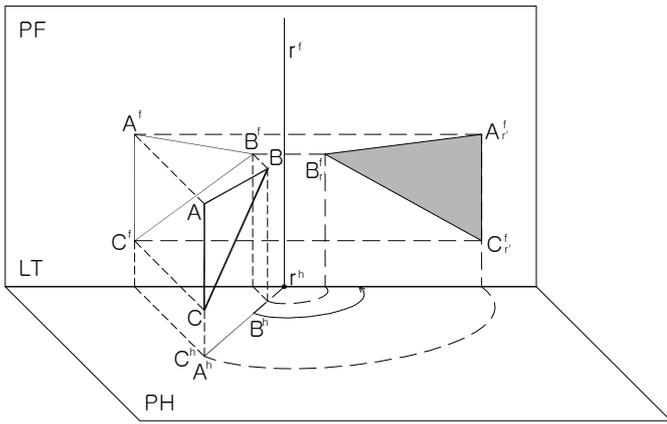
Si les éléments à pivoter sont situés sur un **plan vertical** qui tourne sur le PF :

Le résultat, sur l'épure, fait que les arcs de cercles se trouveront sur le PH. On trouvera le résultat sur le PF, à la même hauteur. Le plan de mouvement est le PH.

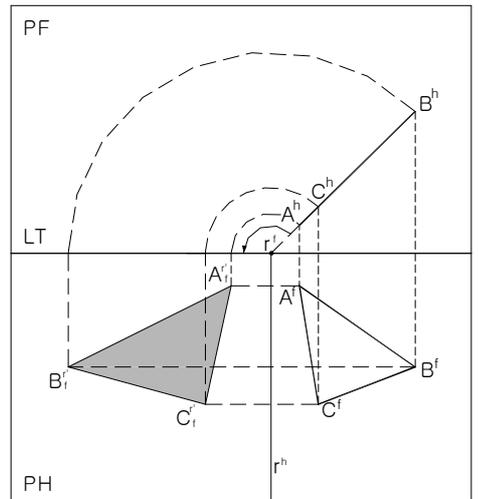
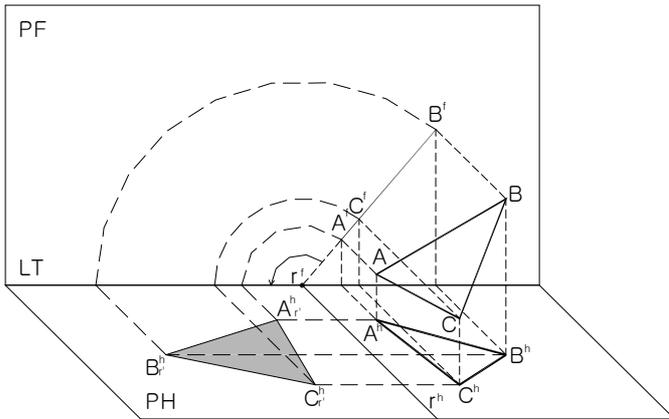


*
**

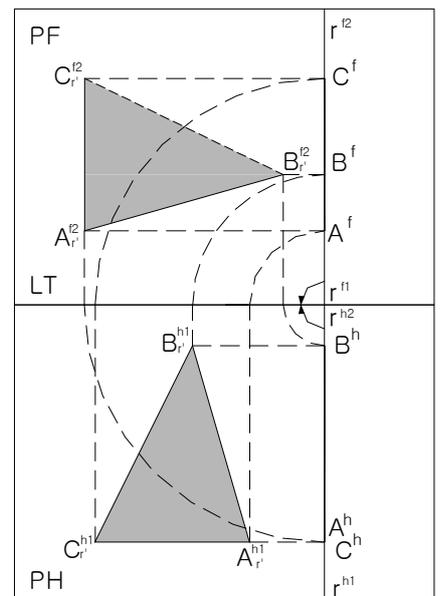
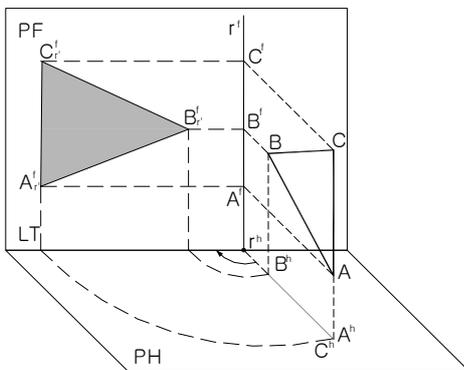
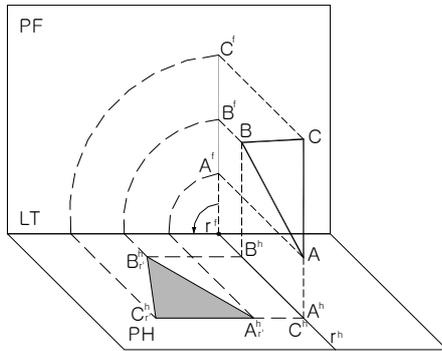
Rotation sur le PF d'une surface ABC (située dans un plan vertical):



Rotation sur le PH d'une surface ABC (située dans un plan de bout):



Rotation sur le PH ou sur le PF d'une surface ABC (située dans un plan de profil):



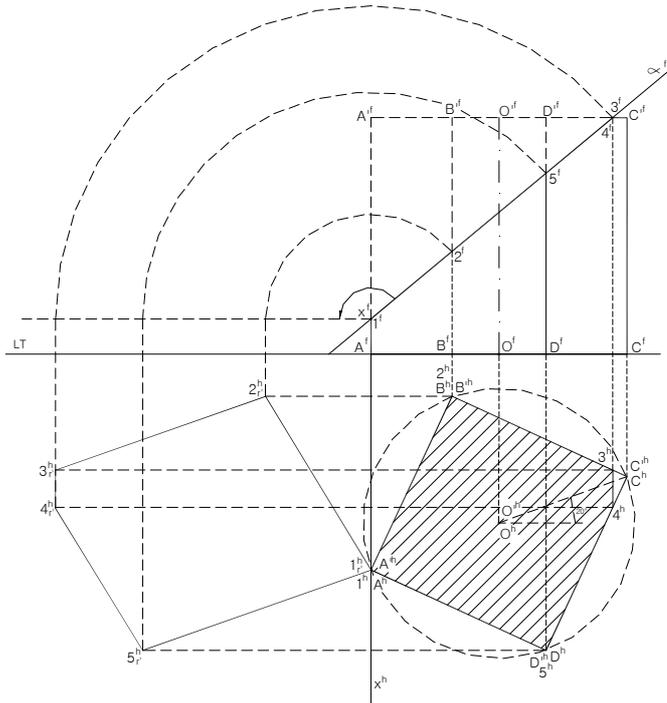
Le rabattement sur le PH = n°1
Le rabattement sur le PF = n°2

