



Examen de Bureau d'Etude
Sylvain CLOUPET, Sylvain VERRON

Date : 20/01/16

Durée : 3H00

Documents autorisés : OUI

Guidage en rotation d'un pignon arbré

Le thème proposé est le dimensionnement de composants technologiques intervenant dans la réalisation d'un guidage en rotation d'un pignon arbré 3 (Annexe 1). La première partie consiste à déterminer les actions mécaniques appliquées à chacun des composants. Les dimensionnements des roulements et du pignon sont réalisés dans la deuxième partie et la troisième partie.

Chaque partie peut être traitée indépendamment des autres.

1^{er} partie : Détermination des inconnues de liaison au niveau des roulements

Chaque roulement à contact oblique du montage en O est modélisé par une liaison rotule. L'angle de pression de fonctionnement α est de 20° . Les actions extérieures appliquées sur le pignon arbré sont :

- Couple moteur $\vec{C}_m = C_m \vec{x}$ avec $C_m = 50 \text{ Nm}$
- Charge axiale $\vec{P} = P \vec{x}$ avec $P = 600 \text{ N}$

1. Calculer le degré d'hyperstatisme du système : le pignon arbré.
2. Donner la forme des torseurs des actions mécaniques des liaisons rotules en A_1 et en A_2 . Compte tenu du montage « en O », quels sont les sens des forces axiales des roulements sur l'arbre ?
3. Le pignon arbré 3 engraine une couronne qui n'est pas représentée sur l'annexe 1. L'annexe 2 propose un schéma de principe de cette transmission. Donner la forme du torseur de l'action de contact de la couronne sur le pignon arbré 3 en B en fonction du module F_B de l'action de contact et de l'angle de pression α . De façon non obligatoire

mais afin d'éviter les erreurs de signe, on propose la méthodologie suivante :

- 3.1 Définir le sens de rotation du pignon arbré.
- 3.2 En déduire le sens de rotation de la couronne
- 3.3 Représenter dans un repère l'effort de contact des actions extérieures sur le pignon
- 3.4 En déduire le torseur de l'action de contact en B.
4. A partir du nombre d'équations et du nombre d'inconnues du PFS, donner le degré d'hyperstatisme du système. Est-ce cohérent avec le résultat de la question 1 ? Expliquer.
5. Après avoir ramené au point A2, l'ensemble des torseurs des efforts qui s'appliquent sur l'ensemble « pignon arbré », déterminer les composantes radiales des forces agissant sur les roulements et l'effort de contact F_B . Donner la relation liant les composantes axiales des efforts agissant sur les roulements.

Dans cette partie, et quels que soient les résultats de la première partie, on considérera que les actions mécaniques appliquées aux roulements se décomposent en une composante radiale F_{Ri} et en une composante axiale F_{Ai} , où « i » prendra soit 1 pour le roulement 1 et 2 pour le roulement 2. les valeurs des forces radiales appliquées aux roulements sont :

F_{R1}	665 N	F_{R2}	2439 N
----------	-------	----------	--------

6. On se propose maintenant de déterminer les composantes axiales des actions mécaniques appliquées aux roulements 1 et 2. A l'aide de la méthode détaillée en annexe 3, calculer ces charges axiales.

2^{ème} partie : Calcul de la durée de vie des éléments de guidage

Dans cette partie, et quels que soient les résultats de la première partie, les valeurs des charges radiales et axiales sont :

F_{R1}	665 N	F_{R2}	2439 N
$ F_{A1} $	913 N	$ F_{A2} $	713 N

On souhaite maintenant choisir les roulements pour réaliser le guidage du pignon-arbré 3.

Les données sont les suivantes :

- vitesse de rotation de l'arbre est de 1500 tr/min
 - les diamètres de l'arbre sont :
 - $d_1 = 17$ mm au point A_1
 - $d_2 = 25$ mm au point A_2
 - Les caractéristiques des roulements :
 - $e_1 = 0,29$; $X_1 = 0,4$ et $Y_1 = 2,11$
 - $e_2 = 0,35$; $X_2 = 0,4$ et $Y_2 = 0,71$
1. Calculer les charges équivalentes P_{eq} de la relation pour chaque roulement.

