

Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: https://sam.ensam.eu
Handle ID: .http://hdl.handle.net/10985/9238

To cite this version :

Gabriel ABBA - Comparaison des actionneurs - 2012

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository Administrator : scienceouverte@ensam.eu

Arts et Métiers Institute of Technology

Livrable sur la tâche T4.3
Comparaison des actionneurs

G. Abba
LCFC, EA 4495, Arts et Métiers ParisTech de Metz, 4 rue Augustin Fresnel, 57078 METZ Cedex.
Email : gabriel.abba@ensam.eu

Partie 1 : Résultats de la sélection des moteurs électriques du robot HYDROID

1 Introduction

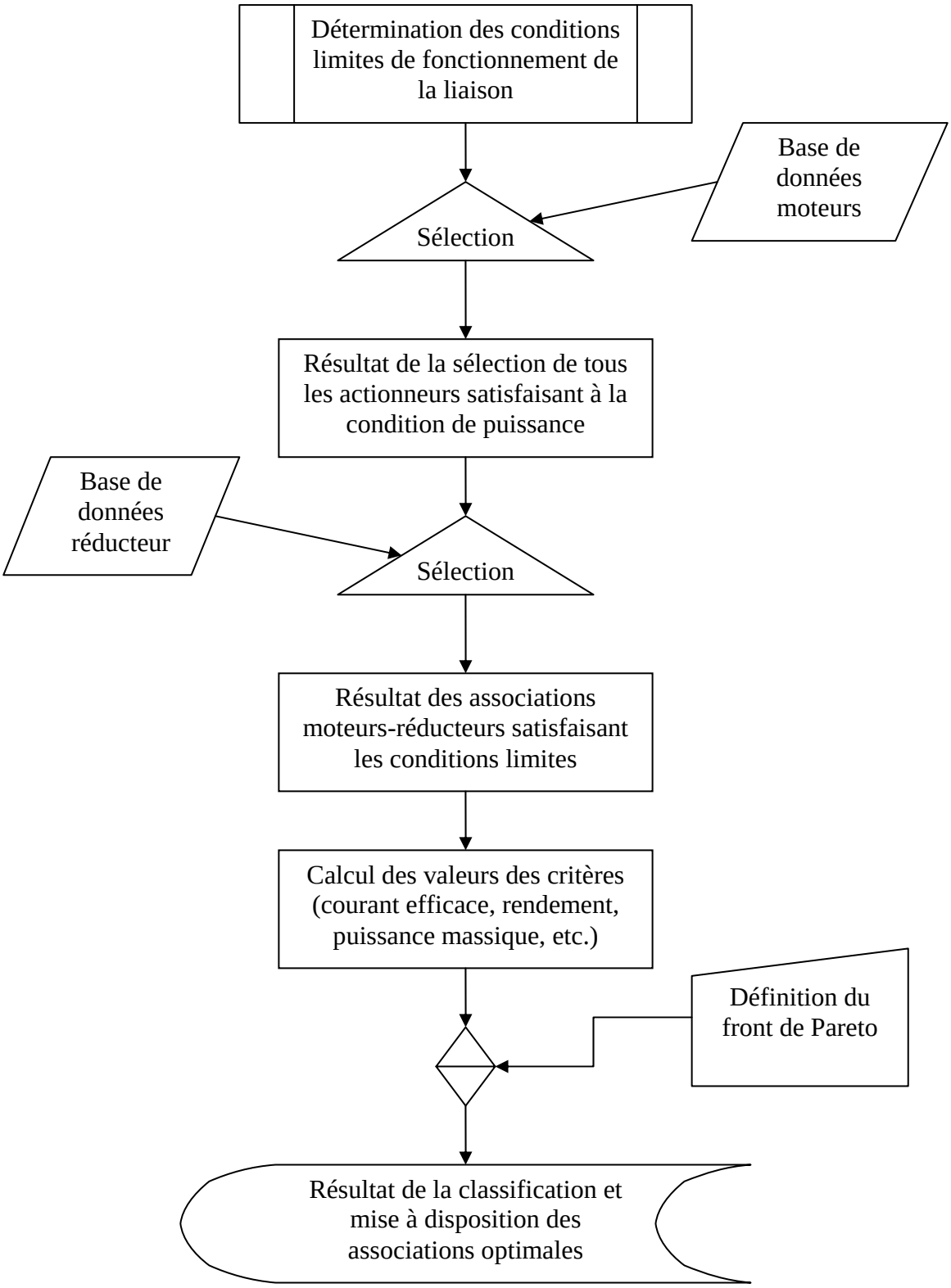
Afin d'acquérir son autonomie de mouvement, un robot bipède ou humanoïde doit être équipé d'actionneurs et d'une réserve d'énergie, très souvent sous forme de batteries ou de réservoir de fluides sous pression. La masse et le volume dévolus à ces fonctions étant très limités, il est absolument nécessaire d'économiser l'énergie disponible et si possible de restituer l'énergie cinétique emmagasinée lors de chaque phase de freinage. D'autre part, pour une masse totale du robot en mouvement, si l'on diminue la masse réservée au squelette (masse des corps constituant le support de la cinématique du robot) et aux actionneurs, alors la masse restante pour la fonction de stockage d'énergie, les fonctions de décision et les capteurs est d'autant plus élevée.

Les objectifs de ce rapport sont donc multiples. En premier, le rapport établie la méthodologie de sélection des actionneurs d'un robot en fonction d'un ou plusieurs critères à satisfaire tout en respectant les contraintes nécessaires au bon fonctionnement du robot, contraintes elles mêmes liées très fortement aux performances dynamiques exigées du robot et aux différentes tâches auxquelles le robot est destiné. Il est facile de montrer que la sélection des actionneurs est fortement liée aux choix technologiques des dispositifs de transmission des mouvements et de la technologie même des dits actionneurs. Le second objectif du rapport est par conséquent d'élaborer une méthode de sélection couplée des actionneurs et des transmissions. Pour se faire, nous limitons délibérément les choix à certaines technologies. Enfin, le dernier objectif du rapport est de proposer un modèle physique approché mais néanmoins le plus précis possible du comportement énergétique de l'ensemble de la chaîne de transmission des mouvements et donc un modèle énergétique des actionneurs, des transmissions cinématiques jusqu'aux variables articulaires du robot.

2 Méthodologie utilisée pour le choix des moteurs

La méthodologie est basée sur une optimisation d'un ou plusieurs critères (rendement, puissance massique, endurance moyenne, courant efficace, etc.) tout en satisfaisant les contraintes physiques limites liées à la technologie de l'actionneur. De plus, on associe une ou plusieurs structures cinématiques de transmission à chaque actionneur lorsque les contraintes ne sont pas vérifiées ou que l'un des critères peut ainsi être optimisé.

La méthodologie est basée sur l'organigramme ci-dessous :



Le résultat de l'ensemble du processus de sélection des actionneurs et des transmissions cinématiques fourni au concepteur les éléments nécessaires au choix argumenté de la solution retenue. Selon les conditions d'endurance souhaitées du robot et de son efficacité énergétique, le résultat ne sera pas systématiquement le même.

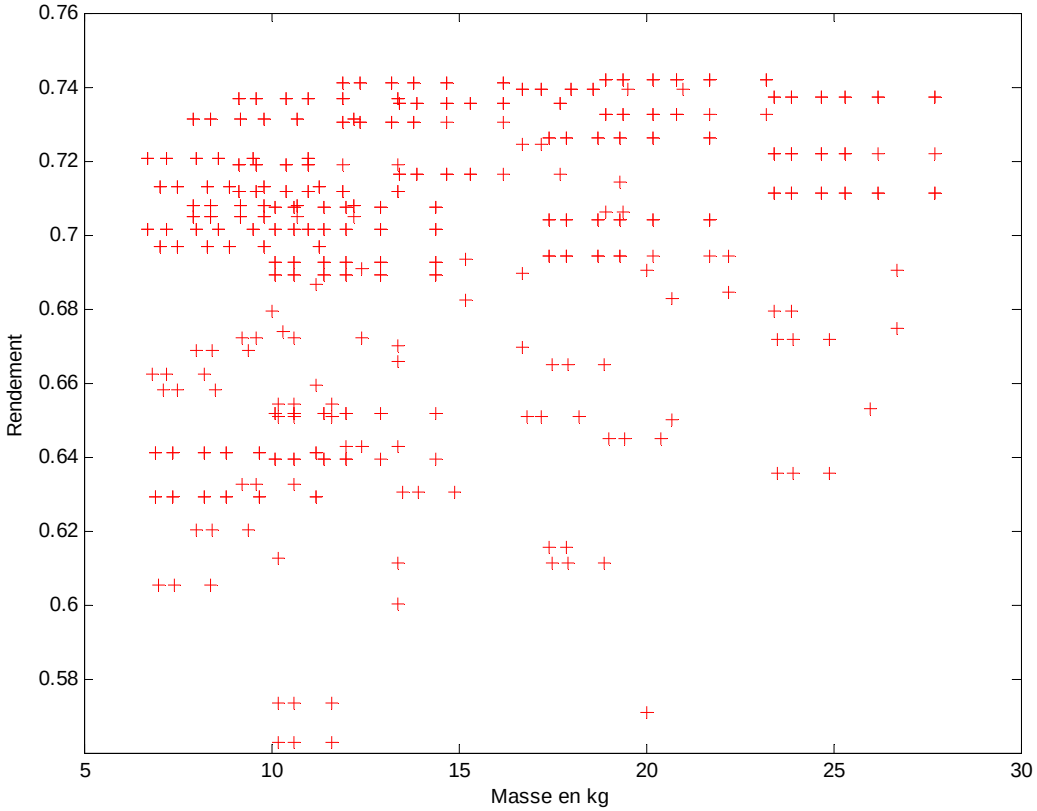
3 Choix des actionneurs pour des conditions de fonctionnement extrêmes

On considère dans un premier temps le fonctionnement du robot avec des valeurs limites supportées par les transmissions hydrauliques associées à chaque articulation des jambes du robot Hydroïd. On fait l'hypothèse que ces valeurs limites de couple et de vitesse doivent toujours être disponibles et que le cycle de fonctionnement de l'actionneur est de type C1. Dans ce cas, nous savons déjà que le courant thermique équivalent (courant efficace) est égal au courant nécessaire pour produire le point de fonctionnement limite. Le réducteur associé au moteur est uniquement donné à titre indicatif et permet de connaître le rapport de réduction équivalent que le réducteur hydraulique devrait permettre dans des conditions limites de fonctionnement. Le choix n'est pas tout à fait rigoureux car les critères d'appréciation des associations moteur-réducteur sont basés sur le rendement du réducteur. Ce point peut être affiné par la suite de l'étude.

Etude de l'articulation des hanches

Cmax = 150Nm
Ωmax = 2,7 rad/s
Pmax = 405 W

Le programme recherche la meilleure solution de choix du moteur et du réducteur de l'articulation des hanches. Dans la première étape de la sélection, le programme développé va fournir l'ensemble des associations possibles. Toutes ces solutions (elles sont au nombre de 442) sont d'abord exploitées dans le plan (masse-rendement) comme le montre la figure ci-dessous.



On peut remarquer sur le graphique précédent que selon le rendement exigé, on sera obligé de choisir un ensemble moteur-réducteur plus ou moins lourd. Il existe donc un front de Pareto qu'il faut préciser. Si l'on désire un ensemble léger, on cherche dans la zone de masse

inférieure à 7 kg puisqu'il existe 9 solutions. On peut par exemple établir la liste de tous les ensembles qui conviennent dans le début du graphique. Le programme nous donne les résultats suivants :

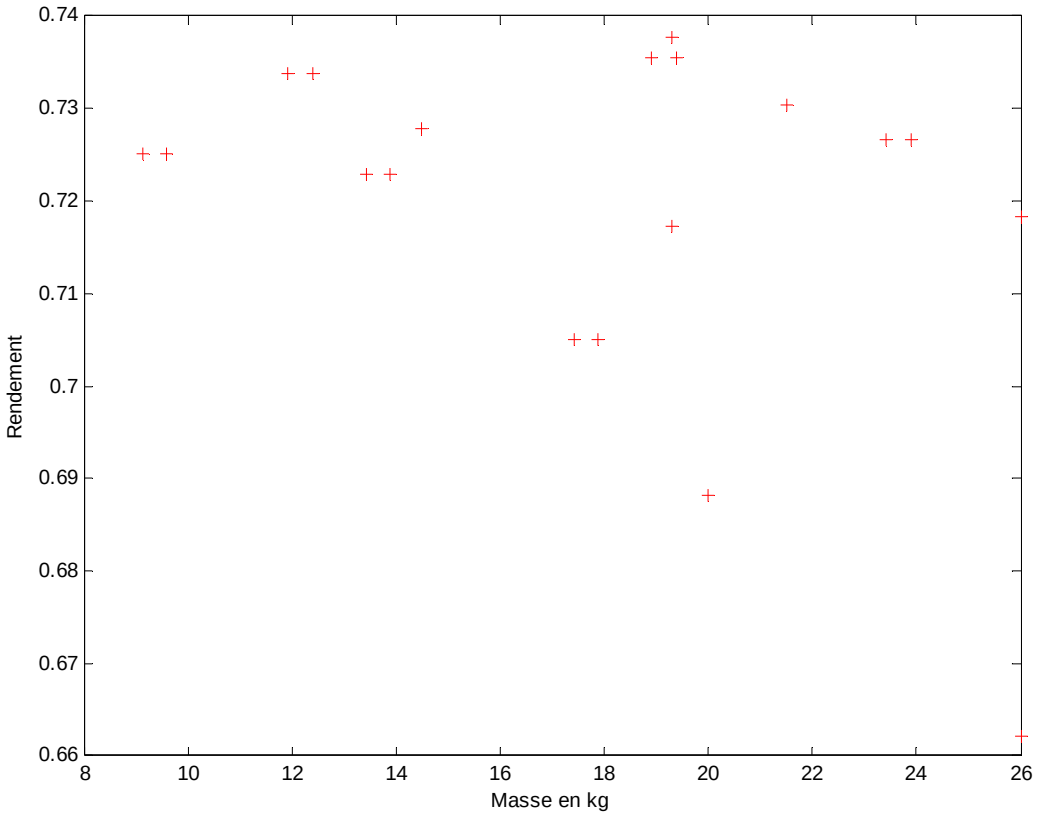
N°	Nom moteur	Réducteur	Masse	Rapport	Rendement	Alpha
1	RS520G	HFUC252AGR	M= 6.720	N=80	R=0.7207	A=0.7022
2	RS520G	HFUC252AGR	M= 6.720	N=100	R=0.7015	A=0.5618
3	RS520G	CSG252AGR	M= 6.720	N=80	R=0.7207	A=0.7022
4	RS520G	CSG252AGR	M= 6.720	N=100	R=0.7015	A=0.5618
5	RS520G	CSD322AGR	M= 6.810	N=100	R=0.6625	A=0.5618
6	MC17H	HFUC252AGR	M= 6.920	N=80	R=0.6292	A=0.9868
7	MC17H	HFUC252AGR	M= 6.920	N=100	R=0.6409	A=0.7895
8	MC17H	CSG252AGR	M= 6.920	N=80	R=0.6292	A=0.9868
9	MC17H	CSG252AGR	M= 6.920	N=100	R=0.6409	A=0.7895

