

VOL moteur

Le MAGAZINE du PILOTE ULM



ESSAI

MCR PICK-UP EVOLUTION De l'allonge et du coffre !

MÉTIER

Surveillance aérienne...
de parcs à moules !

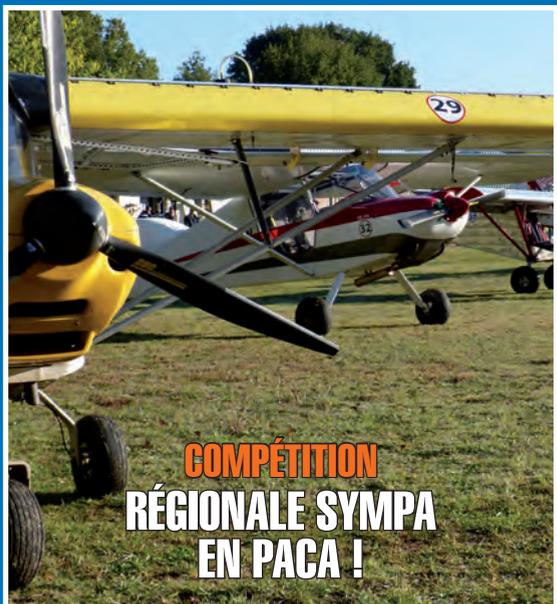
PILOTAGE

Maîtrisez le décrochage



PRISE EN MAIN

C42 CS À INJECTION



COMPÉTITION
RÉGIONALE SYMPA
EN PACA !



TECHNIQUE
LE RÉDUCTEUR

FICHE PRATIQUE

Installation d'un EFIS, 2^e partie

J'IRAI POSER CHEZ VOUS
À Saint-Fargeau, dans l'Yonne



ULM & SCIENCE
POUR COMPRENDRE
LE CIEL

L 14137 - 429 - F: 7,30 € - RD



n° 429 > novembre 2021 > 7,30 €
BELUX, DOM/S, PORT. CONT. : 8,30 € • CAN : 12,99 \$CAD
TOM/S : 1 200 XPF

Le réducteur

Fonctionnement et entretien



Le réducteur s'intercale entre le moteur et l'hélice. Une pièce maîtresse ! Il porte plutôt mal son nom, car la réduction du régime de rotation, du moteur à l'hélice, n'est qu'une de ses fonctions. Explications.

Texte et photos : Christophe Huchet. Schémas : Rotax



Pourquoi un réducteur ?

