

Circulation mécanique des personnes

Analyses des besoins et du trafic

par **Bernard SPORN**
Ingénieur ESME

1. Analyse des besoins	C 3 720v2	— 2
1.1 Mouvements des populations dans l'espace.....	—	2
1.2 Mouvements des populations dans le temps.....	—	3
2. Analyse de trafic	—	5
2.1 Application des lois de probabilité.....	—	5
2.2 Calcul du temps de cycle théorique en cas de pointe montée.....	—	11
3. Conclusion	—	12

La circulation verticale des personnes est devenue aujourd'hui l'un des paramètres essentiels de la qualité de vie dans tout bâtiment utilisant des ascenseurs. L'évolution simultanée des besoins et de la technologie nécessite, dans le cadre de la définition des équipements d'ascenseurs, la prise en compte de nouveaux éléments.

Les compléments insérés dans le texte original ont donc pour objet d'intégrer ces « nouveautés ».

Si l'approche par le calcul de trafic reste inchangée, l'émergence de nouvelles techniques et l'apparition de nouveaux concepts d'utilisation et de desserte génèrent des solutions applicables aux projets d'ascenseurs dans les immeubles à construire mais aussi à la modernisation des ascenseurs dans des bâtiments existants. Le calcul de trafic intègre ces nouvelles données et la simulation apporte ses avantages à la détermination des équipements d'ascenseurs.

Sous la pression des promoteurs, des utilisateurs, des bureaux d'études, des constructeurs et grâce aux progrès technologiques, la définition de l'équipement d'ascenseurs se fait de plus en plus précise pour accéder au difficile compromis lié aux deux principaux besoins, à savoir : minimiser l'encombrement des installations d'ascenseurs tout en améliorant le confort à travers la réduction du temps d'attente et du temps de transport. Les interfaces qui assurent le dialogue entre usagers et ascenseurs (boîtes à boutons et indicateurs paliers et cabines) se diversifient pour participer à cette évolution. Les besoins changent, les solutions évoluent, les hypothèses de calcul de trafic aussi.

Par ailleurs et d'une façon générale, la mobilité des personnes est en perpétuel accroissement et, en conséquence, le trafic vertical augmente dans tous les types de bâtiments. Pour exemples :

- en immeubles de bureaux : la recherche d'une meilleure communication en interne et en externe se traduit par plus de déplacements de personnes ;
- en milieu hospitalier : la réduction de la durée d'hospitalisation et l'augmentation des consultations conduisent à des flux de circulation plus importants.

Qu'est-ce qu'un ascenseur ?

Un ascenseur est un moyen de transport sur un axe vertical au même titre que les trains, les avions, le métro, la voiture le sont sur des axes horizontaux. Comme eux, il sera soumis aux mêmes lois : capacité de transport, temps de transport, attente, saturation, sécurité, etc.

L'architecture évolue... dans son style, dans son action. Ce n'est plus un bâtiment isolé qui en sera l'objet. Ce ne sera même pas un ensemble architectural, aussi grand soit-il (place Vendôme, place de la Concorde, place des Vosges) mais une nouvelle dimension : la ville entière doit être pensée, modelée, préparée.

Ce stade ne suffit déjà plus. Il faut aller plus loin, ce sont les plans directeurs de districts, de région, etc.

Quelle est la raison profonde de cette évolution ? : la nécessité des liaisons des immeubles entre eux, des ensembles d'immeubles les uns avec les autres, des villes entre elles. Les échanges s'intensifient et il convient de les prévoir. Sur le plan horizontal, les services apparaissent évidents, mais le transport vertical, ponctuel, est laissé à l'abandon. Ne mettant pas directement en cause la vie de la communauté, il n'intéresse donc que ses propres utilisateurs qui ne peuvent souvent que le subir.

L'ascenseur objet n'a été qu'un luxe qui gaspille de la place. Monter des étages à pied est un exercice physique salutaire. Cependant, la recherche actuelle va vers une transformation radicale des principes de transport (fonction et moyens de transfert) et une réduction du temps.

Le transport horizontal débouche donc inéluctablement sur le transport vertical. C'est le relais qui va prendre en charge un nombre de plus en plus grand de personnes.

La technique a rendu possible la mutation des transports horizontaux en :

- accélérant les vitesses ;
- multipliant les départs ;
- aménageant les correspondances.

*L'ascenseur a été longtemps considéré comme un **moyen** coûteux par son prix, gaspilleur de mètres carrés et pratiquement superflu.*

Mais il y a également transformation.

Sachant que les vitesses sont limitées par les courses possibles et les arrêts probables, les techniques de traction ont été améliorées au fil des années et, en particulier, les contrôles d'accélération, de décélération et de nivelage. Les systèmes de manœuvre ont eux aussi bénéficié des progrès techniques. De plus, de nouveaux concepts d'utilisation et de desserte permettent aujourd'hui d'accroître encore l'efficacité des installations.

Évolution de l'architecture

L'architecte se fait urbaniste

1. Analyse des besoins

Comme pour tout transport en commun, il convient de définir les mouvements dans l'espace et dans le temps.

1.1 Mouvements des populations dans l'espace

Les mouvements à examiner sont de deux natures : ils sont soit liés à l'extérieur, soit internes.

1.1.1 Mouvements liés à l'extérieur

Ce sont les mouvements d'entrée et de sortie. Ils sont tributaires d'éléments physiques tels que la situation géographique de l'immeuble, la situation de l'immeuble dans le réseau de communications, la destination de l'immeuble.

■ Situation géographique de l'immeuble

Il faudra tenir compte :

- de l'influence de la région ;
- des caractères économiques dominants ;
- de l'évolution prévisible de l'environnement.

Des immeubles de même type construits dans des endroits totalement différents (Paris, Berlin, Turin) n'auront absolument pas les mêmes mouvements d'entrée et de sortie. Tout est lié au facteur humain, tributaire de la région et de son type d'économie. De plus, l'évolution du site dans le temps fera évoluer la situation.

Ces éléments doivent donc être pris en compte pour bâtir un programme adéquat après avoir établi les hypothèses.

■ Situation de l'immeuble dans le réseau de communications

Là encore, il convient de mesurer l'impact des moyens d'accès, leur rythme, leur importance et leur proximité. Ils vont en effet conditionner l'ampleur et la durée des mouvements.

■ Destination de l'immeuble

Il y aura bien entendu les grandes familles, bureaux, habitations, hôtels, hôpitaux, industrie, etc., mais, à l'intérieur de chacune de ces familles, il convient de préciser les caractéristiques propres à chaque unité.

Il n'y a pas de solution universelle, chaque cas doit être examiné, analysé en fonction de critères aussi précis que possible, pour une définition des hypothèses raisonnables de travail.

Cette première analyse va permettre de définir l'ampleur de ces mouvements d'**entrée** et de **sortie** qui sont directement liés à l'extérieur du bâtiment et qui seront :

- depuis l'entrée dans le bâtiment vers les étages, des mouvements divergents ;
- depuis les étages vers la sortie, des mouvements convergents.

1.1.2 Mouvements internes

Ces mouvements dépendent totalement de la destination du bâtiment et sont engendrés par sa population propre et par ses visiteurs éventuels. Leur importance en volume est relativement faible, souvent élevée et continue en fréquence.

Ils sont en général caractérisés par des déplacements d'apparence anarchique avec, de temps en temps, des regroupements entraînant des mouvements convergents et divergents simultanés.

1.2 Mouvements des populations dans le temps

1.2.1 Introduction aux régimes

Les régimes régissant les mouvements sont déclenchés par le rythme de vie de l'immeuble.