On rappelle la relation de calcul de durée de vie :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_{eq}} \right)^k$$

2. En déduire les capacités de charge dynamique minimales pour chaque roulement sachant que les durées de vie souhaitées sont :
- $L_{10_{R1}} = 5000$ Million de tours pour le roulement 1
 - $L_{10_{R2}} = 21000$ Million de tours pour le roulement 2
3. En tenant compte des caractéristiques géométriques de l'arbre, choisissez les roulements appropriés dans le tableau de l'annexe 4.
- A partir de ces nouvelles capacités de charge dynamique, calculer les nouvelles durées de vie des roulements. Convertir ces valeurs en heures.
4. Calculer la fiabilité du montage pour une durée de vie du montage de 25000 heures de fonctionnement. Pour cela, on rappelle la formule suivante :

$$L_x = L_{10} \left(\frac{\text{Log} X}{\text{Log} 0,9} \right)^{\frac{2}{3}}$$

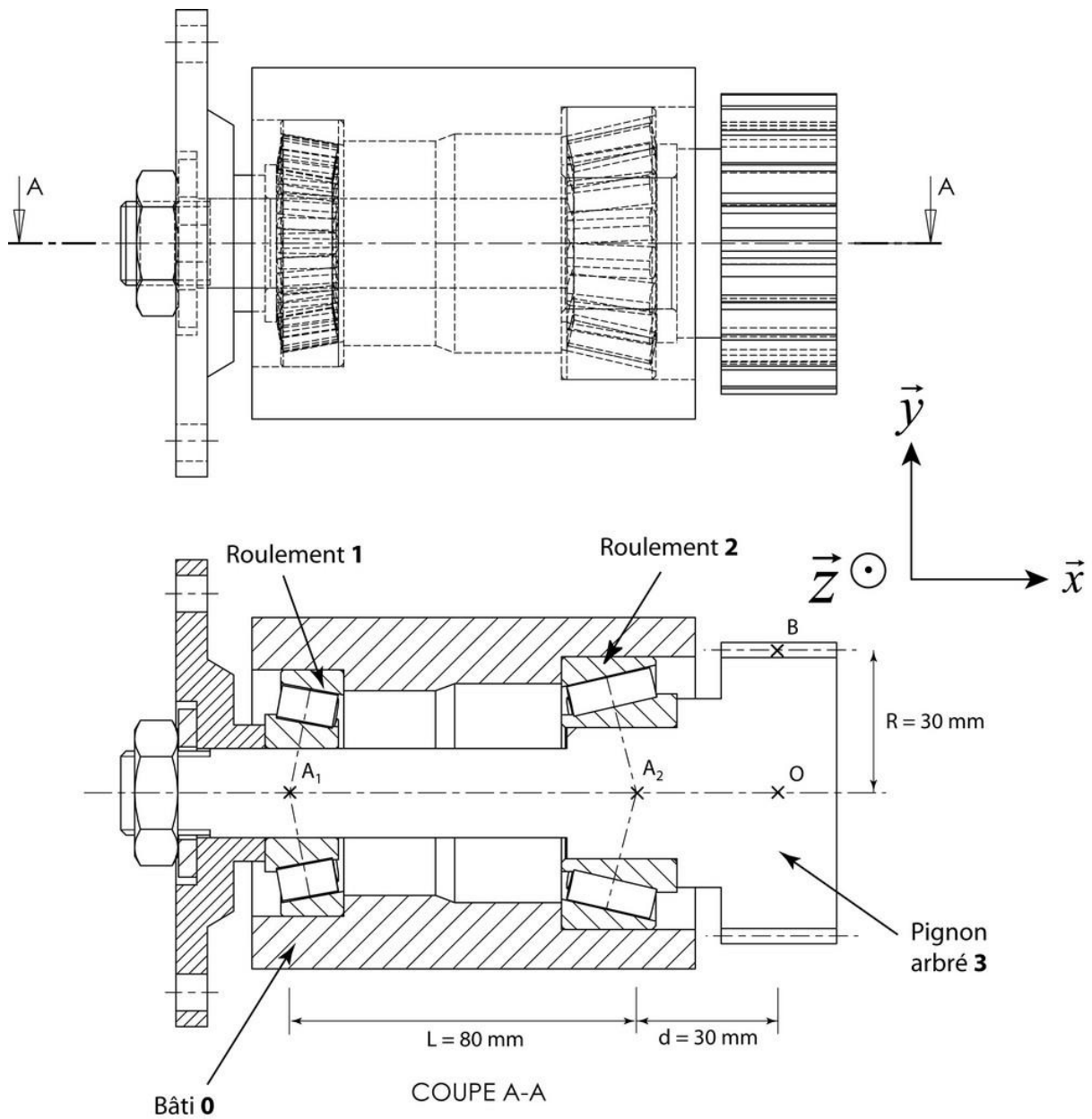
3^{ème} partie : Dimensionnement du pignon

