

Si l'inauguration du hall d'assemblage de l'Airbus A 380 par le Premier ministre Jean-Pierre Raffarin, en mai, a reçu un écho mérité dans la presse nationale, en revanche, personne ne s'est penché sur le travail de fourmi réalisé pour modéliser son éclairage. Visite virtuelle à Toulouse.

AIRBUS A 380 Un modèle d'éclairage ergonomique

« **C'**est la première fois que nous faisons appel à un logiciel de simulation développé par des éclairagistes pour concevoir l'éclairage d'un atelier, annonce Bernadette Bernadou, responsable de l'ergonomie industrielle sur le site d'Airbus à Toulouse. On a peu l'habitude de se tourner vers ces professionnels pour étudier les postes de travail. Pourtant, je trouve cela fondamental, surtout pour un projet aussi complexe que l'assemblage de l'Airbus A 380. »

En 2002, Airbus sollicitait en effet les ingénieurs du CSTB pour élaborer, parallèlement à la modélisation des postes de travail, celle de leur éclairage dans le hall d'assemblage de son gigantesque bébé. La copie a été rendue au début de l'année 2004, et le hall inauguré par le Premier ministre Jean-Pierre Raffarin le 7 mai.

« J'ai fait appel au CSTB, poursuit l'ergonome, parce qu'il dispose de moyens très puissants et de compétences d'ingénieur. Le fournisseur de lumi-

naires nous avait d'abord proposé une simulation qui ne prenait pas en compte la totalité des exigences de notre cahier des charges. Son projet éclairait un hall et non une plate-forme de travail. La particularité du travail que nous avons demandé au CSTB était de proposer des solutions centrées sur l'activité : l'outil et le geste des compagnons. Il s'agissait d'assurer non seulement l'éclairage général, mais aussi l'éclairage de zones particulièrement sensibles et spécifiques. »

Poupées russes

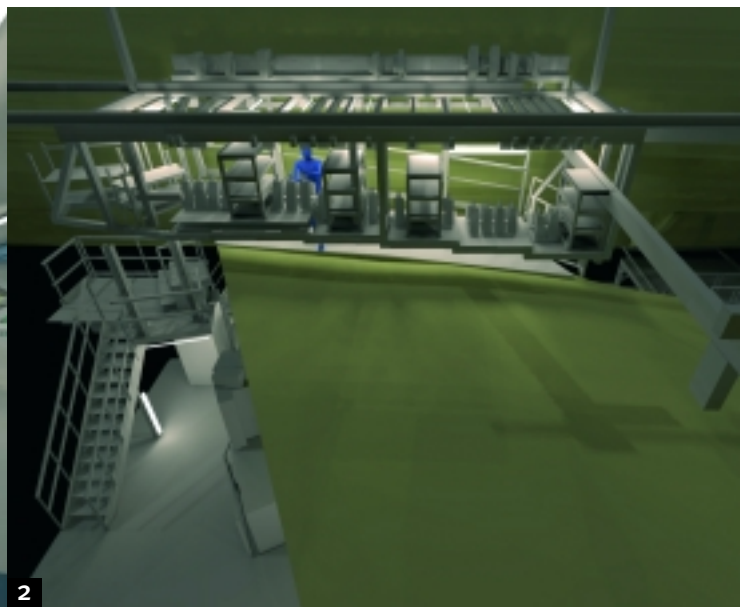
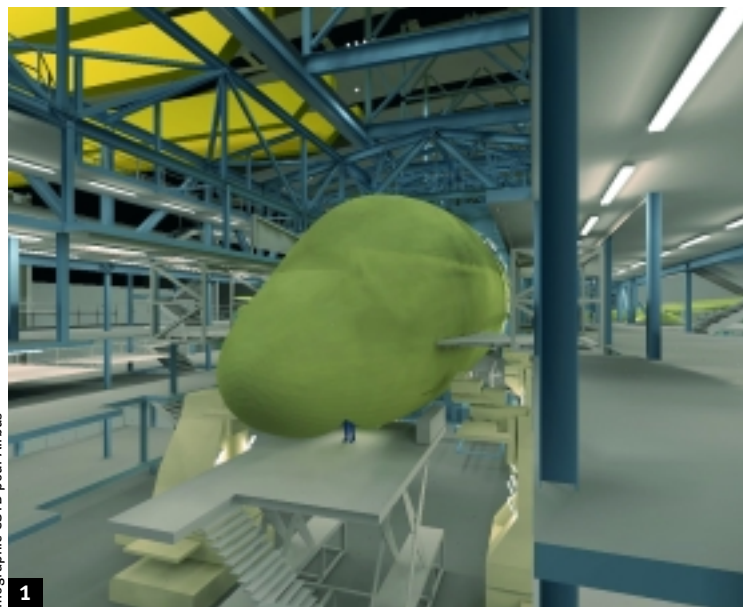
De fait, l'entreprise est extrêmement complexe et le projet hors normes. Premier point : pour assembler le plus gros avion long courrier du monde – 500 à 650 passagers, des ailes de 25 mètres, 16 000 km sans escale –, il faut un abri à sa mesure : le hall S7X est haut de 15 étages, large de 120 m, long de 250 m. L'outil de production – le poste avion – n'est pas en reste : cette plate-forme complexe et mobile, installée dans le hall, comporte elle-même 5 étages. « Il faut donc éclairer l'équivalent d'un immeuble dans l'immeuble, avec des zones d'ombre, des réflexions, explique Michel Garcia, ingénieur de la division Eclairage et colorimétrie du CSTB. Il faut pouvoir tenir compte de l'interaction homme, machine, environnement. » En

