

LA COTATION FONCTIONNELLE DANS LE BTP

Jean Joseph SAVOINI



Dépôt légal LILLE Mars 2016

INTRODUCTION

La cotation fonctionnelle à été imaginé et mise en pratique par André Citroën pour assurer le montage sans heurt de pièce tel le piston dans la chemise du cylindre

Comme son nom l'indique la cotation fonctionnelle est un système de cotation (pour définir les dimensions d'une pièce) de telle sorte que la fonction (glissement du piston dans sa chemise, d'un tiroir dans ses coulisses,) puisse être assuré et ceci quelque soit la pièce entrante et la pièce recevante

On peut se demander pourquoi le BTP n'a pas adopté la cotation fonctionnelle car dans de nombreux cas on trouve des problématiques de même nature (faire coïncider une fenêtre ou une porte avec la réservation dans une paroi béton). Et les savoir-faire métier ont intégré des résultats qui viennent de l'expérience , et qui pourraient venir tout naturellement d'un raisonnement cotation fonctionnelle

Et aujourd'hui avec les évolutions apportées par le BIM dans la manière de concevoir il semble évident que les professions du BTP doivent se pencher sur cette approche et commencer à intégrer cette manière de raisonner dans les différentes étapes de la conception et de la définition des ouvrages à construire.



Approche de la cotation fonctionnelle en BTP

5

1. Définition
 1. Origine Histoire
2. La notion de tolérance
 1. Le cas de base: une baie
 2. Les savoir-faire métiers
3. La notion de chaine de cotes
4. La notion de cale
5. Exemple: l'ascenseur
6. Conclusion
7. Annexes
 1. Courbes de Gauss
 2. Probabilités
 3. Normes en usage du BTP

Notion de tolérance

Le BTP a introduit des notions de tolérance avec des différences métiers bien connues des professionnels

- le maçon travaille à +/- 1 cm
- le menuisier à +/- 5mm
- certaines fabrications pouvant avoir des tolérances plus faibles

Chacun devant respecter ses tolérances elles font parties des savoir-faire métier et de la qualité attendue cf: DTU et règle de l'art. Est-ce suffisant? Que se passe-t-il dans la réalité?

-

Notion de tolérance

Les performances demandées à chaque corps de métiers correspondent à des performances atteignables constatées à l'exécution

Comment intégrer ces notions de tolérance et performance métiers dans les plans et donc dans la cotation et ceci au moment où le BIM souhaite apporter une réponse complète aux professionnels de la construction.

Cote théorique définie sur plan, cote réelle de fabrication, condition de mise en œuvre, contrainte introduite par la façon de concevoir sont autant de questions auxquelles les concepteurs doivent répondre

La cotation fonctionnelle

Pour introduire la cotation fonctionnelle nous allons procéder par 3 étapes

- 1) Rappeler la théorie des erreurs
- 2) Identifier les problématiques de cotation induites au stade de la conception
- 3) Par l'exemple montrer comment les savoir-faire métier ont envisagé des solutions

Pour illustrer nos propos nous prendrons comme exemple le cas le plus classique rencontré dans le bâtiment à savoir une porte qui doit rentrer dans la réservation prévue dans la paroi

Etude du cas de base : La fenêtre

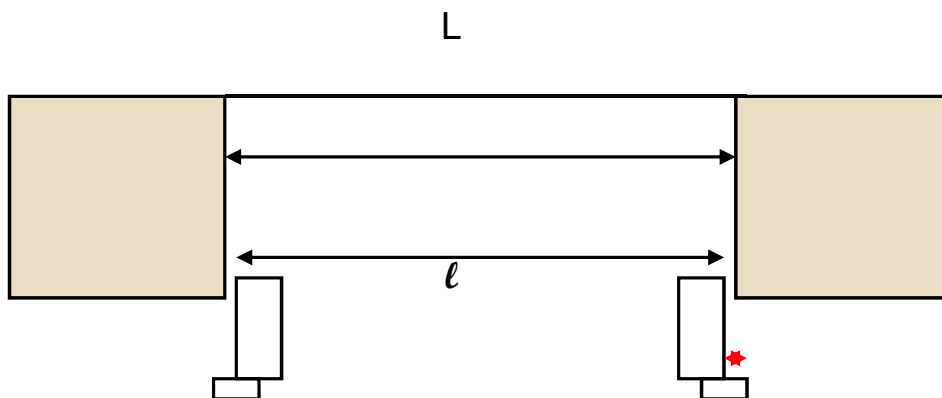
Si pour une fenêtre de 90 cm dans une baie de 90 cm
Je cote 90 cm pour la baie.. côté béton
et 900 mm pour la fenêtre... côté du menuisier

Avec les tolérances de chaque métier
+/-1cm pour le béton
+/- 5mm pour le menuisier

J'aurai le résultat suivant:
Les baies pourront faire de 89 cm à 91 cm de large
Les menuiseries de 895 mm à 905 mm de large.

BAIE	Fenêtre
$L=90\pm 1\text{cm}$	$\ell=900 \pm 5 \text{ mm}$
$L_{\min}=89$	$\ell_{\max}=905$
$L_{\max}=91$	$\ell_{\min}=895$

**Problème!.. les grandes fenêtres 905 mm ne rentrent pas
dans les petites baies 89 cm... 15mm d'écart (1cm+5mm)**



Etude du cas de base : La fenêtre

10

Par cet exemple simple on met en évidence que l'écart entre la menuiserie la plus large et la baie la plus étroite est égal à la somme des tolérances simples du menuisier et du maçon. (1 cm plus 5 mm).

De manière pratique on va demander au corps de métier le plus précis, le menuisier de coter son ouvrage pour ne pas avoir de conflit avec les tolérances du maçon.

Le maçon continuera de coter sa baie 90 cm tout en sachant que les baies produites pourront faire de 89 cm à 91 cm de large.

Donc le menuisier partira de cet état possible et s'attachera à ce que sa plus grande menuiserie 5mm de plus que la cote visée puisse entrer dans la plus petite baie produite 89 cm.

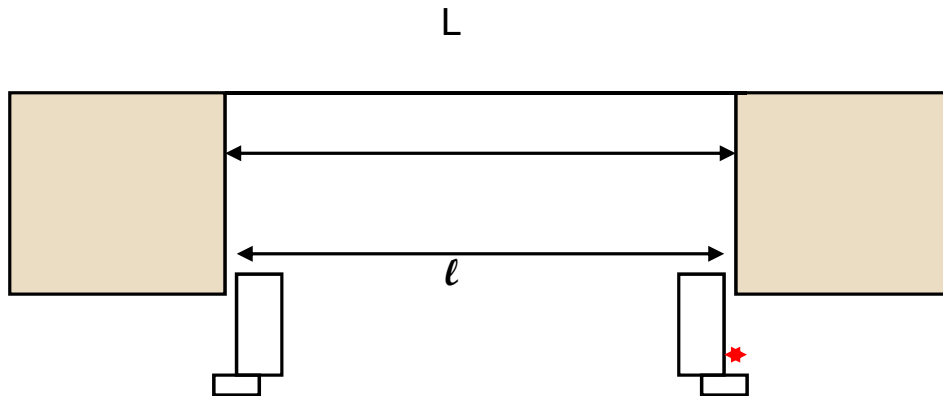
La cote visée sera donc $89 \text{ cm} - 5 \text{ mm} = 885 \text{ mm}$

On remarquera 885 mm c'est $90 \text{ cm} - 1 \text{ cm}$ (tolérance maçon) - 5 mm (tolérance menuisier)

Et ceci nous amène le résultat suivant....

Etude du cas de base : La fenêtre

11



Le maçon ayant coté sa baie 90 cm va produire des baies de 89 cm à 91 cm de large.

Le menuisier ayant coté 885 mm va produire des menuiseries de 880 mm à 890 mm de large.

BAIE	Fenêtre
$L=90\pm 1\text{cm}$	$\ell=885 \pm 5 \text{ mm}$
$L_{\min}=89$	$\ell_{\max}=890$
$L_{\max}=91$	$\ell_{\min}=880$

les grandes fenêtres 890 mm rentrent dans les petites baies 89 cm
Le jeu maxi entre une grande baie et une petite menuiserie sera de 30 mm
Deux fois (5 mm + 1 cm) soit la somme des tolérances totales.

Etude du cas de base : La fenêtre

12

Quelle que soit la menuiserie produite elle pourra entrer dans n'importe quelle baie rencontrée.

