

# Apprendre des machines

---

## *Ernest Redondo & F. Xavier Sánchez*

Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I. ETSA Barcelona y ETSA del Valles,

Universitat Politècnica de Catalunya,

Departament d' Informàtica. (UPIIA), Universitat Autònoma de Barcelona.

*Nous qui devons enseigner à nos élèves les techniques du dessin traditionnel avons trop souvent recours à des recettes et normes mnémotechniques venues des ateliers et studios d'art traditionnels. De telles stratégies, souvent personnelles et intransférables, s'appuyant sur de longues heures de pratique, sont difficilement assimilables pour des élèves qui ne disposent pas de tant de temps pour s'entraîner, ni d'une telle expérience perceptive; dans le meilleur des cas, il en résulte un dessin stéréotypé ou, s'il est brillant, c'est que l'élève savait déjà dessiner. Comme nous considérons que le dessin traditionnel et le CAD sont les deux outils fondamentaux qui permettent à tout architecte d'exprimer ses idées, il nous a semblé opportun de chercher les points communs entre ces deux disciplines. Dans un discours illustré de dessins d'auteurs divers, nous essaierons de démontrer comment, si nous utilisons exactement les mêmes critères que ceux qui régissent un ordinateur dans l'interprétation de ce qu'il voit, le résultat de la représentation est pleinement expressif et efficace. Si nous sommes capables de rationaliser cette méthodologie et de la transmettre à nos élèves, nous aurons répondu à notre double objectif: leur enseigner à dessiner par des techniques traditionnelles, dûment rationalisées et comprendre un peu mieux le fonctionnement des ordinateurs.*

---

## **Introduction**

Récupérer le sens précis de "Art et Technique du Dessin" et pour cela avoir recours aux ordinateurs, tel est le sens de ces notes: problématique qui, a priori, peut paraître illogique, mais , de la même manière que Constable, Seurat, Picasso, Cézanne, Duchamp, transportèrent dans le monde de l'art de leur temps les dernières avancées de la science en créant de nouvelles clés graphiques pour représenter leurs impressions, pour ces mêmes raisons nous ne pouvons pas, à la fin du second millénaire, faire la sourde oreille aux progrès surgis dans le domaine de la vision artificielle, probablement l'une des plus grandes réussites de l'homme au cours de ce siècle.

Dans un processus historique, science et art se sont donnés la main; parfois l'intuition, le métier des artistes a devancé la science pour donner une explication satisfaisante à ce que nous percevions par les sens; d'autres fois encore ce fut la science qui trouva la réponse adéquate en infléchissant l'art. Pointillisme. impressionnisme, Cubisme, etc., sont un bel exemple de ce que nous avançons.

Avec de tels antécédents, nous sommes certains que nous aventurer à poser une recherche de ce type, dans le contexte du dessin et en particulier de l'expression graphique architecturale, où l'influence des autres branches de la science a aussi joué à un degré plus ou moins grand, a toute sa raison d'être.

Nous considérons que, au cours des dernières années, se sont produites de grandes avancées dans l'expérimentation dans le domaine de la vision artificielle, dues à des scientifiques qui ont adopté les postulats de David Marr, en repoussant ou plutôt en remettant à leur place, tout un arsenal de théories que l'on tenait jusqu'alors comme valables; lisons les *dogmes neuronaux et la détection de traits* de Barlow (Barlow 1972), etc., tout en récupérant quelques idées surgies au milieu de ce siècle et connues comme *des théories représentationnelles de l'esprit* (Koffka 1935).

Ce chercheur mort à la fleur de l'âge (1945-80) nous laissa un extraordinaire legs sous forme de testament scientifique, publié sous le titre de *La vision* (Marr 1984) dont la lecture est incontournable pour tous ceux qui s'intéressent au monde de la perception visuelle et des ordinateurs.

En synthèse, Marr propose une explication à la façon dont fonctionne le processus visuel de notre cerveau et comment il faut structurer la stratégie pour faire qu'une machine puisse voir et interpréter ce qu'elle a devant elle, sur la base de l'existence d'une série de modules plus ou moins indépendants qui représentent divers stades du processus visuel: *l'ébauche primitive*, bidimensionnelle, exclusivement basée sur les changements d'intensité lumineuse; *l'ébauche 2 1/2D*, tridimensionnelle, basée sur la perspective du sujet perceuteur et le *modèle 3D* qui permet la vision généralisée de l'objet dans l'espace et sa confrontation à la connaissance emmagasinée dans notre esprit.

