

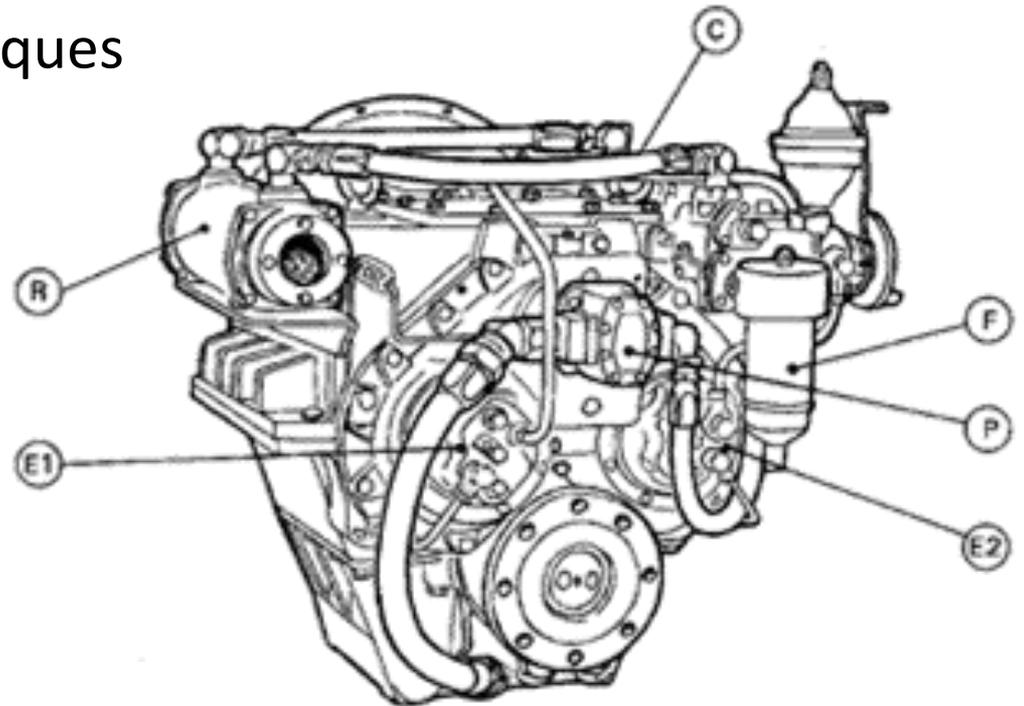
Dimensionnement roulements à rouleaux coniques

TD- 9 – Réducteur Marin

Équipe pédagogique CONAN

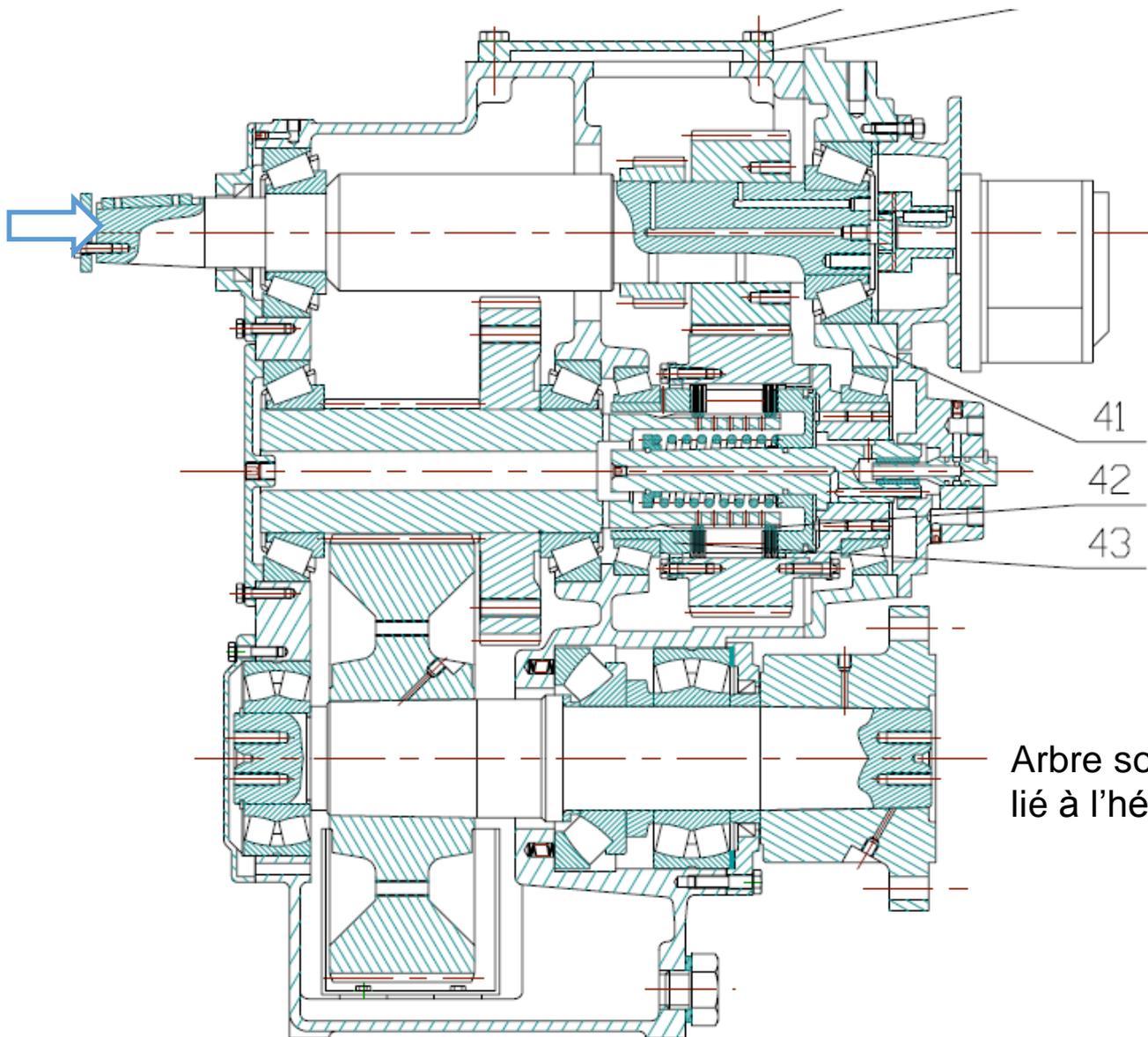
Objectifs :

- Vérifier le dimensionnement des roulements de l'arbre d'entrée d'un réducteurs marin. Ces inverseurs sont installés à bord de navires de haute mer ou fluviaux, de bateaux de pêche ou de remorqueurs .
- Comprendre la problématiques des charges induites
- Revoir la méthodologie de calcul de durée de vie



