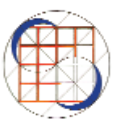


Vergnienx R. et Delevoie C., éd. (2008),
Actes du Colloque Virtual Retrospect 2007,
Archéovision 3, Editions Ausonius, Bordeaux

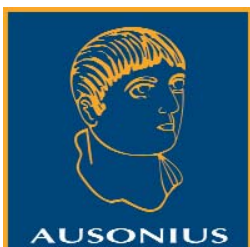
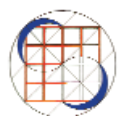
Tiré-à-part des Actes du colloque Virtual Retrospect 2007

Pessac (France) 14, 15 et 16 novembre 2007



C.Bouillon, S. Cassen,

*De l' Airbus A380 au site néolithique de la "Table des
Marchands" (Morbihan) : limites et perspectives d'un transfert de tech-
nologie*pp.157-164



Conditions d'utilisation :
l'utilisation du contenu de ces pages est limitée à un usage
personnel et non commercial.
Tout autre utilisation est soumise à une autorisation préalable.
Contact : virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr

<http://archeovision.cnrs.fr>



De l'Airbus A380 au site néolithique de la Table des Marchands (Morbihan) : limites et perspectives d'un transfert de technologie

Christophe Bouillon, Doctorant, UMR 6566, Laboratoire de recherches archéologiques,
Université de Nantes, BP 81227, 44312 Nantes cedex
tina.applications@wanadoo.fr

Serge Cassen- CNRS, UMR 6566, Laboratoire de recherches archéologiques,
Université de Nantes, BP 81227, 44312 Nantes cedex

Résumé : On peut discuter grâce au scanner 3D utilisé au niveau de l'Airbus A380 jusqu'au site Néolithique "la table des Marchands" des perspectives et limites du transfert de technologies de l'industrie à l'archéologie et des difficultés de dialogue entre les contraintes de représentation en archéologie et les impératifs économiques de l'industrie.

Mots-clés : Mégalithe, tombe à couloir, Néolithique, modélisation tridimensionnelle, scanographe 3D, restauration, simulation architecturale.

Abstract : With the utilisation of the laser 3D, we can discuss, through scans of the Airbus A380 to the Neolithic site of the "Table des Marchands", perspectives and limits of a technology transfer from the industry to the archaeology, and difficulties of a dialogue between the representation's constraints of archaeologists and economics imperatives of industrials.

Keywords : Megalith, passage grave, Neolithic era, three-dimensional modeling, 3d scanner, restoration, architectural simulation.

LE SITE EN RÉSUMÉ

Monument emblématique de la région carnacoise et du mégalithisme depuis les origines de la discipline archéologique, la Table des Marchands est un des plus prestigieux sites du Néolithique européen et n'a jamais laissé quelqu'un indifférent. Il demeure dans l'imagerie populaire du dolmen – un mot d'emploi universel exactement repris du toponyme local – tout comme il se fonde parfois dans l'identité d'une population. Les restaurations de 1938 consécutives aux dernières fouilles avaient ébranlé cette image et cette croyance, et celles de 1990 enfouirent encore plus profondément le nom, l'aspect, la forme et la matière à un point tel qu'un mythe se crée peut-être peu à peu sous nos yeux puisque l'objet (la Table) demeure désormais à jamais (?) caché.

J. L'Helgouac'h va assurer pendant 9 années (1986-1994) la direction des recherches en sollicitant l'assistance de S. Cassen pour des opérations de fouilles durant 6 mois par an (Le Roux *et al.* 1996). Plusieurs éléments architecturaux se chevauchent et s'interpénètrent (fig. 1) : l'alignement

de stèles dit du Grand Menhir, des stèles à représentation symbolique en position de réemploi dans la tombe à couloir de la Table des Marchands (fig. 2 et 3), un "paléosol" ou sol enterré piégé sous le cairn du dolmen, un cairn circulaire édifié en deux étapes. L'essentiel des données récoltées permet de parcourir 2000 ans d'histoire à l'entrée du Golfe du Morbihan, entre 5000 et 3000 a.C.