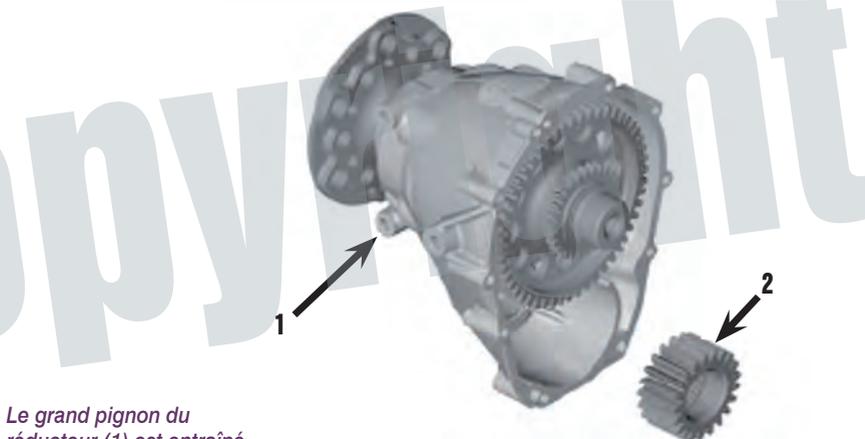
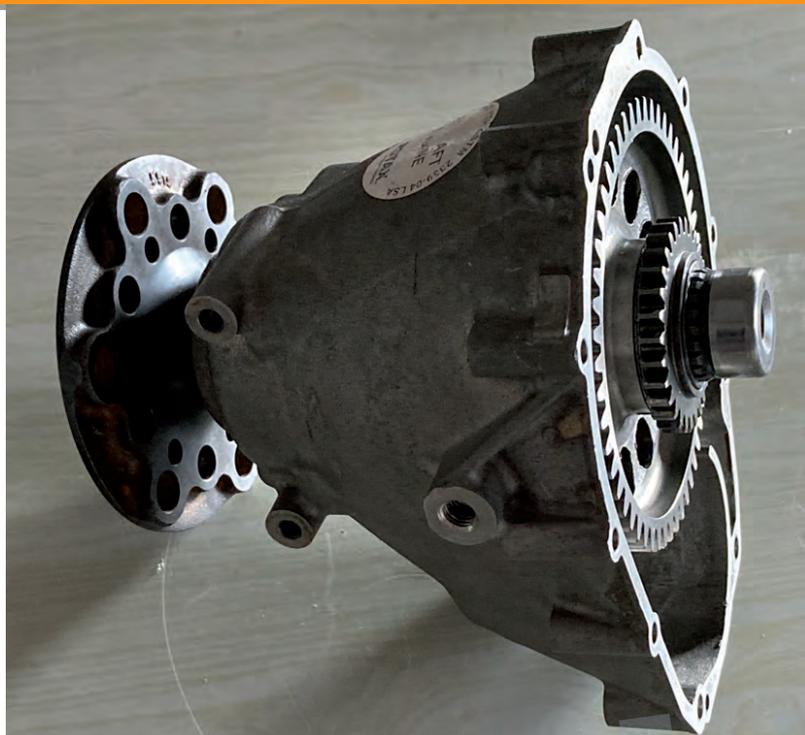
L'un des principaux atouts des moteurs Rotax séries 9, c'est leur très bon rapport poids/puissance. Pour y parvenir, le motoriste a fait le choix d'utiliser de petites cylindrées (1211 et 1352 cm³). Rappelons que la puissance résulte de la multiplication du couple par le régime (puissance = régime x couple). Le couple, sur un moteur atmosphérique, étant directement lié à la cylindrée, il est donc indispensable d'avoir un régime relativement élevé pour obtenir une puissance suffisante. Mais la vitesse de rotation de l'hélice doit rester limitée, afin de ne pas atteindre une vitesse supersonique en bout de pale, synonyme d'inefficacité et de phénomènes vibratoires destructifs.

Pour cette raison, l'utilisation d'un réducteur entre le moteur et l'hélice s'impose. C'est évidemment une complexité supplémentaire, mais elle offre aussi quelques avantages. Ainsi, en jouant sur un rapport de réduction différent, 2,27 : 1 pour le 80 ch et 2,43 : 1 pour le 100 ch, Rotax a pu maintenir des paramètres d'exploitation identiques entre les deux moteurs, dont notamment un régime maximal en continu de 5500 tr/min et une limite à 5800 tr/min. En outre, le réducteur offre une certaine protection en cas d'incident ou d'accident menant à un impact de l'hélice sur le sol. Dans un tel cas de figure, avec une hélice en prise directe sur le vilebrequin (comme c'est le cas sur la majorité des avions légers), ce dernier subit 9 fois sur 10 des dommages irréversibles. Un réducteur joue le rôle de fusible, ce sont ses éléments internes qui encaissent le choc et les dommages, on observe très rarement une atteinte au niveau du vilebrequin. Si en plus le réducteur est muni d'un limiteur de couple (overload clutch ou embrayage de surcharge), les pignons du réducteur pourront même être épargnés lors de chocs de petite à moyenne intensité.

Plus qu'un « réducteur »

La fonction de réduction du régime de rotation est obtenue par 2 pignons, comme sur un vélo, à la différence près que comme ils se transmettent le mouvement directement, sans l'intermédiaire d'une chaîne, le second tourne dans le sens inverse du premier. Nous avons donc un petit pignon, de 22 dents sur le 80 ch ou 21 dents sur les 100/115 ch, fixé en bout de vilebrequin, qui entraîne un grand pignon, de 50 dents pour le 80 ch et 51 dents pour les 100/115 ch.

Le grand pignon est monté fou sur l'arbre d'hélice, c'est-à-dire sans lien d'entraînement direct (ni clavetage, ni cannelures). Il entraîne l'hélice par l'intermédiaire de mécanismes qui permettent d'amortir torsions et vibrations : c'est la fonction de transmission.

