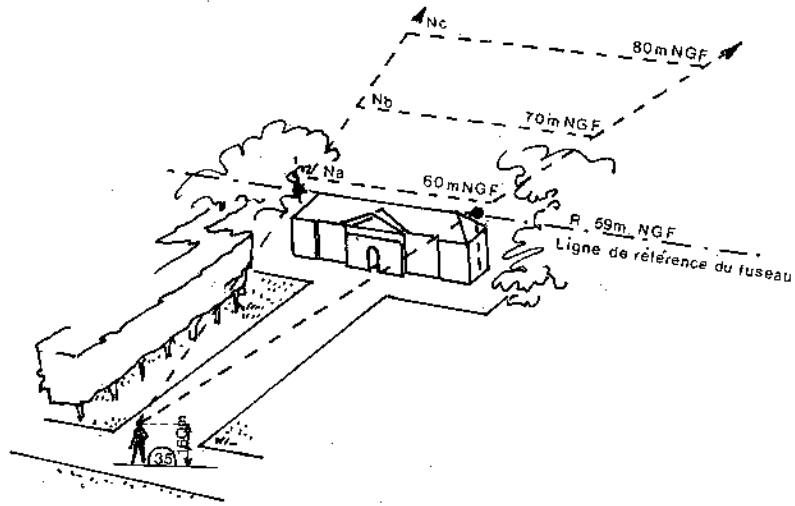


PREFECTURE DES SECTEURS DE PARIS  
DIRECTION GENERALE DE L'AMENAGEMENT URBAIN  
DIRECTION DE L'URBANISME ET DU LOGEMENT  
SERVICE TECHNIQUE D'AMENAGEMENT  
SECTION DES ETUDES ET GRANDES OPERATIONS  
AGENCE DE COMPOSITION URBAINE

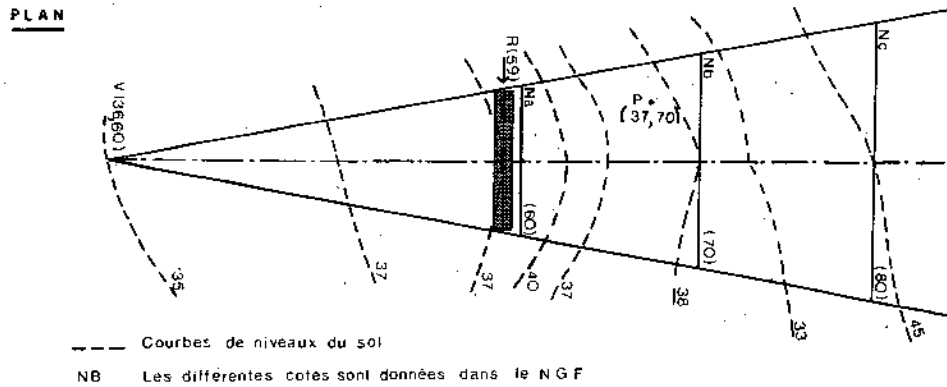
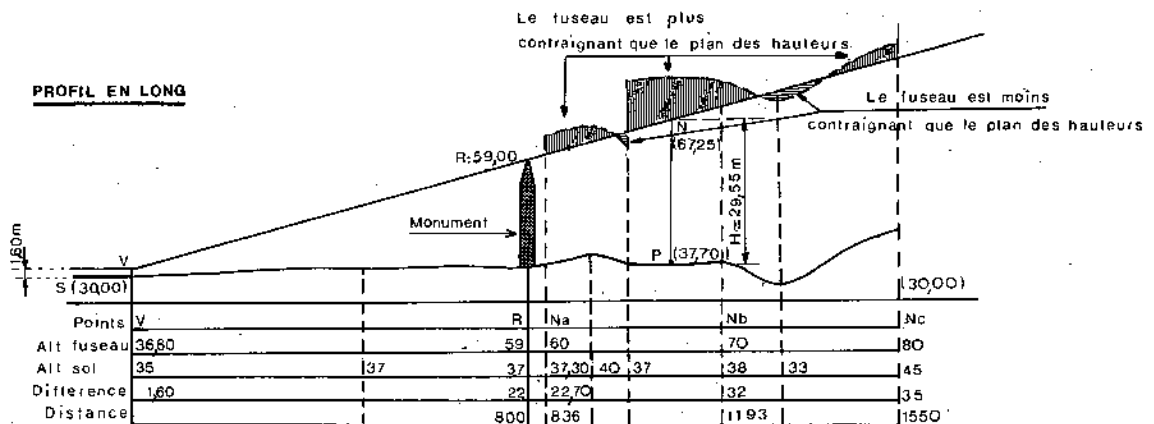
# PROTECTION GENERALE DU SITE DE PARIS

METHODE D'ETUDE GEOMETRIQUE  
DES FUSEAUX DE PROTECTION



**FIG 1 - PROTECTION D'UN MONUMENT (Perspective)**

Na, Nb, Nc, lignes de cotes rondes NGF



**FIG 2 - FUSEAU DE PROTECTION**

## PROTECTION GENERALE DU SITE DE PARIS

## NOTICE DE PRESENTATION

## DES

## METHODES D'ETUDES GEOMETRIQUES

## DES FUSEAUX DE PROTECTION

Il y a lieu de rappeler succinctement que l'Etude de la Protection du Site de Paris a commencé dès 1963 au sein d'une Commission réunissant diverses personnalités de l'Administration et du Monde de l'Architecture et qu'elle a fait l'objet d'une première plaquette proposant notamment une gamme de plafonds pour les différents secteurs de Paris, selon leur situation, leur relief et leur vocation, ainsi qu'une première série de fuseaux de protection.

A l'occasion de l'élaboration du Plan d'Occupation des Sols, une étude exhaustive a été entreprise, à partir de ces principes, par la Direction Générale de l'Aménagement Urbain. Les propositions qui en découlèrent furent soumises, début 1972, au Groupe de Travail du P.O.S., qui y apporta plusieurs modifications. Un mémoire fut alors présenté en juin 1972 au Conseil de Paris qui prit en considération ces travaux préliminaires. Dans le même temps, M. le Ministre des Affaires Culturelles, dans une note du 28 juin 1972, communiquait ses propositions, notamment au sujet de l'étude des protections géométriques.

La présente notice expose la méthode générale adoptée pour définir géométriquement les différents fuseaux de protections.

I - PRESENTATION D'UN "FUSEAU DE PROTECTION GEOMETRIQUE"

L'exemple de protection théorique choisi (fig. 1) montre un observateur situé en face d'un monument (ou d'un ensemble urbain) derrière lequel on souhaite ne voir apparaître aucune construction nouvelle.

La figure 2 donne l'image du plan du fuseau de cette protection tel qu'il aurait pu figurer sur le Plan de Paris au 1/10.000 constituant l'étude établie en février 1972 par la Direction Générale de l'Aménagement Urbain.

Le niveau du sol est connu au point d'observation :

$$S = 35 \text{ m N.G.F.}$$

Le point de départ du fuseau est situé au niveau de l'oeil de l'observateur placé en V, c'est-à-dire à 1,60 m au-dessus du niveau du sol : soit  $V = 36,60 \text{ m N.G.F.}$

Quant au monument, situé à 800 m de l'observateur, nous connaissons la cote N.G.F. "R" (59 N.G.F.) d'altitude de son faitage, au-dessus et au-delà duquel aucune émergence ne doit être visible pour l'observateur placé en V.