OBJECTIFS DE REPRÉSENTATION ET MOYENS DE LES ATTEINDRE

La publication de ce site majeur, et donc sa représentation, est une exigence scientifique mais doit répondre également à une attente sociale. Qu'il s'agisse des ouvrages de vulgarisation ou de l'accueil du public au sein d'un centre d'interprétation construit à proximité immédiate, l'image du monument devient ce passage obligé par lequel doit passer tout archéologue en charge du dossier¹. Il s'agit bien entendu d'une architecture, terme évident, mais également de sols virtuels, de structures détruites au Néolithique, de restaurations modernes. Une restauration menée pour la première fois en 1938 à la suite des fouilles et explorations jalonnant tous les XIX^e et XX^e siècles ; une restauration détruite et reconduite en 1990, avant même que le chantier de fouilles ne soit achevé, et donc bien avant que les données acquises ne soient digérées du point de vue de l'analyse des structures, des stratigraphies, du mobilier lithique et céramique, etc. Placés devant un tel fait accompli, nos objectifs demeurent en la circonstance multiples et doivent répondre aux exigences suivantes :

1. Ces recherches ont été développées grâce à une "Action collective de recherche" (ACR 2003-2007 : Recherches archéologiques à la Table des Marchands (Locmariaquer, Morbihan) financée par le Ministère de la culture et dirigée par S. Cassen, ainsi qu'une subvention spécifique du département SHS du CNRS pour l'acquisition de logiciels.



Fig. 1. Le site ouvert au public de la Table des Marchands à Locmariaquer (Morbihan) en 1993, en cours de fouille et après restauration de la tombe ; vues actuelles (2007) sur l'entrée de la tombe et sur le Grand Menhir (clichés S. Cassen et C. Bouillon).

- Constituer un état des lieux "numérique" sur l'image aujourd'hui présentée au public ;
- Établir un diagnostic visuel sur le parti-pris architectural du Centre des monuments nationaux à la lumière des conclusions de l'enquête archéologique ;
- Faire subir une déconstruction des restaurations en s'aidant de l'imagerie tridimensionnelle ;
- Proposer les différentes hypothèses en simulant autant de configurations architecturales que d'alternatives de restaurations en regard des résultats archéologiques ;
- Profiter de ces nouvelles acquisitions pour assurer un enregistrement des gravures en leur support, acquisitions complémentaires aux levés photographiques en lumière rasante.

Pour y parvenir, plusieurs approches furent tentées (Cassen & Merheb 2005 ; Cassen *et al.* 2006) : modélisation tridimensionnelle à partir de classiques levés 2D, photogrammétrie, numérisation par émission d'un théodolite, enfin scannerisation 3D². Les difficultés rencontrées tiennent à la nature tourmentée des surfaces rocheuses et au degré idéal de résolution qu'aimerait atteindre l'archéologue, ainsi qu'à l'impossible réplique des volumes qui faciliterait tant la représentation, chaque élément d'architecture étant ici singulier et pertinent dans l'analyse structurale du site.

ALTERNATIVE AUTOUR D'UNE REPRÉSENTATION TRIDIMENSIONNELLE DES MÉGALITHES

Faute de pouvoir appliquer tel quel l'outil scanner avec un résultat immédiat, nous avons développé en parallèle, avec

l'aide de B. Lefebvre (géomètre, ESGT, Le Mans) et O. Geffray (CFTI, Nantes), une modélisation tridimensionnelle de la Table des Marchands dans son état actuel (fig. 4), à partir des seuls plans d'archéologue, avec pour objectif de comparer les traitements, les coûts, les capacités et la souplesse à simuler un état plus ou moins originel. La tombe comporte 18 orthostates dont 15 en granite de Carnac, deux en orthogneiss de Roguedas (n° 4 et 15) et un en grès clair (n° 10). Les n° 2 et 3 sont gravés sur leur face interne, les 16 et 17 sur leur face externe (invisible au public), le 10 sur les deux faces (dont une invisible au public). Le cairn fut reconstitué en 1990 à partir d'une extrapolation des éboulis. Il se compose actuellement de deux enceintes circulaires successives qui encagent en totalité la tombe à couloir.