Présentation du mécanisme : Marche Avant

Moteur



Arbre entrée lié au moteur thermique

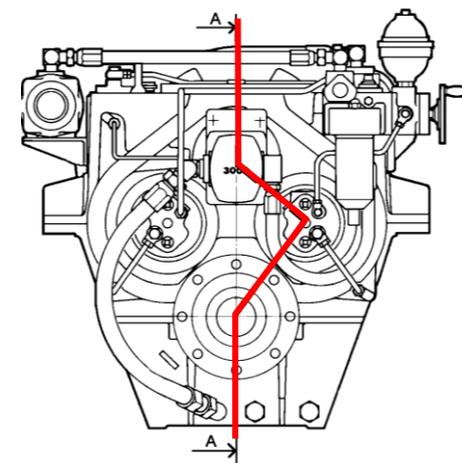
41

42

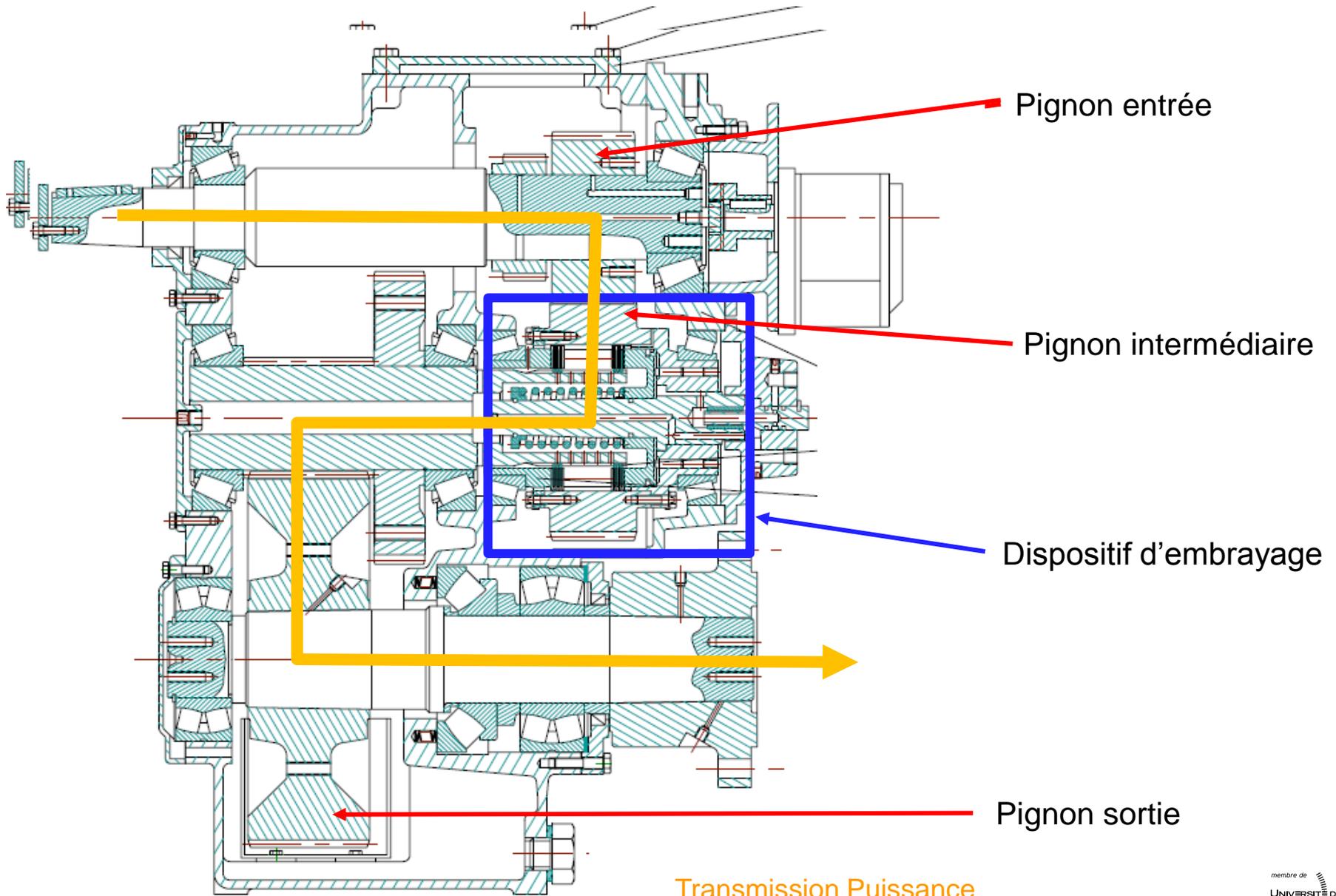
43

Arbre intermédiaire 1

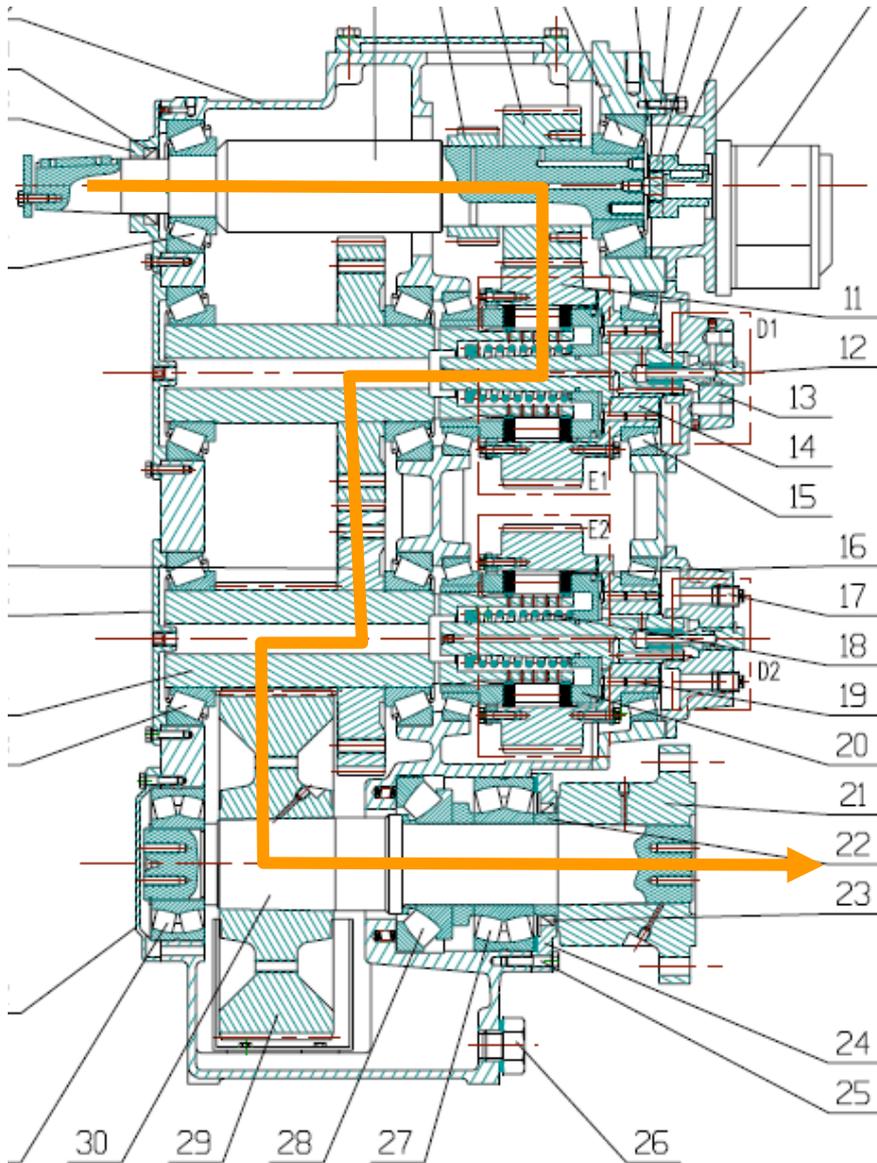
Arbre sortie lié à l'hélice



Présentation du mécanisme : Marche Avant



Présentation du mécanisme : Marche Arrière

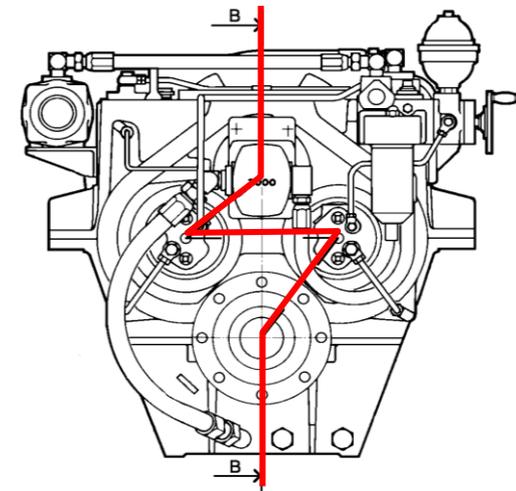


Arbre entrée lié au moteur thermique

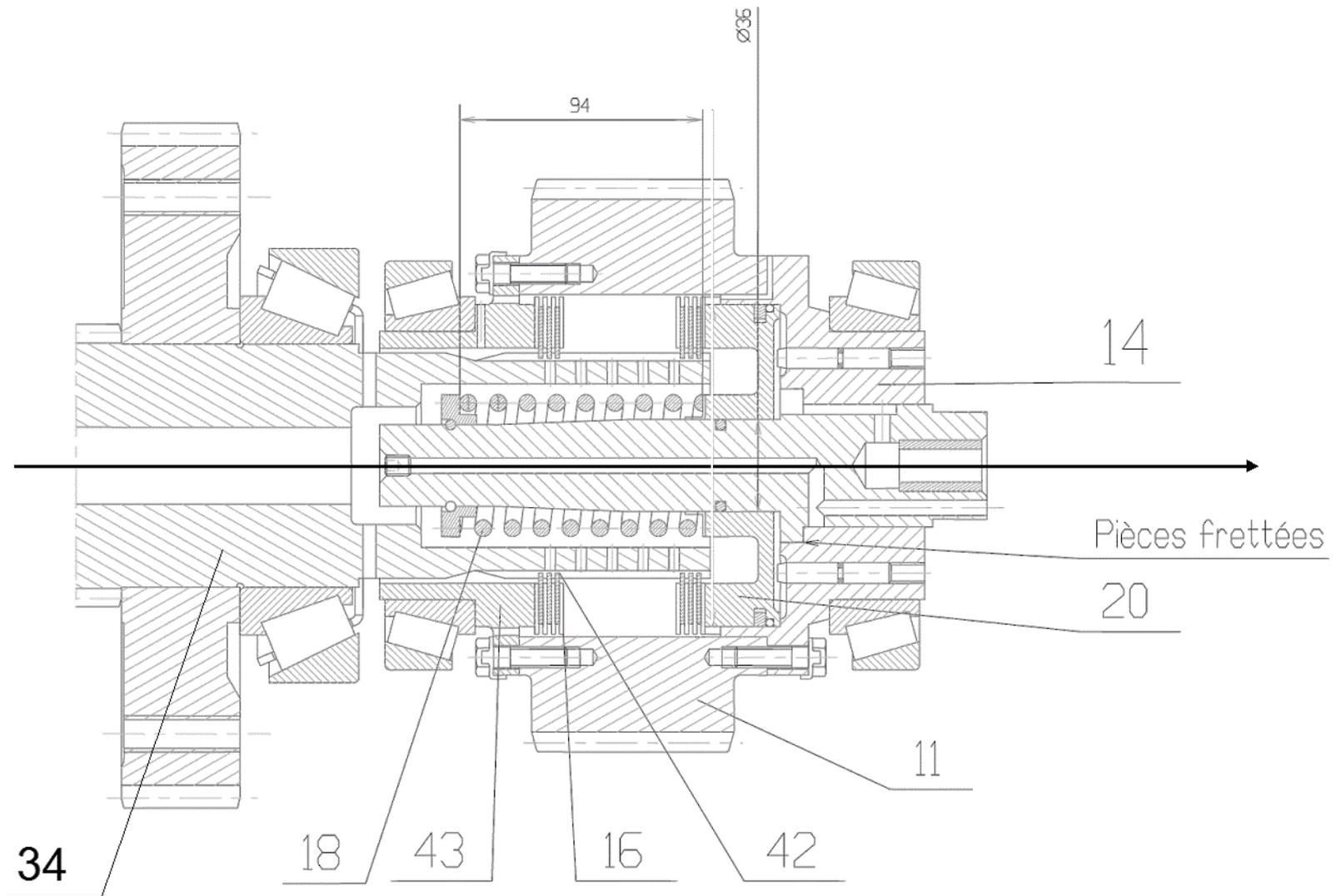
Arbre intermédiaire 2

Arbre intermédiaire 1

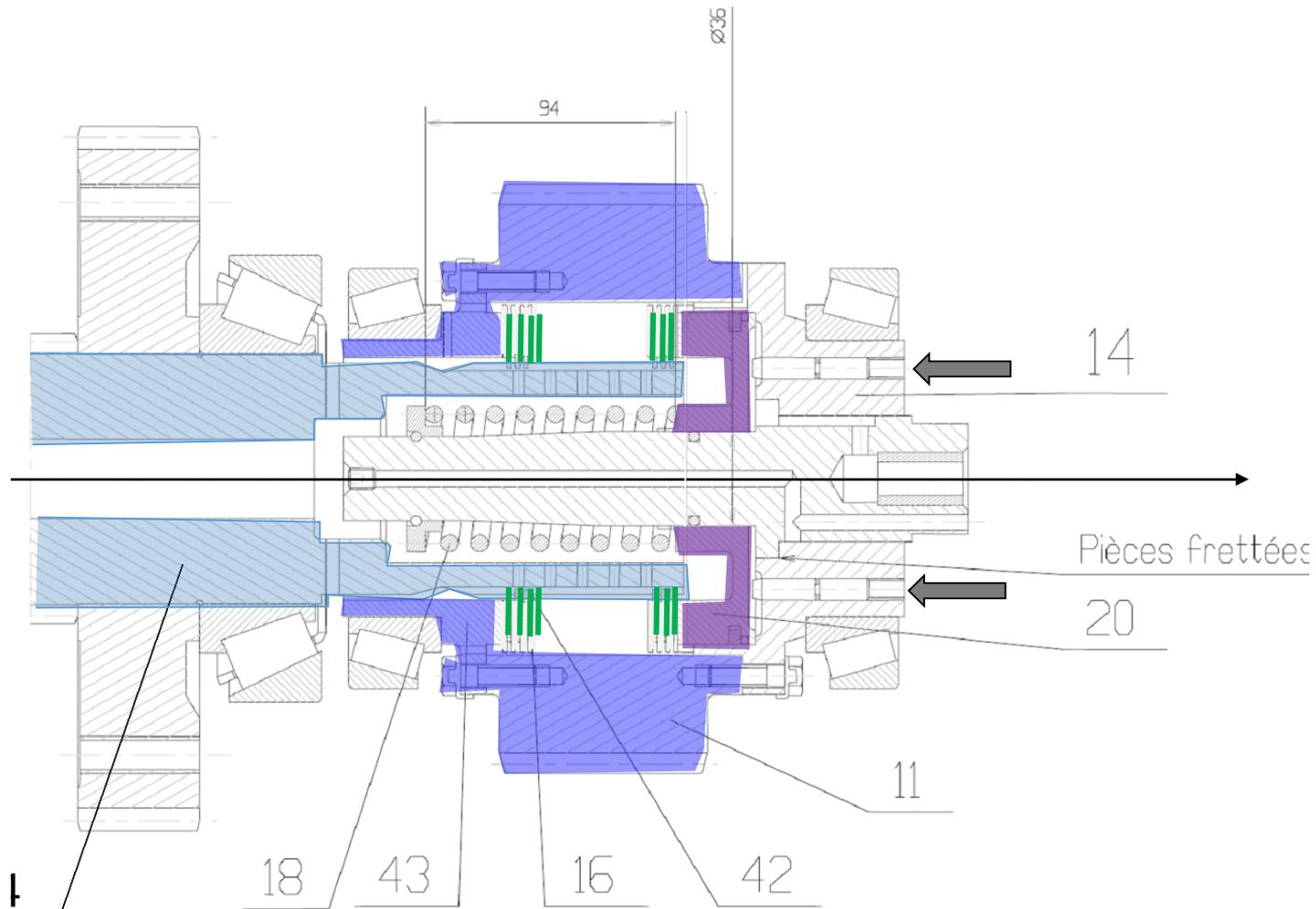
Arbre sortie lié à l'hélice



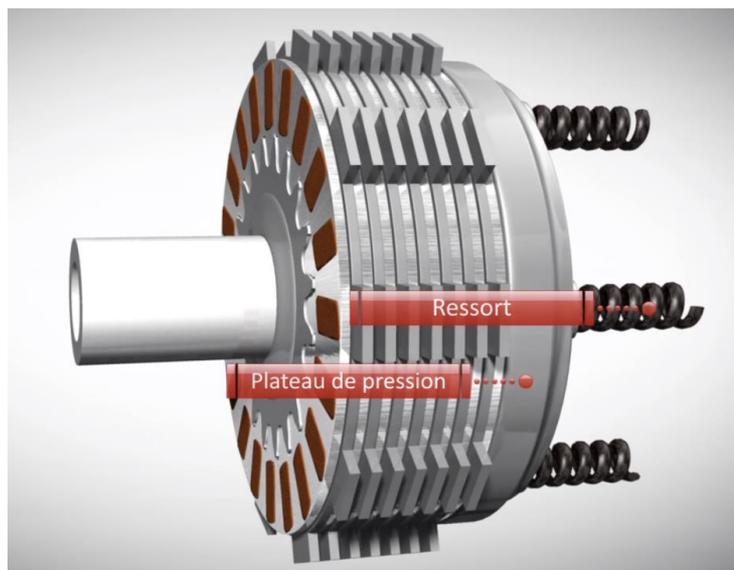
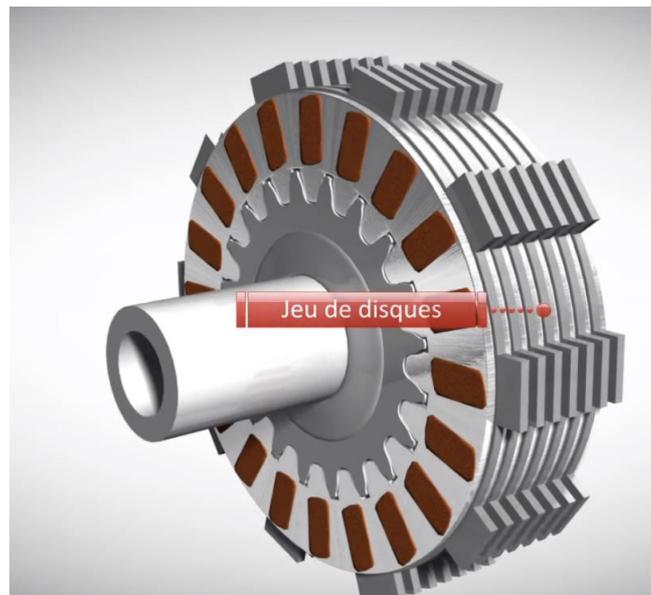
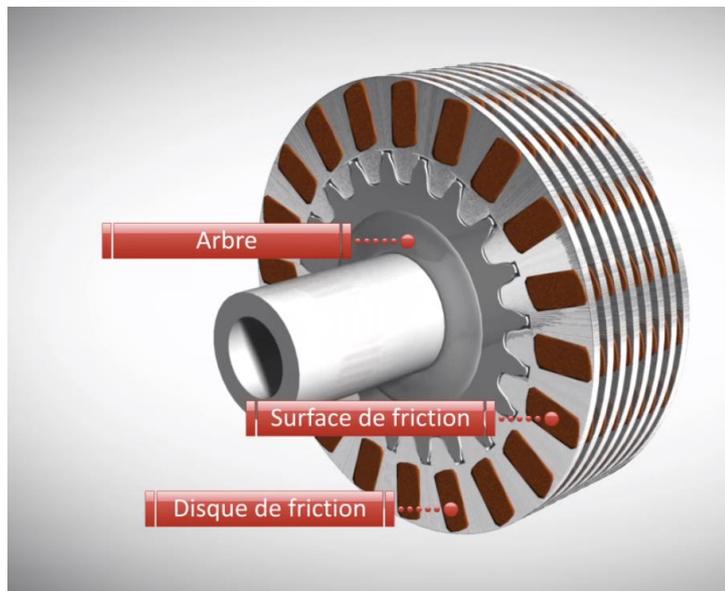
Présentation du mécanisme : Embrayage



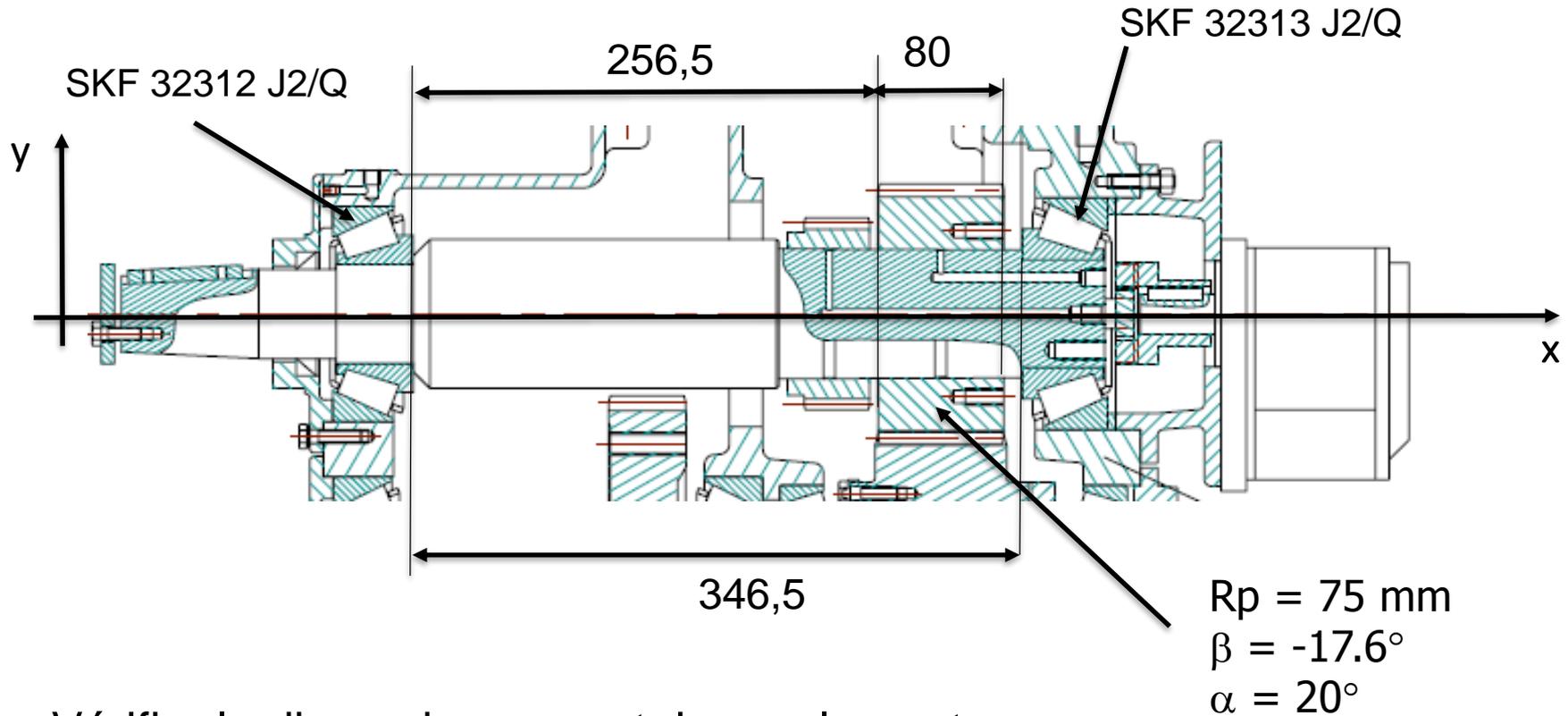
Présentation du mécanisme : Embrayage



Embrayage

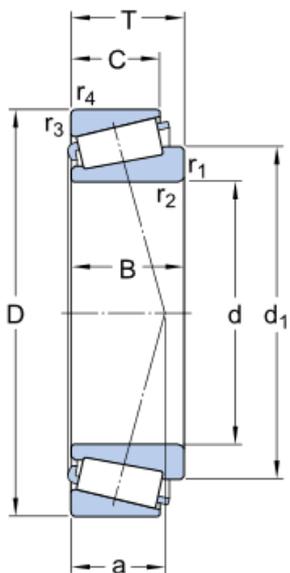


Etude de l'arbre d'entrée



- Vérifier le dimensionnement des roulements
- Calculer la durée de vie des roulements
 - 80% du temps $C_{M1} = 2122 \text{ N.m}$, $w_1 = 1800 \text{ tr/mn}$
 - 20% du temps $C_{M1} = 1000 \text{ N.m}$, $w_2 = 750 \text{ tr/mn}$

Caractéristiques roulement SKF 32312 J2/K



d	60	mm
D	130	mm
T	48.5	mm
d ₁	≈ 91.9	mm
B	46	mm
C	37	mm
r _{1,2}	min. 3	mm
r _{3,4}	min. 2.5	mm
a	31	mm

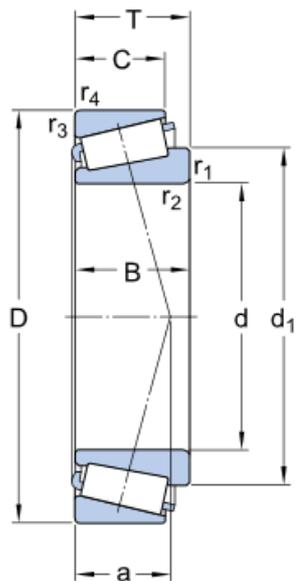
Données de calcul

Charge dynamique de base	C	229	kN
Charge statique de base	C ₀	290	kN
Limite de fatigue	P _u	34	kN
Vitesse de référence		3600	r/min
Vitesse limite		5300	r/min
Coefficient de calcul	e	0.35	
Coefficient de calcul	Y	1.7	
Coefficient de calcul	Y ₀	0.9	

Masse

Masse du roulement 2.894 kg

Caractéristiques roulement SKF 32313 J2/Q



d	65	mm
D	140	mm
T	51	mm
d ₁	≈ 99.2	mm
B	48	mm
C	39	mm
r _{1,2}	min. 3	mm
r _{3,4}	min. 2.5	mm
a	33	mm

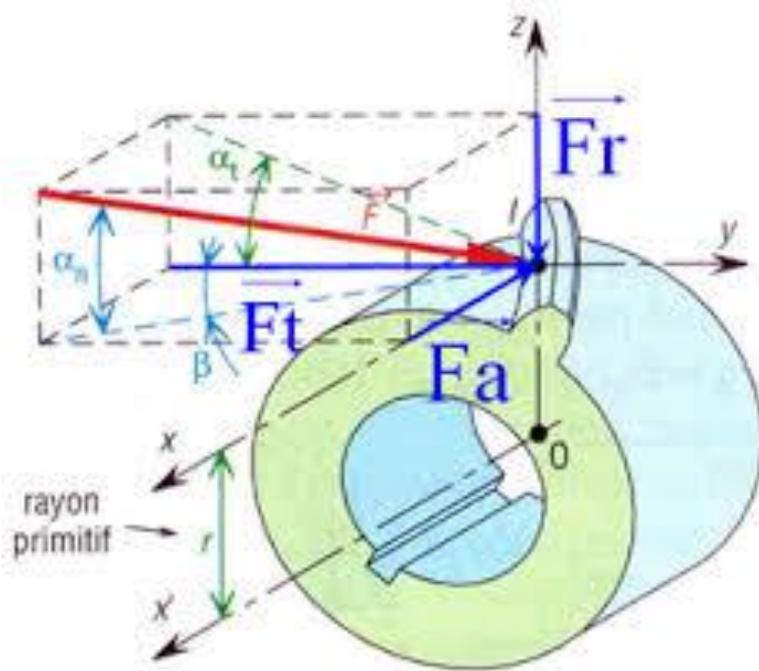
Données de calcul

Charge dynamique de base	C	264	kN
Charge statique de base	C ₀	335	kN
Limite de fatigue	P _u	40	kN
Vitesse de référence		3400	r/min
Vitesse limite		4800	r/min
Coefficient de calcul	e	0.35	
Coefficient de calcul	Y	1.7	
Coefficient de calcul	Y ₀	0.9	

Masse

Masse du roulement	3.506	kg
--------------------	-------	----

Efforts exercés par des engrenages hélicoïdaux



<https://pierreprivot.wordpress.com/les-engrenages/les-engrenages-droits-denture-hlicoidale/>

✓ Caractéristiques de l'engrenages

- R : Rayon primitif
- α : angle de pression
- β : angle d'hélice

✓ Caractéristiques des efforts

- F : effort résultant à la denture

- F_t : effort tangentiel

$$F_t = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

- F_r : effort radial

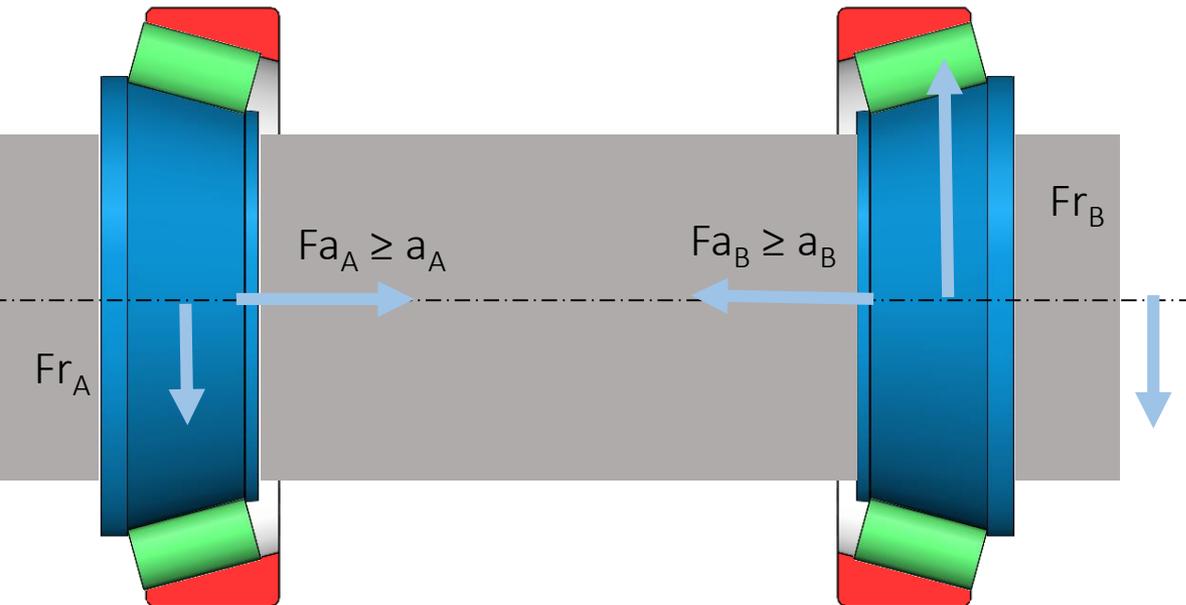
$$F_r = F \cdot \sin(\alpha)$$

- F_a : effort axial

$$F_a = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

Rappel de CM : Condition de bon fonctionnement : la précharge

Dans les conditions du chargement extérieur, cette précharge permet de s'assurer que l'effort axial interne au roulement est supérieur à une valeur minimale : la charge induite a_i (*)



a_i dépend de la géométrie du roulement et de l'effort radial supporté :

$$a_i = Fr/2Y_i \text{ (conique)}$$

$$a_i = Fr/e \text{ (billes)}$$

Cette charge induite est la charge axiale minimale transmise par le roulement pour que sous un chargement radial donné la moitié des éléments roulants soit sollicités.

* On suppose souvent que la charge est induite par l'effort radial, alors qu'elle est induite par le bon fonctionnement

Les conditions de bon fonctionnement (*) impose que les charges axiales transmises soient toujours supérieures ou égales aux charges induites

** Note : le calcul de la précharge permettant ce bon fonctionnement fait intervenir la rigidité des roulements et sera vu en CONDIM. Mais pour les applications courantes, une valeur égale à 3-4 % de C_0 est souvent suffisante.*



Rappels des conventions de notation



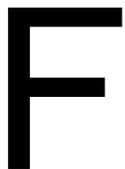
Effort avec plusieurs composantes, dont l'orientation réelle n'est pas défini.