On peut remarquer que les configurations 5 à 9 ont les rendements les plus faibles pour les masses les plus importantes, elles sont donc à éviter.
Les configurations 1 et 3 ont la masse la plus faible, le meilleur rendement et ne différent que sur le type de montage et de boitier du réducteur, il faut donc retenir l'une de ces deux configurations.
Le coefficient alpha de la configuration 1 étant inférieur à 1, cela nous garantit une durée de vie importante avec un fonctionnement permanent possible à vitesse maximale.
On peut retenir qu'il nous faut donc compter avec une masse d'environ 6,3 kg pour l'actionneur des hanches.

Etude de l'articulation des genoux

Cmax = 108Nm
Ωmax = 7 rad/s
Pmax = 756 W

Le programme recherche la meilleure solution de choix du moteur et du réducteur de l'articulation des genoux. Dans la première étape de la sélection, le programme développé va fournir l'ensemble des associations possibles. Toutes ces solutions (elles sont au nombre de 19) sont d'abord exploitées dans le plan (masse-rendement) comme le montre la figure ci-dessous.



Si l'on désire un ensemble léger, on cherche dans la zone de masse inférieure à 10 kg puisqu'il existe 2 solutions. On peut par exemple établir la liste de tous les ensembles qui conviennent dans le début du graphique. Le programme nous donne les résultats suivants :

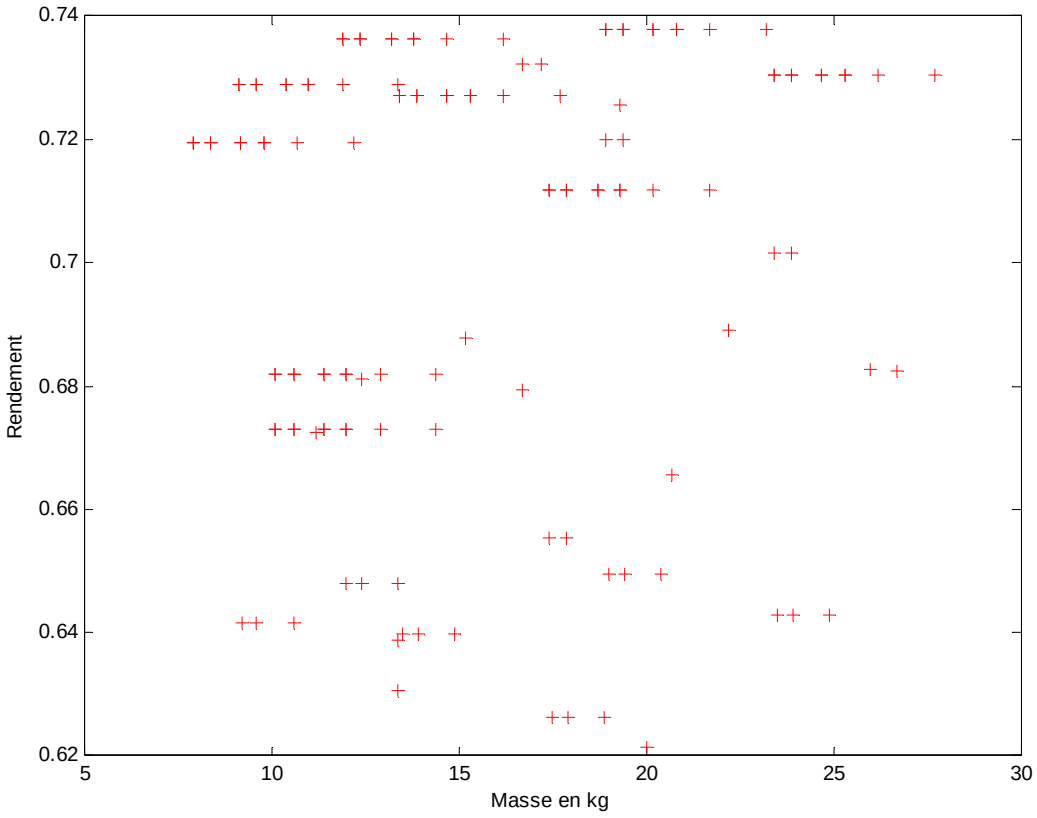
N°	Nom moteur	Réducteur	Masse	Rapport	Rendement	Alpha
1	RS540C	HFUC252AGR	M= 9.120	N=30	R=0.7252	A=0.9474
2	RS540C	HFUC322AGR	M= 9.590	N=30	R=0.7252	A=0.9474

On peut remarquer que les deux configurations sont presque identiques. La configuration 1 fournit la masse la plus faible.
On peut retenir qu'il nous faut donc compter avec une masse d'environ 8,7 kg pour l'actionneur des genoux.

Etude de l'articulation des chevilles

Cmax = 157Nm
Ωmax = 4,3 rad/s
Pmax = 675,1 W

Le programme recherche la meilleure solution de choix du moteur et du réducteur de l'articulation des chevilles. Dans la première étape de la sélection, le programme développé va fournir l'ensemble des associations possibles. Toutes ces solutions (elles sont au nombre de 128) sont d'abord exploitées dans le plan (masse-rendement) comme le montre la figure ci-dessous.



Si l'on désire un ensemble léger, on cherche dans la zone de masse inférieure à 9 kg puisqu'il existe 4 solutions. On peut par exemple établir la liste de tous les ensembles qui conviennent dans le début du graphique. Le programme nous donne les résultats suivants :

N°	Nom moteur	Réducteur	Masse	Rapport	Rendement	Alpha
1	RS530E	HFUC252AGR	M= 7.920	N=50	R=0.7195	A=0.9812
2	RS530E	HFUC322AGR	M= 8.390	N=50	R=0.7195	A=0.9812
3	RS530E	CSG252AGR	M= 7.920	N=50	R=0.7195	A=0.9812
4	RS530E	CSG322AGR	M= 8.390	N=50	R=0.7195	A=0.9812

On peut remarquer que les quatre configurations sont presque identiques. La configuration 1 fournit la masse la plus faible.
On peut retenir qu'il nous faut donc compter avec une masse d'environ 7,5 kg pour l'actionneur des genoux.

En conclusion, on peut dire que les solutions trouvées conduisent à des moteurs très imposants car le fonctionnement de service S1 choisi comme hypothèse pour le dimensionnement représente une solution extrême. Ces choix sont uniquement basés sur les conditions limites de fonctionnement prévues par le cahier des charges.

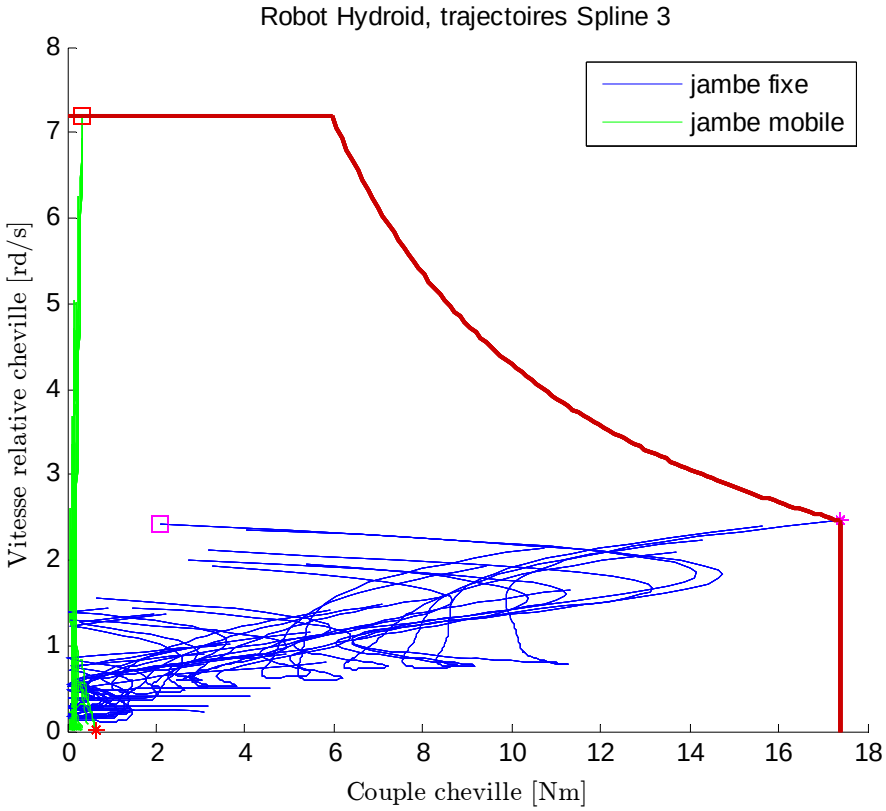
Dans le cas où l'on dispose d'une réserve d'énergie utilisable en même temps que l'énergie fournie par le moteur, on peut dimensionner le moteur pour une puissance moyenne à fournir par pas et fixer la vitesse de rotation de l'actionneur pour un rendement optimal du réducteur hydraulique.

4 Diagrammes de fonctionnement des moteurs

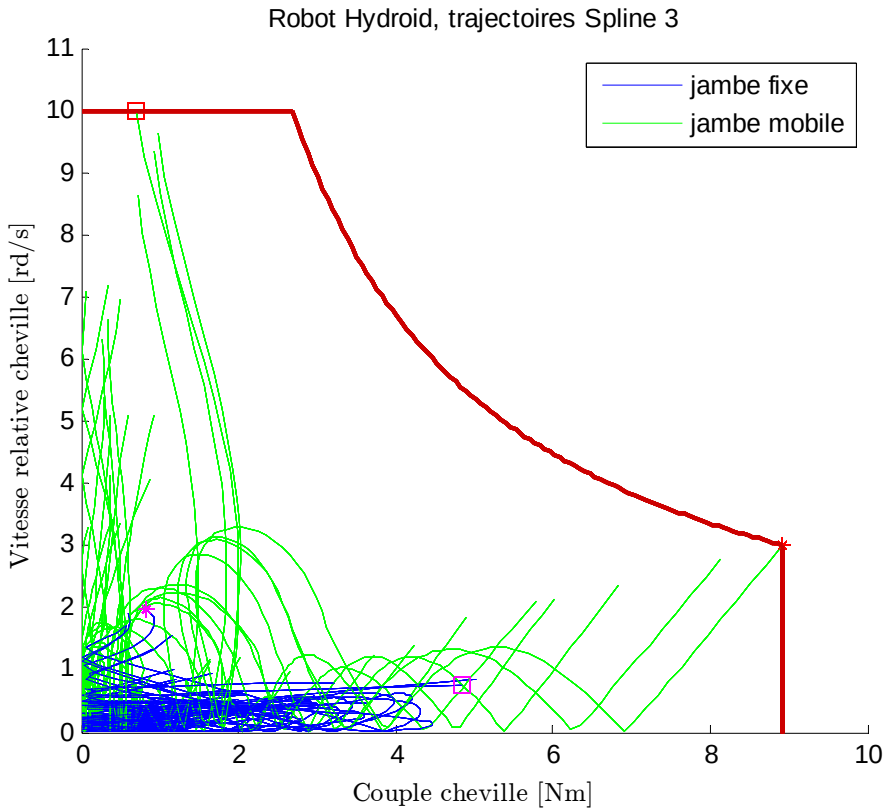
Les trajectoires sont issues des optimisations effectuées avec un critère sthénique. Les fonctions supports des trajectoires sont des fonctions Spline cubique. La vitesse moyenne

d'avance varie entre 0,2 m/s et 1 m/s. La marche est une succession de phase de simple support.