Les plans originaux en 2D, au format Adobe Illustrator (.ai), sont exportés sur Autocad (.dwg), puis mis à l'échelle. En raison de l'impossibilité de joindre des splines (lignes courbes) et surtout de les extruder, elles ont été systématiquement transformées en polygones. Sur le plan 2D, les orthostates sont représentés de deux manières : une vue de face, et une section à la base. Pour le Grand Menhir, nous avons repris les modélisations réalisées en 2003 sous Autocad et 3D Studio Max. Sous Autocad, le fichier s'alourdit rapidement car les solides créés, de par leur complexité, acquièrent un poids important. C'est l'une des limites principales du logiciel pour notre laboratoire. Une solution est de travailler chaque élément sur un fichier séparé puis de réunir tous ces éléments en assurant leur insertion dans un fichier final, en tant que références dwg. Il est alors nécessaire de disposer de points de repère précis pour agencer les différents éléments entre eux. Toutefois, une solution est de tout transférer sur Sketchup. Le passage entre Autocad 2007 et Sketchup 6 Pro ne pose guère de difficulté. Ce dernier logiciel est un complément indispensable à Autocad

2. Travail entrepris dans le cadre d'une thèse de doctorat (C. Bouillon) dirigée par S. Cassen (CNRS ; UFR Histoire, Art et Archéologie, Université de Nantes).

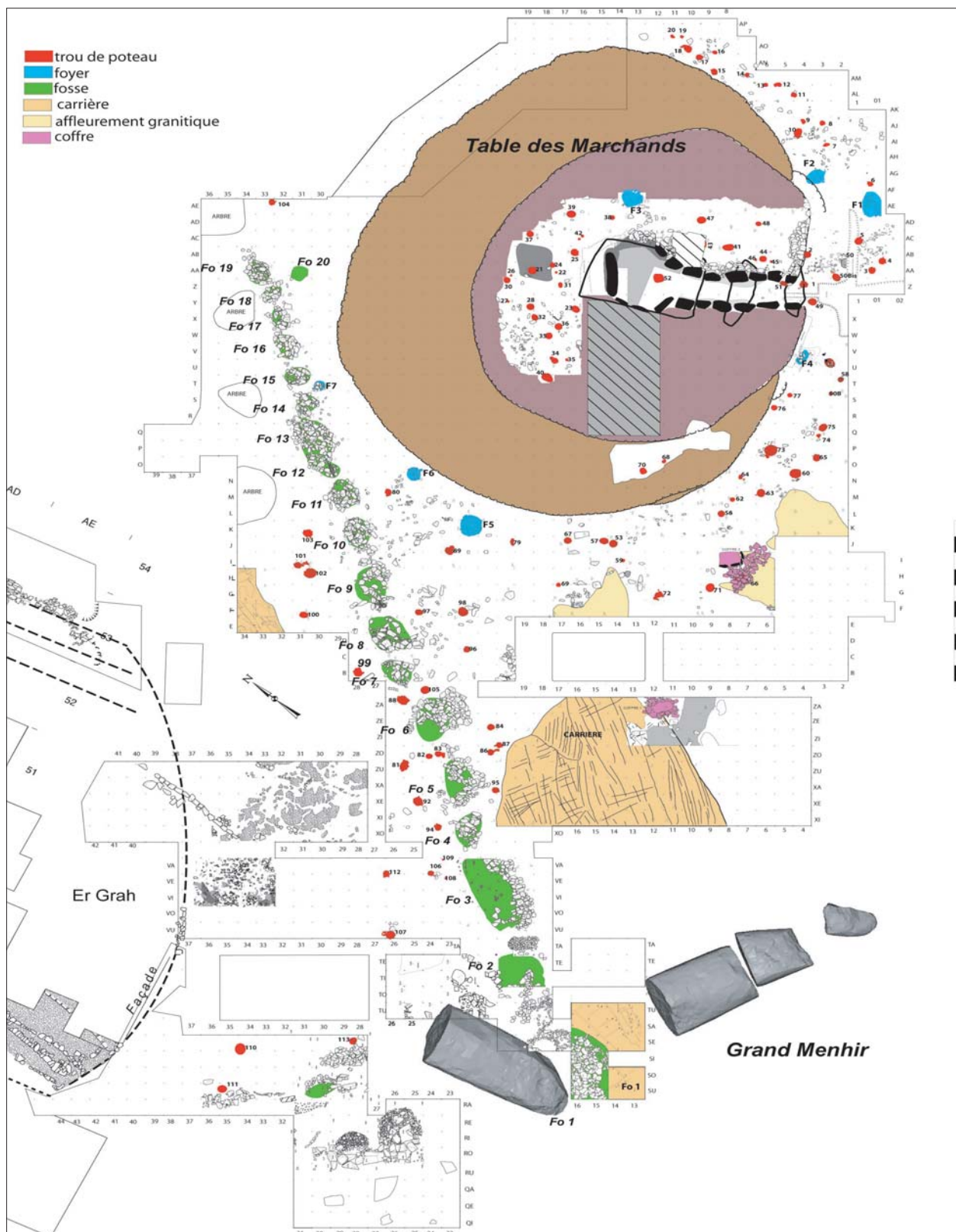


Fig. 2. Plan d'ensemble du site avec l'inventaire des structures archéologiques (plan S. Cassen ; DAO S. Cassen & S. Poirier).

