

Guillaume **SABATIER**
François **RAGUSA**
Hubert **ANTZ**

MANUEL DE CONSTRUCTION MÉCANIQUE

3^e édition

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Maquette de couverture : WIP

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>		<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	---	--

© Dunod, Paris, 2006, 2009, 2013
ISBN 978-2-10-059464-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Dans un secteur industriel fortement concurrentiel qui impose des exigences de qualité et de rentabilité, le technicien d'aujourd'hui doit être capable de raisonner et d'agir méthodiquement en appréhendant l'ensemble dans lequel il exerce son action. Sa culture technique et ses compétences lui permettent de s'adapter et de faire face aux évolutions technologiques. Ce profil de qualification milite pour un enseignement professionnel qui dépasse la seule transmission de connaissances.

La démarche des auteurs de ce *Manuel de construction mécanique* s'inscrit dans cette visée de formation. Au-delà de la simple écriture de « savoirs technologiques », leur ambition est de permettre au lecteur d'accéder à une compréhension globale des systèmes mécaniques et de leur environnement. Dans cet esprit, ils ont souhaité donner à leur travail une dimension pédagogique qui facilite l'organisation des apprentissages. Ainsi :

- les savoirs technologiques, clés d'entrée des différents chapitres, sont systématiquement mis en relation avec des compétences professionnelles qui demeurent les véritables objectifs de formation ;
- les notions abordées sont toujours situées dans leur contexte technique ; des exercices corrigés et de nombreuses indications permettent au lecteur de vérifier sa compréhension et de prolonger ses investigations ;
- des documents de synthèse qui tiennent lieu de tableau de bord de la formation, permettent d'identifier les activités conduites et d'évaluer les compétences mises en œuvre.

Conçu pour répondre aux exigences des référentiels des formations CAP et Baccalauréats professionnels du secteur industriel, ce *Manuel de construction mécanique* couvre un large champ de connaissances en sciences et technologies industrielles. Il s'adresse à tous ceux qui, engagés dans une démarche de formation, recherchent un ouvrage de référence qui les accompagnera dans leur parcours. La richesse documentaire et la clarté des explications répondront très certainement à leurs attentes.

Éric Chazalatte
Inspecteur de l'Éducation nationale
Sciences et Techniques industrielles

Table des matières

	Avant-propos	IX
	Compétences associées à chaque savoir et évaluation de l'élève	XIII
Chapitre 1	Analyse fonctionnelle	1
1.1	Exemple d'architecture fonctionnelle pour une automobile	1
1.2	La démarche de l'analyse fonctionnelle	3
1.3	Énoncé fonctionnel du besoin (méthode APTE)	3
1.4	L'analyse de produits existants	5
1.5	Schéma par bloc fonctionnel	7
Chapitre 2	Dessin technique : vulgarisation et normalisation	11
2.1	Le dessin technique (ou industriel)	11
2.2	Formats normalisés ISO 216	14
2.3	Échelle ISO 5455	15
2.4	Cartouche ISO 7200	15
2.5	Nomenclature ISO 6433 et ISO 7573	15
Chapitre 3	Représentation en vue extérieure d'une pièce sur un dessin technique	21
3.1	Projection orthogonale	21
3.2	Traits NF ISO 128-24	22
3.3	Disposition et alignement des vues	23
3.4	Vues utiles	24
3.5	Vue interrompue	24
3.6	Vue partielle	24
3.7	Vue auxiliaire	25
3.8	Demi-vue	25
Chapitre 4	Représentation en coupe d'une pièce ou d'un mécanisme sur un dessin technique	29
4.1	Coupes et sections	29
4.2	Coupe partielle	31
4.3	Demi-coupes	31
4.4	Section	32
4.5	Coupe brisée	32
Chapitre 5	Volumes et surfaces	39
5.1	Surfaces planes	39
5.2	Solides	40
5.3	Position entre deux surfaces ou deux volumes	42
5.4	Formes des pièces mécaniques	42
5.5	Profilés	49

Chapitre 6	Matériaux	53
6.1	Principaux éléments d'alliage	53
6.2	Associations de fer et de carbone	55
6.3	Désignation des alliages d'aluminium	59
6.4	Aluminium et alliages	59
6.5	Cuivre et alliages	60
6.6	Matières plastiques	61
Chapitre 7	Procédés d'obtention des pièces	71
7.1	Forgeage	71
7.2	Chaudronnerie	73
7.3	Électroérosion	76
7.4	Fonderie	76
7.5	Assemblage	80
7.6	Usinage	84
7.7	Finition	87
Chapitre 8	Liaisons élémentaires dans un mécanisme	89
8.1	Liaisons mécaniques	89
8.2	Classes d'équivalence cinématique	92
8.3	Liaisons normalisées et représentations	92
Chapitre 9	Schéma cinématique minimal d'un mécanisme	97
9.1	Définitions et méthodes	97
Chapitre 10	Ajustements	101
10.1	Tolérances dimensionnelles ISO 286	101
10.2	Assemblages	102
Chapitre 11	Cotation fonctionnelle	109
11.1	Cote condition ISO 8015	109
11.2	Chaîne de cotes	109
11.3	Conditions maximale et minimale	111
Chapitre 12	Spécifications géométriques	113
12.1	Nécessité de l'indication de spécifications géométriques sur les plans	113
12.2	Notations des spécifications géométriques sur les plans et méthode d'exécution	113
12.3	Symboles des spécifications géométriques	114
12.4	Spécifications de forme	115
12.5	Spécifications d'orientation	116
12.6	Spécifications de position	117
12.7	Spécifications de battement	118
Chapitre 13	Spécifications de surface	123
13.1	Nécessité de l'étude et de l'indication des états de surface	123
13.2	Topographie des surfaces	123
13.3	Rugosité	124
Chapitre 14	Métrologie	127
14.1	Pied à coulisse	127
14.2	Micromètre intérieur ou extérieur	129
14.3	Peigne	130
14.4	Comparateur	131