Que l'on choisisse de rabattre une surface de profil sur le PH ou sur le PF, le résultat des vraies grandeurs est identique comme on peut le voir

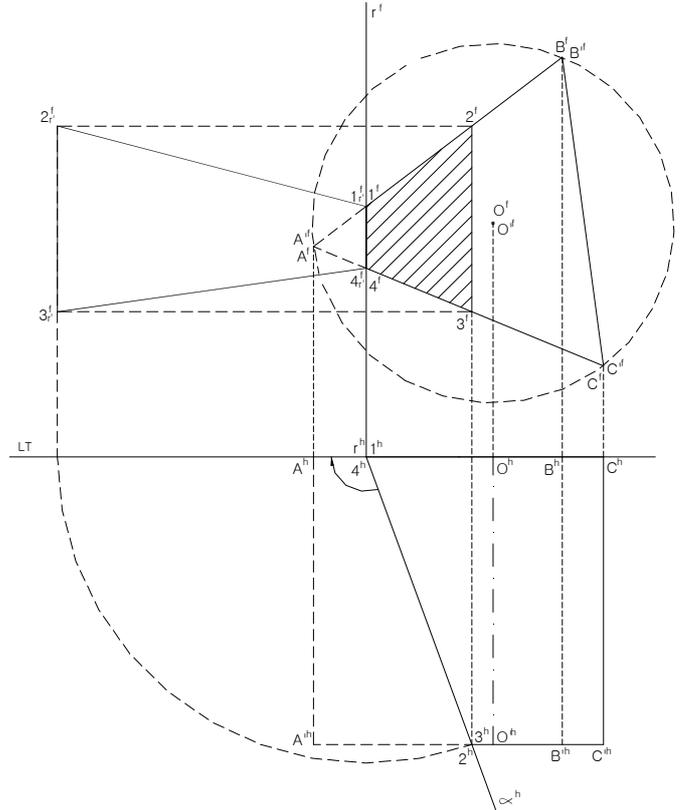
ci-contre.

Exemples de rotation :

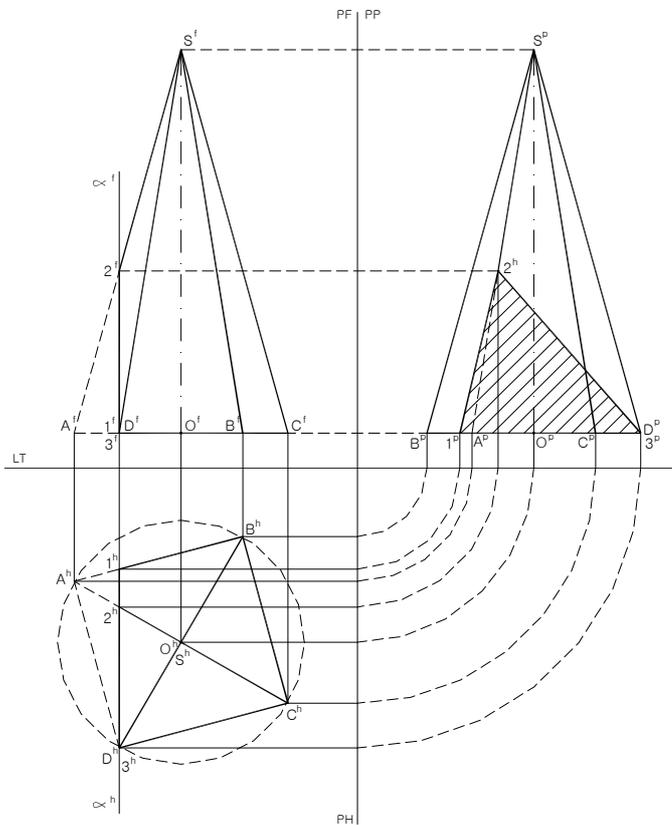
Section d'un prisme par un plan de bout, rotation sur le PH



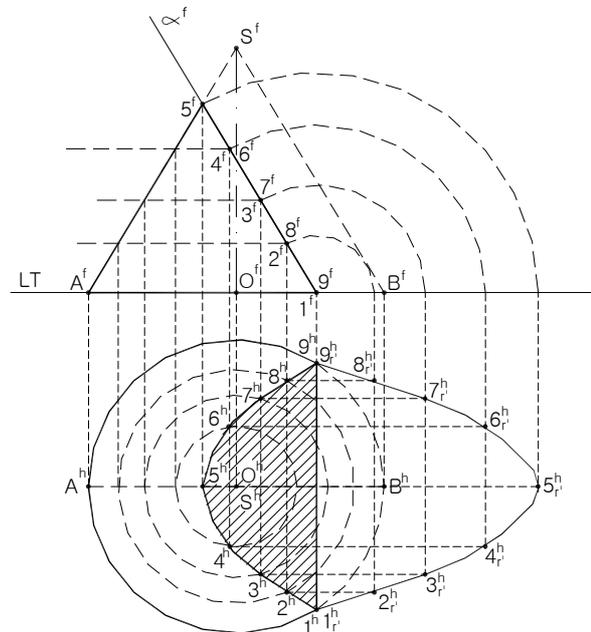
Section d'un prisme par un plan vertical, rotation sur le PF



Section plane de profil d'une pyramide*



Section parabolique d'un cône par un plan de bout, rotation sur le PH



*Une projection sur le plan de profil subit, lui aussi, une rotation pour se retrouver dans le même plan que le PF.

3. Développement de volume tronqué

La recherche des vraies grandeurs permet de construire le développement d'un volume tronqué. Pour commencer, il faut faire le développement du volume entier. Pour plus de facilité, il faut prendre soin de bien annoter le volume comme l'épure.

Pour obtenir le développement du volume tronqué, il suffit ensuite de reporter tous les points de section sur le développement du volume entier, c'est pourquoi, il est primordial de bien annoter l'épure au départ !

Il ne faut pas oublier de reporter la vraie grandeur de la section en mesurant les angles et les distances à partir d'une arête déjà reportée auparavant dans le développement**.

Tout l'art est de savoir où prendre les mesures : dans le PF ou dans le PH ?

Il faut essayer d'imaginer le volume en réalité et bien recouper toutes les informations d'un plan à l'autre.

Une astuce qu'il faut savoir :

Si vous avez 2 valeurs différentes pour un même segment, la vraie grandeur sera toujours la plus grande des deux*.

Les distances entre les **points de sections** doivent toujours être prises sur la **section en vraie grandeur**.

