Le pli et la plasticité
Runninghami, un "concept design" de protections phoniques pour les voies rapides du Sud-Loire

Pascal Amphoux, Filippo Broggini
mars 2007

Développé pour le compte de la DDE42 [1], le "concept design" d'écrans phoniques dont il va être question repose sur une ambition : celle de se rapprocher d'une qualité propre aux systèmes vivants, la plasticité*. Cette notion peut être définie comme la capacité d'un organisme vivant à se déformer ou se transformer en fonction des perturbations de son environnement, sans pour autant perdre sa cohésion, son intégrité ou sa forme identitaire [2].*

Tel est le sens du projet Runninghami*. Faire du système des écrans un organisme "vivant" qui soit capable de grandir, vieillir ou se régénérer (dans la durée, lente et discontinue, des projets d'aménagement) et qui soit susceptible de modifier sa forme en fonction des contraintes ou des opportunités de son environnement (non seulement acoustique, mais aussi comme on va voir, territorial et paysager).*

ANTECEDANTS

Runninghami fait suite à une recherche à la fois formelle et territoriale, initiée à l'occasion de deux projets antérieurs : *Ceresiosaurus* (projet de protections acoustiques de l'autoroute tessinoise Melide-Bissone) et *Desailonpontès* (projet de protections acoustiques du viaduc de Chillon). Dans les deux cas, l'insertion paysagère de l'ouvrage apparaissait comme un enjeu majeur : traversée du lac *Ceresio* sur un pont-digue dans le premier cas, "survol" du lac Léman sur un ouvrage de génie civil emblématique dans le second *(Ill.1)*.

Cet enjeu paysager nous avait conduit à écarter la logique du mur de protection traditionnel, dans sa rigidité et sa continuité immuable, pour développer un système formel inédit, dont l'esthétique et le design reposaient sur l'idée de ***"structure modulaire à correction acoustique variable"***. Continue et discontinue à la fois, ce type de dispositif permet de moduler le degré et la nature de la correction acoustique recherchée, en fonction des contraintes ou des opportunités territoriales locales, tout en générant un mouvement global et une unité formelle du point de vue de la perception.

C'est cette même perspective que nous poursuivons ici. Mais à la logique des modules séparés, qui ne préservaient leur étanchéité acoustique que grâce à un jeu de chevauchements les uns par rapport aux autres, nous avons substitué celle des modules pliés, dont l'assemblage continu assure une étanchéité physique tout en préservant la richesse et l'adaptabilité des variations modulaires. La paroi n'est plus constituée d'une suite d'écailles dont le chevauchement reconstituait la continuité, elle est une continuité matérielle ***dont les plis recomposent la plasticité du module*** – c'est-à-dire *la fonction de la modulation*.

Mais comment en est-on arrivé là ? Cinq entrées nous permettront de décrire la

---

1 Ce texte reprend les arguments principaux du rapport final de la tranche ferme d'une étude menée pour le compte de la DDE 42, Marché public de prestations intellectuelles 05353, remis en mai 2006.

2 Cf. par exemple D. Lambert et R. Rezsöhazy, *Comment les pattes viennent aux serpents, Essai sur la plasticité du vivant*, Flammarion, Paris, 2004

démarche : le concept, l'usage, la carte, la morphogénèse et la modélisation. On verra que ces entrées se ressaisissent de proche en proche et s'inscrivent dans un schéma bouclé : de la réflexion sur le contexte à grande échelle, naît un concept formel qui en est indépendant – puisqu'il reste virtuel et n'est pas localisé ; mais de la paramétrisation de ce concept, naît en retour une adaptabilité opérationnelle à presque toutes les situations locales et une capacité à requalifier les contextes de petite échelle.

Le concept

HYPOTHESE
DE LA PROTECTION ACOUSTIQUE DES RIVES A LA REQUALIFICATION SONORE DU TERRITOIRE

La question de l'esthétique des écrans anti-bruit est classique et régulièrement maltraitée car elle repose sur une ambiguïté, que la mission qui nous a été confiée par la DDE Loire obligeait à lever. D'un côté, on améliore l'environnement sonore, même si l'on sait que l'ouvrage n'est pas d'une efficacité radicale (on "abaisse" les niveaux en dessous de "valeurs limites" mais on ne les supprime pas) ; de l'autre on se culpabilise de détériorer le paysage, et l'on fait tout pour rendre les parois aussi invisibles que possible (hauteurs limitées, matériaux transparents, …). On n'est "ni pour ni contre, bien au contraire". On oppose systématiquement deux dimensions, le bruit au confort, le visuel au sonore, le fonctionnel à l'esthétique, … et la demande de traiter *esthétiquement* une solution qui soit *acoustiquement* acceptable (ou inversement) tourne rapidement au dilemme. Comment en sortir ?

D'une part, il faut refuser de mettre en concurrence les deux dimensions : repartir certes d'une ***approche esthétique de design*** comme il est demandé (et par exemple étudier la perception du paysage en mouvement pour l'automobiliste), mais *pour requalifier le paysage sonore traversé*, c'est-à-dire pour restituer des espaces sonores contrastés, d'animation, de calme ou de silence – et non seulement pour compenser la nuisance environnementale.

D'autre part, il faut réintroduire la troisième dimension, sociale, trop souvent oubliée : repartir d'une ***approche anthropologique du vécu*** (et il faut de fait également étudier la représentation de l'ouvrage pour les habitants alentour), mais *pour requalifier des milieux sonores vivants (urbains ou ruraux)*, c'est-à-dire pour rendre possible des usages, des fonctions ou des aménagements nouveaux – et non seulement pour réparer les dommages subis par les riverains.

ENJEU
QU'UN ECRAN PUISSE SERVIR A AUTRE CHOSE QU'A CE A QUOI IL SERT

A la thématique de la lutte contre le bruit, s'ajoute la problématique de la requalification du territoire. « Assainissons l'environnement, mais requalifions les milieux et réinventons le paysage ». Ou plus précisément : « Apprenons à faire des pratiques environnementales émergentes non seulement des moyens de protection contre les nuisances mais avant tout des instruments de requalification des milieux sociaux et des paysages sensibles ». Et exigeons par exemple qu'une protection acoustique puisse servir à autre chose qu'à ce à quoi elle sert :

- à rendre possible des usages nouveaux ou anciens dans les espaces publics attenants,
- à "catalyser" des développements urbains sur ses rives (qui jouent le rôle d'écrans passifs) et
- à saisir l'occasion de développer une véritable esthétique du mouvement – enjeu que l'on peut tenir pour majeur dans une "culture de la mobilité".