Chapitre 15	Guidage en rotation	133
15.1	Expression fonctionnelle du besoin	133
15.2	Guidage en rotation par contact direct	133
15.3	Guidage en rotation obtenu par interposition de bagues de frottement	134
15.4	Guidage en rotation réalisé par roulement	136
15.5	Liaison pivot obtenue par interposition d'un film d'huile	142
Chapitre 16	Guidage en translation	145
16.1	Précision d'un guidage en translation	145
16.2	Guidage par contact direct	146
16.3	Guidage par contact indirect	147
Chapitre 17	Filetages, taraudages et liaisons encastremets	151
17.1	Vis	151
17.2	Écrous	152
17.3	Assemblages démontables ISO 965 – ISO 68-1 et NF ISO 261 – NF ISO 262 – NF ISO 724	153
17.4	Représentation des éléments filetés	155
17.5	Cotation des éléments filetés	156
17.6	Chanfreins d'entrée et gorges de dégagement	157
17.7	Classes de qualité ISO 898 et ISO 965	157
17.8	Réalisation des assemblages	158
17.9	Rondelles d'appui	162
17.10	Types d'écrous	163
17.11	Freinage des vis et des écrous	164
17.12	Liaisons démontables obtenues par goupillage	167
17.13	Liaisons arbre-moyeu	167
17.14	Liaisons encastrement non démontables	168
Chapitre 18	Étanchéité et lubrification des mécanismes	175
18.1	Étanchéité ISO 9222	175
18.2	Lubrification	179
Chapitre 19	Transformation et transmission de l'énergie	183
19.1	L'énergie	183
19.2	La transmission du mouvement	187
19.3	Transformation du mouvement mécanique	197
19.4	Accouplements NF EN ISO 3952	200
19.5	Freins	207
19.6	Appareils de transformation de l'énergie et de commande	209
Chapitre 20	Statique : étude du comportement des solides immobiles dans un repère	231
20.1	Quelques notions importantes	231
20.2	Actions mécaniques à distance	233
20.3	Actions mécaniques de contact	234
20.4	Actions mécaniques et moments modélisables par un torseur	235
20.5	Principe fondamental de la statique (PFS)	238
Chapitre 21	Cinématique : étude de la position et du mouvement des solides par rapport à un repère	245
21.1	Définitions	245

21.2	Rotation et translation	245
21.3	Trajectoires	245
21.4	Détermination des vitesses	247
21.5	Méthodes graphiques de détermination des vitesses instantanées	248
Chapitre 22	Dynamique : étude du comportement des solides en mouvement par rapport à un repère	255
22.1	Énergétique	255
22.2	Dynamique	257
Chapitre 23	Résistance des matériaux	263
23.1	Définitions	263
23.2	Hypothèses générales	263
23.3	Contraintes	264
23.4	Traction et compression	265
23.5	Cisaillement	266
23.6	Torsion	267
23.7	Flexion simple	268
Chapitre 24	Structure et traitements des métaux et matières plastiques	273
24.1	Définitions	273
24.2	Étude des liaisons métalliques	273
24.3	Polymères	278
Chapitre 25	Caractéristiques mécaniques et essais des matériaux	281
25.1	Définitions	281
25.2	Essai de traction ISO 6892	282
25.3	Essai de dureté	283
25.4	Essai de résilience	285
25.5	Essai de fatigue	286
	Corrigés des exercices	288
	Index	306

Ce manuel, destiné aux élèves de CAP, BEP et Baccalauréats professionnels industriels, met au cœur de la situation d'apprentissage les normes, les savoirs et les compétences essentiels de la technologie mécanique en se basant sur des systèmes mécaniques et leurs fonctions associées.

Mode d'emploi

Chaque chapitre est introduit par les compétences à acquérir. L'élève est guidé dans la compréhension de la technique enseignée et s'entraîne à l'aide des exercices d'application en fin de chapitre. À chaque exercice, l'élève peut, seul ou avec l'aide du professeur, évaluer ses compétences, grâce au tableau prévu à cet effet en début de manuel, en inscrivant son niveau (A, B, C et D) en face de la compétence à acquérir. Il suit ainsi son évolution sur la même compétence pendant sa période de formation, et ses progrès tout au long de l'année. Avant l'examen, il est nécessaire de travailler prioritairement les compétences évaluées par C et D.

■ Travail de découverte des phénomènes observés

Réponses aux questions posées dans le cours

■ Apprentissage du cours, seul ou avec le professeur

En classe, lecture, mémorisation et compréhension du cours

■ Exercices pratiques ou dirigés, seul ou en classe

Exercice appliqué en fin de chaque chapitre avec corrigé en fin de manuel

« Entraînez-vous » et Exercices supplémentaires « Pour aller plus loin » pour validation des compétences

■ Évaluation des compétences

Contrôle des connaissances avec ou sans normes du manuel

Tableau de compétences à remplir seul ou avec le professeur

■ Approfondissement des points délicats

Révision des règles et explication du cours et/ou des exercices

■ Examen

Bonus web



Grâce à ce logo, l'élève a la possibilité de s'appuyer sur une quantité de ressources pédagogiques : compléments de cours, informations techniques, illustrations, schémas vidéos etc. pour mieux assimiler les connaissances au fil des chapitres et s'entraîner à l'aide des nombreux exercices corrigés. Présenté sous forme de porte-documents numérique, le menu principal vous donne accès à différents dossiers :

- **Dossiers techniques du livre** : chaque sujet technique du livre (alternateur, batteur, injecteur etc.) est détaillé dans un dossier technique complet : description fine de l'objet, des vidéos, des informations techniques.
- **Autres dossiers techniques** : pour le champ d'application, d'autres études techniques sont également disponibles (bloc de jonction électrique, butée réglable, essai-glace, scie sauteuse).
- **Sujets d'apprentissage** : véritables outils interactifs, 2 dossiers complets sur les ajustements et les matériaux permettent à l'élève de se mettre en situation d'apprentissage et en condition d'examen pour s'auto-exercer.
- **Figures et exercices** : chapitre par chapitre, vous trouverez l'ensemble des illustrations ainsi que des exercices corrigés pour vous entraîner.
- **Formations** : des documents utiles pour les différentes formations en CAO (solidworks et topsolid).
- **Sujets d'examens** : pour vous entraîner et progresser tout en autonomie.
- **Un peu d'histoire** : pour des raisons essentiellement pratiques liées à l'enseignement de la construction mécanique et afin de répondre aux attentes des élèves, l'approche des sciences et techniques par l'histoire de la construction mécanique avec les dates importantes est présentée dans ce document. Il permet ainsi d'apporter des informations complémentaires pour une meilleure compréhension.