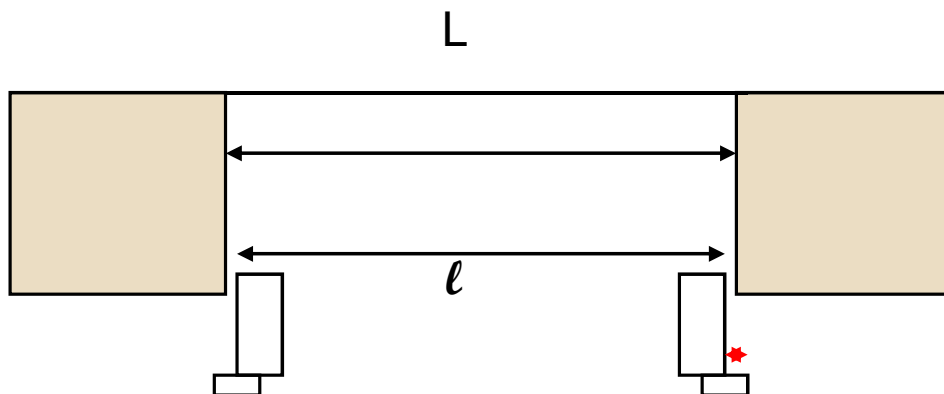
Cependant il y aura un jeu entre la menuiserie et la baie et le plus grand jeu étant de 30 mm.

Ce jeu pourra être reparti moitié à gauche moitié à droite et donc il faudra prévoir un couvre joint pour boucher 1,5cm

On retrouve là les pratiques métiers biens connues.

Couvre Joint

$3 \text{ cm}/2 = 1.5 \text{ cm} + \text{le recouvrement souhaité}$



Etude du cas de base : La fenêtre

13

Que retenir de cet exemple:

a) Les erreurs s'additionnent en valeurs absolues

$$\Delta(L-l) = \Delta L + \Delta l$$

BAIE

$$L = 90 \pm 1 \text{ cm}$$

$$L_{\min} = 89$$

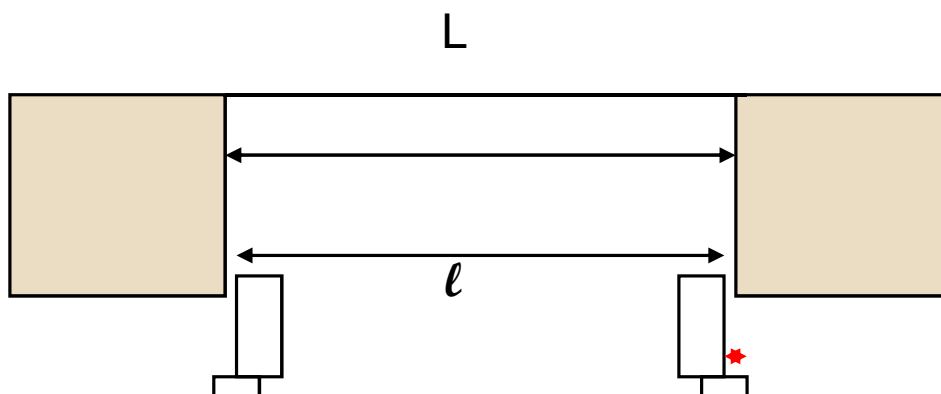
$$L_{\max} = 91$$

Fenêtre

$$l = 885 \pm 5 \text{ mm}$$

$$l_{\max} = 890 \text{ écart} = 0$$

$$l_{\min} = 880 \text{ écart} = 3 \text{ cm}$$



Erreur Tolérance

14

- La notion de valeur absolue
 - Les erreurs s'ajoutent
 - $X_{\max}=X+\Delta X$ pour le plus grand et $Y_{\min}=Y-\Delta Y$ pour le plus petit
 - $X_{\max}-Y_{\min}=\Delta X + \Delta Y$

Les savoir-faire métier ont intégré ces notions

15

- La fenêtre ou la porte et ses couvres joints
- Les plaques de Fx Plafond et les rails
- Les plinthes en rive de carrelage
- La baignoire entre deux murs et ses faiences
- etc.



La chaîne de cote:

17

On vient de voir le cas simple un objet fabriqué par un corps de métiers et un réceptacle par un autre corps de métiers.

Et de quelle manière on peut simplement par la cotation prévenir les conflits.

Maintenant qu'en est-il quand on a plusieurs objets dans un réceptacle?

On étudiera pour cela le cas d'une salle de bain avec sa baignoire, son lavabo, un lave-linge et le rayon de giration du fauteuil handicapé à respecter.

Cet exemple est à la fois simple et très courant, puisque présent dans chaque logement construit.

Il présente de plus un intérêt pédagogique, en effet les murs de la salle de bains vont constituer le réceptacle,

Tandis que le lave-linge, le lavabo et la baignoire seront les pièces constitutives de la fonction salle de bain.

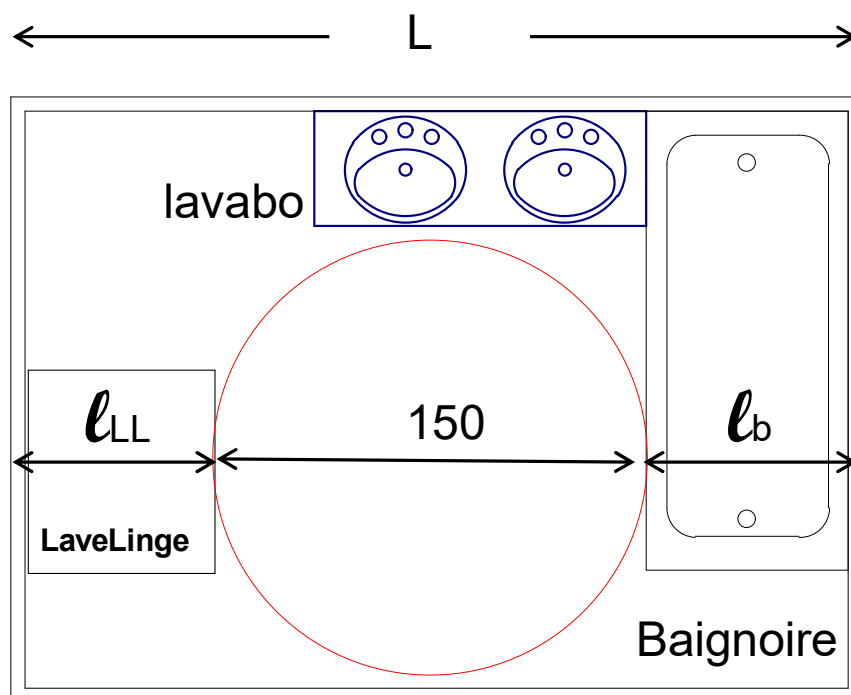
Et la condition de rayon de giration du fauteuil sera une condition de fonctionnalité.

Et pour que cela fonctionne correctement il faut pouvoir, dans le réceptacle fabriqué avec ses tolérances dimensionnelles, positionner les éléments constitutifs de la fonction avec leurs contraintes dimensionnelles et tout ceci en respectant la condition de fonctionnalité.

La chaîne de cote: la salle de bain

18

- Analysons le cas d'une salle de bain
 - Il y a les éléments avec leurs statuts (cote et tolérance)



On se doit d'écrire la condition de fonctionnalité
-à savoir que la distance restante pour le cercle de
giration doit être supérieure à 150 cm

Soit: $L - l_{LL} - l_b > 150 \text{ cm}$

La chaîne de cote: la salle de bain

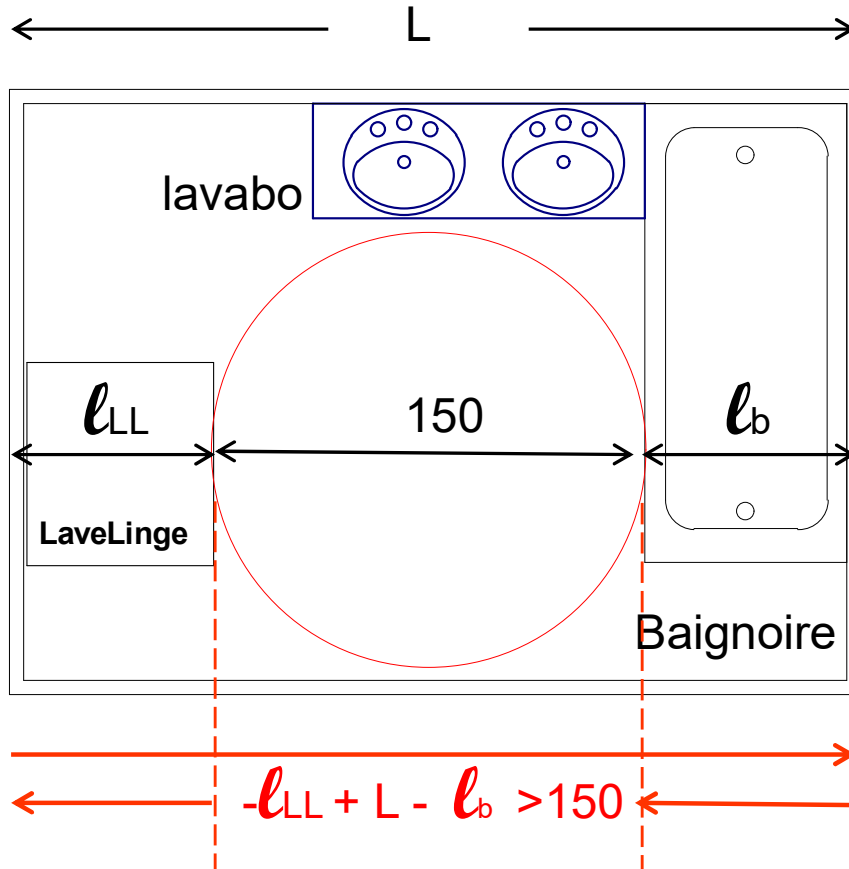
19

Reprenons la condition de fonctionnalité

$$L - l_{LL} - l_b > 150$$

Pour analyser un cas défavorable, à savoir, les plus grands objets dans le plus petit réceptacle fabriqué Nous aurons donc:

