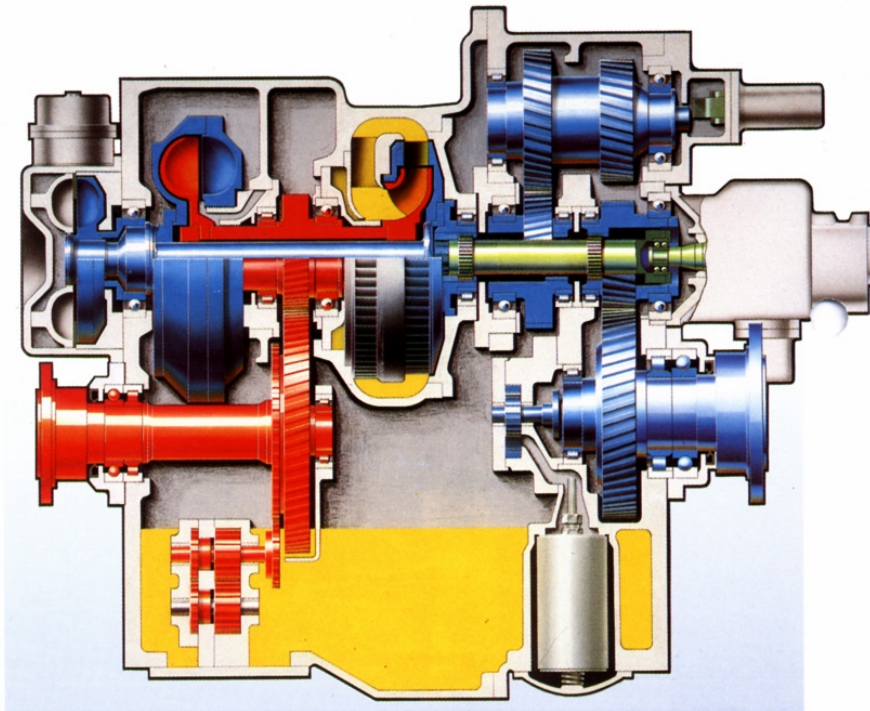


Etude d'une transmission d'autorail diesel

Le sujet comporte 6 pages de texte et 5 documents



Présentation d'un autorail et de la turbo-transmission VOITH

Liste des figures et documents :

- Page de garde** : Présentation de l'autorail et de la turbo-transmission VOITH
- Document I** : Présentation d'architectures de transmissions d'autorails (format A4)
- Document II** : Présentation de la transmission étudiée (format A4)
- Document III** : **Trame préimprimée**, présentant le réducteur de roue, à rendre à la fin de l'épreuve (format A3)
- Document IVa-b** : Dimensions de roulements à rouleaux coniques (format A4)

Tournez la page S.V.P.

Etude d'une transmission d'autorail diesel

Les métros, les trains express régionaux et les tramways sont, sans aucun doute, les moyens de transport de passagers sur courte distance les plus économiques, en raison de leur capacité élevée. Compte tenu du nombre sans cesse croissant de passagers, ces véhicules sont attractifs, s'ils roulent vite et s'ils desservent, à des fréquences élevées, des gares ou des arrêts bien disposés en ville. Les phases fréquentes d'accélération et de ralentissement, ainsi que les courbes raides peuvent altérer le confort des passagers. Ce confort peut être sensiblement amélioré par l'utilisation d'un entraînement conçu de manière optimale. Par exemple, pour les tramways, les développements techniques ont permis de construire des châssis surbaissés. Cette tendance s'impose rapidement et entraîne une reconception des transmissions.

Nous proposons l'étude d'une transmission d'autorail diesel utilisant une turbo-transmission réalisée par Voith. Ces transmissions sont généralement montées sous les planchers des autorails et sont caractérisées par des durées de vie importantes (la première révision est prévue après 800 000 km). Les turbo-transmissions Voith sont des transmissions hydrodynamiques à plusieurs circuits avec auto-adaptation en continu et en douceur de l'effort de traction aux différents régimes de marche. Dans leur mode de fonctionnement elles sont insensibles aux sollicitations thermiques et mécaniques ; elles filtrent les oscillations entre le moteur et les roues et empêchent le moteur de caler. La version étudiée (**Page de garde**) comporte un coupleur et un convertisseur de couple pour l'accélération du véhicule ; pour un point de fonctionnement donné, un seul élément est utilisé pour la transmission de la puissance. La transmission comporte aussi un ralentisseur hydrodynamique et le changement de sens de marche se fait à l'arrêt.