■ Chemin d'accès aux ressources pédagogiques

- Rendez-vous sur le site *www.dunod.fr*
- Tapez le titre de l'ouvrage dans la barre de recherche
- Sur la gauche, sous la couverture de l'ouvrage, dans le pavé « compléments en accès réservé » cliquez sur « voir tous les compléments »

Avertissements

- Les normes incluses dans le manuel ne sauraient en aucun cas remplacer les documents de l'AFNOR, auxquels il convient de se reporter pour toute application industrielle.
- Ce manuel est un outil et non une référence officielle, il ne préfigure ni de la progression ni du contenu des cours des professeurs, qui doivent se reporter au référentiel de la discipline concernée pour établir leurs séquences pédagogiques.
- Les exemples donnés ici ne sont pas exhaustifs, ils ne sauraient être utilisés directement pour d'autres applications sans adaptations théoriques et pratiques adéquates.
- Les repères de l'espace à trois dimensions installés pour chaque exemple sont des repères relatifs.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier :

- Renault SA (<http://www.renault.fr>),
- le Conservatoire Seb (<http://www.groupeSeb.com>),
- la Société des pétroles Shell (<http://www.shell.com>),
- Festo (<http://www.festo.com>),
- Pioch Farrus Mine (<http://perso.wanadoo.fr/piochfarrus/index2.htm>), et particulièrement Jean-Luc Espérou,
- Würth France SA (<http://www.wurth.fr>),
- l'AFNOR (<http://www.afnor.fr/portail.asp>),
- les Éditions Dunod (<http://www.dunod.com>),

ainsi que tous les collègues, élèves, inspecteurs et proches ayant apporté leur contribution à l'amélioration de l'ouvrage.

Compétences associées à chaque savoir et évaluation de l'élève

Les compétences sont données de manière indicative et ne sauraient remplacer le référentiel spécifique de la section considérée. Il convient de s'y reporter afin de rester dans la limite imposée réglementairement.

Chapitre	Compétences	Page
1. Analyse fonctionnelle	A1, A2	1
2. Dessin technique : vulgarisation et normalisation	L1, L8, L12, E1	11
3. Représentation en vue extérieure d'une pièce sur un dessin technique	L1, L8, L12, E1, L4, L10, E4	21
4. Représentation en coupe sur un dessin technique	L1, L8, L12, E1, L4, L10, E4	29
5. Volumes et surfaces	L2, L10, A4	39
6. Matériaux : transformation et normalisation	L5, A3	53
7. Procédés d'obtention des pièces	L6, E2, A3, A7	71
8. Liaisons élémentaires dans un mécanisme	L11, ES1, A4, A5	95
9. Schéma cinématique minimal d'un mécanisme	L11, ES1, E3, A5	103
Spécifications fonctionnelles		
10. Ajustements	L7, L9, A6, A7, A12	107
11. Cotation fonctionnelle	L7, L9, A6, A7, A12	117
12. Spécifications géométriques	L7, L9, A6, A7, A12	121
13. Spécifications de surface	L7, L9, A6, A7, A12	133
14. Métrologie	A8, A9	137
Solutions technologiques		
15. Guidage en rotation (roulements, paliers lisses)	ES4, E4, A6, A12	145
16. Guidage en translation	ES4, E4, A6, A12	161
17. Liaisons encastrements	ES4, E4, A6, A12	169
18. Étanchéité et lubrification	A11, ES4	201
19. Transformation et transmission de l'énergie	ES4, ES5, A2, A10, ES2, L12, A13	209
Étude des comportements		
20. Statique : étude du comportement des solides immobiles dans un repère	ECSD1, ECSD2, ECSD3	265
21. Cinématique : étude de la position et du mouvement des solides par rapport à un repère	ECC1, ECC2	285
22. Dynamique : étude du comportement des solides en mouvement par rapport à un repère	ECSD1, ECSD2, ECSD3	297
23. Résistance des matériaux	RDM1 à RDM2	309
24. Structure des matériaux et leurs traitements	RDM1 à 4	321
25. Caractéristiques mécaniques et essais des matériaux	RDM1 à 4	333

Évaluation de l'élève

A : l'élève a atteint l'objectif entièrement et en autonomie B : l'élève a atteint l'objectif avec l'aide du professeur C : l'élève a atteint l'objectif partiellement ou avec difficultés D : l'élève n'a pas atteint l'objectif	Évaluation 1	Évaluation 2	Évaluation 3	Évaluation 4
Exemple : Compétence : mesurer la largeur d'une pièce	C	B	A	
L1 : Repérer un ensemble de pièces, une pièce, ou les formes d'une pièce sur un dessin technique				
L2 : Nommer des surfaces et volumes élémentaires				
L3 : Décrire les positions relatives entre les surfaces ou entre les volumes d'une pièce				
L4 : Désigner les formes d'une pièce en représentation plane ou en coupe sur un dessin technique				
L5 : Identifier la nature d'un matériau à partir des hachures ou d'une pièce réelle et décoder sa désignation normalisée				
L6 : Identifier le procédé d'obtention d'une pièce suivant ses formes				
L7 : Décoder les cotes et les spécifications fonctionnelles liées aux surfaces				
L8 : Extraire les informations utiles d'un dossier technique (cartouche, nomenclature, repères, matériaux)				
L9 : Identifier les surfaces fonctionnelles d'un mécanisme				
L10 : Associer volumes et surfaces dans plusieurs vues d'une mise en plan				
L11 : Identifier les liaisons et les mouvements des pièces d'un mécanisme à partir d'un schéma cinématique				
L12 : Inventorier les pièces constitutives d'un système mécanique ou d'un ensemble hydraulique ou pneumatique				
ES1 : Identifier, avec la norme, les liaisons entre solides dans un schéma cinématique et en déduire les mouvements relatifs				
ES2 : Identifier, avec la norme, les composants utilisés dans un schéma pneumatique, hydraulique ou électrique				
ES3 : Identifier le type de transmission ou de transformation de l'énergie sur un dessin technique				
ES4 : identifier les solutions constructives associées aux fonctions techniques et décoder leur désignation				
ES5 : Déterminer les paramètres d'entrée et de sortie de l'énergie pour résoudre un problème technique				
E1 : Produire le croquis d'une pièce ou sa représentation normalisée sur des vues planes ou en perspective				
E2 : Décrire le procédé d'obtention d'une pièce suivant les fonctions techniques qu'elle doit remplir				
E3 : Compléter un schéma cinématique				
E4 : Représenter une solution technologique pour une fonction technique donnée				
A1 : Définir la frontière d'étude pour un système mécanique				
A2 : Exprimer les entrées/sorties, fonctions, valeur ajoutée et données de contrôle d'un ensemble ou sous-ensemble à partir d'un outil de description fonctionnelle				