Les événements qui se présenteront seront caractérisés par la présence ou non d'une heure *privilégiée*. Enfin ces événements engendreront :

- soit des **déplacements massifs** :

- entrée,
- sortie,
- repas,
- conférence,

qui, par la masse des personnes en mouvement et les courants de circulation, exigeront des moyens de transport importants, des stations correspondantes et des transferts bien dégagés et balisés ;

- soit des **déplacements unitaires**, et là, il s'agit de satisfaire dans les délais les plus courts les demandeurs isolés à chaque station.

1.2.2 Lois régissant les mouvements de population

Les déplacements à envisager sont de plusieurs natures, selon qu'ils sont ou non soumis à un choix horaire.

Les lois qui les régissent sont différentes, mais découlent des calculs de probabilité. Nous distinguerons donc les différents régimes observés : transitoires et permanent.

1.2.2.1 Régimes transitoires

Ce sont ceux pendant lesquels nous observons des déplacements massifs :

- soit dans un seul sens (heures d'arrivée-montée, heures de départ-descente) ;
- soit en sens croisé.

Les heures de repas correspondent à des mouvements de descente et de montée pouvant se superposer.

Ces régimes concernent une partie des mouvements à l'intérieur du bâtiment, mais se caractérisent par leur volume.

L'ensemble de ces mouvements sera régi par la loi de Gauss.

Cette distribution se caractérise par l'existence d'un impératif horaire :

- heure d'entrée ;
- heure de départ.

1.2.2.1.1 Loi de Gauss

Cette loi s'exprime sous la forme suivante : $\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$

Cette écriture simplifiée de la loi de Gauss exprime la densité de probabilité de l'écart t de l'heure d'arrivée d'un usager autour de l'heure visée, la valeur moyenne des temps étant 0.

En prenant l'écart-type σ comme unité, ce qui veut dire que le temps t est exprimé en nombre de fois l'écart-type σ , et l'heure moyenne d'arrivée des usagers (heure visée théorique) comme origine des temps, nous aurons la représentation graphique de la courbe de Gauss de la figure 1.

La surface S de cette courbe située en dehors des points $t = \pm 2,5 \sigma$ est négligeable. Entre ces points nous aurons :

$$F(t)_{\max} = 0,3989$$

$$S = 0,9973 \text{ soit pratiquement } 1$$

On peut donc assimiler, sans erreur grossière, la surface de la courbe comprise entre les points $\pm 2,5 \sigma$ à celle d'un triangle.

1.2.2.1.2 Application à la recherche du flux

σ est l'écart quadratique type.

Nous pouvons dire qu'il correspond à la précision de chacun à l'intérieur de l'horaire global. Chaque individu vise en effet sa propre heure d'entrée en fonction de l'heure théorique, de sa précision et des moyens de transport.

Si

- 3 individus arrivent avec une précision de 5 min ;
- 8 individus arrivent avec une précision de 6 min ;
- 15 individus arrivent avec une précision de 10 min ;
- 3 individus arrivent avec une précision de 15 min ;
- 20 individus arrivent avec une précision de 3 min ;

nous pourrions écrire :

$$\sigma = \sqrt{\frac{3 \times 5^2 + 8 \times 6^2 + 15 \times 10^2 + 3 \times 15^2 + 20 \times 3^2}{3 + 8 + 15 + 3 + 20}} = 7,44 \text{ min}$$

L'étalement des entrées sera : $E = 5 \sigma$.

Dans ce cas $E = 5 \times 7,44 = 37,2 \text{ min}$.

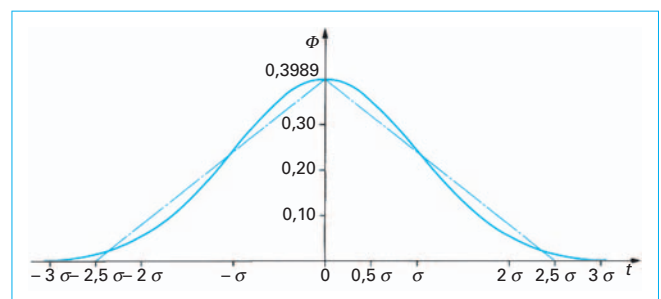


Figure 1 – Mouvements de population selon la loi de Gauss

Le flux maximal est pendant 1 min :

$$\phi = \frac{AP \times 0,3989}{\sigma} \quad (\text{selon Gauss})$$

$$\phi = \frac{2AP}{5\sigma} = \frac{0,4AP}{\sigma} \quad (\text{assimilation au triangle})$$

avec P population considérée corrigée par un coefficient A qui prend en compte le taux d'absentéisme pour raisons diverses.

Comme il est d'usage d'examiner le flux sur la période de 5 min la plus chargée :

$$\phi \text{ en 5 min} = \frac{0,4 AP \times 5}{\sigma} \approx \frac{0,3989 AP \times 5}{\sigma} \quad (1)$$

Un exemple d'application est donné dans le tableau 1.

Tableau 1 – Temps d'étalement avec $A = 0,9$				
σ (min)	Flux maximal ϕ en 5 min (en % de la population P)		Temps d'étalement E	
	Gauss	Triangle	Gauss (min)	Triangle (min)
5	35,9	36	25,06	25
6	29,91	30	30,08	30
7	25,64	25,71	35,09	35
8	22,44	22,5	40,11	40
9	19,94	20	45,12	45
12	14,96	15	60,16	60
18	9,97	10	90,24	90
24	7,48	7,5	120,32	120

1.2.2.1.3 Entrée

Dans la pratique, on observe des phénomènes qui semblent différents.

En fait, ils sont tous réglés par cette même loi, mais selon le type d'immeuble et d'horaires, nous aurons une subdivision de la population globale P en sous-groupes $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$.

Chacun de ces groupes, bien qu'ayant ses propres caractéristiques et impératifs, se comportera selon les mêmes lois et nous aurons alors à faire la sommation des différentes courbes pour obtenir la courbe enveloppe qui nous indiquera le flux maximal.

Exemple :

- $P_1 = P/5$ en 30 min à H d'où $\sigma = 6$
- $P_2 = P/3$ en 35 min à $H + 10$ min $\sigma = 7$
- $P_3 = P/6$ en 20 min à $H + 20$ min $\sigma = 4$
- $P_4 = P/5$ en 40 min à $H + 30$ min $\sigma = 8$
- $P_5 = P/10$ en 25 min à $H + 40$ min $\sigma = 5$

avec H heure d'entrée théorique.

La représentation en est donnée figure 2.

1.2.2.1.4 Sortie

La différence essentielle dans l'analyse du flux viendra du fait que, pour l'entrée, les personnes viennent de l'extérieur et que, par conséquent, leur propre précision σ est fonction d'un nombre important de facteurs indépendants de leur volonté.

Par contre, pour la sortie, elles sont sur place et leur précision de départ sera totalement différente.

Le σ diminue sensiblement et cela, selon les occupations de chaque étage, la nature, la fréquence et la proximité des moyens de transport.

1.2.2.2 Régime permanent. Loi de Poisson

C'est celui que l'on observe dans la majeure partie de la journée.

Aucune heure particulière n'est visée. Dès lors, les mouvements des personnes seront régis par les lois de Poisson.

Il convient alors d'examiner les probabilités de regroupement des usagers devant les stations (ou paliers). Elles seront fonction de la population intéressée à chaque étage et de sa mobilité.

Cette probabilité de regroupement s'exprime de la façon suivante :

$$P_n = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

avec t intervalle de temps considéré pour l'observation,

λ taux moyen de ces demandes par unité de temps,

n nombre de personnes pouvant se regrouper.

L'écart-type quadratique moyen du nombre d'usagers est $\sqrt{\lambda t}$.

