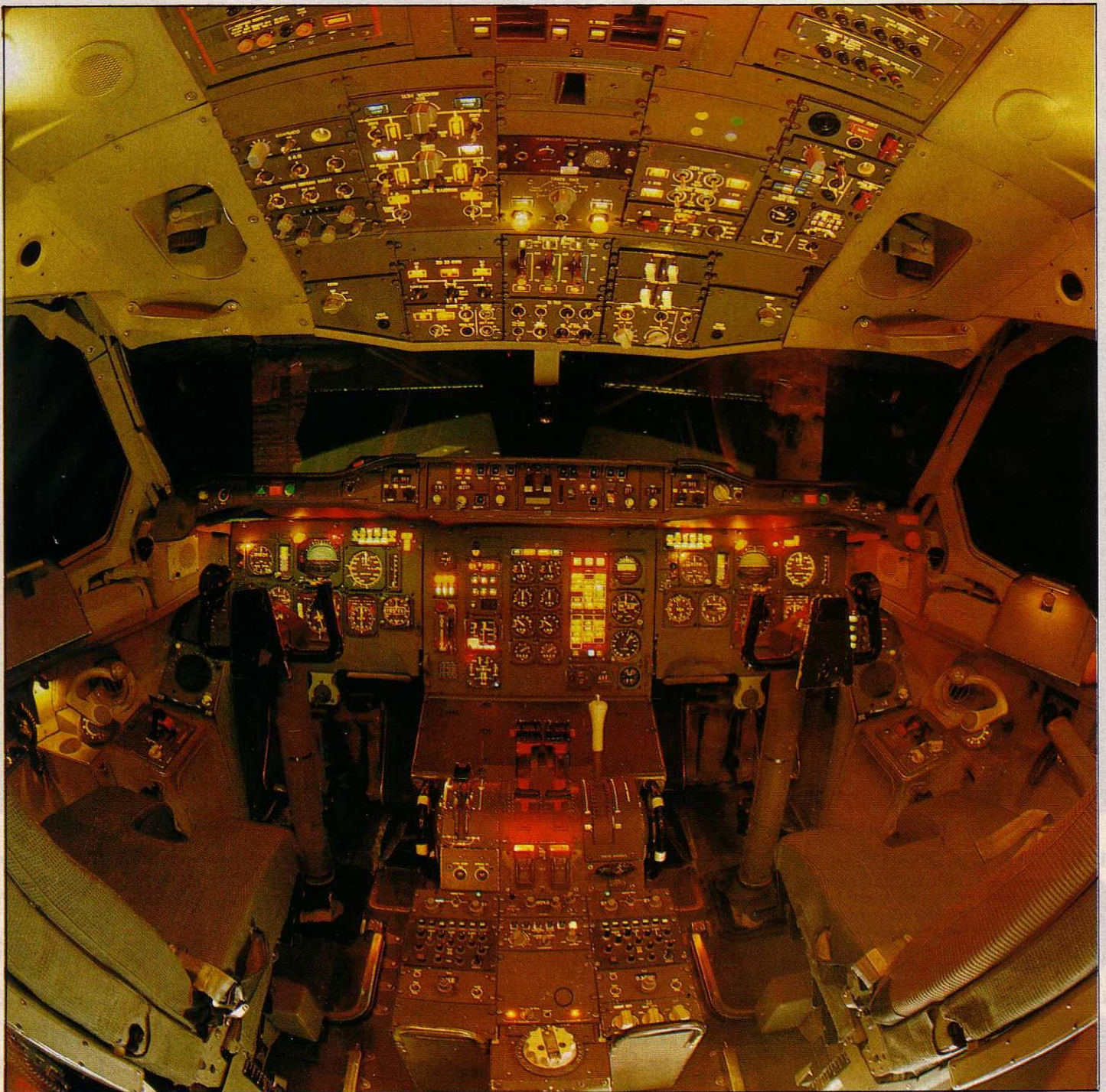


La simulation est l'une des activités où l'ordinateur est absolument irremplaçable. Comment, sans lui, faire vivre aux apprentis pilotes un atterrissage raté ? Faire fondre le cœur d'une centrale nucléaire pour tester les réactions des techniciens aux commandes ? Faire varier le taux d'inflation pour enseigner aux étudiants les conséquences des paramètres économiques ? Dans l'industrie, l'armée, l'administration, l'éducation, les logiciels de simulation touchent sans cesse de



Thierry MORIN

Du logiciel de prévision économique de l'INSEE (sur un

nouveaux domaines. Là où on utilisait avant des gros ordinateurs ou des minis, on voit de plus en plus des micros. La petite informatique de loisir hérite de la simulation professionnelle de nombreux jeux passionnants. Partout, le réalisme fait des progrès étonnants. Si étonnants, parfois, que la frontière entre la réalité et la simulation s'estompe. Chez les militaires, par exemple, l'entraînement se transforme en jeu vidéo ultra-perfectionné...

AU CŒUR DES FROIDEURS GRISES de l'hiver, février est le mois du carnaval, du déguisement, des masques. Mais si le carnaval est temps de fantaisie, la règle du jeu en est le sérieux : ceux qui prennent le masque de Pierrot ou du dragon sont réellement non pas Arsène Polite mais Pierrot, non pas Émilie Vacher mais le dragon. Alors que l'on observe depuis quel-

nomistes ont développé une simulation abstraite, portant sur la modélisation de l'économie globale. Et voici que la technique de simulation - mimer les choses pour savoir comment elles se comportent - se répand dans l'ingénierie, la médecine (on pense, par exemple, remplacer les animaux de laboratoire par des simulateurs), la gestion, ou même la vente, comme dans ces cabines

confond avec le simulacre, au point que l'imaginaire est réel, et réciproquement.

Sans aller jusque-là, on peut reconnaître que la simulation introduit le doute sur la vérité de la perception, et sur la validité de l'expérience concrète. Mais elle ne remplace pas la réalité : elle est en fait un outil supplémentaire de compréhension d'une réalité que, les philosophes le savent, l'expérience

SIMULATION : L'ORDINATEUR REFAIT LE MONDE

Ceci n'est pas un cockpit d'avion mais la réplique fidèle d'un cockpit d'Airbus A 300 B, supportée par un système de vérins et reliée à un ordinateur. L'ensemble s'appelle un simulateur de vol.

ques années une renaissance du carnaval, la simulation devient une pratique quotidienne dans de nombreux secteurs professionnels. Les ingrédients essentiels du carnaval y sont réunis, du sérieux de la reproduction à l'engagement total des participants.