A3 : Associer les matériaux à leurs caractéristiques et à leur fonction technique à assurer dans un système mécanique				
A4 : Associer les surfaces de contact ou les mouvements relatifs des pièces à leurs liaisons normalisées				
A5 : Définir les classes d'équivalence cinématique pour un système mécanique donné				
A6 : Définir les conditions fonctionnelles pour une solution technologique				
A7 : Associer les spécifications fonctionnelles au procédé d'obtention des pièces				
A8 : Valider des spécifications fonctionnelles par contrôle des pièces				
A9 : Choisir le procédé de métrologie suivant la spécification fonctionnelle considérée				
A10 : Décrire un système de transmission de l'énergie				
A11 : Décrire un type d'étanchéité ou de lubrification pour une fonction technique donnée				
A12 : Exprimer le comportement d'un assemblage selon les spécifications fonctionnelles indiquées				
A13 : À partir d'un schéma, décrire le fonctionnement d'une installation hydraulique, pneumatique ou électrique				
ECC1 : Identifier et décrire le mouvement relatif entre deux pièces ainsi que la trajectoire d'un point de cette pièce				
ECC2 : Déterminer la position, la vitesse et l'accélération d'un solide en mouvement de translation ou de rotation uniforme ou uniformément varié				
ECSD1 : Inventorier les actions mécaniques appliquées à un solide				
ECSD2 : Représenter les actions mécaniques sur un solide isolé, à l'équilibre ou en mouvement (dans un repère imposé)				
ECSD3 : Déterminer les actions inconnues à un solide isolé en vue de résoudre un problème (RDM, condition d'équilibre, etc.) par application d'un principe fondamental de la physique (statique ou dynamique)				
RDM1 : Identifier le type de sollicitation à laquelle une section quelconque d'une pièce est soumise				
RDM2 : Évaluer la déformation ou les conditions de résistance d'une pièce pour une situation mécanique donnée				
RDM3 : Évaluer le comportement mécanique ultérieur d'une pièce suivant la structure de la matière et le traitement thermique ou chimique associé				
RDM4 : Évaluer les caractéristiques mécaniques qu'une pièce doit posséder pour une fonction technique donnée				

Plan

Compétences visées : A1, A2

- 1.1 Exemple d'architecture fonctionnelle pour une automobile 1
- 1.2 Énoncé fonctionnel du besoin (méthode APTE) 3
- 1.3 La démarche de l'analyse fonctionnelle 3
- 1.4 L'analyse de produits existants 5
- 1.5 Schéma par bloc fonctionnel 7
- Exercice type 7

Douglas Ross (1929-2007), un informaticien Américain, développe l'analyse par SADT dans le milieu des années 1970.

1.1 Exemple d'architecture fonctionnelle pour une automobile

NF EN 1325-1 et NF EN 1325-2

Exemple d'analyse fonctionnelle : voir figure 1.1 page suivante.

Un produit (véhicule automobile, vêtement, matériel...) est conçu de manière à répondre à un besoin exprimé par le futur utilisateur : le client. Il est donc nécessaire de créer un lien ordonné entre l'utilisateur et le concepteur (figure 1.2).

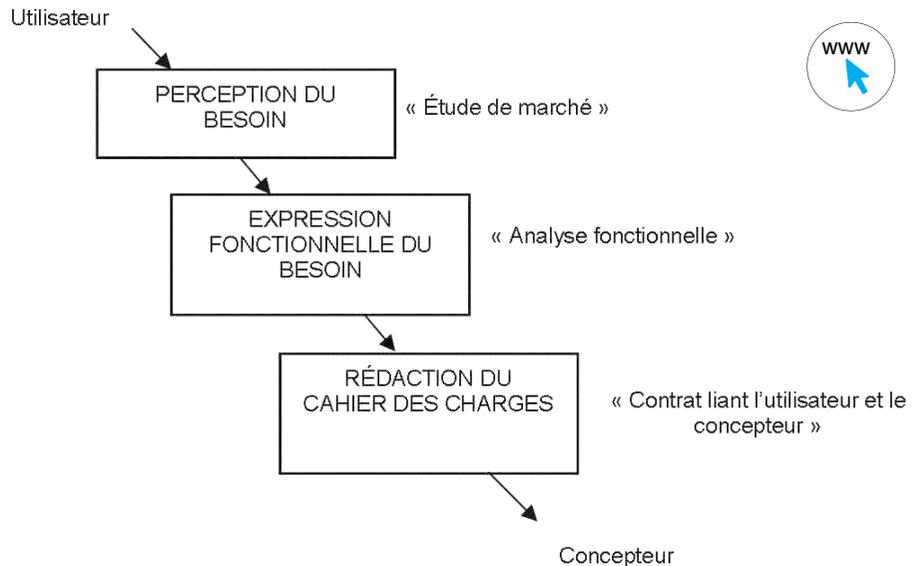


Figure 1.2 – Relation utilisateur/concepteur.

