

# Réseaux Mobiles

## Chap 2: Théorie du Trafic

Rhouma Rhouma

<https://sites.google.com/site/rhoouma>

École Supérieure d'Économie Électronique

2eme année Master Pro MBDS

# Plan

1 Intensité de Trafic

2 Erlang B

3 Erlang C

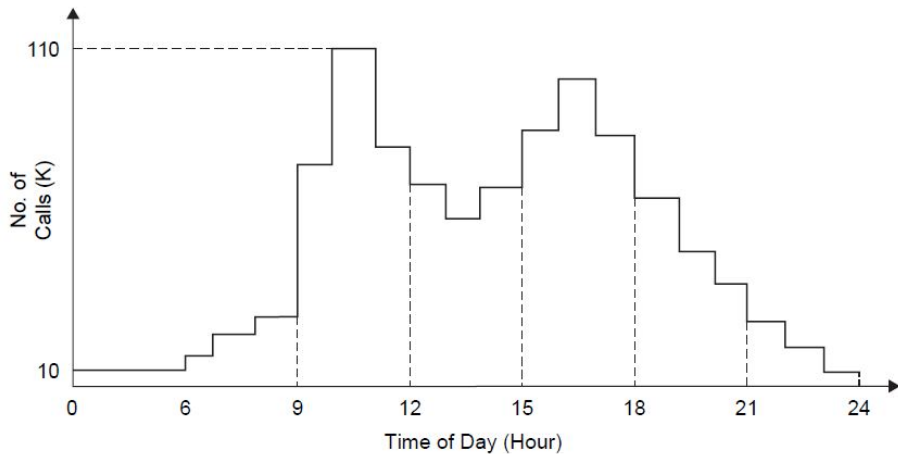
# Plan

1 Intensité de Trafic

2 Erlang B

3 Erlang C

# Trafic



# Trafic

- Les réseaux mobiles reposent sur la conduite du trafic pour accueillir un grand nombre des utilisateurs dans un spectre radio limité. Le concept de trafic permet une large population à être logé par un nombre limité de services.
- Trafic : chaque utilisateur se voit attribuer un canal pour effectuer son appel ; et à la fin de l'appel, le canal précédemment occupé est immédiatement retourné à l'ensemble de canaux disponibles.  
La Théorie du trafic a été inventé par le mathématicien danois, A.K. Erlang
- Mesure du trafic : 1 Erlang représente la quantité de trafic transportée par un canal qui est totalement occupé. Par exemple, un canal radio qui est occupée 30 minutes pendant une heure transporte 0.5 Erlang de trafic.
- GoS(Grade of service) : Mesure de la capacité de l'utilisateur d'accéder à une ressource partagée pendant l'heure de pointe au cours d'une semaine, un mois ou une année. GoS est généralement donnée comme la probabilité de blocage des appels, ou la probabilité qu'un appel connaît un retard supérieur à une certaine valeur dans une file d'attente.
- ex : Le système cellulaire AMPS est conçu pour une GoS 2% de blocage. Cela implique que les attributions de canaux pour les cellules sont conçus pour que parmi 100 appels, 2 seront bloqués en raison de l'occupation du canal pendant l'heure de pointe.

# Trafic

- L'intensité de trafic :  $A = \frac{\lambda \times H}{T}$  *Erlang*
- Temps d'observation  $T$ . La plupart pendant une heure  $T = 3600s$ .
- Nombre moyen de demandes d'appel par unité de temps  $\lambda$
- Durée moyenne d'un appel  $H$
- Utiliser la notation  $A_u$  et  $\lambda_u$  si le calcul est fait pour un seul utilisateur.
- Si on a  $n$  utilisateurs alors  $A = n \times A_u$  et  $\lambda = n \times \lambda_u$
- Si on a  $m$  canal, alors l'intensité de trafic par canal est  $A/m$

# Exemples

- **EX1** : Dans un réseau sans fil, chaque abonné génère deux appels par heure en moyenne et un appel typique dure 120 secondes. Quelle est l'intensité du trafic ?
- $I = \frac{2 \times 120}{3600} = 0.0667$  Erlangs.
- **Ex2** : Afin de déterminer l'intensité du trafic sur une ligne, nous avons recueilli les données suivantes au cours une période de 90 minutes. Calculer l'intensité du trafic correspondante ?