D'où le flux à envisager pour chaque étage considéré :

$$\lambda t \pm \sqrt{\lambda t}$$

■ Exemple de distribution poissonnienne :

$$\lambda = \frac{9}{35} \quad t = 35 \text{ s} \quad P_n = \frac{9^n \times e^{-9}}{n!}$$

n	P_n	n	P_n	n	P_n
1	0,001 1	9	0,131 8	17	0,005 8
2	0,005 0	10	0,118 6	18	0,002 9
3	0,015 0	11	0,097 0	19	0,001 4
4	0,033 7	12	0,072 8	20	0,000 6
5	0,060 7	13	0,050 4	21	0,000 3
6	0,091 1	14	0,032 4	22	0,000 1
7	0,117 1	15	0,019 4		
8	0,131 8	16	0,010 9		

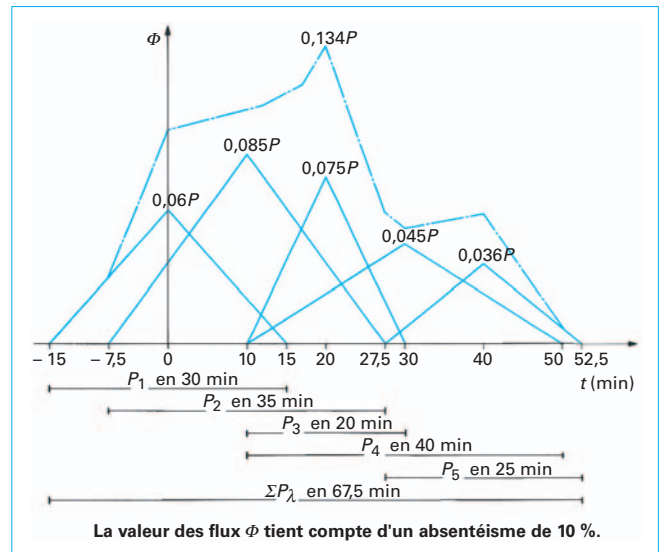


Figure 2 – Flux de population

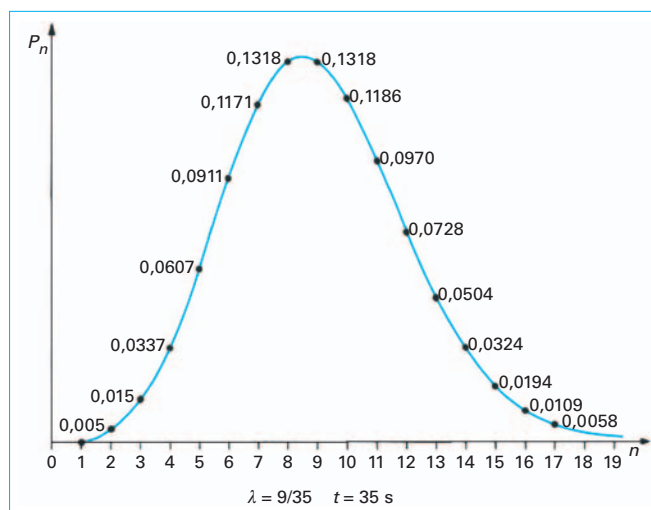


Figure 3 – Mouvements de population selon la loi de Poisson

La représentation en est donnée figure 3.

Dans ce cas, la prise en charge du groupe demandant l'ascenseur ne pourra être assurée par une possibilité de chargement de :

$$9 \pm \sqrt{9}$$

soit entre 6 et 12 personnes.

2. Analyse de trafic

2.1 Application des lois de probabilité

Il s'agit de déterminer l'ampleur des mouvements à prendre en compte en fonction des lois du trafic. Pour cela, il convient de poser les hypothèses raisonnables et crédibles des mouvements aux différentes périodes.

Il faudra s'attacher à absorber les flux par des moyens appropriés.

2.1.1 Recommandations

Absorber les flux (**pour des périodes de trafic important**) conduira à définir la qualité du service ascenseur pour les usagers. Pour ces derniers, la qualité du trafic s'apprécie principalement à travers le temps d'attente, celui-ci dépendant de l'intervalle.

En fonction du type de bâtiment et donc des utilisateurs, les exigences, tant du point de vue des flux (capacité de transport) que du temps d'attente, varient.

À l'exception de demandes ou contraintes spécifiques, les recommandations suivantes sont habituellement prises en compte dans les études de trafic.

Ces recommandations reprennent donc les 2 critères « clés » de l'étude de trafic : la capacité de transport et l'intervalle maximal probable pendant les 5 minutes de trafic le plus contraignant.

■ Habitations

Le CSTB a édité en octobre 1978 le DTU n° 75-1. Cette recommandation précise les hypothèses du calcul de trafic à savoir :

- population de l'immeuble : une personne par pièce principale plus une personne par logement ;
- capacité de transport : 7,5 % de la population en descente ;
- intervalle maximal probable : doit être inférieur à 100 secondes pour un service moyen ;
- durée maximale du parcours : doit être inférieure à 100 secondes pour un service moyen.

Dans ce document, un tableau à lecture directe permet, en fonction des hypothèses ci-dessus, de définir l'équipement minimal d'ascenseurs correspondant (ascenseurs de caractéristiques dynamiques moyennes).

Rappelons que l'approche par le calcul de trafic tient compte des caractéristiques techniques spécifiques au matériel envisagé (par exemple, le temps d'étage à étage lié au mode de traction). Le service rendu est par conséquent fonction des solutions retenues.

De plus, ces hypothèses peuvent être revues dans le calcul de trafic pour accéder à un meilleur service ascenseurs en fonction du standing de l'immeuble : augmentation de la capacité de transport jusqu'à 10 % et diminution de l'intervalle maximal probable sous les 60 secondes.

■ Bureaux

Le dossier [C 3 721] définit l'approche spécifique aux immeubles de bureaux par l'intermédiaire de l'étude des flux de circulation.

Dans ce type de bâtiment, les recommandations évoluent aussi avec le « standing » et elles vont :

- d'une capacité de transport de 9 % de la population du bâtiment pour un intervalle maximal probable de 60 secondes ;
- à 15 % de la population pour un intervalle de 25 secondes.

Ces critères doivent habituellement être examinés dans les périodes de trafic le plus intense : pointe montée (embauche), trafic bidirectionnel (déjeuner) ou autre.

■ Hôtels

Le nombre d'étoiles caractérise la « qualité » d'un hôtel et le service ascenseur doit être en adéquation avec ce standing.

Dans un flux de circulation de type croisé :

- la capacité de transport variera de 9 à 15 % du nombre total de résidents ;
- et, en parallèle, l'intervalle maximal probable sera de 80 à 30 secondes.

■ Cliniques et hôpitaux

La spécificité de chaque bâtiment sera prise en compte : privé/public, centre de soins/maison de retraite...

L'étude de circulation verticale de type bidirectionnelle ou montée se fera en fonction de l'immeuble et de son organisation :

- pour une capacité de transport de 8 à 14 % de la population considérée (personnel médical, visiteurs, consultations, distributions des repas...) ;
- et pour un intervalle maximal probable de 100 à 40 secondes.

■ Commerces

Étant donné la diversité de ce type d'établissement, les besoins couvrent une large palette : entre 10 et 15 % de la population avec un intervalle maximal probable de 100 à 40 secondes pour des flux unidirectionnels ou bidirectionnels.

■ Établissements d'enseignement

Publics ou privés, ces bâtiments équipés d'ascenseurs satisfont en général aux critères suivants lors des pointes montées : capacité de 8 à 10 % et intervalle maximal probable correspondant de 100 à 60 secondes.

2.1.2 Hypothèses de base. Période d'entrée

La première recherche portera sur la détermination de la population P à prendre en compte. Cette population est fonction de la surface de l'immeuble et de son type.

La deuxième consistera, après examen de la situation de l'immeuble dans son contexte, à estimer raisonnablement le temps d'étalement prévisible pour les entrées des personnes.