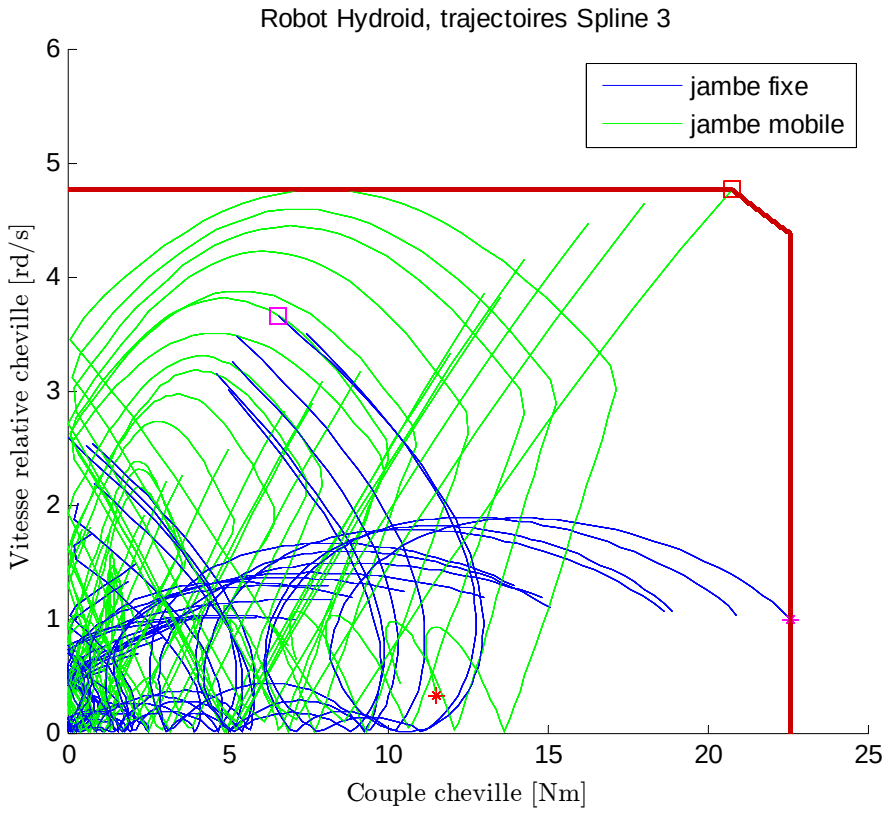
Les figures suivantes montrent le plan (Couple-Vitesse) pour les moteurs placés aux articulations des chevilles, des genoux et des hanches. Comme le même moteur est utilisé alternativement pour actionner la jambe fixe puis la jambe mobile, les trajectoires des deux jambes ont été regroupées dans le même graphique.



Le tracé pour l'articulation des chevilles montrent que le mouvement de la cheville de la jambe fixe impose le couple maximum et la puissance maximale alors que le mouvement de la cheville de la jambe mobile impose la vitesse maximale du moteur.
Les valeurs maximales obtenues avec les trajectoires Spline sélectionnées sont :
Cmax = 17,4 Nm
Ωmax = 7,2 rad/s
Pmax = 42,8 W
Le tracé pour l'articulation des genoux montrent que le mouvement du genou de la jambe mobile impose le couple maximum, la puissance maximale et la vitesse maximale du moteur. Cette articulation nécessite la puissance la plus faible.
Les valeurs maximales obtenues avec les trajectoires Spline sélectionnées sont :
Cmax = 8,9 Nm
Ωmax = 10,0 rad/s
Pmax = 26,9 W



Le tracé pour l'articulation des hanches montrent que le mouvement de la hanche de la jambe fixe impose le couple maximum alors que le mouvement de la cheville de la jambe mobile impose la vitesse maximale et la puissance maximale du moteur.
Les valeurs maximales obtenues avec les trajectoires Spline sélectionnées sont :
Cmax = 22,6 Nm
Ωmax = 4,8 rad/s
Pmax = 99,0 W

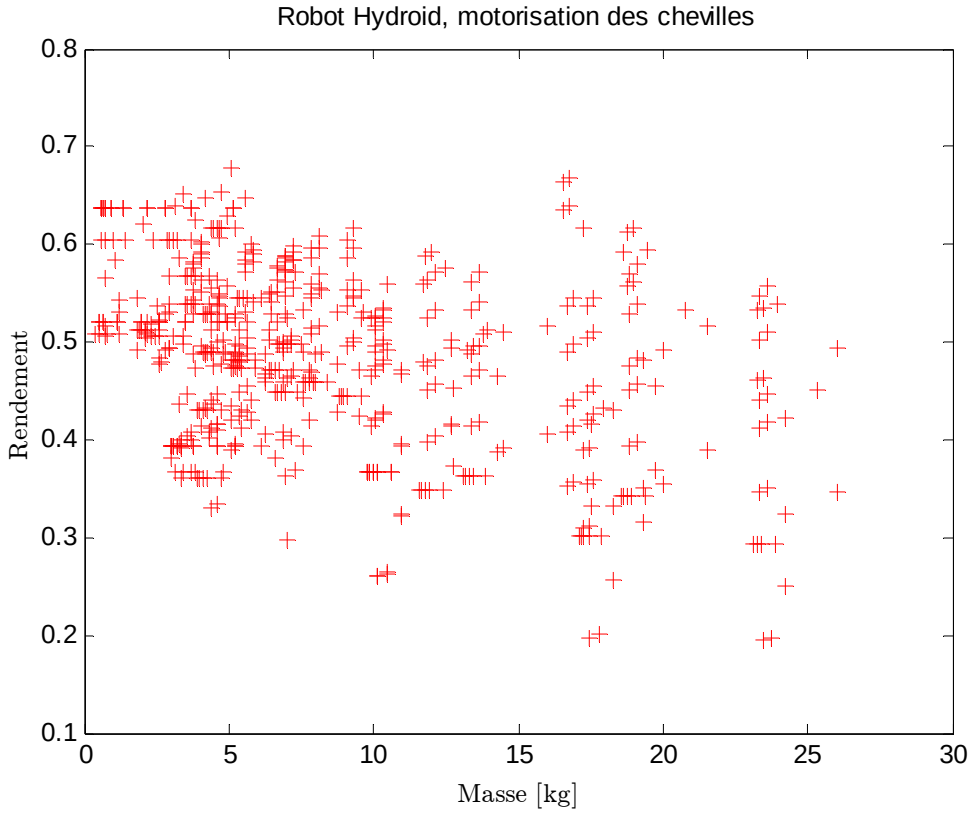


5 Choix des moteurs

Le choix d'un moteur s'effectue par étape successive pour satisfaire les contraintes maximales, les contraintes moyennes (essentiellement thermiques) et le choix optimal du réducteur associé. Dans le paragraphe ci-dessous, on suppose que chaque articulation est une liaison pivot actionnée par un moto-réducteur électrique. Le type de moteur (CC, MS) et sa technologie (aimant, forme, etc.) ne sont pas imposés. De même la technologie des réducteurs n'est pas imposée, mais il faut cependant que le moteur puisse être monté sur le réducteur. Il faut donc que la taille et les diamètres des axes d'entrée et de sortie soient compatibles.

La sélection s'effectue parmi l'ensemble des couples moteur-réducteur disponible au laboratoire. Seuls les moteurs et les réducteurs de cette base de donnée pourront être choisi, mais rien n'interdit par la suite d'augmenter ou de compléter la base de donnée ou d'ajouter dans la base les références de certains constructeurs afin de comparer les performances. Il faudra cependant garantir que les associations moteur-réducteur sont physiquement réalisables.

On s'intéresse à déterminer d'abord le moteur et le réducteur de l'articulation des chevilles. Dans la première étape de la sélection, le programme développé va fournir l'ensemble des associations possibles. Toutes ces solutions (elles sont au nombre de 581) sont d'abord exploitées dans le plan (masse-rendement) comme le montre la figure ci-dessous.

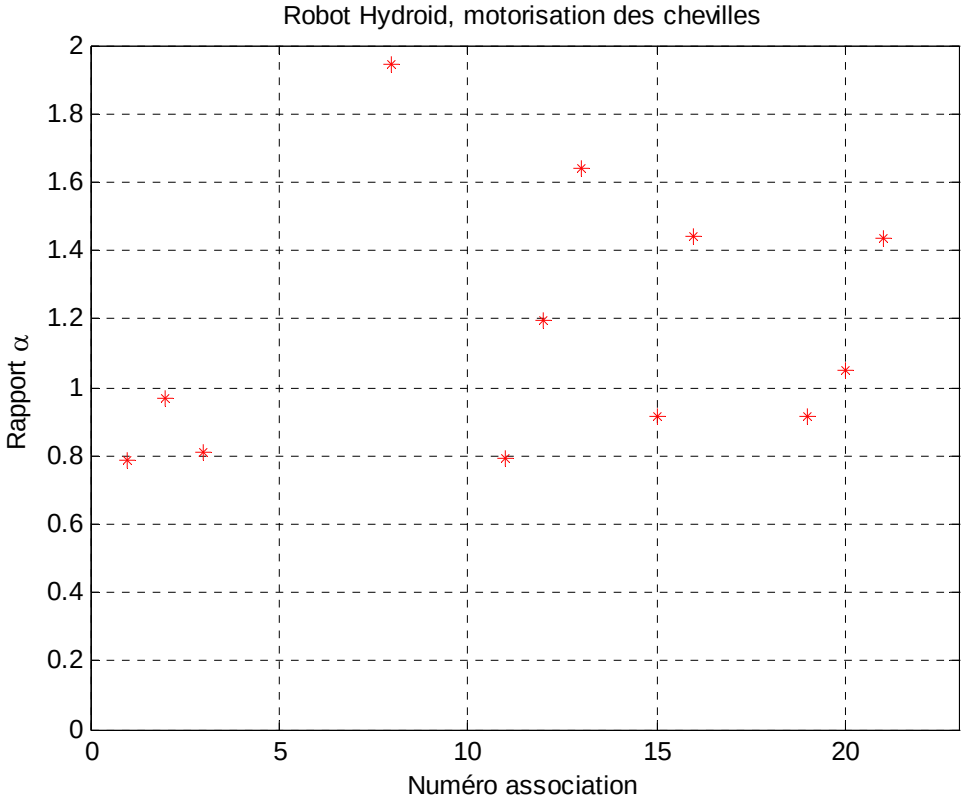


On peut remarquer sur le graphique précédent que selon le rendement exigé, on sera obligé de choisir un ensemble moteur-réducteur plus ou moins lourd. Il existe donc un front de Pareto qu'il faut préciser. Si l'on désire un ensemble léger, on cherche dans la zone de masse inférieure à 1 kg puisqu'il existe 23 solutions. On peut par exemple établir la liste de tous les ensembles qui conviennent dans le début du graphique. Le programme nous donne les résultats suivants :

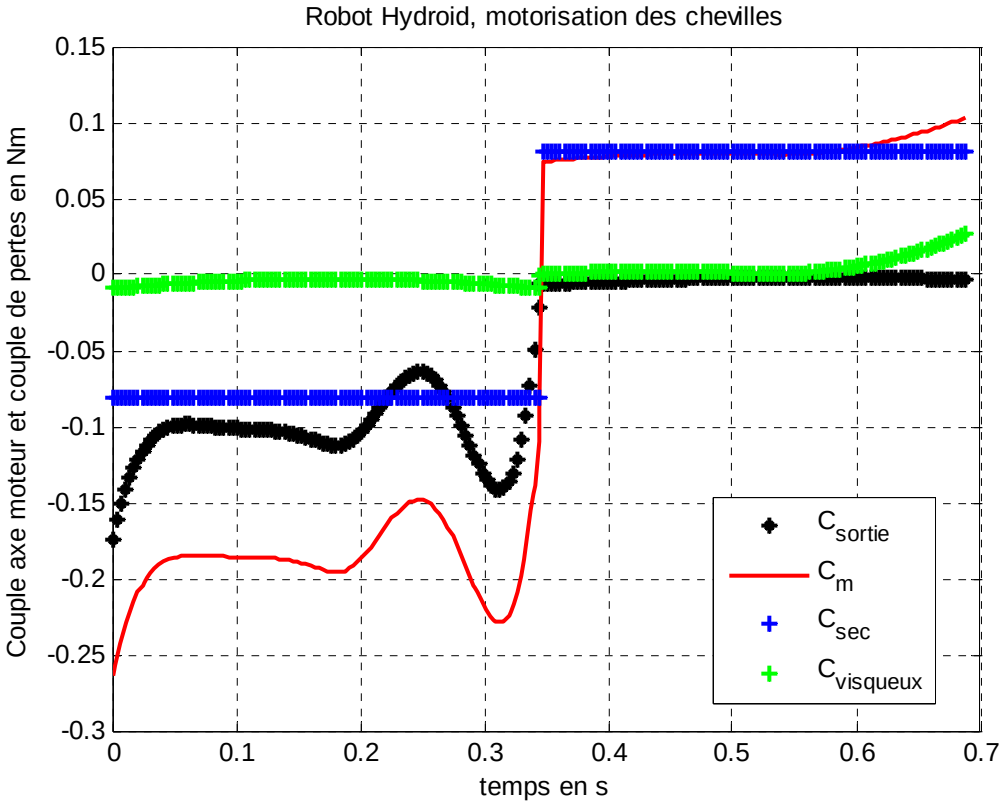
```
N°  Nom moteur              Réducteur   Masse      Rapport   Rendement  Alpha
1   EC_powermax30_305015   GP42C       M= 0.731   N=156     R=0.5656   A=0.7846
2   EC_powermax30_305015   GP42C       M= 0.731   N=150     R=0.5166   A=0.9690
3   EC_powermax30_305015   GP42C       M= 0.731   N=186     R=0.5054   A=0.8093
```