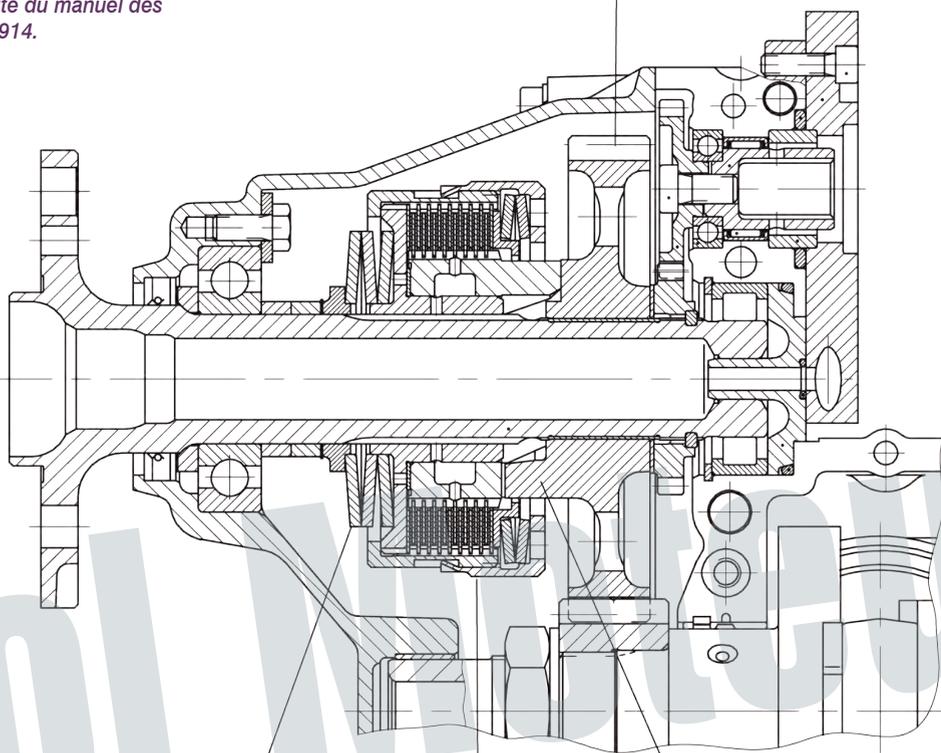


Le grand pignon du réducteur (1) est entraîné par le petit pignon (2) fixé en bout de vilebrequin.

Le principe de fonctionnement réside dans un engrenage par crabot dit en « dents de chien », qui a pour effet d'atténuer les à-coups provoqués par les couples tantôt résistants ou sollicitants (entraînement de l'hélice au démarrage, lors de changements brusques de régimes, accélération, ralentissement), tantôt liés aux pulsations de fonctionnement du moteur, notamment au ralenti. La forme complexe des dents de chien comporte des angulations selon trois axes d'appuis, un pour l'engagement (entrée), un pour le maintien (transmission/verrouillage), un pour la sortie (désengagement). Dans le cas où le réducteur est équipé d'un limiteur de couple (fonction embrayage), celui-ci absorbe également une grande partie des vibrations parasites. C'est ce qui explique les différences de périodicité de révision préconisée par Rotax : 600 h sans limiteur, 1 000 h avec. Réduction, certes, mais aussi mécanismes de transmission voire même embrayage, vous comprenez maintenant pourquoi je préfère parler de boîte de vitesses plutôt que de réducteur, même si l'usage me contraint à employer ce terme consacré.

Vue en coupe du réducteur, avec embrayage de surcharge (limiteur de couple), extraite du manuel des Rotax séries 912/914.

1 - Pignon réducteur



3 - Ressorts « Belleville »

4 - Embrayage de surcharge

2 - Crabot « Dents de chien »

Comment ça marche ?

L'ensemble de l'empilage, c'est le nom donné aux assemblages de pignons mobiles sur un arbre, est réalisé sur l'arbre d'hélice. Celui-ci repose sur 2 roulements, à billes à l'avant dans le carter du réducteur, à rouleaux à l'arrière dans le carter moteur.

Les composants sont empilés libres, cela signifie qu'ils ne sont guidés que par leur positionnement, leur maintien est assuré par des ressorts, les fameux « Belleville », le jeu étant réglé par des cales d'épaisseur, le tout verrouillé par 2 clavettes demi-lune. De la vraie belle mécanique !

