

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 126 (2000)  
**Heft:** 08

**Artikel:** Un défi complexe  
**Autor:** Schmidt, Sébastien  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-81493>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Un défi complexe

( GESTION DE PROJET )

De la «friendly competition between nations», telle que la définit le «Deed of Gift» - charte originale régissant la Coupe de l'America - il ne reste aujourd'hui d'amical que quelques poignées de main lors des conférences de presse. En effet, ce challenge dit «sportif» s'est au cours des années mué en une compétition technologique à outrance, longtemps dominée sans partage par les Etats-Unis.

Si les intérêts humains (pour ne pas dire égoïstes) d'aujourd'hui ressemblent fort à ceux de l'époque, les enjeux financiers et technologiques ont considérablement évolué et se rapprochent de plus en plus de la F1 automobile, bien que les retombées commerciales ou économiques ne soient pas attendues dans les mêmes domaines<sup>1</sup>. L'époque des défis amateurs est bel et bien révolue: cette compétition requiert aujourd'hui la mise sur pied de véritables entreprises, menées comme telles, avec des effectifs importants et des budgets de plus en plus lourds, ne serait-ce que pour prétendre y arriver<sup>2</sup>. A cela s'ajoute la complexité intrinsèque du problème technologique, de ses composantes scientifiques et physiques, mais aussi et surtout, les difficultés organisationnelles et relationnelles, le fameux «facteur humain».

Depuis sa première édition en 1851, la Coupe de l'America est une compétition entre voiliers qui se déroule à chaque fois de la même manière: tous les trois ou quatre ans (dans l'ère moderne), le pays, ou plus exactement le Yacht Club, détenteur du trophée reçoit le défi de plusieurs prétendants (ou *Challengers*). Ces derniers s'opposent préalablement entre eux et seul le vainqueur affrontera en duel le détenteur (ou *Defender*), laissant pour tout classement un vainqueur et des vaincus. «Qui est second ?» demanda la reine Victoria en 1851 en voyant la goélette «America» franchir la ligne d'arrivée en tête; «Il n'y a pas de second, Majesté» s'entendit-elle répondre par un officier.

La première victoire non-américaine n'eut lieu en effet qu'en 1983: le *challenger* australien fut le premier de l'histoire à battre le *defender* américain après cent trente-deux années de compétition et vingt-cinq éditions de la course.

### Complexité du problème

Le voilier possède la particularité d'évoluer au sein et entre deux fluides: l'eau et l'air, avec, pour corser la difficulté, des interactions fortement perturbatrices entre ces deux milieux, contraintes que ne connaissent ni un aéronef, ni une voiture automobile. Le bateau tire son énergie propulsive de la vitesse de l'air, loin en hauteur, et son châssis prend appui sur l'eau, en profondeur, selon un écheveau de forces hydrostatiques et hydrodynamiques, équilibrées en fin de compte par le balancier du lest.

Une fine compréhension de ces phénomènes, par la mise en œuvre de processus de recherche, permet de résoudre une grande partie de l'équation, mais ce n'est pas suffisant. Il faut encore intégrer les paramètres dits «connexes», c'est-à-dire tout ce qui ne fait pas directement partie du problème physique à priori, mais permet de gagner des poignées de secondes en régate. Il s'agit notamment de l'ergonomie des manœuvres de l'équipage, ou de la météorologie, par exemple, qui permet une meilleure définition probabiliste de ce milieu particulier air-eau qui évolue en permanence, avec des périodes de l'ordre de la dizaine de minutes.

Ainsi, pendant les périodes de courses, Bob Rice - météorologue de l'équipe néo-zélandaise victorieuse cette année, alias «le sorcier» -, observait tous les matins dès deux heures trente l'évolution des oscillations et bascules<sup>3</sup> du vent, des influences thermiques, des vagues et des courants sur le plan d'eau de la baie d'Hauraki, puis diffusait ces informations après synthèse à l'équipage pour les derniers choix techniques, jusqu'à seulement quelques minutes du coup d'envoi de la régate, aux environs de treize heures.