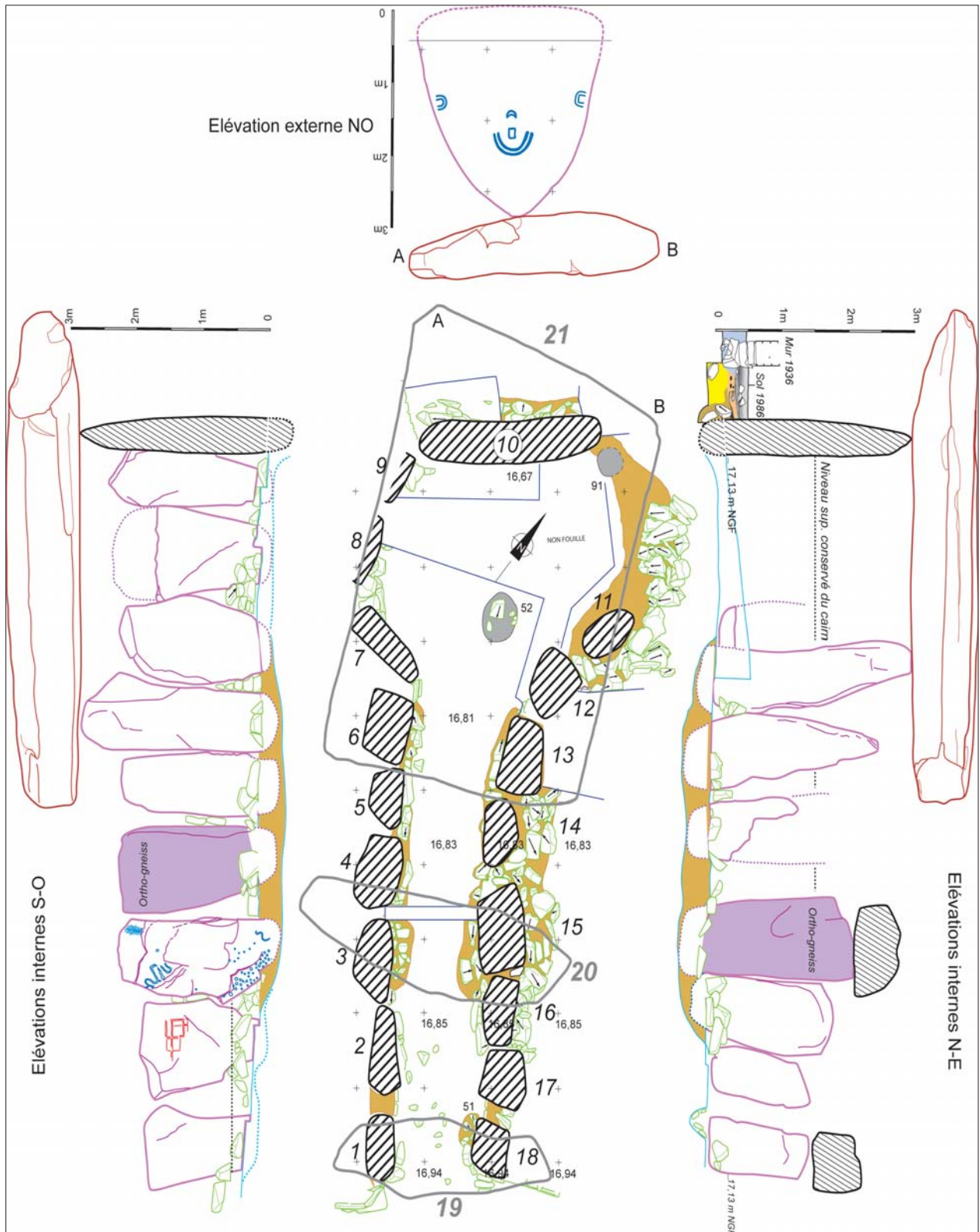


Fig. 3. Plan des structures internes ("dolmen"); élévations (levés S. Cassen & J. L'Helgouac'h ; DAO S. Cassen).