Pour être complet, il faut noter que la came d'entraînement de la pompe à essence, qui fait partie de cet empilement, est également libre sur l'arbre d'hélice. Ce dernier est en acier forgé usiné avec une tolérance « zéro ». Il en existe 3 modèles. Le plus courant, appelé type 2, est long et débouchant. Les types 3 et 4 sont des modèles courts, débouchants ou obstrués selon que le moteur est équipé d'une hélice à pas variable avec un gouverneur utilisant le système Rotax ou une pompe à vide. Le type de l'arbre d'hélice est spécifié sur la plaque d'identification du moteur.

Le montage est d'une grande ingéniosité, car il préserve le réducteur en évitant les à-coups sur les dentures, réduit les contraintes sur l'arbre d'hélice et, par voie de conséquence, sur le vilebrequin et donc le moteur lui-même. Il préserve également le réducteur des impacts liés directement au fonctionnement du moteur, en amortissant les vibrations naturelles, les pics de couple au démarrage et lors de l'arrêt, les pulsions parasites inévitables, cette tâche incombant au crabot (dents de chien) dont les angles favorisent un glissement qui amortit les différences de vitesse entre moteur et hélice.

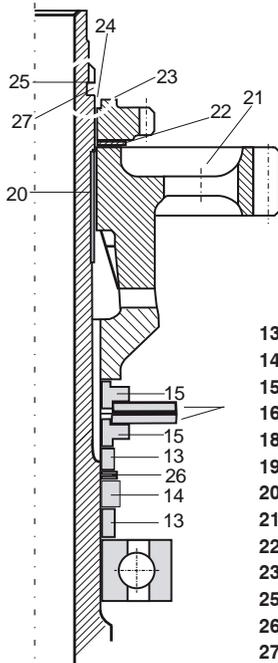
« Propeller strike »

Rotax fournit une procédure détaillée (service letter SL 912-015-R1) indiquant les vérifications à réaliser en cas d'impact de l'hélice avec un obstacle, sol ou mur (en anglais propeller strike), incluant entre autres un contrôle du vilebrequin.

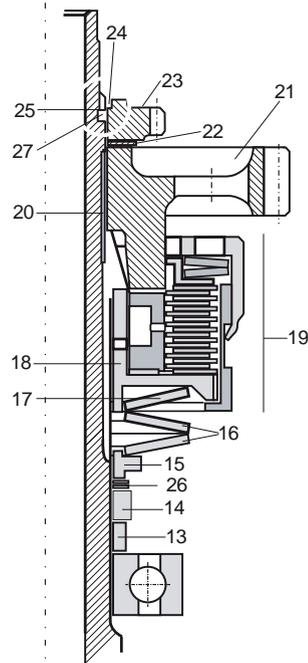
Ces opérations sont obligatoires lorsqu'il s'agit d'un aéronef certifié. Pour un ULM, elles sont fortement recommandées, et j'ai personnellement développé un process de contrôle peu intrusif en ayant recours à l'endoscopie et à la mesure, qui permet d'éviter le démontage a priori.



Version with dog hub



Version with overload clutch



- 13 - Entretoise
- 14 - Came de pompe à essence
- 15 - Centreur de ressort
- 16 et 17 - Ressorts (Belleville)
- 18 - Dents de chien
- 19 - Embrayage de surcharge
- 20 - Bague bronze
- 21 - Pignon
- 22 - Rondelle de friction
- 23 - Pignon accessoires
- 25 - Clavetage
- 26 - Cales de réglage
- 27 - Demi-lunes

Photo et schéma explicatif de l'empilement des mécanismes sur l'arbre d'hélice.



Usure et vieillissement

Plusieurs facteurs favorisent le vieillissement du réducteur :