### Les limites de la démarche architecturale conventionnelle

Il n'y a pas si longtemps, la conception d'un tel bateau relevait de l'«Œuvre» d'un architecte éclairé, qui détenait à lui seul toutes les clés du système. Projet après projet, défi après défi, les quantités d'informations à traiter dépassèrent rapidement les capacités d'un seul cerveau, fût-il génial, et le concepteur se voit contraint, aujourd'hui, de «se concevoir lui-même», par assemblage complémentaire de plusieurs capacités ou compétences.



Fig. 1: « Astérix chez les Helvètes », ©2000-Les éditions Albert René/Gosciniy-Uderzo

Fig. 2: La construction d'un cerveau global

Outre ses limites physiologiques, l'architecte naval n'a en effet qu'une connaissance limitée des différents domaines intervenant dans la conception d'un voilier de compétition; il devrait par contre avoir la capacité de gérer cette nécessaire pluridisciplinarité, grâce à une bonne compréhension des interactions et à cette fameuse, indispensable et difficile «vision du tout», dont parlait un autre éclairé<sup>4</sup>.

Or, comme on a pu l'observer plusieurs fois, l'espoir de constituer un groupe plus puissant par l'addition d'architectes ne permet pas de multiplier les capacités-cerveaux, ni de pallier les lacunes au niveau des connaissances scientifiques. Un tel amalgame devient rapidement superfétatoire et ne fonctionnera plus qu'avec une efficacité voisine de celle affichée par le fameux groupe de médecins appelés au chevet du questeur Malosinus (fig. 1).

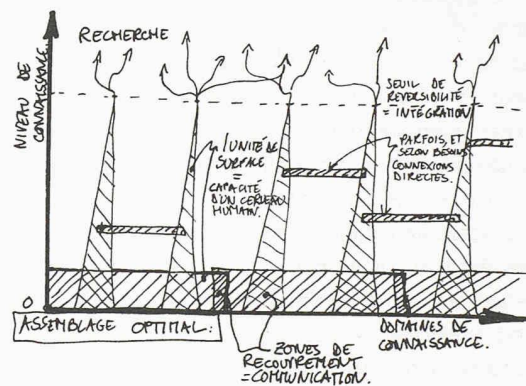
A l'autre extrême, une démarche de conception gérée par un groupe de spécialistes pêche rapidement par son manque de coordination et son absence de discernement et de stratégie globale, chaque spécialiste cherchant naturellement à optimiser son domaine propre, sans établir de ponts entre disciplines. C'est la structure même que nous avons trouvée à l'EPFL en arrivant: des connaissances extrêmement pointues dans les différentes branches scientifiques, mais très peu d'interdépendances dans les domaines qui nous concernaient. Or, l'établissement de connexions pluridisciplinaires actives constitue la trame, la structure même d'une telle démarche d'optimisation.

Un exemple: il ne servirait à rien d'étudier en aérodynamique quels seraient les profils de voile idéaux si l'on n'y intégrant pas les limites de ce que la structure de ces voiles serait prête à supporter. Un système de couplage aéro-élastique fonctionnant par itération a donc été mis en place, où les déformations de la structure sous charge modifient les formes aérodynamiques, qui produisent à leur tour de nouveaux champs de pression, qui influencent à nouveau la structure, et ainsi de suite jusqu'à convergence vers un équilibre.

## Une structure de fonctionnement «moléculaire»

Cette nécessité de composer avec du «pluridisciplinaire à connexions actives» écarte *de facto* les anciens modèles de fonctionnement verticaux ou pyramidaux, dits «militaires», car trop lents<sup>5</sup> et surtout sources de pertes d'informations, de même que les modèles horizontaux dits «démocratiques», où trop de cerveaux qui ne sont pas directement concernés par le problème ont voix au chapitre, ce qui limite drastiquement la capacité d'action et de progrès.

Il existe peut-être de meilleures structures, mais à ce jour, le modèle le plus performant que nous avons trouvé dans l'assemblage des capacités de différents cerveaux vers la construction d'un cerveau global - sorte de multi-processeurs humain - fonctionne de manière tridimensionnelle comme un mélange de micro-pyramides hiérarchiques et décisionnelles, et de connexions directes selon des besoins immédiats (fig. 2).