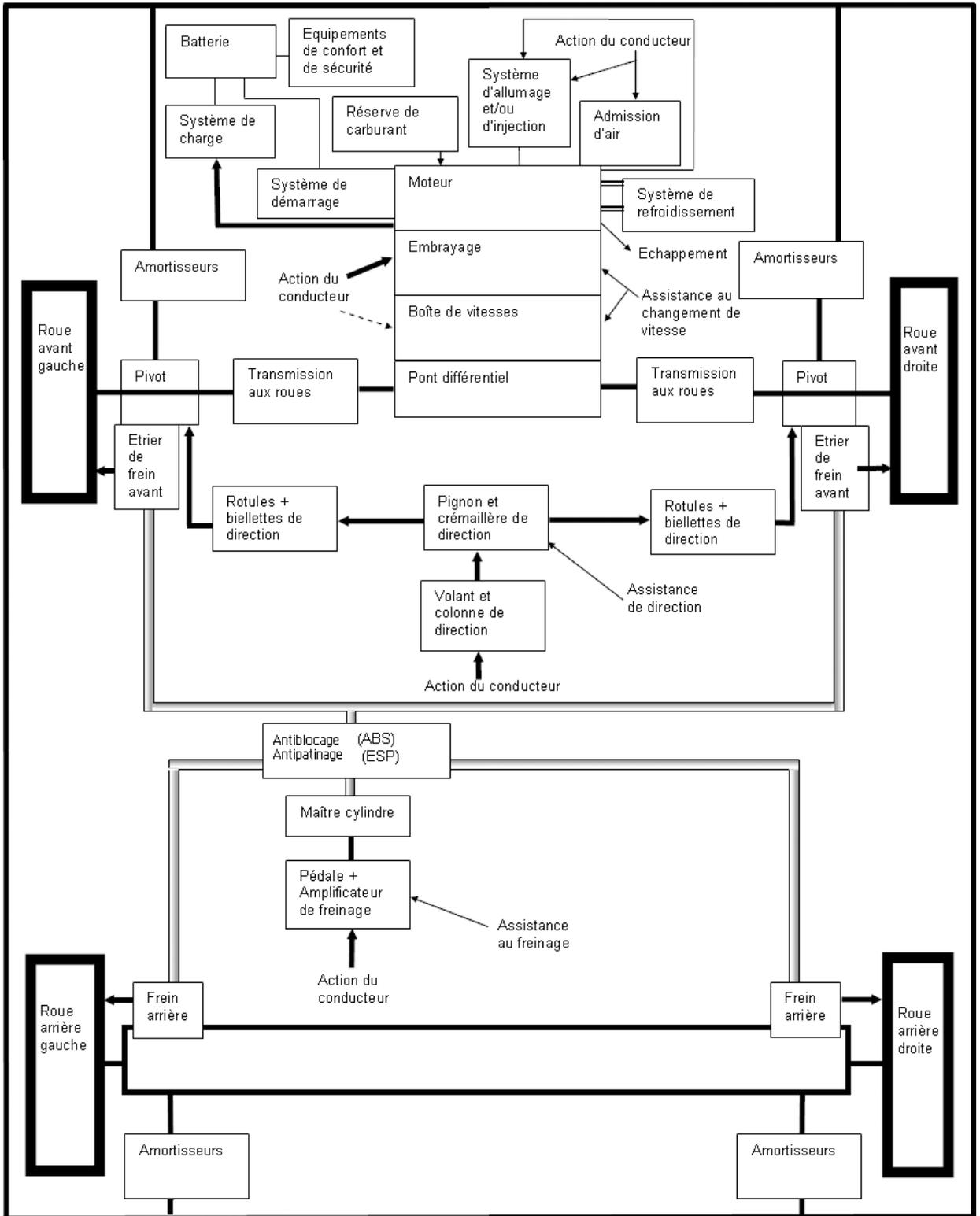


Figure 1.1 – Architecture fonctionnelle d'une automobile.

1.2 Énoncé fonctionnel du besoin (méthode APTE)

L'outil utilisé pour énoncer le besoin est « la bête à cornes » (diagramme APTE).

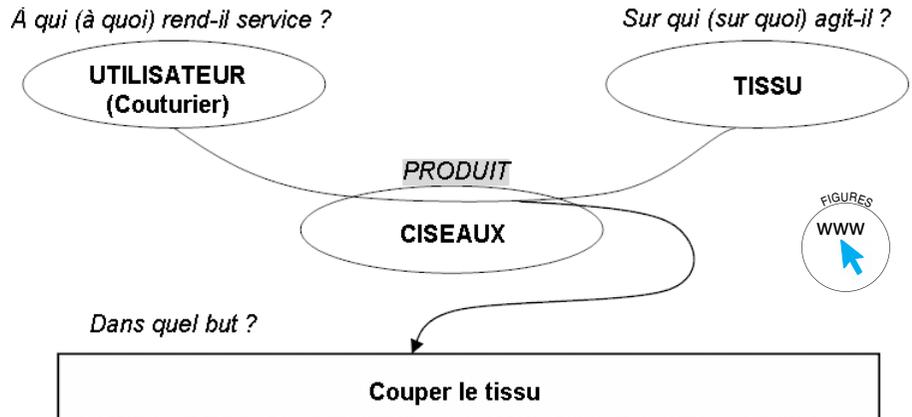


Figure 1.3 – Énoncé fonctionnel du besoin : diagramme « bête à cornes » ou diagramme d'association.

À partir de cela, il ne reste plus qu'à valider le besoin en se posant les questions suivantes :

- Pourquoi le besoin existe-t-il ? (à cause de quoi ?)
- Qu'est-ce qui pourrait le faire disparaître/évoluer ?
- Quel est le risque de le voir disparaître/évoluer ?

Dans notre cas les réponses sont :

- L'utilisation de tissu pour la confection de vêtements, de rideaux...
- La découverte d'un nouveau matériau ne nécessitant pas l'utilisation d'un outil pour le couper ou la disparition de l'habillement.
- Le risque est très faible, voire nul.

Le projet est stable.

1.3 La démarche de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle consiste à **recenser**, **caractériser**, **ordonner**, **hiérarchiser** et **valoriser** les fonctions d'un produit. À partir de cet instant, le besoin est traduit en terme de fonctions.

Pour réaliser cette analyse, il faut déterminer la séquence de vie du produit (utilisation, maintenance...) dans laquelle on se place, et la frontière qui délimite la zone d'étude. On parle alors d'isolement du produit par rapport à son milieu environnant. Pour ce faire, on utilise le diagramme d'association, ou graphe des interacteurs (figure 1.4).

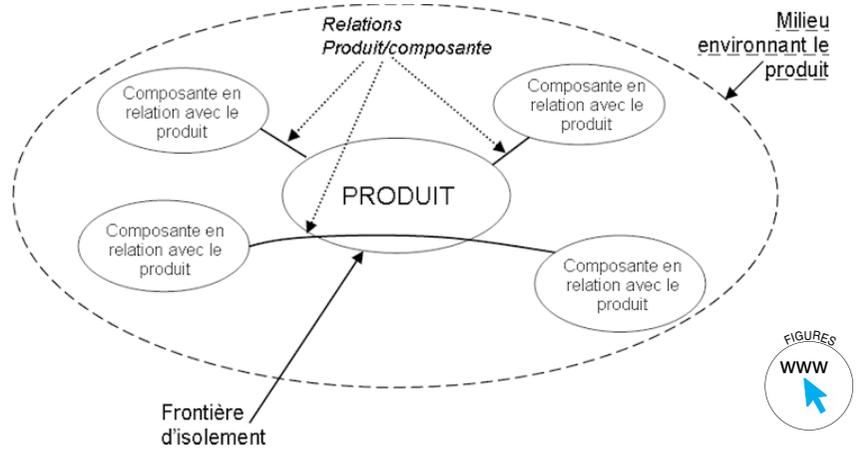


Figure 1.4 – Diagramme d'association.

Les relations entre les différentes parties sont en fait les fonctions du produit. Ces fonctions sont classées en deux groupes :

- les **fonctions principales** : ce pourquoi le produit existe. Une fonction principale relie toujours deux composantes en passant par le produit ;
- les **fonctions complémentaires** : ce qui permet d'adapter le produit à son environnement immédiat. Une fonction complémentaire ne relie le produit qu'à une composante à la fois.

Remarque : Une fonction est toujours exprimée par un verbe à l'infinitif suivi d'un complément d'objet.

Dans notre exemple de la paire de ciseaux, nous obtenons le diagramme suivant (figure 1.5), avec :

- FP1 : Couper le tissu.
- FC1 : S'adapter à l'utilisateur (être facile d'emploi).
- FC2 : Résister à l'usure.
- FC3 : Résister au milieu ambiant.

Toutes ces fonctions définies peuvent être classées par importance et peuvent être appréciées à partir de critères. Cela ne sera pas traité dans ce chapitre.