L'informatique est pour une bonne part à l'origine de cette généralisation de la simulation à l'industrie, à la conduite d'engins, à la gestion, à la recherche... Sans l'ordinateur, il ne serait pas possible de brasser les millions de données et d'équations qui rendent la simulation de la réalité crédible. Plus l'informatique accroît sa puissance de calcul, plus la simulation gagne en vraisemblance, plus, aussi, elle peut s'effectuer sur des machines plus petites et devient accessible. On n'a d'abord pensé qu'à des simulations physiques, notamment dans l'aéronautique, puis, bientôt dans tous les domaines de conduite d'engins coûteux, du char d'assaut à la centrale nucléaire. Dans le même temps, les éco-

d'essayage où un système de diapositives et de mesures vous fait voir comment vous va tel habit. À la base, il y a le plus souvent une logique économique : on simule, car cela coûte trop cher d'expérimenter en vrai. Mais l'on voit progressivement que la simulation est davantage qu'une simple imitation, parce qu'elle permet la répétition des séquences, impossible dans la pratique réelle.

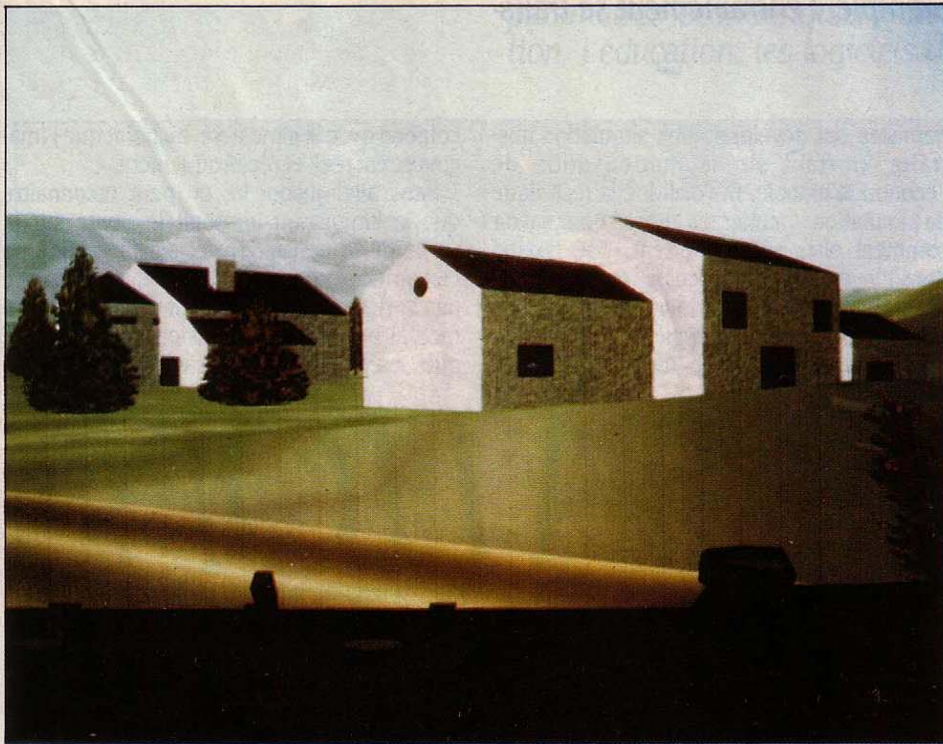
Certains pensent qu'il y a dans la simulation l'amorce d'un changement des modes de pensée considérable, aussi important dans l'ordre de la représentation que la découverte de la perspective au sortir du Moyen-Age : parce que les choses sont « rejouables à volonté », parce que l'expérience se sépare de la durée, parce que le point de vue sur les choses est différent selon l'acteur, la simulation conduirait à une mutation dans la façon de percevoir le monde. D'autres vont plus loin encore en affirmant que, dans les techniques de simulation, la réalité s'effiloche, se

ne suffit pas à saisir. Elle généralise une méthode de connaissance fondée sur la médiation, dans laquelle on n'agit pas sur l'objet lui-même, mais sur les outils modernes (ordinateur et vidéo) qui permettent de la représenter. Comme le dit justement Jean-Louis Weissberg, universitaire à Paris XII, « la simulation crée une étape intermédiaire entre le projet et l'objet. Elle est une sorte de matérialisation de l'objet mental, qui pourra servir à produire l'objet physique, celui-ci n'étant qu'une des versions du possible ». En même temps qu'elle élargit l'expérience, la simulation la rend plus distante.

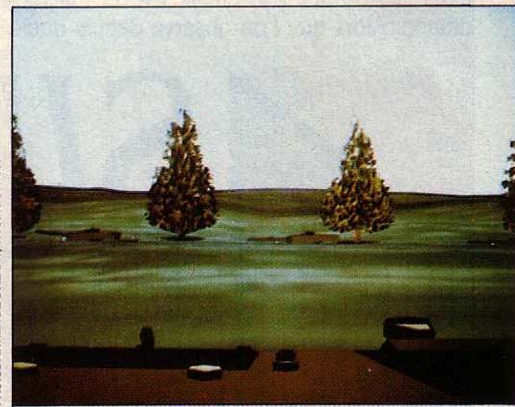
Ce dossier vous propose un voyage au cœur de la simulation professionnelle, grâce à quelques exemples choisis parmi les plus significatifs. Dans chaque domaine, nous avons réalisé aussi une sélection de logiciels bon marché, utilisables sur des micro-ordinateurs familiaux, grâce auxquels vous pourrez vous initier aux mécanismes de la simulation.

IBM 3033) au simulateur de vol à 100 F (sur Amstrad)

AVIONS, CHARS :



L'image générée par ordinateur est la clé du réalisme de la simulation : ci-contre et ci-dessous des projets de paysages pour les simulateurs de conduite de char. Ci-dessus, la salle des instructeurs dans le simulateur de tir de peloton de l'armée française.