Il faudra ensuite définir la qualité du service demandé en fonction de l'intervalle désiré I_d .

Ces hypothèses : population P , temps d'étalement E , intervalle désiré I_d , coefficient d'absentéisme A vont permettre une approche du problème.

2.1.2.1 Flux

Connaissant ces données, on peut trouver le flux des arrivants en

$$\begin{aligned} 5 \text{ min : } \quad \phi &= \frac{0,4AP \times 5}{\sigma} \\ \text{Or} \quad \quad \quad 5 \sigma &= E \\ \text{d'où} \quad \quad \quad \phi \text{ en 5 min} &= \frac{10 AP}{E} \quad (2) \end{aligned}$$

La capacité d'absorption D des appareils en 5 min devra être telle que :

$$D = \phi = \frac{10 AP}{E}$$

sinon, nous aurions des phénomènes de file d'attente au niveau de chargement.

2.1.2.2 Quelques définitions

La capacité D est fonction du nombre d'appareils N , de la batterie et du temps de cycle RTT de chaque appareil.

2.1.2.2.1 Batterie

La batterie est composée d'un certain nombre d'appareils N ayant les mêmes caractéristiques (charge, vitesse, portes, dimensions de cabine), desservant le même nombre de niveaux S et régis par une manœuvre commune.

Nota : si ces conditions ne sont pas remplies, aucun calcul de trafic ne pourra être envisagé d'une manière valable.

Ce fonctionnement en batterie dit « traditionnel » est toujours de mise, mais l'avènement des microprocesseurs et donc de la micro-informatique dans les matériels de contrôles des ascenseurs a généré de nouvelles manœuvres de type « à préaffectation des appels paliers associée à la préaffectation des dessertes de chacune des cabines ».

■ Manœuvre à préselection ou préaffectation

Les ascenseurs de la batterie peuvent desservir tous les niveaux communs (disposition traditionnelle) mais, à chaque rotation, chacune des cabines ne dessert qu'un nombre limité de niveaux. Ces niveaux évoluent au fil du temps pour une amélioration de l'efficacité en termes de temps de transport (temps d'attente et temps de déplacement).

L'utilisation n'est plus conventionnelle et des interfaces appropriées permettent à l'utilisateur de monter dans la cabine à destination de son étage. Cette manœuvre, son fonctionnement et l'étude de trafic associée sont développés dans le dossier [C 3 721] – Besoins spécifiques des bureaux.

2.1.2.2.2 Capacité de transport

La capacité de transport en 5 min peut s'écrire :

$$D \text{ en 5 min} = \frac{300 N C_u}{RTT} \quad (3)$$

et doit être proche du flux,

avec

- D exprimée en nombre de personnes (chaque personne étant prise égale à 75 kg) ;
- C_u charge utile, en général prise égale à :
 - $0,8 C_n$ (capacité nominale) en montée,
 - $1 C_n$ (capacité nominale) en descente ;
- 300 : unité de temps considéré en secondes = 5 min ;
- RTT (de l'anglais *Round Trip Time*) ou temps de cycle qui est la somme des temps élémentaires suivants :
 - T_1 : temps de montée avec accélération et décélération pour chaque arrêt,
 - T_2 : temps de descente directe avec accélération et décélération,
 - T_3 : temps de mouvement des portes à chaque arrêt,
 - T_4 : temps de chargement au niveau de base,
 - T_5 : temps de déchargement aux niveaux de destination,
 - $FH T_6$: temps d'hésitation et de politesse (FH = facteur humain).

Nous examinerons plus loin, chacun de ces temps (§ 2.2). Mais nous pouvons remarquer qu'ils sont de deux sortes :

- T_1 , T_2 et T_3 sont des **temps techniques** et tributaires du matériel mis en œuvre ;
- T_4 , T_5 et T_6 sont des **temps subjectifs** dépendant uniquement des réactions de l'utilisateur.

2.1.2.2.3 Intervalle

L'intervalle I est l'espérance mathématique du temps écoulé entre le passage successif de deux cabines au niveau de base :

$$I = \frac{RTT}{N}$$

Cette valeur est souvent confondue avec ce qui est appelé temps d'attente moyen I_d .

Dans une installation à manœuvre « traditionnelle », il est habituel de considérer que le temps d'attente moyen est de l'ordre des 2/3 de l'intervalle moyen et ce, dans l'hypothèse où l'installation n'est pas saturée, c'est-à-dire que le flux réel n'excède pas le flux ayant servi de base au calcul.

2.1.2.2.4 Charge utile

La formule (3) peut donc s'écrire :

$$D \text{ en 5 min} = \frac{300 N C_u}{RTT} = \frac{300 C_u}{I}$$

$$\text{D'où l'on tire :} \quad C_u = \frac{I D \text{ en 5 min}}{300} \quad (4)$$

Cette formule est celle qui, d'entrée, va nous permettre la première approche.

En effet, elle fait abstraction du nombre d'appareils et découle directement des hypothèses posées : population P , temps d'étalement E , temps dit d'attente ou intervalle I .

Or C_u ne peut raisonnablement être pris que dans une gamme d'appareils situés entre 4 et 24 personnes nominales, soit entre 3,2 et 19,2 personnes utiles.

Si l'on trouve $C_u > 19,2$, il convient de revoir les hypothèses et de :

- diviser la population P sur des axes de circulation plus nombreux ;
- revoir les temps d'étalement E et peut-être imposer des tranches horaires ;
- raccourcir l'intervalle I souhaité.

Connaissant la capacité de la cabine C_u , il s'agit de déterminer le nombre N d'appareils composant la batterie.

Il faut donc calculer RTT d'où découlera N .

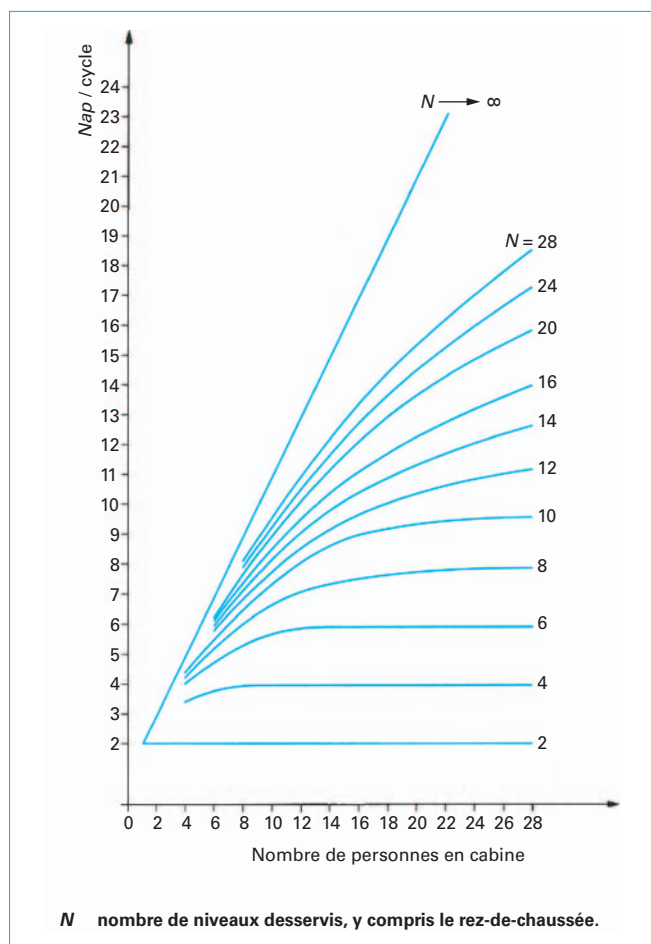


Figure 4 – Nombre d'arrêts probables N_{ap} par cycle en pointe montée dans le cas d'une équirépartition des populations

2.1.3 Nombre d'arrêts probables

Le nombre d'arrêts probables N_{ap} dépend :

- de la charge de la cabine C_u ;
- du nombre d'étages à desservir S ;
- de la composition de la charge ;
- du nombre de destinations ;
- du nombre d'étages de chargement.