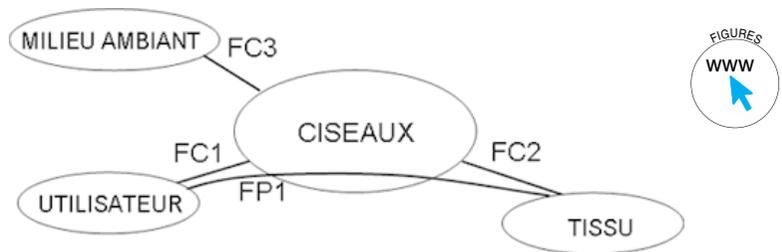


Figure 1.5 – Diagramme d'association « Ciseaux » : séquence conception.

1.4 L'analyse de produits existants

1.4.1 Analyse fonctionnelle descendante (SADT)

■ Description : niveau A-0

L'élément graphique de base est la boîte rectangulaire dans laquelle est inscrite la fonction.

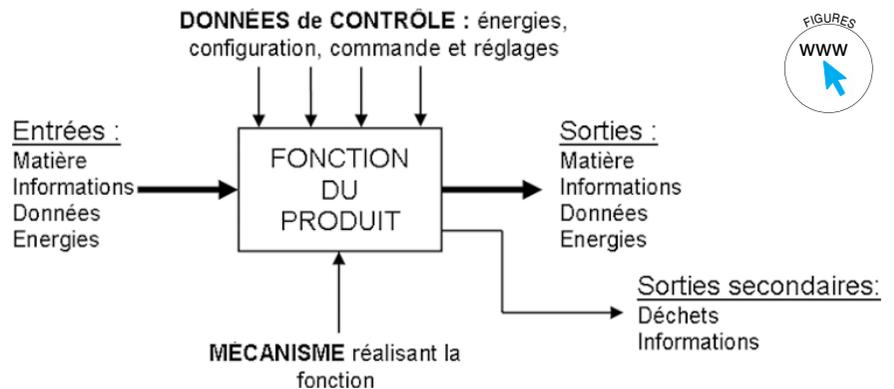


Figure 1.6 – Diagramme A-0 utilisé en SADT.

Remarque : Les entrées se retrouvent toujours en sortie, mais modifiées par la fonction du produit. Dans notre exemple : le tissu est entier à l'entrée, il ressort coupé, la fonction étant **Couper le tissu**. La valeur ajoutée représente la différence de valeur des sorties par rapport aux entrées.

■ Exemple

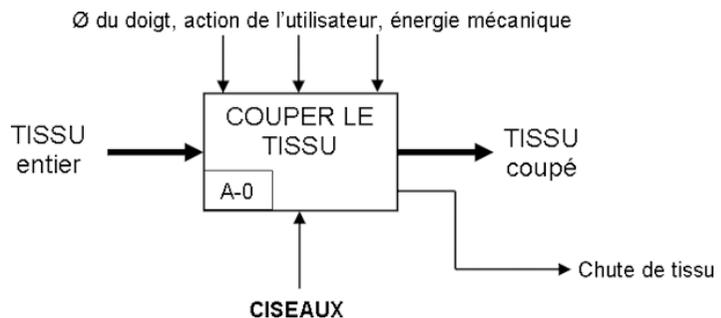


Figure 1.7 – Diagramme A-0 « Ciseaux ».

■ Utilisation et fonctionnement : niveau A0

Cette analyse se fait toujours en partant de la fonction globale du produit pour aller vers le détail (figure 1.8 et exercice type). C'est un effet de zoom. Le premier niveau est le niveau A-0 : fonction globale du système ; en « zoomant » dans cette boîte, on trouve d'autres boîtes (notées A1, A2...). De même, si nous regardons dans la boîte A1, on retrouve d'autres boîtes (notées A11, A12...), et cela jusqu'à ce que le produit soit entièrement modélisé.

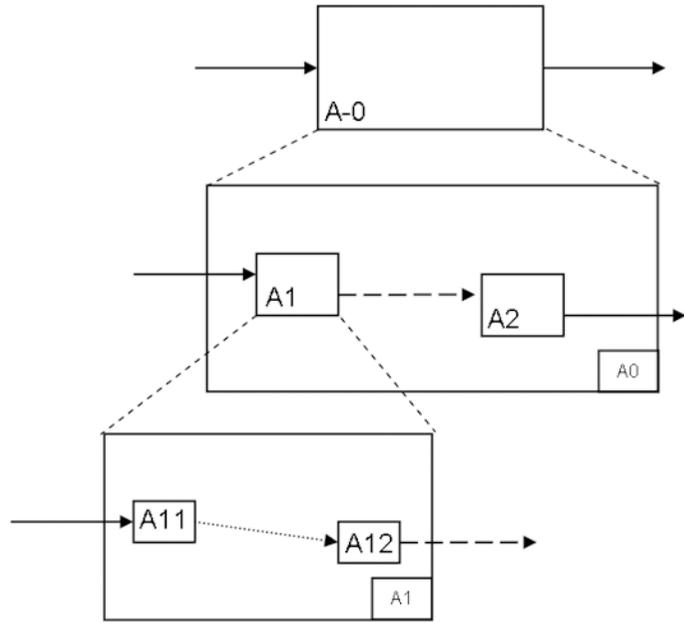


Figure 1.8 – Analyse descendante.

Remarque : Il est utile de préciser le point de vue choisi (utilisateur, concepteur...).

1.4.2 Diagramme FAST

■ Exemple

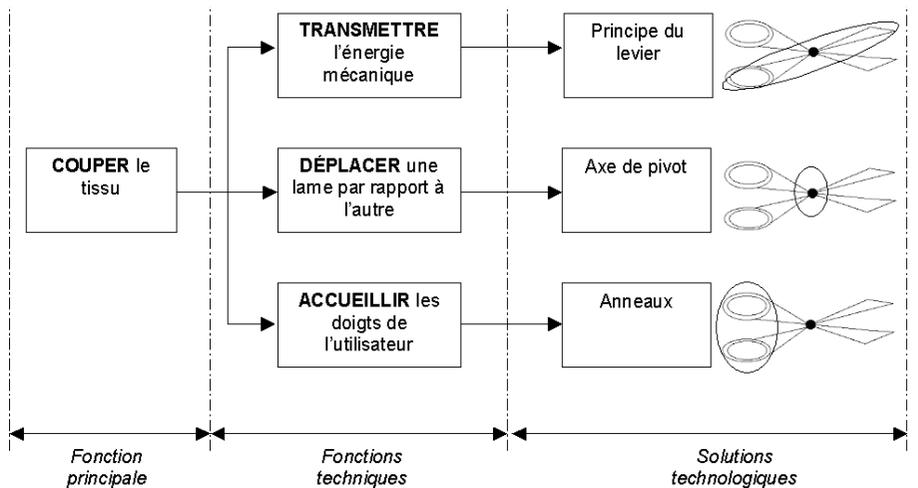


Figure 1.9 – Diagramme FAST « Ciseaux ».