L'horizontale passant par la cote R constitue la ligne de référence du fuseau de protection (dans l'exemple, fig. 1 et 2 -  $R = 59 \text{ m N.G.F.}$ ).

L'assiette du fuseau de protection est limitée par deux droites ayant l'oeil de l'observateur pour origine, et passant par les deux extrémités du faitage du monument à protéger (Fig. 1 et 2).

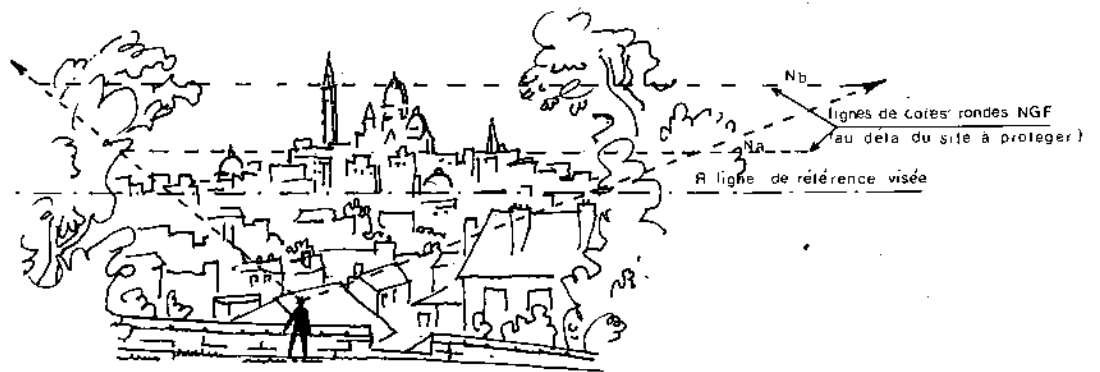


FIG 3 - PROTECTION D'UN SITE (Perspective)

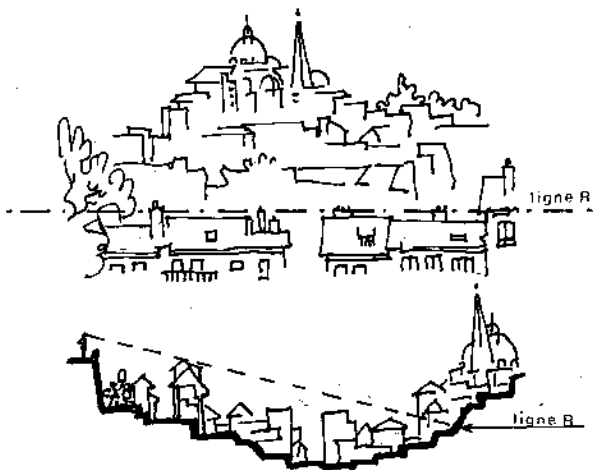


FIG 4 - POINT DE VUE -

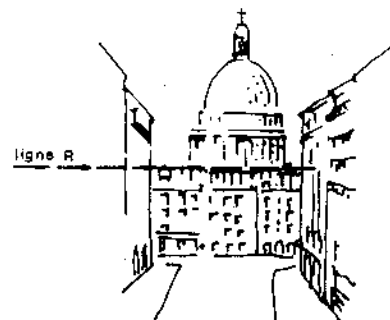


FIG. 5 - ECHAPPEE

Ces deux droites délimitent un plan oblique (dont on détermine la pente, soit graphiquement (Fig. 2) soit par calculs) que l'on prolonge au-delà du monument. Ce plan constitue le plafond qui ne peut être dépassé par aucun élément de construction à édifier au-delà du monument.

Les diverses altitudes de ce plan oblique (60 m, 70 m, etc..) sont cotées et tracées entre les branches du fuseau de protection et reportées sur un plan au 1/1000 altimétrique de Paris.

Dès lors, il est facile de déterminer la hauteur "H" d'un bâtiment à édifier sur un emplacement "P" situé à l'intérieur du fuseau : on calcule, par interpolation, entre les lignes de cotes rondes qui enferment "P", la cote limite "N" à respecter au-dessus de "P". La différence entre cette cote et celle du sol (en "P") donne la hauteur maxima dudit bâtiment (dans l'exemple, Fig. 2, "P" est à la cote 37,70 m N.G.F. au sol ; "N" ne peut excéder 67,25 m N.G.F. ; d'où :  $H = 67,25 - 37,70 = 29,55$  m).

D'autre part, si l'on veut connaître les contraintes provoquées par un fuseau sur les zones des hauteurs limites définies au plan des hauteurs (25 m, 31 m, ...), il suffit de tracer les profils en long du fuseau de protection, du sol et des "hauteurs plafonds" (fixées par le plan des hauteurs) : l'importance de l'écrêtement des hauteurs apparaît entre la ligne de ces hauteurs et celle du fuseau (voir partie hâchurée sur la fig. 2).

Une feuille de calcul de fuseau de protection concernant l'exemple ci-dessus fait l'objet de l'annexe 1.

## II - PRINCIPAUX TYPES DE PROTECTIONS : "Perspectives", "Points de vues", "Echappées".

Les protections des aspects intéressants de Paris, à protéger, sont de trois sortes :

- les "perspectives",
- les "points de vues",
- les "échappées".

Une "perspective" est une vue depuis un ou des points donnés, sur un monument ou un site intéressants, qui justifient l'interdiction de toute silhouette nouvelle à ses abords, en son arrière-plan, ou même en premier plan (fig. 1 et 3).

Le fuseau de protection d'une "perspective" vise donc à définir des plafonds N.G.F. aux abords, au-delà et en deçà du monument ou du site à protéger.

Cette définition laisse entrevoir des cas de protection moins simples que celui donné comme exemple. Nous les évoquerons plus loin.

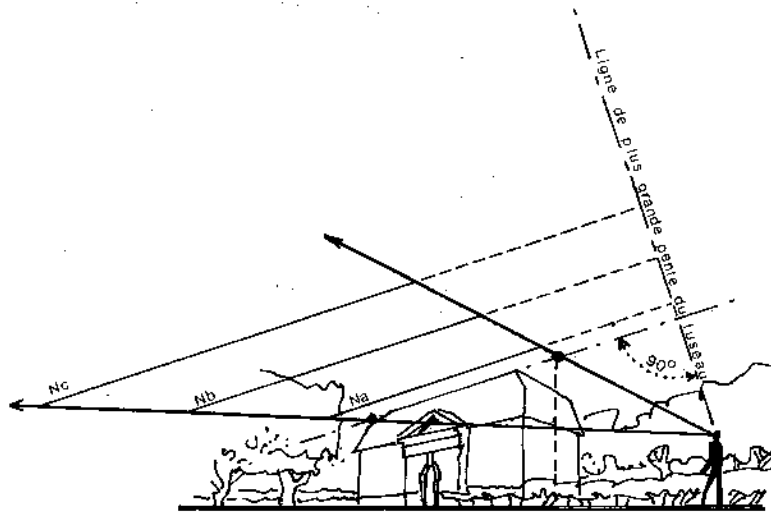
Le "point de vue" est situé sur une éminence d'où l'on découvre un panorama sur tout ou partie du centre historique de Paris ou d'un ensemble monumental.

Le fuseau de protection d'un "point de vue" vise à déterminer les plafonds N.G.F. qui sauvegarderont la vue, à partir du point privilégié, sur le panorama concerné, en évitant tout masque gênant (fig. 4).