Nous aurons donc à distinguer ces différents cas de figures.

2.1.3.1 Pointe montée

Un seul niveau de chargement (de préférence) ; plusieurs destinations dans le sens montée ; pas de chargement en sens descente.

C'est ce type de N_{ap} , le plus simple, que nous allons développer. Il est de la forme :

$$N_{ap} = S - \sum_{i=1}^S \left(\frac{P - P_i}{P} \right)^{C_u}$$

2.1.3.2 Pointe descente

Plusieurs niveaux de chargement avec plein de la cabine à un moment donné, dépendant du nombre de demandeurs à chaque étage et de la capacité de la cabine.

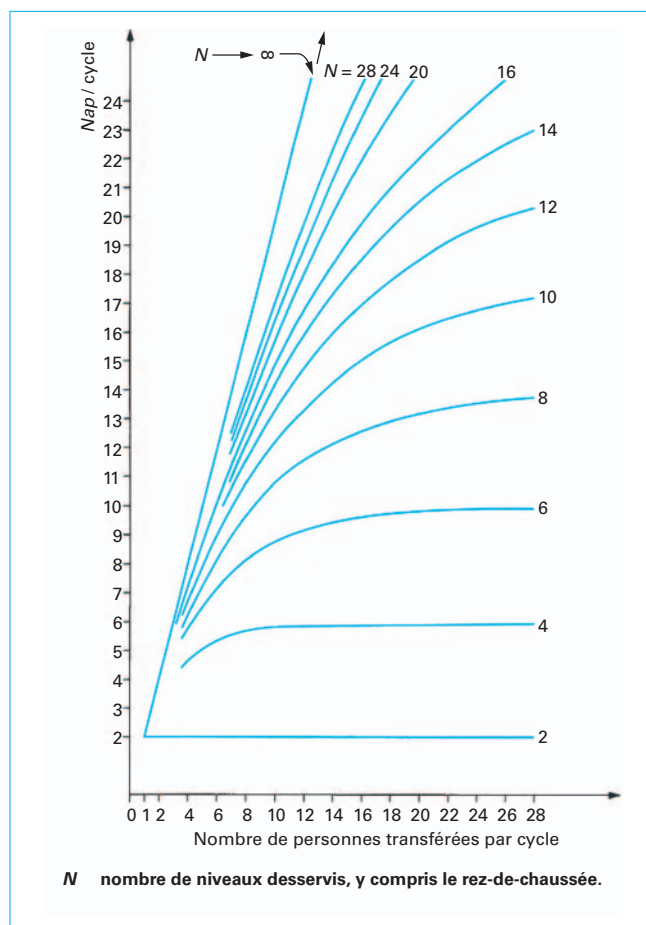


Figure 5 – Nombre d'arrêts probables N_{ap} par cycle en régime permanent dans le cas d'une équirépartition des populations

Une seule destination (de préférence) : le niveau de sortie, pas de chargement en sens montée :

$$N_{ap} = S - \sum_{i=1}^S \left(\frac{P - P_i}{P} \right)^{C_p}$$

avec C_p

capacité résiduelle de la cabine après chaque chargement, fonction du regroupement des usagers à chaque étage, chacun de ces regroupements étant déterminé par la recherche de la probabilité poissonnienne à l'instant considéré.

2.1.3.3 Régime permanent

Nous avons :

- un ou plusieurs niveaux de chargement en montée et en descente ;
- une ou plusieurs destinations en montée et en descente.

Dans ce cas, c'est l'analyse des probabilités de Poisson pour les chargements qui va intervenir, tandis que, pour les déchargements, ce sera une combinaison plus complexe du N_{ap} qui sera appliquée, dépendant du chargement au départ de chaque niveau et du nombre d'étages restant à desservir.

Les figures 4 et 5 donnent les N_{ap} en pointe montée et en régime permanent dans le cas d'une équirépartition des populations.

2.1.3.4 Calcul du *Nap* en pointe montée

On sait qu'en pointe montée la cabine au niveau de base peut se charger à 80 % de sa pleine capacité (§ 2.1.2.2.2).

Les passagers vont donner leurs ordres de destination à la cabine. Celle-ci, dans sa course montée, s'arrêtera un certain nombre de fois. C'est ce que l'on appelle le nombre d'arrêts probables : *Nap*.

Ce *Nap* est fonction :

- de la charge en cabine ;
- du nombre de niveaux desservis ;
- de la population de chaque étage.

2.1.3.4.1 Population variable

En appelant *P* la population totale de l'immeuble et :

- P_1 la population du 1^{er} niveau ;
- P_2 la population du 2^e niveau ;
- P_i la population du i^e niveau ;
- P_S la population du niveau le plus élevé.

Le chargement C_u de la cabine représentera un échantillonnage de l'ensemble de cette population.

Dans cette cabine, certains voudront se rendre à l'étage i , d'autres ne voudront pas s'y rendre. La probabilité élémentaire d'une personne voulant se rendre à l'étage i est :

$$p = \frac{P_i}{P}$$

La probabilité élémentaire d'une personne ne voulant pas s'y rendre est : $q = 1 - p$.

Au départ de la cabine, la probabilité d'obtenir, sur C_u passagers, r personnes voulant se rendre au i^e étage est :

$$\left(\frac{P_i}{P}\right)^r \left(1 - \frac{P_i}{P}\right)^{C_u - r} \subset C_u$$

Dans la loi binomiale, cette formule correspond à la probabilité de r succès pour $(C_u - r)$ échecs.

La probabilité de rencontrer une ou plusieurs personnes se rendant au i^e étage est :

$$P_{i^e} = 1 - \left(1 - \frac{P_i}{P}\right)^{C_u}$$

qui est également l'expression de l'espérance mathématique d'avoir un nombre d'arrêts inférieur ou égal à 1 à l'étage considéré.

La somme des probabilités : $P_{1^e} + P_{2^e} + \dots + P_{i^e} + \dots + P_S$

est l'espérance mathématique du nombre d'arrêts au-dessus du niveau de chargement pendant la montée. C'est cette espérance que nous appelons le *nombre d'arrêts probables* :

$$Nap = S - \sum_{i=1}^S \left(1 - \frac{P_i}{P}\right)^{C_u} \quad (5)$$

2.1.3.4.2 Cas de l'équirépartition des populations

Dans le cas où les populations sont égales entre elles à chacun des niveaux et telles que $SP_i = P$, nous aurons la formule simplifiée :

$$\left. \begin{aligned} Nap &= S - S \left(1 - \frac{P_i}{SP_i}\right)^{C_u} \\ \text{ou} \quad Nap &= S - S \left(\frac{S-1}{S}\right)^{C_u} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.1.4 Course élémentaire probable (bond moyen probable)

Connaissant la hauteur H à franchir entre le rez-de-chaussée et le niveau S (course de l'appareil), nous pouvons déduire la course élémentaire moyenne probable :

$$Bm = \frac{H}{Nap} \quad (7)$$

Cette valeur nous permettra de choisir, en première approche, une vitesse crédible V_{Bm} qui se situera près de la valeur la plus basse $Bm/2$ ou \sqrt{Bm} .