TITRE
RUNNINGHAMI

Runninghami, c'est d'abord une ***référence emblématique***, *Running Fence*, œuvre fameuse de Christo *(Ill.2)* qui lança dans les années 70 un mur de toile de 40 km sur 5.5 m dans le paysage californien (exactement la distance Givors-Saint-Etienne). Cette œuvre évoque, tant par sa matérialité que par son échelle, l'intention esthétique et le sens du projet : révéler les aspérités d'un paysage inaperçu (celui de la vallée du Giers et de ses industries), établir une unité entre des écrans discontinus (plus de 20 ans de constructions hétérogènes), révéler la fragilité paradoxale d'une limite continue (exprimer la légèreté possible d'un écran acoustique).

Runninghami, c'est ensuite un clin d'œil à l'art des *origami (Ill.3)*, l'art du pliage japonais, qui nous sert ici de ***référence technique et constructive***. Cet art est celui du pli, c'est-à-dire celui du déploiement et du resserrement, de la progression et de la présentation, du retournement et de la surprise. C'est aussi dans un autre registre une manière d'évoquer l'industrie locale du ruban et de la passementerie, sans oublier celle, si l'usage de la tôle pliée se révèle performante, de la métallurgie et de la tradition minière – une manière d'ourler le ruban autoroutier autant que la nature du territoire stéphanois.

Runninghami, c'est enfin un nom qui rime avec celui d'un chorégraphe de renom, Merce *Cunningham*, dont l'art de danser dans l'espace se mue en art de faire danser l'espace. La ***référence*** est cette fois ***perceptive et dynamique***, puisque le concept repose autant sur la perception des mouvements autoroutiers dans le territoire habité que sur celle, inverse, de la perception en mouvement du paysage traversé.

BILAN
UNE "CHARTE DESIGN SONORE"

En résumé, Runninghami débouche sur la formalisation d'une "charte design sonore" qui repose sur l'interaction entre trois dossiers de référence relevant respectivement d'approches anthropoplogique, paysagère et technique [3]. Cette charte offre au Maître d'ouvrage un répertoire de solutions techniques, esthétiques et financières qui devient en puissance un outil de négociation opératoire par rapport à des ambitions territoriales plus larges.

L'approche territoriale ne donne naturellement aucune recette. Mais elle constitue un document de base pour poser des questions pertinentes, aborder des acteurs territoriaux, inciter ceux-ci à penser des projets en cours ou des aménagements complémentaires par rapport à la pose d'un écran acoustique. En d'autres termes, c'est un instrument de travail pour les inciter à user pleinement de la *plasticité* du système proposé, c'est-à-dire, comme on l'a dit, sa capacité à être modulé et adapté en fonction des aménagements locaux ou micro-locaux que les riverains ou leurs élus souhaiteraient réaliser.

Si une telle logique de négociation avec les acteurs territoriaux échoue, une solution sera toujours *applicable* sur le territoire propre de la voirie considérée pour répondre aux objectifs acoustiques et visuels de la DDE (l'approche paysagère et le modèle paramétrique en fournissent les conditions). Mais si elle débouche, elle aura *impliqué* d'autres acteurs, d'autres échelles, d'autres interventions, et *fait d'un système de protection acoustique le catalyseur de stratégies beaucoup plus complexes de requalification de l'environnement et de restructuration du paysage dans l'espace et dans le temps.*

C'est à ce prix que l'on peut espérer, comme le demandait le texte initial de l'appel d'offres, « remettre les usagers et les riverains au centre du processus de conception », sans condamner par ailleurs l'autonomie de la démarche de conception et l'unité formelle d'une « autoroute-design ».

---

3 Ces trois dossiers peuvent être consultés ou téléchargés depuis le site http://www.design-public.net/, en cliquant successivement sur *Mots-clés, Projets, Runninghami*

USAGES ET REPRESENTATIONS

L'approche territoriale devait viser, par la mise en œuvre de techniques pluridisciplinaires d'analyse de la perception et de "récit des lieux", à identifier des représentations et des pratiques distinctes de l'autoroute et des voies rapides du Sud Loire.

Cette approche a consisté à collecter, selon des méthodes éprouvées par l'équipe de BazarUrbain, les « récits » de quatre types d'acteurs, dont les discours se réfèrent de façon dominante à des objets et échelles de référence contrastés :

Acteurs concernés	Méthode de récit	Objet	Echelle
Experts	6 tables-rondes et débats collectifs	Le contexte	Le territoire
Elus, services techniques, associations	9 entretiens et/ou "visites guidées"	La ville	Les communes
Subdivision « autoroute » DDE	1 journée de suivi sur le terrain	L'équipement	Les rives
Automobilistes	24 cartes mentales et 6 "parcours embarqués"	Le grand paysage	Les vallées

QUATRE RECITS CONTRASTES

Le premier récit a été produit collectivement en organisant six ***réunions d'experts*** impliquant systématiquement plusieurs membres de la maîtrise d'ouvrage. Elles ont privilégié trois entrées principales : l'identification des "Etudes en cours", l'évolution potentielle des "Projets en débats", la mise à plat des contraintes normatives au cours de deux "Réunions techniques". Le collectif des personnes sollicitées, en interne ou en externe, était issu de milieux très différents (techniciens, chercheurs, personnalités institutionnelles). Ces séances ont permis de créer un minimum de culture commune autour du territoire investi entre l'ensemble de l'équipe de concepteurs, les mandataires et certains acteurs territoriaux (premier relais pour le développement du processus de réalisation des projets à venir).

Le second récit émane des ***usagers de la route***. Une série de "cartes mentales" et de "parcours embarqués", consistant à faire réciter le parcours de Givors à Saint-Etienne (et inversement) en situation de conduite automobile, a permis de recueillir une foule de perceptions récurrentes, de ressentis physiques ou de représentations imaginaires qui sont partagées par les automobilistes [4]. Les propos tenus par des interlocuteurs différents passant au même endroit sont ensuite recomposés et le texte "polyglotte" ainsi reconstruit fournit une matière extrêmement riche pour distinguer des séquences prégnantes du point de vue perceptif et nommer des caractères d'ambiance propres de la route et de son rapport à l'environnement.

Le troisième récit émane d'une série d'entretiens, menés, dans ***chaque commune*** importante traversée par l'autoroute, auprès d'un élu ou d'un chef de service technique. Le but de ces rencontres était de recueillir un minimum d'informations sur les principaux enjeux urbains, projets de développement ou intentions d'aménagement de chacune des communes traversées, afin de dégager d'éventuelles opportunités et surtout de se donner un matériau de définition possible d'enjeux urbains sur les rives de l'autoroute. C'était également un mode d'acculturation minimale et un moyen de préfigurer des

4 Les propos du conducteur sont enregistrés pendant que des photographies du territoire traversé faisant l'objet ou non de ses commentaires sont prises.

contacts possibles pour le développement ultérieur de projets concrets [5].