Dans cet exemple :

On a la section d'un prisme rectangulaire à base carrée ABCD par un plan de bout Alpha que l'on rabat sur le PF.

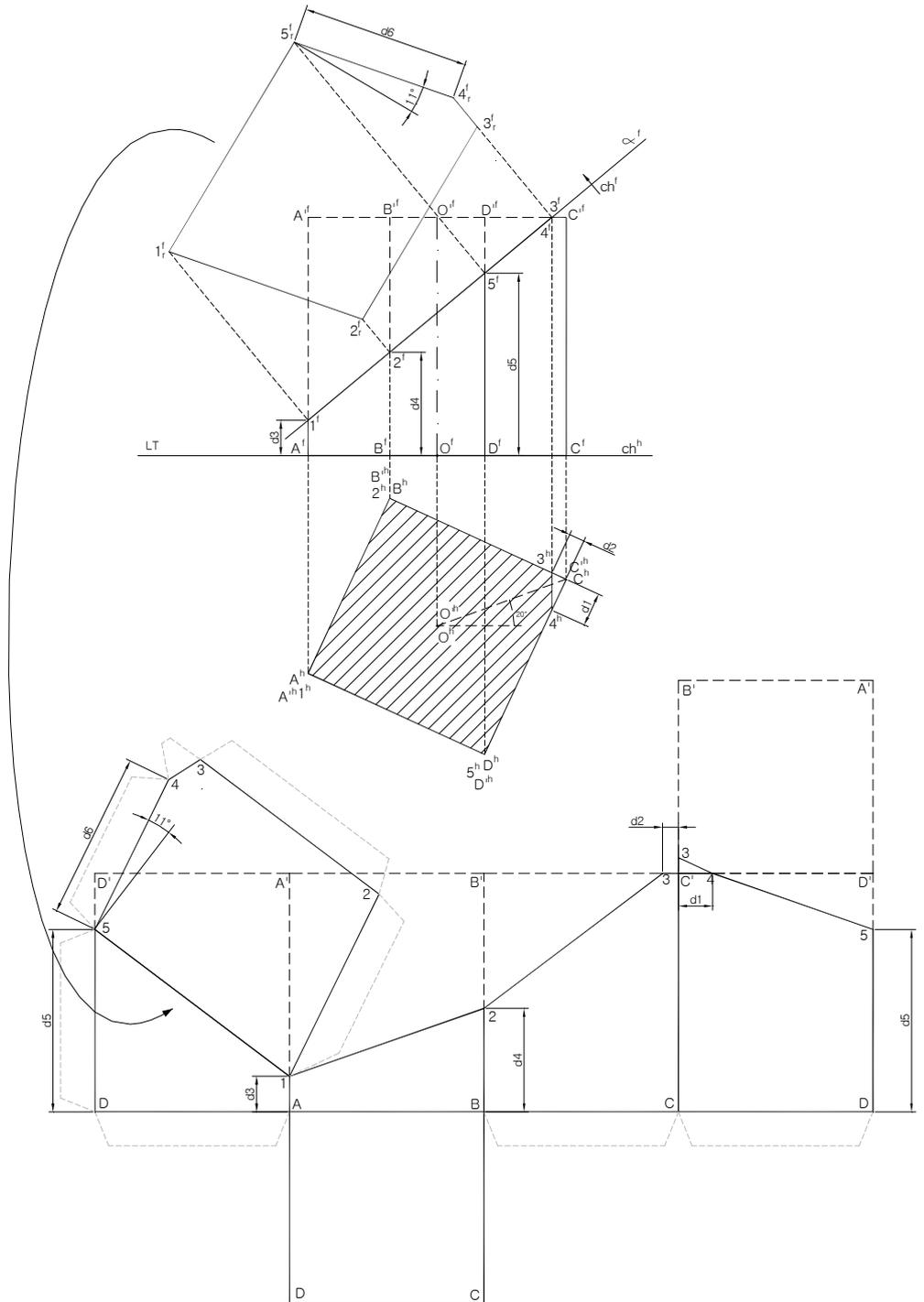
* La distance A^hB^h est plus grande que la distance A^fB^f . La vraie grandeur du segment AB se trouve dans le PH, dans le PF elle est projetée « de biais » et apparaît donc raccourcie.

Le développement du volume tronqué ci-contre est construit en reportant respectivement les distances d_1 , d_2 (mesurées en vraies grandeurs dans le PH) et d_3 à d_5 (mesurées en vraies grandeurs dans le PF) sur le développement du volume entier.

La section en vraies grandeurs dans le PF est reproduite sur le développement en reportant les angles et les longueurs des segments mesurés dans le PF.

**La surface en vraies grandeurs est attachée au reste par le segment de droite 5-1.

Si on veut coller le volume tronqué, il faut prévoir des pattes de collage.