$$L_{min} - l_{LLmax} - l_{bmax} > 150$$



La chaîne de cote: la salle de bain

20

La condition de fonctionnalité $L - l_{LL} - l_b > 150$

Ou plus exactement $L_{\min} - l_{LL\max} - l_{b\max} > 150$

Ce qui s'écrit:

$$L - \Delta L - (l_{LL} + \Delta l_{LL}) - (l_b + \Delta l_b) > 150$$

Et après résolution donne:

$$L > 150 + l_{LL} + l_b + \Delta l_{LL} + \Delta L + \Delta l_b$$

Si on fixe $l_{LL} = 60\text{cm}$ et $l_b = 60\text{ cm}$ à $\pm 5\text{mm}$

L devra être supérieur à $150 + 120 + 1 + 0,5 + 0,5 = 272\text{ cm}$

Et on retrouve que les erreurs s'additionnent.

Et que la cote réceptacle doit englober la somme des tolérances des composants.

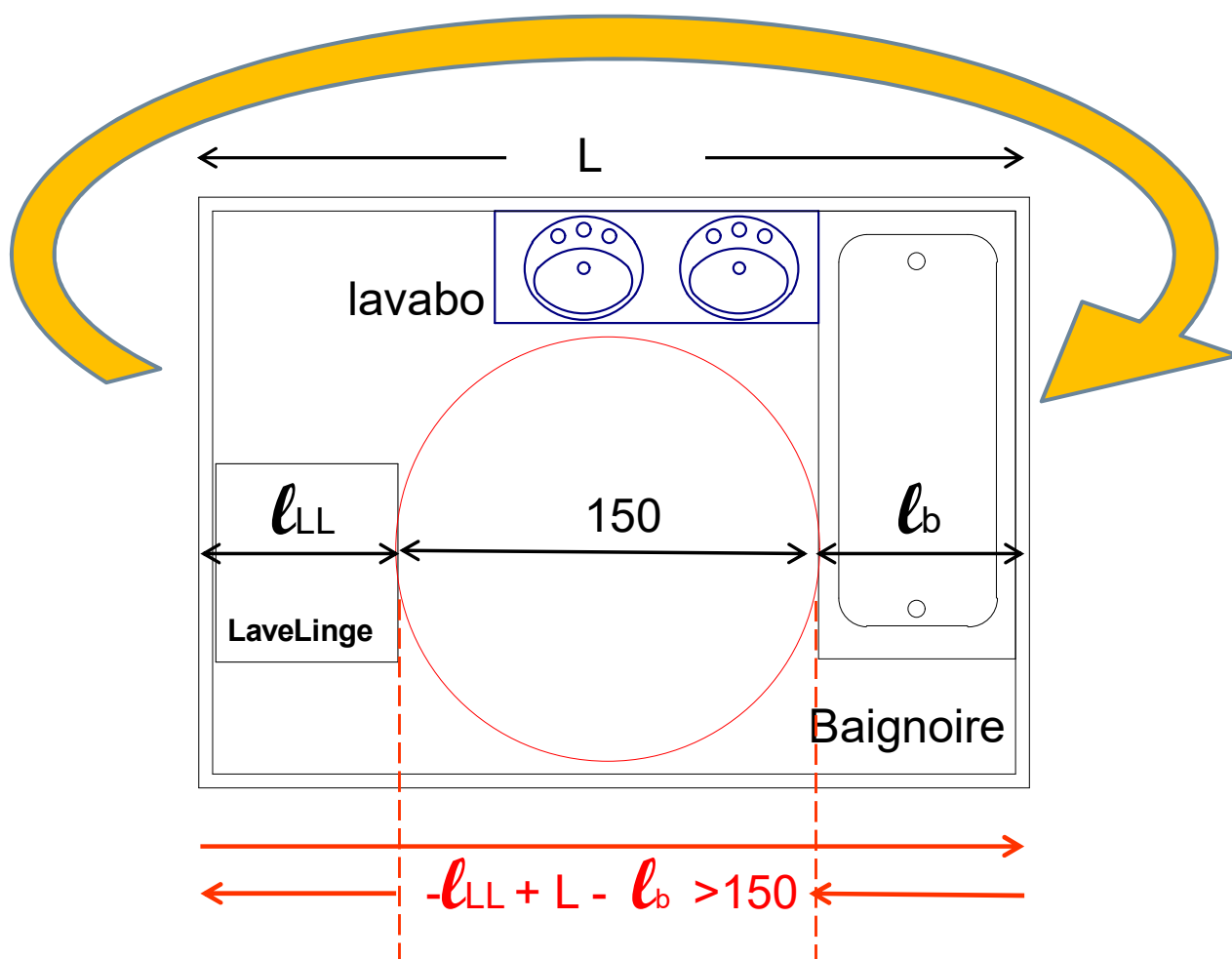
La chaine de cote: la salle de bain

21

La condition de fonctionnalité ainsi écrite

$$L - l_{LL} - l_b > 150$$

Constitue une chaine de cote





4 La notion de cale

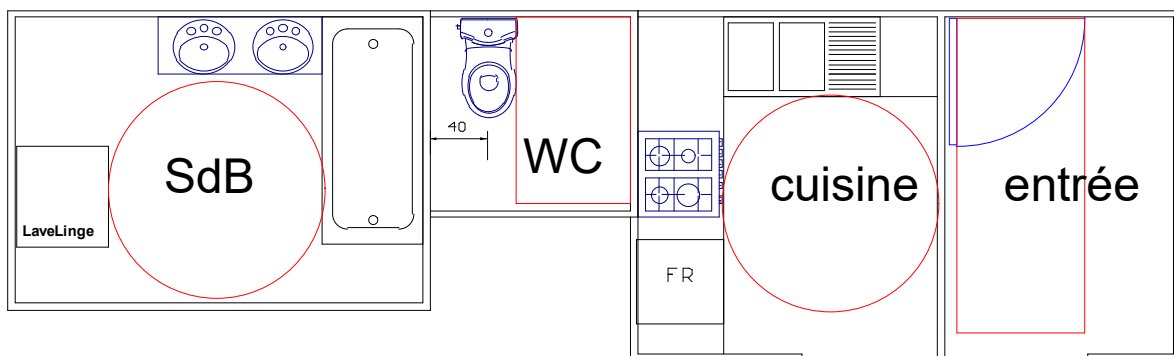
23

Le traitement que nous venons de faire dans la salle de bain pour la longueur de la pièce, on doit faire le même pour la largeur bien sûr.

On obtient ainsi la cotation fonctionnelle de la salle de bain.

On peut bien évidemment faire le même traitement pour un WC, un sas d'entrée et une cuisine.

Nous allons maintenant nous intéresser à ce qui se passe lorsque l'on assemble WC Salle de bain sas d'entrée et cuisine comme dans l'exemple ci dessous.

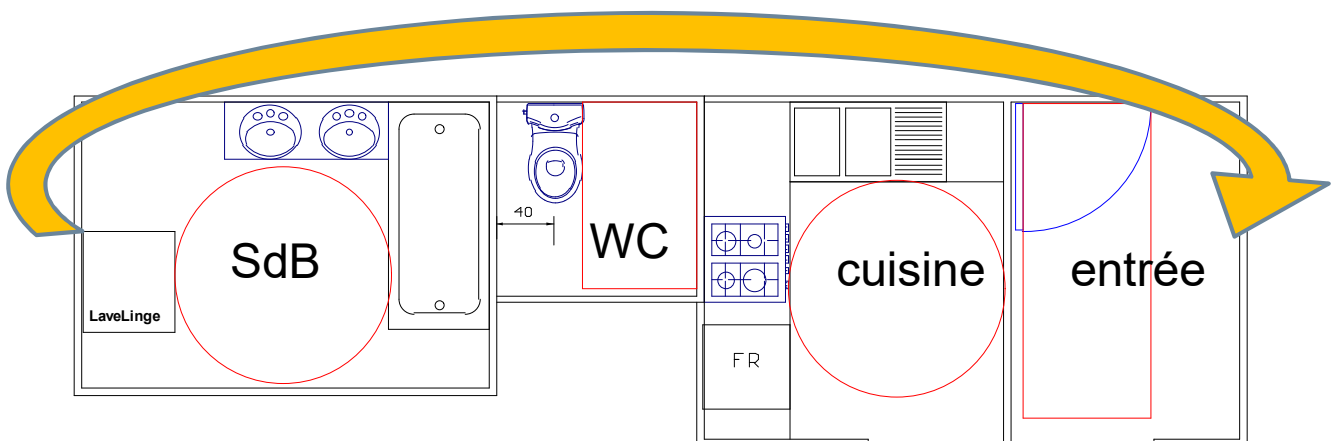


La notion de cale

24

Chaque pièce ayant ses contraintes dimensionnelles, la longueur globale de l'ensemble des pièces va ressortir avec une tolérance, cote mini/cote maxi inacceptable car selon la théorie que les erreurs s'additionnent ..