Photos Armand BORLANT/THOMPSON CSF

PLUS VRAIS QUE NATURE

JUSQUE-LÀ, C'ÉTAIT UN VOL SANS histoires : après le décollage de Toulouse, impeccable, un virage sur l'aile, une mise en palier à 3 000 pieds, il n'y avait guère qu'un vent de quinze nœuds à 180° pour nous inquiéter. Mais soudain, l'avion a commencé à vibrer comme un prunier qu'on secoue, l'alarme a résonné - biip-biip-biip ... -, au plafond, des lettres écarlates se sont allumées - « Engine 2 Fire ». Le pilote a remis les gaz, mais - dziiii ! - nouvelle alarme stridente, l'avion décroche, on va tomber, ah oui, les volets, rentrés trop tôt, les ressortit un peu, l'alarme cesse, l'avion se stabilise, on se calme, le pilote coupe le moteur 2 ... Ouf ! J'ai failli avoir peur : et si nous étions dans un vrai aéronef, et non dans le simulateur de vol d'Airbus A 310 ?

Dans un avion, on n'aurait pas effectué six décollages et autant d'atterrissages en moins de deux heures ! Le simulateur de vol soumet les pilotes à un entraînement plus sévère que nature : à chaque séance, ils sont assurés de

L'aéronautique et l'armée sont deux domaines où la simulation est une pratique usuelle. Les progrès se font dans la direction de l'interactivité.

traverser des tempêtes, d'atterrir sans visibilité par vent de travers mugissant, de se coltiner des pannes de moteur, de voir défaillir les équipements électriques, de subir l'évanouissement du système hydraulique... Le pilote qui connaîtrait autant de sinistres dans ses vols réels n'aurait plus qu'à rendre sa casquette pour devenir chauffeur-routier. Mais le principe du jeu est là : un bon pilote doit savoir réagir correctement à tous les incidents possibles, même s'il n'a qu'une faible probabilité de les affronter dans la réalité. Or le meilleur apprentissage est celui que l'on fait dans les conditions réelles : à moins de transformer une série d'Airbus en instruments de stock-car, il n'y aurait pas moyen d'entraîner les pilotes à fond sans simulateurs. Ceux-ci

reproduisent point par point le cockpit de l'avion simulé et tous ses instruments de commande. L'ensemble est enfermé dans un caisson supporté par six vérins hydrauliques qui meuvent le simulateur selon six degrés de liberté (les trois axes, plus lacets, roulis et tangages) pour reproduire les efforts que subit l'avion. Dans le cockpit, le bruit des moteurs affine l'imitation, qui ne pêche que dans les accélérations les plus violentes ou les virages prononcés. Les fenêtres du cockpit laissent voir une piste plongée dans la nuit profonde - en l'occurrence, celle de l'aéroport de Toulouse près duquel se trouve le simulateur d'Aéroformation, où les pilotes s'initient à l'Airbus. Les étoiles qui parsèment le ciel sont dispersées de façon aléatoire : les ingénieurs n'ont pas jugé que la reproduction de la comète de Halley enrichirait la pédagogie.

Plongés dans cet environnement trompeur, les pilotes vont mimer leur vol avec d'autant plus de conviction que chaque commande de leur part entraîne une réaction identique à

celle de la réalité. Le démiurge de cet univers simulé est l'instructeur, placé à gauche derrière le pilote, et dont le pupitre occupe l'espace normalement réservé à un placard de rangement. De là, il peut déterminer les conditions météorologiques, jouer le rôle de la tour de contrôle ou provoquer les pannes qui endurent les pilotes.

Le simulateur est devenu un outil de travail habituel des aviateurs : soit que, comme à Aéroformation, ils découvrent l'appareil que leur compagnie vient d'acquérir, soit qu'ils passent régulièrement dans le simulateur de leur compagnie des tests de remise à niveau. La simulation est à ce point un appendice inévitable du vol aérien qu'un pilote qui obtiendrait de mauvais résultats sur le simulateur ne revolerait pas jusqu'à avoir retrouvé le niveau adéquat sur simulateur. Il n'est pas de meilleure preuve de la confiance que les professionnels accordent à la valeur de la simulation. On arrive d'ailleurs, selon un responsable technique d'Aéroformation, à une espèce de sommet technique, au-delà duquel une amélioration marginale de la simulation serait d'un rapport coût/efficacité trop grand (un simulateur d'Airbus coûte déjà environ 100 millions de francs, soit le cinquième de l'avion lui-même ; mais, selon Air France, une heure de vol sur avion réel coûte 60 000 F, contre 4 000 F sur un simulateur). Le prochain progrès concernera essentiellement le poste de l'instructeur, qui dialoguera avec le système par écran plutôt que, comme actuellement, par une série de boutons.

À l'instar des pilotes civils, les Tanguy, La-verdure et autres Buck Danny vivent une partie de leurs aventures au ras des pâquerettes. Mais les Airbus ou Boeing ne possèdent que deux phases critiques de manœuvre, le décollage et l'atterrissage ; le vol lui-même est routinier, pratiquement automatisable. C'est pourquoi la visualisation des simulateurs d'avions de ligne n'est sophistiquée qu'aux abords de l'aéroport. Dans la simulation des avions militaires, la sécurité est reléguée au second plan par la recherche de l'efficacité de la mission. Les besoins sont plus variés, notamment pour les missions à basse altitude (sol-air). Il faut alors générer un paysage assez détaillé qu'ils survoleront à grande vitesse. Dans le simulateur conçu par Thomson-CSF pour les avions multifonctions (sol-air et air-air), le cockpit est placé dans une sphère ; trois projecteurs y donnent l'image de l'horizon, des cibles, et du sol. Ces images sont générées par ordinateur : on recourt à des représentations exactes de la réalité, puisque le fichier numérique des images du sol reprend les relevés topographiques effectués pour l'armée.

D'autres différences tiennent bien sûr aux caractéristiques des avions : un Mirage 2000 est aussi proche d'un Airbus qu'une Ferrari d'un autocar. Mais le simulateur s'éloigne de la réalité sur plusieurs autres points : en combat, un avion de chasse subit des accélérations atteignant 7 g, ce qui provoque le « voile noir », durant lequel le sang du pilote reflue du cerveau vers le bas du corps. Pour les recréer précisément, il faudrait recourir à

une installation à bras tournant, extrêmement complexe et coûteuse. Au mieux peut-on reproduire des sensations connues, grâce au « gravi-siège », reposant sur de fines lamelles qui bougent les unes par rapport aux autres.