■ Utilisation et fonctionnement

- Pour passer d'une boîte « aval » à une boîte « amont », on pose la question : Pourquoi ?
- Pour passer d'une boîte « amont » à une ou plusieurs boîte(s) « aval », on pose la question : Comment ?
- Pour passer entre deux boîtes verticales, on pose la question : Quand ?

Remarque : Pour les flèches verticales, les fonctions sont réalisées en même temps.

■ Exemple

Pour les ciseaux : quelle est la fonction de l'axe de pivot ? et la solution retenue pour la fonction « Transmettre l'énergie mécanique » ?

1.5 Schéma par bloc fonctionnel

Reprenons l'exemple de la figure 1.1 avec le véhicule automobile. Des **blocs fonctionnels** donnent une vue globale du fonctionnement d'un mécanisme. On peut ensuite regarder dans les boîtes pour voir comment est structuré le sous-ensemble considéré. Par exemple, les freins sont situés au niveau des roues (voir figure 1.1). La structure des freins est décrite au chapitre 19 sur la transmission de puissance.

Exercice type

Le système étudié est un système de production d'électricité par panneaux solaires (figure 1.10).

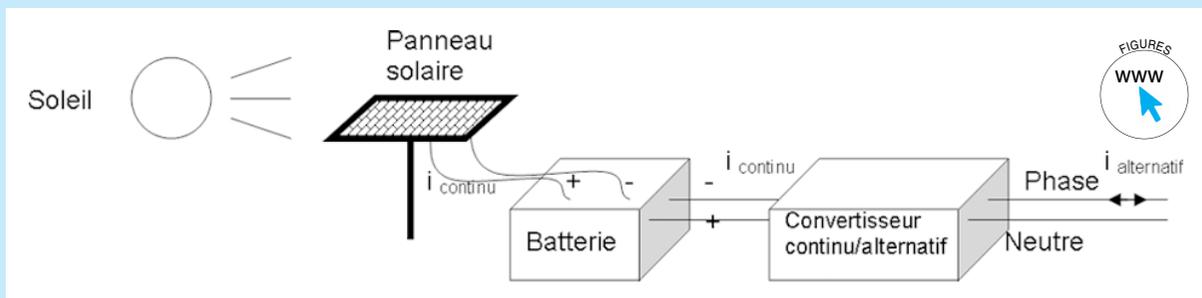


Figure 1.10 – Production d'électricité à partir de l'énergie solaire.

- Q1)** Complétez le diagramme A-0 pour le système de production d'électricité par panneaux solaires au niveau des pointillés (figure 1.11).
- Q2)** Complétez le diagramme A0 (figure 1.12, sur les pointillés uniquement) correspondant au diagramme A-0 (figure 1.11). Mots à utiliser : courant électrique alternatif ; stocker l'électricité ; courant continu ; énergie solaire ; courant continu ; transformer l'énergie solaire en courant continu ; transformer le courant.

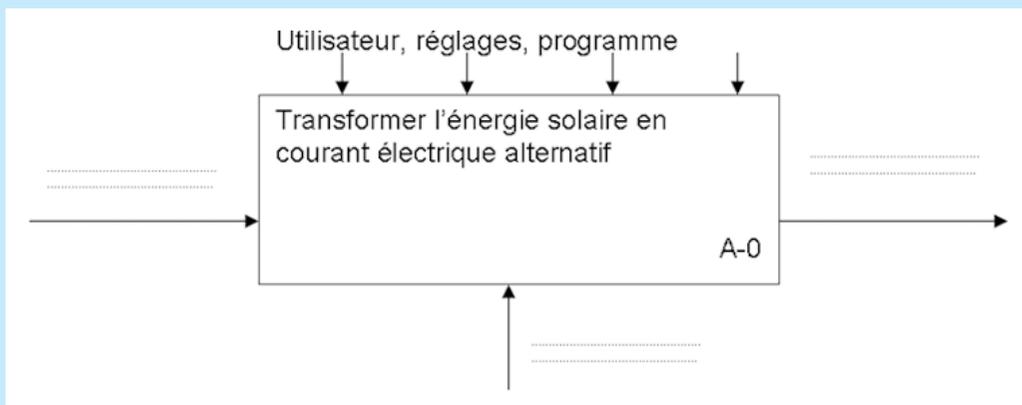


Figure 1.11 – Diagramme A-0 Système de panneaux solaires.

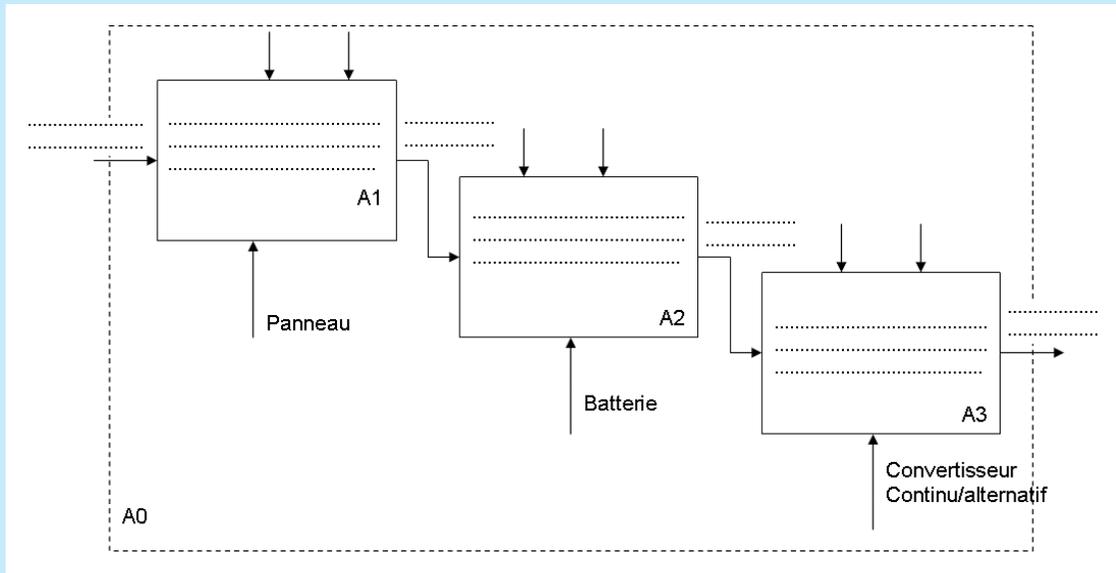


Figure 1.12 – Diagramme A0 Système de panneaux solaires.