Le **document I** présente, pour fixer les idées, différentes implantations des transmissions sur les autorails et la réalisation d'un essieu moteur.

Le travail demandé comporte trois parties. La première partie concerne une analyse des caractéristiques de la turbo-transmission. La seconde partie est liée à l'optimisation du dimensionnement d'un arbre de transmission par la réalisation du pont moteur. La troisième est centrée sur la conception du réducteur de ce pont moteur.

PREMIERE PARTIE : Analyse des caractéristiques de la turbo-transmission

Dans cette partie nous allons analyser la réalisation et les caractéristiques d'une transmission d'autorail équipé d'un moteur diesel (**documents I, II et Page de garde**).

1) Proposer des choix technologiques pour la réalisation des arbres de transmission « 3 » (**Figure 1, Document II**) ; justifier rapidement vos choix.

2) Donner les principales caractéristiques des coupleurs hydrocinétiques et des convertisseurs de couple hydrocinétiques.

La **figure 2 (Document II)** présente une « turbo-transmission » (type « T211r ») adaptée au montage sous le plancher d'autorail de faible puissance (de l'ordre de 200 kW). Cette transmission comportent principalement un convertisseur de couple (2) et un coupleur (3). L'évolution de l'effort de traction normalisé (F/F_i) et l'évolution du rendement de la transmission (η) sont présentées en fonction de la vitesse d'avancement normalisée de l'autorail (V/V_x).

3) En utilisant les caractéristiques des transmissions hydrocinétiques, analyser et justifier les courbes caractéristiques de la turbo-transmission (**Figure 2, Document II**).

4) Expliquer rapidement le but et le fonctionnement du ralentisseur « 4 » (**Figure 2, Document II**).

5) Expliquer la phase d'inversion de sens de marche. L'utilisation de schémas peut faciliter les explications (**Figure 2, Document II et Page de garde**).

6) Quels sont les intérêts de cette transmission par rapport à une boîte de vitesses à commande manuelle pour l'application étudiée ?

7) Justifier l'utilisation du système de refroidissement « 4 » (**Figure 1, Document II**).

La **figure 3 (Document II)** présente l'architecture simplifiée d'une nouvelle génération de pont moteur. Nous faisons l'hypothèse que ce pont est fixé sur un support rigide, la liaison entre ce support et l'autorail réalisant la suspension.

8) Justifier l'utilisation d'un différentiel et proposer un schéma de ce composant.

9) Proposer des choix technologiques pour la réalisation des accouplements aux deux extrémités de l'arbre de transmission (**Figure 3, Document II**) ; justifier rapidement vos choix.

Tournez la page S.V.P.

SECONDE PARTIE : Dimensionnement de l'arbre de transmission

Dans cette partie, on s'intéresse à la chaîne cinématique qui permet l'entraînement des roues (**Figure 3, Document II**). Celle-ci comporte une barre de transmission qui travaille principalement en torsion lorsque le train roule. La barre est constituée d'un tube et de deux manchons d'accouplement. Dans cette partie, nous étudions seulement le tube.

La fabrication de tubes peut se faire de différentes façons. Notamment, on peut utiliser des tubes obtenus par soudage, après deux opérations de pliage. La **figure 5**, ci-dessous, montre la section du tube après fabrication.