4. Le relèvement

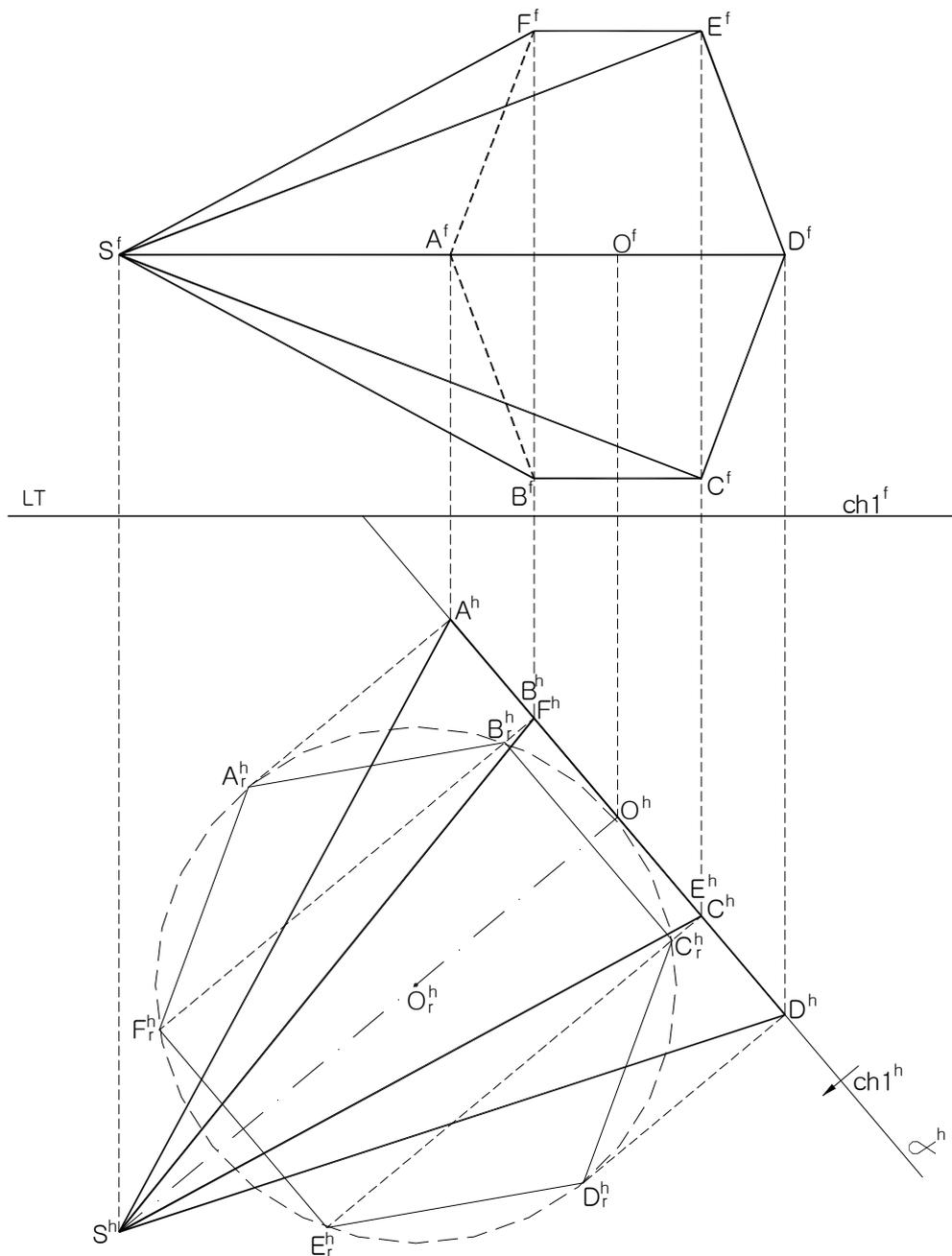
Le relèvement est un rabattement (ou une rotation) à l'envers. On part de la vraie grandeur pour trouver les projections.

Exemple 1 : Une pyramide dont la base hexagonale ABCDEF se situe sur un plan vertical. On donne :

- Le plan vertical Alpha
- Le point O
- Le rayon de la base de la pyramide
- Le nombre de côtés (6) et l'orientation de ceux-ci (deux côtés parallèles au PH)
- La hauteur de la pyramide.

On commence par dessiner la vraie grandeur de la base rabattue dans le PH : $A^h, B^h, C^h, D^h, E^h, F^h$, côtés B^h, C^h et E^h, F^h parallèles à $ch1^h$. La distance O^h, O^r est égale à la hauteur du point O. L'arête B^h, C^h est parallèle à la charnière, donc le segment B^f, C^f est parallèle à la ligne de terre dans le PF.

On relève ensuite cette base dans le PF pour trouver les projections $A^f, B^f, C^f, D^f, E^f, F^f$. Avec la hauteur de la pyramide (en vraie grandeur dans le PH), on trouve S^h et donc enfin S^f .



Exemple 2 : Une pyramide dont la base hexagonale se situe sur un plan vertical Alpha, et coupée par le plan Bêta. On donne :

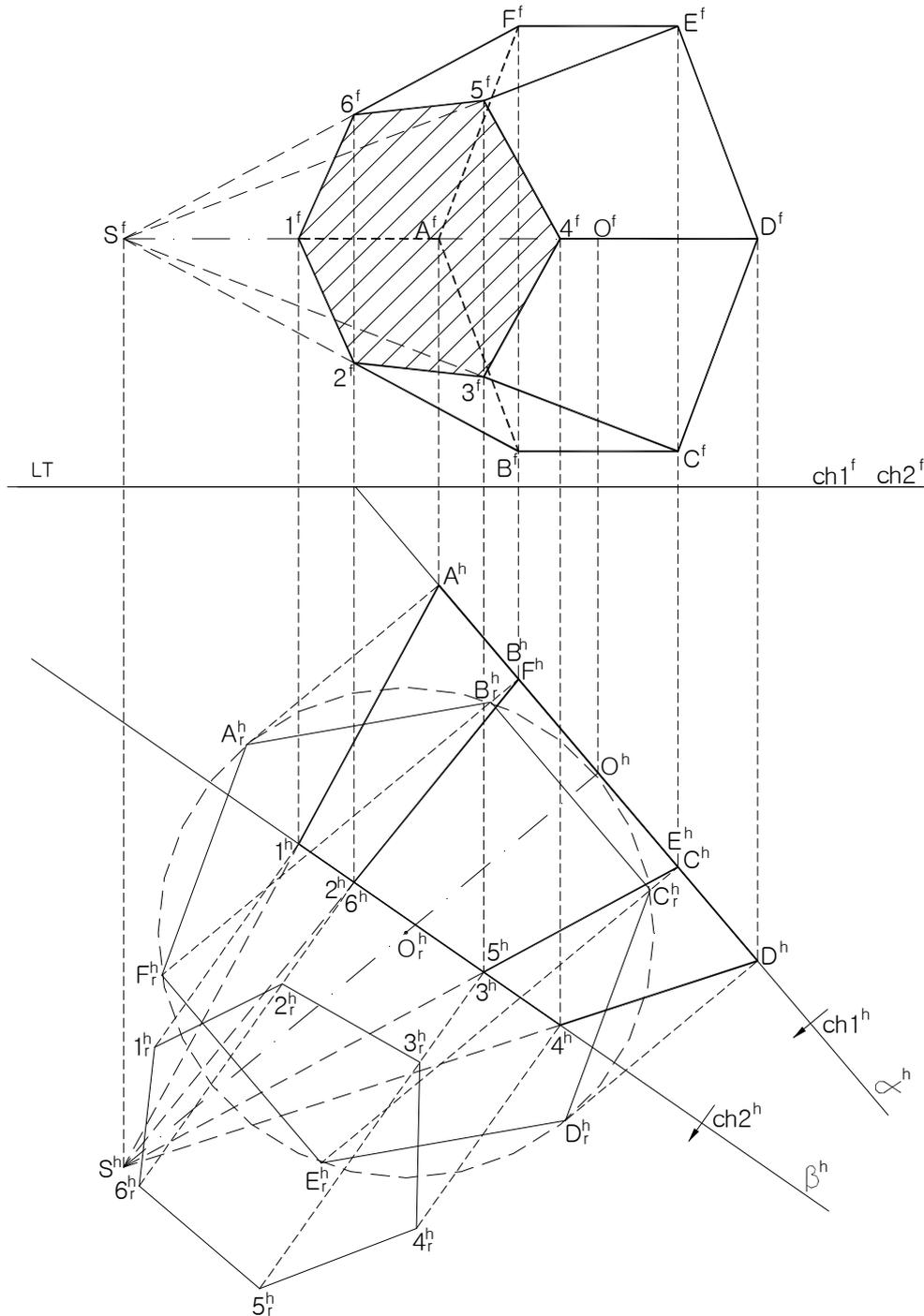
- Le plan Alpha et le plan Bêta
- Le point O
- Le rayon de la base de la pyramide
- Le nombre de côtés et l'orientation de ceux-ci (deux côtés parallèles au PH)
- La hauteur de la pyramide.