Une "échappée" est la vue obtenue dans l'enfilade des rives d'une voie sur une partie d'un monument ou d'un site.

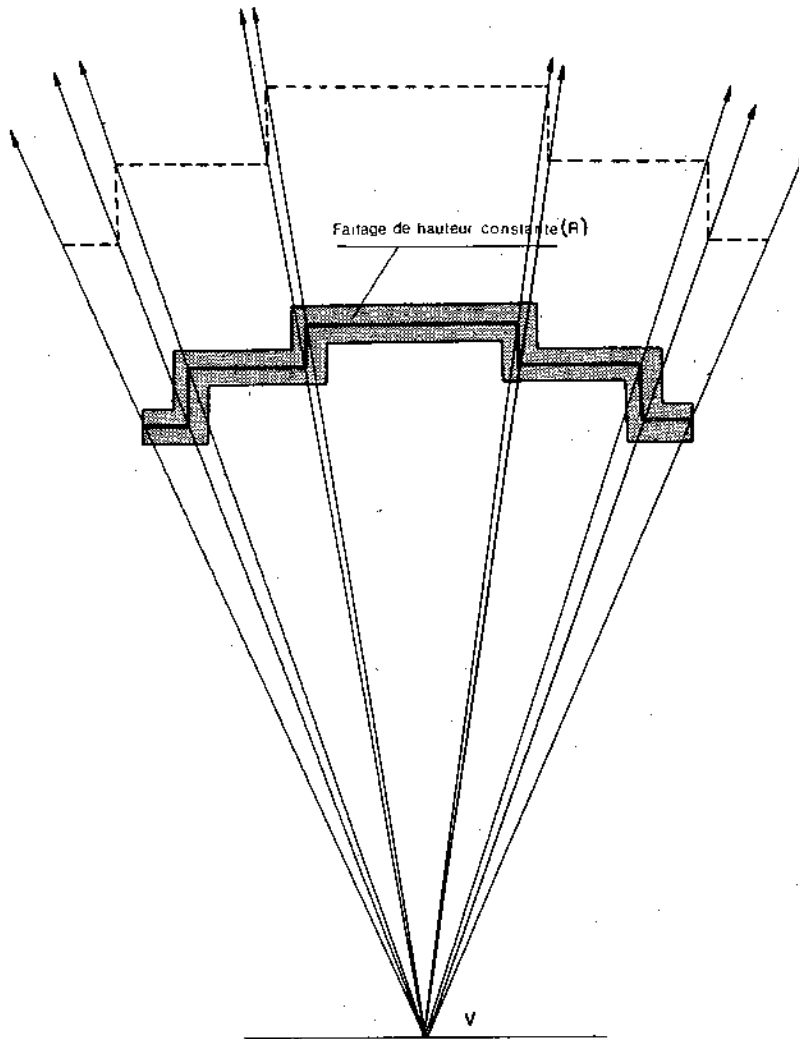
Dans la plupart des cas, des îlots construits s'interposent entre l'observateur et le monument dont l'émergence doit demeurer visible du point ou des points considérés (fig. 5).

(On peut dire aussi que des limitations de hauteur peuvent, éventuellement, être fixées pour les immeubles bordant la voie).



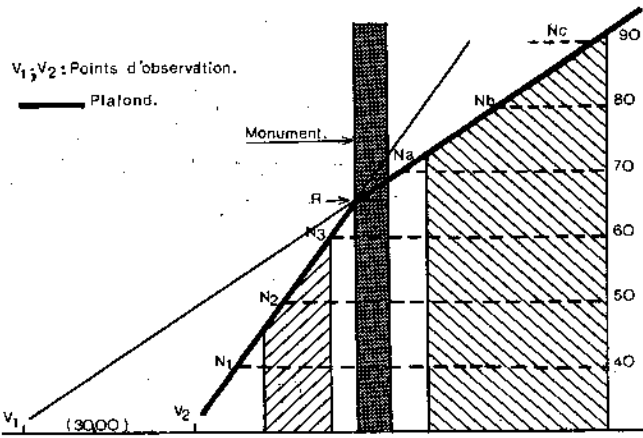
**FIG 6 - PERSPECTIVE (Vue de côté)**

Na, Nb, Nc, lignes de cotes rondes NGF.

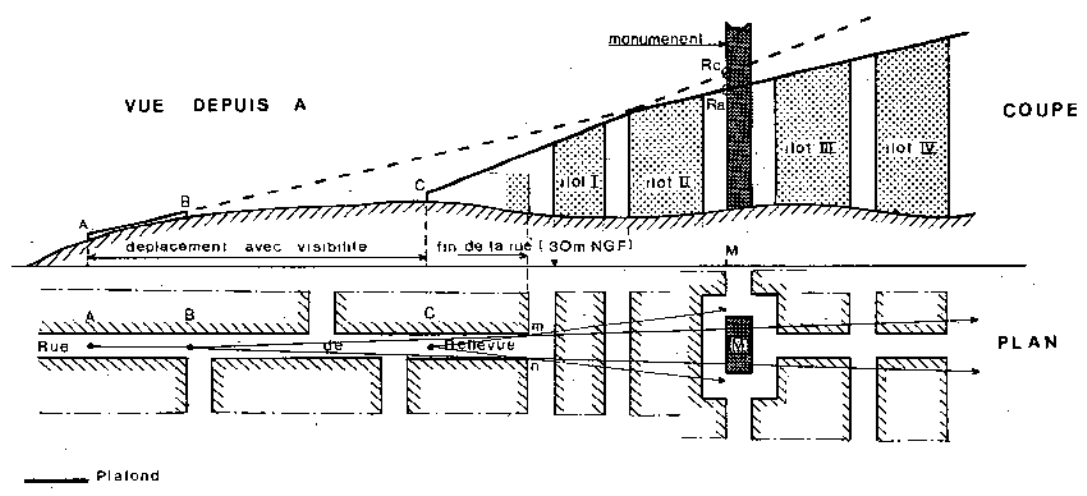
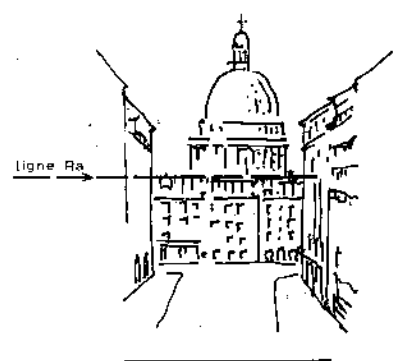


----- Lignes de plafonds de même hauteur

**FIG 7 - PROTECTION D'UN MONUMENT COMPORTANT  
DES AILES EN RETOUR**



**FIG 10 - CONTRAINTES DU FUSEAU EN DEÇA ET AU DELA DU MONUMENT**



**- FIG 11 - ECRETAGE -**

Par ailleurs, et à l'inverse des "perspectives" et "points de vue" pour lesquels le lieu d'observation est à une distance fixe du monument ou du site à protéger, l'"échappée" est, caractérisée par le trajet que l'on peut parcourir, dans l'enfilade d'une voie, en gardant une vue intéressante sur le monument ou le site.

Nous en donnerons un exemple par la suite.