Call no.	Duration of call (s)
1	60
2	74
3	80
4	90
5	92
6	70
7	96
8	48
9	64
10	126

nb d'appels  $\lambda = \frac{10}{1.5} = 6.667$  appels/heure

durée moyenne d'appel  $H =$

$$\frac{60+74+80+90+92+70+96+48+64+126}{10} = 80 \text{ sec/appel}$$

$$\text{intensité de trafic } A = \frac{6.667 \times 80}{3600} = 0.148 \text{ Erlangs}$$

## Exemple 3

Nous considérons un réseau sans fil avec les données suivantes :

- Population : 200 000
- Abonnées : 25 %
- Durée d'appel moyen de mobile-fixe ou fixe-mobile :  $H = 100$  s
- nb moyen d'appels de mobile-fixe ou fixe-mobile :  $\lambda = 3$  appels/heure
- Durée d'appel moyen de mobile-mobile :  $H = 80$  s
- nb moyen d'appels de mobile-mobile :  $\lambda = 4$  appels/heure
- Distribution du trafic : mobile-fixe 50% ; fixe-mobile 40 % ; mobile-mobile 10 %.

calculer le trafic total. Si chaque MSC peut supporter 1800 Erlang de trafic, combien de MSC on a besoin pour supporter tout le trafic ?



# Solution

- ① Trafic du mobile-fixe ou fixe-mobile :  $A_1 = \frac{3 \times 100}{3600} = 0.0833$  Erlangs
- ② Trafic mobile-mobile :  $A_1 = \frac{4 \times 80}{3600} = 0.0889$  Erlangs
- ③ nb d'abonnées :  $0.25 \times 200000 = 50000$
- ④ Trafic total :  $45000 \times 0.0833 + 5000 \times 0.0889 = 4194.5$  Erlangs
- ⑤ MSCs :  $\frac{4194.5}{1800} = 2.33 \simeq 3$

# Trafic et Appels Bloqués

Il existe deux types de systèmes à ressources partagées :

① **Blocked Calls Cleared System** : Systèmes à appels perdus  $\implies$  **Erlang B**

- ① Pas de file d'attente
- ② Si aucun canal n'est disponible, l'utilisateur demandeur est bloqué et est libre de réessayer plus tard.

② **Blocked Calls Delayed System** : Systèmes à appels retardés  $\implies$  **Erlang C**

- ① Une File d'attente est utilisée pour maintenir les appels qui sont bloqués. Si un canal n'est pas disponible immédiatement, la demande d'appel peut être retardé jusqu'à ce qu'un canal devient disponible.

# Plan

1 Intensité de Trafic

2 Erlang B

3 Erlang C

# Systèmes d'Erlang B

- il y a un nb infini d'utilisateurs
- tous les utilisateurs, y compris les utilisateurs bloqués, peuvent demander un canal à tout moment.
- De longs appels sont moins susceptibles de se produire.
- Il existe un nombre fini de canaux disponibles  $m$ .

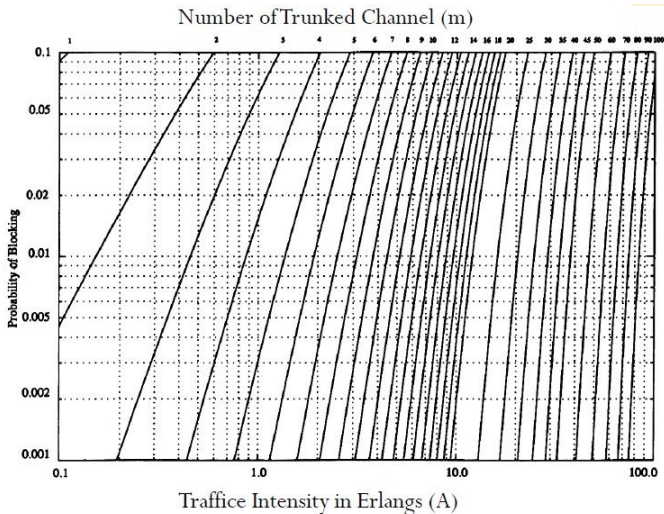
Alors,  $GOS = Pr(\text{Appel bloqué}) =$