De l'effort des scientifiques pour enseigner à voir aux machines, il est ressorti clairement que voir ne consiste pas fondamentalement à confronter le perçu à l'information accumulée dans notre cerveau, il a fallu en outre adopter une analyse de très haut niveau pour tout le processus perceptivité-représentativité, en étudiant à la fois l'ordinateur et en analysant à fond les tâches que l'on voulait qu'il réalise; algorithme ou fonction mathématique-cellule spécialisée- chip forment ainsi un tout.

En nous basant sur ces expériences, "*pouvons-nous considérer la peinture et le dessin à partir de notre connaissance de ce que fait le système visuel...? cela pourra-t-il, par exemple, aider à enseigner ces savoir-faire ?*" ce sont des questions que Marr s'est posé avant de mourir. Nous considérons qu'il y a là un bon défi pour notre aire de connaissance qui souvent manque de pistes de recherche innovatrices, que d'essayer d'apporter au moins une réponse.

## **Cadre théorique et concepts fondamentaux**

Le cadre théorique de référence sur lequel se déroule la Théorie de la Vision de D. Marr, théorie appliquée à la maîtrise de la vision par ordinateur et grâce à laquelle il est possible de dériver ou d'extraire l'information sur une forme ou une configuration à partir de ses images, peut être simplifiée en quelques lignes, de la façon suivante:

*Image*: Représentation de l'intensité lumineuse de la lumière réfléctée par un objet sur chaque point de l'image digitale.

*Représentation*: Système formel rendant explicites certaines entités ou types d'information avec une spécification de la façon dont le fait le système.

*Ebauche primitive*: Représentation d'une forme qui rend explicite une information importante concernant son image bidimensionnelle, fondamentalement ses changements d'intensité et leur distribution géométrique, au moyen de *zéros*, taches, terminaisons et discontinuités, segments de bord, lignes virtuelles, limites, etc.

*Ebauche 2-1/2D*. Représentation d'une forme rendant explicite l'orientation de profondeur approximative des surfaces visibles et les contours des discontinuités dans ces quantités en un cadre de coordonnées centré sur l'observateur, par la détection de l'orientation locale de la surface, calcul approximatif et intuitif de la distance de l'observateur, détection des discontinuités de profondeur et d'orientation de la surface.

*Représentation de modèle 3-D*. Description de la forme et de son organisation spatiale dans un cadre de coordonnées centré sur l'objet, en employant une représentation modulaire hiérarchique qui inclut tout autant des éléments primitifs volumétriques qui représentent le volume de l'espace que la forme occupe, que sa surface par des modèles 3D cadrés sur une configuration de quelques axes ou tiges auxquels sont assignés des éléments primitifs de la forme volumétrique.

*Constrictions*: Hypothèses qu'il est "raisonnable " d'adopter et qui sont employées pour accélérer l'interprétation automatique des formes à partir de leur silhouette ou pour discerner ce qui se produit en cas de discontinuité, etc.

Ceci ne rappelle rien au lecteur ? Pour nous, c'est "presque" la même chose, lue à l'envers, que de dire: pour représenter une forme, par exemple, une silhouette humaine, il faut commencer par une schématisation de son squelette, avec ses proportions perçues au simple coup d'oeil, pour ensuite enfilet sur les axes que symbolisent ses os des formes géométriques simples qui s'articulent suivant la logique du geste du modèle et qu'il faut ensuite diviser en d'autres plus petites, qui représenteront les volumes de sa musculature.

On procédera ensuite à une première hachure sur la base d'une échelle de ton relativement réduite et calibrée suivant les possibilités de l'instrument de dessin pour relier l'observateur, le modèle et l'éclairage général de la scène, sur la base de tons gradués pondérés en fonction de la façon dont les surfaces s'orientent vers la lumière.

Ensuite, à l'aide de quelques traits, on représentera le contour apparent des parties, là où la silhouette se découpe sur un fonds, plus quelques traits caractéristiques de la physionomie du modèle, ses yeux, son nez, etc., placés avec une précision absolue pour obtenir la plus grande ressemblance avec le visage du modèle, en concluant par

une hachure final qui complète sa scène pour en définir les divers plans, plus certaines nuances qui expliqueront la couleur ou le ton local.