bref, rien qui puisse se faire "à la main" ou avec de petits moyens informatiques.

Deuxième point : les opérations menées par les compagnons sont elles-mêmes compliquées et délicates. « Ils travaillent sur des milliers de trous, avec une précision de l'ordre du 100^e de millimètre. Du fait de la forme même de l'avion, l'accessibilité à la zone de travail est difficile, la visibilité et la liberté de mouvement sont réduites. Cependant, l'obtention de la qualité est l'élément majeur pour la construction aéronautique », développe Bernadette Bernadou.

Les ergonomes d'Airbus ont donc expliqué aux spécialistes du CSTB quelles tâches accomplissaient les compagnons et quels gestes ou déplacements ils étaient amenés à faire. « Une dizaine de zones dans lesquelles l'activité des opérateurs était particulièrement sensible aux conditions d'éclairage ont ensuite été définies. Nous avons étudié un certain nombre de données comme l'angle de vision du détail, le niveau de précision requis lors de l'usinage, de l'assemblage ou du contrôle, le nombre de personnes présentes, la géométrie des postes de travail – la place disponible, l'accessibilité. » A quoi s'ajoutaient des indications concernant l'activité elle-même : par exemple, l'empoussièrement généré par le perçage de matériau

Airbus a déterminé une dizaine de zones où l'activité est sensible aux conditions d'éclairage.



carbone sandwich des ailes. « Ceci – mais c'est du bon sens – nous donne d'emblée une indication sur l'impossibilité de placer un luminaire à proximité », commente Michel Perraudou, ingénieur à la division Eclairage et colorimétrie du CSTB. Ce recensement fut assorti d'exigences photométriques : un IRC très élevé (< 95), une température de couleur de 4 000 K, 500 à 1 000 lux sur la zone à éclairer. « Il nous fallait non seulement un niveau d'éclairage très important sur la tâche, mais une température de couleur et un IRC adaptés aux différents contextes colorés (fond jaunâtre des enduits de protection des tôles, codes couleurs sur les différentes pièces, visseries, câblages avion) », explique Bernadette Bernadou. Enfin, les ergonomes ont fourni la modélisation de la plate-forme d'assemblage.

Modèles et lumières

Dans le hall virtuel, équipé de son outil virtuel, le CSTB devait disposer des sources, et les tester. « La première difficulté fut d'importer ce modèle, réalisé sous le logiciel Catia, qui donne la géométrie de l'ensemble, dans notre propre logiciel 3D de simulation d'éclairage Phanie, pour pouvoir associer aux surfaces des propriétés photométriques », indique Samuel Carré, ingénieur développement du logiciel de simulation d'éclairage Phanie, du CSTB.