- Un ralenti irrégulier provoqué par un défaut de synchronisation ou un régime trop faible, aggravé par l'allumage Ducati à avance fixe qui rend le moteur « rugueux » aux bas régimes. Ce point est également préjudiciable à la lubrification uniquement obtenue par projection. C'est pour ces raisons que le motoriste préconise un régime minimal de 1400 tr/min.
- Une synchronisation imparfaite aux régimes de relance (entre 3000 et 4000 tr/min) provoque des accélérations brutales pouvant générer des dommages majeurs. Ce point est d'autant plus important qu'il est pratiquement insensible pour le pilote.
- L'utilisation d'un lubrifiant de moindre qualité ou pollué (essence), ce qui altère sa résistance, notamment dans les engrenages où la pression exercée est la plus forte.
- L'eau résultant de la condensation dans les carters, qui accentue l'oxydation entre les cannelures lors des périodes d'arrêt prolongées. D'où le besoin d'élever la température de l'huile au-dessus de 100 °C une fois par vol, pour vaporiser ces condensats.
- L'utilisation d'additifs dits « hyper-lubrifiants » contenant du PTFE et/ou du silicone, préjudiciables au fonctionnement du limiteur de couple, ou des chlorures et autres perchloréthylène, qui favorisent entre autres la formation d'acide chlorhydrique accélérant la dégradation des huiles et l'oxydation des métaux.

Le type de l'arbre d'hélice est indiqué sur la plaque d'identification du moteur.

- Le fonctionnement avec de l'Avgas 100 LL, dont le plomb tétraéthyle adore se déposer sur les surfaces lisses des disques du limiteur de couple en les rendant irrémédiablement glissantes. Pour cette raison, en cas d'utilisation d'essence plombée plus de 30 % du temps, il faut effectuer la révision du réducteur à 500 h.

Le cas des autogires est particulier, car en plus des contraintes d'entraînement de l'hélice évoquées ici, il convient d'ajouter les tractions radiales engendrées par les prélançeurs, qui provoquent des pathologies spécifiques ainsi que des usures prématurées du réducteur. Ce dernier est donc à surveiller de près.



Maintenance

À force de glisser et de s'engager entre elles, les dents de chien se matent, s'usent, les ressorts qui les maintiennent s'affaiblissent, les cannelures peuvent s'altérer et la rondelle de friction s'écraser. Pour ces raisons, il est indispensable de procéder à des révisions périodiques, conformément au manuel Rotax.

Lors de ces révisions, il sera procédé à de multiples contrôles avant dépose du réducteur. Le contrôle du couple de glissement nous renseigne sur l'état de la précharge des ressorts qui déterminent les jeux. D'autres mesures, plus délicates, nécessitent des outillages de précision (comparateurs) et une clef dynamométrique de grande capacité (500 à 1000 Nm). Le contrôle de la flasque nous confirme ou non sa planéité, et nous informe sur la rectitude de l'axe en rotation. Le jeu radial nous renseigne sur les jeux dans le réducteur lui-même, et notamment sur celui du crabot dans son axe (usure des cannelures). Pour les réducteurs équipés d'un limiteur de couple, on mesure le couple de déclenchement (breakaway), en exerçant des forces très importantes, entre 600 et 900 Nm. Attention, de telles forces exercées sur l'arbre d'hélice et donc sur le moteur peuvent avoir des conséquences désastreuses, notamment pour le bâti moteur, si le maintien de l'aéronef au sol n'est pas parfait. Pour cette raison, il est souvent préférable de déposer le réducteur et de le placer sur un support spécifique pour effectuer la mesure.

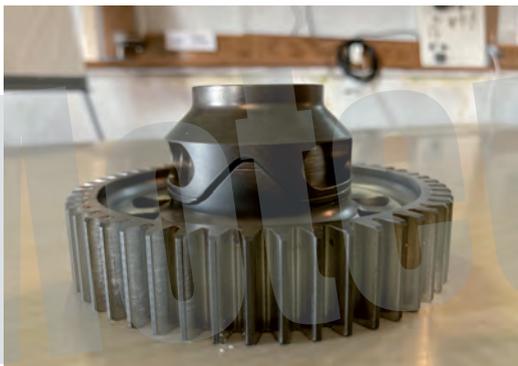
Après dépose et ouverture du réducteur, l'éventuel remplacement des pièces est conditionné à une métrologie précise, et à une appréciation des usures qui suppose une parfaite connaissance des systèmes et des assemblages. Ne vous lancez surtout pas, par exemple, sans compétences ni outillage (extracteur, presse...) et sans aide, dans le remplacement des « Belleville ». Vous risquez d'endommager irrémédiablement d'autres organes, dont les tarifs sont pour le moins dissuasifs, et plus grave encore de créer un risque futur sans en avoir conscience !