2

Le ou les architecte(s) et stratège(s) élaborent une stratégie d'ensemble en fonction de leur expérience et de leur compréhension minimale des multiples paramètres à intégrer, ce qui devrait permettre d'effectuer une première sélection parmi les innombrables possibilités qu'il peut y avoir à jouer avec les différents facteurs de vitesse contradictoires d'un voilier.

Ensuite, et (si possible) un peu avant qu'ils n'atteignent leurs seuils d'incompétence, ces généralistes passent le relais aux spécialistes dont la mission est de tester, simuler, calculer les modèles retenus afin de pouvoir apporter des éléments de décision plus précis et d'affiner les options possibles pour des choix ultérieurs. Le processus fonctionne ainsi en boucles itératives, jusqu'au moment - le plus tardif possible - de la mise en chantier des organes fondamentaux du bateau, le

<sup>1</sup> Des retombées « territoriales » sont attendues par le pays hôte du club «Defender», à l'image des jeux olympiques.

<sup>2</sup> Le budget d'une campagne comme celle des Italiens de Prada, finalistes cette année, a été estimé entre 50 et 80 millions de francs suisses (avec une équipe sur place de près de 80 personnes), alors que Fast 2000 a dû fonctionner avec environ 15 millions de francs (et une trentaine d'équipiers). Un bateau lui-même vaut 5 à 6 millions de francs.

<sup>3</sup> Les changements de direction du vent sont appelés « bascules », les variations cycliques autour d'une même moyenne sont appelées « oscillations ».

<sup>4</sup> Le CORBUSIER, « Vers une architecture »

<sup>5</sup> Le temps alloué à la conception des nouveaux voiliers entre deux compétitions étant relativement court, sa bonne gestion et son optimisation font partie des chemins critiques d'un tel projet.

processus de recherche restant actif par la suite sur toutes les voies de développement, c'est-à-dire sur tout ce qui, en pratique, pourra encore être modifié sur le bateau en Nouvelle-Zélande jusqu'à la veille des régates.

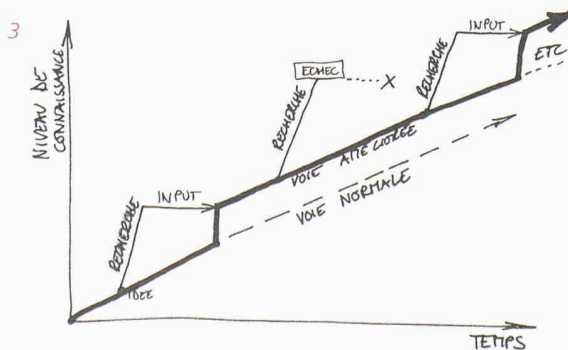
### L'intégration nécessaire de la recherche au processus de projet

Un processus de projet traditionnel, au cours duquel actions et choix effectués par les concepteurs (*outputs*) sont le produit du réservoir de cultures et de connaissances préalablement accumulées (*inputs*), ne peut accoucher que d'un résultat, certes performant, mais insuffisant par rapport à celui des adversaires qui auront le mieux réussi à élever leur seuil de compréhension des phénomènes physiques par un apport judicieux de progrès scientifiques.

Pour résoudre cette contradiction entre le processus de conception basé sur les connaissances existantes (donc déjà en retard) et la démarche de recherche, en avance, mais dont on ne possède encore aucun acquis, on construit un plan de travail à développement linéaire, dont la colonne vertébrale est constituée de démarches et d'outils conventionnels, sur lesquels les actions de recherches se greffent en parallèle (fig. 3).

Si une démarche de recherche génère un progrès, elle injecte son produit et permet au processus de grimper d'un cran dans le niveau de connaissance. Si au contraire elle part dans les limbes, ou si les perspectives ouvertes se révèlent ingérables en termes de budget, capacités ou délai, on l'écarte ou on la conserve dans un dossier pour une prochaine campagne, mais le processus de projet - la colonne vertébrale - ne s'en trouvera pas affecté. Au pire, il aura progressé plus lentement, mais sa dynamique ne s'en trouvera pas cassée.