Représenter par une flèche dans le sens positive sur les schémas



Effort uniaxial, dont l'orientation réelle n'est pas définie, par exemple l'effort axial extérieur

Représenter par une flèche dans le sens positif des axes sur les schémas



Effort uniaxial, dont l'orientation réelle est connue, par exemple les efforts induits lorsque le montage est précisé

Représenter par une flèche dans le sens de sa direction réelle

Rappels méthodologie

- Réaliser un schéma filaire du dispositif, identifier les efforts exercés et leur point d'application
- Déterminer les efforts radiaux transmis par les roulements
- Déterminer les efforts axiaux induits (mini pour bon fonctionnement)
- En déduire les efforts axiaux transmis par les roulements
- Vérifier la résistance aux détériorations statiques
- Vérifier la charge minimale
- Calculer la durée de vie,

Schéma filaire de calcul

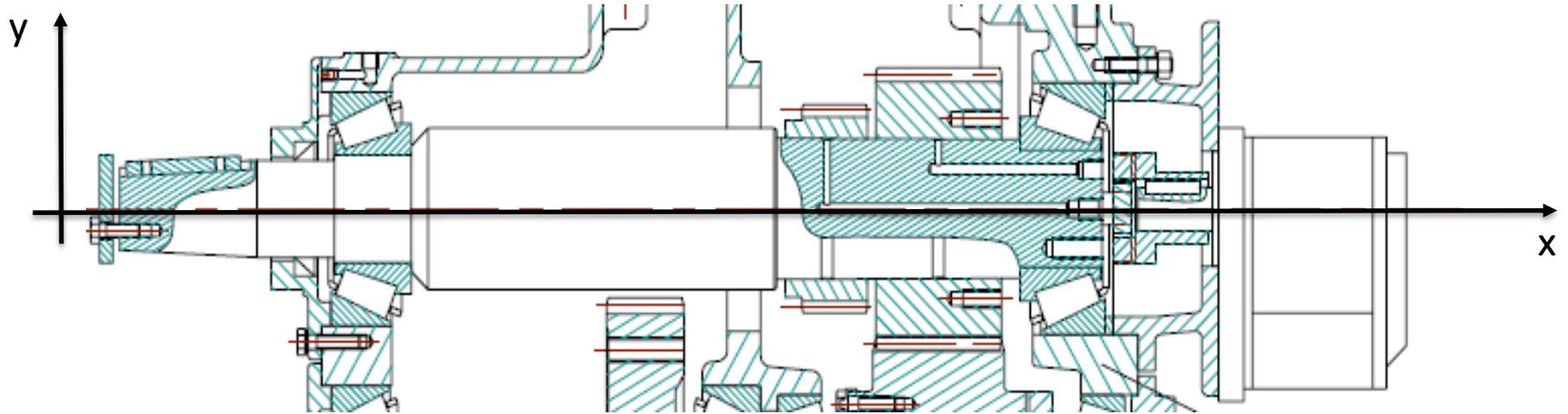


Schéma filaire de calcul

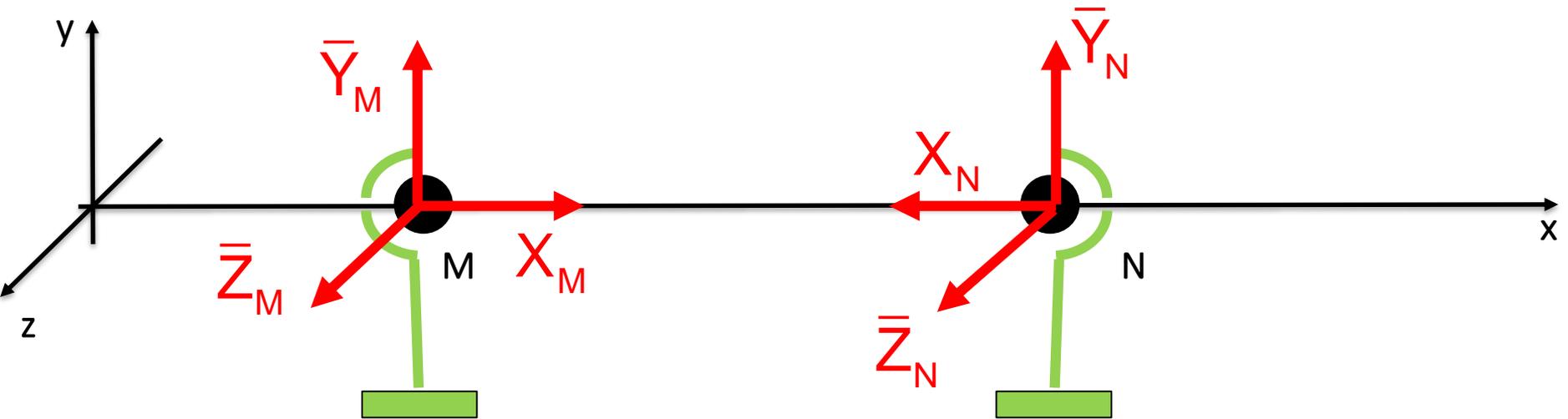
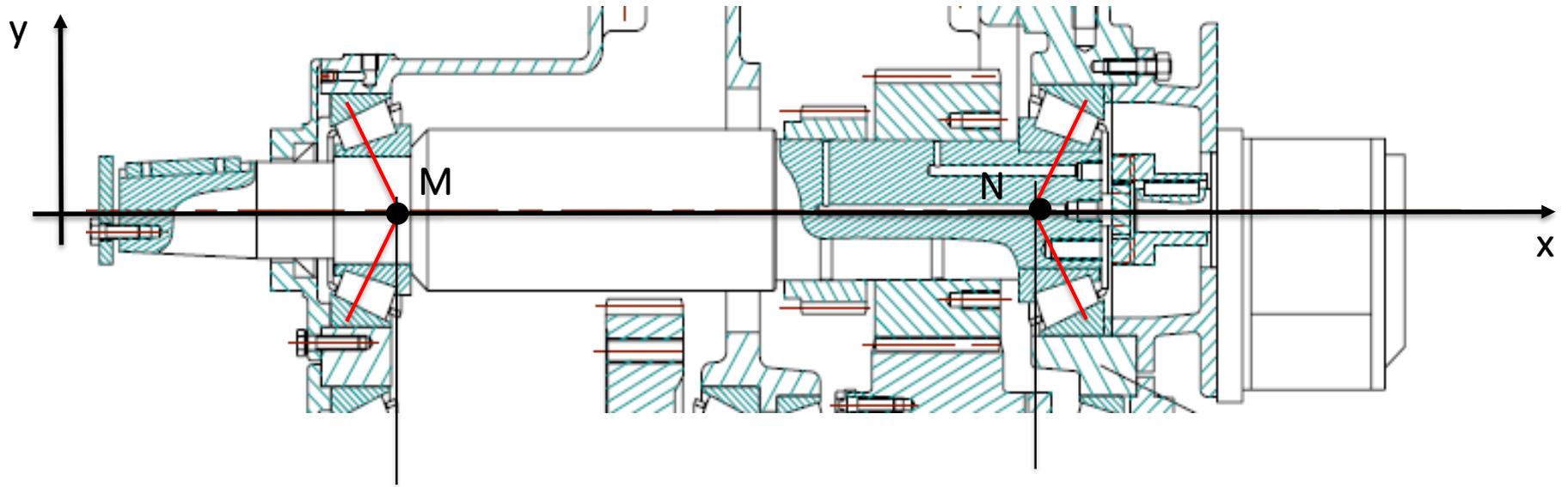
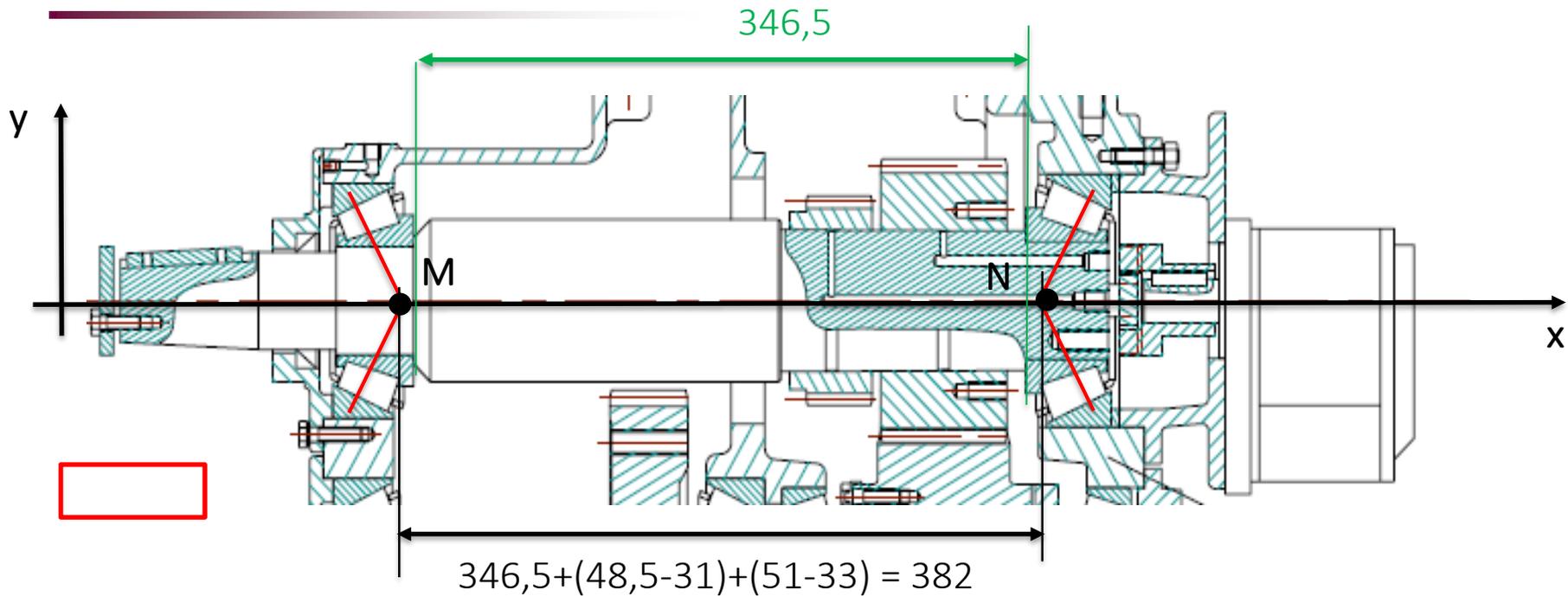
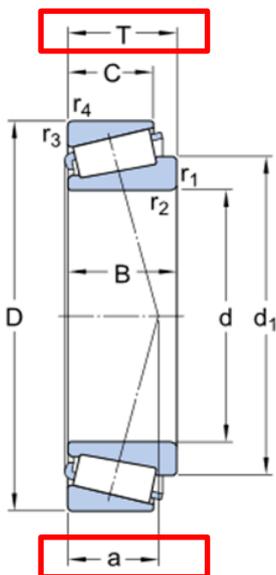


Schéma filaire de calcul



d	60	mm
D	130	mm
T	48.5	mm
d ₁	≈ 91.9	mm
B	46	mm
C	37	mm
r _{1,2}	min. 3	mm
r _{3,4}	min. 2.5	mm
a	31	mm



d	65	mm
D	140	mm
T	51	mm
d ₁	≈ 99.2	mm
B	48	mm
C	39	mm
r _{1,2}	min. 3	mm
r _{3,4}	min. 2.5	mm
a	33	mm

Schéma filaire de calcul

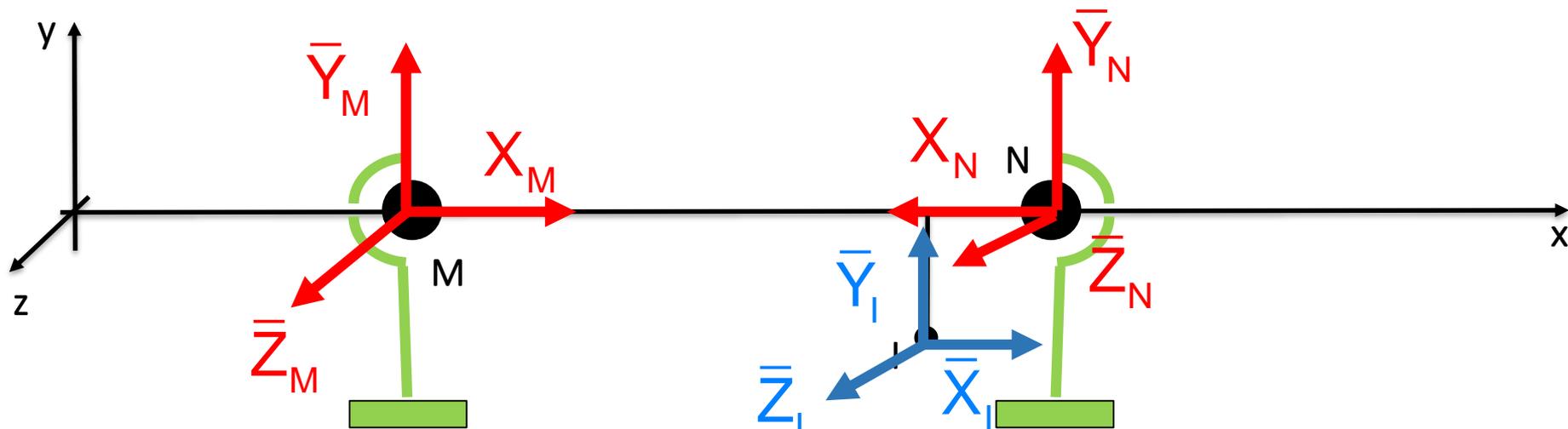
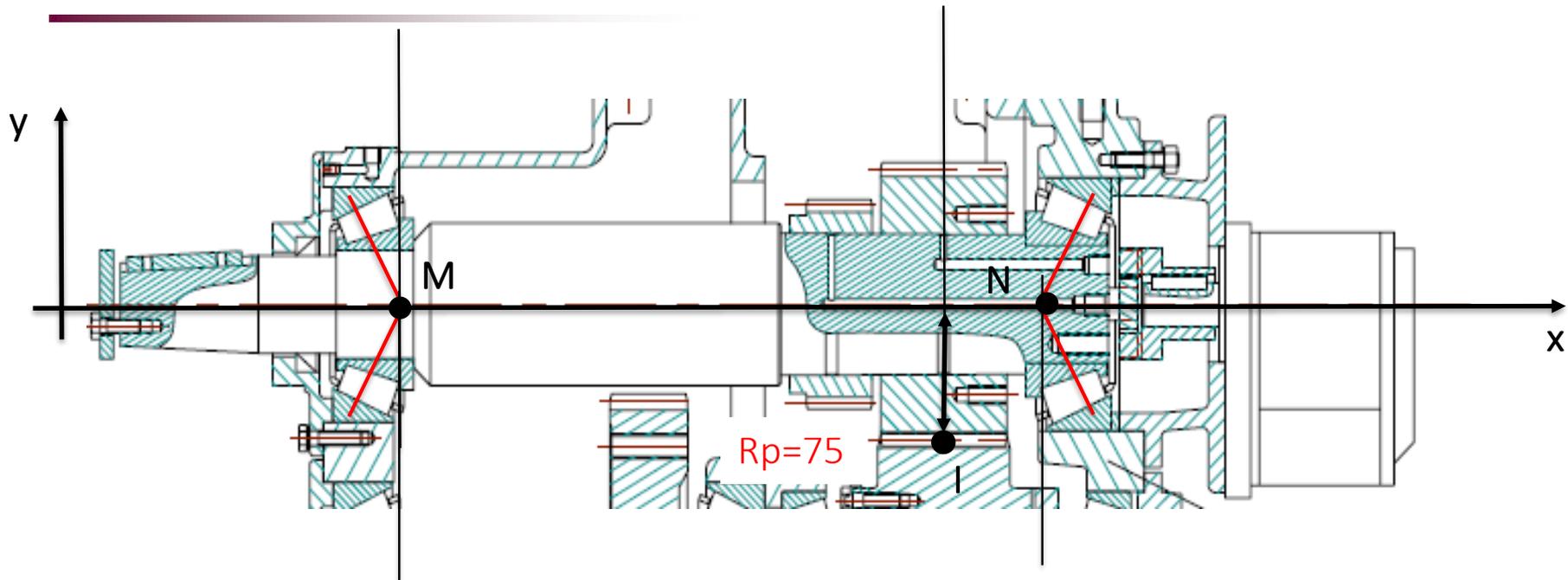