A contrario, grâce à la liberté de maintenance qui nous est laissée en ULM, il est toujours possible pour un technicien parfaitement qualifié de décider en fonction de l'état constaté et des mesures réalisées, d'un reconditionnement partiel (sans changer le couple de dents de chien par exemple), en réduisant le potentiel avant la prochaine inspection.

Le contrôle du couple de glissement est assez simple.



Le crabot à « dents de chien » amortit les vibrations et les à-coups du moteur.





Montage du réducteur sur un support spécial



Rallonge de clé dynamométrique



Lecture x coefficient (ici, 737 Nm)

Le démontage des pièces internes du réducteur exige un minimum d'outillage... et de compétence !



La mesure du couple de déclenchement du limiteur de couple exige d'exercer une force importante : mieux vaut démonter le réducteur, et utiliser une rallonge pour la clé.

Prévention

Je veux dire un mot pour finir sur le « klong » qui se produit parfois à l'arrêt du moteur. Du fait de son moment d'inertie, l'hélice tend à poursuivre sa rotation, forçant les crabots solidaires de l'arbre d'hélice et ceux du pignon moteur à se désengager. Ils sont ensuite bruyamment remis en place par les ressorts Belleville : klong !

Il n'existe pas de solution universelle pour limiter ce choc, fatigant pour la mécanique et désagréable aux oreilles. Chaque pilote devra adapter le processus d'arrêt en fonction de l'hélice qu'il utilise et du fonctionnement de son moteur. Essayez de réduire au minimum le régime moteur, en coupant les allumages un par un et en laissant chuter le régime entre les deux. Ou bien augmentez légèrement le régime, autour de 2200 tr/min, ce qui permet un arrêt moteur dans une plage où la transmission moteur/hélice est verrouillée, et évite une trop grande amplitude de mouvement des crabots. Ménagez la mécanique, et... bons vols ! ●



Index des FICHES PRATIQUES *de Jean-Pierre Fady*

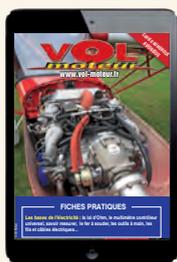
La loi d'Ohm : définition, application pratique...	VM 370 décembre 2016
Le multimètre et savoir mesurer	VM 371 janvier 2017
Fer à souder, outils à main, fils et câbles électriques	VM 372 février 2017
Qu'est-ce que la radio ? Antenne, longueur d'onde, impédance, ROS et TOS	VM 373 mars 2017 VM 374 avril 2017
Caractéristiques radio : homologation, descriptions générales, émetteur, réception, montage et installation	VM 375 mai 2017 VM 376 juin 2017 VM 377 juillet 2017
Vacances, j'oublie tout :-)	VM 378 août 2017
Le déparasitage : différents types de parasites, comment les détecter, interférences	VM 379 septembre 2017 VM 380 octobre 2017
Les câbles Coax : qu'est-ce que c'est, connectique	VM 381 novembre 2017
Le transpondeur : définition, application, montage, test...	VM 382 décembre 2017 VM 383 janvier 2018
Balises de détresse PLB & ELT	VM 384 février 2018
Balises de détresse : système COSPAS-SARSAT	VM 385 mars 2018
Balises de détresse RT-600, RT-500-M Rhotheta, LL Series	VM 386 avril 2018
Câblages moteur : relais master, interrupteurs, alimentation auxiliaire	VM 387 mai 2018 VM 388 juin 2018
Vacances, j'oublie tout :-)	VM 389 juillet 2018
Rappels : soudures, fusibles, épissures...	VM 390 août 2018
Circuit de charge Rotax 912 : schémas, alternateur triphasé	VM 391 septembre 2018 VM 392 octobre 2018
Circuit d'allumage Rotax 912 : stator, rotor, bobines allumage, fils bougies, retour d'expérience	VM 393 novembre 2018 VM 394 décembre 2018
ULPower type UL 260i : installation électrique, schémas, circuit de charge, circuit de démarrage	VM 395 janvier 2019 VM 396 février 2019 VM 397 mars 2019
Kits injection LAD : définition, étapes du montage, montage kit SAGAPE	VM 398 avril 2019 VM 399 mai 2019
BOM (Broadcasting Outer Module)	VM 400 juin 2019
Portatif Icom type IC-A 6 FR II : montage et installation	VM 401 juillet 2019
Radio Icom IC-A220E : montage et installation	VM 402 août 2019
Radio Trig TY 91 : mode d'emploi, installation à bord	VM 403 septembre 2019 VM 404 octobre 2019