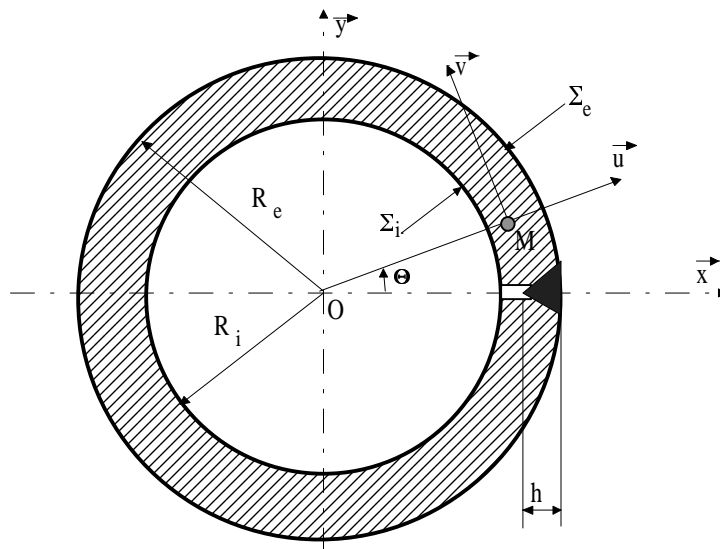


Figure 5 : Modélisation de la section du tube

La longueur de tube étudié est notée L.

La section du cordon de soudure à la forme d'un triangle rectangle équilatéral défini par la profondeur de soudage h.

L'objectif de l'étude est de proposer une méthode simplifiée permettant de dimensionner le tube et le cordon de soudure. Dans un premier temps, on détermine les contraintes dans un tube non fendu, soumis à un couple de torsion $\vec{C} = C \vec{z}$. Dans un second temps, on étudie les contraintes qui se développent dans le cordon. Dans un troisième temps, on définit des critères de choix des dimensions et des matériaux.

A- Détermination des contraintes dans un tube sollicité en torsion

La méthode de la Mécanique des Milieux Continus utilisée est celle des déplacements. On demande :

A-1) De rappeler succinctement les différentes étapes de la méthode. Pour chaque étape, on indiquera la nature des équations mises en œuvre.

A-2) De montrer qu'en l'absence de densité volumique d'effort extérieur, le champ des déplacements $\vec{u}(M,t) = A r z \vec{v}$ vérifie les équations de NAVIER. On utilise les coordonnées cylindriques r, θ, z , auxquelles, en tout point, on associe la base locale $(\vec{u}, \vec{v}, \vec{z})$. A est une constante qu'il faudra calculer par la suite.

En coordonnées cylindriques, les équations de NAVIER s'écrivent :

$$\begin{aligned}(\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial r} (\operatorname{div} \vec{u}) + f_r &= 0 \\ \frac{1}{r} (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial \theta} (\operatorname{div} \vec{u}) + f_\theta &= 0 \\ (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial z} (\operatorname{div} \vec{u}) + f_z &= 0\end{aligned}$$

A-3) De calculer le champ des contraintes correspondantes. On considérera que le comportement du matériau est élastique linéaire et qu'il est caractérisé par les constantes λ et μ .

A-4) De déterminer les torseurs d'effort qui s'appliquent sur les faces latérales $\Sigma_0 (z = 0)$ et $\Sigma_L (z = L)$. En déduire la constante A lorsque le couple de torsion est $\vec{u}(M,t) = A r z \vec{z}$.

B- Calcul des contraintes auxquelles est soumis le cordon de soudure en fonctionnement

Dans cette partie de l'étude, on suppose que le tube soudé se comporte comme un tube sans soudure de rayons R_e et $R_e - h$. On demande :

B-1) D'exprimer le champ des contraintes qui se développe lorsqu'il est soumis au couple $\vec{u}(M,t) = A r z \vec{z}$.

B-2) De déterminer en quels points de la section radiale caractérisée par $r \in [R_e - h, R_e]$, $\theta = 0$, l'état des contraintes est maximal. Quelle est la nature des sollicitations dans cette section ?

C- Démarche de choix des matériaux

On demande :

C-1) De donner les différents critères qui peuvent intervenir dans le choix du matériau constituant le cordon de soudure. Indiquer la démarche adoptée pour faire un choix.