De cette manière aussi, les chercheurs sont libres d'agir sans devoirs immédiats d'application, ce qui limiterait leur marge de progression ou leur liberté de raisonnement. Rôle est donné au coordinateur de projet de maintenir une connexion douce et active entre les deux activités.



### La création d'un outil global

La complexité physique du comportement d'un voilier de type Classe America requiert au moins la même complexité dans la conception et la gestion des outils d'analyse. Aussi pointues que puissent être les capacités informatiques aujourd'hui, on ne peut que constater l'absence d'un outil global, au même titre que l'absence de cerveaux à la fois pointus et pluridisciplinaires, ce qui oblige le groupe de concepteurs à inventer ses instruments, de la même manière qu'il avait à concevoir un cerveau multi-processeurs. L'outil n'est, en fin de compte, qu'un prolongement extensif de la main ou du cerveau de l'homme.

Dans le cas de cette campagne, sur deux ans de travaux, presque une année a été nécessaire à la conception d'un outil global, dont les éléments constitutifs sont illustrés à la figure 4. L'apprentissage expérimental des potentiels et lacunes des différents outils, la classification «conventionnelle» ou «recherche» de chaque élément, l'intégration de ce que l'on peut tirer de chacun pour nourrir l'autre, a été l'une des difficultés majeures rencontrées au cours de cette campagne, à tel point que parfois, l'attention était plus concentrée sur la résolution de problèmes techniques hors «stratégie de projet», que sur celle du problème scientifique lui-même. La bonne gestion des outils sera une des clés d'un prochain défi.

### Le cas particulier de FAST 2000

Ces beaux préceptes sont faciles à exposer, mais en pratique, lorsqu'il s'agit de concrétiser, intervient l'incourable facteur humain: comment sélectionner les bonnes personnes? Sauront-elles favoriser l'intérêt du groupe au détriment de leurs propres aspirations? Auront-elles la capacité à travailler ensemble?

Questions triviales mais essentielles. On a beau se moquer du football, mais de récents exemples ont été impressionnants de réussite à ce niveau<sup>6</sup>. En effet, s'il est déjà difficile de façonner son propre cerveau vers plus d'équilibre, de coordination et de performances, que dire des affres liées à l'assemblage de plusieurs unités ?

La figure 5 montre ce que nous avons «réussi» à monter en fonction de nos possibilités financières et temporelles. Expérience faite, le succès d'un projet comme celui-ci passe d'abord et avant tout par la réussite de l'assemblage humain. La technologie et les finances, contrairement aux apparences, ne sont que des vecteurs d'extension et de développement des compétences de ce noyau cellulaire.

Dans le cas de *Fast 2000*, les aléas financiers ont certes joué un grand rôle; ils ont été à l'origine de perturbations majeures et destructrices, comme s'il s'agissait de coupures de carbu-

Outils	Description	Atouts	Lacunes
« Shipflow »	Logiciel (dit code panneaux) d'analyse des champs de pression autour d'une coque en déplacement à la surface de l'eau.	Génère la surface libre, c'est-à-dire le calcul des champs de vagues induites par le déplacement	Incapable d'intégrer la viscosité du fluide, donc la résistance friction
« Fluent »	Logiciel (dit code Navier-Stokes) d'analyse tridimensionnelle d'écoulement.	Intègre la viscosité du fluide, donc est capable théoriquement de chiffrer la résistance de friction. Visualisation des écoulements.	Incapable de générer la surface libre, c'est-à-dire la déformation du plan d'eau (champ de vagues) sous les pressions différentielles.
Essais en soufflerie	Passage de maquettes à grande échelle (1:2)	Nombre de Reynolds (= échelle d'écoulement) très proche du réel. Appendices suffisamment grands pour pouvoir être sérieusement considérés.	La surface libre, c'est-à-dire la déformation du plan d'eau sous les pressions différentielles, n'est pas intégrée.
Bassins de carènes	Maquette à petite échelle trainée aux conditions de gîte et de lacet requises.	Déformée de la surface libre (champ de vagues) très réaliste.  Traînée globale, y compris la traînée induite et la traînée d'interaction prise en compte.	Echelle trop petite pour obtenir de bons résultats sur les appendices. Lois de similitudes difficiles à gérer. Impossible de différencier les différents types de résistance autrement que par déduction.
Mesures à bord	Jauge de contraintes, caméras.	Intégration du comportement dynamique.	Coûts. Impossibilité de changer facilement de configuration,
Maquettes navigantes	Voiliers navigants de conception similaire, mais à échelle réduite.	Intégration du comportement dynamique.	Coûts. Limité par le règlement.
Cerveau humain		Permet d'effectuer une sélection par le bon sens et l'expérience. Permet par l'intelligence d'effectuer des parcours à contre-courant (recherche d'optimums par chemins détournés)	Se limite à son champ de connaissances scientifiques. Seuil d'incompétence.