La puissance informatique d'un tel simulateur est considérable. Elle repose sur un ordinateur de 32 bits, le SEL Gould 32, qui travaille en multitâche. Il est flanqué de deux mémoires de masse de 300 Mo ; la première supporte le fichier image, tandis que la seconde contient la banque des données caractéristiques de l'avion. Une baie électronique joue le rôle d'interface entre l'ordinateur et la sphère, tandis qu'un calculateur spécifique commande l'interface vidéo (transcription des images calculées par le SEL Gould en images projetées).

Nouveaux champs de tir

La règle impérative du réalisme de la simulation est le temps réel. Le cycle de base est de 40 milli-secondes, c'est-à-dire que l'état du système gouverné par une tâche est régénéré toutes les 40 ms. Il peut varier selon l'importance de la sensibilité des commandes : le pilote ne proteste pas si le radar ne s'éteint qu'une demi-seconde après qu'il l'a coupé ; en revanche, le manche à balai doit réagir le plus rapidement possible. Cette contrainte de rapidité intervient dans le choix du langage de programmation du simulateur. Le langage-machine est le plus rapide. Mais le langage doit rester facilement accessible : les armées de tous les pays du monde aiment bien « bidouiller » leurs programmes, sans même que leurs fournisseurs le sachent. On est ainsi passé à l'assembleur, puis au Fortran, celui-ci

étant de plus en plus structuré. Mais le Département de la défense des États-Unis a choisi le langage Ada. Et comme ce département est le premier consommateur d'informatique du monde... Un avantage de ce langage est qu'il est censé tourner indépendamment du matériel qui le supporte : on pourra transporter les programmes Ada d'un simulateur à l'autre sans avoir à tout refaire à chaque fois. La simulation d'avions de chasse conduit d'ailleurs directement à une problématique d'intelligence artificielle, notamment dans les applications interactives. À Mont-de-Marsan, on commence à simuler un combat entre deux chasseurs, et non plus seulement d'un chasseur contre une cible (voir SVM n° 18). Les ingénieurs travaillent à réaliser la simulation de combat d'un nombre illimité d'avions.

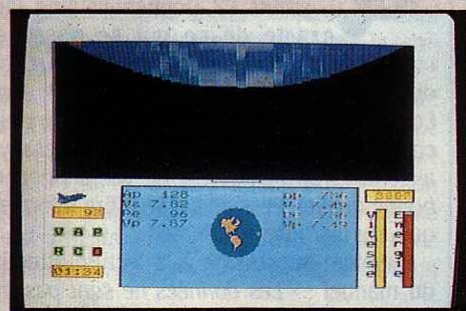
Les armées de l'air ne sont pas les seules à user de simulateurs. C'est par centaines que l'armée de terre française dispose de simulateurs. Selon un général passé du côté des marchands de (faux) canons, la simulation d'armée de terre est plus compliquée que la simulation d'avion : dans celle-ci, la visualisation est simple, on n'a guère besoin de détails, alors que les simulateurs terrestres requièrent une qualité d'image photographique : le pilote de char doit pouvoir apercevoir une motte de terre - si c'était une mine ? La simulation d'engins terrestres se divise donc en deux chapitres étanches, la simulation de conduite et la simulation de tir : la fusion de ces deux techniques est trop coûteuse à réaliser.

Le simulateur de conduite fournit au pilote du char l'image filmée par une caméra qui survole la maquette d'une région. Chaque manœuvre du pilote entraîne un déplacement

POUR TOUS

DE NOMBREUX SIMULATEURS DE vol sont offerts à la virtuosité des fanatiques du manche à balai. Flight Simulator II, de Sublogic, est bien sûr le grand classique du genre. Disponible sur Apple II, Commodore 64 et Atari 800 XL, il demeure par le réalisme des commandes et de l'affichage, le simulateur le plus « sérieux » disponible sur une machine grand public. Microsoft a créé pour l'IBM PC une version assez proche, baptisée Microsoft Flight Simulator. Airbus de Fil pour MO 5, TO 7 et TO 7/70, initiera les futurs pilotes de ligne non seulement au pilotage d'un moyen-courrier, mais également aux règles de la navigation commerciale (SVM n° 12). Pour les plus agressifs, les simulateurs de combat aérien ne manquent pas : signalons parmi les plus intéressants Fighter Pilot de Digital Integration pour Spectrum, Amstrad, et Commodore 64 (SVM n° 19), et Jump Jet d'Anirog pour Commodore 64.

Si les simulateurs sur avion monopolisent encore force programmeurs, plus aucun « véhicule » ne semble à l'abri d'une adaptation



Space Shuttle : un logiciel de simulation de pilotage de navette spatiale.

sur micro-ordinateur : hélicoptères avec Super Huey de US Gold pour Commodore 64, ou Tomahawk de Digital Integration (voir p. 101) ; navette spatiale avec Space Shuttle d'Activision pour Spectrum et Commodore 64, ou Space Shuttle Simulator de Loricels pour MO 5 et Amstrad (SVM n° 15) ; sous-marin avec le superbe Gato de Spectrum Software pour IBM PC (SVM n° 12) ; locomotive avec Southern Belle de Hewson Consultants pour Spectrum et Amstrad (SVM n° 22). À quand un simulateur de bicyclette ?

correspondant de la caméra qui fournit donc la nouvelle image du paysage. Bien rodée maintenant, cette simulation est limitée par l'étendue de la région maquettée. Plus récent est le simulateur de tir de peloton (STP) fabriqué par Thomson-CSF et installé à Canjuers et à Saumur. Les chars ne sont jamais isolés, mais combattent, par équipe de trois ou quatre chars. Il faut donc entraîner les pelotons à coordonner leur action pour la rendre plus efficace. Trois cabines fixes sont montées, chacune d'elles reproduisant exactement la partie du char simulé qui accueille chef de char et tireur. Chaque chef de char dispose de trois épiscopopes qui lui permettent d'observer sur 90° une calme campagne de France. Tapis dans la verdure, des engins s'apprêtent à attaquer. Pour les empêcher d'égorger nos fils et nos compagnes, le peloton doit les repérer rapidement, sachant qu'avec les techniques actuelles le premier tir est généralement un coup au but. Les trois chars observent le même champ de bataille de six kilomètres de profondeur - une énorme diapositive où viennent s'incruster des cibles générées par ordinateur. Lorsqu'une cible est détruite, cela apparait aux trois tourelles du peloton.