Partant du cahier des charges défini par les ergonomes, l'équipe du CSTB a donc mené l'étude d'éclairage sur les 10 zones, en commençant par intégrer les apports d'éclairage naturel à travers les structures complexes comme la charpente, et en tenant compte des inter-réflexions potentielles (notamment pour éviter l'éblouissement des compagnons), des propriétés photométriques des matériaux (bâtiment,

outillages, structure interne). Puis la même opération a été répétée pour l'éclairage artificiel, en axant les calculs sur l'éclairage du poste de travail, le type de travaux et l'ergonomie visuelle (uniformité, etc.). Un travail long et pointilleux car, calculer l'impact de l'éclairage naturel, source au flux lumineux changeant, à spectre large, n'est pas facile. Pas plus que le niveau de détail demandé, allant jusqu'à la modélisation des ombres portées par les compagnons, ne facilite le processus. Quant aux contraintes associées à la géométrie du poste de travail, ou la modification en cours d'étude des plates-formes d'outillage, elles ont parfois rendu la tâche ardue. Mais les ergonomes d'Airbus ont su, lorsque c'était possible, assouplir leur propre modèle ergonomique pour faire place aux appareils d'éclairage. Ce fut le cas pour le poste de jonction de la partie inférieure des ailes (intradors) : « Nous ne pouvions implanter de luminaires à cet endroit. Il n'y avait pas de place. Des fibres optiques de 6 mm de diamètre avec un embout de 10 mm ont été implantées directement dans l'outil de travail, à raison d'environ 50 terminaisons par côté d'aile. La tâche reçoit un millier de lux, et l'éclairage est non éblouissant », poursuit Michel Perraudou. Bernadette Bernadou de se féliciter : « L'avantage de la simulation, c'est que nous pouvons intervenir sur l'outil de travail, tester les modifications, parce qu'il n'existe pas encore. »

Puissance et dialogue

La modélisation avait non seulement pour but de gérer vite une énorme quantité de données, mais aussi, grâce à la simulation, de constituer à la fois un outil de tests et un outil de dialogue. « Phanie peut présenter la même scène sous forme de données chiffrées scientifiques (niveaux d'éclairage,

Les zones

- Cage train atterrissage avant
- Cage train d'atterrissage fuselage
- Cage train d'atterrissage aile
- Jonction voilure extradors (x 2)
- Jonction voilure intradors (x 2)
- Jonction fuselage
- Distribution des moyens d'usinage
- Dérive
- Accès mâts (x 2)

rendu de couleur...) représentées de façon simplifiée, ou procéder à sa reconstruction à partir du calcul spectral et générer une image photo-réaliste, en vraies couleurs, avec un rendu d'image très fin, dans laquelle il est possible de naviguer en 3D et en temps quasi réel. Ce dernier mode de visualisation est destiné au dialogue », précise Samuel Carré. Trois versions par poste en moyenne ont été présentées à Airbus.

Pour pouvoir brasser autant de données, le logiciel Phanie a été boosté. De nouveaux algorithmes très puissants lui permettent ainsi de gérer 2 millions d'éléments de surface, soit un triplement du nombre de mailles de calcul dont il disposait auparavant. Il tourne sur un simple PC, à monoprocesseur de 1,8 GHz, doté d'1,5 Go de mémoire.

Airbus n'a pas encore procédé aux mesures *in situ* pour vérifier l'adéquation de la réalisation au modèle. Et pour cause. L'avion prototype que le hall abrite, destiné aux tests de résistance mécanique, n'est pas encore représentatif des conditions réelles de travail. Les vrais tests auront lieu sur son successeur à la fin du mois de juin. Mais pour Bernadette Bernadou, point n'est besoin d'attendre cette confrontation avec le réel pour affirmer qu'elle est prête à rempiler. **ANNE LOMBARD**

Sources et types de luminaires

- Fluocompactes 18 W et tubes fluorescents 36 W et 58 W
- Puissance installée : 380 kW
- Environ 1 450 luminaires

LES INTERVENANTS

- > **Maître d'ouvrage** : EADS-Airbus, Bernadette Bernadou ergonomie industrielle, et Mélier Ergonomes Conseils
- > **Maître d'œuvre** : Technip / ADP/ Cardete-Huet pour la partie bâtiment
- > **Bureau d'études** : DMI pour la partie poste de travail
- > **Ingénierie éclairage** : CSTB – Laurent David, Samuel Carré, Michel Garcia, Michel Perraudou
- > **Fournisseur luminaires** : Mazda