Schéma filaire de calcul

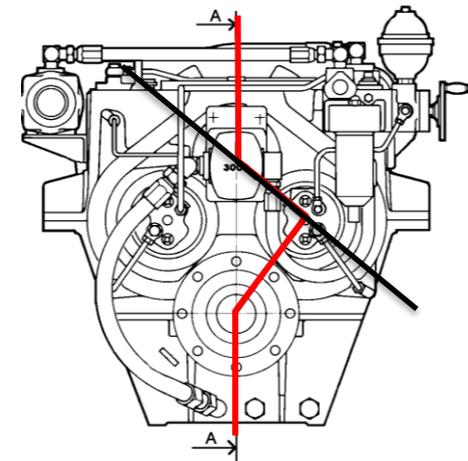
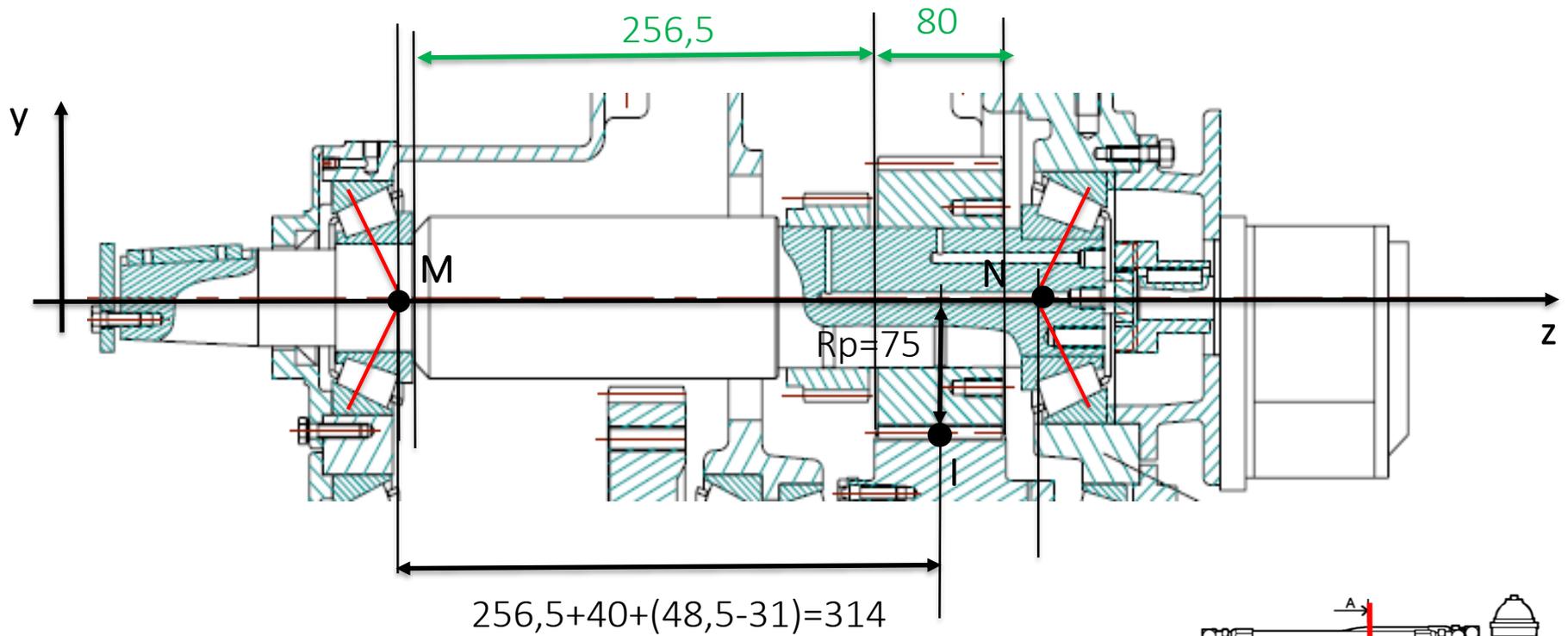
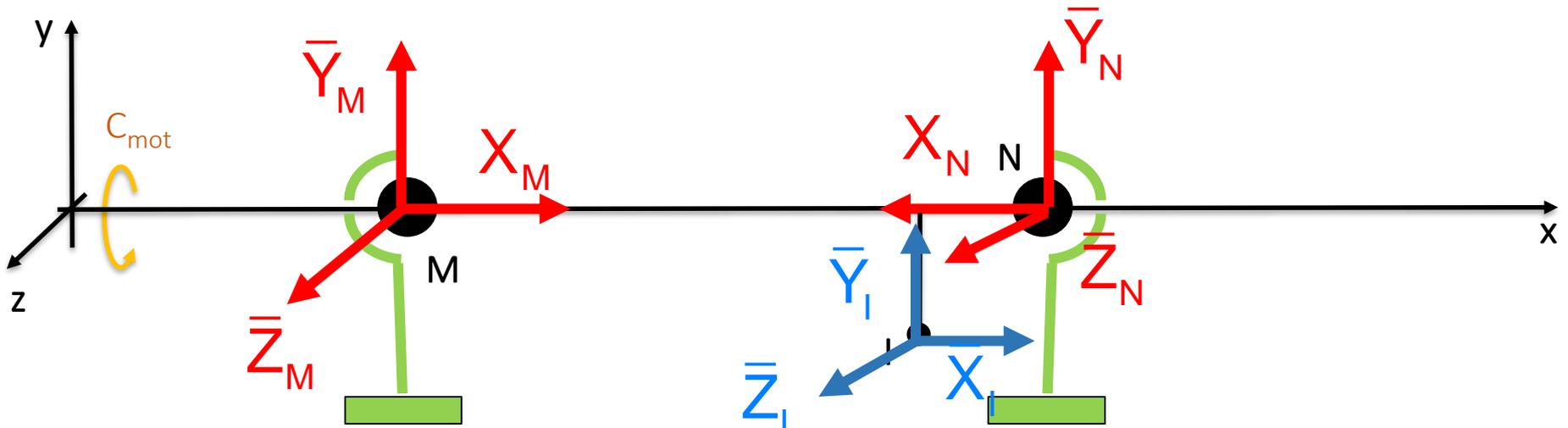
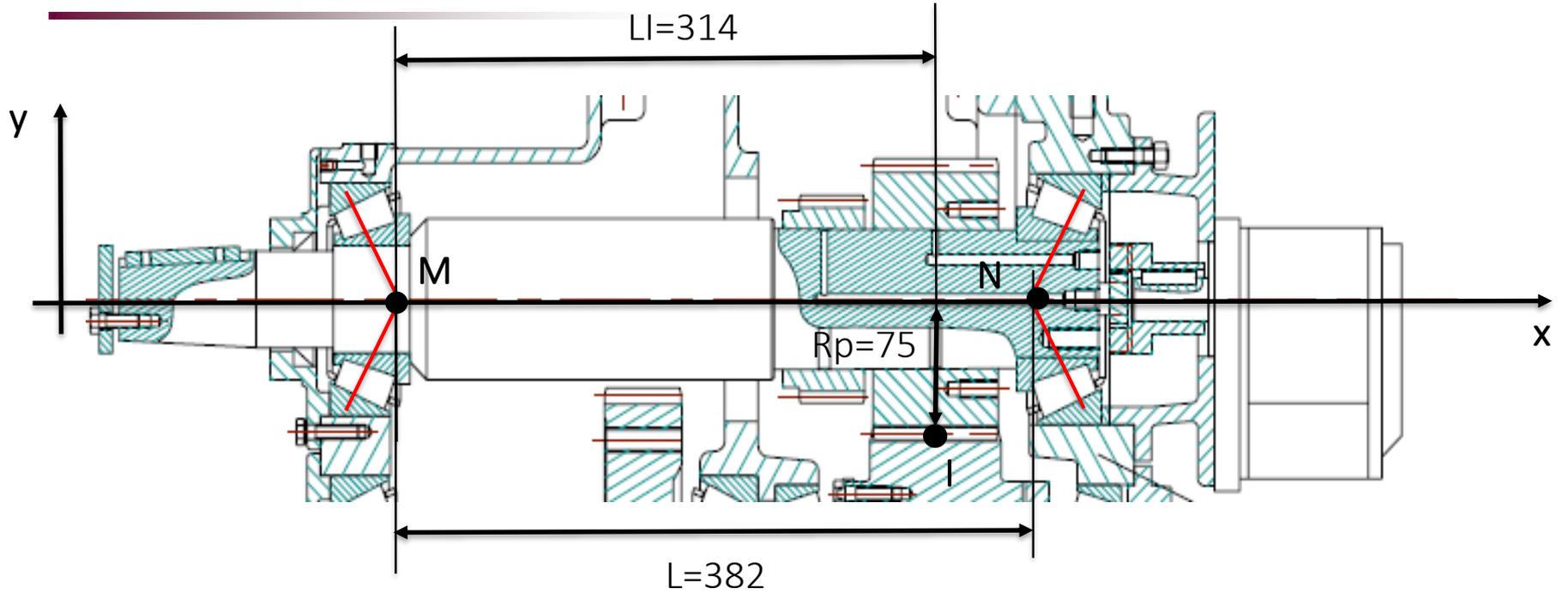
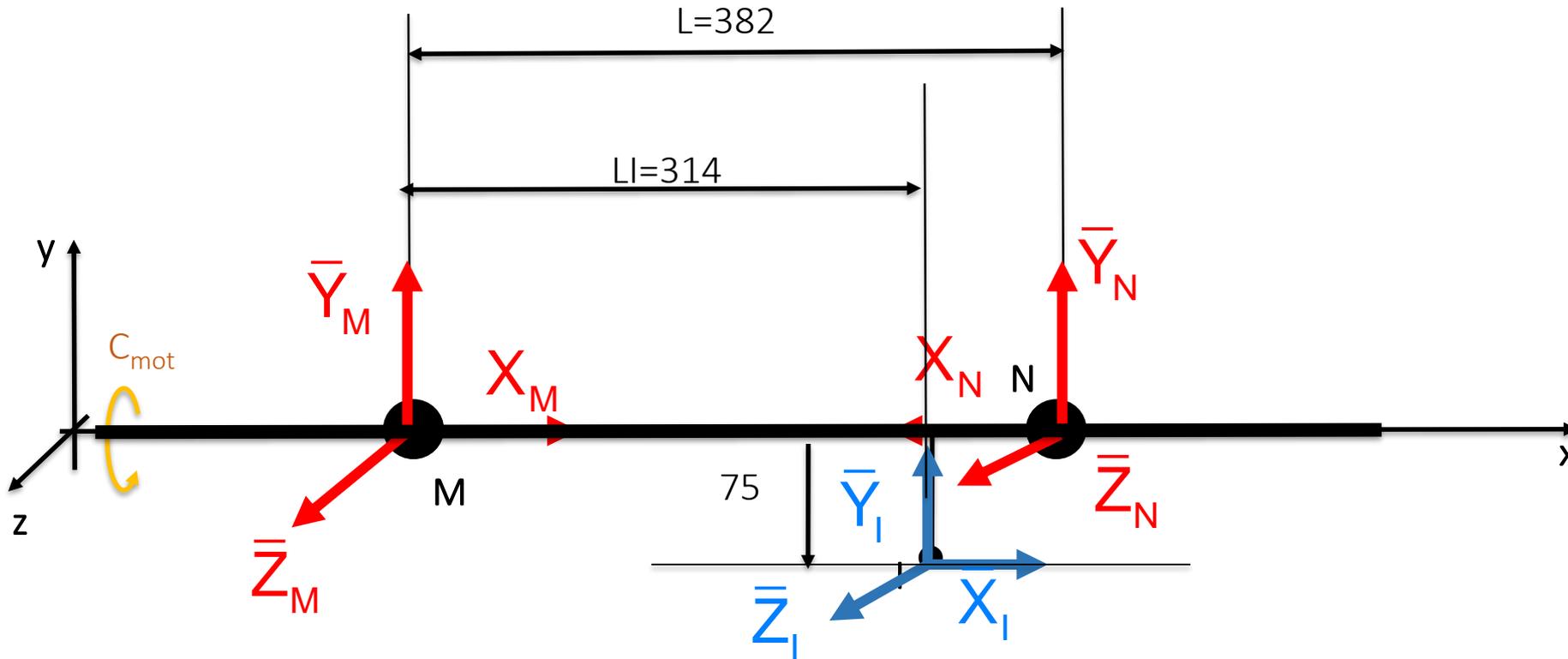


Schéma filaire de calcul



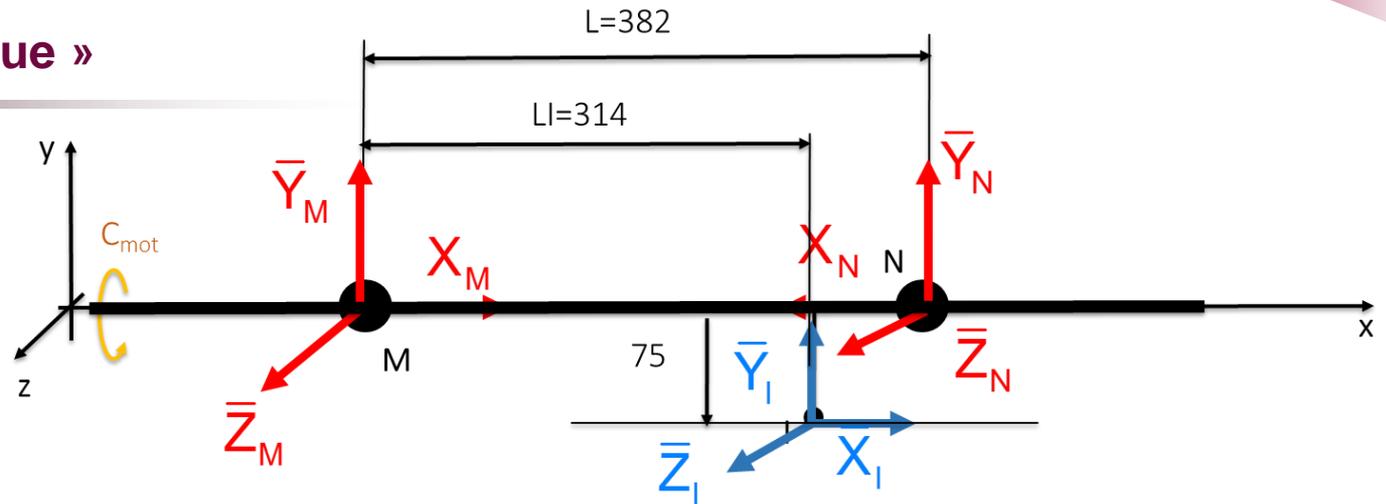
Equilibre statique



Equilibre des efforts

Equilibre des moments en M

Equilibre « statique »



Equilibre des efforts

$$\begin{aligned} X_M - X_N + \bar{X}_i &= 0 \\ \bar{Y}_M + \bar{Y}_N + \bar{Y}_i &= 0 \\ \bar{Z}_M + \bar{Z}_i + \bar{Z}_N &= 0 \end{aligned}$$

Equilibre des moments en M

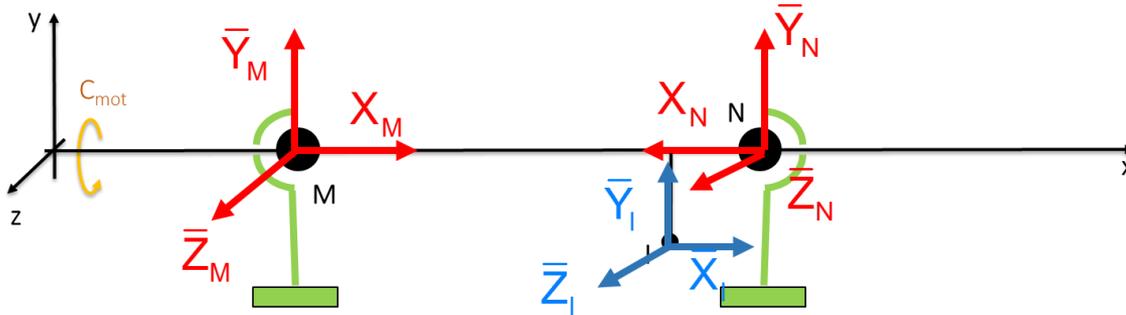
$$\vec{MI} \wedge \begin{Bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{Bmatrix} + \vec{MN} \wedge \begin{Bmatrix} -X_N \\ \bar{Y}_N \\ \bar{Z}_N \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} C_{\text{mot}} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \vec{0}$$

$$\begin{Bmatrix} 0.314 \\ -0.075 \\ 0 \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.382 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} -X_N \\ \bar{Y}_N \\ \bar{Z}_N \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} C_{\text{mot}} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} -0.075\bar{Z}_i + C_{\text{mot}} = 0 \\ -0.314\bar{Z}_i - 0.382\bar{Z}_N = 0 \\ 0.314\bar{Y}_i + 0.075\bar{X}_i + 0.382\bar{Y}_N = 0 \end{cases}$$

Equilibre en « rotation »

En réalité le système tourne !
 Mais on néglige les pertes et dissipations

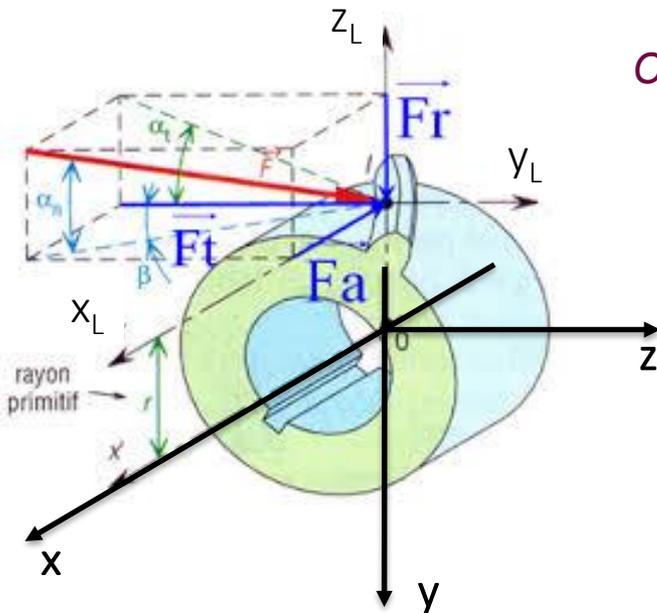


$$C_{mot} - \bar{Z}_i \cdot 0.075 = 0$$



$$\bar{Z}_i = 13.33 C_{mot}$$

Calcul des efforts d'engrènement dans le repère du système



$$F_t = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

$$F_r = F \cdot \sin(\alpha)$$

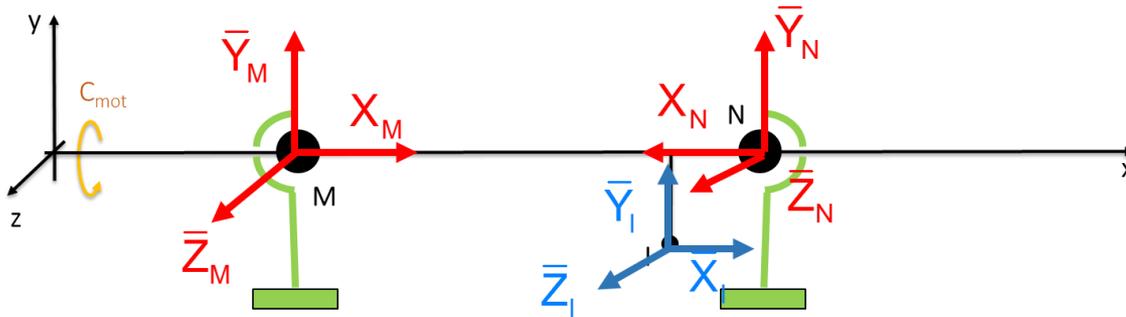
$$F_a = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

Attention β négatif

Définis dans le repère local

Equilibre en « rotation »

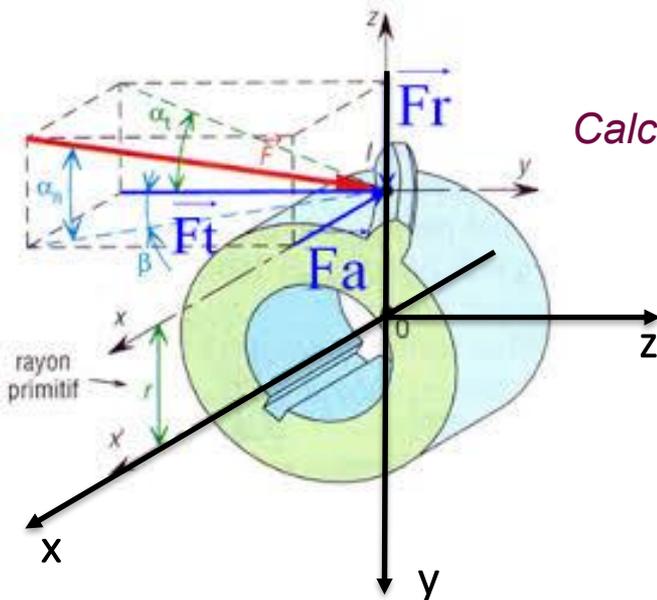
En réalité le système tourne !
Mais on néglige les pertes et dissipations



$$C_{\text{mot}} - \bar{Z}_i \cdot 0.075 = 0$$



$$\bar{Z}_i = 13.33 C_{\text{mot}}$$



Calcul des efforts d'engrènement dans le repère du système

$$\bar{Z}_i = F_t = F \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

$$\Rightarrow F = \frac{13.33}{\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)} C_{\text{mot}} = 14.88 C_{\text{mot}}$$

$$\bar{Y}_i = F_r = F \cdot \sin(\alpha) = 5.09 C_{\text{mot}}$$

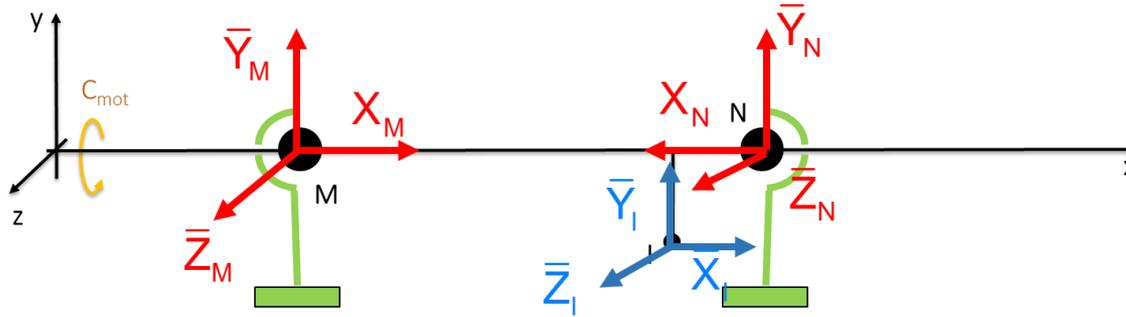
$$\bar{X}_i = -F_a = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) = 4.23 C_{\text{mot}}$$

$$F_t = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

$$F_r = F \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_a = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