rant aux moteurs respectifs (comment en effet faire monter un délicat soufflé au milieu de courants d'air?), mais ils n'ont pas été les seules lacunes, nous avons failli sur trois points au moins.

1. Au niveau de la structure de fonctionnement au sein de l'équipe, certaines personnes ont considéré les connexions directes dont nous avons parlé comme des pertes de pouvoir, ce qui a développé des manœuvres politiciennes inutiles et contre-productives. Questions d'égos, de culture et de différences de générations, sans doute.
2. Une des voies de recherche<sup>7</sup>, telle que présentée dans le graphique de la figure 3, s'est avérée tellement prometteuse, que nous en avons perdu le sens des réalités. Une innovation technologique ne peut en effet apporter un avantage concurrentiel que si tout le reste se situe au moins au même niveau. Le fait de croire qu'un «trou de jauge» ou l'exploitation d'une idée originale peut supplanter tout le reste s'avère être une grossière erreur. En cinq ans, les autres défis ont gagné quelque huit à neuf pour cent de vitesse avec des configurations classiques, ce

qui est énorme. A notre décharge, tous nos outils ont mesuré sur notre modèle des gains substantiels par rapport à une configuration conventionnelle.

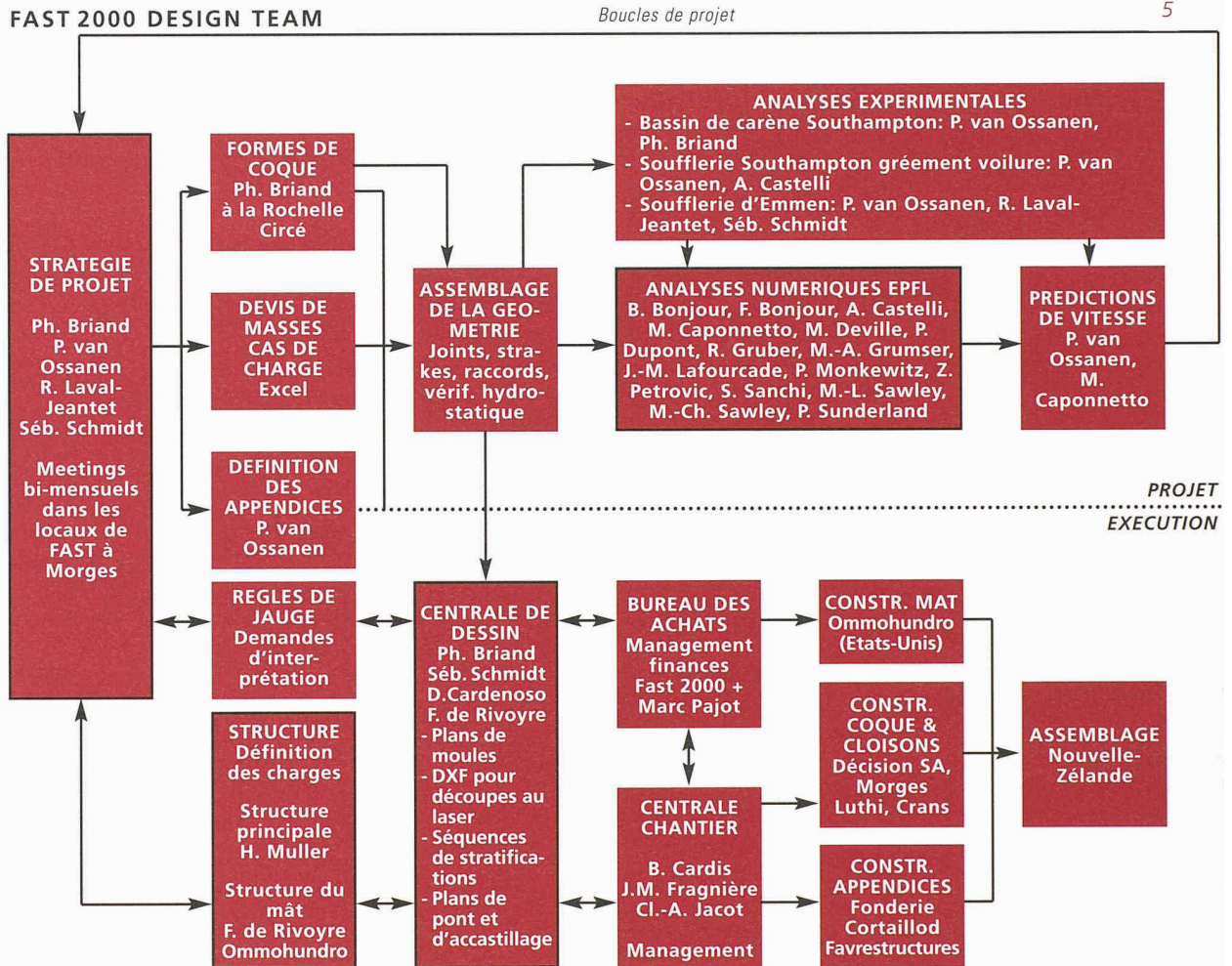
3. A aucun moment, la question pragmatique du « match-racing » n'a été concrètement envisagée: couvrir un adversaire, le contrôler, démarrer plus vite que lui, l'étouffer, bref, comment «tuer» son adversaire de duel. Ainsi, par exemple, les pertes dues au manque de manœuvrabilité lors des phases de départ n'ont pas été comptabilisées dans les prédictions de