Le quatrième récit, enfin, a été celui ***des exploitants*** et des services de maintenance. Il a été recueilli, en suivant un chef d'équipe de la division autoroute de la DDE, pendant une journée entière de patrouille ordinaire. Ce quatrième discours devait apporter tout un tas de micro-informations sur les problèmes, les risques, les dispositifs, les besoins ou les soucis de maintenance de ce territoire particulier.

TROIS CARACTERES IDENTITAIRES

De ces différentes approches des pratiques et des représentations vécues du territoire de l'autoroute, il est ressorti trois caractères transversaux, qui couvrent le champ des perceptions partagées par les acteurs les plus différents, même s'ils les expriment par des mots différents. Nous les avons nommés respectivement la rugosité, la latéralité et la sinuosité.

La rugosité renvoie à la perception du mauvais état de la route qui est naturellement regretté ou décrié par presque tous (c'est une autoroute dangereuse, "hors la norme comme on dit hors la loi", où la mémoire des accidents, des frayeurs ou des bouchons est inépuisable, …), mais qui en même temps est paradoxalement apprécié parce qu'elle est le signe d'un certain caractère (c'est une autoroute qui est encore une route, "où l'on peut encore piloter sa voiture", où certains savoir-faire ou tactiques d'évitement peuvent encore s'exercer).

La latéralité renvoie à la prégnance des rives autoroutières dans la perception de l'usager. C'est comme si la rugosité de la chaussée obligeait le regard et les perceptions à se focaliser sur elle et du coup à s'isoler du paysage en ne percevant que la succession des éléments mobiles, immédiatement latéraux. De fait, les seuls indices de repérage couramment évoqués sont les élargissements ou rétrécissements de la route (les passages à deux voies ou à trois voies), les tunnels ou les viaducs, les zones commerciales ou forestières qui viennent à certains endroits border le tracé. Quelques échappées lointaines sur les montagnes sans doute, mais qui restent ponctuelles et exceptionnelles, et aucune perception paysagère d'échelle intermédiaire.

Quant au caractère de ***sinuosité***, il résume une foule de perceptions sensibles exprimées par des mots différents : la "souplesse d'un tracé reptilien", les virages successifs, les montées et les descentes, les seuils et les moments d'ouverture ou de fermeture en font "une autoroute de montagne qui ne dit pas son nom".

De ces trois caractères on ne tirera aucune recette en termes d'aménagement : ils vont pourtant inspirer directement le dispositif formel proposé.

Une approche cartographique du territoire
Prospectives paysagères

Par l'élaboration de cartes analytiques et prospectives, l'approche paysagère a ensuite permis de préciser les enjeux concrets du projet et d'en fonder les deux principes majeurs, le pli et la plasticité.

ODOGRAPHIE, TOPOGRAPHIE ET HYDROGRAPHIE
DES PLIS DU PAYSAGE AUX PLIS DE LA STRUCTURE

Trois cartes analysant la distribution des écrans dans les structures respectivement

---

[5] Ces entretiens se sont déroulés autour d'un plan de la commune. Il était demandé de dessiner succinctement sur calque le contenu de ce qui était exprimé verbalement, le tout a été restitué sous une forme schématique unifiée.

odographique, topographique et hydrographique ont d'abord révélé :

- deux obstacles à surmonter :
  - la ***discontinuité des ouvrages*** le long du tracé des voiries : certaines portions sont bien équipées, d'autres très peu, et la cartographie révèle bien le caractère opportun de décisions prises, au coup par coup et sans vision d'ensemble ;
  - l'***hétérogénéité des réalisations***, aussi bien en termes d'esthétique qu'en terme d'état de la construction et sans doute d'efficacité sonore ;
- deux qualités au contraire à révéler :
  - celle, reconnue, récitée et perçue par tous, de la ***structure topographique*** de grande échelle comprenant les deux versants de la vallée du Giers et le seuil sur lequel s'est développé Saint-Etienne *(Ill.4)* ;
  - celle, plus rarement évoquée et moins perceptible, de la ***structure topologique*** de moindre échelle, qui comprend tous les vallons adjacents et le jeu des micro-reliefs qui en façonnent les versants.

De là la formulation de deux enjeux de projet qui entrent en résonance avec les caractères sensibles énoncés plus haut :

- proposer un système formel évolutif (et non un modèle formel de plus) qui permette de reconstituer, à terme, une continuité et une unité dans le traitement des rives de l'autoroute (valorisation de l'effet de sinuosité) ;
- valoriser autant le "macro-mouvement" que le "micro-sillon" *(Ill.5.1)* : faire en sorte que les ouvrages projetés le long de la voie accentuent le mouvement de la vallée dans son ensemble (accentuation de l'effet de "latéralité"), tout en contribuant à révéler ou exprimer les infinies variations de ses versants (expression de l'effet de "rugosité").

De là aussi l'extrapolation graphique des "plis du paysage" *(Ill.5.2)* qui a préfiguré le parti pris et qui, a posteriori, symbolise bien la manière non déterministe dont la lecture du paysage nous achemine vers le concept de projet. Une "matière topologique", en révélant sa texture, devient un matériau pour le projet. La forme d'une vallée, en révélant ses micro-reliefs latéraux, devient force ou ligne de force pour le projet. Quelle homologie dès lors trouver entre la forme du territoire existant et la forme du dispositif à projeter ? Quelle inspiration réciproque ? Quel concept commun ?

Réponse. Le pli.

ESPACES NATURELS ET ESPACES BATIS
VISIONS PROSPECTIVES

Les réunions d'experts, menées dans le cadre de l'approche anthropologique (*cf. supra,* "Projets en débats"), ont révélé une grande incertitude sur les développements du territoire, à bref moyen et long terme. L'ouverture de l'autoroute A45, le statut futur de la route à aménager, les incertitudes de redéploiement de l'industrie malgré des évolutions récentes encourageantes, les jeux d'équilibre de population entre le bassin stéphanois et le bassin lyonnais, le devenir des réserves naturelles que représentent le Pilat d'un côté, les monts du Lyonnais de l'autre, ... Aucune prospective n'apparaissait du point de vue du projet suffisamment fiable pour avoir une quelconque valeur programmatique.

Ces visions ne pouvaient pas pour autant être ignorées ou totalement évacuées. Elles ont été pour nous sources d'inspiration et surtout de prudence dans le développement du concept et la réversibilité des projets d'aménagement que celui-ci engendrera.

Ici encore la schématisation cartographique a permis de ressaisir ces incertitudes en leur attribuant non pas une valeur représentative mais un minimum de valeur prospective. Elle vise à poser la question de l'évolution du territoire à long terme, évolution dont on peut souhaiter qu'elle évite certains écueils bien connus de l'aménagement contemporain :

l'étalement urbain, la fragmentation des territoires de régénération naturelle, l'indifférenciation du paysage.