Reportez-vous aux réponses page 288.

Entraînez-vous

- Q1) Établissez le niveau A-0 pour la perforatrice ;
- Q2) Complétez le niveau A0 avec les mots suivants : colonne de perforation ; confettis ; feuille non perforée ; énergie manuelle ; feuille perforée ; levier et pivot ; translation de la colonne de perforation.

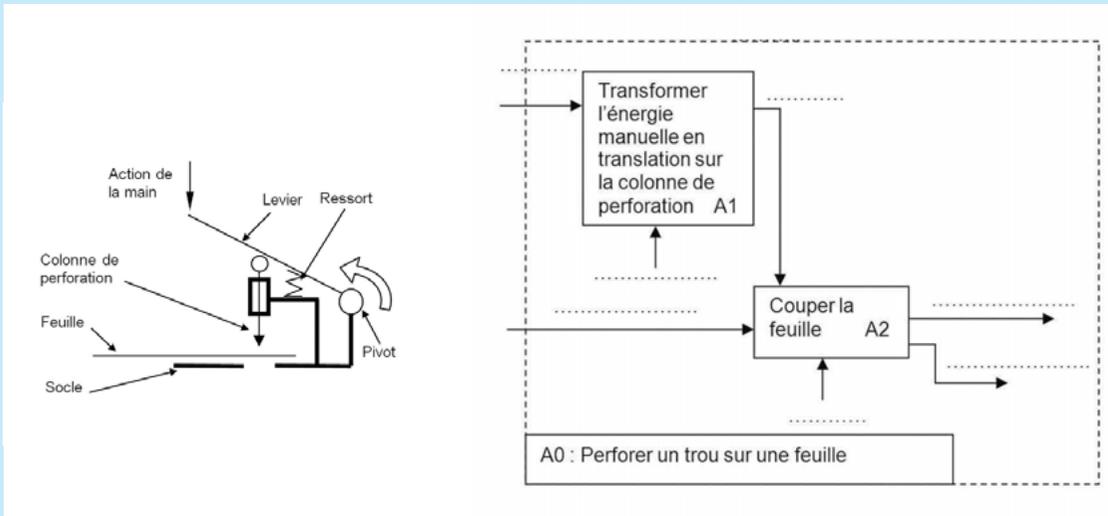


Figure 1.13 – Perforatrice.

- Q3) Complétez le FAST suivant en utilisant les mots suivants : levier et pivot ; rappeler les colonnes en position ; guider les colonnes ; couper la feuille ; transformer l'action de la main en translation sur la colonne ; ressort.

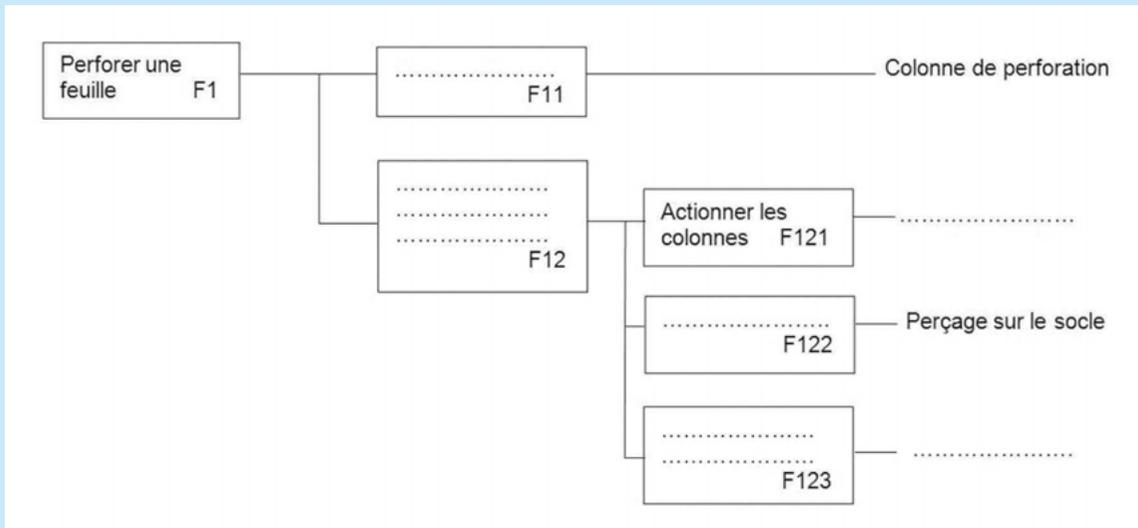


Figure 1.14 – FAST de la perforatrice.

Q4) Complétez le graphe des interacteurs pour la perforatrice de bureau.

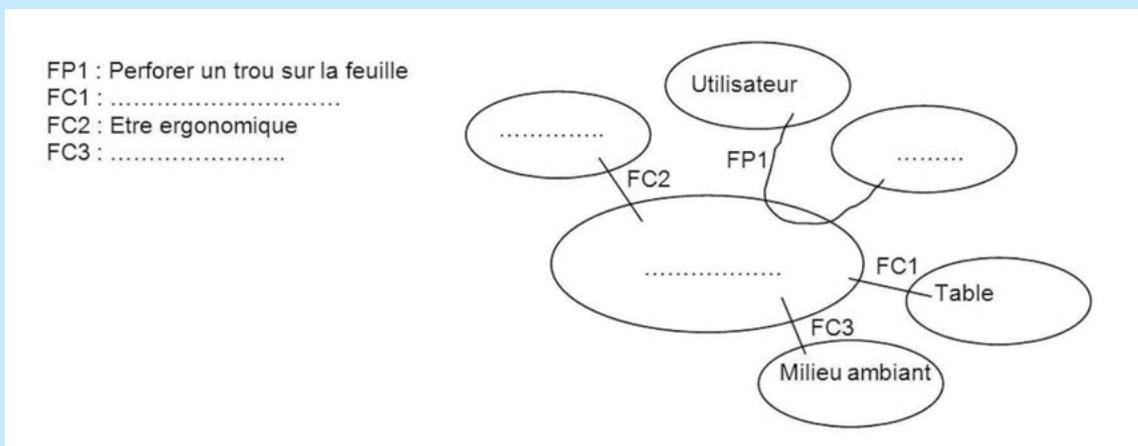


Figure 1.15 – Diagramme APTE de la perforatrice.

Pour aller plus loin

- Réalisez ou complétez des niveaux A-0 et A0 pour tout ou partie des blocs de l'architecture de la voiture.
- Recherche internet par mots clés : « exercice analyse fonctionnelle » ; « SADT » ; « FAST » ; « Graphe des interacteurs ».
- **Voir exercices en ligne.**