C-2) D'indiquer un critère permettant de déterminer la profondeur du soudage, le choix du matériau constituant la soudure étant fait. Ecrire l'expression de la valeur minimale admissible pour h .

C-3) Une démarche simplifiée a été proposée, critiquez cette démarche et, en quelques lignes, indiquez des points importants qui ne sont pas pris en compte dans la méthode ci-dessus.

D- Prise en compte des contraintes résiduelles dues au soudage

Lors du soudage, le matériau constituant le cordon de soudure est liquéfié, sa température de dépose est T_f (environ 1400 °C). On suppose, ce qui n'est pas vraiment le cas, que lors de l'opération de soudage le matériau constituant le tube reste à la température ambiante T_a (environ 20 °C). Lorsque le cordon se refroidit, pour passer de T_f à T_a , sa longueur L ne varie pas. On demande :

D-1) D'indiquer par quel type principal de contraintes résiduelles le cordon est sollicité quand il est refroidi.

D-2) De calculer cet état de contraintes résiduelles. On note α le coefficient de dilatation du matériau de soudage, il est supposé indépendant de la température.

D-3) De reprendre la question **C-2**).

D-4) Les contraintes résiduelles occasionnent souvent des fissures dans le cordon, en fonction des résultats obtenus au **D-2**, donner un critère de rupture possible qui permette de choisir le matériau du cordon.

D-5) En considérant les paramètres qui gouvernent le niveau des contraintes résiduelles, d'indiquer des moyens de fabrication à mettre en œuvre afin de minimiser ces dernières.

TROISIEME PARTIE : Conception du réducteur de roue

La **figure 3 (Document II)** présente l'architecture simplifiée du pont moteur à réaliser. Nous faisons l'hypothèse que ce pont est fixé sur un support rigide, la liaison entre ce support et l'autorail réalisant la suspension. L'objectif de cette partie est la réalisation du dessin d'un avant projet du réducteur de roue (**figure 4 Document II**).

1) Proposer un schéma d'architecture (ou schéma technologique) de ce réducteur. La solution technique proposée utilise des roulements à rouleaux coniques pour assurer une grande rigidité aux liaisons pivots. Les solutions constructives proposées pour assurer le bon fonctionnement du réducteur seront rapidement commentées.

2) Réaliser un dessin d'avant-projet de ce réducteur (**document III**) en respectant le cahier des charges suivant :

- puissance maximale transmissible : 100 kW,
- liaisons pivots réalisées avec des roulements à rouleaux coniques (**document IVa-b**),
- système rigide et compact permettant un montage facile,
- lubrification à l'huile,
- réalisation en moyenne série,
- le carter du réducteur est fixé par sa partie inférieure sur le support rigide (support relié à l'autorail),
- le réducteur doit être le plus compact possible.

Le **document III** présente, à l'échelle **1/3**, le positionnement des différents arbres et pignons. Les dimensions minimales des arbres d'entrée et de sortie sont aussi précisées (\varnothing 60 mm pour l'arbre d'entrée et \varnothing 120 mm pour l'arbre de sortie).

Pour fixer les idées l'encombrement de la roue est donné mais le montage de celle-ci sur l'arbre de sortie n'est pas à réaliser.