$$\frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A^i}{i!}}$$

$A$  : Intensité du trafic en Erlang

$m$  : nb de canaux disponibles

# Diagramme d'Erlang B



dessiné en log-log

calculateur free sur : <http://www.erlang.com/calculator/erlb>

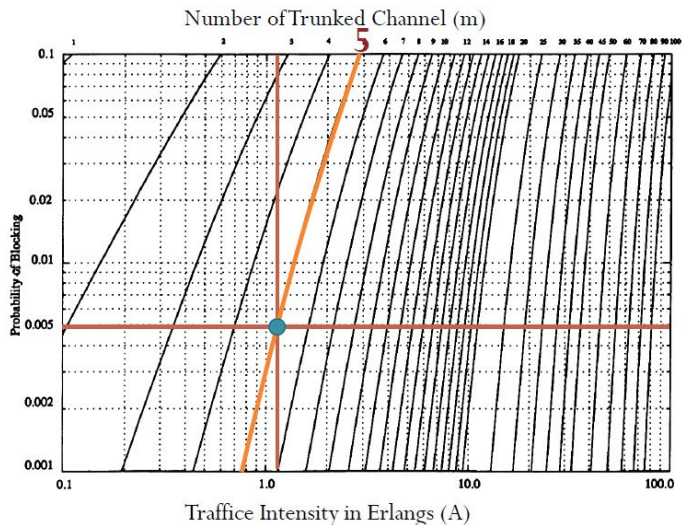
# Exemple 1

Combien d'utilisateurs peuvent être pris en charge pour 0,5% de probabilité de blocage pour le nombre suivant de canaux dans un système d'Erlang B où le trafic pour chaque utilisateur est  $A_u = 0.1 \text{ Erlang}$  ?

(a)  $m=5$

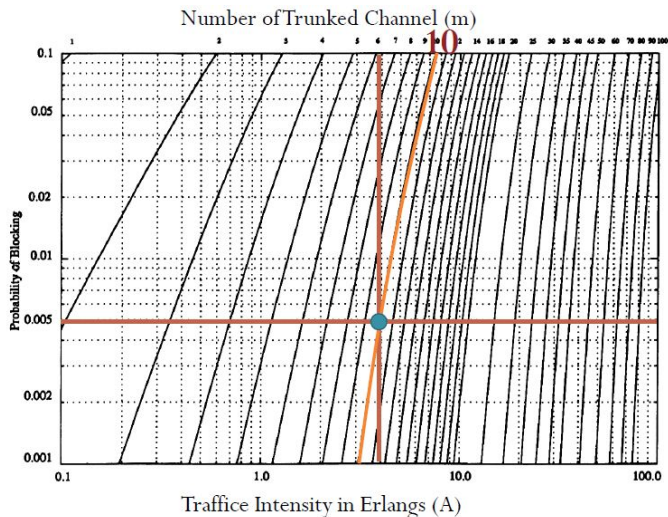
(b)  $m=10$

## Solution 1a



$$A \approx 1 \text{ Erlang} \Rightarrow n = A/A_u \approx 10 \text{ utilisateurs}$$

## Solution 1b



$$A \approx 4 \text{ Erlang} \Rightarrow n = A/A_u \approx 40 \text{ utilisateurs}$$



## Exemple 2

Soit un réseaux cellulaire où :

La durée moyenne d'appel  $H = 2 \text{ min}$

Le nb de canaux disponible pour le système est 395

On veut que la probabilité de blockage ne dépasse pas 1 %.

- ❶ Si le facteur de réutilisation de fréquence  $N = 7$ , combien de canal est disponible par cellule ?
- ❷ Donner l'intensité de trafic supporté par chaque cellule.
- ❸ Combien d'appels par heure est faisable dans chaque cellule ?
- ❹ Si mnt le sectoring  $120^\circ$  est employé, combien de canal est disponible pour chaque secteur ?
- ❺ Donner l'intensité de trafic supporté par chaque secteur.
- ❻ Combien d'appels par heure est faisable dans chaque secteur ?
- ❼ Combien d'appels par heure est faisable dans chaque cellule ?
- ❽ Quel est l'effet du sectoring sur l'intensité du trafic ou le nb d'appels faisable par chaque cellule ?