Tout en précisant bien que nous nous livrons à une expérience ou un test qui n'avait pas encore été réalisé dans l'aire de nos connaissances, comme le démontre l'inexistence de bibliographie à ce sujet, et tout en précisant aussi que, en tant qu'enseignants en art graphique et architectes que nous sommes, nous utilisons le dessin pour exprimer nos idées, et sommes donc conscients que ce même dessin contiendra toujours un haut niveau de symbolisme et d'intention, il ne nous paraît en rien devoir dédaigner que les experts en vision artificielle soient arrivés à réduire le problème de la vision par ordinateur aux termes qui viennent d'être exposés après avoir analysé le processus scientifiquement de tous les points de vue: psychologie de la perception, physiologie de la vision, développement des ordinateurs électroniques et l'appareil mathématique qui a permis de développer les algorithmes qui les font fonctionner, etc.

C'est pour toutes les raisons que nous venons d'exposer, et en précisant bien que nous ne voulons qu'importer dans le monde du dessin quelques-uns des concepts de la vision artificielle, sans plus, que nous considérons qu'il vaut la peine, même s'il s'agit simplement d'une étude de viabilité, d'essayer de nous livrer à une expérimentation dont les limites sont bien déterminées; il vaut la peine de vérifier si nos intuitions sont valables, au cas où, de cette façon, nous apporterions un peu plus de rigueur scientifique à l'enseignement du dessin en profitant des avancées de l'informatique graphique. C'est pourquoi nous allons essayer de reproduire le processus proposé par Marr, en l'illustrant par quelques photographies et nous le comparerons aux dessins réalisés par quelques collègues.

## Développement et essai

Nous avons, pour notre propos, divisé le travail en trois phases. En une première phase nous avons analysé des dessins d'auteurs connus en essayant de les interpréter avec l'une des clés auparavant présentées ou sur la base d'une variation intentionnée et symbolique de ces mêmes bases; nous prétendons ainsi confirmer la théorie selon laquelle le Dessin et la Peinture (avec des majuscules) sont art et science, si celui qui les réalise est un maître de la technique, aux raisonnements profonds et intelligents, en définitive, un artiste véritable.

L'excuse, la question posée par Marr dans l'introduction et à laquelle lui-même tente, dans son texte, de répondre: *"... il est intéressant de considérer les représentations sur lesquelles divers artistes se concentrent et qu'ils violent parfois. Par exemple, les pointillistes décomposent d'abord l'image, le reste du schéma reste intact et, pour ce qui est du reste, le tableau a une apparence conventionnelle. D'autre part, Picasso viole plus les principes du niveau du modèle 3D. La tridimensionnalité de ses figures n'est pas réaliste, Il est plus difficile d'offrir un exemple de quelqu'un qui agit fondamentalement dans l'étape de représentation de la surface. Cézanne peut-être ?"*

Les reproductions de dessins qui illustrent la page ci-jointe ne laissent lieu à aucun doute. Chacun de ces artistes a exploré, intuitivement, le monde de la représentation jusqu'au moment où il est arrivé à certains codes graphiques hautement spécialisés par leur affectivité et fortement symboliques, toujours avec des ressources expressives et techniques simples, en élargissant les conventions graphiques en vigueur jusqu'alors.

Les dessins de Modigliani, de Giacometti, de Kandinsky, de Manet, font l'erreur de représenter les contours et zéros des formes, comme le fait le reste des grands dessinateurs. Dans le domaine des architectes, leurs représentations souffrent de cet excès d'architecturation des formes, en soulignant les arêtes qui délimitent les surfaces, ce qui est naturel jusqu'à un certain point, cependant l'argument antérieur est toujours valide pour les grands maîtres.

En second lieu, en nous basant sur les images qui résultent de chiffrer une photographie de l'Ecole, pour éviter ainsi la *vision active* que tout observateur réalise en se déplaçant légèrement sur une scène naturelle, par l'application de ces mêmes techniques de traitement d'images digitales décrites par Marr, nous avons essayé d'obtenir un type de représentation élémentaire, celui qui équivaut aux ébauches primitives, pour atteindre le propos de cet essai, avec le *croquis* (Tolnay 1943), rapide et intuitif, exclusivement réalisé par des lignes.

Cependant et étant donné que la photographie de travail comportait de nombreuses ombres, et que les enseignants qui ont réalisé l'expérience ne résistaient pas à l'envie de les représenter, nous avons dû élargir le domaine de notre étude, celui de l'ébauche 2 1/2 D qui nous paraît très proche d'un croquis avec ombres ou de l'étude traditionnelle (Tolnay 1943) mais précisons que nous n'avons réalisé aucun essai avec l'image originelle en vue d'obtenir une information sur la forme à représenter à partir de l'apparence de sa texture, de l'ombre ou de la couleur, faute des algorithmes informatiques adéquats.