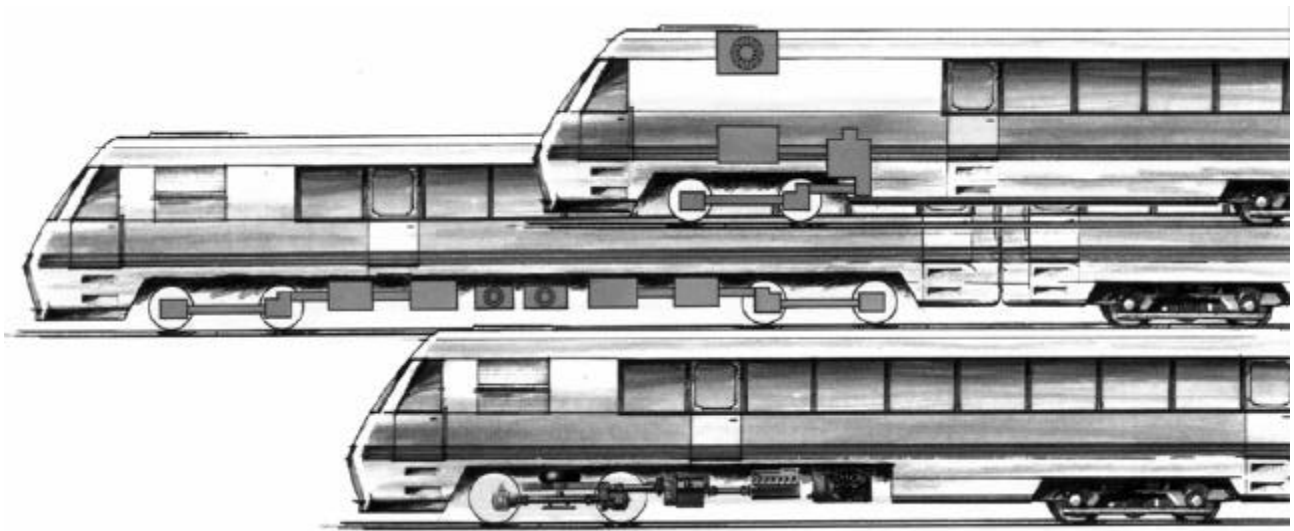
Le dimensionnement des différentes liaisons n'est pas à étudier.

Les différents ajustements sont à préciser.

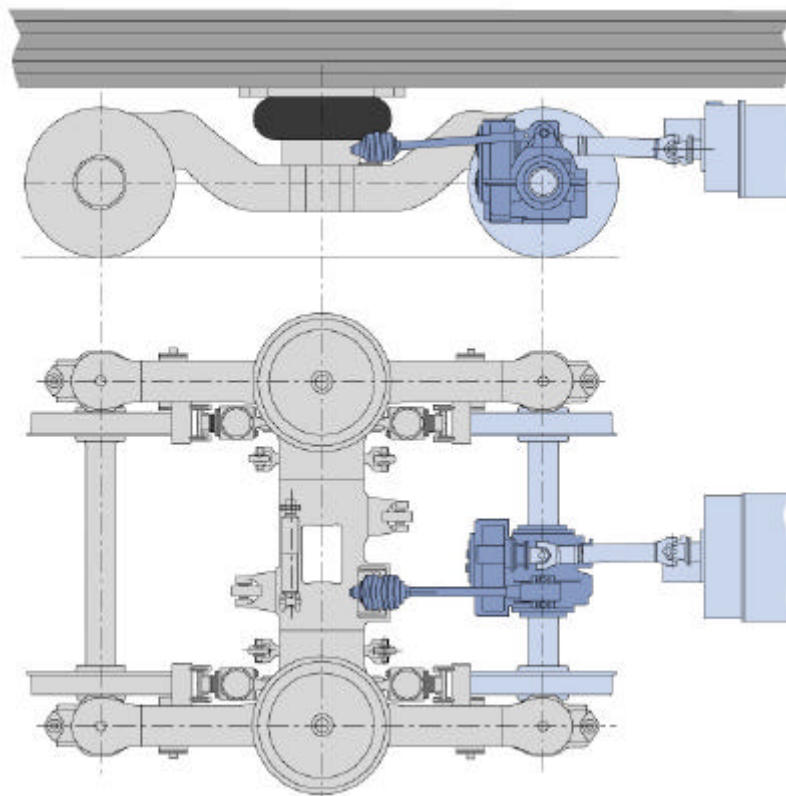
Pour les éléments standards du commerce il est demandé de respecter l'ordre de grandeur des dimensions.

Les différentes vues nécessaires à la compréhension doivent être représentées.

3) Proposer une vue en perspective, à main levée, du carter sur la copie.