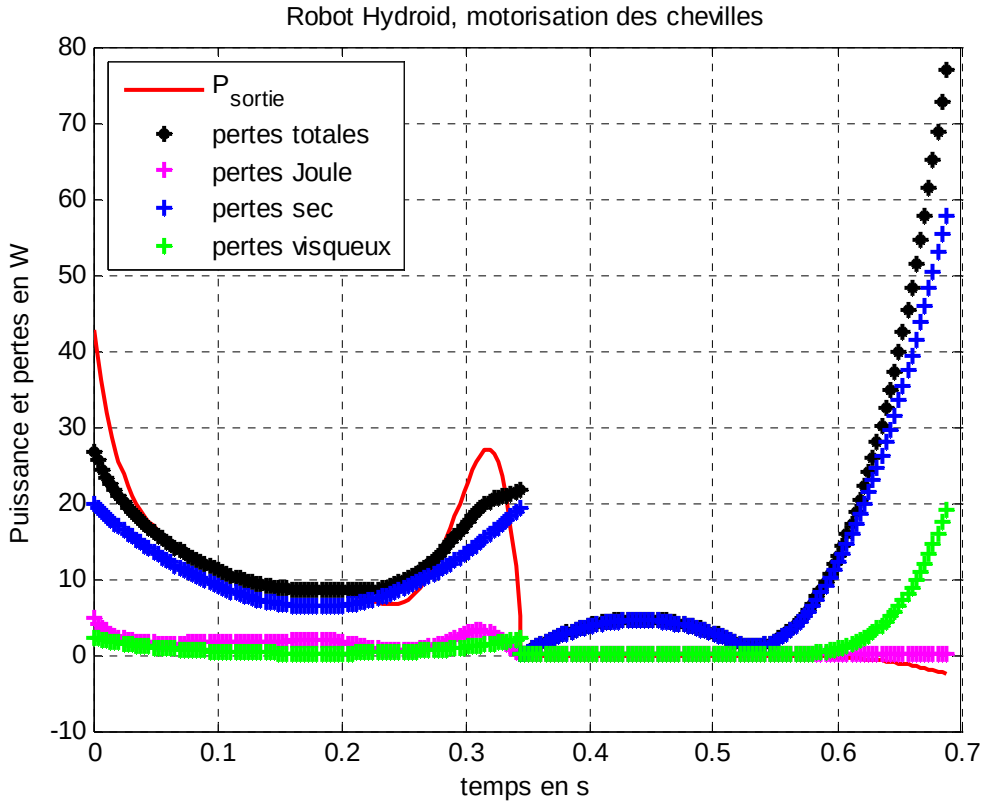
```
4  EC_powermax30_305015   HFUC202AGR  M= 0.551  N=160   R=0.5204  A=2.4398
5  EC_powermax30_305015   HFUC252AGR  M= 0.691  N=160   R=0.5204  A=4.4040
6  EC_powermax30_305015   CSG202AGR   M= 0.551  N=160   R=0.5204  A=3.0655
7  EC_powermax30_305015   CSG252AGR   M= 0.691  N=160   R=0.5204  A=5.6186
8  EC_powermax30_305015   CSD202AGR   M= 0.401  N=160   R=0.5075  A=1.9454
9  EC_powermax30_305015   CSD252AGR   M= 0.511  N=160   R=0.5075  A=3.4462
10 EC_powermax30_305015   CSD322AGR   M= 0.781  N=160   R=0.5075  A=7.0614
11 RE40_148877            HFUC142AR   M= 0.570  N=100   R=0.6365  A=0.7942
12 RE40_148877            HFUC172AR   M= 0.630  N=100   R=0.6365  A=1.1933
13 RE40_148877            HFUC202AGR  M= 0.760  N=100   R=0.6365  A=1.6416
14 RE40_148877            HFUC252AGR  M= 0.900  N=100   R=0.6365  A=2.8720
15 RE40_148877            CSG142AGR   M= 0.570  N=100   R=0.6365  A=0.9124
16 RE40_148877            CSG172AGR   M= 0.630  N=100   R=0.6365  A=1.4419
17 RE40_148877            CSG202AGR   M= 0.760  N=100   R=0.6365  A=2.0388
18 RE40_148877            CSG252AGR   M= 0.900  N=100   R=0.6365  A=3.6361
19 RE40_148877            CSG142AGR   M= 0.570  N=100   R=0.6365  A=0.9124
20 RE40_148877            CSD172AGR   M= 0.580  N=100   R=0.6050  A=1.0514
21 RE40_148877            CSD202AGR   M= 0.610  N=100   R=0.6050  A=1.4358
22 RE40_148877            CSD252AGR   M= 0.720  N=100   R=0.6050  A=2.4844
23 RE40_148877            CSD322AGR   M= 0.990  N=100   R=0.6050  A=4.9803
```

On peut remarquer que les configurations 4, 6, 8, 9, 11, 15, 19, et 20 ont une masse inférieure à 600 g. La masse la plus faible correspond à la solution 8 qui utilise le même moteur que 1 associé à un réducteur Harmonic Drive. Parmi les trois configurations 11, 15 et 19 qui ont le meilleur rendement, la configuration numéro 11 avec un moteur synchrone associé à un réducteur Harmonic Drive a le coefficient alpha le plus faible ce qui nous garantie une durée de vie la plus importante avec une fonctionnement permanent possible à vitesse maximale.
On peut retenir qui nous font donc compter avec une masse d'environ 0,57 kg pour l'actionneur des chevilles.
La courbe de α compris entre 0 et 2 pour toutes les configurations proposées par le programme de sélection donne :



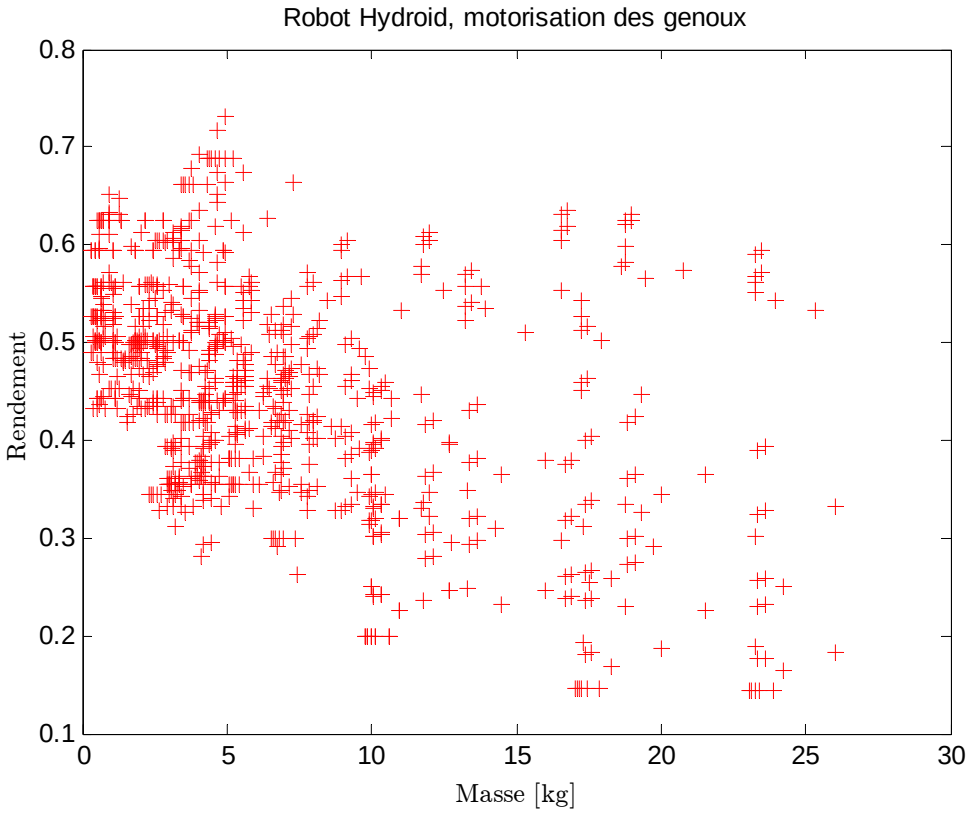
Le moteur et le réducteur de la configuration 11 étant choisis, on peut maintenant étudie en détail les courbes de puissances, de pertes et déterminer les coefficients de pondération d'un critère énergétique.





Les coefficients obtenus sont :
kJ = 0,016
Cs = 8,04
fv = 0,367

Pour la motorisation de l'articulation du genou, on reprend la même méthodologie. Toutes ces solutions (elles sont au nombre de 924) sont d'abord exploitées dans le plan (masse-rendement) comme le montre la figure ci-dessous.



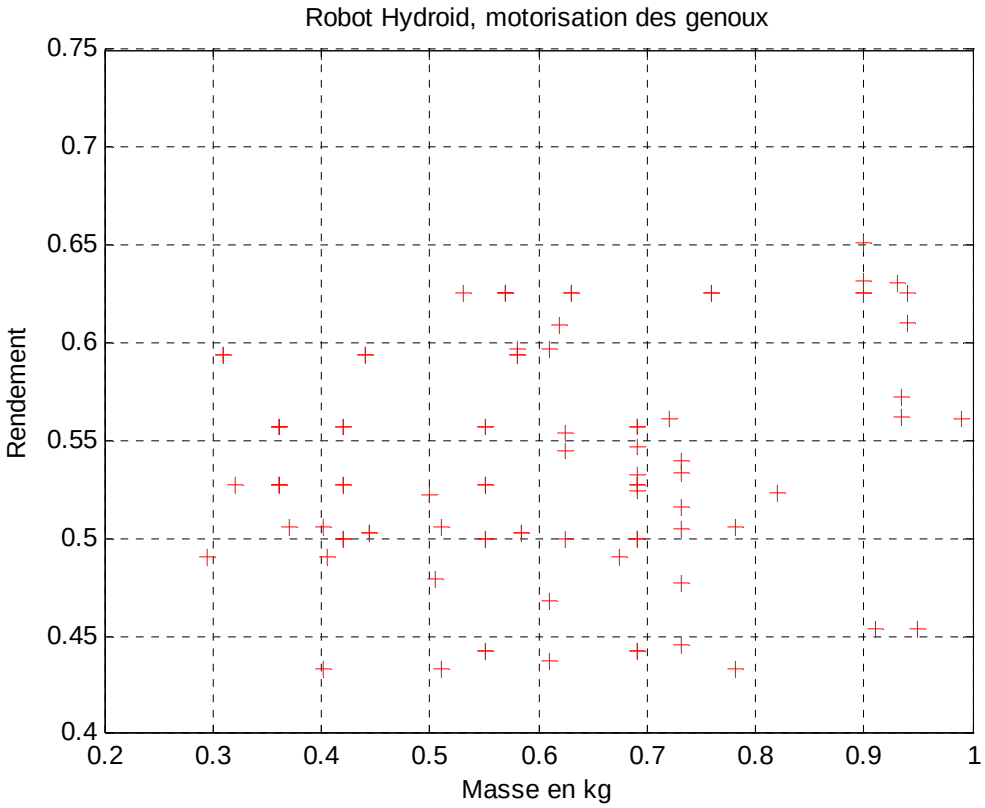
Si l'on désire un ensemble léger, on cherche dans la zone de masse inférieure à 1 kg puisqu'il existe 90 solutions. On peut par exemple établir la liste de tous les ensembles qui conviennent dans le début du graphique. Le programme nous donne les 60 premiers résultats suivants :

N°	Nom moteur	Réducteur	Masse	Rapport	Rendement	Alpha
1	RS230C	HFUC112AR	M= 0.910	N=30	R=0.4534	A=0.4869
2	RS230C	HFUC142AR	M= 0.950	N=30	R=0.4534	A=0.5610
3	EC_powermax22_311538	R40	M= 0.500	N=134	R=0.5226	A=0.7074
4	EC_powermax22_311538	GP42C	M= 0.620	N=126	R=0.6098	A=0.8778
5	EC_powermax22_311538	GP52C	M= 0.930	N=126	R=0.6312	A=1.3586
6	EC_powermax22_311538	HFUC172AR	M= 0.310	N=120	R=0.5936	A=2.0382
7	EC_powermax22_311538	HFUC202AGR	M= 0.440	N=120	R=0.5936	A=3.2019
8	EC_powermax22_311538	HFUC252AGR	M= 0.580	N=120	R=0.5936	A=6.0915
9	EC_powermax22_311538	CSG172AGR	M= 0.310	N=120	R=0.5936	A=2.5852
10	EC_powermax22_311538	CSG202AGR	M= 0.440	N=120	R=0.5936	A=4.1086
11	EC_powermax22_311538	CSG252AGR	M= 0.580	N=120	R=0.5936	A=7.8712
12	EC_powermax30_309756	R40	M= 0.505	N=134	R=0.4792	A=0.7996
13	EC_powermax30_309756	GP42C	M= 0.625	N=126	R=0.5545	A=0.9837
14	EC_powermax30_309756	GP42C	M= 0.625	N=156	R=0.5451	A=0.8199
15	EC_powermax30_309756	GP42C	M= 0.625	N=150	R=0.5000	A=1.1049
16	EC_powermax30_309756	GP52C	M= 0.935	N=126	R=0.5721	A=1.5015
17	EC_powermax30_309756	GP52C	M= 0.935	N=156	R=0.5622	A=1.2547
18	EC_powermax30_309756	HFUC202AGR	M= 0.445	N=160	R=0.5026	A=3.5417
19	EC_powermax30_309756	HFUC252AGR	M= 0.585	N=160	R=0.5026	A=6.7531
20	EC_powermax30_309756	CSG202AGR	M= 0.445	N=160	R=0.5026	A=4.5647
21	EC_powermax30_309756	CSG252AGR	M= 0.585	N=160	R=0.5026	A=8.7363
22	EC_powermax30_309756	CSD202AGR	M= 0.295	N=160	R=0.4905	A=2.7324
23	EC_powermax30_309756	CSD252AGR	M= 0.405	N=160	R=0.4905	A=5.1882
24	EC_powermax30_309756	CSD322AGR	M= 0.675	N=160	R=0.4905	A=11.098
25	EC_powermax30_305015	R40	M= 0.611	N=85.3	R=0.4676	A=0.7639