À chaque tir, la cabine subit un recul identique au recul « vrai ». L'itinéraire de l'ensemble des cibles constitue un « scénario » : le calculateur en propose à l'instructeur un choix de cinquante ; les mouvements des cibles sont

donc imprévisibles, même pour des équipages habitués à l'entraînement en STP. Derrière les tourelles de simulation, l'instructeur peut faire varier les paramètres météo, mais surtout observer le comportement des équipages sur ses écrans. Il peut enregistrer les phases d'action, pour les repasser plus tard aux élèves. Cette possibilité de rejouer des phases d'action, exactement comme sur un magnétoscope, est un des éléments qui fait du simulateur un instrument meilleur que la réalité (!) : sur le champ de tir, il est en effet impossible à l'instructeur de juger précisément de ce que font ses recrues.

Guerre au laser

Il n'empêche : le STP souffre de quelques tares : les cibles ne répliquent pas ; faire la guerre avec la certitude de gagner perd beaucoup de son intérêt. D'autre part, les équipages sont toujours en position fixe devant le même paysage ; c'est lassant. Un astucieux gadget (environ un million de francs l'unité), mis au point par la firme Giravions Dorand, pallie ces inconvénients. La philosophie du DX 175 - c'est le nom de la chose - postule que rien ne vaut les conditions réelles pour bien s'entraîner. Mais laisser des chars tirer réellement tue les soldats et coûte cher (5 millions de francs le blindé). Le DX 175 reprend donc le principe du jeu Planet Photon

(voir SVM n° 19) : on se tire dessus au faisceau laser, ça ne fait pas mal et ça laisse des traces. Sur chaque char, on monte un bloc optique lié au canon et connecté à un petit calculateur dans la tourelle ; de plus, deux balises de détection sont posées sur le blindé. Le pilote repère un char ennemi (équipé identiquement) ; il pointe son canon et tire. Au même moment, un faisceau laser généré par le bloc optique balaye la cible jusqu'à accrocher une de ses balises : il détermine sa distance. Les caractéristiques du tir (fictif) sont connues par le calculateur du tireur, transmises par laser au calculateur de la cible qui, compte tenu de la distance, constate si la cible est atteinte ou non. En fait, le système compare la trajectoire de la munition à la position de la cible. Si celle-ci est touchée, un dispositif pyrotechnique déclenche une fumée, signalant aux partenaires le coup au but. Par contre, on ne simule pas le recul du char au départ du coup.

Ce dispositif, expérimenté par l'armée française à Saumur, est proche de l'interactivité idéale. On peut rêver : si toutes les armées du monde étaient munies d'équipements de ce genre, la guerre deviendrait très paisible : comme dans un jeu vidéo, il suffirait de compter les points pour savoir qui a gagné...

Nous remercions Air Inter pour la photo publiée page 28.

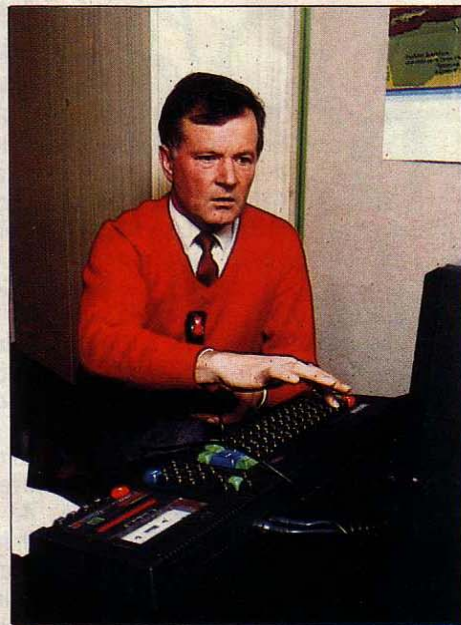
UN BANC D'ESSAI SIGNÉ JEAN-LOUP CHRÉTIEN

QUE VALENT LES LOGICIELS DE simulation sur ordinateurs familiaux ? Sont-ils aussi précis que les « grands » ? Donnent-ils une idée exacte de ce qui se passe en « vrai » ? Seul un professionnel pouvait répondre précisément à ces questions, et Jean-Loup Chrétien, pilote de chasse et premier cosmonaute français, a bien voulu essayer avec nous un simulateur de vol, a priori de bonne qualité, Mission Delta, d'Ere Informatique, sur un Amstrad CPC 464.

Première impression à la lecture attentive du manuel : « Les données ne sont pas très réalistes. Ils auraient dû demander à un spécialiste de voir avec eux.

- Par exemple ?

- La vitesse de décrochage. Ils ont mis 600 km/h, ce qui fait 350 nœuds. Pour un avion de ce genre, on fait la moitié, 175, voire 150 nœuds. Cela aurait été plus confortable. De même, c'est un engin qui est censé voler à 1 500 km/h et qui a une limite de portée radio de 100 km, soit cinq minutes : il faut vraiment être un Paganini des manettes pour arriver à tout faire en cinq minutes ! Et là, on traverse la France en deux temps trois mouvements, mais ce n'est pas la peine d'aller vite ; si on va vite dès le départ, c'est qu'on est déjà très fort et



Jean-Loup Chrétien

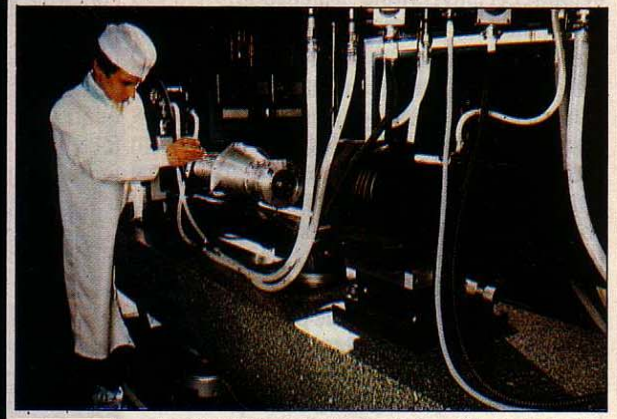
qu'on n'a pas besoin de simulateur. Enfin ... il n'y a qu'à essayer.