Parallèlement, dans une troisième phase, il a été demandé à des enseignants en dessin de faire, pendant 5 minutes au plus, un dessin de la photographie en blanc et noir, avec un marqueur et sur un format 20x30 cm.

Dans le traitement de l'image digitale qui est la base de l'expérimentation on a employé une résolution de 75 points par pouce, ce qui permet de visualiser sur tout l'écran avec la qualité d'un moniteur par défaut. La *quantification* s'est faite à 8 bits, soit 256 niveaux de gris, ce qui se comprend pour une image en noir et blanc non binaire pour plusieurs raisons, la fondamentale étant que n'intervienne pas la couleur dans ces premières études de la perception mais plutôt les intensités lumineuses comme le préconise Marr, mais aussi par ce qu'en outre le processus postérieur n'est possible qu'avec ce type d'images. Ensuite de quoi et pour pouvoir opérer avec elles il a fallu les découper de façon à ce que leur dimension soit puissance 2, on a ainsi travaillé avec des images de 256x256 pixels.

La première partie du processus a consisté à reproduire avec un software expérimental à vision artificielle, le *Vision Lisp-ViLi*, l'opérateur proposé par Marr pour la détection des zéros ou, ce qui revient au même un algorithme qui à partir de la seconde dérivée de la fonction qui représente une image digitale nous donne la courbe ou plutôt le zéro ou lieu où la fonction passe de positive à négative et qui coïncide toujours avec un brusque changement d'intensité dans l'image, ce qui correspond généralement à:

a) un changement d'éclairage de la scène, dû à des ombres, des sources visibles de lumière et des gradients d'éclairage; b) un changement d'orientation ou de distance des surfaces visibles par rapport à l'observateur ou c) des changements sur la surface réfléchissante.

L'algorithme proposé est un filtre digital dans lequel convoluent une distribution gaussienne bidimensionnelle de l'image, qui fait légèrement perdre la mise au point, en appliquant un opérateur laplacien composé des secondes dérivées partielles de l'image, ce qui nous permet d'obtenir les bords ou croisements par les zéros de l'image. Sans entrer dans plus de détails, le résultat final est un filtre en forme de chapeau mexicain, dont le rang de variation est défini par le rayon et dont l'effet revient à effectuer une action sur une image ou une matrice avec une action déterminée en interposant une autre qui joue le rôle d'amortisseur, en diluant son incidence pour les besoins de poids du champ réceptif.

$$G(x,y)=e^{-\frac{x^2+y^2}{2\pi\sigma^2}} \quad \nabla^2 G(r)=(-1/\pi\sigma^4)(1-r^2/2\sigma^2)e^{-r^2/2\sigma^2}.$$

Dans ses expériences, Marr argumente que avec ce filtre et en utilisant des rayons calibrés en fonction de la sensibilité des dimensions du champ de réception des cellules spécialisées existantes dans notre oeil par une échelle ou largeur de pas de bande de 1,25 octaves à trois puissances distinctes, équivalentes aux canaux dont la dimension est de N-33,1',S-6,2',T-11,7', obtenus dans les études de détection de seuils de Wilson, Campell et Robson (Campell et al. 1977), on obtient une représentation très fidèle de ce que voient nos yeux en une première étape de la perception.

Dans les exemples qui illustrent son oeuvre, les filtres employés ont des rayons de 6,12,24 pixels ou 2, 4 et 8. Dans notre cas, nous avons voulu répéter l'expérience scientifique telle quelle, car nous ne sommes pas en condition de juger et avons employé la même dimension de filtres que décrits dans ses exemples. Sur les images que l'on peut voir ci-dessous, le processus intégral est reproduit, jusqu'à la détection des croisements par les zéros. Cependant, pour mettre en évidence les résultats, nous avons continué à travailler avec les mêmes, de sorte, à la fin, à obtenir une représentation sur laquelle la plus ou moins forte intensité du contraste ou de la courbe du zéro, soit mise en évidence par une ligne ou un trait pondéré sur une échelle de 256 niveaux de gris, d'abord comme résultat net et ensuite superposé à l'image originale.

Si on superpose les résultats de trois processus pondérés comme il le définit, l'image qui en résulte doit nous donner la combinaison unique des croisements par les zéros qui montre ce qui est réellement important dans la perception au niveau de l'ébauche primitive. Cette image finale pondérée en niveaux de gris suivant le plus ou moins de contraste d'un bord détecté à partir des changements de contraste lumineux nous donne un type de représentation qui est celui que nous avons comparé aux croquis de nos compagnons.