L'objectif de cette partie est de choisir le matériau du pignon pour une durée de vie de 25000 heures. On précise que :

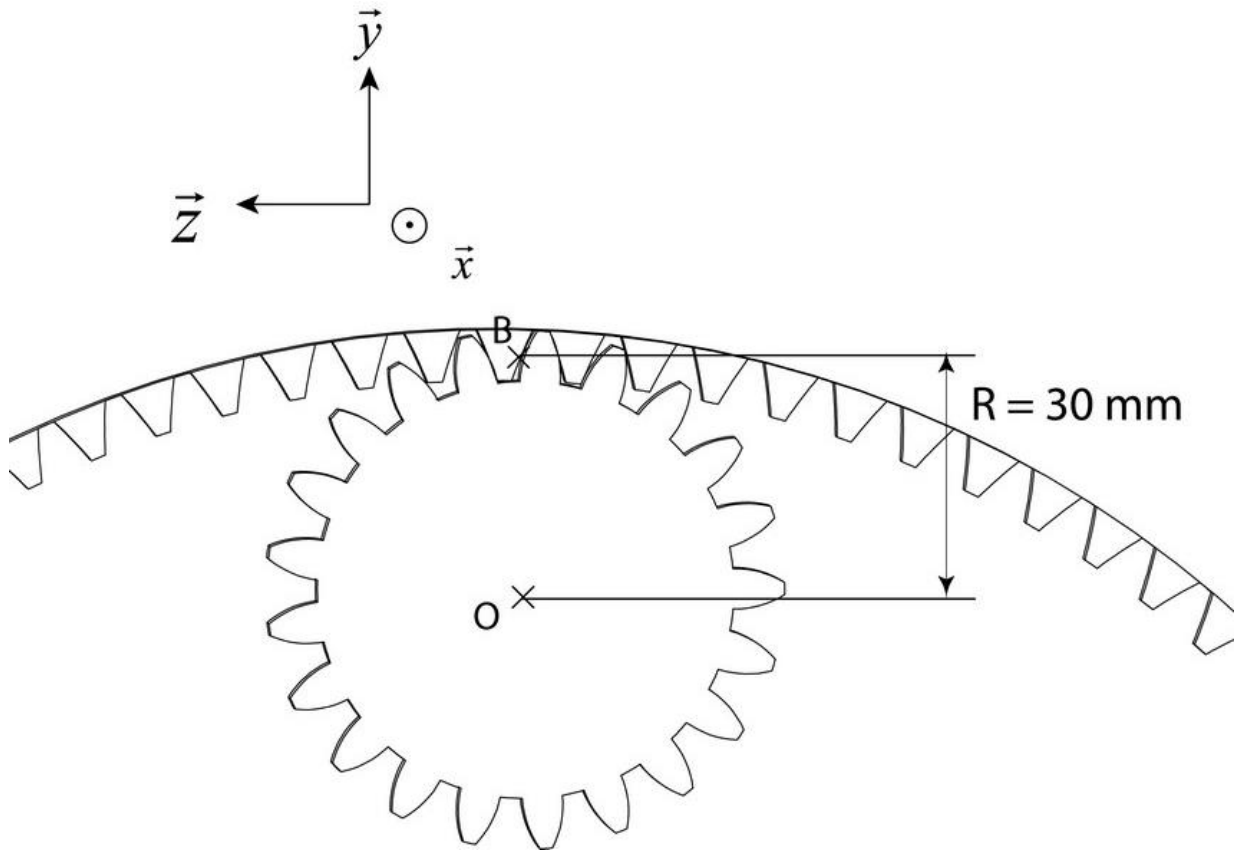
- l'engrenage est « à contact intérieur » de rapport de réduction 4 (soit un rapport de transmission de 0.25)
- le coefficient de déport est nul
- le nombre de dents du pignon est de 24