On part de la même manière que pour l'exemple 1 pour trouver les projections de la base dans le PH $A^h B^h C^h D^h E^h F^h$ et dans le PF $A^f B^f C^f D^f E^f F^f$, par relèvement autour de $ch1$.

On place ensuite le plan Bêta et on situe les points de sections $1^h 2^h 3^h 4^h 5^h 6^h$ sur le PH.

En traçant les lignes de rappel, on trouve ceux-ci sur le PF $1^f 2^f 3^f 4^f 5^f 6^f$.

Pour trouver la vraie grandeur $1^h_r 2^h_r 3^h_r 4^h_r 5^h_r 6^h_r$ de la section, on fait un rabattement simple de la section autour de $ch2$.



On peut aussi faire un relèvement par rabattement suivi d'une rotation de la section, par exemple.

V. Les interpénétrations

Une interpénétration est une union entre deux volumes (prisme, pyramide, cylindre, cône ou sphère). La position de ces volumes va faciliter ou pas la représentation de ceux-ci.

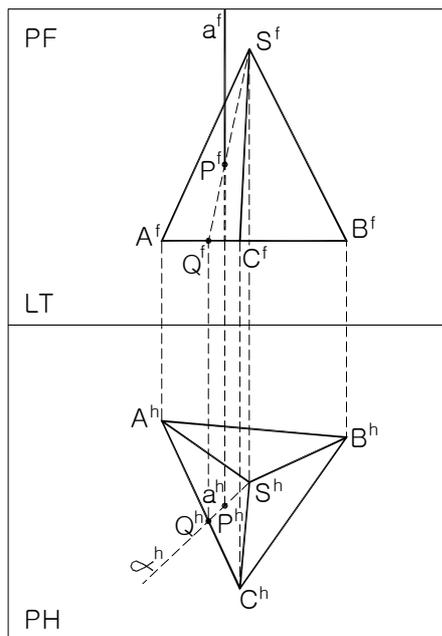
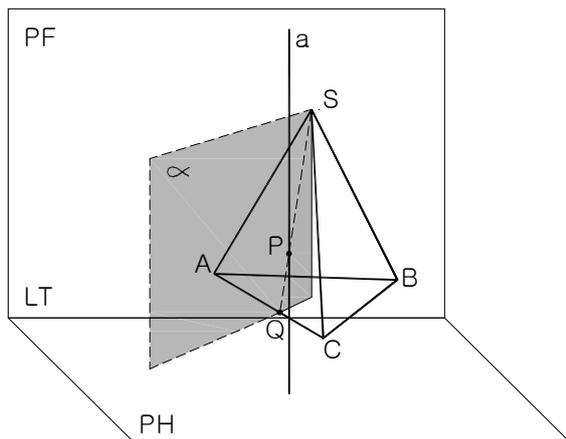
1. Interpénétration de deux volumes à axes confondus ou parallèles

Pour déterminer l'intersection entre deux volumes d'axes parallèles, il faut trouver les points de percée entre les arêtes d'un volume et les faces latérales de l'autre.

Petit rappel : Pour trouver le point de percée d'une droite sur une surface, on fait passer un plan projetant contenant cette droite (et passant par un sommet). Ce plan est appelé « plan auxiliaire ». Il va servir en sorte de plan de construction pour arriver à trouver le point de percée recherché.

Voici ce que cela peut donner dans l'espace...

Et en épure...



Dans cet exemple : On cherche le point de percée de la droite verticale a dans la pyramide ABCS. Le plan vertical alpha est le plan auxiliaire. Il passe par le sommet de la pyramide et contient la droite a. Dans l'espace, l'intersection entre la face ACS de la pyramide et le plan alpha est la droite SQ (arête de construction). L'intersection entre l'arête SQ et la droite a est le point P.

Dans l'épure, on trace α^h en reliant S^h et a^h . On trouve Q^h comme intersection de α^h avec l'arête A^hC^h (base de la pyramide). On reporte ensuite le point Q^h verticalement dans le PF, sur l'arête équivalente A^fC^f , pour trouver Q^f . P^f est l'intersection de S^fQ^f avec a^f .

Les corps ronds qui s'interpénètrent doivent être gérés de la même manière, en utilisant les génératrices plutôt que les arêtes.

Plus on ajoute d'arêtes de construction, plus l'intersection entre les deux volumes sera précise.

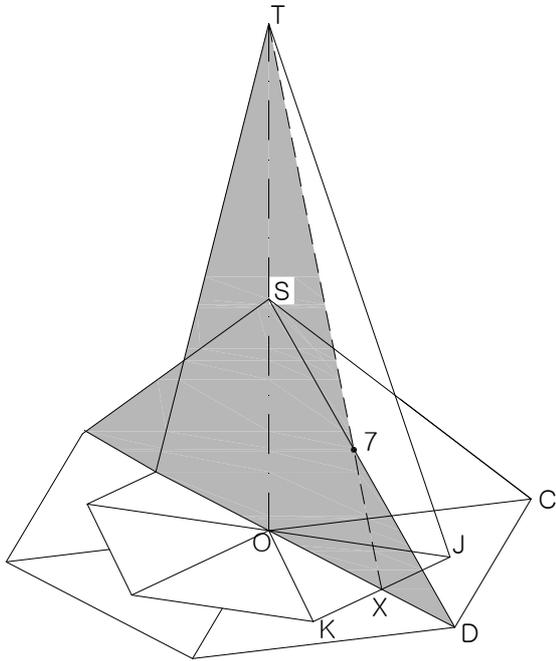
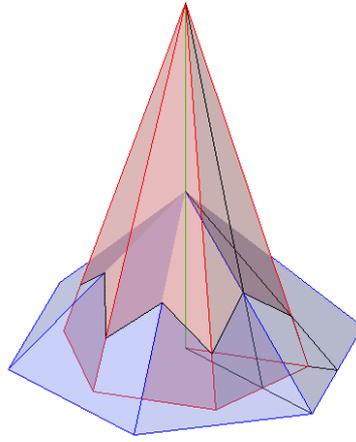
Voici un exemple de deux pyramides, d'axe confondus, qui s'interpénètrent :

Pour trouver le point 7 :

On choisit un plan auxiliaire qui passe par une arête connue (DS) de la petite pyramide.