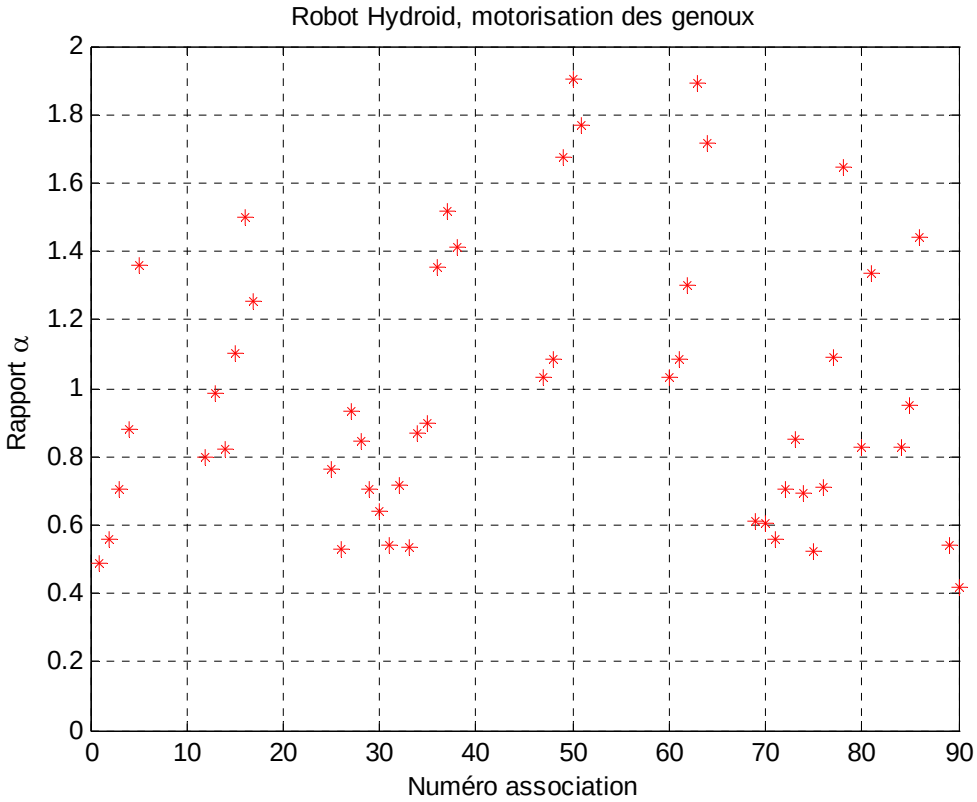
```
26 EC_powermax30_305015   R40          M= 0.611   N=134    R=0.4370   A=0.5291
27 EC_powermax30_305015   GP42C        M= 0.731   N=81     R=0.5395   A=0.9332
28 EC_powermax30_305015   GP42C        M= 0.731   N=91     R=0.5339   A=0.8438
29 EC_powermax30_305015   GP42C        M= 0.731   N=113    R=0.5164   A=0.7030
30 EC_powermax30_305015   GP42C        M= 0.731   N=126    R=0.5047   A=0.6430
31 EC_powermax30_305015   GP42C        M= 0.731   N=156    R=0.4774   A=0.5429
32 EC_powermax30_305015   GP42C        M= 0.731   N=150    R=0.4455   A=0.7187
33 EC_powermax30_305015   HFUC112AR    M= 0.321   N=100    R=0.5273   A=0.5331
34 EC_powermax30_305015   HFUC142AR    M= 0.361   N=80     R=0.5566   A=0.8664
35 EC_powermax30_305015   HFUC142AR    M= 0.361   N=100    R=0.5273   A=0.9005
36 EC_powermax30_305015   HFUC172AR    M= 0.421   N=80     R=0.5566   A=1.3525
37 EC_powermax30_305015   HFUC172AR    M= 0.421   N=100    R=0.5273   A=1.5196
38 EC_powermax30_305015   HFUC172AR    M= 0.421   N=120    R=0.5001   A=1.4095
39 EC_powermax30_305015   HFUC202AGR   M= 0.551   N=80     R=0.5566   A=2.1445
40 EC_powermax30_305015   HFUC202AGR   M= 0.551   N=100    R=0.5273   A=2.2118
41 EC_powermax30_305015   HFUC202AGR   M= 0.551   N=120    R=0.5001   A=2.1743
42 EC_powermax30_305015   HFUC202AGR   M= 0.551   N=160    R=0.4425   A=2.2126
43 EC_powermax30_305015   HFUC252AGR   M= 0.691   N=80     R=0.5566   A=3.8040
44 EC_powermax30_305015   HFUC252AGR   M= 0.691   N=100    R=0.5273   A=4.1033
45 EC_powermax30_305015   HFUC252AGR   M= 0.691   N=120    R=0.5001   A=4.0719
46 EC_powermax30_305015   HFUC252AGR   M= 0.691   N=160    R=0.4425   A=4.1795
47 EC_powermax30_305015   CSG142AGR    M= 0.361   N=80     R=0.5566   A=1.0299
48 EC_powermax30_305015   CSG142AGR    M= 0.361   N=100    R=0.5273   A=1.0843
49 EC_powermax30_305015   CSG172AGR    M= 0.421   N=80     R=0.5566   A=1.6767
50 EC_powermax30_305015   CSG172AGR    M= 0.421   N=100    R=0.5273   A=1.9041
51 EC_powermax30_305015   CSG172AGR    M= 0.421   N=120    R=0.5001   A=1.7691
52 EC_powermax30_305015   CSG202AGR    M= 0.551   N=80     R=0.5566   A=2.7088
53 EC_powermax30_305015   CSG202AGR    M= 0.551   N=100    R=0.5273   A=2.8236
54 EC_powermax30_305015   CSG202AGR    M= 0.551   N=120    R=0.5001   A=2.7698
55 EC_powermax30_305015   CSG202AGR    M= 0.551   N=160    R=0.4425   A=2.8393
56 EC_powermax30_305015   CSG252AGR    M= 0.691   N=80     R=0.5566   A=4.8765
57 EC_powermax30_305015   CSG252AGR    M= 0.691   N=100    R=0.5273   A=5.2756
58 EC_powermax30_305015   CSG252AGR    M= 0.691   N=120    R=0.5001   A=5.2406
59 EC_powermax30_305015   CSG252AGR    M= 0.691   N=160    R=0.4425   A=5.3943
60 EC_powermax30_305015   CSG142AGR    M= 0.361   N=80     R=0.5566   A=1.0299
61 EC_powermax30_305015   CSG142AGR    M= 0.361   N=100    R=0.5273   A=1.0843
62 EC_powermax30_305015   CSD172AGR    M= 0.371   N=100    R=0.5055   A=1.2996
63 EC_powermax30_305015   CSD202AGR    M= 0.401   N=100    R=0.5055   A=1.8942
64 EC_powermax30_305015   CSD202AGR    M= 0.401   N=160    R=0.4331   A=1.7169
65 EC_powermax30_305015   CSD252AGR    M= 0.511   N=100    R=0.5055   A=3.5080
66 EC_powermax30_305015   CSD252AGR    M= 0.511   N=160    R=0.4331   A=3.2210
67 EC_powermax30_305015   CSD322AGR    M= 0.781   N=100    R=0.5055   A=7.3364
68 EC_powermax30_305015   CSD322AGR    M= 0.781   N=160    R=0.4331   A=6.8407
69 EC_powermax30_305015   HDUC141UCC   M= 0.691   N=88     R=0.5468   A=0.6126
70 EC_powermax30_305015   HDUC141UCC   M= 0.691   N=100    R=0.5326   A=0.6049
71 EC_powermax30_305015   HDUC141UCC   M= 0.691   N=110    R=0.5242   A=0.5602
72 RE40_148877            R40          M= 0.820   N=54.2   R=0.5234   A=0.7060
73 RE40_148877            GP42C        M= 0.940   N=53     R=0.6103   A=0.8525
74 RE40_148877            GP42C        M= 0.940   N=66     R=0.6255   A=0.6923
75 RE40_148877            HFUC112AR    M= 0.530   N=50     R=0.6254   A=0.5224
76 RE40_148877            HFUC142AR    M= 0.570   N=50     R=0.6254   A=0.7131
77 RE40_148877            HFUC172AR    M= 0.630   N=50     R=0.6254   A=1.0898
78 RE40_148877            HFUC202AGR   M= 0.760   N=50     R=0.6254   A=1.6484
79 RE40_148877            HFUC252AGR   M= 0.900   N=50     R=0.6254   A=2.7557
80 RE40_148877            CSG142AGR    M= 0.570   N=50     R=0.6254   A=0.8248
81 RE40_148877            CSG172AGR    M= 0.630   N=50     R=0.6254   A=1.3381
82 RE40_148877            CSG202AGR    M= 0.760   N=50     R=0.6254   A=2.0873
83 RE40_148877            CSG252AGR    M= 0.900   N=50     R=0.6254   A=3.5212
84 RE40_148877            CSG142AGR    M= 0.570   N=50     R=0.6254   A=0.8248
85 RE40_148877            CSD172AGR    M= 0.580   N=50     R=0.5973   A=0.9490
86 RE40_148877            CSD202AGR    M= 0.610   N=50     R=0.5973   A=1.4388
87 RE40_148877            CSD252AGR    M= 0.720   N=50     R=0.5615   A=2.9833
88 RE40_148877            CSD322AGR    M= 0.990   N=50     R=0.5615   A=6.3919
89 RE40_148877            HDUC141UCC   M= 0.900   N=50     R=0.6323   A=0.5422
```

```
90 RE40_148877              HDUC141UCC  M= 0.900   N=72     R=0.6514   A=0.4179
```

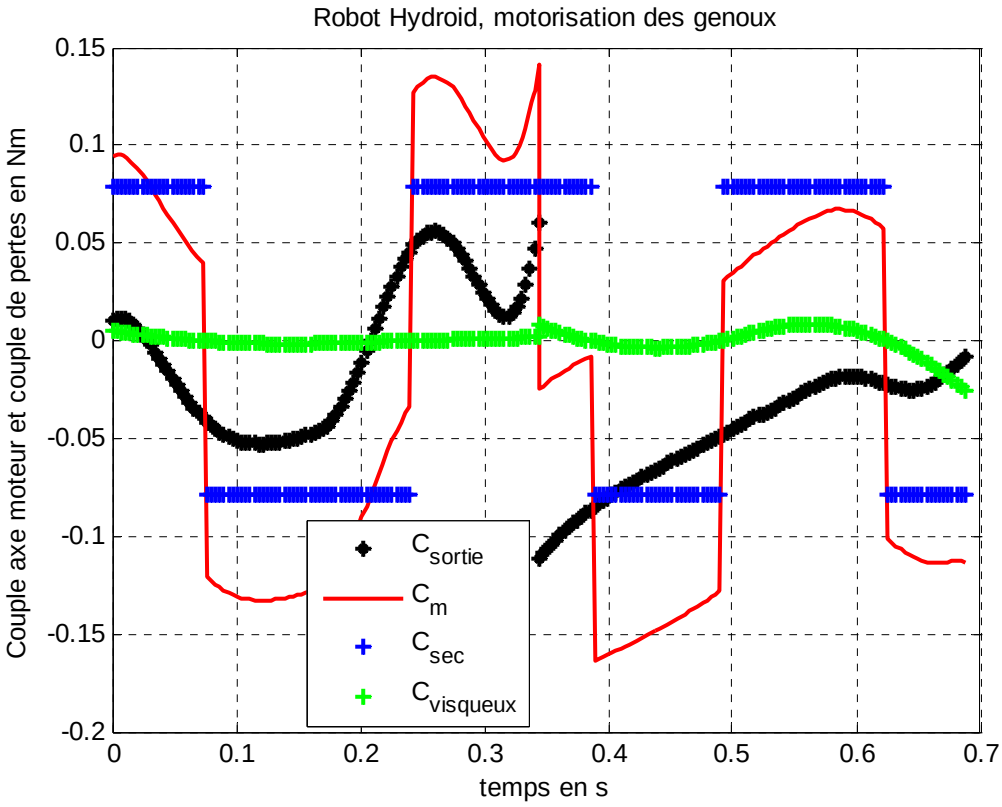
La figure suivante donne le détail de la courbe de rendement pour les 90 configurations précédentes ayant une masse inférieure à 1 kg.