Equilibre radial



$$\bar{X}_i = 4.23C_{\text{mot}}$$

$$\bar{Y}_i = 5.09C_{\text{mot}}$$

$$\bar{Z}_i = 13.33C_{\text{mot}}$$

Equilibre des moments

$$-0.314 \bar{Z}_i - 0.382 \bar{Z}_N = 0$$

$$0.314 \bar{Y}_i + 0.075 \bar{X}_i + 0.382 \bar{Y}_N = 0$$

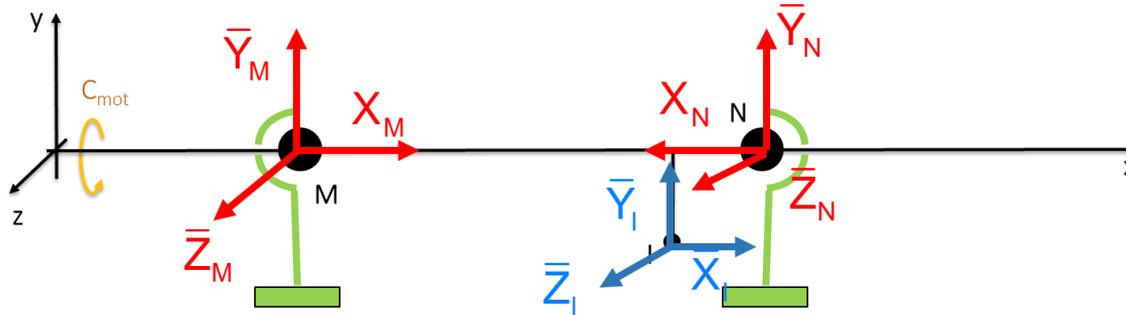


Equilibre des efforts

$$\bar{Y}_M + \bar{Y}_N + \bar{Y}_i = 0$$

$$\bar{Z}_M + \bar{Z}_i + \bar{Z}_N = 0$$

Equilibre radial



$$\bar{X}_i = 4.23C_{\text{mot}}$$

$$\bar{Y}_i = 5.09C_{\text{mot}}$$

$$\bar{Z}_i = 13.33C_{\text{mot}}$$

Equilibre des moments

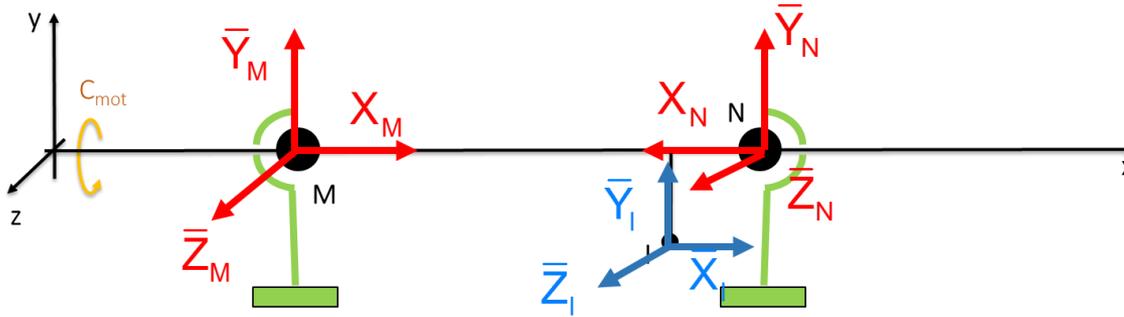
$$-0.314\bar{Z}_i - 0.382\bar{Z}_N = 0$$

$$0.314\bar{Y}_i + 0.075\bar{X}_i + 0.382\bar{Y}_N = 0$$

$$\bar{Z}_N = -\frac{0.314}{0.382}\bar{Z}_i = -\frac{0.314}{0.382}13.33.C_{\text{mot}} = -10.96 C_{\text{mot}}$$

$$\bar{Y}_N = -\frac{1}{0.382}(0.314\bar{Y}_i + 0.075\bar{X}_i) = -\frac{1}{0.382}(0.314 * 5.09 + 0.075 * 4.23)C_{\text{mot}} = -5.01.C_{\text{mot}}$$

Equilibre radial



$$\bar{X}_i = 4.23C_{mot}$$

$$\bar{Y}_i = 5.09C_{mot}$$

$$\bar{Z}_i = 13.33C_{mot}$$

$$\bar{Z}_N = -10.96 C_{mot}$$

$$\bar{Y}_N = -5.01.C_{mot}$$

Equilibre des efforts

$$\bar{Y}_M + \bar{Y}_N + \bar{Y}_I = 0$$

$$\bar{Z}_M + \bar{Z}_I + \bar{Z}_N = 0$$



$$\bar{Y}_M = -\bar{Y}_N - \bar{Y}_I = -0.08 C_{mot}$$

$$\bar{Z}_M = -\bar{Z}_N - \bar{Z}_I = -2.37 C_{mot}$$

Efforts radiaux – Efforts Induits

$$a_i = \frac{|F_{ri}|}{2 \cdot Y_i}$$

Coefficient (sans unité) caractéristique du roulement et fourni par le fabricant

Données de calcul

Charge dynamique de base	C	264	kN
Charge statique de base	C ₀	335	kN
Limite de fatigue	P _u	40	kN
Vitesse de référence		3400	r/min
Vitesse limite		4800	r/min
Coefficient de calcul	e	0.35	
Coefficient de calcul	Y	1.7	
Coefficient de calcul	Y ₀	0.9	

Pour les 2 roulements

$$\begin{aligned} \bar{Z}_N &= -10.96 C_{\text{mot}} \\ \bar{Y}_N &= -5.01 C_{\text{mot}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}_M &= -0.08 C_{\text{mot}} \\ \bar{Z}_M &= -2.37 C_{\text{mot}} \end{aligned}$$

$$R_N = \sqrt{Z_N^2 + Y_N^2} = 12.05 C_{\text{mot}}$$

$$R_M = \sqrt{Z_M^2 + Y_M^2} = 2.37 C_{\text{mot}}$$



$$a_N = \frac{R_N}{2 \times 1.7} = 3.54 C_{\text{mot}}$$

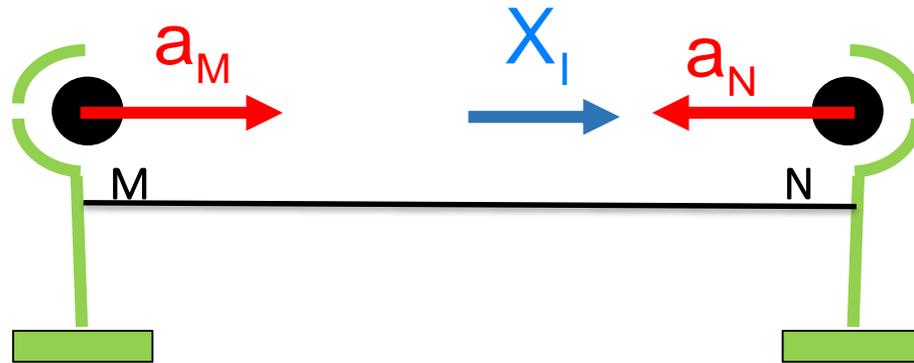
$$a_M = \frac{R_M}{2 \times 1.7} = 0.70 C_{\text{mot}}$$

Efforts radiaux – Efforts Induits

$$\bar{X}_i = 4.23C_{\text{mot}}$$

$$a_N = 3.54C_{\text{mot}}$$

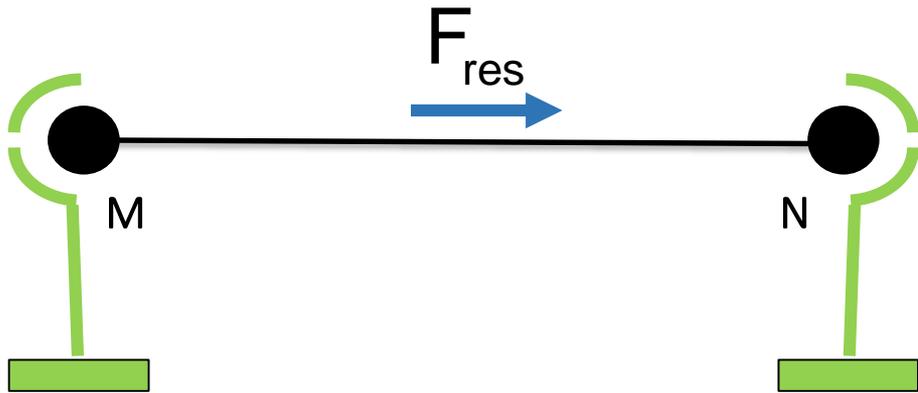
$$a_M = 0.70C_{\text{mot}}$$



$$F_{\text{res}} = a_M + X_i - a_N$$

$$\begin{aligned} F_{\text{res}} &= a_M + X_i - a_N \\ &= 0.70C_{\text{mot}} + 4.23C_{\text{mot}} - 3.54C_{\text{mot}} \\ &= 1.39C_{\text{mot}} \end{aligned}$$

Efforts axiaux

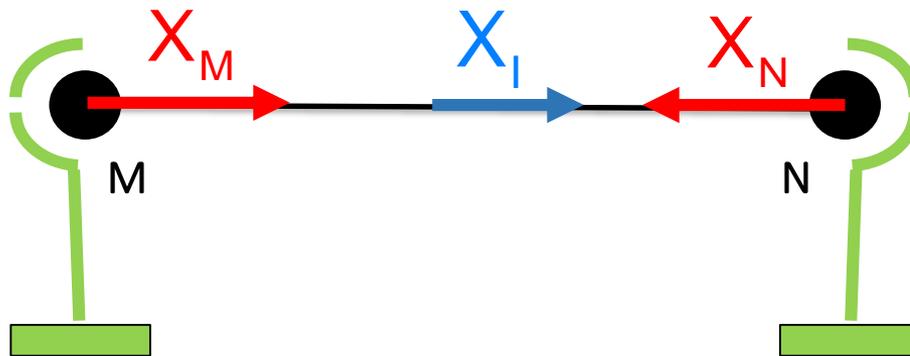


$$F_{res} = 1,39 > 0$$



Le roulement N transmet F_{res}

Le roulement M travaille à sa charge induite



$$X_M = a_M = 0.70 C_{mot}$$

$$X_M + X_i - X_N = 0$$

$$X_N = X_M + X_i = 0.70 C_{mot} + 4.23 C_{mot}$$

$$X_N = 4.93 C_{mot}$$

Bilan

$$R_N = 12.05 C_{\text{mot}}$$

$$R_M = 2.37 C_{\text{mot}}$$

$$X_N = 4.93 C_{\text{mot}}$$

$$X_M = 0.70 C_{\text{mot}}$$

	C_m N.m	N tr/mn	α^t	R_N (N)	X_N (N)	R_M (N)	X_M (N)
1	2122	1800	0,8	25570	10460	5030	1490
2	1000	750	0,2	12050	4930	2370	700

Efforts arrondis au daN

Résistance à la détérioration statique

$$C_0 > s_0 \times P_0$$

$$P_0 = \max (F_r, X_0 F_r + Y_0 F_a)$$

Mode de Fonctionnement	Roulement en rotation						Roulement à l'arrêt	
	Exigences de silence de fonctionnement							
	<i>Faible</i>		<i>Normales</i>		<i>Élevées</i>		Billes	Rouleaux
	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux
Régulier sans vibrations	0.5	1	1	1.5	2	3	0.4	0.8
Normal	0.5	1	1	1.5	2	3.5	0.5	1
Chocs prononcés	≥ 1.5	≥ 2.5	≥ 1.5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Coefficient de sécurité s_0
(Source SKF)

Résistance à la détérioration statique

$X_o = 0,5$ (rlt conique)

$Y_o = 0,9$ (donnée SKF)

$$C_0 > s_0 \times P_0$$

$$C_{o_N} = 335 \text{ KN}$$

$$C_{o_M} = 290 \text{ KN}$$

$$P_0 = \max (F_r, X_o F_r + Y_o F_a)$$

Mode de Fonctionnement	Roulement en rotation						Roulement à l'arrêt	
	Exigences de silence de fonctionnement							
	Faible		Normales		Elevées		Billes	Rouleaux
Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux			
Régulier sans vibrations	0.5	1	1	1.5	2	3	0.4	0.8
Normal	0.5	1	1	1.5	2	3.5	0.5	1
Chocs prononcés	≥ 1.5	≥ 2.5	≥ 1.5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Coefficient de sécurité s_0
(Source SKF)

$$P_{o_N} = \max(25570; 0.5 * 25570 + 10460 * 0.9) = 25570\text{N}$$

$$P_{o_M} = \max(5030; 0.5 * 5030 + 1490 * 0.9) = 5030\text{N}$$

⇒ OK

	C_m N.m	N tr/mn	α^t	R_N (N)	X_N (N)	R_M (N)	X_M (N)
1	2122	1800	0,8	25570	10460	5030	1490
2	1000	750	0,2	12050	4930	2370	700

Durée de vie des roulements – Charge radiale équivalente

	C_m N.m	N tr/mn	α^t	R_N (N)	X_N (N)	R_M (N)	X_M (N)
1	2122	1800	0,8	25570	10460	5030	1490
2	1000	750	0,2	12050	4930	2370	700

Charge Equivalente

Equivalent
dynamic
bearing load

Source SKF

$$F_a/F_r \leq e$$

$$\rightarrow P = F_r$$

$$F_a/F_r > e$$

$$\rightarrow P = 0,4 F_r + Y F_a$$

$$e = 0,35 \quad Y = 1,7$$

$$C_N = 264 \text{ KN}$$

$$C_M = 229 \text{ KN}$$

	Z_N/R_N	P_N	Z_N/R_N	P_N
1				
2				

Charge minimale

$$P > 0.02 C$$

Durée de vie des roulements – Charge radiale équivalente

	C_m N.m	N tr/mn	α^t	R_N (N)	X_N (N)	R_M (N)	X_M (N)
1	2122	1800	0,8	25570	10460	5030	1490
2	1000	750	0,2	12050	4930	2370	700

Charge Equivalente

Equivalent
dynamic
bearing load

$$F_a/F_r \leq e$$

$$\rightarrow P = F_r$$

Source SKF

$$F_a/F_r > e$$

$$\rightarrow P = 0,4 F_r + Y F_a$$

$$e = 0,35 \quad Y = 1,7$$

$$C_N = 264 \text{ KN}$$

$$C_M = 229 \text{ KN}$$

	X_N/R_N	P_N	X_M/R_M	P_M
1	0,41	28010	0,21	5030
2	0,41	13200	0,21	2370



Charge minimale

$$P > 0.02 C$$



$$P_N > 5280 \text{ N}$$

$$P_M > 4580 \text{ N}$$

Durée de vie des roulements taux d'utilisation en tour – Charge équivalente

$$\alpha_i^{tr} = \frac{\alpha_i^t \cdot N_i}{\sum_j \alpha_j^t \cdot N_j}$$

W tr/mn	α^t	α^{tr}
1800	0,8	
750	0,2	

$$P_{equi} = \sqrt[n]{\sum_i \alpha_i^{tr} \cdot (P_i)^n}$$

	X_N/R_N	P_N	X_M/R_M	P_M
1	0,41	28010	0,21	5030
2	0,41	13200	0,21	2370



$$P_{N_equi} = 27290\text{N}$$

$$P_{M_equi} = 4180\text{N}$$

Durée de vie

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

$$C_M = 229\ 000\ \text{N}$$

$$C_N = 264\ 000\ \text{N}$$



$$L_N = 1\ 930\ \text{Mtr}$$

$$L_M = 62\ 450\ \text{Mtr}$$

$$n = 10/3$$

$$L_h = L_{Mtr} \cdot 10^6 \cdot \sum_i \frac{\alpha_i^{tr}}{N_i \cdot 60}$$

Durée de vie des roulements taux d'utilisation en tour – Charge équivalente

$$\alpha_i^{tr} = \frac{\alpha_i^t \cdot N_i}{\sum_j \alpha_j^t \cdot N_j}$$

W tr/mn	α^t	α^{tr}
1800	0,8	0,91
750	0,2	0,09

$$P_{equi} = \sqrt[n]{\sum_i \alpha_i^{tr} \cdot (P_i)^n}$$

	X_N/R_N	P_N	X_M/R_M	P_M
1	0,41	28010	0,21	5030
2	0,41	13200	0,21	2370



$$P_{N_equi} = 27290\text{N}$$

$$P_{M_equi} = 4180\text{N}$$

Durée de vie

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

$$C_M = 229\ 000\ \text{N}$$

$$C_N = 264\ 000\ \text{N}$$



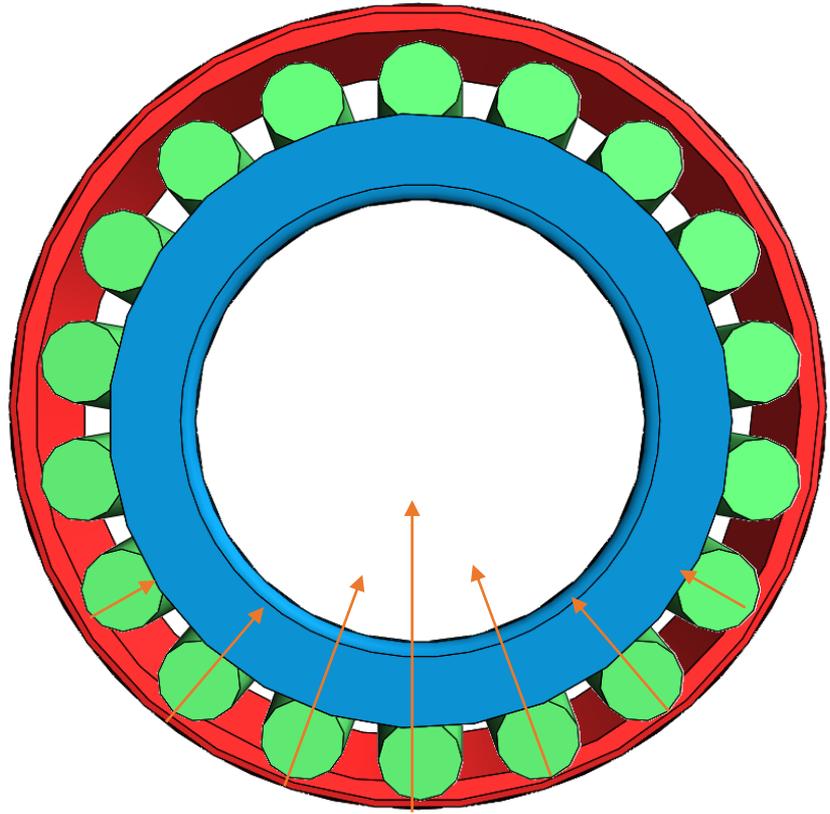
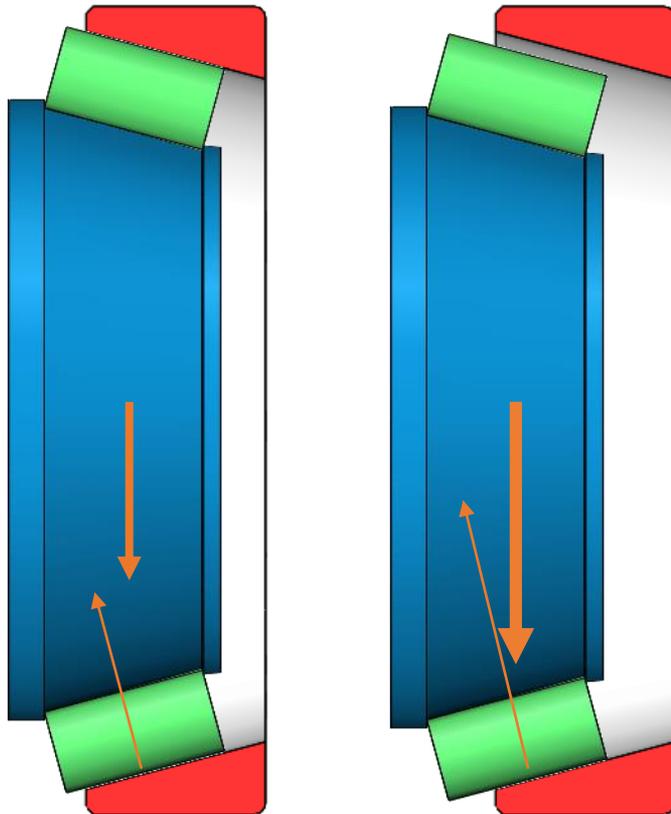
$$L_N = 1\ 930\ \text{Mtr}$$

$$L_M = 62\ 450\ \text{Mtr}$$

$$n = 10/3$$

$$L_h = L_{Mtr} \cdot 10^6 \cdot \sum_i \frac{\alpha_i^{tr}}{N_i \cdot 60}$$

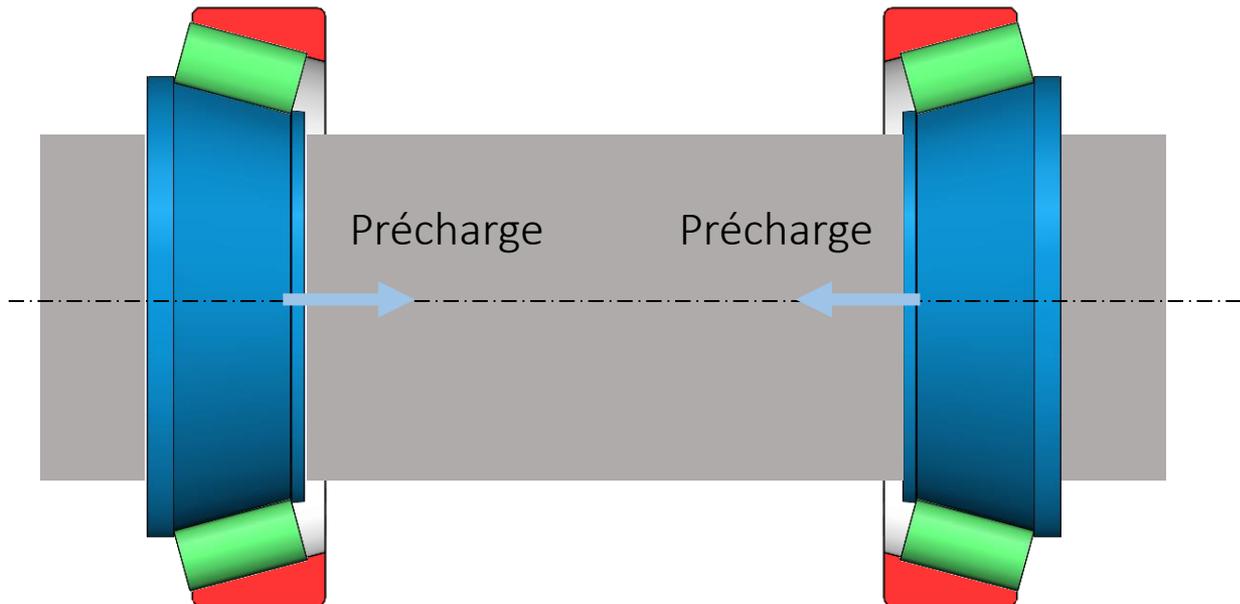
Contrôle du jeux - Précharge



Le chargement radial tend à éloigner la bague intérieure de la bague extérieure : les éléments roulants actifs sont de moins en moins nombreux et de plus en plus chargés.