### III - LIGNES DE PLAFONDS RECTILIGNES ET LIGNES DE PLAFONDS COURBES - COMPARAISON DES DEUX SYSTEMES

Dans l'exemple donné précédemment (fig. 1 et 2), il est apparu que, pour éviter toute émergence au-dessus du faîtage d'un monument, le fuseau de protection devait comporter des lignes de plafonds parallèles à ce faîtage. Même lorsque l'observateur n'est pas situé dans l'axe du monument, elles restent perpendiculaires à la ligne de plus grande pente du plan du fuseau de protection (fig. 6) (à titre d'exemple, la figure 7 montre le cas de la protection d'un édifice avec ailes en retour).

Néanmoins, il peut s'avérer nécessaire d'avoir recours, dans certains cas, à des lignes de plafonds concentriques autour du point d'observation pour obtenir une protection plus rationnelle. Il en est ainsi lorsqu'un observateur, pivotant sur lui-même, peut découvrir une partie de panorama circulaire. La figure 8 montre que le fuseau est alors constitué par un cône dans lequel les lignes de plafonds apparaissent sous forme de cercles concentriques par rapport au point d'observation.

Le même principe peut être appliqué à certaines "perspectives" justifiant d'un fuseau assez ouvert et de pente accentuée, et lorsqu'il n'y a pas à proscrire toute émergence en arrière d'un long faîtage (comme dans le cas de la figure 1).

Si, sur un même plan, on trace des lignes de plafonds rectilignes et des lignes de plafonds circulaires, on constate que ces lignes se confondent en partie centrale, mais qu'en revanche leur écartement s'accroît au fur et à mesure que s'ouvrent les branches du fuseau. Pour certains fuseaux, cet écart peut atteindre une différence de hauteur de l'ordre de 6 à 9 m, soit deux à trois étages.

Les croquis (fig. 9) montrent que les lignes de plafond circulaires sont plus contraignantes que les lignes droites dans le cas de visées descendantes ; par contre, elles sont moins contraignantes dans le cas de visées ascendantes.

En définitive, le choix des lignes de niveau rectilignes ou en arc de cercle dépendra essentiellement du caractère du site à protéger et de l'intérêt de ses abords.

### IV - PROTECTION EN-DECA OU AU-DELA D'UN MONUMENT OU D'UN SITE - APPLICATION AU CAS DES ECHAPPEES -

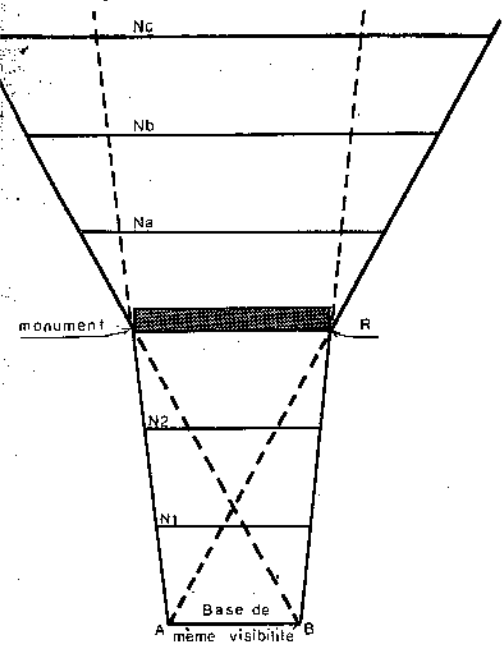
Il est évident qu'un fuseau de protection est d'autant plus contraignant au-delà du monument ou du site à protéger que son origine est plus éloignée.

Pour assurer une meilleure protection devant le monument ou le site, on peut être conduit en revanche à choisir un point de visée plus rapproché de celui-ci (fig. 10). Ces cas se rencontrent assez souvent, notamment lors de l'étude des "échappées". Il convient alors de mettre bout à bout plusieurs fuseaux différents pour constituer le fuseau d'ensemble.

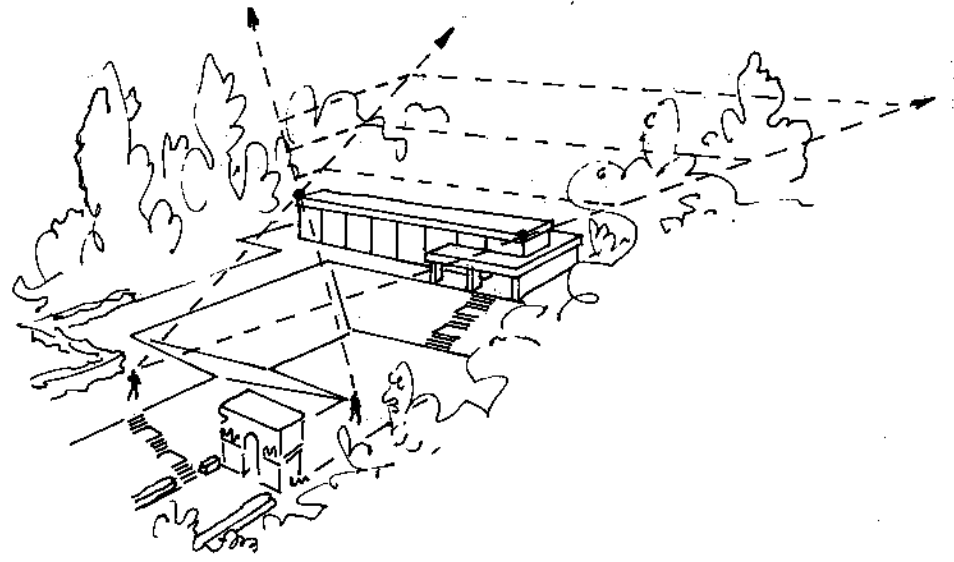
Pour illustrer ce cas, prenons l'exemple d'une voie dont une extrémité permet à un observateur placé en "A" de voir, dans une "échappée" entre les deux alignements, un monument émergeant au-dessus de constructions existantes (fig. 11).

En examinant le profil en long, on constate que le masque, formé par ces bâtiments existants, permet néanmoins à l'observateur placé en "A" de voir toute la partie du monument située au-dessus d'une ligne de référence Ra. Si cet observateur s'avance jusqu'en "B" (la pente du sol entre A et B étant sensiblement identique à celle de la visée en "A"), la vue sur le monument n'a pas changé, tandis que le fuseau, qui appuie ses limites latérales sur les deux points m et n, à l'extrémité de la rue, s'est ouvert. Puis, lorsque l'observateur s'avance de "B" en "C", la vue sur le monument s'efface