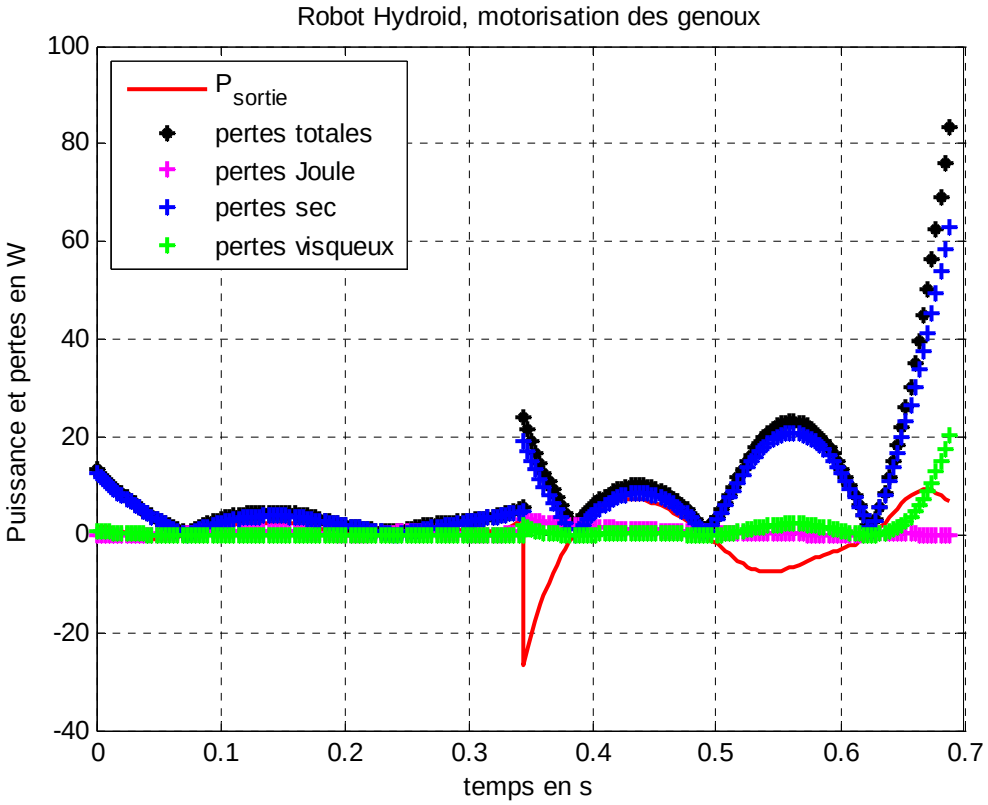


Pour des solutions ayant une masse inférieure à 400 g, on a les configurations 6, 9, 22, 33, 34, 35, 47, 48, 60, 61 et 62. On peut remarquer que la configuration 34 a un rendement acceptable et de plus elle présente un coefficient alpha proche de 1 donc le robot peut être utilisé à la vitesse maximale de 1 m/s sans risque de dépassement de la température limite de fonctionnement. Les configurations 6 et 9 ont un rendement meilleur, mais elles présentent des coefficients alpha trop grand et donc le robot ne serait pas capable d'exécuter une allure à vitesse maximale pendant une durée supérieure à quelques minutes. Afin d'argumenter le choix de la meilleure configuration, on peut également tracer la courbe de alpha pour toutes les configurations proposées par le programme de sélection. On obtient :



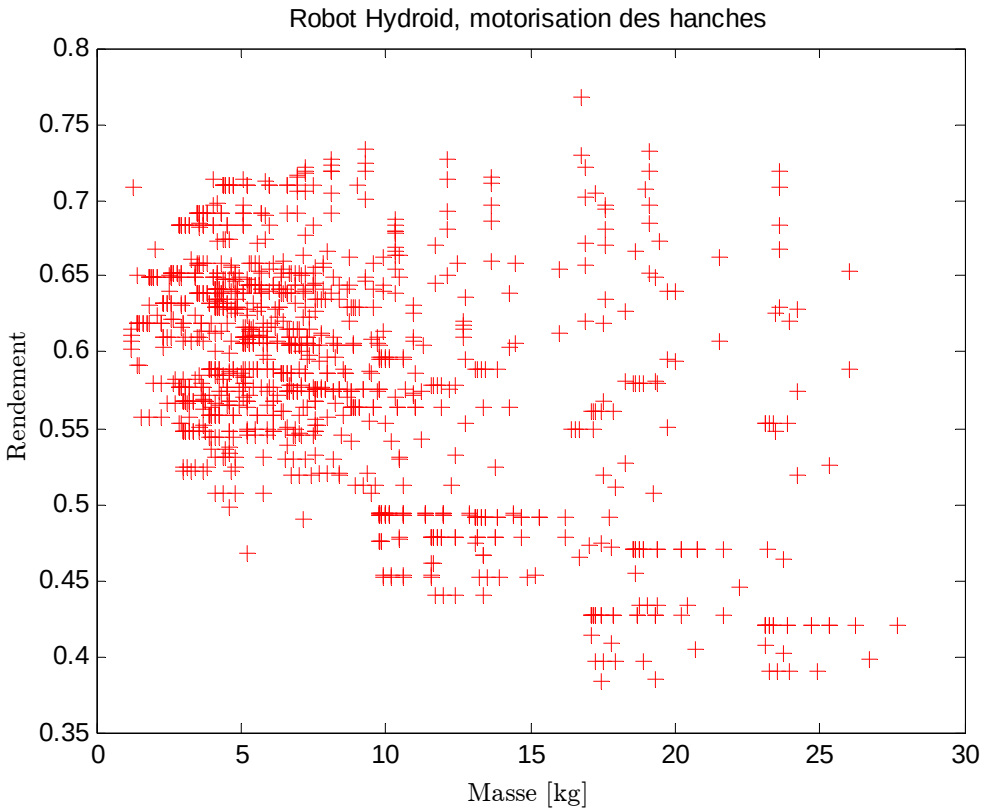
Le moteur et le réducteur de la configuration 34 étant choisis, on peut maintenant étudie en détail les courbes de puissances, de pertes et déterminer les coefficients de pondération d'un critère énergétique.





Les coefficients obtenus sont :
kJ = 0,0396
Cs = 6,30
fv = 0,207

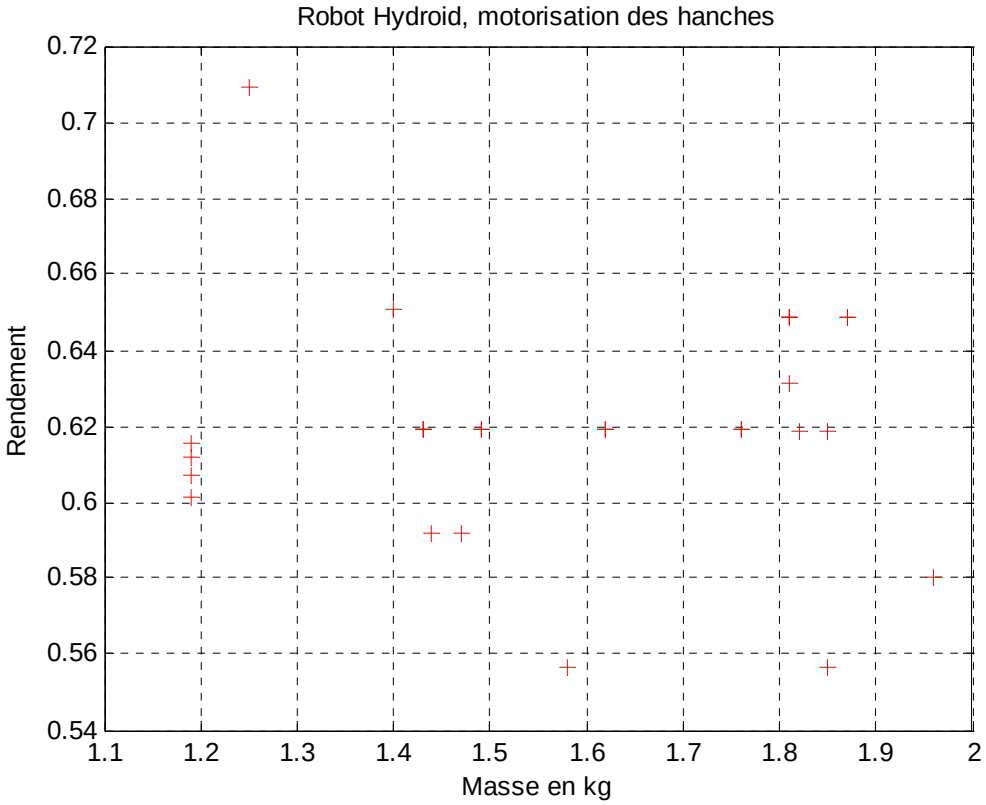
Pour la motorisation de l'articulation de la hanche, on reprend la même méthodologie. Toutes ces solutions (elles sont au nombre de 1081) sont d'abord exploitées dans le plan (masse-rendement) comme le montre la figure ci-dessous.



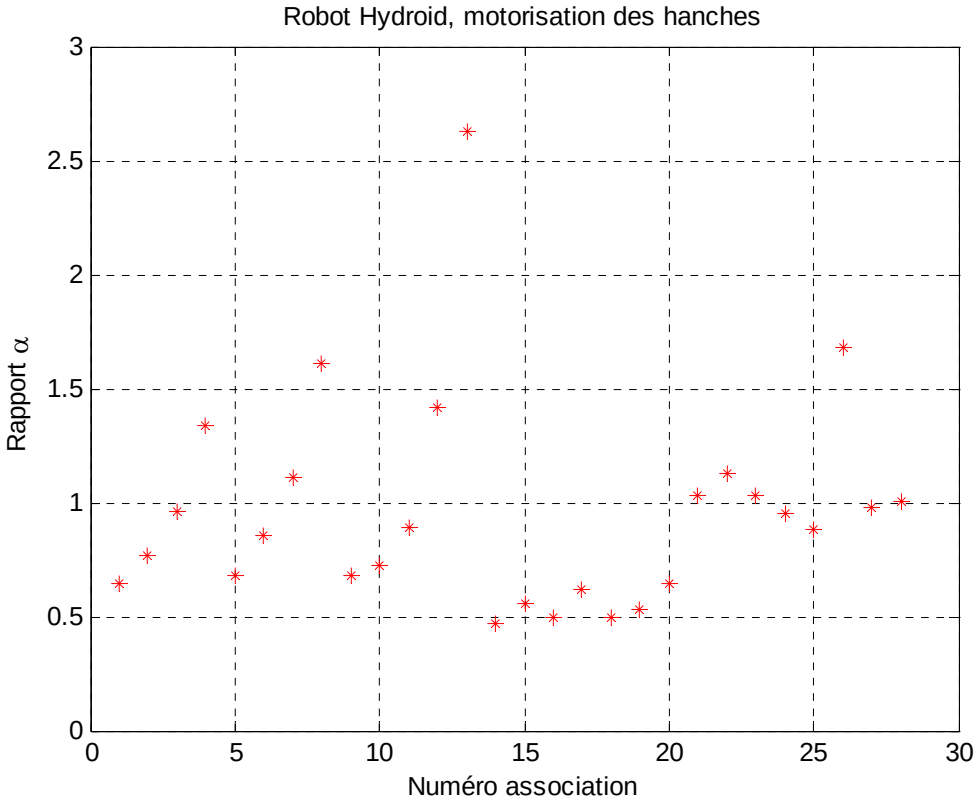
Si l'on désire un ensemble léger, on cherche dans la zone de masse inférieure à 2 kg puisqu'il existe 28 solutions. On peut par exemple établir la liste de tous les ensembles qui conviennent dans le début du graphique. Le programme nous donne les résultats suivants :

N°	Nom moteur	Réducteur	Masse	Rapport	Rendement	Alpha
1	RS320H	HFUC142AR	M= 1.430	N=50	R=0.6193	A=0.6438
2	RS320H	HFUC172AR	M= 1.490	N=50	R=0.6193	A=0.7710
3	RS320H	HFUC202AGR	M= 1.620	N=50	R=0.6193	A=0.9590
4	RS320H	HFUC252AGR	M= 1.760	N=50	R=0.6193	A=1.3404
5	RS320H	CSG142AGR	M= 1.430	N=50	R=0.6193	A=0.6819
6	RS320H	CSG172AGR	M= 1.490	N=50	R=0.6193	A=0.8539
7	RS320H	CSG202AGR	M= 1.620	N=50	R=0.6193	A=1.1083
8	RS320H	CSG252AGR	M= 1.760	N=50	R=0.6193	A=1.6074
9	RS320H	CSG142AGR	M= 1.430	N=50	R=0.6193	A=0.6819
10	RS320H	CSD172AGR	M= 1.440	N=50	R=0.5918	A=0.7241
11	RS320H	CSD202AGR	M= 1.470	N=50	R=0.5918	A=0.8884
12	RS320H	CSD252AGR	M= 1.580	N=50	R=0.5566	A=1.4195
13	RS320H	CSD322AGR	M= 1.850	N=50	R=0.5566	A=2.6261
14	RS330E	HFUC142AR	M= 1.810	N=50	R=0.6487	A=0.4682
15	RS330E	HFUC172AR	M= 1.870	N=50	R=0.6487	A=0.5603
16	RS330E	CSG142AGR	M= 1.810	N=50	R=0.6487	A=0.4958
17	RS330E	CSG172AGR	M= 1.870	N=50	R=0.6487	A=0.6203
18	RS330E	CSG142AGR	M= 1.810	N=50	R=0.6487	A=0.4958
19	RS330E	CSD172AGR	M= 1.820	N=50	R=0.6186	A=0.5263
20	RS330E	CSD202AGR	M= 1.850	N=50	R=0.6186	A=0.6452
21	RS330E	CSD252AGR	M= 1.960	N=50	R=0.5803	A=1.0290
22	EC_powermax30_305015	GP52C	M= 1.191	N=230	R=0.6156	A=1.1249
23	EC_powermax30_305015	GP52C	M= 1.191	N=257	R=0.6118	A=1.0322
24	EC_powermax30_305015	GP52C	M= 1.191	N=285	R=0.6073	A=0.9547
25	EC_powermax30_305015	GP52C	M= 1.191	N=319	R=0.6015	A=0.8791
26	EC_powermax30_305015	GP62	M= 1.811	N=236	R=0.6311	A=1.6795
27	RE40_148877	GP52C	M= 1.250	N=126	R=0.7091	A=0.9757
28	RE40_148877	GP52C	M= 1.400	N=150	R=0.6506	A=1.0036

La figure suivante donne le détail de la courbe de rendement pour les 28 configurations précédentes ayant la masse la plus faible.