# Solution 2

- ❶  $395/7 = 57$  canaux pour chaque cellule
- ❷ d'après le diagramme d'Erlang B, Pour  $P_b = 0.01$  et  $m = 57$ , on lit  $A = 38$  Erlang
- ❸ nb d'appels par cellule :  $(A \times 3600)/(2 \times 60) = 1140$  Appels/heure.
- ❹ après sectoring  $120^\circ$ , il y aura  $57/3 = 19$  canaux pour chaque secteur.
- ❺ avec la même  $P_b$  et même durée d'appel, on lit depuis l' Erlang B,  $A = 9$  Erlang
- ❻ nb d'appels par secteur :  $(A \times 3600)/(2 \times 60) = 270$  Appels/heure.
- ❼ nb d'appels par cellules :  $270 \times 3 = 810$  appels/heure
- ❽ le sectoring diminue la capacité globale du trafic mais en même temps il diminue les interférences et donc SIR augmente pour chaque utilisateur.

## Exemple 3 : conception et dimensionnement

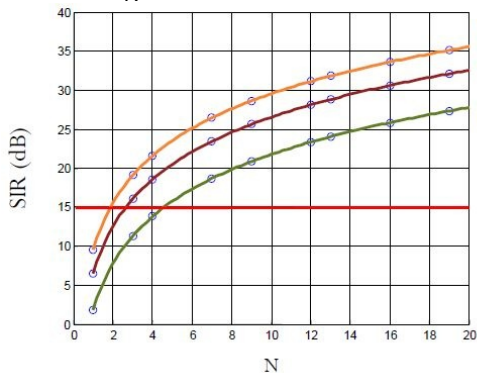
Modelisation d'un système cellulaire avec les données et recommandations suivantes :

- Bande de fréquence pour l'opérateur est 20 MHz
- Chaque canal simplex doit avoir 25 KHz de largeur de bande.
- ❶ Combien de canal duplex est disponible dans ce système ?
- ❷ on donne  $\gamma = 4$ , Donner les valeurs possibles de K et N pour avoir  $SIR \geq 15$
- ❸ Supposons que chaque utilisateur fait 2 appels/jour et 2 min/appel en moyenne, quel est l'intensité de trafic par utilisateur ?
- ❹ On veut  $P_b \leq 5\%$ . Donner l'intensité trafic globale par secteur/cellule.
- ❺ Donner le nb d'utilisateur maximal par cellule.

# Solution 3

1 Nb de canaux duplex :  $S = \frac{20 \times 10^6}{2 \times 25 \times 10^3} = 400$  canaux

2  $SIR = \frac{(\sqrt{3N})^\gamma}{K}$



$K = 1 \rightarrow N = 3$

$K = 2 \rightarrow N = 3$

$K = 6 \rightarrow N = 7$

clear all; close all;

y = 4;

figure; grid on; hold on;

for K = [1,2,6]

    N = [1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19];

    SIR = 10\*log10(1/K\*((sqrt(3\*N)).^y));

    plot(N,SIR,'o')

    N = linspace(1,20,100);

    SIR = 10\*log10(1/K\*((sqrt(3\*N)).^y));

    plot(N,SIR)

end

# solution 3 (suite)

$$A_u = \frac{2 \times 2}{24 \times 60} = \frac{1}{360} \text{ Erlang}$$

	Omnidirectional	Sectoring (120°)	Sectoring (60°)
K	6	2	1
N	7	3	3
SIR [dB]	18.7	16.1	19.1
#channels/cell	$400/7 = 57$	$400/3 = 133$	$400/3 = 133$
#sectors	1	3	6
#channels/sector	57	$133/3 = 44$	$133/6 = 22$
A [Erlangs]/sector	51.55	38.56	17.13
A [Erlangs]/cell	51.55	$38.56 \times 3 = 115.68$	$17.13 \times 6 = 102.78$
#users/cell	18558	41645	37001