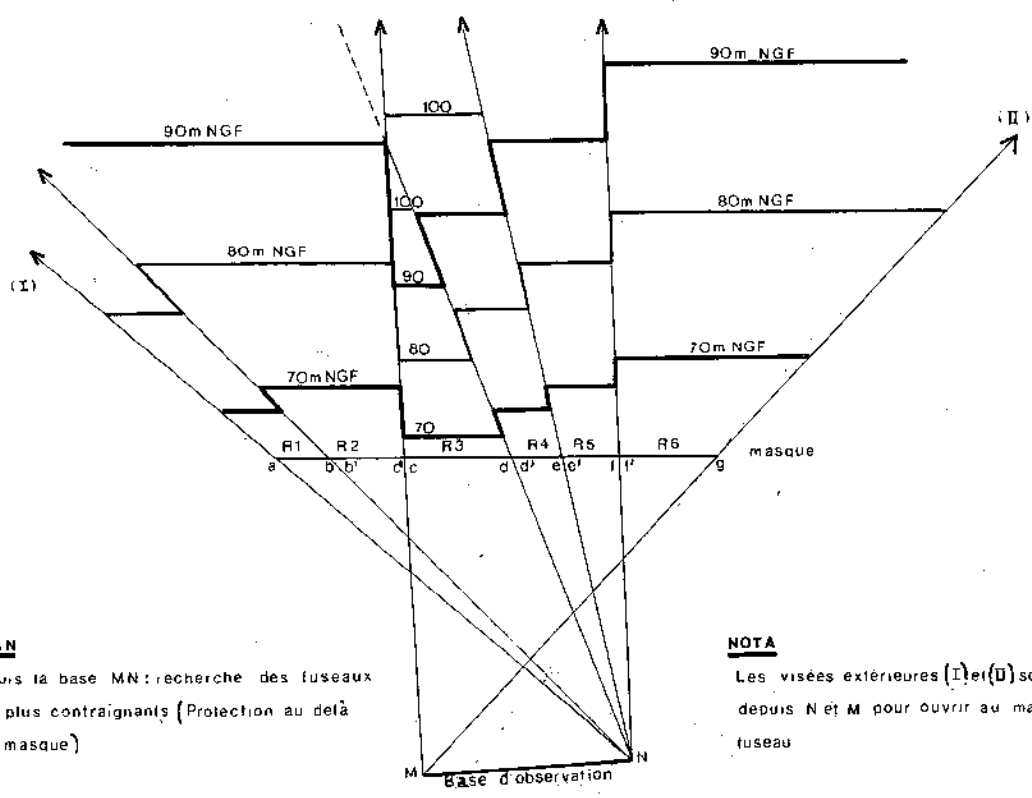


**FIG 12 - VISEES CROISEES**



**- FIG 14 - VISEES CROISEES -**

(Variations des plafonds lorsque les points de visées sont à des niveaux et à des distances différents du monument)

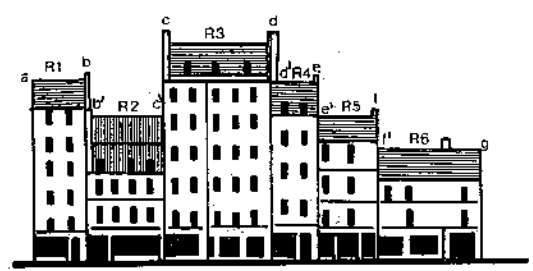


**PLAN**

Depuis la base MN: recherche des fuseaux les plus contraignants (Protection au delà du masque)

**NOTA**

Les visées extérieures (I) et (II) sont croisées depuis N et M pour ouvrir au maximum le fuseau



**PANORAMA OBSERVE**

Lignes de référence R1, R2, R3, R4, R5, R6, sous fuseau 1, 2, 3, 4, 5, 6

**- FIG 13 - MONUMENT OU SITE FORMANT UN MASQUE DECOUPE -  
- RECHERCHE DES PLAFONS LES PLUS CONTRAIGNANTS -**

progressivement jusqu'à la ligne de référence Rc, en raison d'une modification de la pente du terrain entre B et C. Toutefois, on constate dans ce cas que la vue sur le monument demeure encore intéressante jusqu'en C, où le fuseau apparaît encore plus largement ouvert. Au-delà il s'avère impossible de protéger des vues sur le monument parce que la configuration du sol ne le permet plus.

Le fuseau est alors constitué par deux tronçons établis de la façon suivante (fig. 11) ;

1er tronçon : (origine "B")

- cote de l'origine de la visée (œil de l'observateur)  
B = 41,30 m N.G.F.
- ligne de référence visée : Ra = 66 m N.G.F.
- limites latérales du fuseau : passent par m et n
- est le plus contraignant :
  - . devant le monument : au-dessus de l'îlot II
  - . derrière le monument : au-dessus des îlots III et IV et au-delà).

2ème tronçon : (origine "C")

- cote de l'origine de la visée (œil de l'observateur) :  
C = 45 m N.G.F.
- ligne de référence visée : Rc = 69 m N.G.F.
- limites latérales du fuseau : passent par m et n.
- est le plus contraignant devant le monument au-dessus de l'îlot I.

En définitive, le 2ème tronçon (avec une ouverture de m C n) sera applicable sur l'îlot I, puis, à partir de l'intersection des plans des deux fuseaux, on appliquera le premier tronçon, avec une ouverture m B n (donc sur l'îlot II et ceux situés en arrière du monument).

V - BASE DE VISIBILITE - VISEES CROISEES - CAS PARTICULIERS - APPLICATION AUX LIGNES DE PLAFONDS CIRCULAIRES -

Il est rare que la visibilité d'un monument ou d'un site, aussi bien dans le cas des "perspectives" que dans celui des "points de vues", ne soit intéressante qu'à partir d'un seul point, l'observateur ayant souvent la faculté de se déplacer sur une base plus ou moins grande de même visibilité.

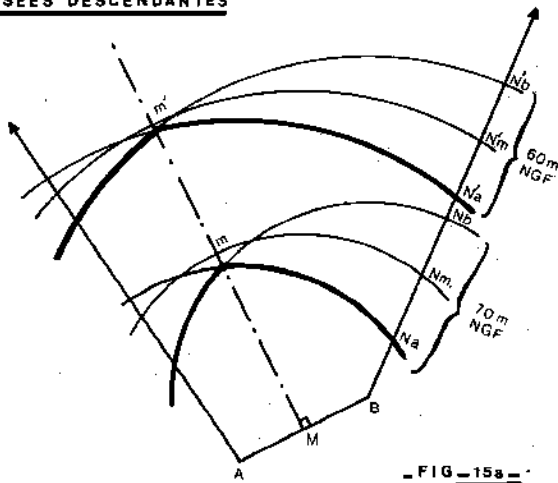
C'est ainsi que, depuis une base d'observation A-B (fig. 12), le champ ouvert par le fuseau de protection sera plus vaste derrière le monument ou le site, lorsque l'on croisera les visées depuis les extrémités de cette base, de manière à assurer la protection dans la totalité du champ de visibilité.

Naturellement, le champ de protection en avant du monument ou du site, s'étendra jusqu'aux limites extérieures des fuseaux issus des extrémités de la base.

D'autre part, lorsque le monument ou le site à protéger présente une silhouette découpée, on appliquera, pour chaque partie homogène de sa silhouette, soit les visées directes à partir des extrémités de la base, soit des visées croisées. On obtiendra ainsi au-delà du monument ou du site une série de fuseaux, qui se superposeront en tout ou partie, dont on ne retiendra, en définitive, que les plus contraignantes. (Cette méthode est illustrée par la fig. 13).