Ainsi les trois cartes prospectives esquissées suggèrent-elles, dans leur incomplétude, que le concept de l'autoroute et les stratégies de développement d'écrans anti-bruit tiennent compte de trois intentions politiques encore invisibles mais qui pourraient se révéler à l'avenir fondamentaux et du moins souhaitables : la création de corridors écologiques transversaux *(Ill.6)*, la promotion de stratégies de densifications urbaines *(Ill.7)*, la reconquête des rives et des abords de l'autoroute (si l'hypothèse de son dédoublement et de son "apaisement" corrélatif devait se confirmer).

De là la formulation de trois enjeux qui, une fois de plus ressaisissent les trois caractères énoncés par les divers acteurs du territoire :

- valoriser les passages de la nature dans le paysage urbain de la Vallée du Giers (effet de sinuosité) ;
- traiter les abords de l'autoroute de manière à exprimer, subtilement et discrètement, l'alternance des séquences paysagères urbaines et naturelles traversées (effet de rugosité) ;
- repérer pour chaque projet concret les potentialités du territoire selon trois échelles de proximité : la rive, les espaces publics proches, le paysage plus lointain (effet de latéralité).

Comment cette fois prendre en compte de tels enjeux prospectifs ? Comment ne pas grever (ou mieux, stimuler) les évolutions souhaitables du territoire à long terme ? Quel fondement donner au dispositif formel à concevoir pour qu'il puisse s'adapter à l'évolution des situations du futur ? Quel principe adaptatif ?

Réponse. La plasticité.

Un dispositif morphogénétique
Le Pli, la Plasticité et les variations structurelles

Loin de chercher à proposer un écran type dont la forme, nouvelle, viendrait se surajouter au catalogue des styles d'écran qui s'égrènent le long des voies rapides, *Runninghami* se présente comme ***un système formel, infiniment variable et pourtant cohérent***, de manière à ce qu'il soit susceptible de s'adapter à toutes les situations dans l'espace (plus de 100 km de linéaire), de s'implanter progressivement dans le territoire (plusieurs décennies d'aménagement successif), de redonner à celui-ci, de proche en proche, une unité physique et symbolique, voire peut-être à long terme de remplacer des écrans trop vétustes. Des approches territoriale et paysagère précédentes sont donc tirés les deux concepts qui en fondent le *design* : le pli et la plasticité.

Le pli, c'est le ***principe morphogénétique*** de cet ouvrage, le principe qui génère la forme ou encore celui qui détermine toutes les transformations. C'est lui qui assure la progression du passage entre le sol et le hors-sol – qui autorise l'émergence progressive de la forme de l'écran hors le sol. C'est lui qui retourne le dedans et le dehors – qui rend crédible la possibilité d'un usage ou la création d'un espace public au revers de l'écran. C'est lui encore qui accélère ou ralentit la perception – qui marque moins la limite ou le point de fuite comme le fait le mur ou l'écran traditionnel que des directions de développement, d'élargissement ou d'étirement du monde de l'autoroute vers le paysage lointain ou ses espaces attenants.

La plasticité, c'est la ***propriété intrinsèque*** de la forme générée. Sa capacité donc à se déformer, de manière cohérente et autonome, pour répondre à une sollicitation externe ou interne (notamment une exigence acoustique, mais aussi par exemple une contrainte topographique ou une volonté d'usage renouvelé de l'autre côté du mur de protection). La plasticité, c'est la propriété qui laisse le système ouvert à une certaine part d'indétermination et qui fait reposer la robustesse du système sur sa malléabilité, son invariance structurelle sur l'équilibre dynamique de ses variations *(Ill.8)*.

Décrire une telle forme revient alors à spécifier les modalités de ces variations.

LE DISPOSITIF STATIQUE
DECLINAISON TYPOLOGIQUE : LA PAROI, LE BEC ET LE DOUBLE BEC

Les deux transformations élémentaires du dispositif de base sont l'étirement et le débordement, ici représentés pour une hauteur constante. Elles sont liées directement à la nature du système constructif et aux ***propriétés statiques*** du pli des modules en tôle et de leur "auto-chaînage". Elles sont donc observables sur un segment de quelques modules.

L'étirement est lié au pas du pli *(qui s'appellera S dans le paramétrage du modèle mathématique de génération de la forme, cf. infra)*. Plus le pas est grand, plus le degré d'étirement est fort et se rapproche de la configuration d'une paroi plane longeant le bord de la voie. Plus il est petit, plus au contraire les plis sont tranchés et apparents du point de vue visuel, diffractants et diffusants du point de vue sonore *(Ill.9)*.

Le débordement est lié en second lieu à l'allongement du "toit" *(paramètre BBB)*, qui peut être posé en porte-à-faux sur la route *(Ill.10)*. Plus cet allongement est grand, plus le sentiment d'enveloppement est fort et inversement. Ceci se traduit, du point de vue sonore, par des indices d'affaiblissement très performants entre le dedans et le dehors (ou entre le dessus et le dessous) et sous-entend, du point de vue visuel, une perception plus intime et cadrée de l'espace (que l'on soit sur la route ou dans l'espace riverain).

On peut remarquer que les deux transformations sont corrélées. Statiquement, le porte-à-faux peut être d'autant plus fort que le pas du pli est faible. Ou inversement le débordement devra être réduit si l'étirement de la structure augmente *(BBB est une fonction de S)*. A moins que le porte-à-faux ne se déploie des deux côtés...

Ces deux transformations aboutissent donc à trois types de coupe, *morphologiquement distinctes* : la paroi verticale (effet de mur), le bec simple (effet de casquette) et le double bec (effet de tonnelle).

LA PERCEPTION EN MOUVEMENT
TRANSFORMATION DYNAMIQUE : LE PLI, LE DEPLI ET LE REPLI

Les deux transformations suivantes font varier respectivement la hauteur du module plié et son inclinaison dans la coupe transversale *(paramètres H et α)*. Mêlées aux deux précédentes, elles permettent de distinguer trois types de mouvement, *morphogénétiquement distincts* : le pli, le dépli et le repli *(Ill.11)*. Ces trois mouvements montrent comment faire passer le système d'un type de coupe à un autre (de la paroi à l'avant-toit, de l'avant-toit au double toit, de la paroi à la disparition) : ils sont davantage liés aux ***conditions acoustiques*** de l'environnement.

Le premier, c'est la métamorphose de la paroi plissée à l'avant-toit. Ce mouvement montre la manière dont l'exhaussement et le resserrement corrélatif du ***pli*** de la paroi initiale permettent d'opérer sa métamorphose progressive en une paroi abritée, munie d'un avant-toit protecteur et enveloppant. Le pas reste ici déterminant. Plus il se resserre, plus il est apte à résister à des hauteurs et des porte-à-faux importants. L'amplitude de ce mouvement est dépendante de la manière dont la structure littéralement "se plie" pour occuper, libérer ou reconquérir l'épaisseur disponible de la rive.