On aura une chaîne de cote incluant la somme des erreurs possibles sur la salle de bain le WC la cuisine le sas d'entrée ...



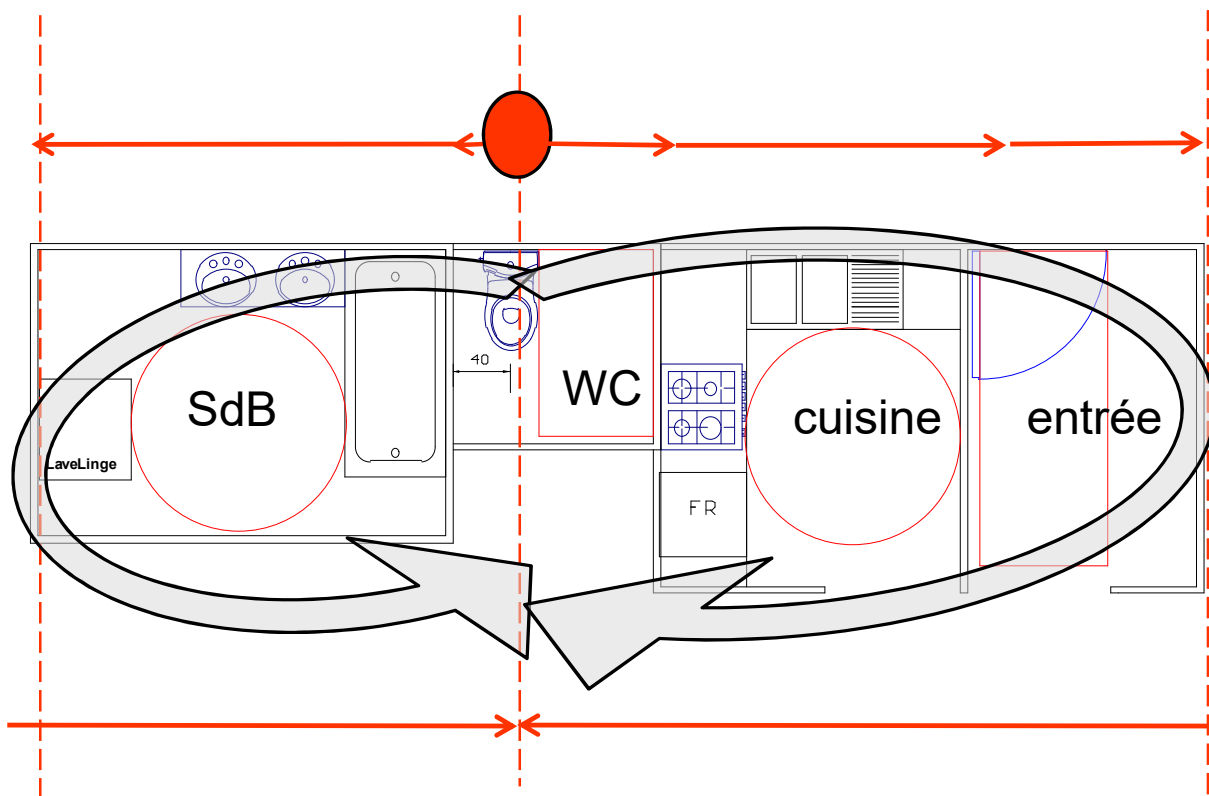
On peut remédier à ce problème en introduisant la notion de cale à savoir de créer un point fixe particulier avec une tolérance et un contrôle renforcé.

Quel sera ce point particulier dans la construction ? On verra un intérêt à choisir comme point fixe(cale) la position de la colonne montante dans le WC par exemple, en effet ce point doit en plus se reporter d'étage à étage et avoir une certaine verticalité.

Et obtenir le fonctionnement en chaîne de cote suivant..

La notion de cale

25



En procédant ainsi, on dédouble les chaînes de cotes, on divise par deux les écarts possibles et on a créé un point relai par étage.

La cotation des plans devra tenir compte de ces choix de conception. La position de la cale devra être cotée et les cotes des pièces calculées en conséquence.

Cotation fonctionnelle et conception

26

- Dans le cas du logement
 - Comment positionner les cales..
 - Quelle cote laisser libre...

Comme on vient de le voir on constituera naturellement une zone pièce humide incluant l'entrée si possible.

Ensuite les façades par nature incluent des éléments de fabrication et tolérances différentes.

Nous aurons donc intérêt à constituer un groupe façade avec une cale dans un angle par exemple.

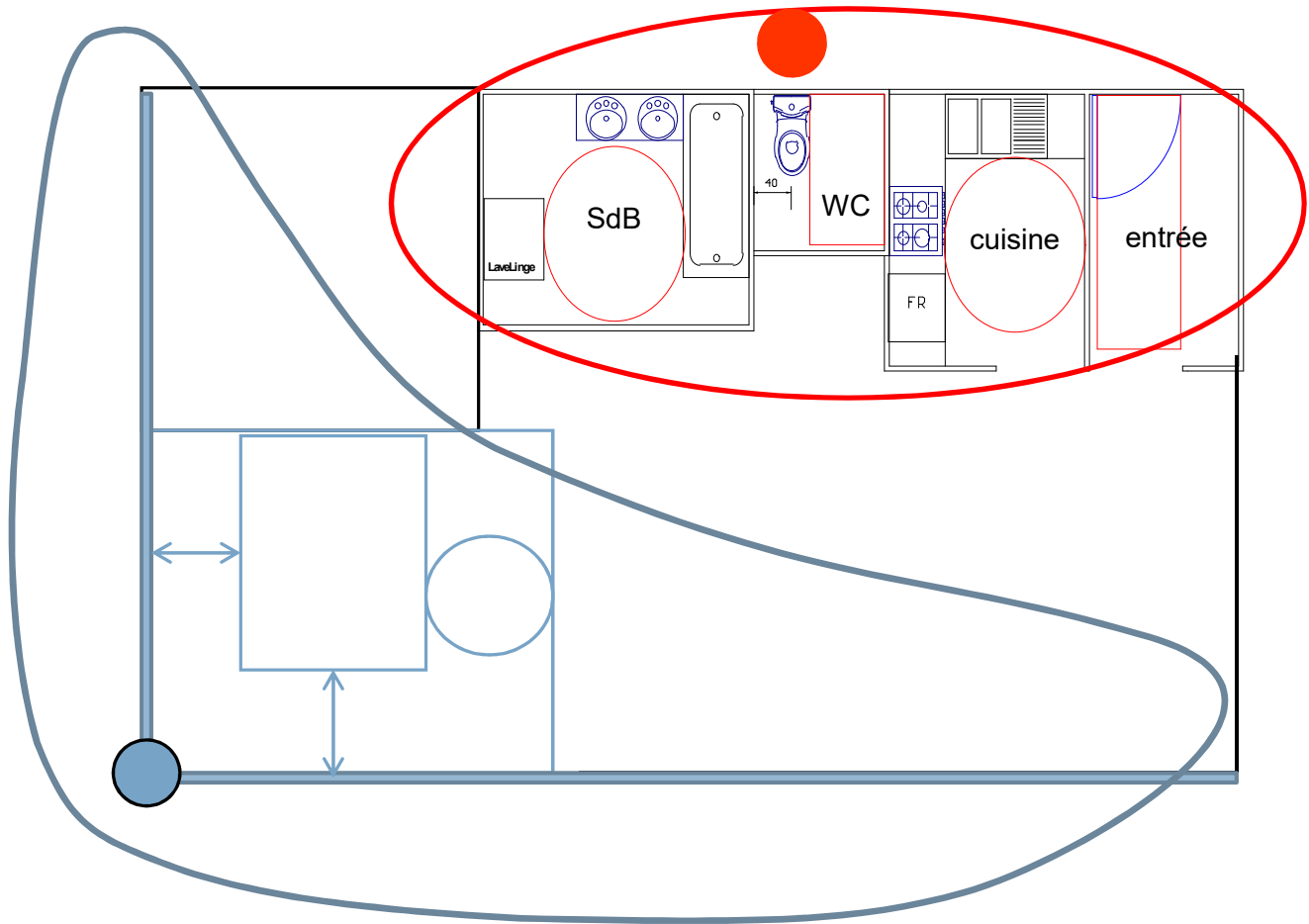
La chambre avec contrainte de handicap sera la bienvenue dans cet angle.