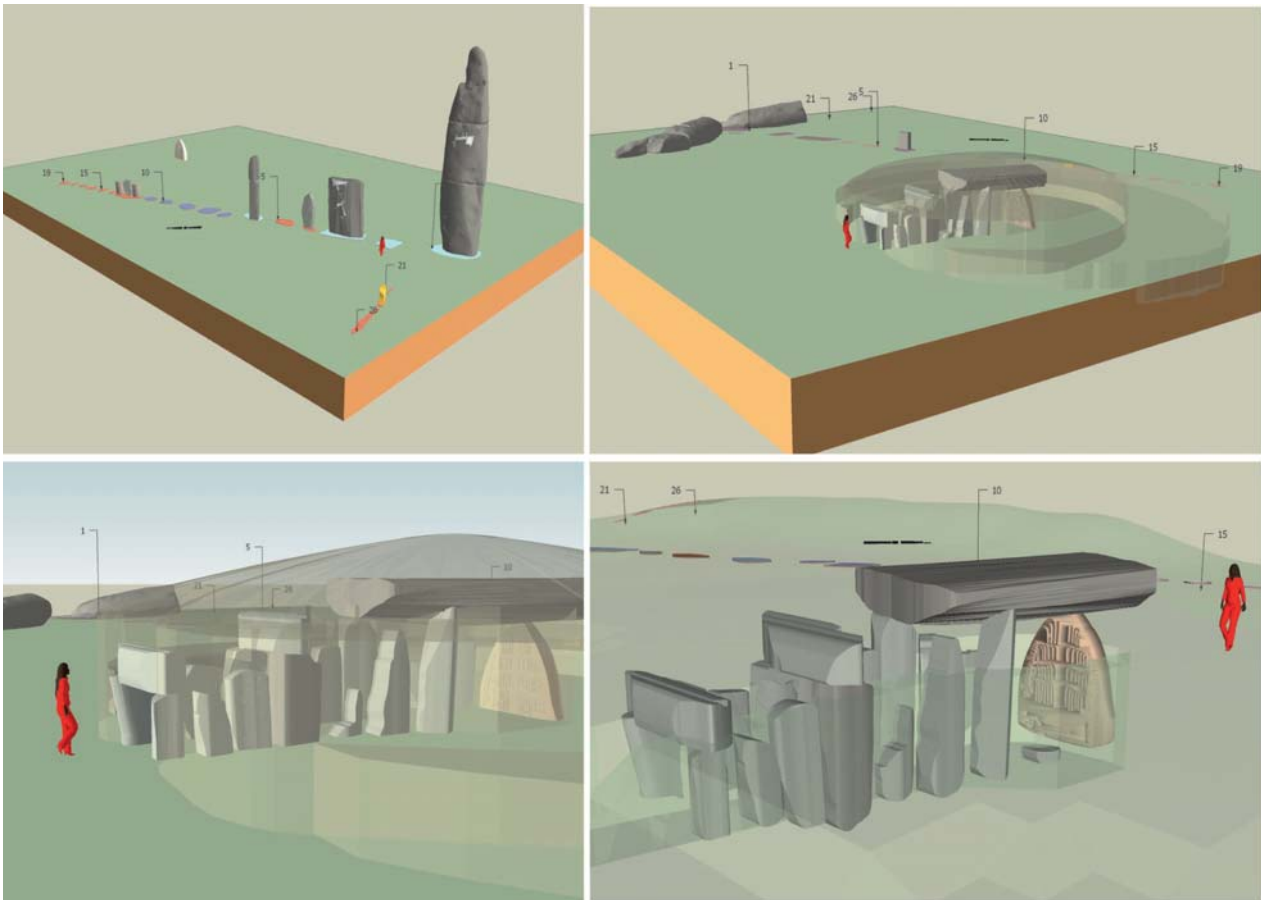


Fig. 4. Résultats d'une modélisation tridimensionnelle à partir de levés 2D (tombe + cairn) et 3D (Grand Menhir) : phase de l'alignement des stèles ; phase de la tombe à couloir, le Grand Menhir étant chuté au sol (conception et réalisation S. Cassen et O. Geffray).

pour la phase finale de la modélisation, non seulement parce qu'il permet d'alléger considérablement le poids des fichiers, mais aussi par sa simplicité d'emploi. Le logiciel Blender, testé à cette occasion, s'est néanmoins révélé plus prometteur. Sa richesse ouvre des perspectives très intéressantes, notamment dans la modélisation des terrains (à partir de MNT), d'objets complexes et de texturation, voire d'animation dans une perspective de présentation au public.