2.1.5 Accélération. Décélération. Nivelage

2.1.5.1 Cas des accélérations et décélérations constantes égales et de sens contraire

$$e = \frac{1}{2} \gamma_a \theta_1^2 + \frac{1}{2} \gamma_d \theta_2^2 + v_m \theta_2 + \frac{1}{2} \gamma_n \theta_3^2 + v_n \theta_3 = e_1 + e_2 + e_3$$

avec	γ_a	accélération (> 0),
	γ_d	décélération (< 0),
	γ_n	décélération pour le nivelage (< 0),
	v_m	vitesse atteinte en fin de la période d'accélération,
	v_n	vitesse de prise de nivelage,
	e_1	espace parcouru pendant l'accélération $= \frac{1}{2} \gamma_a \theta_1^2$,
	e_2	espace parcouru pendant la décélération $= \frac{1}{2} \gamma_d \theta_2^2 + v_m \theta_2$,
	e_3	espace parcouru pendant le nivelage $= \frac{1}{2} \gamma_n \theta_3^2 + v_n \theta_3$,
	θ_1	temps d'accélération,
	θ_2	temps de décélération,
	θ_3	temps de nivelage.

La valeur e_3 , distance de nivelage, est imposée par la norme **NF EN 81-1 de novembre 1998**, indice de classement P 82-210, et l'on peut faire l'ouverture des portes sur cette distance.

■ **Article 7.7.1 (ancienne Norme NF P 82-210 article 7.7.1)** : « Dans le cas de portes palières et cabine à fonctionnement mécanique, à commande automatique et entraînées simultanément, cette valeur peut être portée à 0,35 m ».

■ **Article 14.2.1.2 (ancienne Norme NF P 82-210 article 2.1.3.7.3.1)** : « La vitesse de nivelage ne dépasse pas 0,80 m/s pour les appareils à nivelage automatique ».

D'où, en profitant au maximum des valeurs indiquées par la norme ($e_3 = 0,35$ m et $v_n = 0,80$ m/s) :

de $v_{finale} = 0 = \gamma_n \theta_3 + 0,80$, on tire : $-\gamma_n \theta_3 = 0,80$

$$e_3 = -0,4 \theta_3 + 0,80 \quad \theta_3 = 0,35 \text{ m}$$

$$\theta_3 = \frac{0,35}{0,4} = 0,875 \text{ s}$$

$$\gamma_n = -\frac{0,80}{0,875} = -0,914 \text{ m/s}^2$$

Si donc la décélération annoncée est constante, elle ne pourra dépasser cette valeur (la courbe de vitesse décroissante sera une droite) pour permettre le déverrouillage à 0,35 m du palier et une distance de nivelage en *approche directe* réalisable.

Si l'on fait varier les valeurs de décélération avant et après cette distance $e_3 = 0,35$ m, nous obtiendrons, avec des valeurs de γ_2 et γ_3 constantes mais différentes, des courbes de vitesse à deux ou plusieurs droites.

Les courbes des espaces seront représentées par des paraboles.

2.1.5.2 Cas des accélérations et décélérations continuellement variables

Dans ce cas, la dérivée de l'accélération est constante et nous avons à l'instant t_i :

$$\begin{aligned}\gamma' &= Cte \\ \gamma &= \gamma' t_i + \gamma_0 \\ v &= \frac{1}{2} \gamma' t_i^2 + \gamma_0 t_i + v_0 \\ e &= \frac{1}{6} \gamma' t_i^3 + \frac{1}{2} \gamma_0 t_i^2 + v_0 t_i + e_0\end{aligned}$$

Dans la zone de nivelage, nous aurons :

$$\text{— vitesse finale : } v = \frac{1}{2} \gamma' t_i^2 + \gamma_0 t_i + 0,80 = 0 \quad (8)$$

$$\text{— espace de nivelage : } e_3 = \frac{1}{6} \gamma' t_i^3 + \frac{1}{2} \gamma_0 t_i^2 + 0,80 t_i = 0,35 \quad (9)$$

$$\text{— accélération finale : } \gamma = \gamma' t_i + \gamma_0 = 0 \quad (10)$$

$$\text{— à l'arrêt : } \gamma_0 = -\gamma' t_i$$

ce qui nous permet d'écrire :

$$v = \frac{1}{2} \gamma' t_i^2 - \gamma' t_i^2 + 0,80 = -\frac{1}{2} \gamma' t_i^2 + 0,80 = 0 \quad (11)$$

et, en partant de l'équation (10) :

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} \gamma' t_i^3 - \frac{1}{2} \gamma' t_i^3 + 0,8 t_i - 0,35 &= 0 \\ \text{ou : } -\frac{1}{3} \gamma' t_i^3 + 0,8 t_i - 0,35 &= 0 \quad (12)\end{aligned}$$

$$\text{de l'équation (12) on tire : } t_i^2 = \frac{0,8 \times 2}{\gamma'} = \frac{1,6}{\gamma'}$$

$$\text{d'où } t_i = \sqrt{\frac{1,6}{\gamma'}}$$

L'équation (12) devient :

$$-\frac{1}{3} \gamma' \times \frac{1,6}{\gamma'} \times \sqrt{\frac{1,6}{\gamma'}} + 0,8 \sqrt{\frac{1,6}{\gamma'}} - 0,35 = 0$$

$$\text{D'où } \gamma' = 0,928 \text{ m/s}^3$$

$$t_i = 1,313 \text{ s}$$

$$\gamma_0 = -1,219 \text{ m/s}^2$$

2.1.5.3 Influence sur le temps d'étage à étage

L'approche directe dans les meilleures conditions permet un temps de nivelage de **0,875 s** et le nivelage avec décélération variable : **1,313 s** ; soit une perte apparente de temps de 0,438 s.

Mais il faut examiner quel sera le temps résiduel après ouverture anticipée des portes dans la période de nivelage.

L'évolution technologique des années 1980 a conduit à la mise en œuvre de nouveaux modes d'entraînement : la vitesse des moteurs

de traction à courant alternatif est contrôlée par l'intermédiaire des variations simultanées de la tension et de la fréquence d'alimentation : contrôle VVVF (Variable Voltage, Variable Frequency).

Cette technologie offre de nombreux avantages par rapport aux entraînements conventionnels :

- gestion précise du couple moteur en temps réel et donc respect des consignes de vitesse et d'accélération issues de l'étude de trafic ;

- contrôle des variations de l'accélération et de la décélération (limitation de ces variations) pour un meilleur confort de déplacement, en particulier dans les phases de transition (départ et arrêt de la cabine). Les temps théoriques du calcul (temps d'étage à étage) évoluent donc en fonction du type de traction et du confort de déplacement choisis. Plus de confort conduit à augmenter les temps d'étage à étage, temps par ailleurs réduits grâce à la meilleure gestion du couple moteur ;

- prise en compte de la charge cabine pour s'affranchir de son influence sur les accélérations et décélérations définies dans le calcul de trafic.

Le contrôle VVVF s'applique à 2 types de moteurs alternatifs : le moteur asynchrone et le moteur synchrone à aimants permanents.

2.1.6 Mouvement

Les types de portes et de système d'ouverture entraîneront des temps propres à chaque solution retenue.

2.1.6.1 Type de porte

Nous ne retiendrons dans cette étude que les deux types le plus couramment employés, c'est-à-dire les **portes à deux vantaux** :

- à ouverture centrale ;
- à ouverture latérale.

■ **Temps de fermeture imposé** : la norme NF EN 81-1 (ancienne norme NF P 82-210) en son chapitre 7-5 précise :

« La vitesse moyenne du bord d'attaque du ou des vantaux doit être telle que l'énergie cinétique de la porte palière et des éléments mécaniques qui lui sont rigidement connectés ne doit pas dépasser 10 J ».

« La vitesse moyenne de fermeture d'une porte coulissante est calculée sur sa course totale, diminuée de 25 mm à chaque extrémité dans le cas de porte à fermeture centrale ; 50 mm à chaque extrémité de sa course, dans le cas des portes à ouverture latérale ».