Cela génère une droite de construction sur la grande pyramide (XT).

L'intersection de ces deux droites donne le point de section (7) entre les deux pyramides.

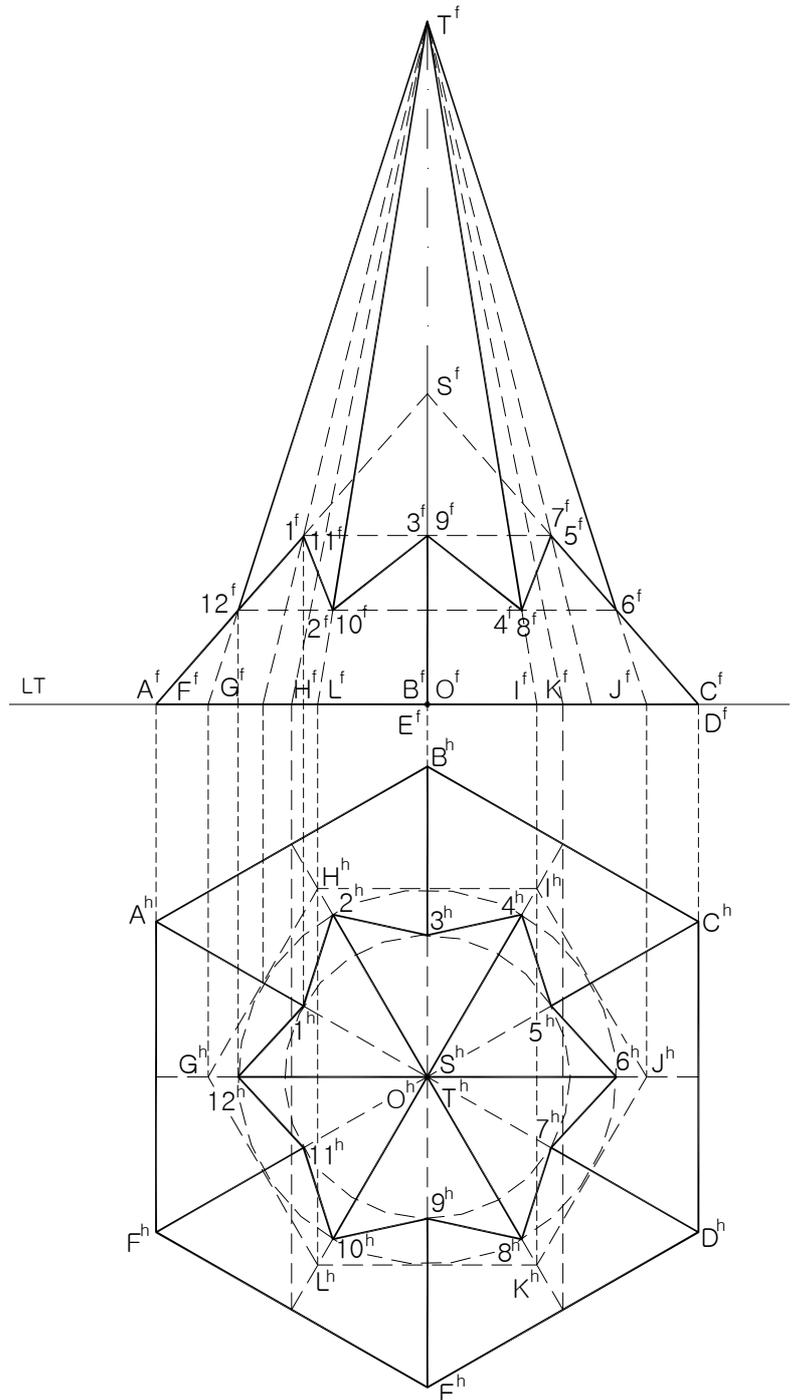
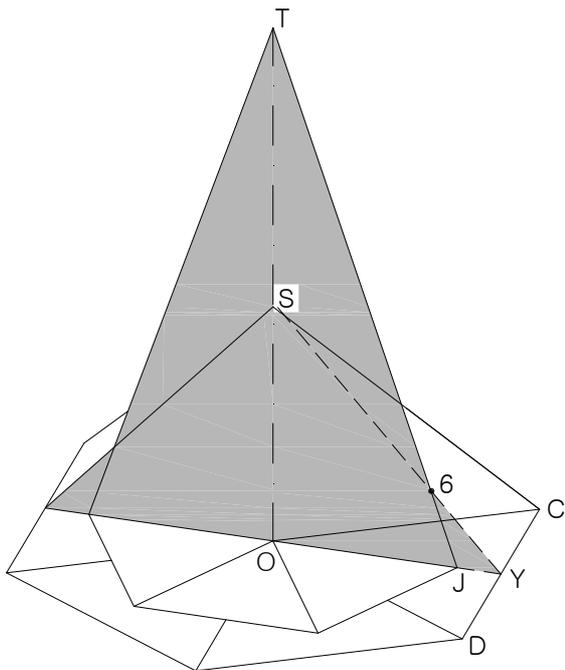


Pour trouver le point 6 :

On choisit un plan auxiliaire qui passe par une arête connue (JT) de la grande pyramide.