Ces dispositions créent deux groupes distincts et entre ces deux groupes les cotes seront libres de contrainte de tolérance.

On obtient donc le principe de fonctionnement suivant.

Cotation fonctionnelle et conception

27



Ces dispositions créent deux groupes distincts et entre ces deux groupes les cotes seront libres de contrainte de tolérance.

Cotation fonctionnelle et conception

Par l'exemple que l'on vient de traiter nous avons passé en revue les éléments constitutifs d'un logement.

Maintenant regardons ce qui se passe dans un immeuble classique composé de 5 niveaux avec 4 logements aux niveaux.

Les logements vont être assemblés autour d'un point de montée composé d'un escalier, d'un ascenseur, de gaines et de paliers.

Cet ensemble (gaine+ ascenseur+ escalier +palier)constituera à lui seul un groupe.

Il conviendra de coter chaque élément de l'ensemble en tenant compte des différentes contraintes dimensionnelles de chacun d'eux.

Dans cet ensemble nous allons nous arrêter un peu plus longuement sur le cas de l'ascenseur.

Il est lui-même constitué d'éléments ...

- une cabine avec ses rails et ses calages dans une gaine.
- une porte attachée à la cabine qui à chaque étage s'ouvre sur le palier par une baie dans le gros œuvre de la cage d'ascenseur avec un habillage de finition.

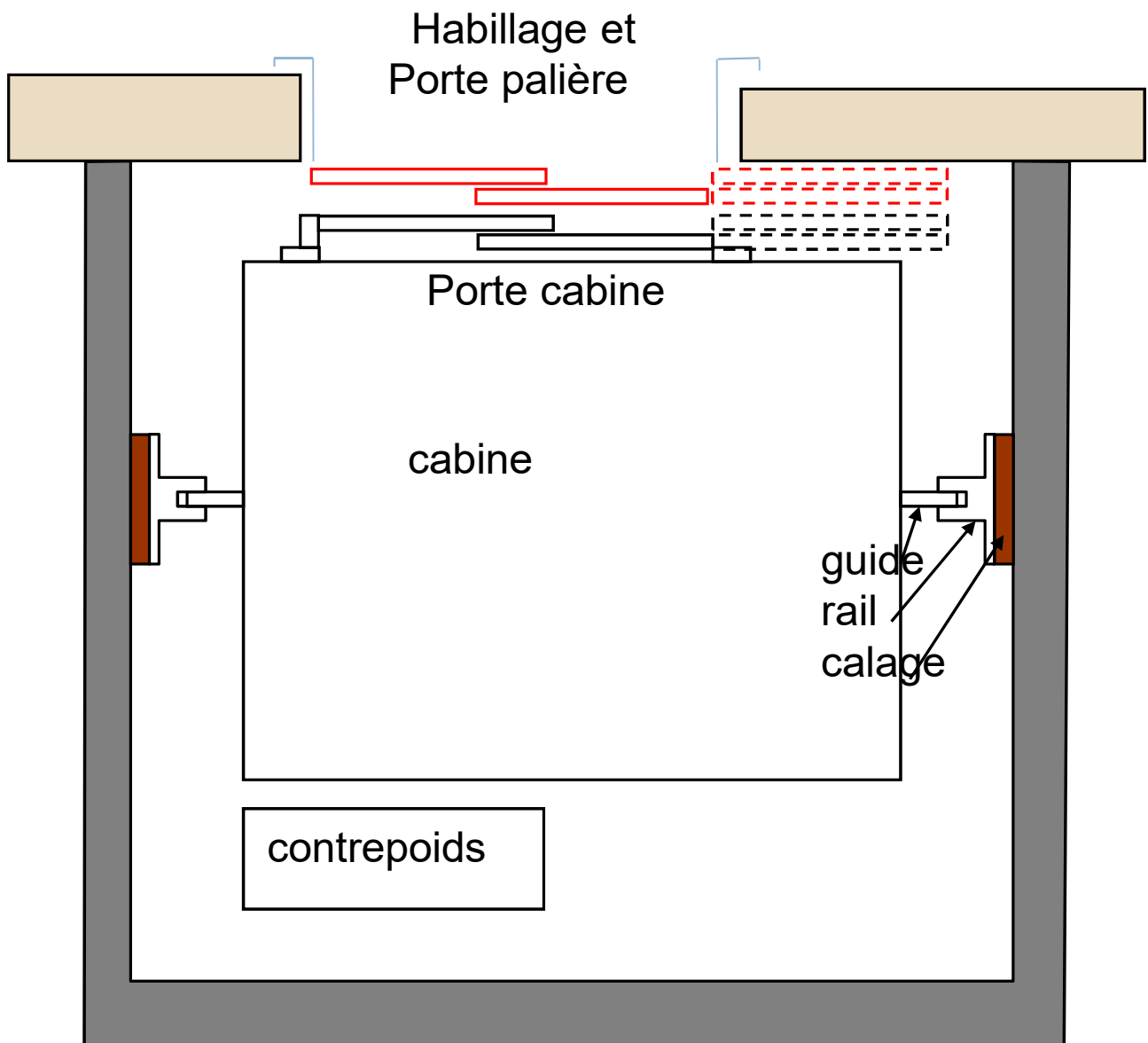
.

Nous nous intéresserons à cet habillage de finition ..

5

L'ascenseur

29



L'ascenseur

Analysons la situation.

-la porte palière dans sa baie avec ses habillages apparait comme un cas classique

-La cabine dans sa cage peut apparaitre comme un cas classique aussi.

En effet la largeur de cage doit être supérieure à la largeur de la cabine.

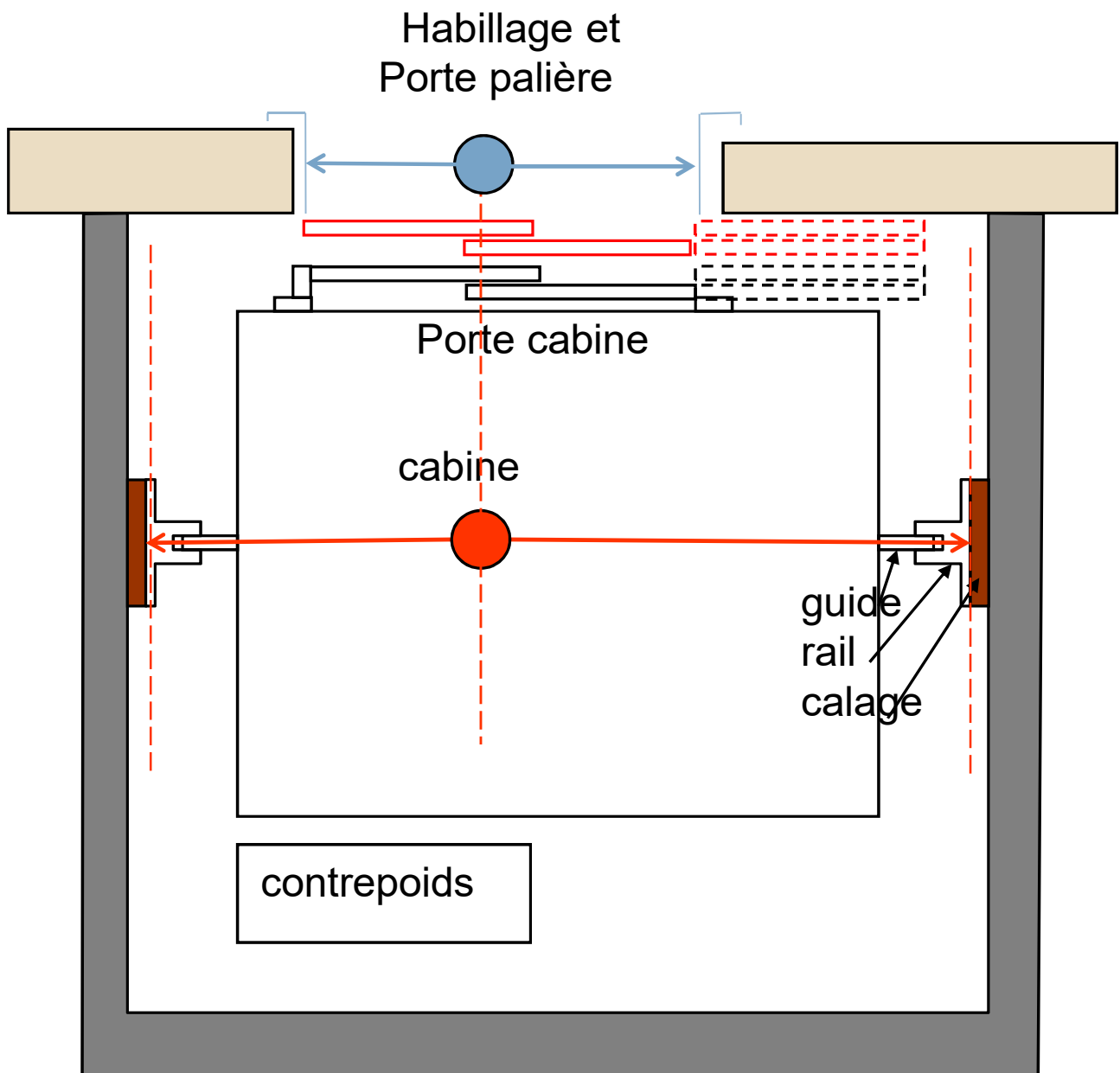
La somme des tolérances de construction cage d'une part et assemblage cabine/rail/guide d'autre part constituant les écarts maxi et mini et dimensionnant les calages.