Dont acte. Mise en marche. On s'occupe d'abord des volets, puis des réacteurs, ensuite on appelle la tour de contrôle, et on

lâche les freins ... VITESSE LIMITE AU SOL DÉPASSÉE. « On est déjà en bout de piste ... Re commençons. Volets, touche 7, ... freins lâchés ... On est en l'air. C'est bien ça. Il faut rentrer les volets. » CRAC. L'avion descend à toute vitesse et s'écrase. « Qu'est-ce qui se passe ? ! Pourquoi fait-il ça ? On voit qu'on décolle, on a la bonne vitesse, le bon réglage, et puis paf, on tombe, on ne sait pas pourquoi ! J'avoue que là, je suis très perplexe. On va le remettre en route... Freins serrés... la tour de contrôle... réacteur... lâchés... 454 mètres... il redescend... il va se replanter... ! C'est inexploitable, leur truc, incompréhensible. »

Finalement, à l'essai suivant, on arrive à se maintenir en vol. Mais le compas est imprécis, on n'arrive pas à revenir sur la balise de l'aéroport et nous voilà perdus. Pas moyen de revenir quelque part : on s'écrase au sol - panne d'essence ... « C'est très délicat à piloter... J'en ai un chez moi et je m'en débrouille, mais là, je n'y arrive pas. On va finir par trouver la ruse, mais ce n'est pas normal. Ils ont eu la prétention de faire un simulateur très évolué, mais il est à la fois trop simple et trop sophistiqué ; il vaut mieux des simulateurs plus rudimentaires, mais homogènes. En fait, ce genre de logiciels devrait être conçu avec l'aide de professionnels du pilotage. »

Amirand BORLANT/THOMSON CSF



Le simulateur de viseur de terre (ci-contre) et le simulateur de viseur d'étoiles (ci-dessus) de la Sodem.

Dans l'industrie, la simulation permet d'éviter des pannes qui, sur les gros engins, atteindraient des coûts astronomiques. Elle s'infiltré aussi aux échelons moins spectaculaires de la CAO (conception assistée par ordinateur).

L'INDUSTRIE DU XX^e SIÈCLE A SES cathédrales, les centrales nucléaires. Elle a aussi, moins connues, ses chapelles où l'on ne pénètre qu'avec révérence. Ainsi, le simulateur de viseur d'étoiles conçu par la Sodem (Société anonyme d'études et de réalisations nucléaires) : quand une séance de tests est commencée, il n'est pas possible de s'attarder dans la petite salle où est entassé le matériel. On n'y entre qu'après avoir enfilé blouse blanche et calot ; la pièce est plongée dans l'obscurité qu'éclaircit à peine un rai de lumière filtrant par la porte entrouverte. L'air est sec, la température froide et c'est involontairement qu'à mi-voix on se parle, tandis que l'œil distingue au centre une longue table de marbre. Ce n'est pas un autel ! A moins de considérer que la technique est devenue le rite d'une religion nouvelle. La table supporte un ensemble d'instruments étranges, objets du sacrifice - pardon, de la simulation - que célèbre un

Photos DFK

SATELLITES, CENTRALES NUCLÉAIRES, MICROPROCESSEURS : L'INDUSTRIE JOUE GROS JEU

calculateur commandé dans une pièce voisine par les ingénieurs d'essai. Mais le visiteur dérange cet univers froid : il faut sortir.

Comme tout mystère, celui-ci n'est incompréhensible qu'aux non-initiés. Le viseur d'étoiles est un instrument qui assure, à bord d'un satellite, le pointage des télescopes ou des appareils de navigation. On l'oriente vers l'étoile à pointer. Un champ de 400 étoiles artificielles, dont le calculateur connaît les coordonnées exactes, est disposé de façon géométrique dans sa mire. L'étoile réelle est mesurée par rapport aux 3 étoiles artificielles les plus proches. Ce procédé permet d'atteindre une précision d'une seconde d'arc.

Avant de l'expédier dans l'univers incompréhensible, le simulateur vérifie la qualité du viseur. Les conditions spatiales sont reproduites afin que le viseur se comporte de la même manière sur terre que dans le cosmos : on maintient la température à 1° C, on chasse les poussières. La salle de simulation est plongée dans l'obscurité, pour éviter toute lumière parasite. Mieux encore, on s'affranchit des perturbations thermiques et sismiques grâce à la table de marbre de 3,20 m de long, peu sensible aux variations thermiques, et posée sur des coussins pneumatiques qui l'isolent des vibrations extérieures. La simulation consiste à vérifier, d'une part, les performances du viseur, en fonction d'une source de lumière fixe qui simule l'étoile réelle, d'autre part, la qualité du dialogue entre le calculateur du viseur et celui du satellite : il s'agit d'être sûr que la boucle d'asservissement (déplacement du télescope en fonction des mesures données par le viseur) s'effectue précisément. Un calculateur dans une salle contiguë simule le calculateur du satellite.

Le simulateur coûte environ 3 à 4 millions de francs - presque le prix du viseur lui-même. Dans une industrie de pointe, comme celle de l'espace, ce coût élevé est acceptable compte tenu des désagréments encore plus coûteux, liés au mauvais fonctionnement de l'appareil, qu'il permet d'éviter.

Le syndrome de Paluel

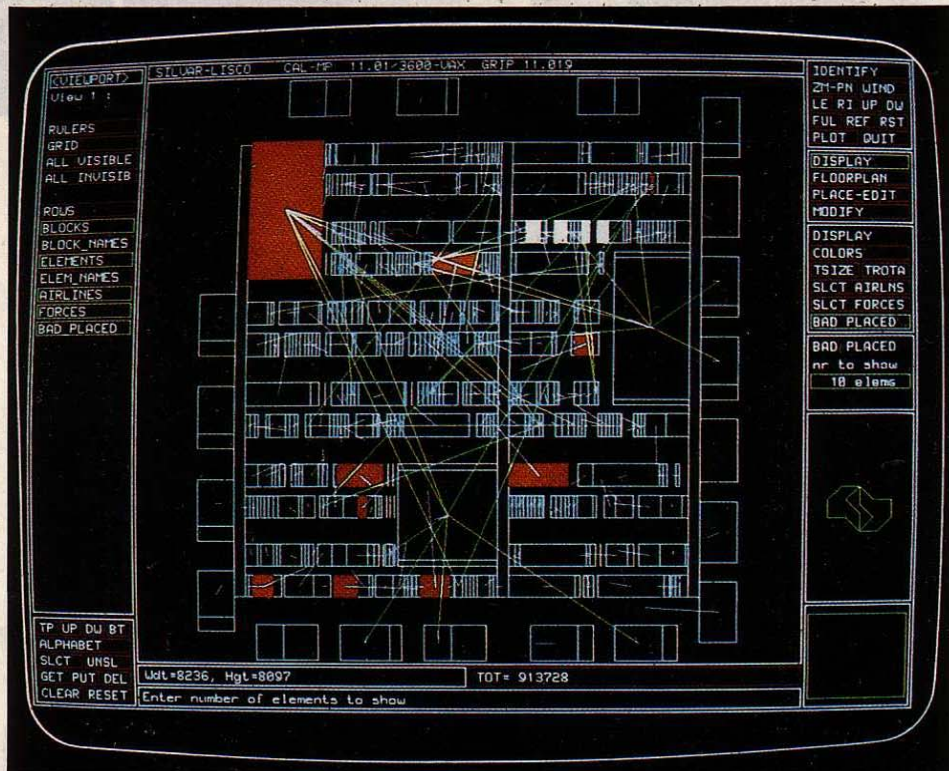
Le même raisonnement conduit à mettre au point des simulateurs de centrale nucléaire. Pour apprendre à maîtriser les incidents - par exemple la rupture d'une tuyauterie dans le circuit primaire - EDF possède 7 simulateurs de conduite conçus à partir de 5 différentes centrales de référence. L'apprentissage sur simulateur est une pièce essentielle de la formation qui permet aux opérateurs de dominer les installations. L'environnement, analogue, améliore la perception psychologique des conducteurs - dit Jean Lebé, directeur du centre de formation de Paluel (Seine-Maritime). La salle de commande est identique, mais relié à celle-ci, au lieu des installations de production d'électricité, se trouve un centre de calcul. Une troisième unité, le poste instructeur, permet de contrôler et d'intervenir en créant des anomalies. L'ensemble constitue le simulateur de conduite.