Radios Becker et dérivés : AR6201 - AR6200 - AR6201 - AR6202 - AR6203 - AR6204 - AR6205 Montage mécanique - installation antenne - différents câblages - fonctionnement	VM 405 novembre 2019 VM 406 décembre 2019 VM 407 janvier 2020 VM 408 février 2020 VM 409 mars 2020 VM 410 avril 2020 VM 411 mai 2020
PilotAware Rosetta	VM 412 juin 2020 VM 413 juillet 2020
Radios Icom IC-A25CE FR & IC-A25NE FR : fonctionnalités, montage et installation	VM 414 août 2020 VM 415 septembre 2020 VM 416 octobre 2020 VM 417 novembre 2020
Électricité Rotax 582 : généralités, branchements	VM 418 décembre 2020 VM 419 janvier 2021
Batteries nouvelle génération : retours d'expérience, fonctionnement	VM 420 février 2021 VM 421 mars 2021 VM 422 avril 2021
Testez votre régulateur Rotax 582 ou 912	VM 423 mai 2021
Rajeunissez vos anciens tableaux de bord : Kanardia Combo, Horis, Digi EMS et DAQU	VM 424 juin 2021 VM 425 juillet 2021 VM 426 août 2021
Installation d'un EFIS	VM 427 septembre 2021 VM 428 octobre 2021 VM 429 novembre 2021

www.flying-pages.com/shop_fr
Catégories > Anciens numéros

www.flying-pages.com/shop_fr
Catégories > Cahiers numériques

Cahiers numériques



BASES ÉLECTRICITÉ
Sélection de 17 pages parues dans Vol Moteur 370 à 372
5 euros



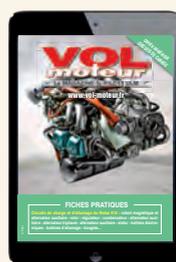
RADIO
Sélection de 20 pages parues dans Vol Moteur 373 à 377
7,50 euros



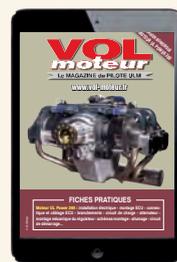
TRANSPONDEUR
Sélection de 20 pages parues dans Vol Moteur 379 à 383
7,50 euros



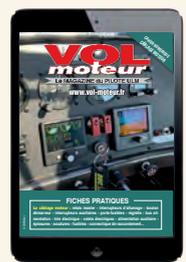
BALISES DÉTRESSE
Sélection de 20 pages parues dans Vol Moteur 384 à 386
5 euros



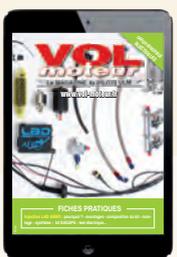
CIRCUITS ROTAX 912
Sélection de 22 pages parues dans Vol Moteur 391 à 394
7,50 euros



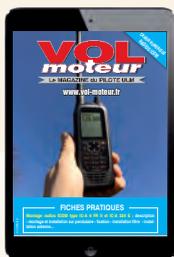
MOTEUR ULPOWER
Sélection de 17 pages parues dans Vol Moteur 395 à 397
7,50 euros



CÂBLAGE MOTEUR
Sélection de 17 pages parues dans Vol Moteur 387 à 390
5 euros



INJECTION LAD AERO
Sélection de 11 pages parues dans Vol Moteur 398 et 399
5 euros



RADIO ICOM
Sélection de 11 pages parues dans Vol Moteur 401 et 402
5 euros



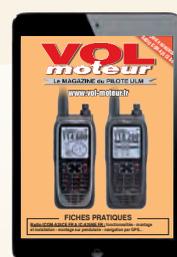
RADIO TRIG
Sélection de 11 pages parues dans Vol Moteur 403 et 404
5 euros



RADIO BECKER AR6201
Sélection de 37 pages parues dans Vol Moteur 405 à 411
15 euros



PILOTWARE ROSETTA
Sélection de 11 pages parues dans Vol Moteur 412 et 413
5 euros



ICOM-A25CE FR & IC-A25 NE FR
Sélection de 21 pages parues dans Vol Moteur 414 à 417
8,50 euros

PROCHAINEMENT :
batteries nouvelle génération...