# Plan

1 Intensité de Trafic

2 Erlang B

3 Erlang C

# Système d'Erlang C

- Dans le système d'Erlang C, Les appels bloqués sont retardés
- La prob qu'un appel n'aura pas l'accès au système :

$$Prob[Retard > 0] = \frac{A^m}{A^m + m!(1 - \frac{A}{C}) \sum_{k=0}^{m-1} \frac{A^k}{k!}}$$

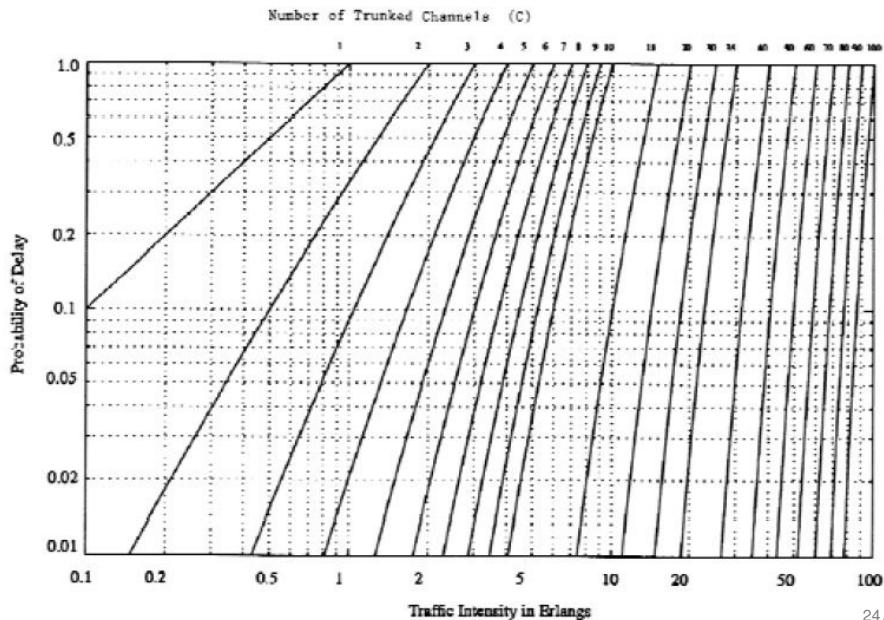
- La probabilité que le retard soit supérieur à t :

$$Prob[Retard > t] = Prob[Retard > 0] Prob[Retard > t | retard > 0]$$

$$= Prob[Retard > 0] \exp\left(-\frac{(m - A)t}{H}\right)$$

- H es la durée moyenne d'un appel en seconde. m le nb de canaux duplex.

## Erlang C





# exemple

- une cellule hexagon dans un système cellulaire à  $N=4$  a un rayon  $R = 1.387 Km$  et un total de  $m = 60$  canaux dans tout le système.
- Si l'intensité de trafic par utilisateur  $A_u = 0.029$  Erlang, et  $\lambda = 1$  *appel/heure*, calculer pour un système d'Erlang C qui a une probabilité de blockage de 5% en retardant un appel :
  - 1 combien d'utilisateur par  $Km^2$  le système peut supporter ?
  - 2 Calculer  $Pr[retard > 10s]$

# Solution

- surface couverte par une cellule =  $2.5981 \times R^2 = 5 \text{ Km}^2$
- nb de canaux par cellule dans un système à clusters  $N=4$  :  
 $m = 60/4 = 15$  canaux
  - ①
    - $\text{GOS}=0.05$  ;  $m=15$ .  $\implies$  D'après le diagramme d'erlang C on lit  $A = 9$  Erlangs.
    - nb d'utilisateurs = trafic total/tarfic par utilisateur =  $9/0.029=310$  utilisateurs
    - nb d'utilisateur par  $\text{Km}^2$  :  $310/5=62$  utilisateur/ $\text{km}^2$
  - ②
    - $H = A_u/\lambda = 0.029 \text{ heure} = 0.029 \times 3600 = 104.4 \text{ secondes}$
    - $Pr[\text{retard} > 10s] = Pr[\text{retard} > 0]e^{-(m-A)t/H}$   
 $= 0.05e^{-(15-9)10/104.4} = 2.81\%$