Arrivés à ce point, il nous vient un doute: quelle relation existe-t-il entre les zones que nous avons détectés sur les images et les contours ou les bords de la forme? Marr propose une explication comprise dans la définition de l'ébauche 2 1/2D. Tous les contours correspondent avec: 1) des discontinuités de distance par rapport à l'observateur, 2) des discontinuités d'orientation des surfaces des modèles, 3) des changements de reflets de leur surface et 4) des effets de l'éclairage, lumières, ombres, etc. Pour ce qui est de nous, cette explication nous donne entièrement satisfaction par rapport à ce que nous voyons sur l'image originale, sauf les petites nuances de ton que notre vue ne perçoit pas, car elle n'est pas capable de se concentrer sur de très petites zones sans être affectée par l'environnement, le reste coïncide avec ce que nous avons détecté.

Il nous intéresse maintenant de vérifier comment les divers auteurs représentent les contours, quelles constrictions ou supposés ils font, s'ils ont une relation directe avec les zones de plus ou moins fort contraste observées sur la

scène, s'ils pondèrent le trait, si leur signifié est renforcé d'une manière quelconque et si tout ceci coïncide avec l'information donnée par l'ordinateur au moyen des algorithmes employés en vision artificielle.

Nous sommes parfaitement conscients de ce que, à partir de là, nous entrons dans le domaine du subjectif, dans le monde des processus d'intention qui font partie de l'acte de dessiner par la représentation d'arêtes ou bords et ombres et clairs-obscur, suivant la littérature classique de notre discipline (Gomez Molina 1995), et que la réponse ne peut toujours être la même face à un modèle identique, il ne manquerait plus que cela, puisque c'est en cela que réside la principale vertu du dessin, son expressivité, le geste, le trait, mais nous considérons qu'il doit toujours exister une légère relation cause-effet, image-représentation. Ce que nous ne savons pas est quel est le niveau minimum de cette relation. Nous suggérons que ce soit celui de l'ébauche primitive.