Au final, ce type de modélisation d'un site préhistorique dépend en grande partie des données collectées sur le terrain. Pour cela, il convient de mettre au point un protocole spécifique qui n'est sans doute pas le plus couramment utilisé aujourd'hui. On intégrera ainsi en amont la photographie des objets (souvent disparus ou occultés au moment de la synthèse historique par l'archéologue), pour servir de référence, et éventuellement pour draper le sujet modélisé.

RETOUR SUR IMAGE

On le sait, les archéologues ont l'habitude de s'approprier des outils utilisés par d'autres professionnels : truelle, théodolite, appareil photo numérique, GPS, etc. Tard venu dans le champ des sciences humaines, il est un opportuniste et détourne

parfois de nouveaux équipements de leur fonction ou les adopte en l'état, se contentant la plupart du temps des performances de ces nouveaux outils.

Applicatif pour la physique du laser, le scanner naît de l'idée de numériser des objets en trois dimensions et trouvera rapidement preneur : tendance militaire et services secrets lorsqu'il s'agit de numériser ambassades et autres constructions soviétiques de l'autre côté de l'ex rideau de fer ; puis civile par la suite, lorsqu'à la façon d'Internet, cet équipement migre vers l'industrie et la recherche. Très vite les vendeurs de ces scanners laser 3D parviennent à convaincre les grands groupes industriels d'acheter leur nouveauté : Airbus Industrie et Ferrari Formula One, pour ne citer que ces deux sociétés, adoptèrent rapidement la numérisation 3D.

Mais quel rapport avec la Table des Marchands ? Nous avons vite compris l'intérêt d'utiliser cet outil pour un site de cette importance mais pourtant entaché d'un défaut d'enregistrement archéologique à l'époque des interventions de fouilles. Forts d'expériences dans d'autres domaines d'utilisation, nous connaissions aussi les limites du scanner laser 3D appliqué aux architectures mégalithiques. Nos demandes auprès des constructeurs excédaient en réalité

celles des industriels. L'explication est assez simple : lorsque Ferrari numérise un appendice aérodynamique ou la coque en carbone d'une de ses monoplaces, ou lorsque Airbus Industrie opère sur une aile ou un anneau du fuselage d'un gros porteur³, ils travaillent tous les deux sur des surfaces globalement lisses. Lorsque nous scannons l'orthostate qui se trouve au fond de la salle funéraire de la Table des Marchands, ou sa dalle de couverture qui porte des gravures vieilles de 6500 ans, nous ne travaillons pas sur des surfaces lisses : elles sont pleines d'anfractuosités, de cassures, de fentes, d'éclats, de gravures, qui constituent des centaines de milliers voir des millions de facettes là où une forme industrielle en comptera cent à mille fois moins. Les fournisseurs nous proposaient bien de lisser ces facettes et s'offraient même de nous vendre les logiciels pour le faire, mais chaque lissage impliquait une perte importante d'informations inacceptable.

Un seul constructeur de scanner, comprenant l'intérêt industriel de la requête, accepta que dans le cadre d'une thèse en archéologie nous passions au crible un nombre important d'applicatifs archéologiques afin d'entreprendre une série d'échanges techniques basée sur le principe suivant : à chaque fois que quelque chose ne fonctionnait pas correctement, une solution technique, mathématique ou logicielle, était proposée par le doctorant. Le constructeur s'engageait alors à participer à sa mise en œuvre dans la limite de ses contraintes industrielles. Le travail commença et, des nuages de points jusqu'aux objets étanches manipulables via les logiciels de CAO du marché en passant par les interfaces de polygonisation et autres modeleurs surfaciques NURBS, tout fut analysé et testé. Pour une fois donc, ces améliorations – permettant de traiter de façon plus efficace les surfaces qui peuvent être qualifiées sur le plan mathématique de "chaotiques" – s'inspirent du travail des archéologues qui contribuent à en développer les fonctionnalités.