- le rapport λ géométrique vaut 10
 - la conduite vaut $C = 1,7$
 - la qualité de réalisation est ISO 7
 - le moteur et le récepteur associés à cet engrenage sont de type II
 - le système est sensé fonctionner environ 8 heures par jour
-
1. Proposer un schéma cinématique du système pignon couronne. Les roulements seront schématisés par des liaisons rotules.
 2. L'entraxe est la distance entre l'axe de rotation du pignon et l'axe de rotation de la couronne. Donner la relation de l'entraxe « a » en fonction du rayon du pignon R_c et du rayon de la couronne R_p .
 3. Calculer le module du pignon. En déduire la valeur de l'entraxe.
 4. A partir du critère de flexion au pied de dent, calculer la valeur minimale de σ_0 .
 5. A partir du critère de la pression superficielle, calculer la valeur minimale de K_0 .
 6. A partir des résultats de la question 4 et 5, proposer un matériau pour la réalisation du pignon arbré.

ANNEXE 1 : Plan d'ensemble du pignon arbré

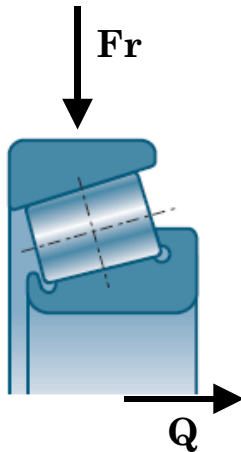


ANNEXE 2 : Transmission Pignon Couronne



ANNEXE 3 : Gestion de l'hyperstatisme pour les roulements à contact oblique

Effort axial induit



Un effort radial Fr sur un roulement à contact oblique implique un effort axial Q induit :

- Rouleaux coniques :

$$Q = \frac{Fr}{2Y} \quad \text{où } Y \text{ est une donnée du roulement.}$$

- Roulement à bille à contact oblique :