Figure 1

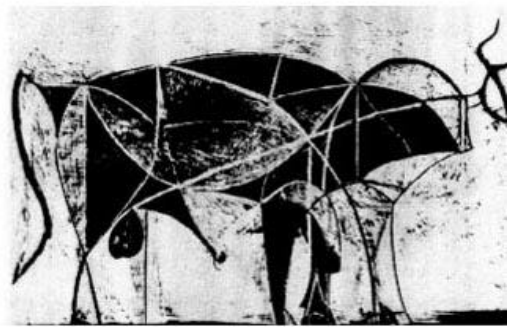
Exemple de dessin des plusieurs auteurs



Seurat



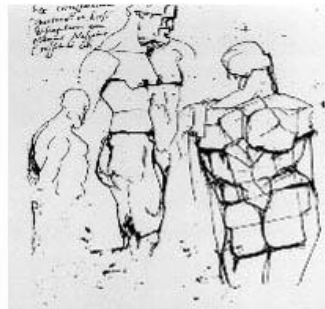
Cezanne



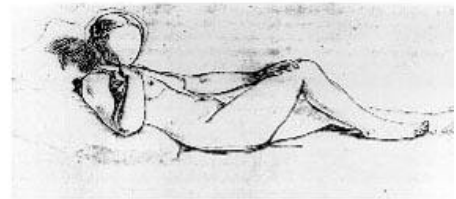
Picasso



Picasso



Rubens



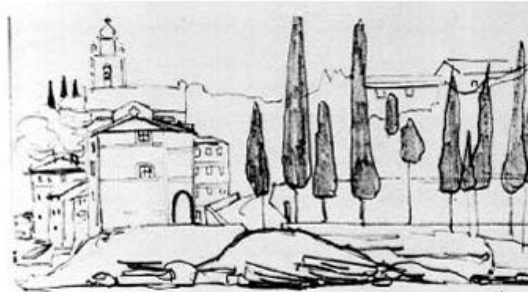
Manet



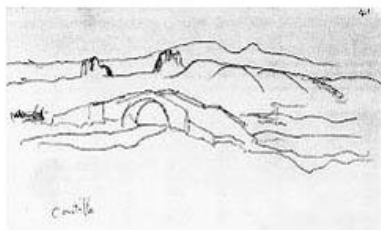
Giacometti



Modigliani



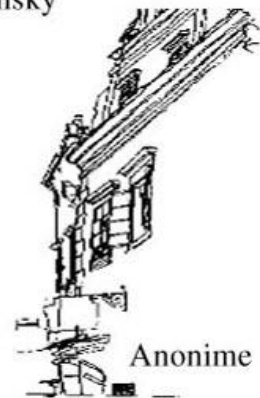
Kandinsky



Le Corbusier



L. Kahn



Anonime

Les exemples qui sont reproduits sur la première planche illustrent un large éventail d'options. Cependant, en nous centrant sur ce que nous pourrions classer comme faisant partie du style *ligne claire* qui est le plus semblable aux résultats que nous voulons obtenir, nous considérons que les meilleurs exemples sont ceux que l'auteur a dotés d'un fort contenu symbolique, et même, oserions-nous dire, dans lesquels il a violé un peu les lois de la représentation, ce sont les dessins de Le Corbusier, Giacometti ou Matisse; dans les autres cas, comme on le voit dans les autres exemples, le résultat acquiert un caractère excessivement stéréotypé et manque d'intention.

Arrivés à ce point de la discussion, c'est le moment d'entrer dans le commentaire des divers dessins réalisés par nos compagnons.

## Conclusions.

Le résultat comparatif est montré dans les images ci-jointes, qui recueillent une partie significative de l'échantillon statistique de 20 professeurs et élèves qui se sont offerts à collaborer. Nous avons tout à fait conscience du fait qu'un tel groupe est trop réduit pour une étude rigoureuse, mais il suffit, à notre avis, pour définir une étude de viabilité. Comme on le voit, l'interprétation de l'image originelle n'est pas unique, mais par contre presque tous les enseignants ont représenté les bords ou contours des formes qui sont en premier plan, y compris les zones non visibles car excessivement éclairées ou dans l'ombre; en ce sens, la stricte correspondance entre image et représentation, facteur de base de la vision artificielle, et de la similitude entre modèle et dessin, au niveau des coordonnées, est presque nul, tout au plus ont été maintenues les relations topologiques entre les éléments de la scène.

En second lieu, 81% des professeurs ont détecté les contours qui délimitent des zones de contraste lumineux, des sources de lumière, des ombres, etc., mais presque personne ne les a pondérés par le trait en fonction du contraste. En troisième position, 50% seulement des sujets ont détecté et représenté les changements d'orientation des diverses surfaces et ont tenté de les suggérer par un gradient de texture qui n'a rien à voir avec la texture du matériau ou sa directrice génératrice. 20% ont indiqué les contours généraux par des changements de reflets des surfaces et personne n'a dessiné les taches du mur.

En résumé, nous dessinons de mémoire, ce qui n'est pas mauvais parce que cela démontre que la pensée guide le geste, mais cette manière de travailler n'est pas basée sur des critères et des concepts scientifiques rigoureusement formulés et facilement comparables à la réalité, mais bien plutôt s'appuie sur des conventions ou des recettes et celles-ci sont rapidement oubliées ou donnent lieu à un type de dessin stéréotypé. Il nous semble qu'il serait plus normal de travailler une forme mixte comme le montrent les derniers exemples.

Notre cerveau est plus perspicace que la machine, mais il ne peut tout saisir. De la même façon que nous sommes capables de discerner qu'une scène réalisée par un ordinateur présente des aspects qui en dénotent l'origine, telles que le manque de combinaison d'effets de réflexion diffuse et spectaculaire qui lui donne unité, etc, de même nous devrions savoir, à partir des mécanismes utilisés par les ordinateurs pour reproduire l'incidence de la vision dans la reconnaissance des formes, ce qui est essentiel dans la représentation ou le dessin des formes et ce qui est accessoire.