Le second, c'est la métamorphose de l'avant-toit en double-toit. ***Dépli.*** Ce mouvement montre la manière dont la structure de l'avant-toit se dédouble et déploie sa couverture des deux côtés de la structure, soit sur les voies lorsque le dispositif est placé entre deux (bande centrale, entrée ou sortie), soit au-delà des emprises de l'autoroute lorsqu'il est placé en bordure de voie (développement d'un usage ou d'un espace public derrière la paroi).

Le troisième mouvement, c'est la métamorphose de la paroi plissée en talus, l'estompage et la disparition du dispositif dans le paysage, le ***repli*** de la structure sur elle-même. Il montre la manière dont l'abaissement et l'inclinaison simultanés des plis de la paroi permettent de ramener celle-ci progressivement au niveau du sol pour la laisser mourir dans la pente d'un talus.

Ces trois mouvements sous-entendent un linéaire de transformation plus important (de l'ordre d'au moins une centaine de mètres). Ils sont d'autant plus perceptibles que la vitesse de l'observateur en mouvement est grande.

L'IMPLANTATION DANS LE TERRITOIRE
DEFORMATION TOPOLOGIQUE : LA PENTE ET LA COURBURE DE LA ROUTE

Les quatre transformations précédentes définissent la variabilité du système formel de manière encore théorique, selon un modèle abstrait qui tient pour invariants un sol de référence plan et un linéaire de voirie rectiligne. Les deux dernières transformations permettent finalement d'implanter l'objet théorique dans la réalité concrète d'un territoire donné en y ajoutant deux autres variables : ***la courbure*** de la route (en plan) et ***la pente*** de la route (en coupe) *(toutes deux intégrées dans la fonction r(t))*. Elles sont cette fois de l'ordre des ***contraintes topologiques*** *(Ill.12)*.

Etirement, chevauchement, variation de hauteur et d'inclinaison, variations du rayon de courbure et de la pente de la route. Le jeu avec ces différentes règles de transformation garantit à la fois :

- la malléabilité du système formel proposé – il devient possible de l'adapter aussi bien aux conditions statiques de stabilité de l'ouvrage qu'aux conditions acoustiques et topologiques de l'environnement,
- et sa cohérence propre – il devient facile, pour chaque concepteur, d'enchaîner les mouvements les uns aux autres sans risquer de rompre l'unité d'ensemble ; il devient aisé pour lui de composer librement, en fonction des contraintes ou des opportunités apparaissant localement, une véritable partition des séquences ouvertes ou fermées, des effets d'émergence ou de disparition, des rythmes respectifs des mouvements de pli, de dépli et de repli sur l'itinéraire autoroutier.

Pour vérifier et illustrer la souplesse effective de ce dispositif, une série de coupes-témoins simulant l'implantation et la forme du dispositif dans des situations contrastées a été produite : remblai, déblai, tranchée, semi-couverture, entrée ou sortie d'autoroute, … *(Ill.13).*

Une modélisation transversale
Représentation paramétrique et enjeux polytechniques

De ce qui précède on peut retenir le changement d'attitude conceptuelle qui nous captive : il ne s'agit plus de modéliser la forme d'un écran réel pour en faire un "modèle" reproductible, virtuellement, dans n'importe quelle situation, il s'agit de modéliser les transformations d'un écran virtuel qui soit adaptable, réellement, dans toutes les situations. De la tradition révolue de l'analyse morphologique, on passe à l'exploration d'un mode de conception morphogénétique. Comment ? Par le biais d'une modélisation mathématique rigoureuse.

DESCRIPTION DU SYSTEME PARAMETRIQUE

Le système se compose d'une série de "bases" qui sont l'assemblage de deux surfaces triangulaires (faces K et N) s'appuyant l'une contre l'autre *(Ill.14)*. Entre ces bases on applique des "ailes", qui sont aussi formées par deux surfaces triangulaires (faces L et M). Sur ces ailes, s'appuie le système des "becs" (faces O et P). Ces surfaces en porte-à-faux ont une fonction de couronnement acoustique dans les modules bas (elles sont alors réduites et presque invisibles) et une fonction d'avant-toit dans les modules hauts (elles sont au contraire de grande taille). De plus, chaque module plié garantit une meilleure stabilité à l'ensemble de l'ouvrage en agissant comme une nervure sur la face "plane" (à grande échelle) du système *(Ill.15)*.

Toutes les surfaces triangulaires sont définies par une suite de points nommés 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. La génération des surfaces se fait par la définition de ces points dans leur propre référentiel (x', y', z') et par leur changement de position dans le passage du référentiel

absolu (x, y, z) au référentiel de la route (u, v, w).

Les points 0, 1, 2 se positionnent sur un plan horizontal (le sol dans le référentiel x', y', z' propre au module), selon un "pas" **S**. Cette valeur est définie soit par une constante, soit par une valeur extraite d'une fonction (telle que la fonction de Riemann). Elle détermine la plupart des autres variables :

- la hauteur H, naturellement exprimée en fonction de S,
- la valeur B, qui pour des raisons de simplicité, a été considérée comme fixe mais qui pourrait être fonction de S,
- l'inclinaison verticale α du module, aussi fonction de S,
- l'inclinaison transversale β (ou la pente de la route) qui, pour des raisons de simplicité, a été considérée comme fixe mais qui pourrait aussi être fonction de S.

Les points 3 et 5 sont déterminés par H et B. La position du point 4 par BB et HH. Celle du point 6 par BBB et HHH.

Si on applique une fonction qui définit le changement de référentiel entre les axes u, v, w de la route et les axes x, y, z du référentiel absolu, on adapte le système de génération de formes à l'axe routier. Cette fonction est décrite par le vecteur r(t) [6].

POTENTIEL GENERATEUR DU MODELE MATHEMATIQUE

La formalisation mathématique complète du système a été établie dans le logiciel *Mathcad* qui offre un double avantage :

- d'une part on peut tester et visualiser toutes les variantes utiles en choisissant la valeur des paramètres en fonction des contraintes territoriales existantes ou des exigences acoustiques que l'on se donne *(Ill.16),* tout en déterminant simultanément la forme et la dimension de chaque composant – ce qui veut dire que lorsque la solution préférée est choisie par le concepteur, le modèle est capable de quantifier directement les surfaces, les épaisseurs minimales, les quantités de matière et "du même coup" les estimations de coût !
- d'autre part *Mathcad* permet à *Autocad* de générer des surfaces ou des volumes exportables dans d'autres formats qui sont ou peuvent être adaptés à la modélisation 3d (format *.stl*), au prototypage (format *.iges*), à la découpe (format *.dxf* ou *.dwg*), à la fabrication (format *.step*), etc. – ce qui veut dire que lorsque la décision de construire est prise, le système paramétrique permet de partir directement en fabrication par découpe numérique automatique de la matière, seul procédé qui rend possible l'abandon des logiques de standardisation des éléments construits (chaque face apparaît en effet comme une variation formelle et dimensionnelle de la précédente).