Revenons maintenant à la Table des Marchands pour illustrer une application originale de l'utilisation du scanner laser. La plupart du temps, les nuages de points acquis à l'aide du scanner servent essentiellement "d'appui élastique" à une modélisation épurée, puisqu'à l'exemple de nombreuses architectures présentées où une colonne a été générée à partir de logiciels CAO puis copiée/collée au nombre d'exemplaires voulus et sur les principes identiques d'autres propositions de restitutions en élévations, le nuage de point n'est qu'une enveloppe tridimensionnelle "floue" sur laquelle

on va approcher des objets géométriques "parfaits" ou autres surfaces "lisses".

On comprendra bien que cette exploitation de nuages de points dont la qualité n'a pas besoin d'être exceptionnelle ne peut nous satisfaire lorsque nous réalisons un enregistrement de mégalithes où les surfaces doivent faire apparaître, sinon le grain fidèle de la pierre, au moins une topographie et une texture qui diffèrent un tant soit peu du polystyrène. Cette exigence nous a conduit avec les ingénieurs de FARO à travailler sur une réduction du bruit résiduel qui parasite le positionnement absolu et relatif des points. Le nouveau scanner laser PHOTON est le premier résultat de cette démarche d'optimisation : en offrant deux fois plus de détail et trois fois plus de précision, ce nouvel outil devrait nous permettre (printemps 2008) de numériser les éléments et gravures de la Table des Marchands avec une précision jusque-là inégalée.

Mais l'originalité de notre démarche consiste dans l'utilisation du scanner laser (fig. 5 et 6), outil non pas de reconstruction mais de "déconstruction". Une restauration récente (1990) du tumulus de la Table des Marchands a en effet accumulé un certain nombre d'incongruités lorsque des gravures ont purement et simplement été cachées aux yeux des scientifiques et du public par du béton et autres parements qui n'existaient pas. L'idée consiste donc à numériser l'existant ou plus précisément le visible, de réaliser une maquette numérique 3D permettant de présenter un état des lieux aux décideurs (politiques, gestionnaires du site, comités scientifiques, etc.) puis, à partir de cette maquette numérique, de "déconstruire" l'architecture actuelle pour en proposer une alternative plus conforme à la mise en valeur de ces extraordinaires vestiges. Le scanner laser devient dans ce cas un outil d'aide à la décision avant de redevenir un outil d'inventaire puisqu'il est prévu en parallèle de numériser avec la meilleure précision possible les stèles, dalles de couverture et autres objets dont certains portent des gravures. Il est bon à ce sujet de rappeler que nous travaillons sur des logiciels⁴ qui permettent, par la mise en œuvre de certains algorithmes mathématiques, un traitement différencié de différentes couches de points : en un rapide résumé, il sera possible de déformer le nuage qualitativement en modifiant les positions relatives des points selon des directions privilégiées et de modifier l'éclairage des surfaces par addition de sources lumineuses virtuelles qui joueront le rôle de nos éclairages traditionnels en lumière rasante. Ce traitement post-acquisition devrait théoriquement permettre de découvrir d'autres gravures – à l'instar de nos nouvelles techniques d'enregistrement en photographie numérique (Cassen *et al.* 2005b) – et d'affiner nos connaissances sur les outils mis en œuvre, leur mode d'utilisation (angulation au plan de taille, force, etc.) grâce à des connexions avec d'autres logiciels de résistance des matériaux anisotropes qui restent eux aussi à affiner.

3. Le hasard a voulu que se trouvent présents au colloque Bordeaux 2007 deux ingénieurs d'Airbus Industrie. Tous les deux nous ont confirmé que le "poids" du nuage de points de la maquette numérique de l'Airbus A340 était d'environ 480 millions de points ; à comparer aux 3,5 milliards de points que requièrent certains applicatifs d'inventaire sur les mégalithes... On comprend mieux l'incidence du matériel tant en termes d'acquisition que de traitement, ainsi que la nécessité de recourir aux techniques de "fermes de calcul" afin de pouvoir obtenir des rendus fidèles en manipulant en temps réel des objets informatiques de plus en plus monstrueux au fur et à mesure de l'augmentation de la résolution des scanners.