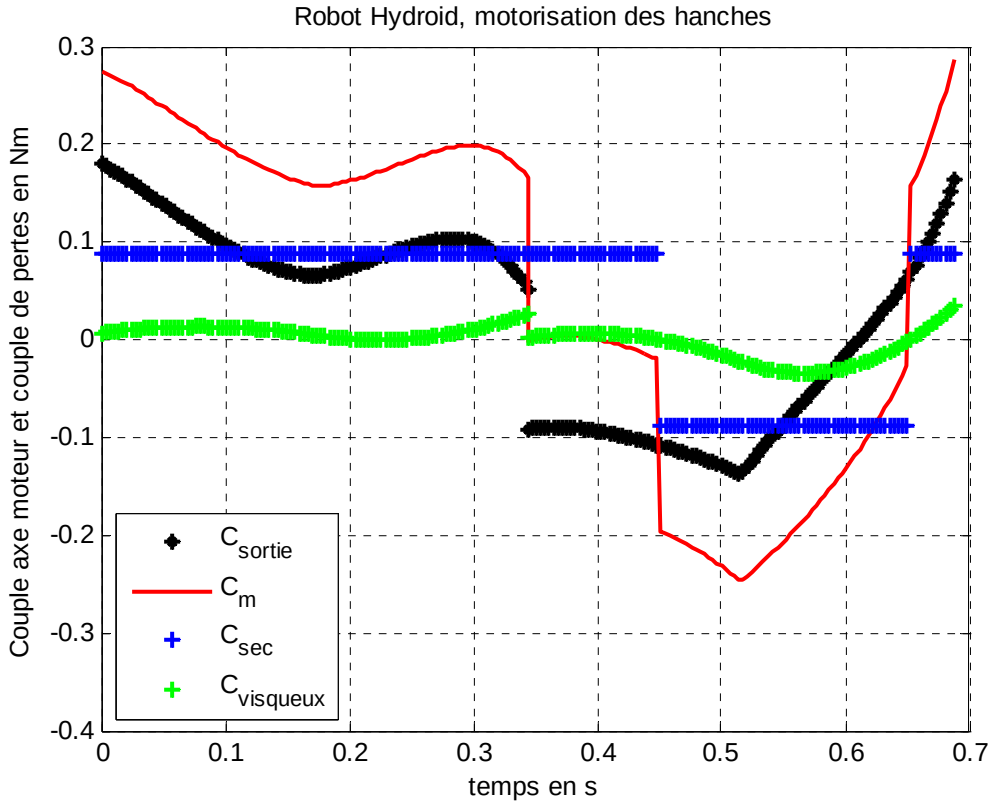
On peut remarquer que la configuration 27 a un bon rendement et de plus elle présente un coefficient alpha proche de 1 donc le robot peut être utilisé à la vitesse maximale de 1 m/s sans risque de dépassement de la température limite de fonctionnement. Afin d'argumenter le choix de la meilleure configuration, on peut également tracer la courbe de alpha pour toutes les configurations proposées par le programme de sélection.



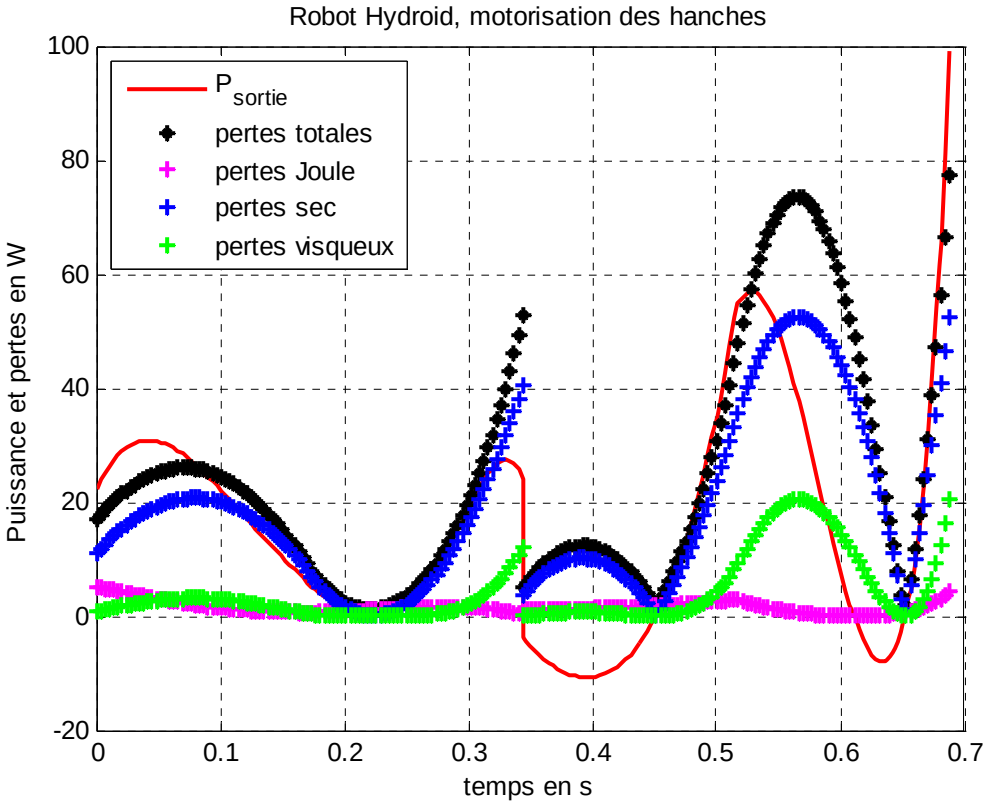
Cette courbe montre clairement que les configurations 4, 8, 12, 13 et 26 sont exclues car elle entraînerait un arrêt assez rapide du robot lorsque l'on demande la vitesse maximale. Pour les

configurations 7, 21, 22, 23 et 28 où le coefficient alpha est légèrement plus grand que 1, une solution peut être trouvée si l'on suppose que la vitesse maximale ne sera pas souvent utilisée ou alors pour une durée faible (environ 10 mn).
Sinon, la configuration qui présente un coefficient alpha juste inférieur à 1 et un rendement maximal est la numéro 27. C'est donc celle là que l'on propose pour la suite.

Le moteur et le réducteur étant choisis, on peut maintenant étudie en détail les courbes de puissances, de pertes et déterminer les coefficients de pondération d'un critère énergétique.



Globalement, pour l'ensemble des solutions proposées, les rapports de réduction des réducteurs sont relatives faibles, ce qui nous assure une bonne réversibilité.



Les coefficients obtenus sont :
kJ = 0,01
Cs = 11,02
fv = 0,902

6 Conclusion

La première partie des résultats a montré qu'il n'est pas très réaliste de choisir les actionneurs à partir d'une unique mode de fonctionnement à charge maximale. Cette démarche conduit à sur-dimensionner les actionneurs, ce qui pénalise la conception globale du robot du fait d'une masse total des actionneurs bien supérieure à la masse d'ensemble prévue pour le robot.

A partir de cette première analyse, il est alors possible de modifier la sélection au intégrant la loi de commande des actionneurs hydrauliques et la commande de stockage d'énergie. Ceci introduit un problème supplémentaire de choix concomitant de la loi de commande, du fonctionnement du moteur électrique associé à l'actionneur hydraulique et des tâches du robot.

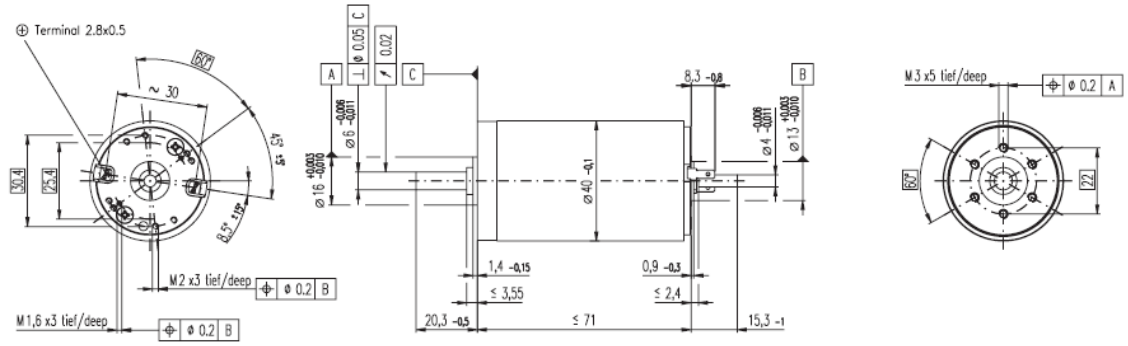
Enfin une autre démarche a été adoptée consistant à définir l'ensemble des trajectoires admissibles pour le robot, puis d'en déduire les points de fonctionnement limites et de sélectionner les actionneurs électriques et les transmissions mécaniques associés à l'aide de la méthodologie développée. Ceci a conduit aux choix des meilleures associations d'actionneurs-transmissions pour chaque articulation des jambes du robot. Ce résultat avec des associations de masse de l'ordre du kilogramme est tout à fait compatible avec les masses prévues au départ dans la définition du modèle dynamique du robot. De plus, la solution proposé nous permet de définir un modèle de pertes énergétiques globales des actionneurs, modèle qui peut être utilisé par la suite dans l'optimisation de trajectoire et dans la commande.

Annexe

Caractéristiques du moteur RE40 :

RE 40 ∅40 mm, Commutation Graphite, 150 Watt

maxon DC motor



M 1:2

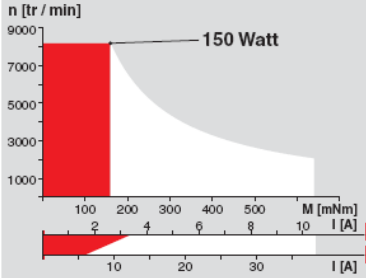
Programme Stock
Programme Standard
Programme Spécial (sur demande!)

		Numéros de commande										
	version industrielle	148866 263065	148867 263066	148877 263067	218008 263068	218009 263069	218010 263070	218011 263071	218012 263072	218013 263073	218014 263074	218015 263075
Caractéristiques moteur												
1	Puissance conseillée	W	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
2	Tension nominale	Volt	12.0	24.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
3	Vitesse à vide	tr / min	6920	7580	7580	6420	5560	3330	2690	2130	1710	1420	987
4	Couple de démarrage	mNm	1690	2290	2500	1990	1580	996	796	641	512	415	289
5	Pente vitesse / couple	tr / min / mNm	4.11	3.32	3.04	3.23	3.53	3.36	3.39	3.35	3.37	3.44	3.45
6	Courant à vide	mA	241	137	69	54	44	22	17	13	10	8	5
7	Courant de démarrage	A	103	75.9	41.4	28.0	19.2	7.26	4.69	3.00	1.92	1.29	0.627
8	Résistance aux bornes	Ohm	0.117	0.316	1.16	1.72	2.50	6.61	10.2	16.0	24.9	37.1	76.6
9	Vitesse limite	tr / min	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200
10	Courant permanent max.	A	6.00	6.00	3.33	2.75	2.41	1.41	1.13	0.904	0.725	0.594	0.414
11	Couple permanent max.	mNm	98.7	181	201	196	198	193	192	193	193	191	190
12	Puissance max. fournie à la tension nom.	W	285	440	491	332	255	86.5	55.7	35.6	22.9	15.3	7.40
13	Rendement max.	%	88	91	92	91	91	89	88	87	86	85	83
14	Constante de couple	mNm / A	16.4	30.2	60.3	71.3	82.2	137	170	214	266	321	461
15	Constante de vitesse	tr / min / V	581	317	158	134	116	69.7	56.2	44.7	35.9	29.8	20.7
16	Constante de temps mécanique	ms	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
17	Inertie du rotor	gcm²	135	134	134	125	127	118	117	118	117	114	114
18	Inductivité	mH	0.02	0.08	0.33	0.46	0.61	1.70	2.62	4.14	6.40	9.31	19.20
19	Résistance therm. carcasse / air ambiant	K / W	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
20	Résistance therm. rotor / carcasse	K / W	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
21	Constante de temps thermique du bobinage	s	41	40	40	38	38	36	35	35	35	34	34

Spécifications

- Jeu axial 0.05 - 0.15 mm
- Charge maximum des roulements
  - axial (dynamique)
    - non pré-contraint 5.6 N
    - pré-contraint 2.4 N
  - radiale (à 5 mm de la face) 28 N
  - Force de chassage (statique) 110 N
  - (statique, axe soutenu) 1200 N
- Jeu radial avec roulements 0.025 mm
- Température ambiante -20 ... +100°C
- Température rotor max. +155°C
- Nombre de lames au collecteur 13
- Poids du moteur 480 g
- Aimant permanent à 2 pôles
- Les caractéristiques moteur du tableau sont des valeurs nominales.
  Voir en page 43 les plages de tolérances.
  Des informations détaillées se trouvent sur le maxon selection program du CD-ROM ci-joint.

Plages d'utilisation Légende Explications page 49



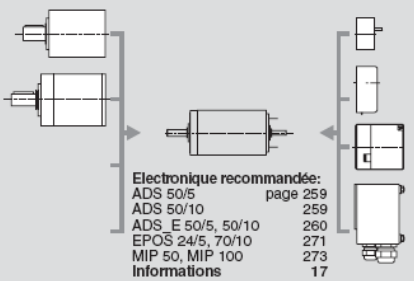
Plage de puissance conseillée

Plage de fonctionnement permanent
Compte tenu des resistances thermiques (lignes 19 et 20) la température maximum du rotor peut être atteinte au valeur nominal de couple et vitesse et à la température ambiante de 25°C.
= Limite thermique.

Fonctionnement intermittent
La surcharge doit être de courte durée.

148877 Moteur avec bobinage à haute résistance
148866 Moteur avec bobinage à basse résistance

Construction modulaire maxon Aperçu à la page 17 - 21



Réducteur planétaire
∅42 mm
3 - 15 Nm
Voir page 224

Réducteur planétaire
∅52 mm
4 - 30 Nm
Voir page 227

Electronique recommandée:
ADS 50/5 page 259
ADS 50/10 259
ADS_E 50/5, 50/10 260
EPOS 24/5, 70/10 271
MIP 50, MIP 100 273
Informations 17

Codeur MR
256 - 1024 imp.,
3 canaux
Voir page 239

Codeur HED_5540
500 imp.,
3 canaux
Voir page 242 / 244

Frein AB
∅40 mm,
24 VDC, 0.4 Nm
Voir page 279

Version industrielle
Codeur HEDL 9140
Voir page 247
Frein AB
Voir page 280

Edition Juillet 2005 / Modifications réservées

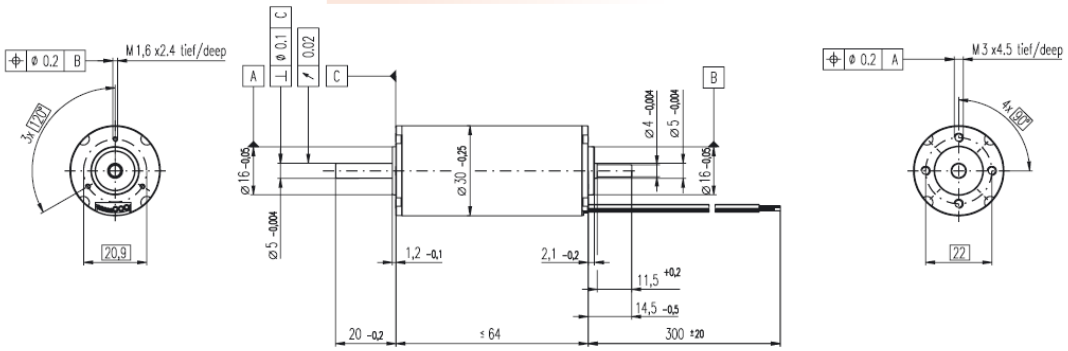
maxon DC motor 83

Caractéristiques du moteur ECpowermax30 :

maxon *EC*-max

EC-powermax 30 ∅30 mm, à commutation électronique, 200 Watt NEW

HighPower



M 1:2

Programme Stock
Programme Standard
Programme Spécial (sur demande!)