On comprend la puissance génératrice de ce modèle "polytechnique" puisqu'il permet de représenter et d'optimiser les rapports entre les contraintes physiques (la valeur des variables topologiques), des désirs esthétiques (la visualisation des diverses solutions possibles dans chaque contexte), des exigences statiques (le calcul des épaisseurs et des propriétés d'auto-portance) et des ambitions territoriales (la prise en compte du traitement ou de l'aménagement de l'espace arrière).

Mais les contraintes acoustiques ne restent à ce stade intégrées que par le biais d'approximations qui consistent à ramener cette structure tridimensionnelle, du point de vue sonore, à un mur à 2 dimensions, de sorte que l'on est toujours amené, comme dans les écrans traditionnels, à surdimensionner les ouvrages. Si de telles approximations nous garantissent de répondre aux exigences normatives de protection, l'ambition actuelle de ce travail est de mettre au point un modèle acoustique prédictif 3d qui, en

---

6 Dans le modèle de base, le vecteur r(t) décrit une courbe aléatoire dans l'espace, mais il est destiné à décrire des courbes clotoïdes qui simulent la forme réelle de l'axe routier dans le territoire, avec ses pentes longitudinales, ses inclinaisons transversales et ses rayons de courbure.

étant adapté au modèle mathématique de base, permette de calculer les propriétés de réflexion et de diffraction très complexes que des variations infimes de cette géométrie sont susceptibles de générer. Cette mise au point nécessite que soient convoquées les compétences des chercheurs [7]. Le coût d'une telle étude n'entre sans doute pas dans les habitudes de financement d'un ouvrage ordinaire, mais ce coût pourrait se révéler dérisoire au vu des économies de matière et de temps qui sont en jeu. Tel est le pari que nous faisons aujourd'hui.

Si nous parvenons à ce stade, la DDE aura permis de mettre au point, pour la première fois, un outil conjoint de représentation, de simulation et de fabrication, dont l'usage, techniquement automatisé, ne retire ni le choix plastique et esthétique du concepteur *(III.17)*, ni les choix politiques d'aménagement stratégique de l'élu.

7 Après mise en concurrence, c'est le Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (LIMSI, CNRS à Orsay) qui a été retenu, sous la responsabilité de Brian Katz.

Composition de l'équipe

Pascal Amphoux ***architecture et paysage***
Contrepoint, Projets urbains (Lausanne, Suisse)
Conception générale et coordination de l'équipe

Filippo Broggini ***architecture et génie civil***
BlueOffice Architecture (Bellinzona, Suisse)
Conception formelle, structural design
avec Pablo Tantardini, Alberto Ulisse et Emma Radaelli
et les apports techniques de :
Ing. ***Andrea Pedretti****, Airlight ltd. (Biasca, Suisse)* *modélisation mathématique*
Ing. ***Olimpio Pini****, Pini & Associati (Lugano, Suisse)* *structure et fondations*

Nicolas Tixier, Jean-Michel Roux ***économie sociale et politique territoriale***
BazarUrbain, collectif interdisciplinaire *(Grenoble)*
Maîtrise d'usage, récit du lieu,
avec Aurore Bonnet

Pierre-Yves Nadeau ***acoustique appliquée***
Conseil Ingenierie Acoustique (Marseille),
Conseil acoustique

Brian Katz **modélisation acoustique**
LIMSI, CNRS
Recherche appliquée et modélisation 3D (Paris, Orsay)

Laurent Fachard ***ergonomie visuelle et éclairage***
Les Eclairagistes Associés (Lyon)
Conception lumière, éclairage et sécurité

Légendes des illustrations

ILLUSTRATION 1

Image 1.1.
Ceresiosaurus. Filippo Broggini, Pascal Amphoux *et al.*, projet de protection acoustique pour le *Ponte Diga* de Melide-Bissone (Tessin, Suisse), 1999-2001

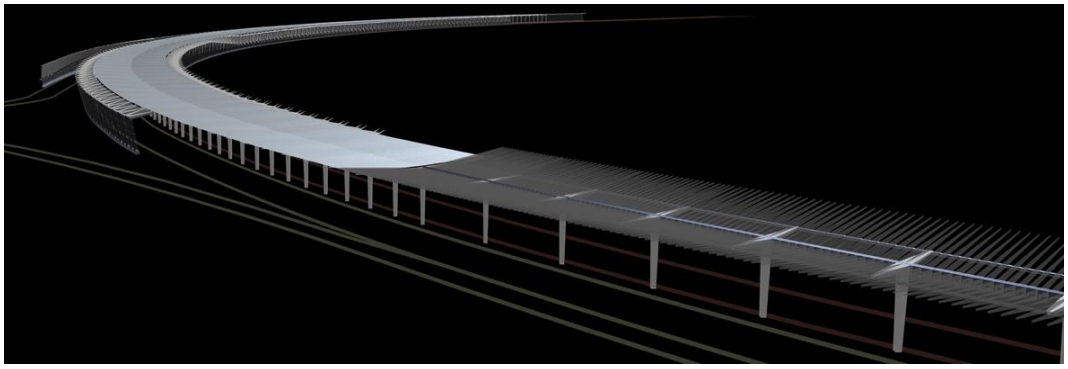


Image 1.2
***Desailopontès*.** Pascal Amphoux, Filippo Broggini, projet de protection acoustique pour le viaduc de Chillon (Vaud, Suisse),
Fév.02

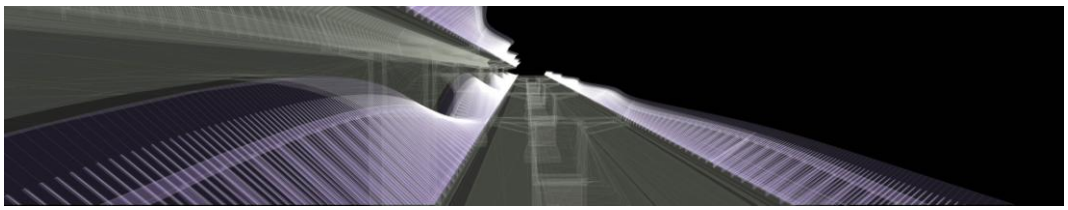


ILLUSTRATION 2

Running Fence. Christo et Jeanne-Claude, Sonoma and Marin Counties, California (1972-1976)