Apparemment rien de nouveau, si ce n'est que ceci sera contrôlé à tous les étages et que l'ascensoriste va se trouver devant une distribution d'écart et qu'il va choisir un point moyen comme position de sa cabine dans la cage.

Ce point constituera une cale unique (déterminée à posteriori de manière pratique mais que l'on sait calculer) et qui fixera le point de calcul des tolérances pour chaque étage, point qui a lui-même une tolérance de position.

L'ascenseur

31



L'ascenseur

Nous aurons donc un point de calcul des tolérances de baie d'étage avec sa propre tolérance qui servira de base au calcul de la baie et du dimensionnement des habillages latéraux.

Et comme les écarts en tolérance s'additionnent le calcul intègrera la somme des tolérances de position du point, de la baie et de la porte de cabine...

Ce problème se résout assez facilement avec les habillages inox.

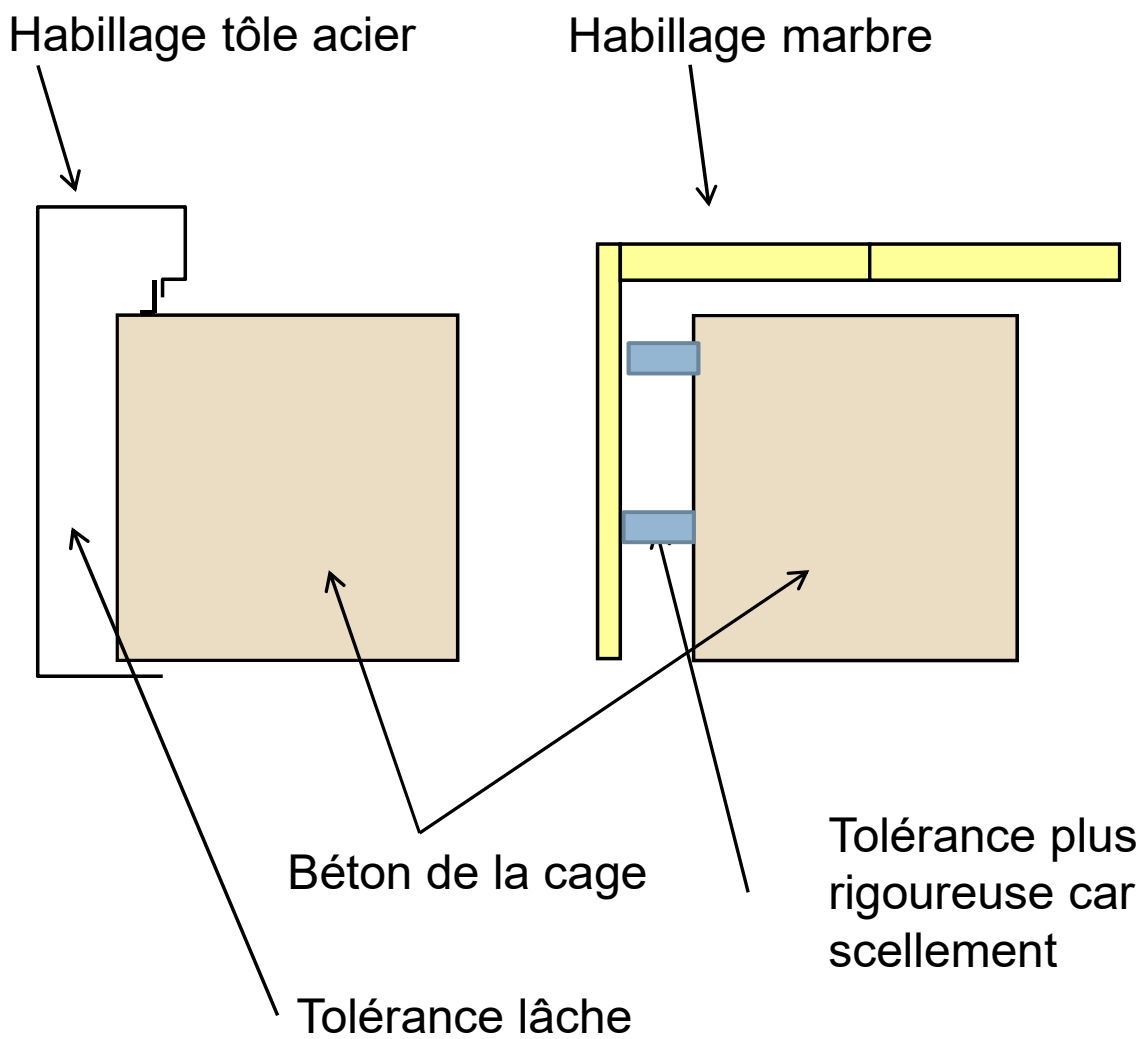
En effet par leur conception ils absorbent facilement les écarts de tolérances.

Ceci devient plus délicat avec les habillages en marbre

Et dans le cas de deux ascenseurs voisins sur le palier, vous pouvez rendre le problème encore plus difficile à résoudre en inversant les contraintes de cotes.