Abonnez-vous !

SCANNEZ-MOI !



RETROUVEZ NOS OFFRES SPÉCIALES ABONNÉS EN PAGES 2 ET 41

ABONNEMENT PAPIER

✓ 12 N° + 1 hors-série

83€

au lieu de 97,55€ (-14,92%)

✓ 24 N° + 2 hors-séries

157,50€

au lieu de 195,10€ (-19,27%)

+ accès à la version numérique tout au long de votre abonnement

Marche à suivre disponible sur www.flying-pages.com/shop_fr > Catégories > Abonnement Vol Moteur PDF

+ UNE PETITE ANNONCE GRATUITE PAR PARUTION

Offre soumise à conditions : les petites annonces gratuites sont réservées aux particuliers. Une seule machine par annonce. Elles ne doivent comporter aucun caractère commercial. La gratuité concerne seulement les textes.

+ LE HORS-SÉRIE GUIDE D'ACHAT VOL MOTEUR

300 p. recensant plus de 1 000 ULM/LSA, pendulaires, planeurs ULM, autogires, hélicoptères, avions certifiés et amateurs, instruments, accessoires... Prix de vente public : 9,95 €. Il s'agit des HS 2022-2023 sortie 07/2022 et 2023-2024 sortie 07/2023.

ABONNEMENT NUMÉRIQUE

UNIQUEMENT EN LIGNE

✓ 13 N° (DONT LE NUMÉRO EN COURS)

63,50€

au lieu de 83€ (-23,49%)

www.vol-moteur.fr Dans menu Vol Moteur > Abonnement Vol Moteur PDF

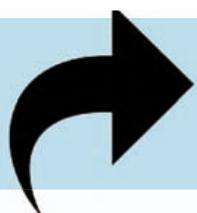
La procédure de téléchargement de votre magazine en version PDF, avec le numéro d'abonnement, n'est à effectuer qu'une seule fois. Les mois suivants, vous pouvez vous connecter directement sur notre site et vous rendre dans « MON COMPTE », puis « TÉLÉCHARGEMENTS » où vous trouverez le lien pour télécharger le journal.

AVIS À NOS ABONNÉS Dans un souci de protection de l'environnement, nos relances de réabonnement se font désormais par e-mail. Pour être sûr(e) de toujours recevoir les communications de Flying Pages Europe, ajoutez l'adresse abo@flying-pages.com à votre carnet d'adresses.

Pour vous abonner ou vous réabonner, merci de vous connecter de préférence à www.vol-moteur.fr ou, le cas échéant, remplir le bulletin ci-dessous, le scanner et nous le retourner par e-mail.

Politique de confidentialité : votre adresse e-mail restera strictement confidentielle, elle ne sera jamais divulguée à des tiers ou utilisée pour de la publicité. Conformément à la loi informatique et libertés, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et d'opposition aux données à caractère personnel vous concernant, il suffit de nous adresser un e-mail à abo@flying-pages.com pour ne plus recevoir nos communications.

POUR NOUS CONTACTER



abo@flying-pages.com

www.vol-moteur.fr > www.flying-pages.com/shop_fr

FRANCE

12 n° + 1 HS 83 €
 24 n° + 2 HS 157,50 €

DOM

12 n° + 1 HS 94 €
 24 n° + 2 HS 181,50 €

TOM/EUROPE

12 n° + 1 HS 98 €
 24 n° + 2 HS 198 €

AUTRES PAYS

12 n° + 1 HS 119 €
 24 n° + 2 HS 229,50 €

E-mail (impératif pour toute correspondance)

@

Nom _____ Prénom _____
 Adresse _____
 CP _____ Ville _____ Pays _____ Tél _____

Chèque bancaire à l'ordre de FLYING PAGES EUROPE

CB/Visa/Eurocard-Mastercard : ↴

Virement sur notre compte :
 Banque : BNP PARIBAS
 IBAN : FR76 3000 4008 3400 0102 6653 586
 BIC : BNPAFRPP1VR

_____ Expire le _____ Cryptogramme _____

VOL
moteur

NOUVELLE
ADRESSE

FLYING PAGES EUROPE
 50 rue Pierre-Georges Latécoère 05130 Tallard
 +33 (0)9 54 59 19 24