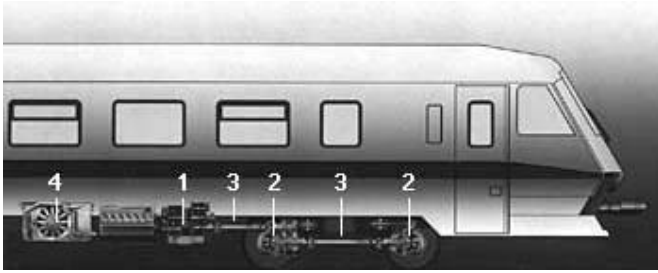
Différentes implantations de la chaîne de transmission de puissance



Réalisation d'un essieu moteur

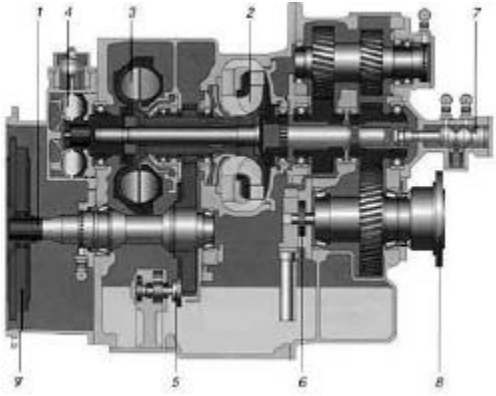


Réalisation d'un pont moteur



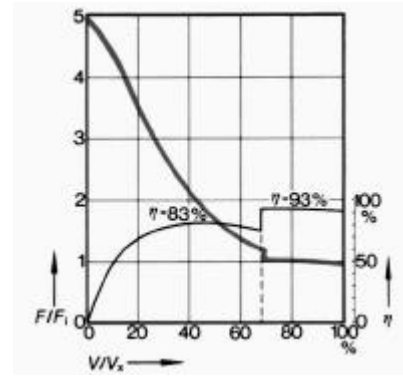
- 1 : turbo-transmission
- 2 : boîtiers de transmission
- 3 : arbres de transmission
- 4 : système de refroidissement

Figure 1 : Implantation de la transmission



Turbo-transmission Voith

- 1 : arbre d'entrée
- 2 : convertisseur de couple
- 3 : coupleur
- 4 : ralentisseur
- 5 : pompe hydraulique



Effort de traction - rendement

- 6 : pompe pour lubrification
- 7 : commande de l'inverseur de marche
- 8 : arbre de sortie
- 9 : accouplement avec le moteur

Figure 2 : Présentation de la turbo-transmission et de ses caractéristiques

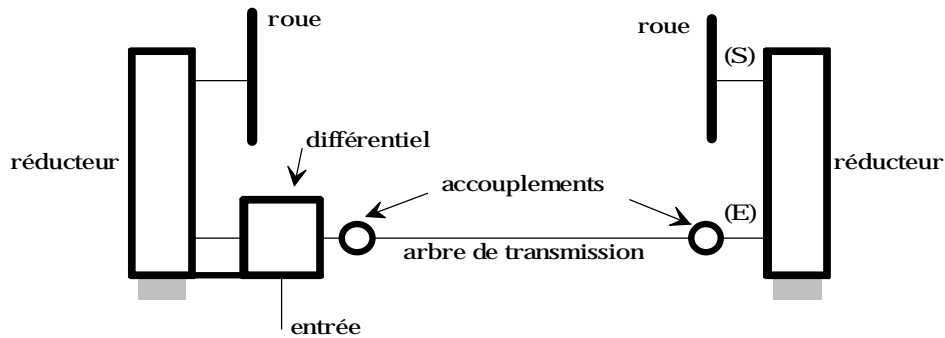


Figure 3 : Présentation de l'architecture du pont moteur

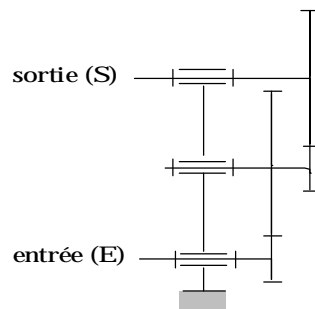


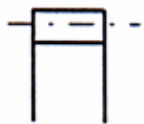
Figure 4 : Schéma d'un réducteur de roue

C32172

Nom :
(en lettres capitales)
Prénom :
Epreuve :
N° de table :