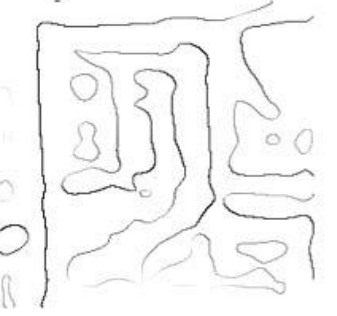
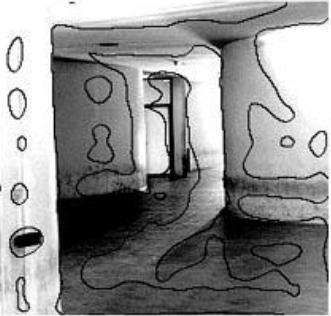
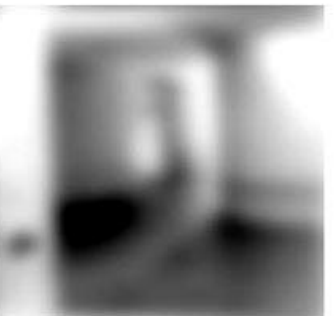
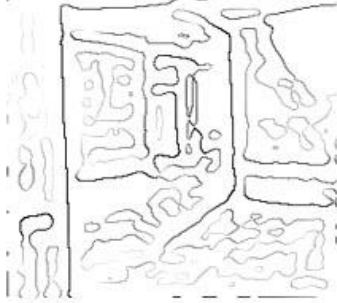
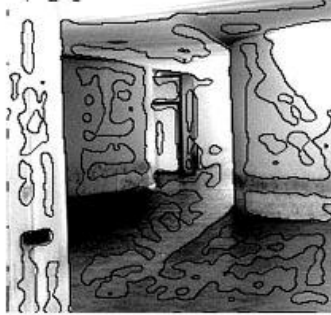
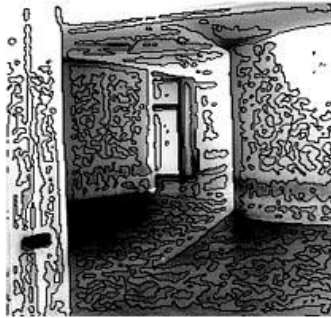
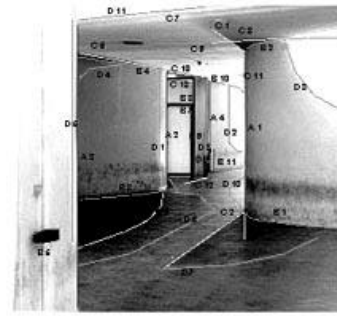
L'ordinateur est objectif, presque obsessionnel dans ses observations et cette spécialisation, cette capacité à se centrer sur un seul motif est ce qui nous coûte le plus à nous autres, hommes qui, trop facilement, alors que nous avons à portée de la main une réponse plausible permettant d'expliquer notre environnement, laissons de côté les détails; alors, à moins d'être chargé d'intention, il en résulte un mauvais dessin; il ne serait pas de trop que, dans les premiers stades de notre formation graphique, *nous apprenions quelque chose des machines*, sans renoncer à tout le reste, à la composition, à l'émotivité, au symbolisme, bref à la subjectivité de toute oeuvre d'art. Peut-être, ces derniers temps, a-t-on trop insisté sur tout cela en laissant de côté la science authentique du dessin, c'est pourquoi l'intérêt scientifique de nos recherches sst si réduit.

Figure 2

Le traitement digitale en quelques images



Image originale,  
bords detectés à l'oeil  
Les trois niveaux du procès avec  
les masques de 2, 4 et 8 pixels