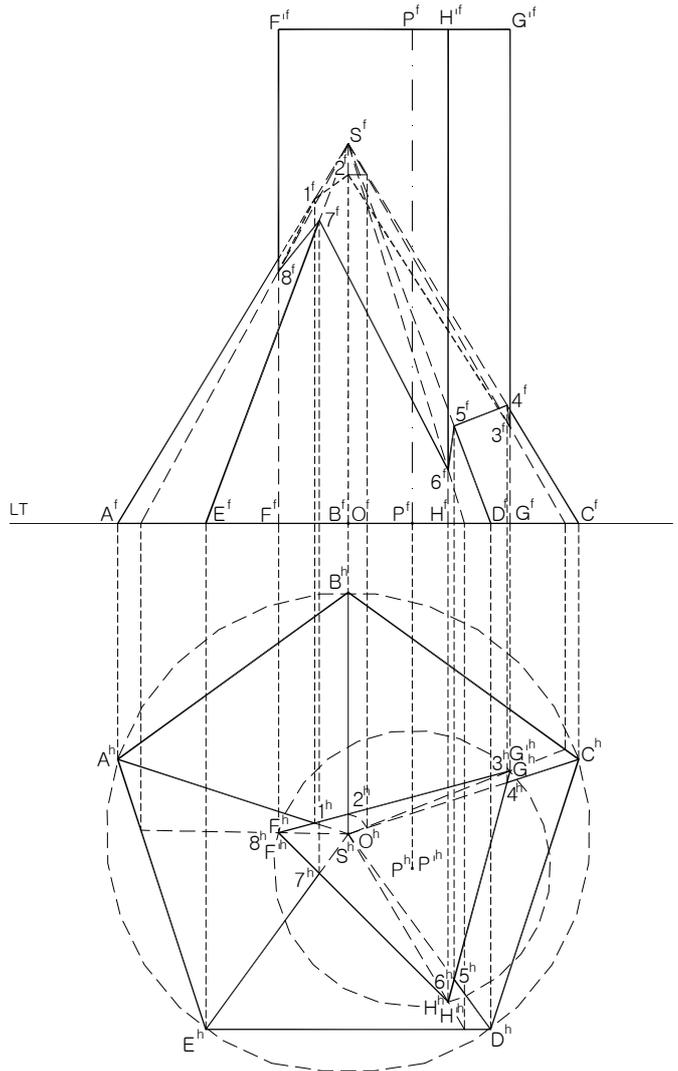
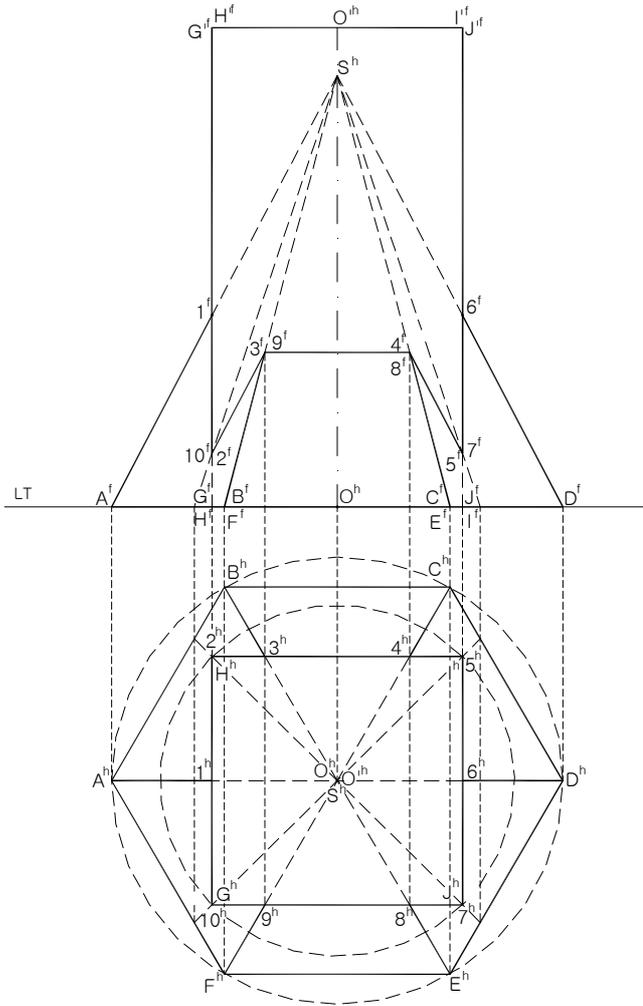
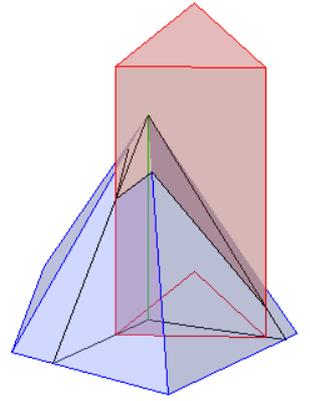
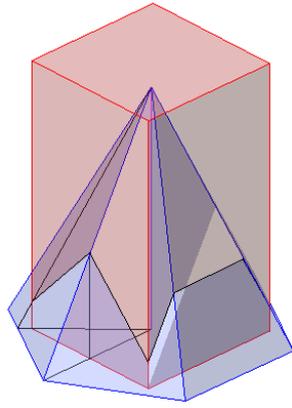
Cela génère une droite de construction sur la petite pyramide (YS).

L'intersection de ces deux droites donne le point de section (6) entre les deux pyramides.



C'est le même principe pour les volumes à axes communs ou parallèles.

Deux autres exemples :



2. Interpénétration de deux volumes à axes non parallèles

Pour déterminer l'intersection entre deux volumes, à axes non parallèles, il faut trouver les points de percée entre les arêtes d'un volume et les faces latérales de l'autre. Et oui, c'est encore la même histoire !

Un peu de réflexion et d'orientation dans l'espace sont indispensables. L'ajout du plan de profil de projection facilite la vision dans l'espace. Il peut être indispensable dans certains cas.

Avant tout, il est très important d'identifier les différents éléments (surface et arête) de chaque point de percée, l'un après l'autre.

N'oubliez pas d'utiliser les plans auxiliaires. Pour rappel, ceux-ci doivent être projetants et passer par une arête d'un des volumes pour laisser une trace sur la surface de l'autre.

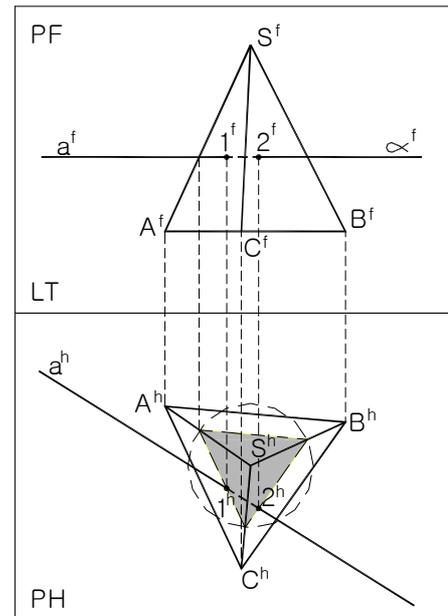
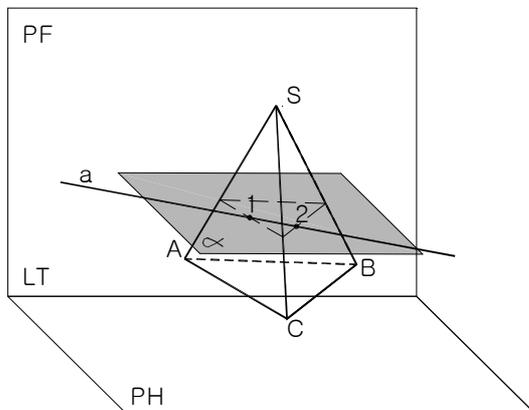
Voici un exemple de points de percée entre une droite horizontale a et les faces d'une pyramide.