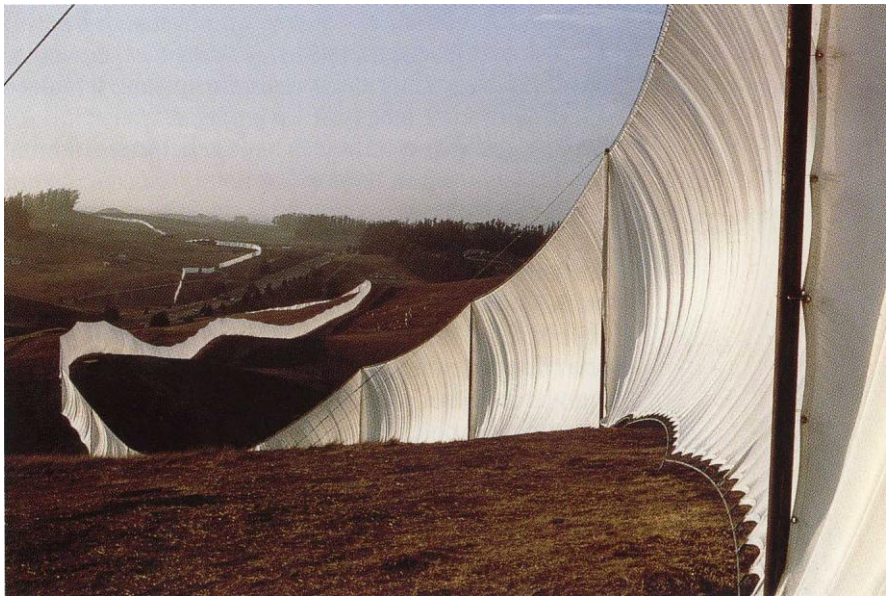


ILLUSTRATION 3

Origami. Le développé d'une variation de la structure de l'écran.

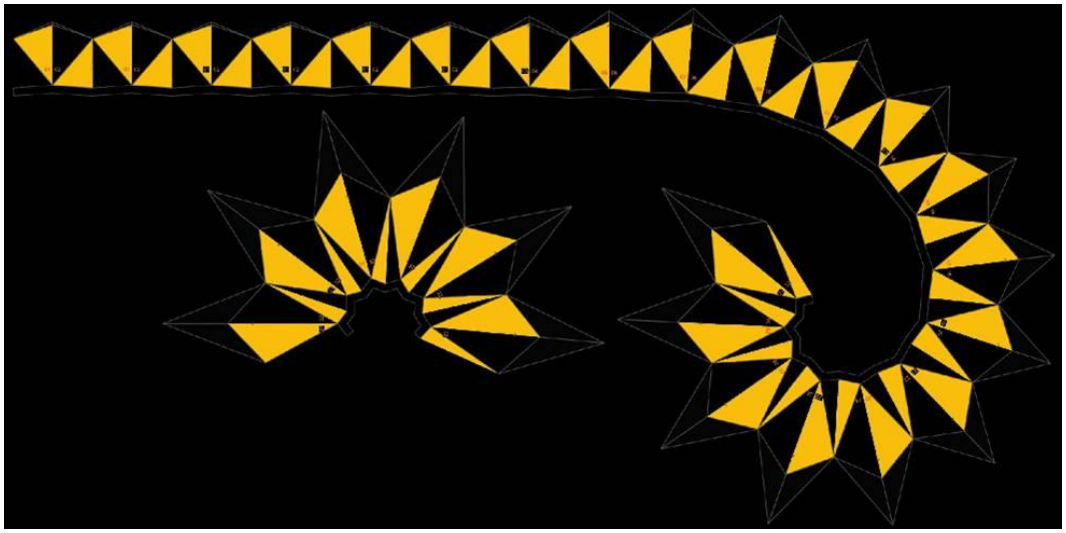


Illustration 4

Carte topographique. "Macro-mouvements" et "micro-sillons".



ILLUSTRATION 5

Images 5.1
Macro-mouvements et micro-sillons

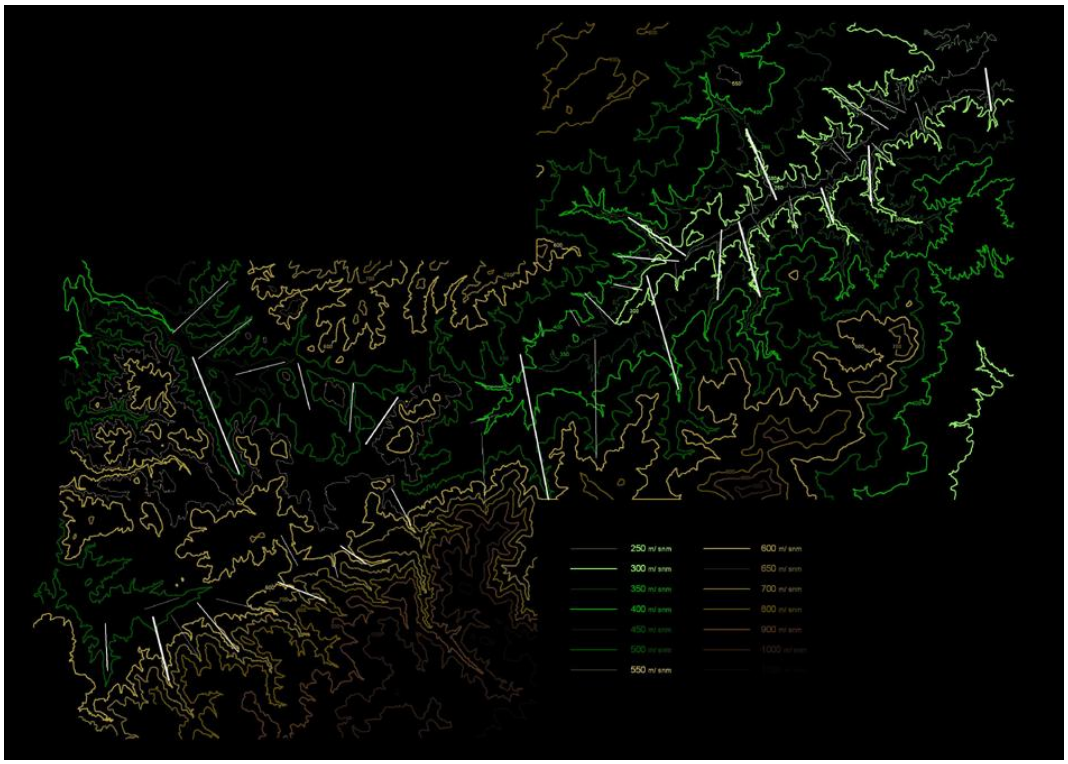


Image 5.2
Extrapolation du principe du pli. Cette extrapolation est naturellement libre et inexacte. C'est pourtant cette inexactitude de la représentation qui fonde la rigueur de l'expression graphique de ce territoire : il ne s'agit pas d'un relevé précis des plissements géomorphologiques ou des inflexions topographiques, il s'agit de repérer des ***lignes de force*** qui le structurent et qui en composent la matière.