Condition de bon fonctionnement : la précharge

Pour un bon fonctionnement la moitié au moins des éléments roulants doit participer à la transmission des efforts, soit un angle de portée de 180° (*).



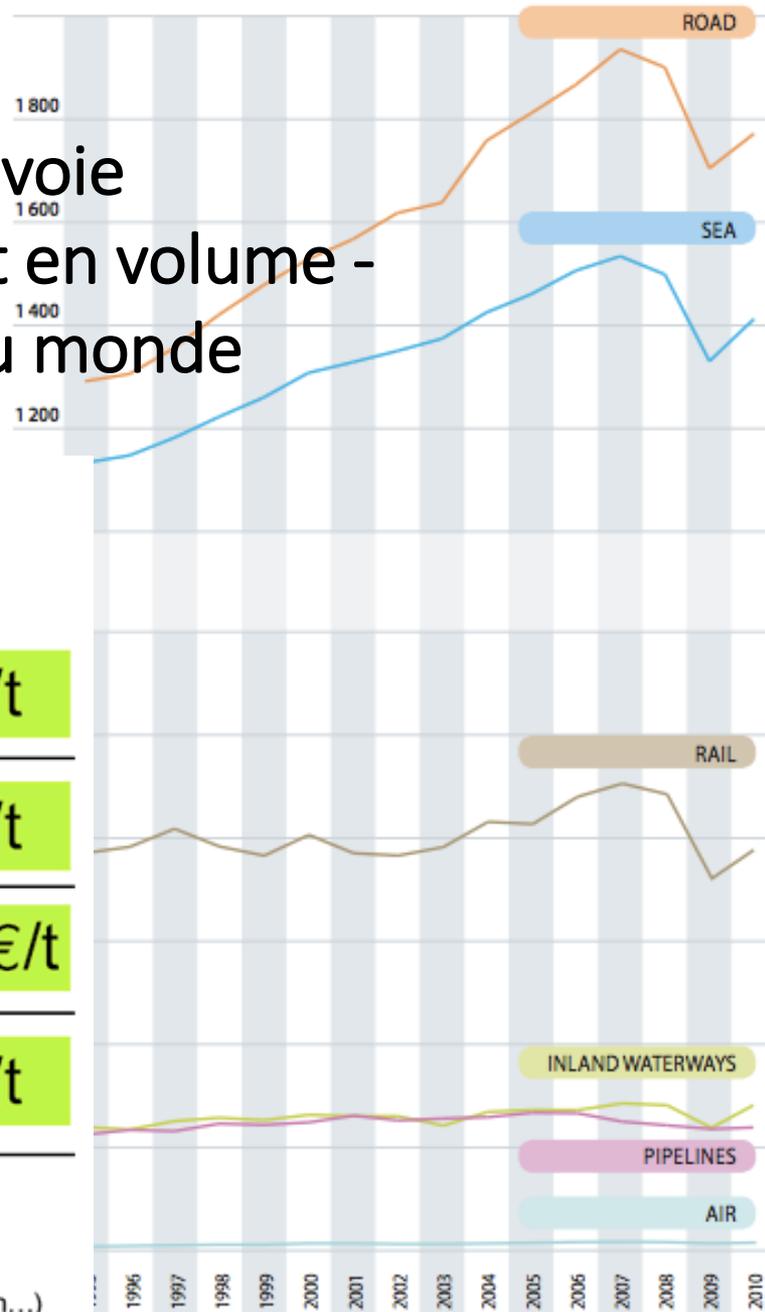
Pour cela un effort axial interne est installé au montage, permettant aux bagues intérieures de se rapprocher des bagues extérieures et donc d'augmenter le nombre d'éléments roulants chargés : **la précharge**

* 150° chez le fabricant TIMKEN

Le trafic maritime: support de la mondialisation

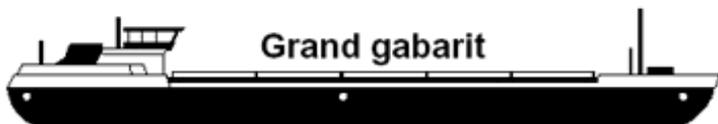
90% des marchandises transitent par voie maritime, premier mode de transport en volume -
 > Secteur d'activité le plus puissant au monde

billion tonne-kilometres



Route, rail, navigation : le point sur les coûts de transport

12€/t



3€/t

17€/t



4€/t

21€/t



12€/t

22€/t



5€/t

Coût moyen de transport d'une tonne sur 350 Km
 y compris pré et post-acheminement pour le rail et la navigation

Coûts externes pour une tonne transportée sur 350 Km
 (coûts non intégrés dans le coût de transport : congestion, bruit, accident, pollution...)

Une réglementation particulière

Les navires doivent porter un drapeau, une fois en haute mer ils sont soumis aux règles du pays dont ils portent le pavillon

Classement mondial 2016 des pavillons (tonnage et nombre de navires)

1.  Panama 334368, 8153 navires
2.  Liberia 206351, 3185 navires
3.  Îles Marshall 200069, 2942 nav
4.  Hong Kong 161787, 2515 navires
5.  Singapour 127193, 3605 navires
6.  Malte 94992, 2101 navires
7.  Bahamas 79541, 1450 navires
8.  Chine 75850, 4052 navires
9.  Grèce 73568, 1386 navires
10.  Chypre 33313, 1053 navires

Classement mondial 2016 des pays propriétaires

1.  Grèce 293087
2.  Japon 228980
3.  Chine 158884
4.  Allemagne 119181
5.  Singapour 95312
6.  Hong Kong 87375
7.  Corée du Sud 78834
8.  États-Unis 60279
9.  Royaume-Uni 51441
10.  Bermudes 48453

Une réglementation particulière

► Les raisons d'immatriculer votre bateau au Panama :

- Les coûts d'enregistrement et de gestion les plus faibles du monde
- Vous ne payez pas la TVA à l'achat de votre bateau
- Absence d'imposition sur les plus-values
- Pas d'impôt sur les bénéfices tirés de l'exploitation ou de la gestion d'un navire
- Faible coût annuel de renouvellement
- Aucun droit de timbre sur les actes d'hypothèque d'un navire ni sur les autres documents de sécurité
- Pas d'impôt sur le revenu sur les émoluments des officiers et de l'équipage
- Anonymat garanti par le biais de la constitution de la société offshore

Evolution du tonnage des vraquiers

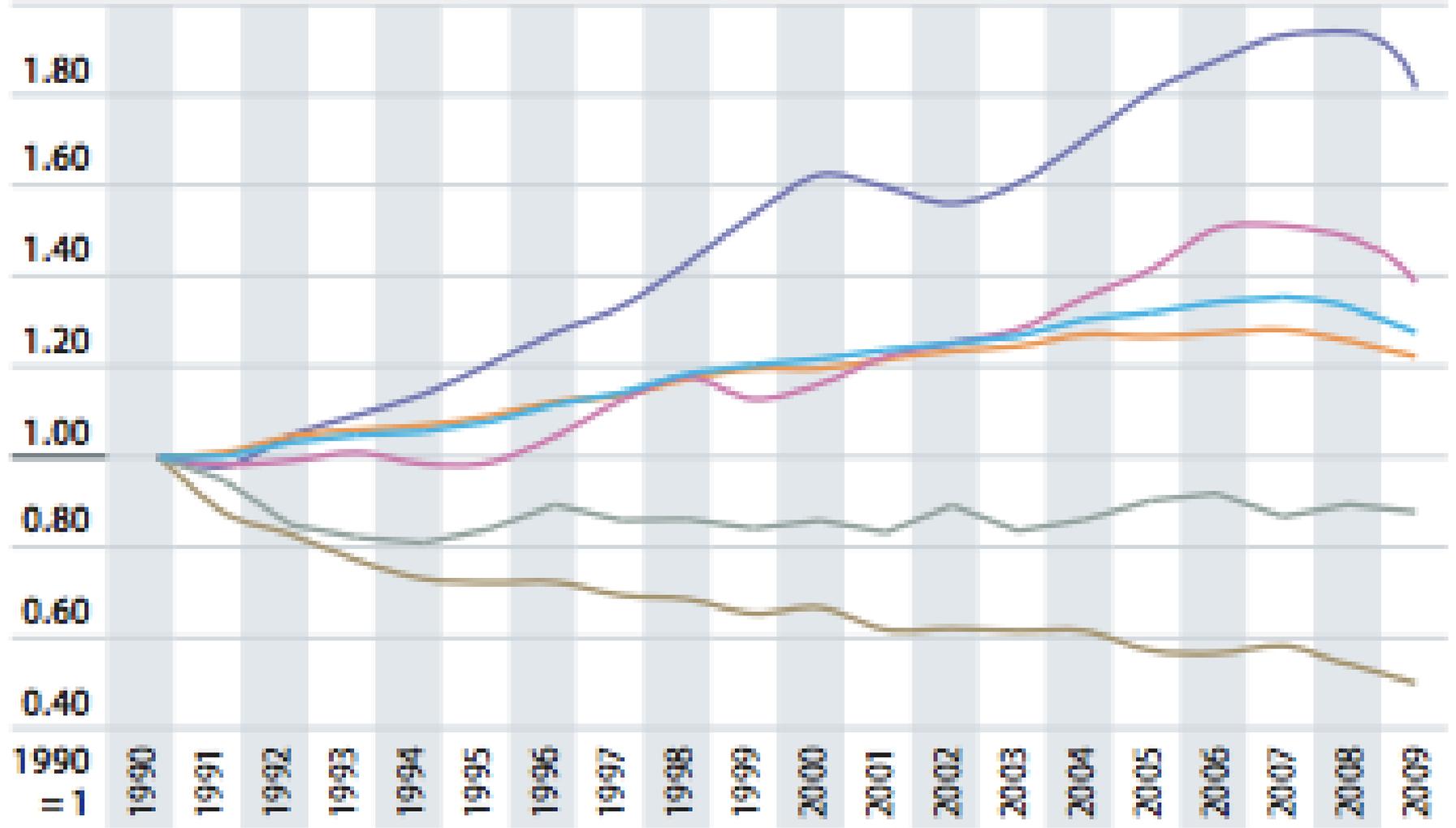
1 Equivalent Vingt Pieds = 38,5 m³, déménagement d'une maison en volume, soit 10 Tonnes en masse



En 2017 : 21413 EVP Soit plus de 200 000 Tonnes transportées pour le plus grand vraquier

Impacts émissions CO2 en Europe

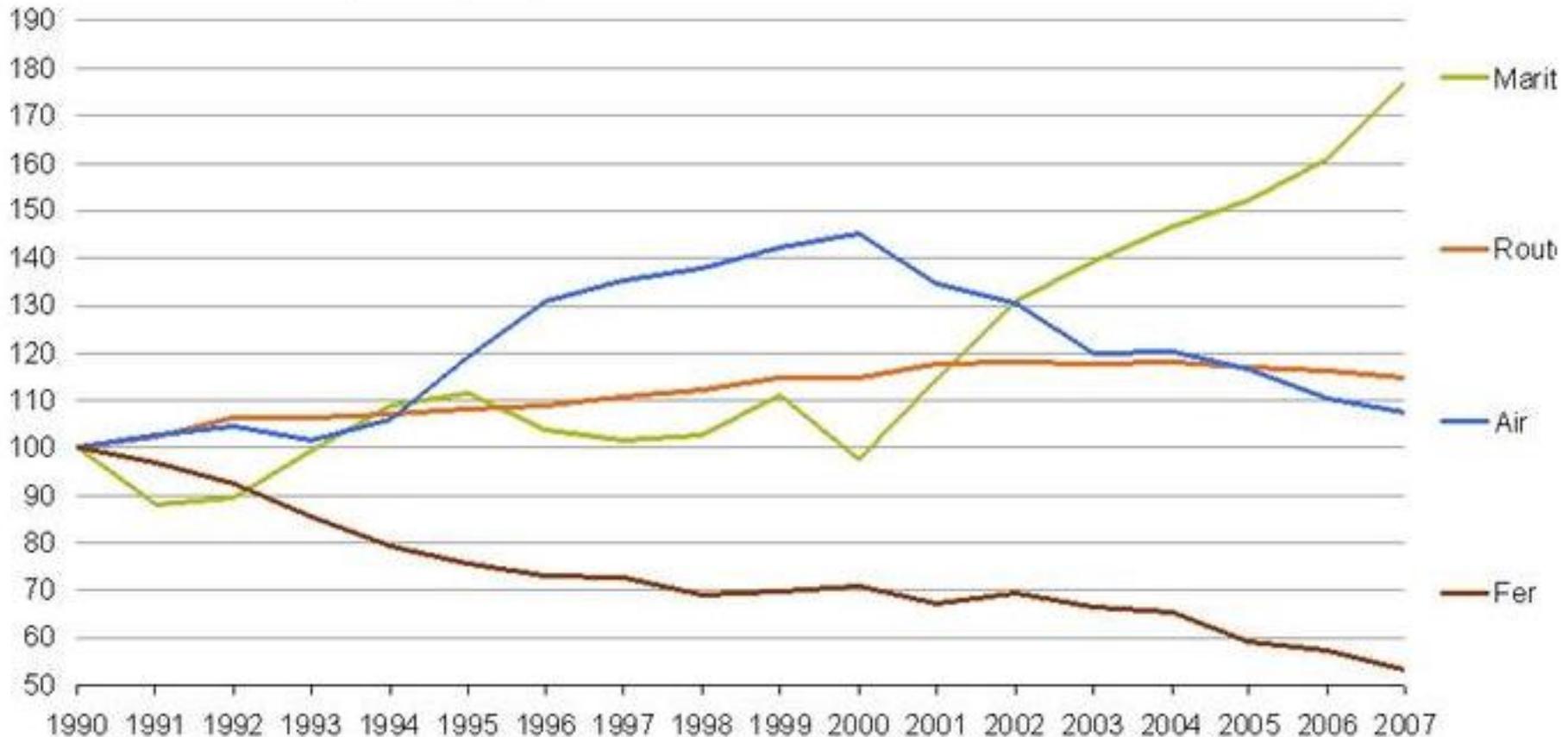
Total Civil Aviation - Road Transportation - Railways (***) - Total Navigation - Other - Total Transport



Impacts émissions CO2 en France

Emissions de gaz à effet de serre des transports par mode en France

En indice base 100 en 1990 (tonnes Eq.CO2)



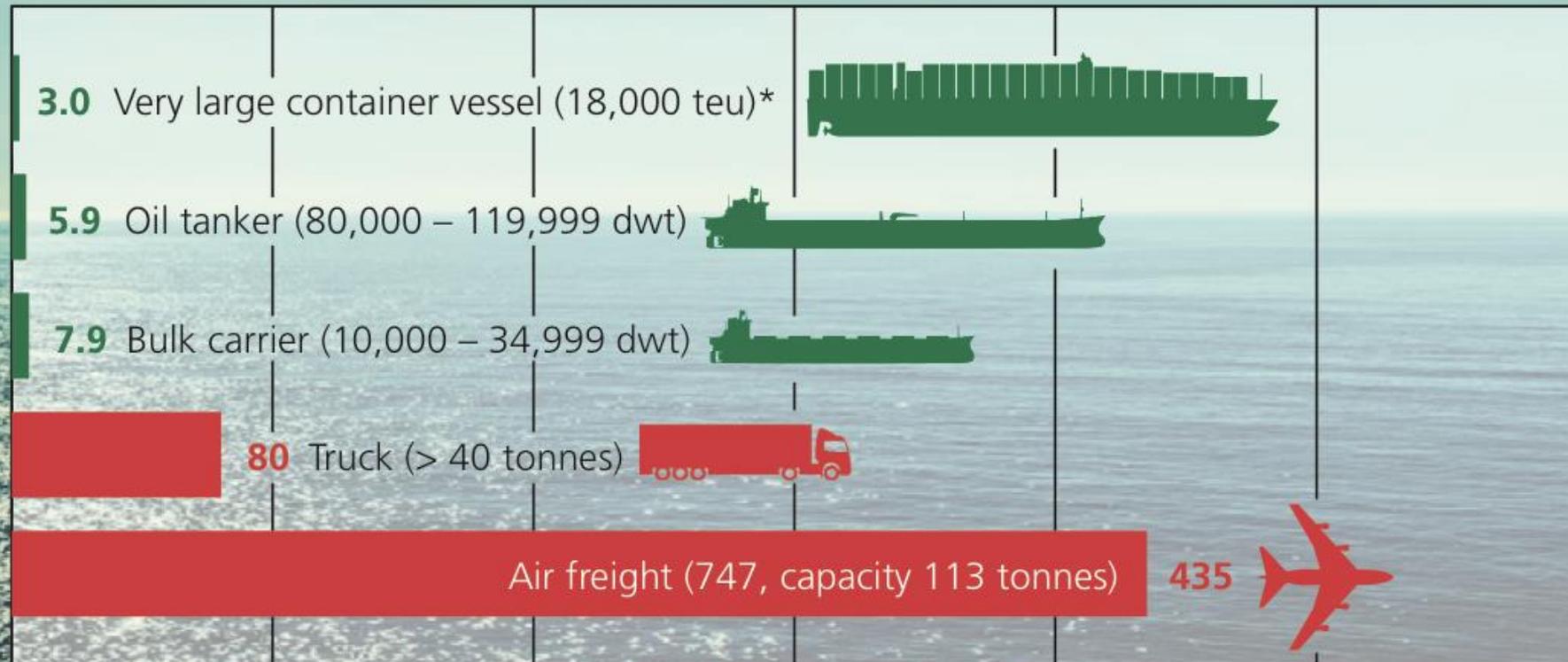
Emissions en 2007, en millions de tonnes Eq.CO2 : transport aérien : 4,6 ; route : 128 ; transport ferroviaire : 0,6 ; maritime : 3 ; autres : 0,6.