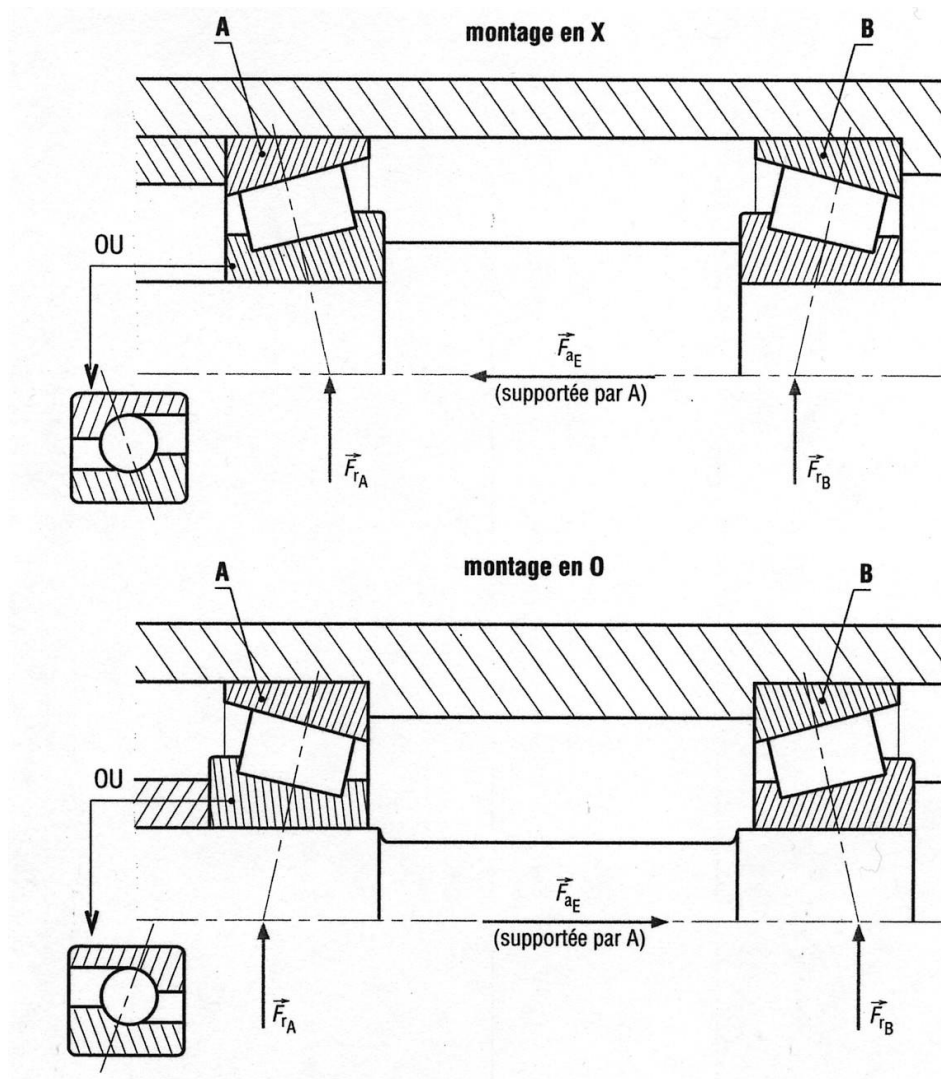
$$Q = \frac{Fr}{1.14}$$

Montage

Les montages en O ou en X implique la modélisation des roulements par des liaisons rotules. On a donc :

$$T_A = \left\{ \begin{array}{c|c} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{array} \right\} \quad \text{et} \quad T_B = \left\{ \begin{array}{c|c} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ Z_B & 0 \end{array} \right\}$$

Ce système est hyperstatique d'ordre 1. On ne peut pas calculer directement X_A et X_B .



Méthode de calcul ISO

Pour un fonctionnement correct, on doit toujours avoir X_A et Q_A de même sens (de même pour B), ainsi que $X_A \geq Q_A$ (de même pour B).

- 1) On pose $X_A = Q_A$, et on calcule X_B .
- 2) Si $X_B \geq Q_B$, alors OK pour ces calculs.
- 3) Sinon, $X_B = Q_B$ et on calcule X_A

Attention : Les calculs donnés ci-dessus sont uniquement valables pour les montages en X et en O donnés précédemment. Si la charge axiale extérieure Fa est inversée, alors faire les calculs en prenant le roulement A en tant que B, et vice-versa.

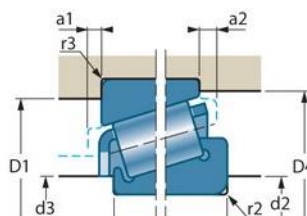
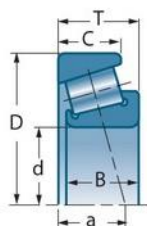
ANNEXE 4 : Extrait de catalogue de roulement à rouleaux coniques SNR








Roulements à rouleaux coniques

Roulements à rouleaux coniques

(suite)