L'ascenseur

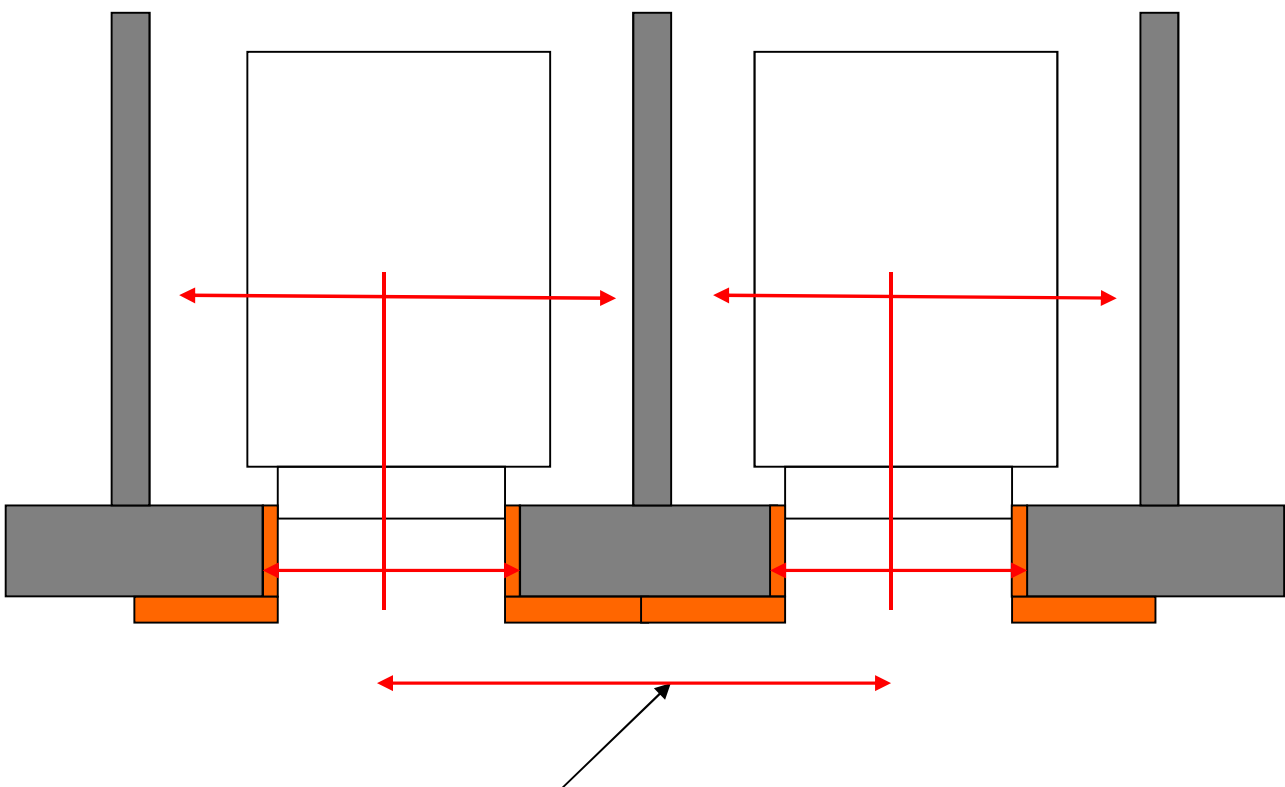
33



L'ascenseur

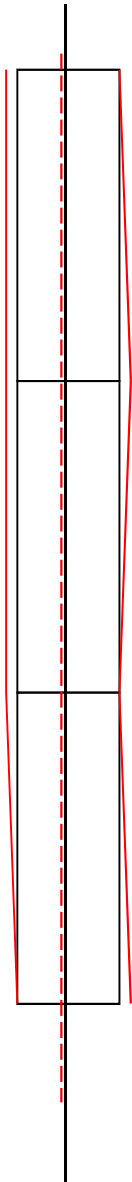
34

Dans le cas de deux ascenseurs voisins le simple fait de calepiner les habillages en marbre de manière trop rigide peut inverser le problème. Comme dans le cas ci-dessous le calepinage des marbres rend la cote entre axe de cabine prépondérante.



Cette cote aura la précision du débit de pierre du marbrier + un joint de pierre + la cote porte palière ascenseur soit qq mm et c'est donc elle qui va guider le dimensionnement des baies. Le calage dans les gaines étant lui relativement facile.

L'ascenseur



Avec l'exemple de l'ascenseur on pourrait aussi s'attacher à faire le raisonnement qui intègre les tolérances de verticalité des gaines.

On se reportera au DTU des ouvrages de gros œuvres pour analyser les tolérances admises en dimension en largeur et en verticalité (le DTU dit 5mm en verticalité et 1 cm en largeur).

Ceci permettant de définir les dimensions enveloppes acceptables au titre des tolérances admises pour la construction de la gaine par le gros œuvre.

L'axe que l'ascensoriste va prendre sera un axe mendant admissible pour sa verticalité il a toute les chances d'être différent de l'axe théorique.

La cotation fonctionnelle permet de calculer les positons enveloppes et de déterminer des cotes de fabrication pour chaque corps de métiers.



6

CONCLUSION

Dans l'exposé nous nous sommes attachés de manière simple et en nous appuyant sur des cas élémentaires de conception en BTP à démontrer ce que pouvait apporter la maîtrise de la cotation fonctionnelle à notre profession.

Nous avons détaillé comment la cotation pouvait tenir compte des tolérances et donc donner aux entreprises de véritables cotes de fabrication .

Nous avons introduit la notion de chaîne de cote en effet une cote est la résultante d'une fonctionnalité recherchée. Le raisonnement en chaîne de cote amené à coter différemment un plan.(l'expression suivre la cote prend tout son sens)

La notion de cale et de position des cales dans le plan va dès la conception architecturale guider le système de cotation du plan de niveau et donner un guide à la cotation sur chantier.

L'exemple de l'ascenseur qui n'a pas été développé jusqu'au bout laisse entrevoir toute les possibilités d'amélioration offerte par la cotation fonctionnelle.

CONCLUSION

Pour que la conception en BIM des projets apporte tous les résultats que la profession attend en matière d'amélioration de la qualité , de juste du premier coup, et donc de gain de temps et d'argent, Il nous semble indispensable que tous les opérateurs de l'acte de conception aient connaissance des techniques de la cotation fonctionnelle.

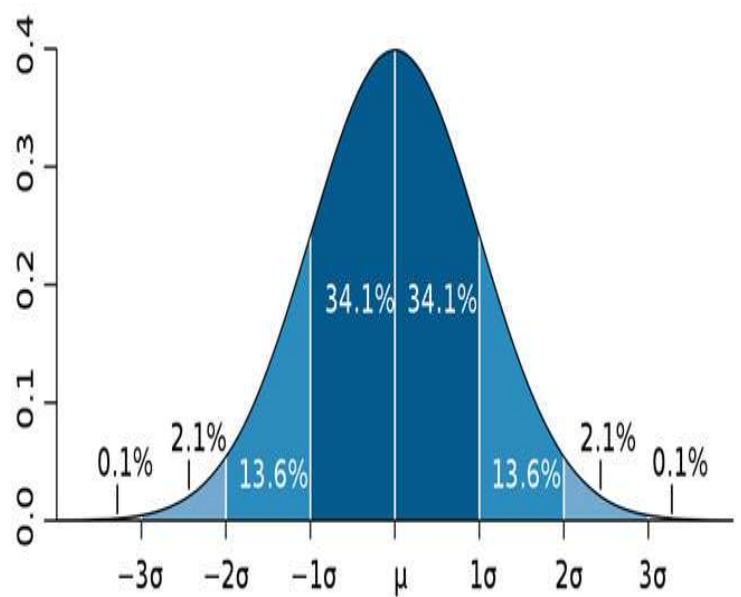
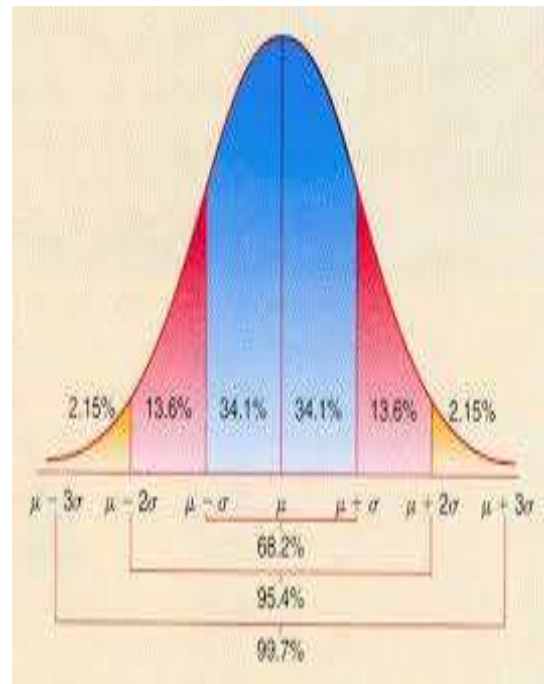
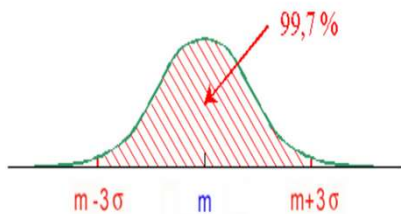
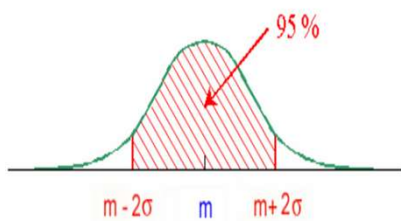
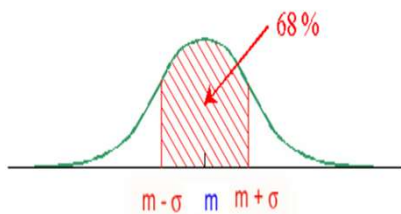
Ces techniques peuvent aller des plus simples (tenir compte de la tolérance pour établir une cote) en passant par la chaine de cote, la notion de cale, etc ..

Il sera simple de progressivement, en se calquant sur l'exemple de l'industrie , intégrer des techniques plus complexes comme celles que nous avons seulement évoquées pour les cages d'ascenseurs par exemple.

7 ANNEXES:

CORBES DE GAUSS PROBALITES

39



ANNEXES:

TOLÉRANCES D'EXÉCUTION DES BAIES ET ÉVIDEMENTS

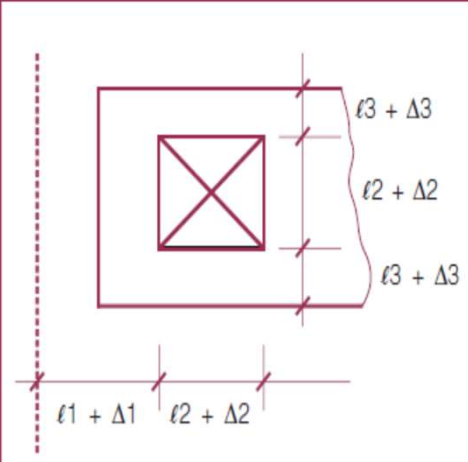
40

La limite supérieure L_s et la limite inférieure L_i correspondent à des écarts dont la probabilité de ne pas être dépassés est respectivement de 95 % et 65 %.