4% du réchauffement climatique est attribuable au transport maritime

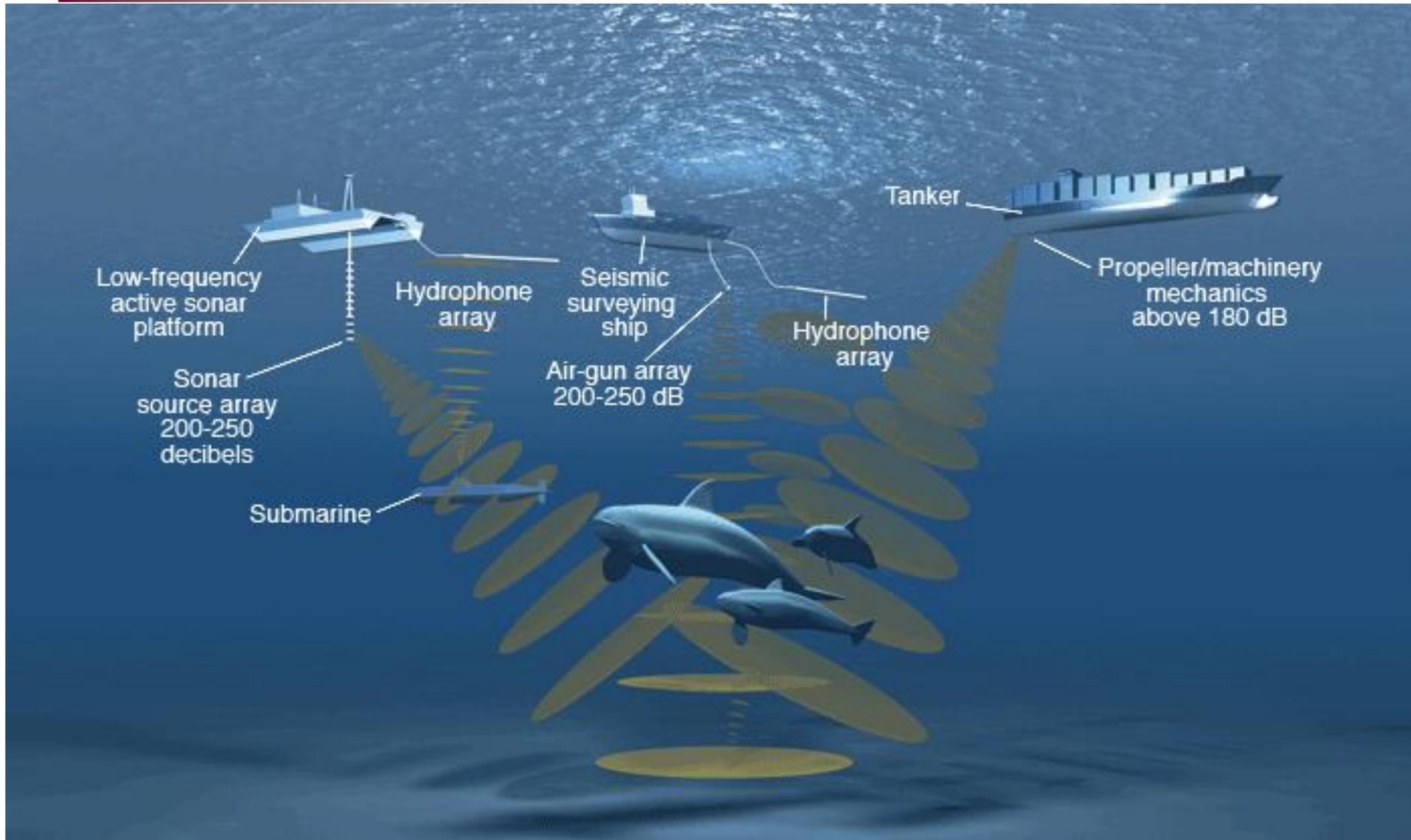
Comparison of CO₂ emissions between modes of transport

Grams per tonne/km

Source: Second IMO GHG Study (*AP Møller-Maersk, 2014)



Impact du bruit des moteurs



Les baleines

Baleine bleue

Longueur maximum (en mètres)



Poids maximum
180 tonnes

Principales menaces

- Pollution sonore et chimique
- Chasse
- Collision avec des navires

Population
10 000 - 25 000



Rorqual commun

Longueur maximum (en mètres)



Poids maximum
120 tonnes

Principales menaces

- Pollution sonore et chimique
- Chasse
- Collision avec des navires
- Changement climatique

Population
33 000

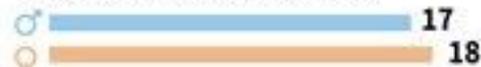


Statut de conservation



Baleine à bosse

Longueur maximum (en mètres)



Poids maximum
40 tonnes

Principales menaces

- Pollution sonore et chimique
- Filets de pêche
- Collision avec des navires

Population
63 000



Baleine franche australe

Longueur maximum (en mètres)



Poids maximum
90 tonnes

Principales menaces

- Collision avec des navires
- Filets de pêche
- Changement climatique

Population
7 500

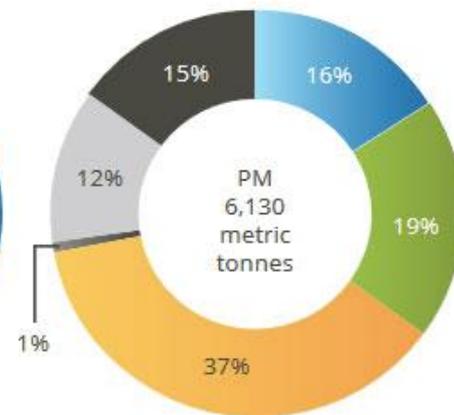
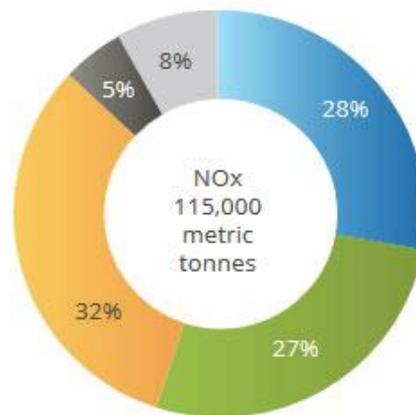
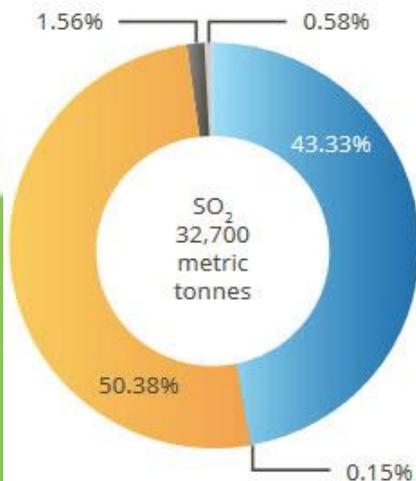
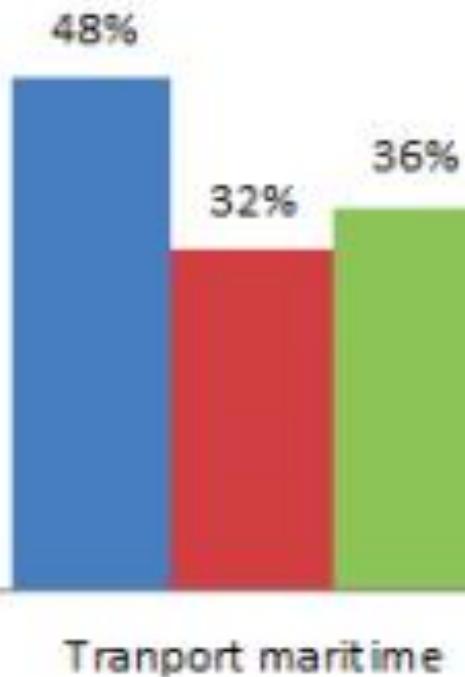


Sources : Whale and Dolphin Conservation, IUCN, Centro de Conservación Cetáceas, PNUE

Les sources d'emission majeures en 2010

■ SO₂ ■ NO_x ■ PM₁₀

Contribution of marine emissions to the total emission profile of Hong Kong, 2012 data



- Electricity Generation
- Road Transport
- Marine
- Civil Aviation
- Other Fuel Combustion
- Non-Combustion

Source: Fung, F., et al. Prevention and Control of Shipping and Port Air Emissions in China. Natural Resources Defense Council White Paper, 2014.

Oxyde de Soufre

**1 bateau= 50 millions de voitures donc
les 20 plus grands navires > U les
voitures de la planète**

Or 60000 navires sillonnent les océans

Pollutions accidentelles : Marées noires 150 000 Tonnes de pétrole brut/an



Un naufrage tous les 3 jours : 2683 containers /an



Les pollutions volontaires: dégazages

→ Accident/dégazages

- 150 000 tonnes de pétrole rejetées accidentellement chaque année.
- Une goutte d'eau comparée au 1,5 million de tonnes d'hydrocarbures relarguées – a minima – lors d'opérations sauvages de dégazage ou de déballastage.

→ Ensemble des océans

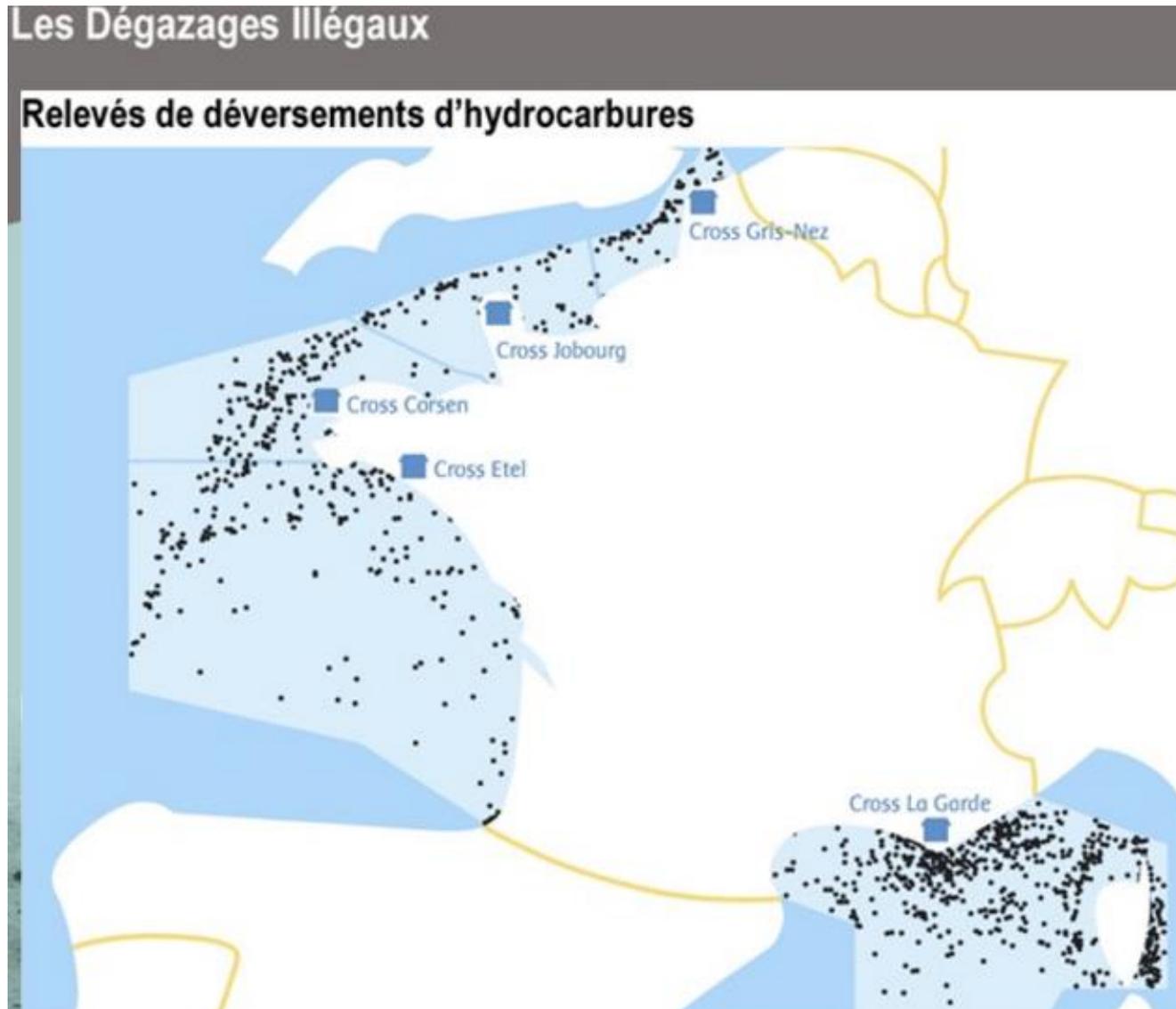
- Estimation haute: 4 à 5 millions de t/an
- Estimation basse: 1.5 à 2 millions de t/an

→ En méditerranée

- Selon les chiffres issus des études POLMAR + WWF (2003): ~1 Millions de t/an

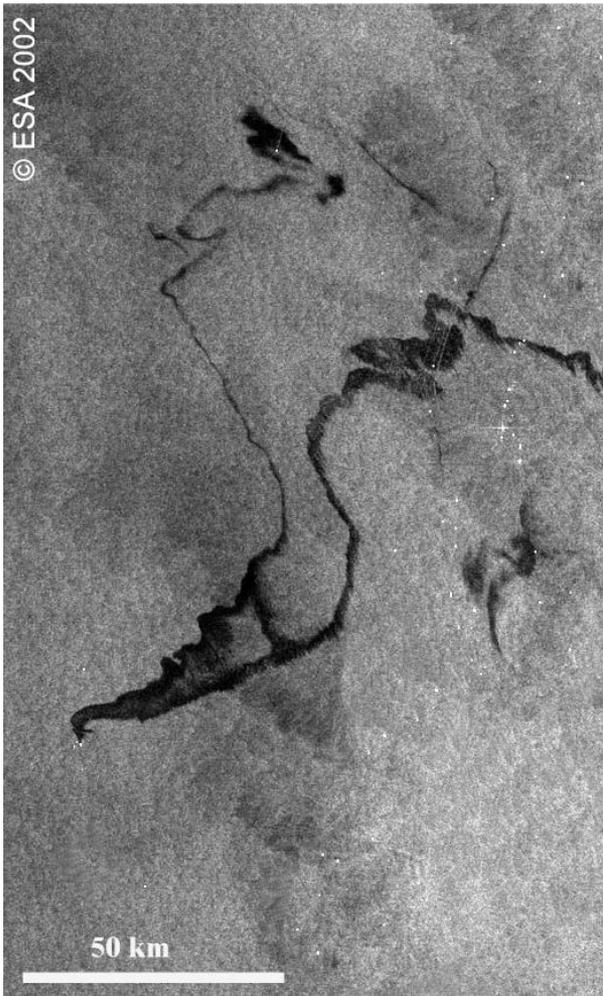
→ Le dégazage représente au moins dix fois plus que la pollution par marée noire. Et seulement 1% des infractions constatées sont effectivement sanctionnées.

La plus grande pollution: le dégazage et le balastage



Surveillance par satellite

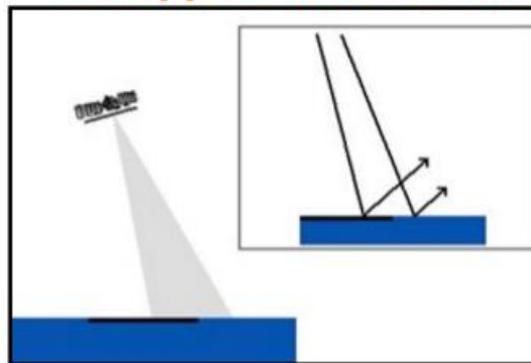
Image Envisat de la nappe de pétrole du Prestige à 100km des cotes espagnoles



Principe d'analyse et effet du vent

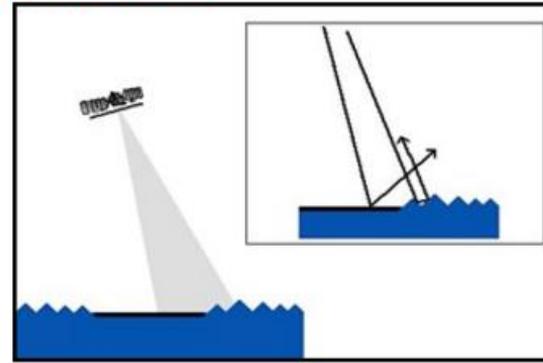
Le SAR analyse la rugosité de la surface de l'eau:

- le vent augmente la rugosité de la mer
- la nappe d'huile amortit l'effet du vent.



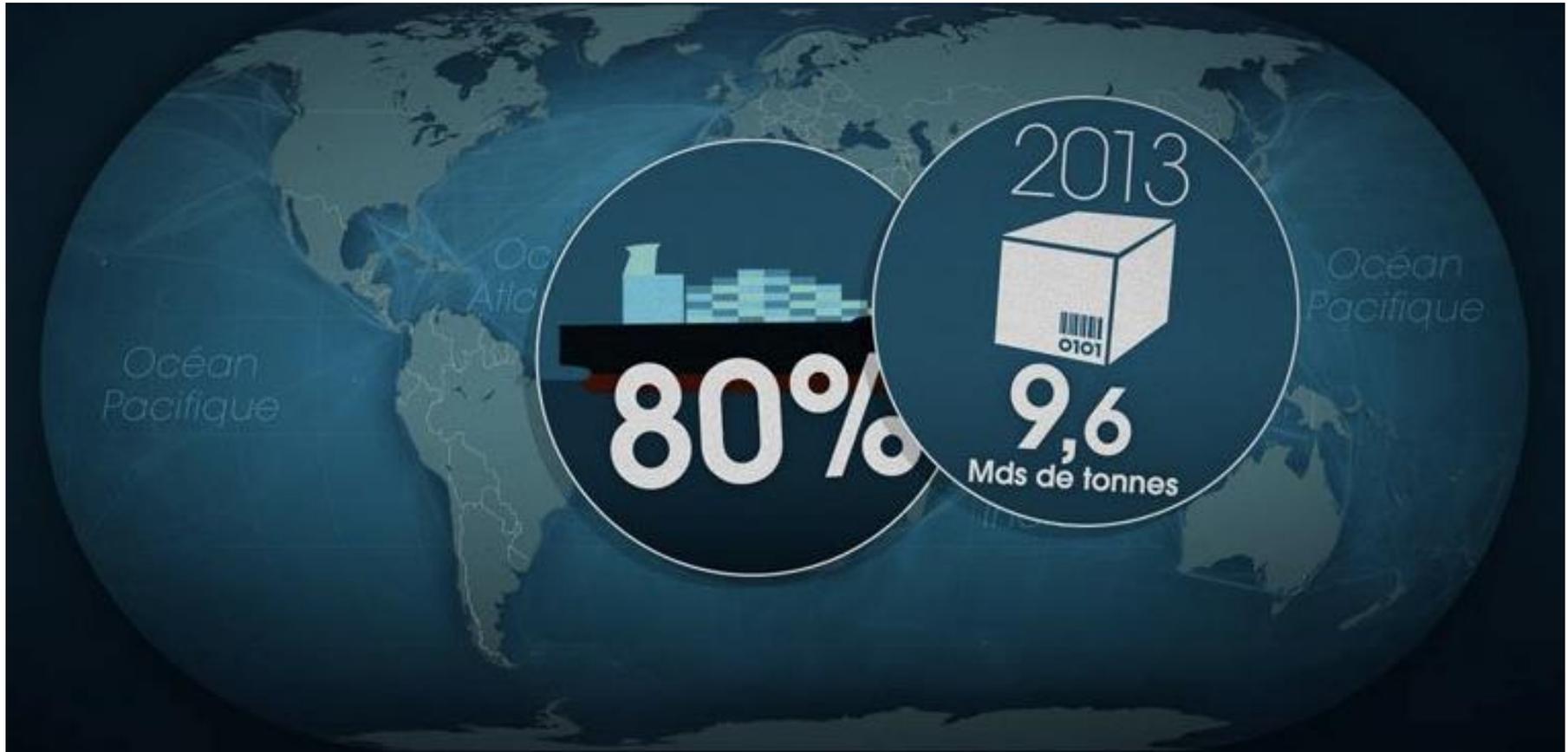
*Pas de vent ou mauvaise incidence
→ Détection impossible*
Conditions adaptées