Images resultant de la fusion  
et de l'intersection des trois  
masques

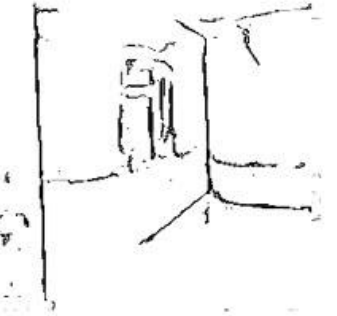
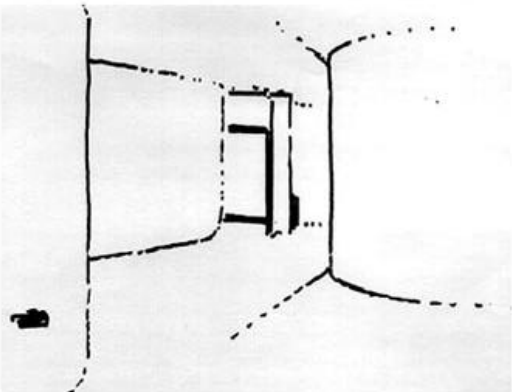
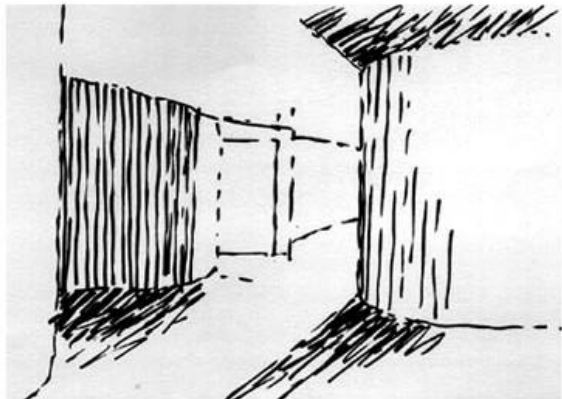
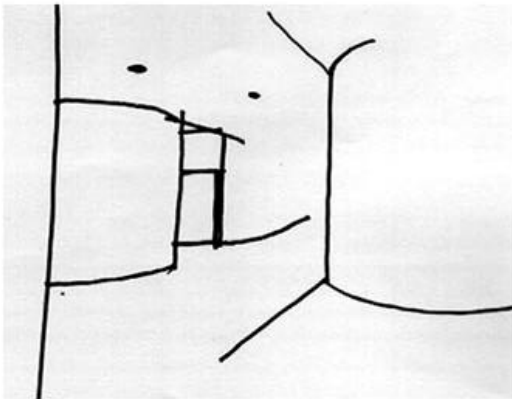
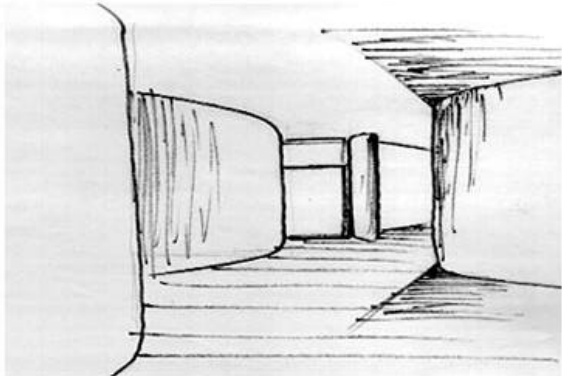
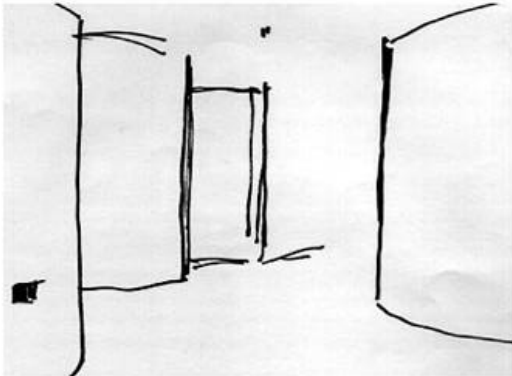
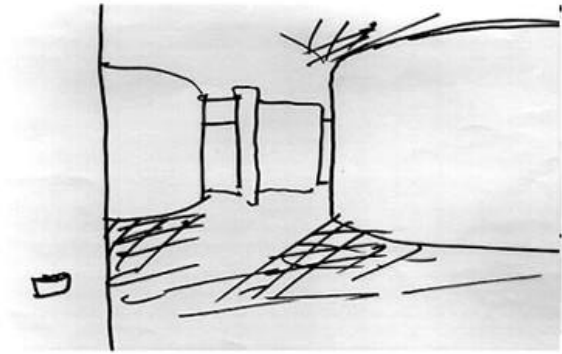
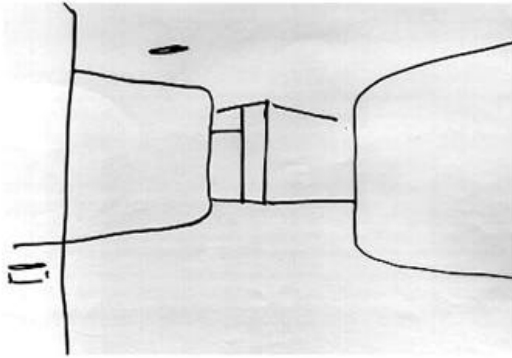




Figure 3

Les dessins des professeurs



## **Références.**

Barlow H.B. Single units and sensation in a neuron doctrine for perceptual psychology ? Journal of Physiol. 119 Londres 1972

Koffka, K. Principios de Psicología Gestáltica. Ed. Paidos Buenos Aires, 1973 (1935)

Marr, D. La Visión. Ed. Alianza. Madrid 1984

Tolnay, Ch. de. History and Technique of old Master Drawings. Ed. Nueva York, 1943

Id, Id, ou exemples chez Vagnetti, L. Disegno e architettura. Ed. Vitali e Ghiandi, Genève, 1959

Campbell F.W. et Robson, J. *Application for Fourier analysis to the visibility ...* journal of Physiol. 197. Londres, 1977

Gómez Molina, J.J. (Coord.) *Las Lecciones el DIBUJO*. Ed. Cátedra, Madrid, 1995.