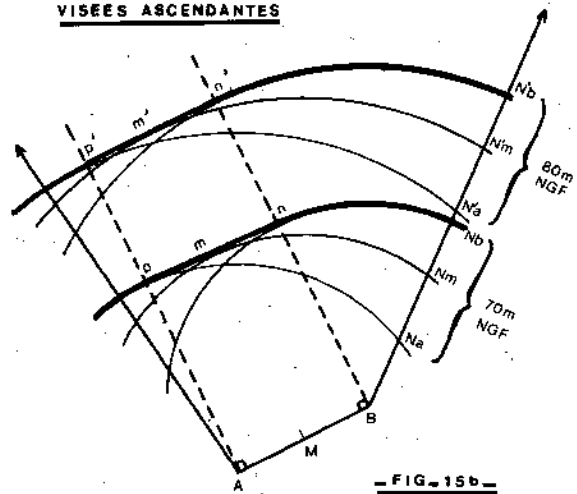
Lorsque l'une des extrémités de la base de visibilité est à la fois à un niveau plus élevé et plus éloignée du monument ou du site à protéger que l'autre extrémité (fig. 14), on constate alors que pour définir le plafond le plus contraignant, tout le champ de visibilité situé derrière le monu-

VISES DESCENDANTES



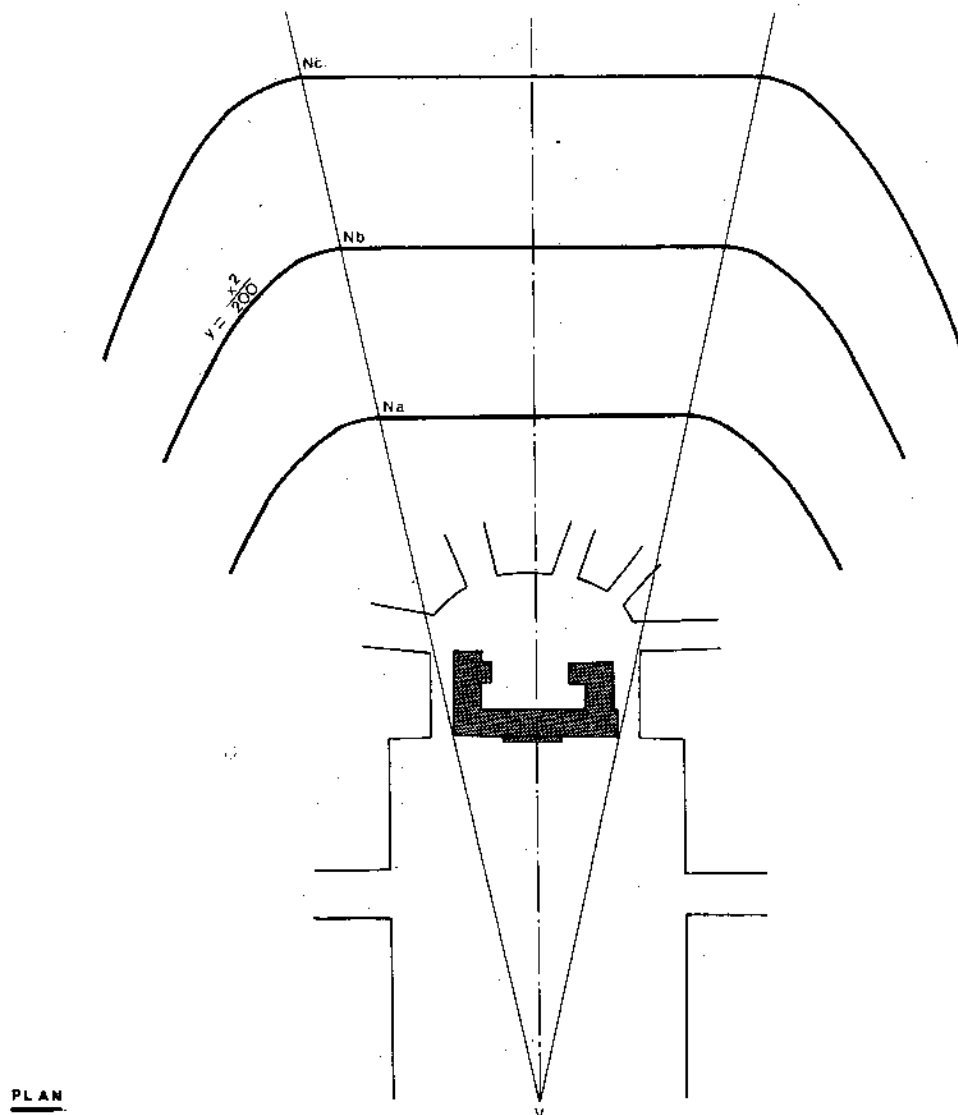
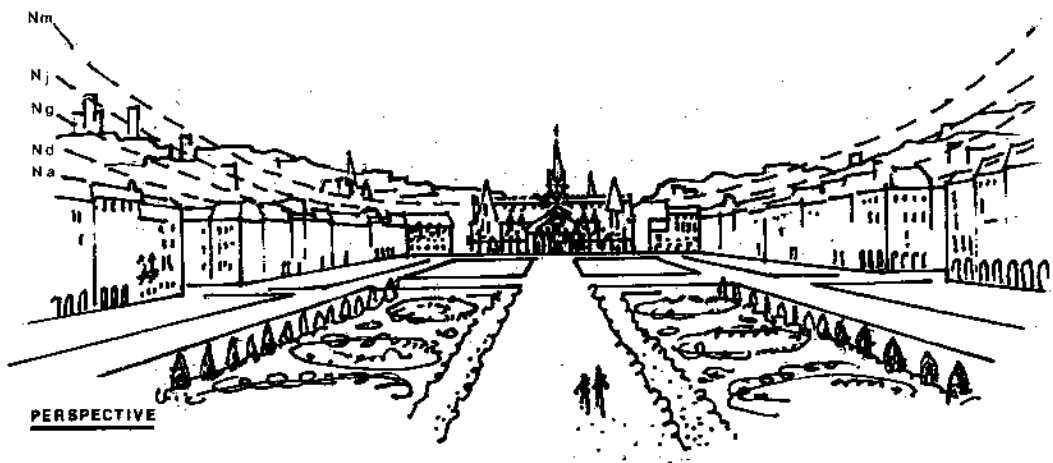
- FIG - 15a -