- 6 < vitesse du vent < 16 nœuds (direction du vent stable)
- hauteur des vagues < 1.0 m
- Angle d'incidence faible
- Polarisation spécifique

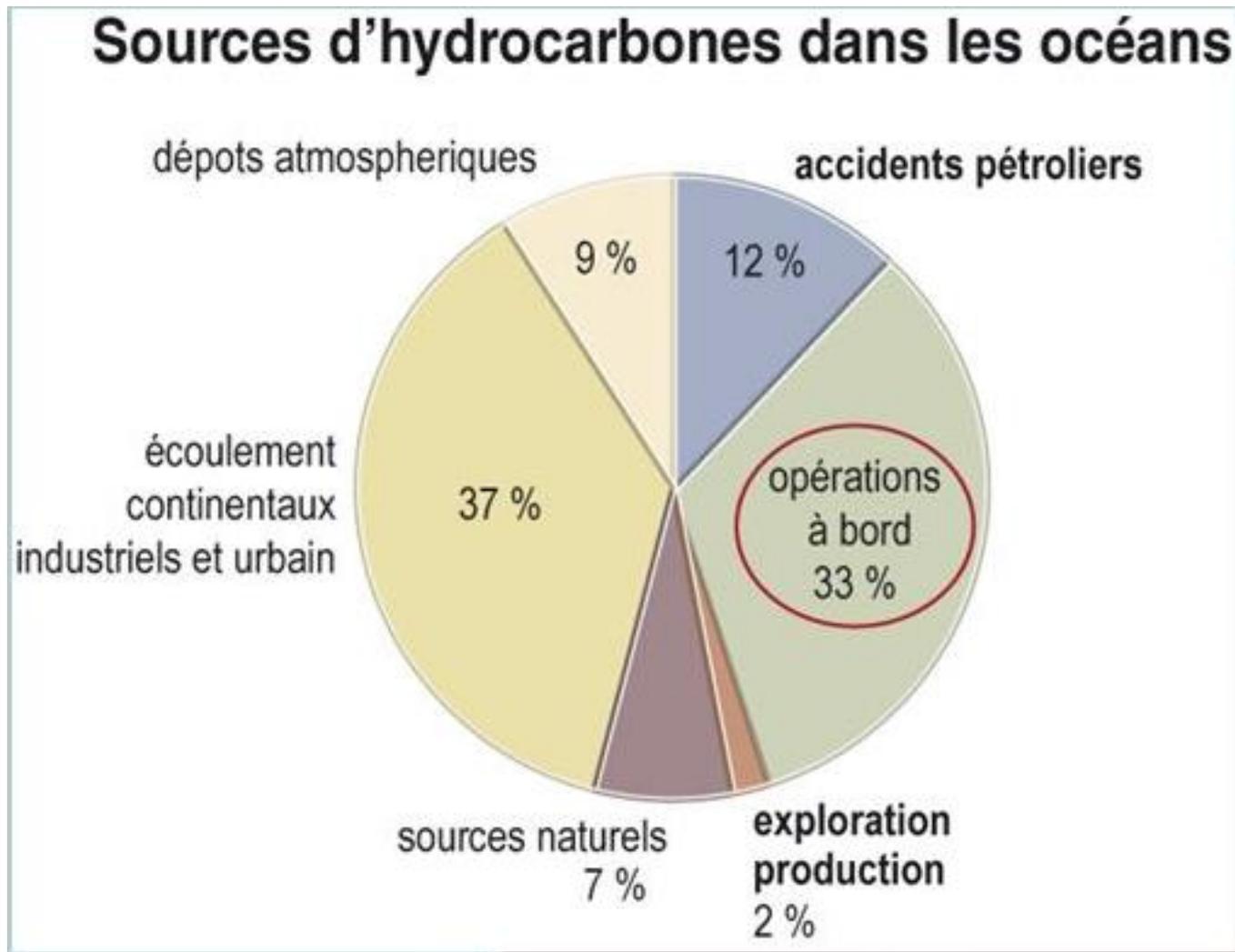


*Vent modéré & incidence adaptée
→ Bonne détection*

Surveillance par satellite



Introduction de substances toxiques



Les substances rejetées dans les mers sont des eaux de lestage, des hydrocarbures, des métaux lourds, des produits chimiques, nocifs pour les écosystèmes marins et côtiers.

Soit 5000 T de produits toxiques/jour

Introduction d'espèces invasives

Autre effet négatif :

Entre 5.000 et 10.000 espèces aquatiques quotidiennement transportées de port en port dans les eaux de ballast des bateaux .

Ces espèces exogènes peuvent proliférer et dégrader voire détruire les écosystèmes marins locaux...

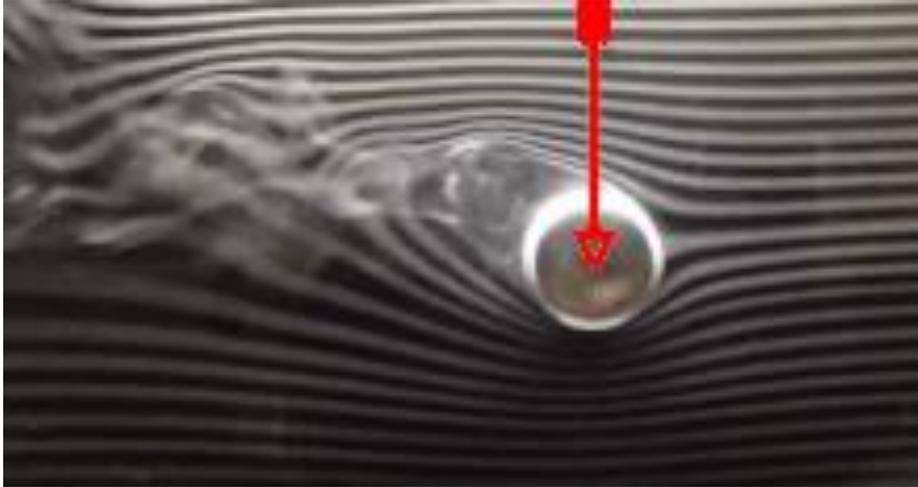
La moule zébrée capable de se fixer partout y compris dans les canalisations des centrales nucléaires..



[Une semaine de trafic maritime mondial vue par satellite](https://www.youtube.com/embed/CP-TcDtSFDI?autoplay=1)

<https://www.youtube.com/embed/CP-TcDtSFDI?autoplay=1>

Perspectives d'évolution technique : utiliser le vent

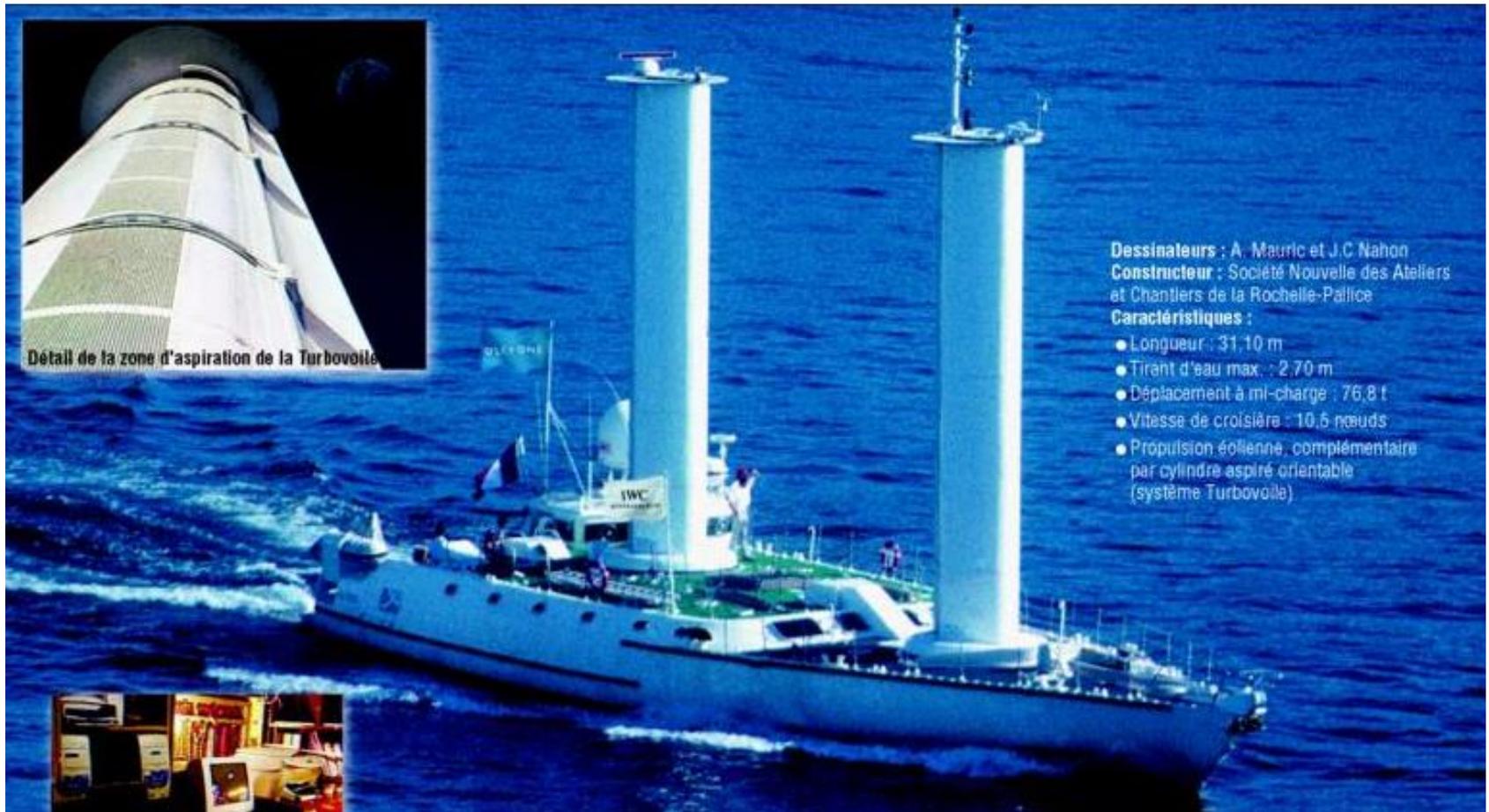


Effet Magnus : La rotation d'un objet placé dans un vent relatif (l'objet se déplaçant par rapport à l'air ou l'air se déplaçant par rapport à l'objet) modifie asymétriquement le champ des vitesses autour de l'objet.

Dans l'animation le cylindre projette l'air de la soufflerie vers le haut.

Perspectives d'évolution technique : utiliser le vent

L'Alcyone le bateau de Jacques-Yves Cousteau



Perspectives d'évolution technique : utiliser le vent

L'E-ship 1 32 km/h

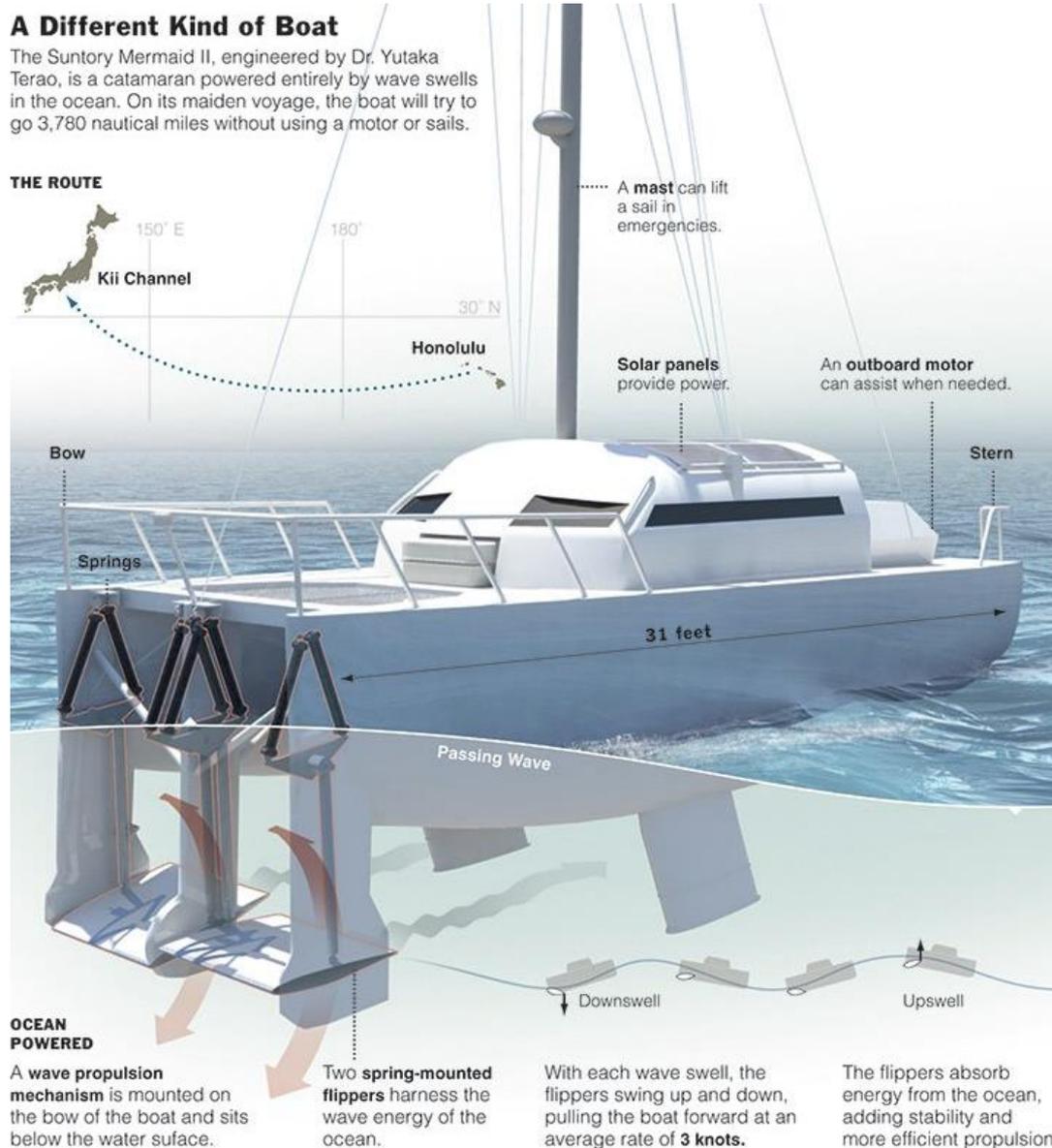


Suntory Mermaid: utiliser le mouvement des vagues

A Different Kind of Boat

The Suntory Mermaid II, engineered by Dr. Yutaka Terao, is a catamaran powered entirely by wave swells in the ocean. On its maiden voyage, the boat will try to go 3,780 nautical miles without using a motor or sails.

THE ROUTE



OCEAN POWERED

A wave propulsion mechanism is mounted on the bow of the boat and sits below the water surface.

Two spring-mounted flippers harness the wave energy of the ocean.

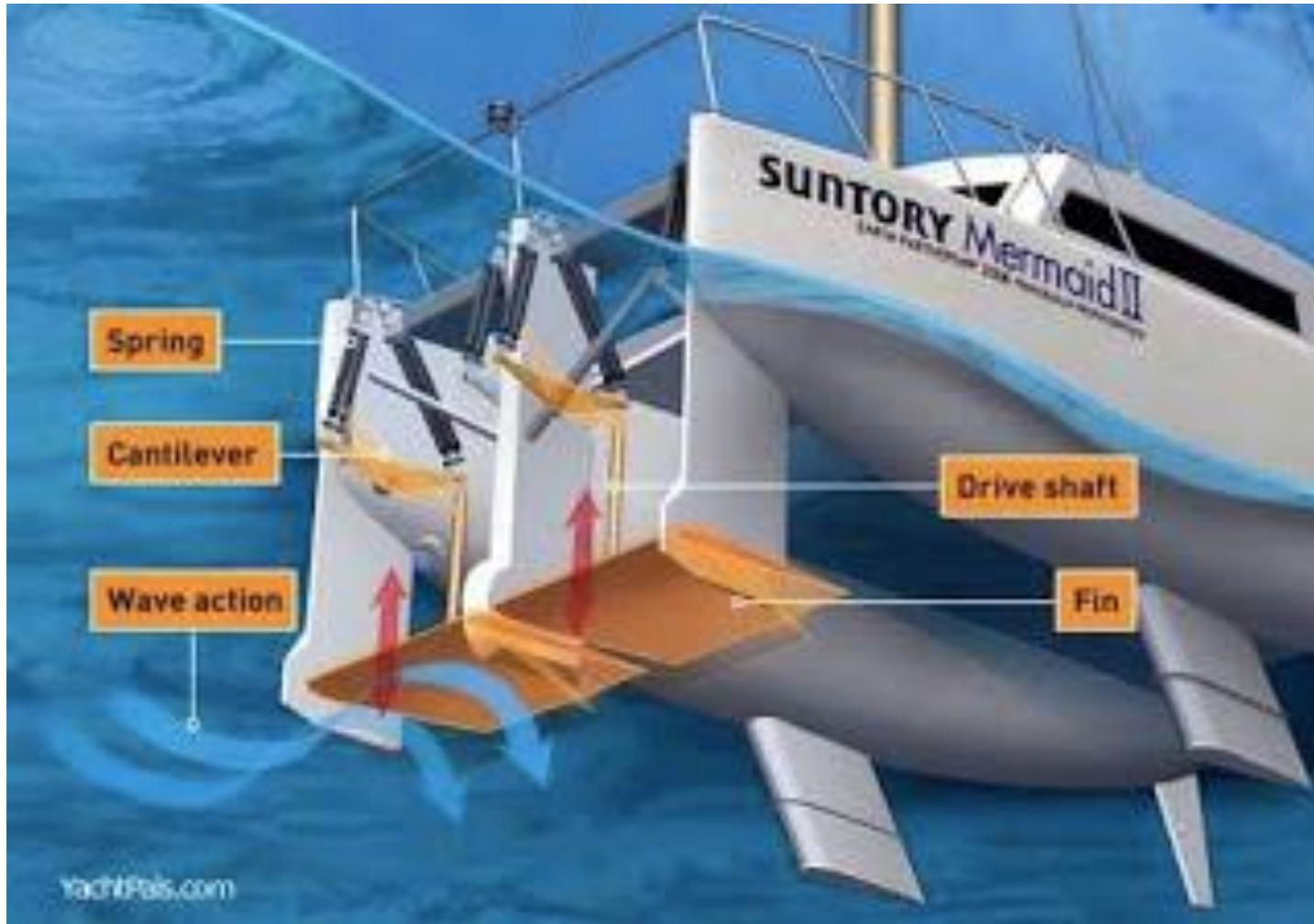
With each wave swell, the flippers swing up and down, pulling the boat forward at an average rate of 3 knots.

The flippers absorb energy from the ocean, adding stability and more efficient propulsion.

Source: Tokai University, School of Marine Science and Technology, Japan

GRAHAM ROBERTS/THE NEW YORK TIMES

Suntory Mermaid: utiliser le mouvement des vagues



Zéphyr et Borée développés en Bretagne : un cargo à voile high-tech, bilan carbone réduit de 80 %.



NINA MAILLOT

Responsable technique

Formée à l'Ecole Nationale Supérieure Maritime de Marseille, Nina est officier de la marine marchande. Passionnée par la question énergétique, Nina a déjà réalisé plusieurs suivis de chantier.

Après avoir réalisé un mémoire sur l'optimisation énergétique des navires, Nina est aujourd'hui chercheuse au sein de l'Ecole Nationale Supérieure Maritime et sera en charge des choix techniques et du suivi de chantier de

Le retours des bateaux à voile



Se range en cas d'absence de vent et ne génère pas de résistance à l'air comme un mât. Et il ne prend quasiment pas de place par rapport à un gréement classique. Il libère donc de l'espace de stockage pour les marchandises



Inover pour préparer l'avenir



42 jours, 16 heures et 40 minutes