Ce qui revient à dire que, si l'on prend la vitesse moyenne de 0,30 m/s autorisée, le panneau de tête et son ensemble rigidement connecté ne doivent pas dépasser :

$$\frac{1}{2} m v^2 = 10 \text{ J} = 1,02 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$m = \frac{2,04}{0,3^2} = 22,66 \text{ kg}$$

Pour des portes d'ouverture libre de $0,80 \text{ m} \times 2,00 \text{ m}$, le vantail équipé pèse en général entre 25 et 35 kg, ce qui ramène la vitesse entre 0,28 et 0,24 m/s.

Nous retiendrons une vitesse moyenne de 0,26 m/s.

Pour des portes de $1,10 \text{ m} \times 2,10 \text{ m}$, le poids moyen des vantaux sera de 28 à 40 kg d'où la vitesse entre 0,27 et 0,22 m/s.

Nous retiendrons une vitesse moyenne de 0,25 m/s.

■ **Verrouillage** : la porte une fois fermée, il convient de le vérifier mécaniquement et électriquement, soit un temps moyen de 0,8 s.

2.1.6.2 Fermeture

Les temps moyens de fermeture sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 – Temps de fermeture des portes (en s)				
	Ouverture centrale		Ouverture latérale	
	0,80 m	1,10 m	0,80 m	1,10 m
Fermeture	1,54	2,20	3,08	4,40
Verrouillage	0,80	0,80	0,80	0,80
Temps total	2,34	3	3,88	5,20

2.1.6.3 Ouverture

L'ouverture se fera après le déverrouillage qui n'intervient qu'après l'entrée de la zone autorisée.

Selon la nature de l'opérateur, l'ouverture se fera plus vite que la fermeture (cas des opérateurs en courant continu avec programme de vitesse) et nous aurons les valeurs indiquées au tableau 3.

Comme pour les moteurs de traction, les moteurs alternatifs des opérateurs de porte peuvent être contrôlés par le principe VVVF. Les temps moyens des différents tableaux évoluent donc légèrement en fonction des solutions retenues en termes de matériels, mais aussi en termes de confort (exemple : une fermeture plus confortable signifie un mouvement plus lent et des temps plus longs).

Tableau 3 – Temps d'ouverture des portes (en s)				
	Ouverture centrale		Ouverture latérale	
	0,80 m	1,10 m	0,80 m	1,10 m
Opérateur courant alternatif	1,54	2,20	3,08	4,40
Déverrouillage	0,30	0,30	0,30	0,30
Temps total	1,84	2,50	3,38	4,70
Opérateur courant continu	0,80	1,14	1,60	2,28
Déverrouillage	0,30	0,30	0,30	0,30
Temps total	1,10	1,44	1,90	2,58

2.1.6.4 Temps résiduel d'ouverture

En rapprochant les valeurs du tableau 3 de celles indiquées au paragraphe 2.1.5.3 nous voyons que la fin d'ouverture a lieu dans les conditions indiquées dans le tableau 4 par rapport à l'arrêt de l'appareil. Le temps résiduel d'ouverture est égal à :

$$\text{temps d'ouverture} - \text{temps de nivelage}$$

2.1.6.5 Prise en compte du mouvement des portes

À chaque arrêt probable, il faudra tenir compte des mouvements de portes MP, c'est-à-dire :

- soit des temps totaux : fermeture + verrouillage + ouverture + déverrouillage ;
- soit de ces temps, diminués de l'ouverture anticipée des portes.

Les temps de mouvement des portes sont donnés dans le tableau 5.

Tableau 4 – Temps résiduel d'ouverture des portes (en s)

	Ouverture centrale		Ouverture latérale	
	0,80 m	1,10 m	0,80 m	1,10 m
<i>Approche directe (0,875 s) :</i>				
Opérateur courant alternatif	+ 0,965	+ 1,625	+ 2,505	+ 3,825
Opérateur courant continu	+ 0,225	+ 0,565	+ 1,025	+ 1,705
<i>Décélération variable (1,313 s) :</i>				
Opérateur courant alternatif	+ 0,527	+ 1,187	+ 2,067	+ 3,387
Opérateur courant continu	– 0,213	+ 0,127	+ 0,587	+ 1,267
	Porte ouverte totalement à l'arrêt			

Tableau 5 – Temps de mouvement des portes MP (en s) (1)

	Ouverture centrale		Ouverture latérale	
	0,80 m	1,10 m	0,80 m	1,10 m
<i>Approche directe :</i>				
– Opérateur courant alternatif	3,305	4,625	6,385	9,025
– Opérateur courant continu	2,565	3,565	4,905	6,905
<i>Décélération variable :</i>				
– Opérateur courant alternatif	2,867	4,187	5,947	8,587
– Opérateur courant continu	2,34	3,127	4,467	6,467

(1) MP = temps total de fermeture + temps résiduel d'ouverture.

2.1.7 Espace. Vitesse. Temps

Quelques valeurs de e et t pour les vitesses le plus fréquemment rencontrées sont données dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 6 – Temps de course, espace parcouru e dans le cas d'accélération et de décélération constantes

Vitesse (m/s)	γ (m/s ²)	Temps de course (s)	e (m)	Δt (s)
1,00	0,50	3,9	1,95	1,95
1,60	0,65	4,92	3,94	2,46
1,80	0,70	5,11	4,60	2,55
2,20	0,804	5,50	6,05	2,75
2,50	0,881	5,68	7,10	2,84
3,11	0,914	6,80	10,62	3,4
3,50	0,914	7,66	13,40	3,83

Δt : temps perdu pour les mises en accélération, décélération et nivelage.

Tableau 7 – Temps de course, espace parcourue e dans le cas d'accélération et de décélération variables (tension variable)

Vitesse (m/s)	γ' constant (s ⁻¹)	γ_{\max} (m/s ²)	Temps de course (s)	e (m)	Δt (s)
1,60	0,15 g	1,50	4,2	3,20	2,20
1,80	0,17 g	1,69	4,58	3,683	2,53
2,50	0,19 g	2,17	5,15	5,93	2,77
3,50	0,18 g	2,49	7,22	13,40	3,4

Δt : temps perdu pour les mises en accélération, décélération et nivelage.

La figure 6 montre la forme des courbes de V et γ dans le cas d'accélération et décélération constantes ou variables.

Le confort des usagers dépendra de la façon dont on arrive à la pleine vitesse et c'est la prise d'accélération ou de décélération qui fera la différence.

En reprenant, par exemple, la vitesse de 1,80 m/s, nous voyons que pour l'atteindre nous avons deux solutions :

- accélération constante : 0,70 m/s² ;
- accélération variable de 0 à 1,69 m/s².

Si, dans le premier cas, l'accélération a été immédiate, sa dérivée sera infinie.

Si nous l'avons atteinte en 0,1 s, elle sera :

$$\frac{0,7}{0,1} = 7 \text{ m/s}^3 = 0,71 \text{ g/s}$$

Par contre, dans le second cas, nous mettrons 1 s, d'où :

$$\frac{1,69}{1} = 1,69 \text{ m/s}^3 = 0,17 \text{ g/s}$$

avec g accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Avec $\gamma' > 0,3 \text{ g/s}$, il faudra, pour améliorer le confort en cabine, avoir recours aux volants d'inertie, aux résistances de démarrage, au filtrage et au hachage du courant alternatif, afin d'amortir les effets des prises d'accélération et de décélération aux moments critiques. Le tout se répercute bien entendu sur le matériel de traction.

Comme indiqué précédemment, depuis les années 1980, les solutions ci-dessus ont peu à peu été remplacées par l'asservissement VVVF des moteurs alternatifs et, suivant les solutions choisies pour leurs performances dynamiques et le confort de déplacement associé, ces temps peuvent évoluer légèrement en fonction de la solution technique retenue.