VISES ASCENDANTES

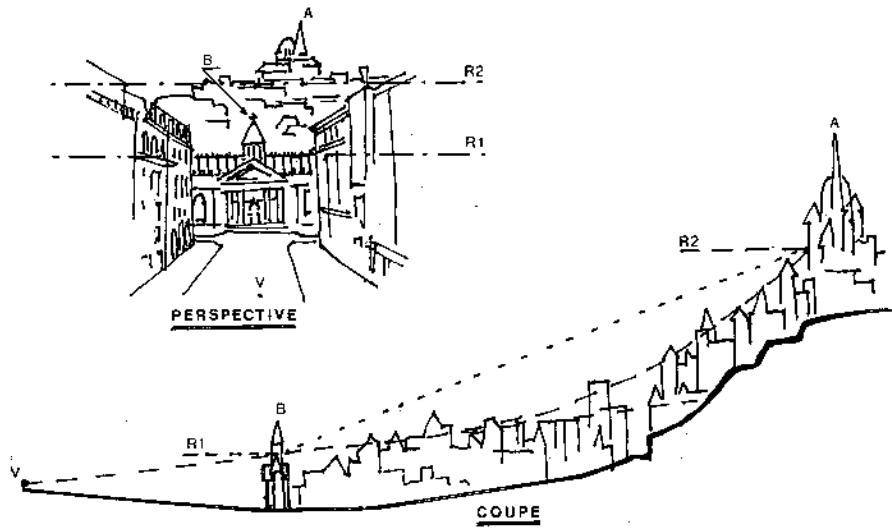


- FIG - 15b -

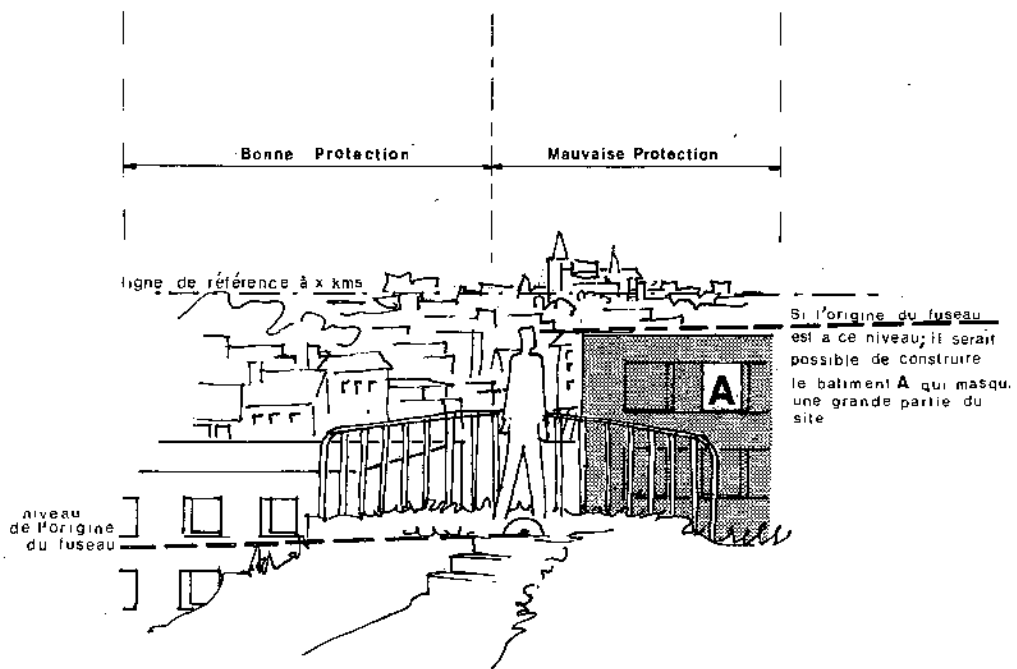
- FIG 15 - BASES D'OBSERVATION ET LIGNES DE PLAFONDS CIRCULAIRES



-FIG\_16-RETOURS PARABOLIQUES DES LIGNES DE PLAFONDS-



- FIG 17 - EFFET DE CHAINETTE DE L'AXE DU FUSEAU DE PROTECTION -



- FIG 18 - DEGAGEMENT DES ABORDS D'UN POINT DE VUE -

ment ou le site doit être protégé par le plan-plafond issu de ce point. Cependant, la frange de fuseau provenant de l'autre extrémité de la base viendra compléter le premier fuseau, mais avec une atténuation progressive des contraintes.

L'application des lignes de plafonds circulaires, de cote uniforme, issues d'une base de visibilité horizontale conduit à la recherche, pour chaque niveau de plafond, d'une courbe-enveloppe des plus fortes contraintes.

Les figures 15a et 15b montrent les résultats de cette recherche dans le cas des visées descendantes et ascendantes.

#### VI - RECHERCHE D'UN EFFET DE "VELUM" - PROLONGEMENTS PARABOLIQUES -

On peut se trouver en présence d'un ensemble de bâtiments situés dans l'environnement d'un monument à protéger, et qui présentent des faitages régnant approximativement avec celui du monument : Pour maintenir cette situation, et éviter dans l'avenir toute émergence de nouveaux bâtiments qui risquerait de perturber le site aux abords du fuseau de protection du monument considéré, on étendra ledit fuseau de part et d'autre de son assiette. Mais il reste entendu que dans les franges du fuseau les protections peuvent être de moins en moins contraignantes au fur et à mesure que l'on s'écarte de la partie centrale du fuseau. En général, on a alors recours à des tracés paraboliques qui prolongent latéralement les lignes du plafond de base. (Néanmoins, dans certains cas, on peut avoir recours à d'autres tracés).

Les constructions qui seront édifiées en respectant ces plafonds apparaîtront alors progressivement les unes derrière les autres selon un effet de "velum".

D'une façon générale, la formule employée est de la forme  $y = \frac{x^2}{R}$ , R étant recherché par approximation en tenant compte des émergences tolérables à des distances données (pratiquement, n se situera entre 150 et 400) (fig. 16).

#### VII - EFFET DE CHAINETTE DES FUSEAUX

L'effet d'étagement des bâtiments dans le site à protéger peut également être obtenu en donnant au profil du fuseau la forme d'une "chainette" et sur lequel viennent s'appuyer les lignes de plafonds. Notons qu'il est souvent sans inconvénient de substituer à cette courbe une ligne brisée de forme approchante.

De même on peut avoir à rechercher un effet d'étagement entre deux monuments intéressants situés dans un même champs de visibilité.

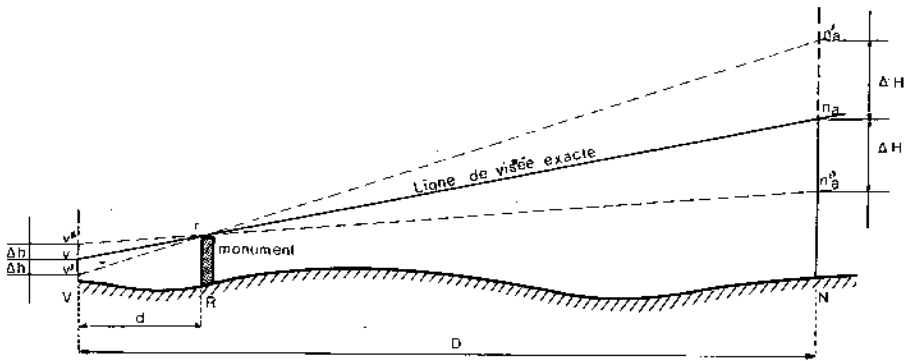
En ce cas, on veillera, d'une part à ce que l'émergence du monument le plus éloigné soit sauvegardée, et d'autre part à ce qu'aucun bâtiment en arrière du monument le plus rapproché ne vienne dénaturer le site (fig. 17).

A noter que, dans le cas des "points de vue", il faut adopter une protection plus efficace à proximité du point d'observation afin d'éviter des effets de masse en premier plan.

Ce résultat peut être obtenu en ramenant la cote d'origine du fuseau au niveau du sol, voire au-dessous (fig. 18).

#### VIII - CALCUL DES FUSEAUX DE PROTECTION GEOMETRIQUE - DEGRE DE PRECISION - LES DONNEES - EFFET DE SPHERICITE DE LA TERRE - RENDU SUR PLANS -

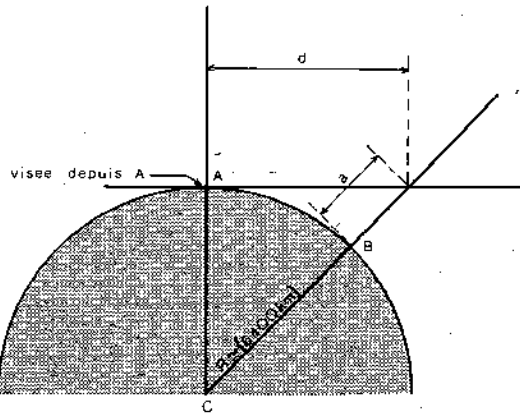
La distance entre l'observateur et le monument ou le site à protéger est mesurée sur plan.



Une imprécision  $\pm \Delta h$  en V, engendre une imprécision  $\Delta h$  en N égale à  $\frac{\Delta h \times (D-d)}{d}$

Exemple: Si  $D = 6 \text{ km}$ ,  $d = 1 \text{ km}$  et  $\Delta h = \pm 0,20$  ou  $\pm \Delta H = \frac{0,20 \times 5}{1} = \pm 1 \text{ m}$ .