Numéros de commande

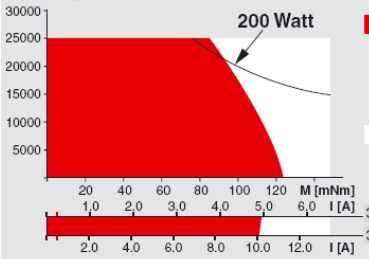
			305013	305014	305015
Caractéristiques moteur (provisoires)					
1	Puissance conseillée	W	200	200	200
2	Tension nominale	Volt	24.0	36.0	48.0
3	Vitesse à vide 1)	tr / min	17000	17000	17000
4	Couple de démarrage 1)	mNm	4050	3750	3780
5	Pente vitesse / couple 1)	tr / min / mNm	4.2	4.54	4.5
6	Courant à vide 1)	mA	488	325	244
7	Résistance aux bornes (phase-phase)	Ohm	0.080	0.193	0.341
8	Vitesse limite	tr / min	25000	25000	25000
9	Courant permanent max. à 5000 tr / min 1)	mA	10100	6560	4940
10	Couple permanent max. à 5000 tr / min	mNm	116	112	113
11	Rendement max. 1)	%	92	92	92
12	Constante de couple	mNm / A	13.5	20.2	26.9
13	Constante de vitesse	tr / min / V	710	473	355
14	Constante de temps mécanique	ms	1.34	1.45	1.43
15	Inertie du rotor	gcm²	30.4	30.4	30.4
16	Inductivité (phase-phase)	mH	0.026	0.058	0.102
17	Résistance therm. carcasse / air ambiant	K / W	5.7	5.7	5.7
18	Résistance therm. bobinage / carcasse	K / W	0.05	0.05	0.05
19	Constante de temps thermique du bobinage	s	0.3	0.3	0.3
20	Constante de temps thermique du stator	s	918	918	918

1) Valeurs déterminées avec la commutation de bloc!

Spécifications

- Jeu axial sous charge axiale — < 8 N — 0 mm
- **Roulements** pré-contraint
  Pré-contraint min. — 8 N
- Charge maximum des **roulements**
  axiale (dynamique) — 7 N
  radiale (à 5 mm de la face) — 25 N
  Force de chassage (statique, axe soutenu) — 1200 N
- Température ambiante — -40 ... +100°C
- Température bobinage max. — +155°C
- Poids du moteur — 270 g
- Aimant permanent à 4 pôles
- Les caractéristiques moteur du tableau sont des valeurs nominales.
- **Connexions** (Câble AWG 18)
  noir — Bobinage 2 du moteur
  blanc — Bobinage 3 du moteur
  rouge — Bobinage 1 du moteur
  Connexions (Câble AWG 26)
  blanc / gris — Capteurs Hall 3
  vert — V_{Hall} 4.5 ... 24 VDC
  bleu — GND
  noir / gris — Capteurs Hall 2
  rouge / gris — Capteurs Hall 1

Plages d'utilisation



Légende — Explications page 149

Courbe de la puissance constante assignable

Plage de fonctionnement permanent
Compte tenu des resistances thermiques (lignes 17 et 18) la température maximum du rotor peut être atteinte au valeur nominal de couple et vitesse et à la température ambiante de 25°C.
= Limite thermique.

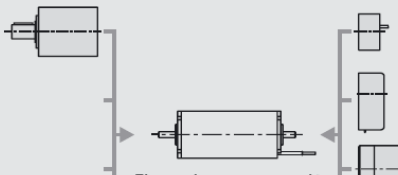
Fonctionnement intermittent
La surcharge doit être de courte durée.

305015 Moteur avec bobinage à haute résistance
305013 Moteur avec bobinage à basse résistance

Construction modulaire maxon

Aperçu à la page 17 - 21

Réducteur planétaire
∅42 mm
3 - 15 Nm
Voir page 225



Codeur MR
500 / 1000 imp.,
3 canaux
Voir page 238

Codeur HEDL 5540
500 imp.,
3 canaux
Voir page 246

Frein AB
∅20 mm
24 VDC, 0.1 Nm
Voir page 278

Electronique recommandée:

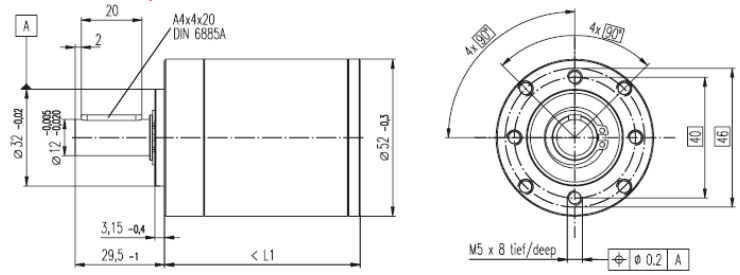
DEC 70/10	page 266
DES 70/10	268
EPOS 70/10	271
MIP 100	273
Informations	**17**

Edition Juillet 2005 / Modifications réservées

Caractéristiques des réducteurs GP52C

Réducteur planétaire GP 52 C ∅52 mm, 4 - 30 Nm

Version Céramique



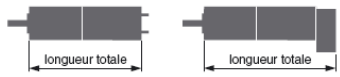
M 1:2

Données techniques

Réducteur planétaire				taille droite
Arbre de sortie				acier inoxydable
Palier de sortie				roulements pré-contraint
Jeu radial à 12 mm de la face				max. 0.06 mm
Jeu axial sous charge axiale	< 5 N			0 mm
	> 5 N			max. 0.3 mm
Charge axiale max.				200 N
Force de chassage max.				500 N
Sens de rotation entrée / sortie				=
Vitesse d'entrée conseillée				< 6000 tr / min
Plage de température conseillée				-20 ... +100°C
Domaine étendu en option				-35 ... +100°C
Nombre d'étages	1	2	3	4
Charge radiale max. à 12 mm de la face	500 N	700 N	900 N	900 N

Programme Stock
Programme Standard
Programme Spécial (sur demande!)

			Numéros de commande						
			223080	223083	223089	223094	223097	223104	223109
Données sur les réducteurs									
1	Rapport de réduction		3.5 : 1	12 : 1	43 : 1	91 : 1	150 : 1	319 : 1	546 : 1
2	Rapport de réduction exact		7/2	49/4	343/8	91	2401/16	637/2	546
3	Moment d'inertie	gcm²	20.7	17.6	17.3	16.7	17.3	16.8	16.4
4	Diamètre max. de l'arbre du moteur	mm	10	10	10	10	10	10	10
	Numéros de commande		**223081**	223084	223090	223095	223099	**223105**	223110
1	Rapport de réduction		4.3 : 1	15 : 1	53 : 1	113 : 1	186 : 1	353 :1	676 : 1
2	Rapport de réduction exact		13/3	91/6	637/12	338/3	4459/24	28561/81	676
3	Moment d'inertie	gcm²	12	16.8	17.2	9.3	17.3	9.4	9.1
4	Diamètre max. de l'arbre du moteur	mm	8	10	10	8	10	8	8
	Numéros de commande			**223085**	223091	223096	223101	223106	223111
1	Rapport de réduction			19 : 1	66 : 1	126 : 1	230 : 1	394 : 1	756 : 1
2	Rapport de réduction exact			169/9	1183/18	126	8281/36	1183/3	756
3	Moment d'inertie	gcm²		9.5	16.7	16.4	16.8	16.7	16.4
4	Diamètre max. de l'arbre du moteur	mm		8	10	10	10	10	10
	Numéros de commande			223086	223092	223098	223102	223107	223112
1	Rapport de réduction			21 : 1	74 : 1	156 : 1	257 : 1	441 : 1	936 : 1
2	Rapport de réduction exact			21	147/2	156	1029/4	441	936
3	Moment d'inertie	gcm²		16.5	17.2	9.1	17.3	16.5	9.1
4	Diamètre max. de l'arbre du moteur	mm		10	10	8	10	10	8
	Numéros de commande			223087	**223093**		223103	223108	
1	Rapport de réduction			26 : 1	81 : 1		285 : 1	488 : 1	
2	Rapport de réduction exact			26	2197/27		15379/54	4394/9	
3	Moment d'inertie	gcm²		9.1	9.4		16.7	9.4	
4	Diamètre max. de l'arbre du moteur	mm		8	8		10	8	
5	Nombre d'étages		1	2	3	3	4	4	4
6	Couple permanent max.	Nm	4	15	30	30	30	30	30
7	Couple intermittent max. admissible	Nm	6	22.5	45	45	45	45	45
8	Rendement max.	%	91	83	75	75	68	68	68
9	Poids	g	460	620	770	770	920	920	920
10	Jeu moyen à vide	°	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11	Longueur du réducteur L1	mm	49.0	65.0	78.5	78.5	92.0	92.0	92.0



Combinaison

+ Moteur	Page	+ Géné. / Codeur	Page	+ Frein	Page	Longueur totale [mm] = longueur du moteur + longueur du réducteur + (géné. / codeur / frein) + pièces de montage						
RE 40, 150 W	83					120.1	136.1	149.6	149.6	163.1	163.1	163.1
RE 40, 150 W	83	MR	239			131.5	147.5	161.0	161.0	174.5	174.5	174.5
RE 40, 150 W	83	HED_ 5540	242/244			140.8	156.8	170.3	170.3	183.8	183.8	183.8
RE 40, 150 W	83	HEDL 9140	247			174.1	190.1	203.6	203.6	217.1	217.1	217.1
RE 40, 150 W	83			AB 40	279	156.2	172.2	185.7	185.7	199.2	199.2	199.2
RE 40, 150 W	83			AB 28	280	164.1	180.1	193.6	193.6	207.1	207.1	207.1
RE 40, 150 W	83	HED_ 5540	242/244	AB 40	279	173.3	189.3	202.8	202.8	216.3	216.3	216.3
RE 40, 150 W	83	HEDL 9140	247	AB 28	280	184.6	200.6	214.1	214.1	227.6	227.6	227.6
EC 40, 120 W	160					119.1	135.1	148.6	148.6	162.1	162.1	162.1
EC 40, 120 W	160	HED_ 5540	243/245			137.5	153.5	167.0	167.0	180.5	180.5	180.5
EC 40, 120 W	160	Res 26	253			145.7	161.7	175.2	175.2	188.7	188.7	188.7
EC 40, 120 W	160			AB 40	279	149.9	165.9	179.4	179.4	192.9	192.9	192.9
EC 45, 150 W	161					160.3	176.3	189.8	189.8	203.3	203.3	203.3
EC 45, 150 W	161	HEDL 9140	247			175.9	191.9	205.4	205.4	218.9	218.9	218.9
EC 45, 150 W	161	Res 26	253			160.3	176.3	189.8	189.8	203.3	203.3	203.3
EC 45, 150 W	161			AB 28	280	167.7	183.7	197.2	197.2	210.7	210.7	210.7
EC 45, 150 W	161	HEDL 9140	247	AB 28	280	184.7	200.7	214.2	214.2	227.7	227.7	227.7
EC 45, 250 W	162					193.1	209.1	222.6	222.6	236.1	236.1	236.1
EC 45, 250 W	162	HEDL 9140	247			208.7	224.7	238.2	238.2	251.7	251.7	251.7
EC 45, 250 W	162	Res 26	247			193.1	209.1	222.6	222.6	236.1	236.1	236.1
EC 45, 250 W	162			AB 28	280	200.5	216.5	230.0	230.0	243.5	243.5	243.5
EC 45, 250 W	162	HEDL 9140	247	AB 28	280	217.5	233.5	247.0	247.0	260.5	260.5	260.5

Caractéristiques du réducteur HFUC142AR :

Schéma CAO



Photo



Rating Table HFUC-2UH Series

		Precision Gear			Output Bearing		
Gear Size	Ratio	Nominal Output Torque [Nm]	Limit for Repeated Peak Torque of gear [Nm]	Limit for Momentary Peak Torque [Nm]	Permissible Dynamic Tilting Moment [Nm]	Permissible Dynamic Axial Load [N]	Permissible Dynamic Radial Load [N]
14	30	4	9	17	41	3374	2256
	50	5.4	18	35	41	3374	2256
	80	7.8	23	47	41	3374	2256
	100	7.8	28	54	41	3374	2256
17	30	8.8	16	30	64	3207	2148
	50	16	34	70	64	3207	2148
	80	22	43	87	64	3207	2148
	100	24	54	110	64	3207	2148
	120	24	54	86	64	3207	2148
20	30	15	27	50	91	3511	2354
	50	25	56	98	91	3511	2354
	80	34	74	127	91	3511	2354
	100	40	82	147	91	3511	2354
	120	40	87	147	91	3511	2354
	160	40	92	147	91	3511	2354