vitesse, bien que ce défaut de manœuvrabilité ait été quantifié par des études sur l'inertie en rotation du système. C'était oublier que la validation d'une configuration «exotique» comme celle de la double quille aurait nécessité au moins autant de temps de développement qu'une configuration classique, ce qui n'a pas été possible.

<sup>6</sup> Roy Hogson et l'équipe de Suisse, qualification pour le mondial 1994; Aimé Jaquet et l'équipe de France, phase finale du Mondial 1998

<sup>7</sup> L'idée de la configuration tandem/double bulbe, voir l'article suivant de Peter van Oossanen

Fig. 5: Organigramme du projet Fast 2000

Fig. 6: L'équipe Fast 2000, en pleine manœuvre (photo de Jean-Guy Python)



Pourquoi n'avons-nous pas intégré normalement ces paramètres pratiques? La réponse tient dans la relecture du contexte: un petit défi, perturbé par un défaut chronique de

trésorerie et donc par voie de conséquences en retard sur un planning optimal, voit se poindre une grande marge d'amélioration. Le choix s'est donc fait entre, d'une part, une configuration classique dépourvue d'espoirs de victoire au vu de l'état de préparation et de progression des autres et, d'autre part, une configuration «exotique», prometteuse, risquée, mais recelant au moins des chances, ou plutôt un potentiel pour gagner des régates.

### Conclusion

Sans naïveté aucune, l'amélioration de l'esprit d'équipe - carence génétique des Suisses et force absolue des Néo-Zélandais - sera essentielle pour la bonne performance d'un prochain défi, de même que la résolution des problèmes de fonctionnement des outils.

Il reste des pains de mousse sur la planche à découper...

6