La disposition des instruments, les cycles de lumière (atténuation de l'éclairage au mo-

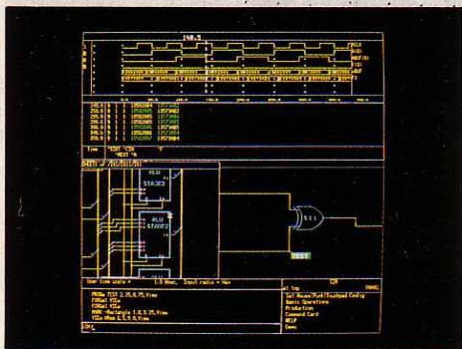
ment du démarrage des grosses pompes), les bruits (turbines et clapets), tout est copié conforme d'une vraie centrale, y compris les méthodes de travail. Les «pilotes» de la centrale suivent des stages de plusieurs semaines par an en équipe de quatre - chef de quart, chef de bloc et leurs deux assistants -, font les 3 x 8, portent la même blouse. Du poste instructeur, on peut commander toutes les modifications nécessaires à l'apprentissage. L'instructeur accélère les phases routinières qui, dans la réalité, prennent plusieurs

turbé. 900 pannes sont possibles, utilisées seules ou combinées, et classées en trois catégories : les incidents - déclenchement inopiné d'une turbine -, les accidents, qui provoquent le passage sur le panneau de repli, c'est-à-dire la mise en route des protections automatiques, enfin les problèmes liés à un dysfonctionnement du tableau de commande.

Le domaine simulé, de l'arrêt à froid à la pleine puissance, s'étend à tous les éléments pilotés de la salle de commande et au pan-



La simulation de circuits intégrés permet de vérifier, sur écran, l'agencement de chacun des composants et de les disposer les uns par rapport aux autres.



Simulation des réactions de chaque composant d'un circuit intégré aux différents niveaux électriques.

heures, tel le dosage en bore qui atténue la radioactivité résiduelle avant l'arrêt de la tranche, ou au contraire ralentit des phases délicates, comme celle du fonctionnement des vannes qui ne pourrait être visualisé, parce que trop rapide dans la réalité, afin de faire comprendre aux stagiaires tous les phénomènes qui peuvent se produire en un court moment. Les stagiaires découvrent des situations qu'ils n'auraient que rarement l'occasion de rencontrer dans la réalité : démarrage à froid ou conduite en régime per-

neau de repli, ce qui représente un nombre impressionnant de paramètres, réunis en 50 systèmes, et nécessite une grande rapidité de traitement. En effet, quel serait l'intérêt du simulateur s'il mettait 4 heures à réagir à un accident qui aurait des effets au bout de 10 minutes dans la réalité ? Respecter le temps réel d'exploitation est l'impératif qui conditionne le choix du matériel et la conception du logiciel. Le matériel se compose de mini-ordinateurs de la gamme Concept de Gould Sel, 32 bits, d'une grande rapidité de calcul. L'un d'entre eux gère les données relatives à la représentation des phénomènes physiques : il a une mémoire de 2 Mo, et une puissance de quelque 17,4 millions d'instructions par seconde. Quatre calculateurs, de 512 Ko de mémoire chacun, lui sont connectés et disposent des données dans une mémoire commune de 256 Ko : leur rôle est d'assurer la partie contrôle-commande. Si les modèles mathématiques utilisés pour représenter les échanges thermiques ont une base physique qui garantit une bonne représentation des phénomènes, la sujétion au temps réel entraîne leur simplification. Ils donnent des résultats similaires à ceux obtenus par le Septen (Service d'études de la production

thermo-électrique nucléaire) qui travaille sur des modèles mathématiques complexes et n'hésite pas à faire des calculs de plusieurs jours. Le Septen garantit la validité du logiciel du simulateur.

Pourtant celui-ci comporte peut-être une faille : si la résolution analytique du phénomène particulier de la réaction en chaîne est un calcul parfaitement maîtrisé, sa transposition informatique est une approximation. En tout cas, ce n'est pas dans ce domaine que l'on pense améliorer les simulateurs. L'année 1986 verra la naissance d'un périphérique, spécialisé dans la conduite post-accidentelle, capable de prendre en compte des brèches dans le circuit primaire allant jusqu'à 12 pouces de large, et dont la mise au point repose sur une simplification de code de calcul, le code Cathare, déjà utilisé sur les simulateurs existants. Ainsi, plutôt que chercher à rendre parfaite la reproduction des centrales réelles, les simulateurs s'orientent vers la multiplication des situations de stress. Ils facilitent aussi les études sur l'ergonomie des salles de commande, au point que l'on construit maintenant le simulateur des salles de commande avant celle de la centrale réelle.