La norme NBN ENV 13670-1 [19] prévoit également des écarts admissibles pour les aspects suivants (voir tableau 8) :

- l'emplacement de l'ouverture ($\Delta 1$)
- ses dimensions ($\Delta 2$)
- sa position par rapport aux parois de l'élément ($\Delta 3$).

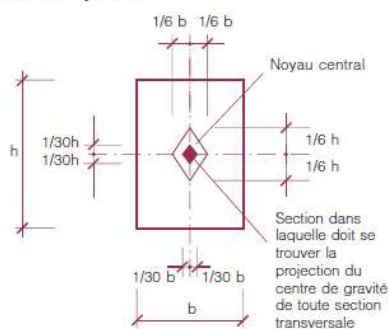
Tableau 8 Ecart admissible sur les baies et les évidements [19].

	Ecart	Classe 1
	$\Delta 1$ $\Delta 2$ $\Delta 3$	$\pm 25 \text{ mm}$

ANNEXES:

TOLÉRANCES D'EXÉCUTION DES BAIES ET ÉVIDEMENTS

Fig. 5 Ecart admissible sur la verticalité d'un pilier.



Pour la même hauteur d'étage, dans le cas des colonnes, la norme NBN ENV 13670-1 [19]

Fig. 6 Ecart admissible sur la verticalité d'une colonne.

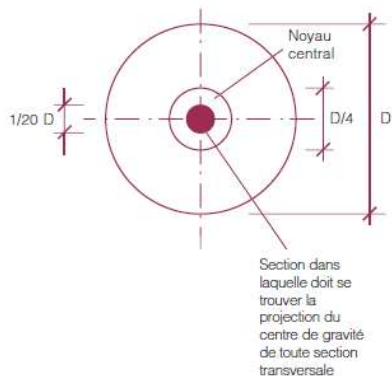
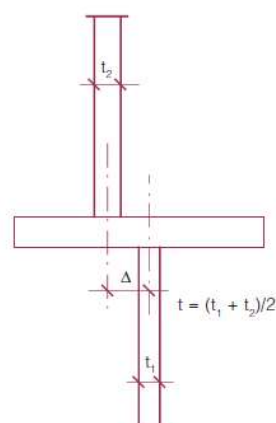


Fig. 7 Ecart admissible sur l'alignement vertical [19].



ANNEXES:

TOLÉRANCES D'EXÉCUTION DES BAIES ET ÉVIDEMENTS

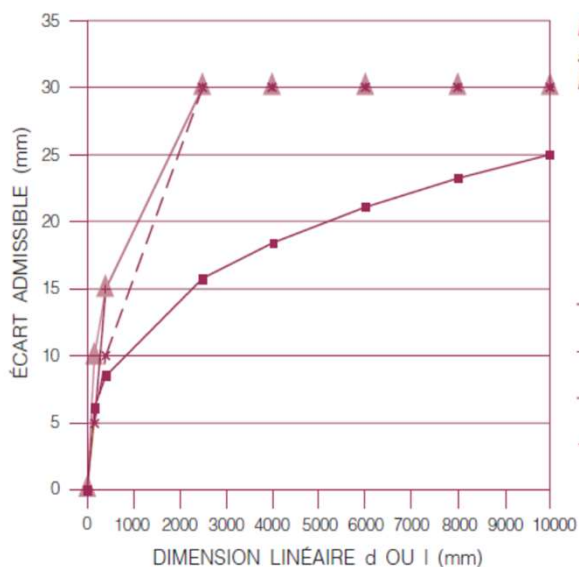
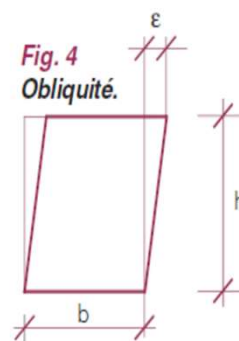
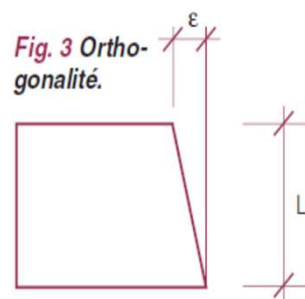
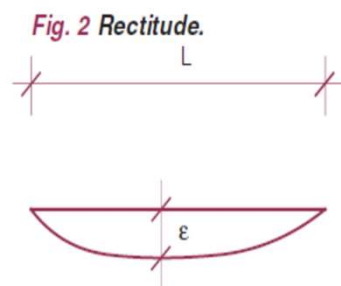


Fig. 1 Ecart admissible sur les dimensions linéaires.

- Selon la NBN B 15-002
- Selon le Cahier général des charges
- ▲ Selon la NBN ENV 136670-1
- ✕ Selon la prEN 1992-1-1 (2003) – contrôle qualité

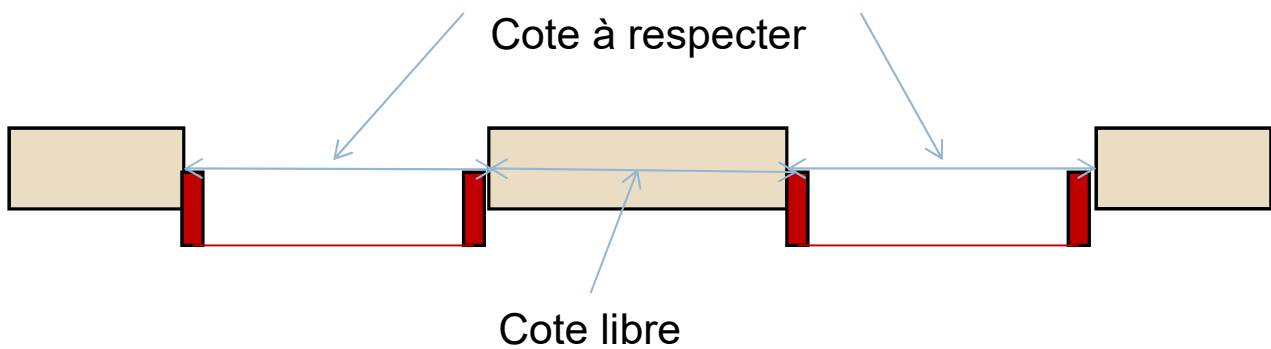


ANNEXES:

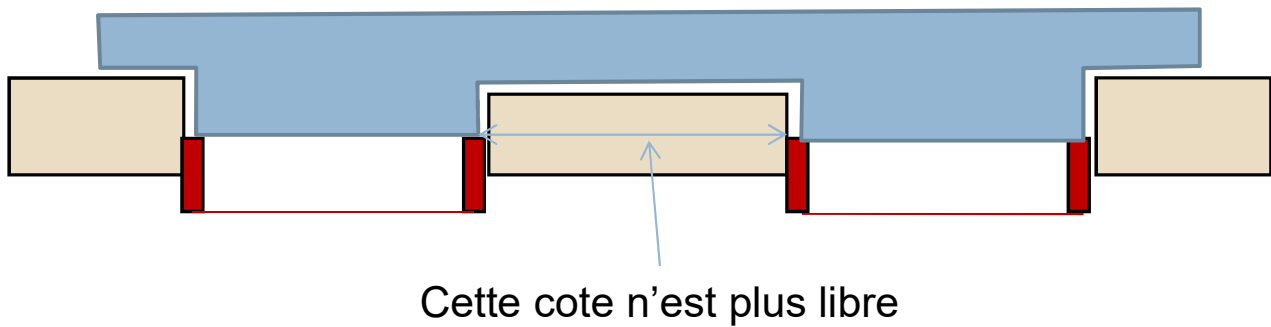
APPUIS POUR DEUX FENETRES

43

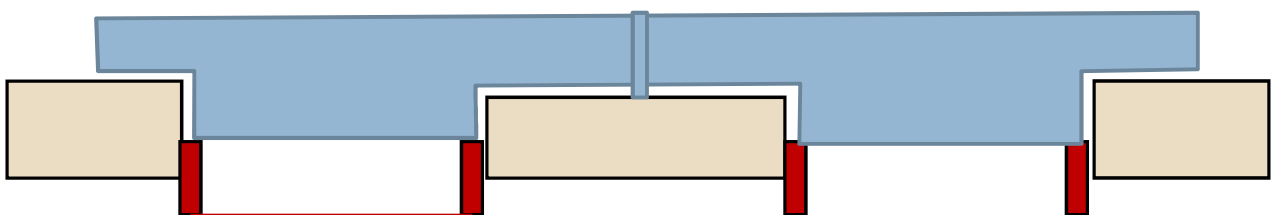
Ce cas est analogue au cas des portes palières dans le cas de deux ascenseurs voisins




Création d'une bavette pour deux fenêtres



Il faut créer un joint de recouvrement





La notion d'erreur
La cotation
Les chaines de cotes
Les cales
Les gabarits
L'inversion des tolerences









COTATION FONCTIONNELLE