2.2 Calcul du temps de cycle théorique en cas de pointe montée

Les temps élémentaires composant le temps de cycle ont été indiqués au paragraphe 2.1.2.2.2.

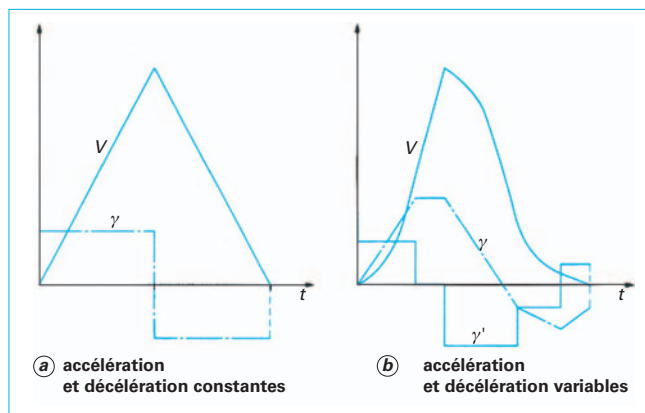


Figure 6 – Représentation de la vitesse V et de l'accélération γ

2.2.1 Temps techniques

Ayant examiné précédemment les différents temps techniques, nous pouvons formuler les équivalences suivantes :

■ Temps de montée omnibus : $T_1 = \frac{H}{V_{Bm}} + (Nap \times \Delta t_1)$

■ Temps de descente directe : $T_2 = \frac{H}{V_{contrat}} + \Delta t_2$

■ Temps des mouvements de portes : $T_3 = (Nap + 1) \times MP$

Les valeurs théoriques des différents termes sont indiquées dans les tableaux précédents.

Ces valeurs n'ont, bien entendu, qu'une valeur indicative et peuvent varier selon les constructeurs et le type de matériel mis en œuvre.

2.2.2 Temps subjectifs

Ce sont les temps qui ne dépendent que des usagers et non de la marque de l'appareil.

■ Temps d'entrée T_4 par personne

Ils sont tributaires des dimensions de la baie d'accès et sont indiqués dans le tableau 8.

Tableau 8 – Temps d'entrée par personne en fonction des dimensions des baies d'entrée (en s)

Épaisseur de l'ébrasement	Passage libre		
	0,80 m	1,10 m	1,30 m
0,15 m	1	0,9	0,80
0,25 m	1,1	0,96	0,85
> 0,35 m	1,25	1	0,90

■ Temps de sortie T_5

Ils sont fonction de la capacité de la cabine, de sa forme et de la dimension des baies palières. Il se produit un **effet tourbillon**. En effet, si la cabine est profonde et étroite, il est bien connu que ce sont les gens du fond qui veulent sortir les premiers et que cet exercice est d'autant plus long qu'il y a davantage d'obstacles à déplacer sur le chemin.

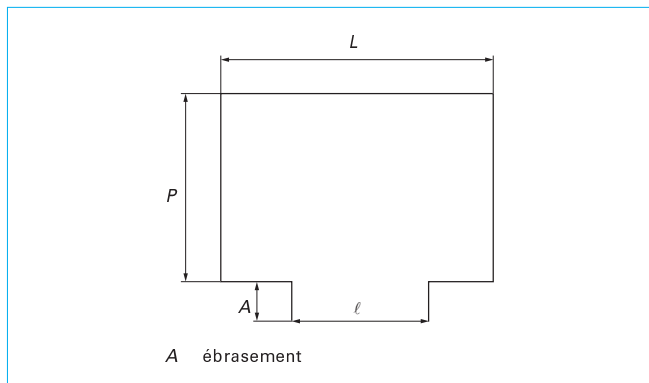


Figure 7 – Dimensions d'une cabine

Arbitrairement, on peut admettre des temps de sortie égaux à 1,10 fois les temps d'entrée ($T_5 = 1,10 \cdot T_4$) dans le cas de cabine large et telle que :

- $L = 1,80 \ell$;
- $P/L = 0,90$ (figure 7).

Pour les **autres cas** de cabine : $T_5 = 1,20 T_4$.

■ Temps d'hésitation et de politesse T_6

Les usagers n'étant pas obligatoirement de parfaits sauvages, il leur arrive de s'attendre, de se faire des politesses et, pour cela, ils interviennent sur l'écoulement des autres usagers et sur le mouvement des portes en les empêchant de se fermer.

Nous pouvons estimer à 10 % des temps T_3 , T_4 et T_5 la valeur de ce temps T_6 :

$$T_6 = 0,1 (T_3 + T_4 + T_5)$$

3. Conclusion

Le calcul de trafic vu au paragraphe 2 permet, dans la plupart des cas, de définir l'installation d'ascenseurs qui permettra d'absorber des flux de circulation verticale prédéterminés.

Cependant, lorsque :

- les flux de circulation sont complexes : par exemple : plusieurs niveaux d'accès au bâtiment, pluralité des étages de restauration, mixité du type d'utilisateurs (du type bureaux et commerces) ;
- l'équipement défini par le calcul de trafic est « à sa limite »,

il faut alors envisager d'ajouter un ascenseur, d'augmenter la vitesse de déplacement ou de changer de type de portes et d'opérateur.

Cela implique de faire des calculs successifs en modifiant les hypothèses.

La micro-informatique a autorisé le développement de logiciels de calcul de trafic. Ces outils sont une aide précieuse à l'étude de circulation verticale car ils facilitent ces calculs par approches successives pour arriver à la solution optimale.

Par ailleurs, et toujours grâce à l'informatique, des outils de simulation ont vu le jour. Ces simulateurs apportent des critères supplémentaires tels que les temps d'attente, les temps de transport et le chargement cabine à chaque instant. Ces informations sont restituées sous forme de moyenne, de dispersion (valeur maximale, valeur minimale, écart-type...), ce qui permet d'apprécier précisément la qualité du service rendu par les ascenseurs.

Les simulateurs, qui reproduisent sur l'outil informatique la circulation verticale à venir (nombre et disposition des niveaux desservis, caractéristiques dynamiques des ascenseurs – déplacement et portes –, flux de circulation – simple et complexe –) génèrent aussi des animations résultant de cette approche telles que : files d'attente aux paliers, arrivées des cabines, ouvertures des portes, entrées des usagers, accélération cabine...

Cet outil offre d'autres possibilités :

- large prise en compte de l'aspect aléatoire des déplacements des utilisateurs en multipliant, dans la période choisie comme étant la plus contraignante, les simulations. Chacune d'entre-elles est donc réalisée en changeant le modèle de déplacement des utilisateurs (tout en conservant la valeur quantitative des flux dans la période considérée et, en particulier, dans les 5 minutes les plus chargées). La synthèse réalisée par le simulateur donne des résultats proches de la réalité ;
- facilité de changement des hypothèses tant du point de vue de la circulation verticale que du point de vue des caractéristiques des ascenseurs et du bâtiment lui-même ;
- choix de la période de trafic à analyser : 5 minutes, 15 minutes, 1 heure...

Contrairement au calcul de trafic, la simulation peut facilement réaliser une étude avec des ascenseurs utilisant une manœuvre à préaffectation et présélection (voir dossier [C 3 721]).

De leur côté, les constructeurs sont en mesure de faire des simulations qui prennent alors en compte, en plus des différentes hypothèses concernant le bâtiment et les flux de circulation :

- les caractéristiques exactes du matériel envisagé : caractéristiques dépendant du type d'entraînement, du type de gestion de cet entraînement, du type de portes (contrôle et protection) ;
- le logiciel de la manœuvre : ce logiciel constructeur de simulation est celui de l'installation définitive (validité des simulations).

Ce dossier est une mise à jour de l'article de François Dexmier, Ingénieur de l'École spéciale des travaux publics.