La simulation ne s'applique pas seulement à la recréation de phénomènes physiques. Elle peut prendre une forme plus abstraite, comme dans le travail de conception de circuits intégrés. La micro-informatique met ce type de simulation à la portée d'entreprises plus modestes que des monstres comme EDF. Par exemple, la société Ela Medical fabrique des stimulateurs cardiaques. Elle travaille à mettre au point un nouveau modèle qui stimule à la fois ventricule et oreillette, alors que les précédents stimulateurs n'agissent que sur l'un de ces organes. Les fonctions de l'appareil sont donc plus nombreuses ; pour éviter des dimensions trop grandes, on doit réunir plusieurs fonctions sur un seul circuit intégré. C'est dans la conception de ce circuit original qu'intervient la simulation.

Le stimulateur simulé

Les ingénieurs commencent par analyser les fonctions de l'appareil : télémétrie, mesure de la fréquence cardiaque, etc. Chaque fonction constitue un « bloc » logique. On analyse chacun des blocs pour représenter les circuits qui lui seront nécessaires. On arrive ainsi à une représentation symbolique de chaque bloc composé des fonctions logiques de base les plus élémentaires : et, ou, non. Ces éléments existent déjà dans la « bibliothèque » du logiciel de simulation ; sinon, il faut les décrire sous forme mathématique dans un langage proche du Pascal. Puis on les assemble en cellules qui elles-mêmes se conjuguent jusqu'à produire, dans chaque bloc, les effets recherchés. Toute la procédure est bien sûr réalisée sur ordinateur (dans ce cas, une station de travail Apple et un logiciel Mentor Graphics), par construction d'un schéma se référant à la bibliothèque logique.

La simulation consiste à vérifier leur comportement, par exemple le temps de pro-



Le centre d'instruction de la centrale nucléaire de Paluel.

pagation selon les différents niveaux de la température, de la charge, de la tension d'alimentation, etc. Quand on connaît le comportement de tous les éléments de la bibliothèque, puis des cellules, on peut opérer la simulation d'ensemble, afin d'observer comment influent les cellules d'un même bloc

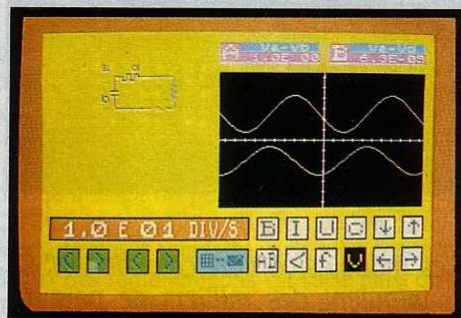
logique entre elles, et les blocs entre eux. En effet, l'interconnexion des cellules apporte des perturbations électriques dans le circuit : capacité parasite, résistance. Il faut tenir compte de ces propriétés physiques dans le schéma logique auquel on est arrivé, afin de voir s'il est compatible avec la réalité. Cette opération s'appelle la rétroannotation et s'effectue à partir de la bibliothèque physique, qui contient les caractéristiques électriques de tous les éléments de la bibliothèque logique à laquelle elle est associée.

De plus en plus, on travaille sur les cellules (aussi appelées PLA, comme « Programmable Logical Array ») dont le comportement est connu, plutôt que sur les éléments de base. La simulation ne porte plus que sur les éléments nouveaux ou sur l'agencement des PLA. Au total, la méthode se traduit par un gain de temps considérable ce qui, au tarif des heures d'ingénieur ou de technicien supérieur, est le meilleur gage de la vulgarisation prochaine des procédés de simulation...

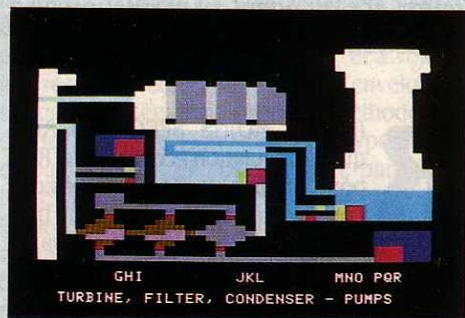
POUR TOUS

LA SIMULATION D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES n'a encore trouvé que peu d'écho dans les logiciels proposés au grand public. Il est vrai que dans la plupart des cas, la masse de données qu'il est nécessaire de traiter pour approcher la réalité est peu compatible avec la puissance de traitement de la plupart des micro-ordinateurs. Les quelques réussites du genre sont passées par une simplification intelligente des modèles étudiés. Ainsi Three Mile Island de Muse pour Apple II, vous assignera la difficile tâche de contrôler un réacteur nucléaire destiné à la production d'électricité. Une surveillance constante, une action rapide sur les points névralgiques de la centrale sont requises pour satisfaire la demande en courant électrique de la population, et éviter à tout prix l'accident majeur qui provoquera l'évacuation de cette même population ! Un autre programme de ce type, mais avec l'aspect gestion en moins, est commercialisé par Atari pour le 800 XL sous le nom tout simple de Centrale nucléaire.

Un secteur industriel ne pouvait échapper à la simulation sur micro-ordinateur : celui des microprocesseurs et autres composants électroniques. Le plus simple pour comprendre le fonctionnement de ces petites bêtes est en effet de définir un circuit logique, de simuler le passage d'un signal, et d'observer son cheminement. Il existe en France un programme pour Macintosh qui, sans avoir la puissance des consoles de CAO spécialisées, est déjà de niveau professionnel (il coûte 5 780 F HT). C'est Mac Pad, distribué par Alpha Systèmes Département Diffusion ; grâce à lui, la création du circuit est facilitée par les fonctionnalités du Macintosh (souris, fenêtres, icônes), la visualisation du circuit demeure claire et peut être enrichie par un transfert sur Mac Paint. De



Microscillo, un simulateur d'oscilloscope (ci-dessus) et Three Mile Island (ci-dessous) une simulation de contrôle de réacteur nucléaire.



plus, Mac Pad peut gérer une bibliothèque de sous-circuits que l'on réutilise souvent (compteurs, additionneurs, etc.).

Beaucoup plus rudimentaire, Make a chip, de Incognito pour Spectrum, simule le fonctionnement de circuits simplifiés. Son grand mérite est d'être à peu près le seul à guider les premiers pas d'un débutant dans l'architecture interne des micro-ordinateurs. Dans un même ordre d'idées, Microscillo, le simulateur d'oscilloscope d'Infogrames pour MO 5 et TO 7/70, permet modestement d'éviter à un électronicien amateur ou à un établissement scolaire un achat coûteux (SVM n° 23).