Deux solutions sont possibles :

Solution 1 : Le plan auxiliaire choisi est un plan **horizontal** Alpha contenant la droite a .

La section de la pyramide par ce plan Alpha donnera un triangle.

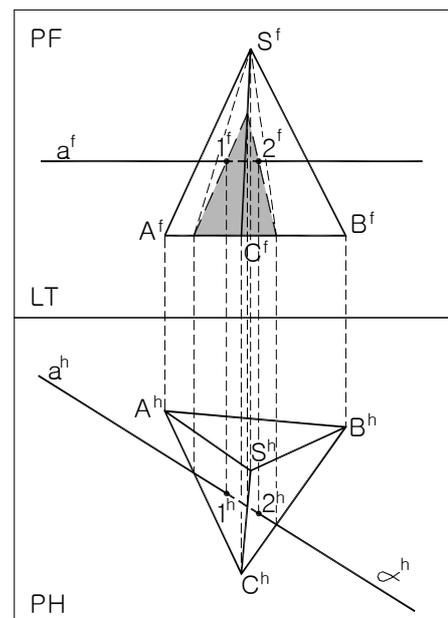
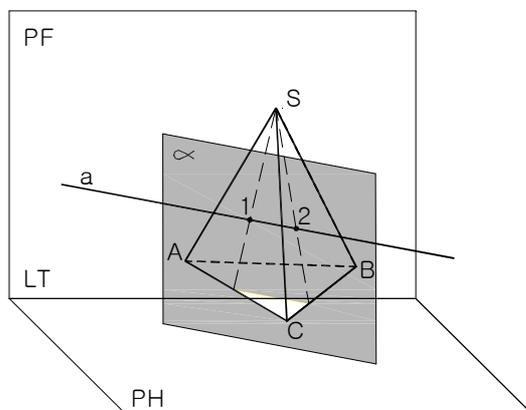
L'intersection des côtés de ce triangle avec la droite a donnera les deux points de percée de la droite a dans la pyramide.



Solution 2 : Le plan auxiliaire choisi est un plan **vertical** Alpha contenant la droite a .

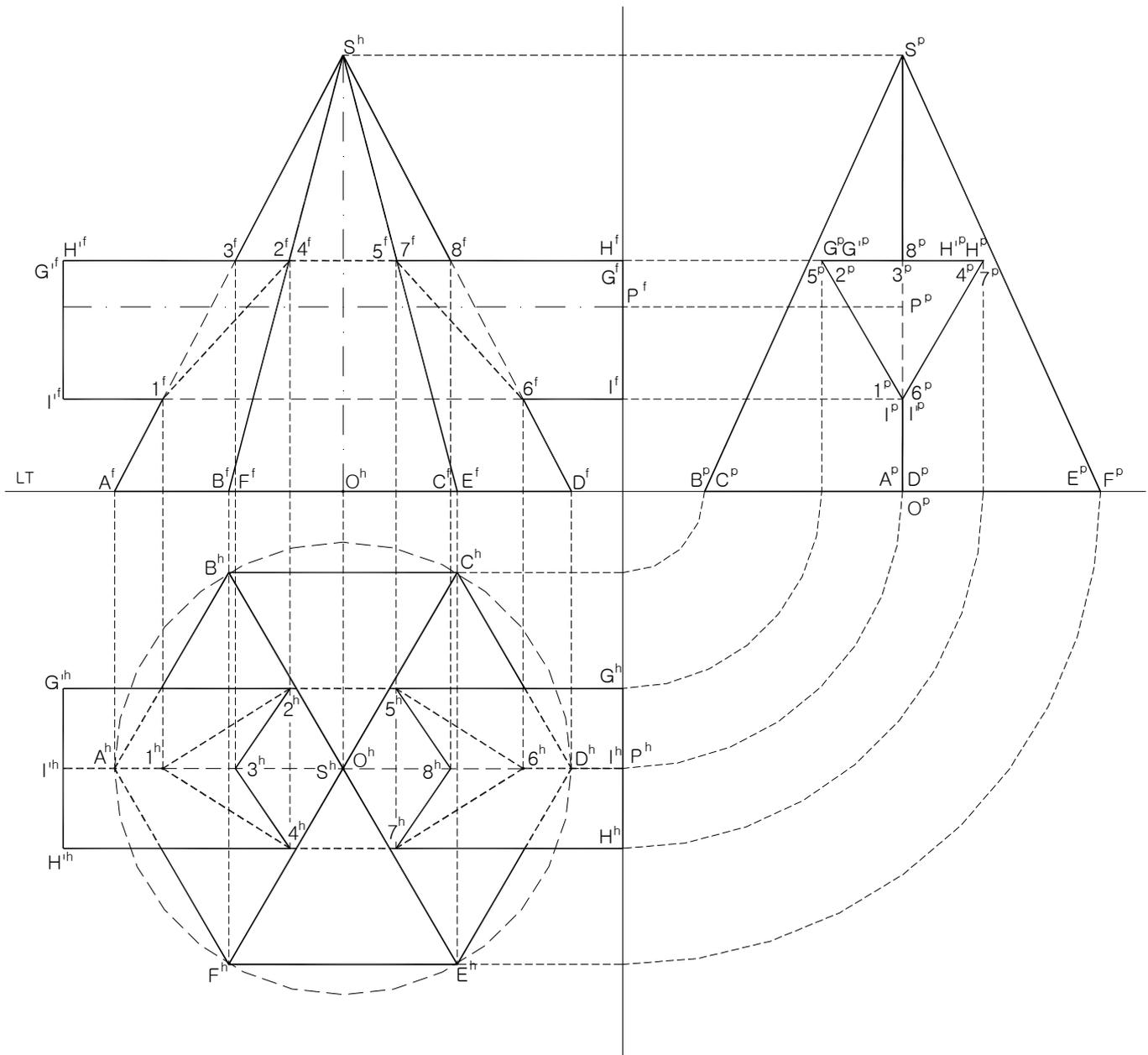
Il faut trouver la section de la pyramide par Alpha.

L'intersection des côtés de cette section avec la droite a donnera les deux points de percée de la droite a dans la pyramide.



Voici un exemple : Interpénétration d'une pyramide à base hexagonale ABCDEF avec un prisme droit à base triangulaire GHI.

Pour avoir une idée complète de la situation, il faut dessiner le plan de profil de projection.



Exemple d'une sphère dans une boîte