d		D	B	C	T	a			e	Y	Yo		
mm	Réf.	mm	mm	mm	mm	mm	10 ³ N	10 ³ N				tr/mn*	tr/mn*
15	30202 A	35	11	10,0	11,75	8,40	15,40	13,50	0,32	1,88	1,03	10000	15000
17	30203 A	40	12	11,0	13,25	9,75	20,80	19,00	0,35	1,74	0,96	9600	13000
	32203 A	40	16	14,0	17,25	11,25	31,00	31,00	0,31	1,92	1,06	9200	12000
	30303 A	47	14	12,0	15,25	10,00	29,20	26,70	0,29	2,11	1,16	8500	11600
20	30204 A	47	14	12,0	15,25	11,25	30,50	31,00	0,35	1,74	0,96	8000	11000
	30304 A	52	15	13,0	16,25	11,00	35,00	32,50	0,30	2,00	1,10	7500	10000
	31304	52	15	11,0	16,25	17,25	26,00	25,50	0,83	0,72	0,40	7200	10000
	32304 A	52	21	18,0	22,25	14,45	45,00	45,00	0,30	2,00	1,10	8000	11000
25	32005 V	47	15	11,5	15,00	11,50	28,50	31,50	0,43	1,39	0,77	7600	10000
	30205 A	52	15	13,0	16,25	12,75	35,50	39,00	0,37	1,60	0,88	7100	10000
	32205 B	52	18	15,0	19,25	16,75	41,50	49,00	0,58	1,03	0,57	7200	9500
	33205 A	52	22	18,0	22,00	14,10	49,00	57,00	0,35	1,71	0,94	7500	10000
	30305 A	62	17	15,0	18,25	12,90	47,50	44,50	0,30	2,00	1,10	6300	8500
	31305 V	62	17	13,0	18,25	20,45	39,00	39,50	0,83	0,73	0,40	6000	8300
	32305 A	62	24	20,0	25,25	16,55	61,00	62,00	0,30	2,00	1,10	6200	8200
30	32006 C	55	17	13,0	17,00	13,50	38,00	45,00	0,43	1,39	0,77	6400	8000
	30206 A	62	16	14,0	17,25	13,75	46,00	48,50	0,37	1,60	0,88	6000	8500
	32206 C	62	20	17,0	21,25	14,75	50,00	55,00	0,37	1,60	0,88	5800	8100
	33206 A	62	25	19,5	25,00	16,30	67,00	77,00	0,34	1,76	0,97	5800	8000
	30306 A	72	19	16,0	20,75	15,10	59,50	60,00	0,31	1,90	1,05	5400	7500
	31306 A	72	19	14,0	20,75	17,90	51,00	53,00	0,83	0,73	0,40	5000	6300
	32306 A	72	27	23,0	28,75	18,95	83,00	89,00	0,32	1,90	1,05	5600	7500
35	32007 C	62	18	14,0	18,00	15,00	46,50	56,00	0,45	1,32	0,73	5600	7900
	30207 A	72	17	15,0	18,25	15,25	58,00	62,00	0,37	1,60	0,88	5100	7200
	32207 C	72	23	19,0	24,25	18,25	70,00	80,00	0,37	1,60	0,88	4900	6900
	32207 B	72	23	19,0	24,25	21,75	66,00	81,00	0,58	1,03	0,57	5200	6900
	33207 A	72	28	22,0	28,00	18,40	88,00	104,00	0,35	1,70	0,94	5300	7100
	30307 A	80	21	18,0	22,75	16,00	76,00	77,00	0,31	1,90	1,05	4700	6600
	31307 A	80	21	15,0	22,75	27,00	63,00	67,00	0,83	0,73	0,40	6400	4700
	32307 A	80	31	25,0	32,75	20,00	105,00	116,00	0,31	1,90	1,05	4900	6600
	32307 B	80	31	25,0	32,75	25,25	95,00	112,00	0,55	1,10	0,60	4600	6300
40	32008 C	68	19	14,5	19,00	15,00	53,00	65,00	0,38	1,58	0,87	5000	7000
	33108 A	75	26	20,5	26,00	18,30	83,00	105,00	0,35	1,69	0,93	4600	6500
	30208 A	80	18	16,0	19,75	17,05	62,00	66,00	0,37	1,60	0,88	4800	6300
	32208 C	80	23	19,0	24,75	19,75	78,00	88,00	0,37	1,60	0,88	4300	6100
	33208 A	80	32	25,0	32,00	21,00	107,00	137,00	0,36	1,68	0,92	4400	6100
	30308 A	90	23	20,0	25,25	19,85	90,00	96,00	0,35	1,74	0,96	4300	5600
	31308 A	90	23	17,0	25,25	20,65	79,00	86,00	0,83	0,73	0,40	4000	5000

* Il s'agit de vitesses limites suivant le concept SNR (cf. p. 85 à 87)