**FIG 19 - REPERCUSSION DE L'IMPRECISION DU NIVELLEMENT DE L'ORIGINE DU FUSEAU AU DELA DU MONUMENT**



Formule simplifiée:  $a = \frac{d^2}{2R}$

**FIG 20 - ECART DU A LA SPHERICITE DE LA TERRE.**

Pour chaque fuseau, des études topométriques donnent :

- le niveau de la base, ou du point d'observation ;
- le niveau de la ligne de référence prise sur le monument ou à une altitude caractéristique du site.

En fait, la cote du point d'observation peut être entachée d'une imprécision de l'ordre de  $\pm 0,20$  m (du fait de la taille de l'observateur et de sa position par rapport à celle du point altimétrique de visée).

Cette imprécision croît proportionnellement à l'éloignement des émergences possibles au-delà du monument, conformément à la formule :

$$\varepsilon = \pm \frac{0,20 \times D}{d} \quad (\text{fig. 19}).$$

A titre d'exemple, si un observateur est situé à 1000 m du monument, l'imprécision du fuseau, à 6000 m du point de visée sera de l'ordre de  $\pm 1$  m.

Enfin, quant aux cotes altimétriques relevées sur le monument leur imprécision est de l'ordre de  $\pm 0,02$  m.

#### LA SPHERICITE DE LA TERRE -

A distances croissantes d'un observateur, l'effet de sphéricité de la terre tend à abaisser de plus en plus les volumes des bâtiments sous la ligne d'horizon. La valeur de cet abaissement est donné par la relation approchée :

$$a = \frac{d^2}{2R} \quad (\text{fig. 20}), \quad \text{qui donne les écarts suivants :}$$

à 1 km .....	0,08 m
à 2,5 km .....	0,49 m
à 5 km .....	1,95 m
à 7,5 km .....	4,40 m

L'importance croissante de ces écarts pourrait nous inciter, dans le cas de grande distance, à augmenter d'emblée les hauteurs des bâtiments à construire à l'intérieur du fuseau. Mais on rejettera cette tentation en raison des phénomènes de réfraction des rayons visuels qui viennent, a contrario, réduire en partie ces écarts (voir annexe 2).

En réalité, il est exact que l'écart dû à la sphéricité de la Terre est supérieur à celui dû à la réfraction. Mais la différence entre ces deux écarts constitue en fait une marge de sécurité acceptable en regard du petit nombre de fuseaux dont la longueur, au-dessus de Paris, dépasse 7 km.

Quoique, par principe, il ait été évité de retenir de trop grandes marges de sécurité, il apparaît suffisant, en l'occurrence, de négliger l'effet de sphéricité de la Terre, qui est partiellement compensé par celui de réfraction.

#### PRESENTATION DES FUSEAUX -

Chaque fuseau nécessite l'établissement d'un document qui justifie ses caractéristiques (origine, nature, désignation du site ou du monument à protéger, ligne de référence, champ d'application, études topométriques et calculs).

Ce document, qui est soumis à l'examen du Service des Bâtiments de France, est susceptible de modifications pour tenir compte de son avis.

Dès qu'un accord intervient sur ce document, le fuseau est alors intégralement reporté sur un plan au 1/10.000 qui sera annexé au P.O.S.



lorsque tous les fuseaux auront été transcrits sur ce plan, il sera procédé à la suppression des superpositions inévitables qui apparaîtront entre deux ou plusieurs fuseaux, en ne conservant que la partie du fuseau le plus contraignant.

En principe, c'est ce nouveau maillage des fuseaux qui sera porté au P.O.S.

---

Il convient enfin de souligner que la transcription, sur un plan des hauteurs-plafonds de Paris montre que lesdits fuseaux n'écrêtent qu'une faible partie de ces plafonds.

---

Tels sont, en définitive, les principes qui ont été appliqués pour définir les fuseaux de protection des monuments et des Sites de Paris.

Afin de permettre la compréhension des documents établis pour chaque fuseau, nous avons pensé qu'il était utile d'exposer les méthodes théoriques qui ont été utilisées. Dans la pratique, nous avons pu appliquer des simplifications, chaque fois qu'elles n'entraînaient pas de modifications sensibles des contraintes.

A cette notice sont jointes les annexes qui apporteront des précisions sur des aspects particuliers des travaux effectués et des méthodes appliquées :

- Annexe 1 = note de calcul - type ;
  - Annexe 2 = effets de la sphéricité de la Terre et du phénomène de réfraction ;
  - Annexe 3 = étude-type d'un fuseau de protection.
-



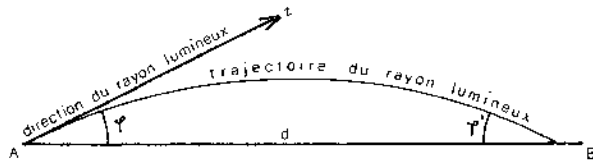


Figure a

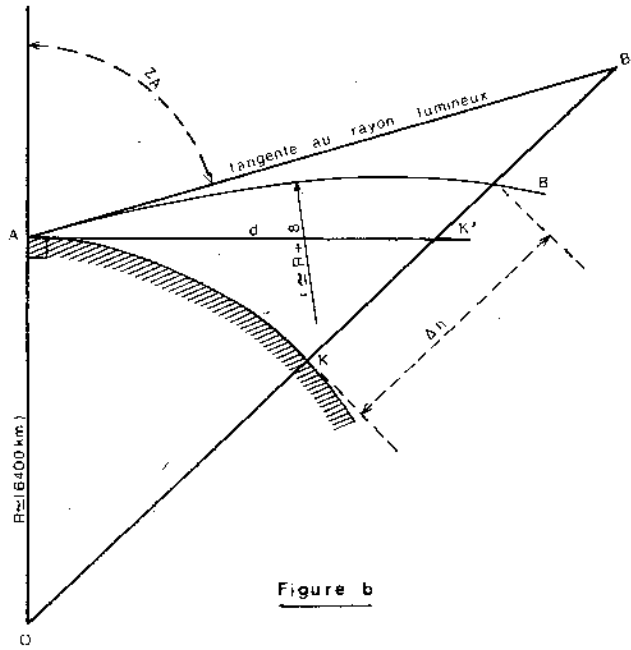


Figure b

Dans ces conditions :

$$KK' \approx \frac{AK'^2}{2R} \approx \frac{AK^2}{2R} \approx \frac{d^2}{2R}$$

$$BB' \approx \frac{AK^2}{2r} \approx \frac{d^2}{2r}$$

d'où :

$$\Delta h = \frac{d^2}{2R} + d \cotg ZA - \frac{d^2}{2r}$$

$$\Delta h = d \cotg ZA + d^2 \left( \frac{1}{2R} - \frac{1}{2r} \right)$$

$$\Delta h = d \cotg ZA + d^2 \left( \frac{1}{12800} - \frac{1}{102400} \right)$$

or  $d^2 \left( \frac{1}{12800} - \frac{1}{102400} \right)$  est sensiblement égal (en mètres)

à  $\frac{d^2 \text{ (en km)}}{15}$ , expression qui représente donc la correction de niveau résultant des effets combinés de la sphéricité de la Terre et de la réfraction terrestre.

En définitive :

$$\Delta h \text{ (en m)} = d \text{ (en m)} \cotg ZA + \frac{d^2 \text{ (en km)}}{15}$$