J. 1890-D

encombrement
de la roue

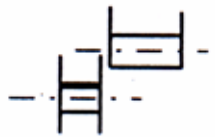


axe de la roue

Ø mini : 120 mm

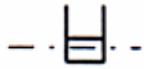


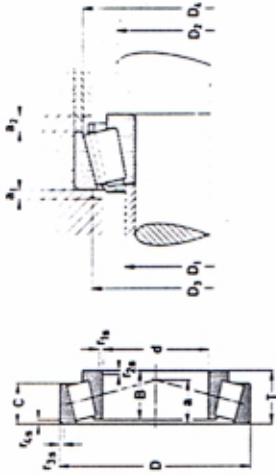
arbre intermédiaire



arbre d'entrée

Ø mini : 60 mm





Arbre Dimensions

Cotes de montage

Arbre Dimensions

Cotes de montage

Arbre Dimensions

Cotes de montage

Arbre Dimensions

Cotes de montage

Arbre Dimensions

Cotes de montage

Arbre	Dimensions										Cotes de montage									
	d	D	B	C	T	r_{1s}, r_{2s} min	f_{1s}, f_{2s} min	a	a_{\approx}	D_1 max	D_2 min	D_3 min	D_3 max	D_4 min	a_1 min	a_2 min				
110	110	170	38	29	38	2,5	2	37	122	120	152	160	163	7	9					
	110	170	38	29	38	2,5	2	37	122	120	152	160	163	7	9					
	110	170	47	37	47	2,5	2	33	123	120	152	160	161	7	10					
	110	180	56	43	56	2,5	2	44	121	120	155	170	174	9	13					
	110	200	38	32	41	3	2,5	39	129	122	174	188	187	6	9					
120	120	180	38	29	38	2,5	2	40	131	130	161	170	173	7	9					
	120	180	38	29	38	2,5	2	40	131	130	161	170	173	7	9					
	120	180	48	38	48	2,5	2	36	132	130	160	170	171	6	10					
	120	215	40	34	43,5	3	2,5	51	136	132	181	203	204	7	11,5					
	120	260	55	46	59,5	4	3	48	152	134	221	246	237	10	13,5					
130	130	200	45	34	45	2,5	2	44	144	140	178	190	192	8	11					
	130	200	45	34	45	2,5	2	44	144	140	178	190	192	8	11					
	130	230	40	34	43,75	4	3	46	152	144	203	216	217	7	9,5					
	130	230	64	54	67,75	4	3	56	146	144	193	216	219	7	13,5					
	130	280	66	44	72	5	4	87	157	148	218	262	261	9	28					
140	140	210	45	34	45	2,5	2	46	153	150	187	200	202	8	11					
	140	210	45	34	45	2,5	2	46	153	150	187	200	202	8	11					
	140	250	42	36	45,75	4	3	47	163	154	219	236	234	9	9,5					
	140	250	68	58	71,75	4	3	60	159	154	210	236	238	8	13,5					
	140	300	70	47	77	5	4	94	169	158	235	282	280	9	30					
150	150	225	48	36	48	3	2,5	50	164	162	200	213	216	8	12					
	150	225	48	36	48	3	2,5	50	164	162	200	213	216	8	12					
	150	270	45	38	49	4	3	52	175	164	234	256	250	9	11					
	150	270	73	60	77	4	3	64	171	164	226	256	254	8	17					
	150	320	75	50	82	5	4	100	181	168	251	302	300	9	32					

Arbre	Dimensions										Cotes de montage									
	d	D	B	C	T	r_{1s}, r_{2s} min	f_{1s}, f_{2s} min	a	a_{\approx}	D_1 max	D_2 min	D_3 min	D_3 max	D_4 min	a_1 min	a_2 min				
90	90	140	32	24	32	2	1,5	30	100	99	125	131	134	6	8					
	90	140	32	24	32	2	1,5	30	100	99	125	131	134	6	8					
	90	140	39	32,5	39	2	1,5	28	100	99	127	131	135	7	6,5					
	90	150	45	35</																