4. Faro Scene™ (Faro) ; Geomagic™ ; Reconstructor™.



Fig. 5. Le scanner laser FARO LS en acquisition à l'intérieur de la Table des Marchands ; vues en coupe gauche, droite et vers plafond (acquisition C. Bouillon 2007 ; photo C. Bouillon ; DAO S. Cassen).

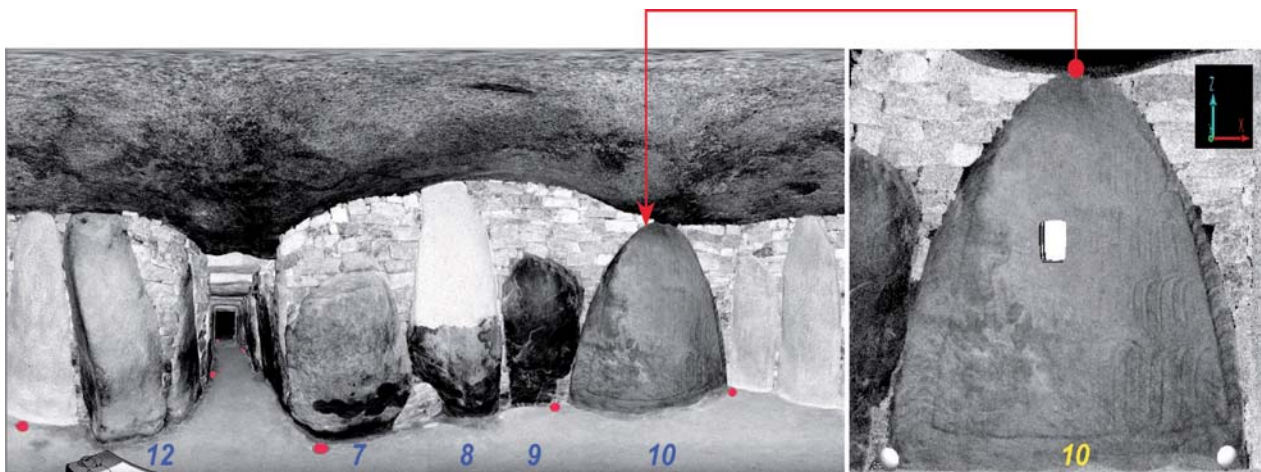


Fig. 6. Vue théorique à 360° de la Table des Marchands ; on distingue au sol les sphères de repérage permettant l'assemblage des nuages de points obtenus des différentes stations du scanner. Au centre de l'orthostate de chevet, gravé de crosses, le rectangle clair est la position de la tête du scanner au moment de la numérisation (acquisition C. Bouillon 2007 ; DAO S. Cassen).

Bibliographie

- Cassen, S. et M. Merheb, (2005) : "Stone surfaces, earth surfaces : notes about the recording and the 3D representation of engraved steles within neolithic funeral structures in western France (Locmariaquer, Carnac – 4700-3800 cal. BC.)", in : Dobrovolskaya 2005, 182-191.
- Cassen, S., B. Lefèbvre, J. Vaquero et C. Collin (2005) : "Le Mané Lud en sauvetage (Locmariaquer, Morbihan). Enregistrement et restitution de signes gravés dans une tombe à couloir néolithique", *L'Anthropologie* 109, 325-384.
- Cassen, S., G. Robin, B. Lefèbvre, M. Merheb (2006) : "Moving the immovable. A short study of methods of recording and illustrating Neolithic engraved steles in Brittany", *Virtual Retrospect, Archéologie et réalité virtuelle, colloque international*, nov. 2005, Biarritz, 187-193.
- Dobrovolskaya, M., éd. (2005) : *Mejedistsplinarie Issledovania v Arkheologii, Interdisciplinary Investigation in Archaeology*, Moscou, OPUS, 4.
- Le Roux, C.-T., J. L'Helgouac'h, S. Cassen, E. Gaumé, Y. Lecerf, C. Le Potier, D. Leroy, J.-Y. Tinevez (1996) : "Reprise des fouilles à Locmariaquer (Morbihan). Campagnes 1986-198", in : Mohen 1996, 440-443.
- Mohen, J.P., éd. (1996) : *La Vie préhistorique*, Bull. Soc. Préhist. Franç., Dijon.