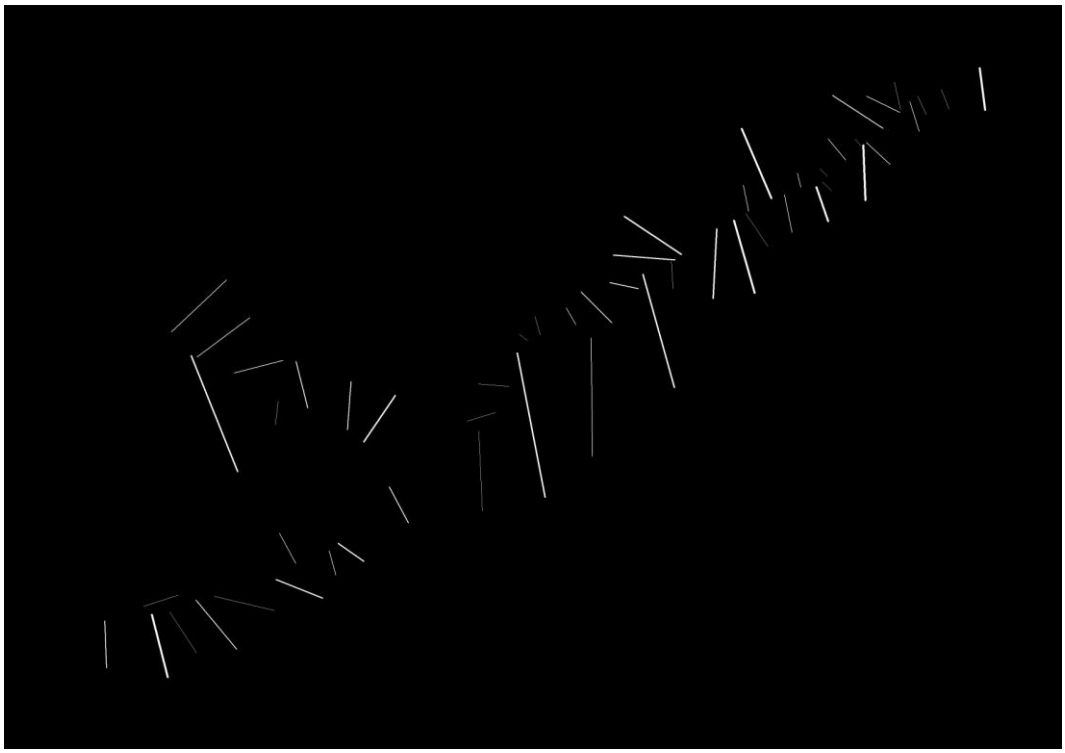


ILLUSTRATION 6

Les passages de la nature. L'analyse cartographique (comme aussi certains discours) permet de révéler la présence de deux "coulées vertes" orientées nord-sud, qui traversent la vallée et interrompent plus ou moins nettement la continuité urbaine : outre leur qualité d'ouverture sur le grand paysage (cf. notamment l'ouverture sur les Monts du Pilat depuis la descente de Saint-Chamond), elles constituent ***deux corridors écologiques***, dont la fonction biologique pourrait à terme s'avérer nécessaire pour rompre la continuité et cadrer le développement du processus de métropolisation qui pourrait toucher la vallée.

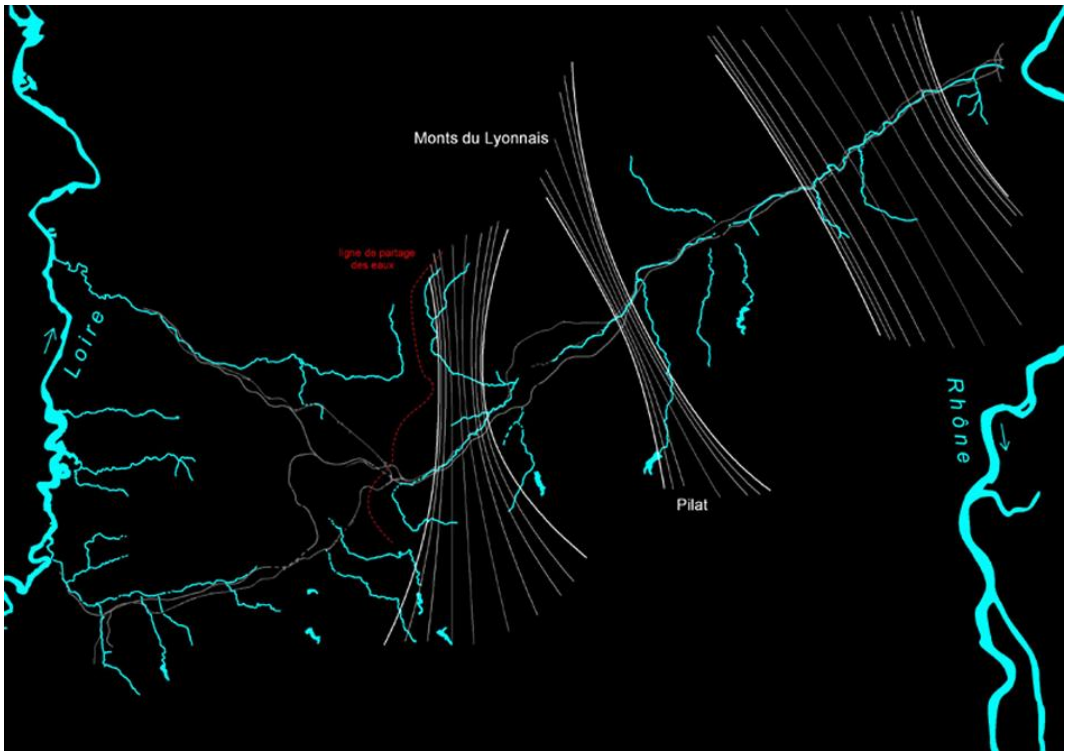


ILLUSTRATION 7

Les intensités urbaines et la séquentialisation du parcours. De manière complémentaire, la schématisation des espaces urbanisés actuels et des intensités de développement que l'on peut y projeter pour lutter dans l'avenir contre les tendances à l'étalement urbain et aux débordements pavillonnaires sur les plateaux, fait apparaître un processus de densification souhaitable autour de trois unités principales qui deviennent structurantes de l'extension métropolitaine : Saint-Etienne, Saint-Chamond, La Grand Croix / Rive-de-Gier.

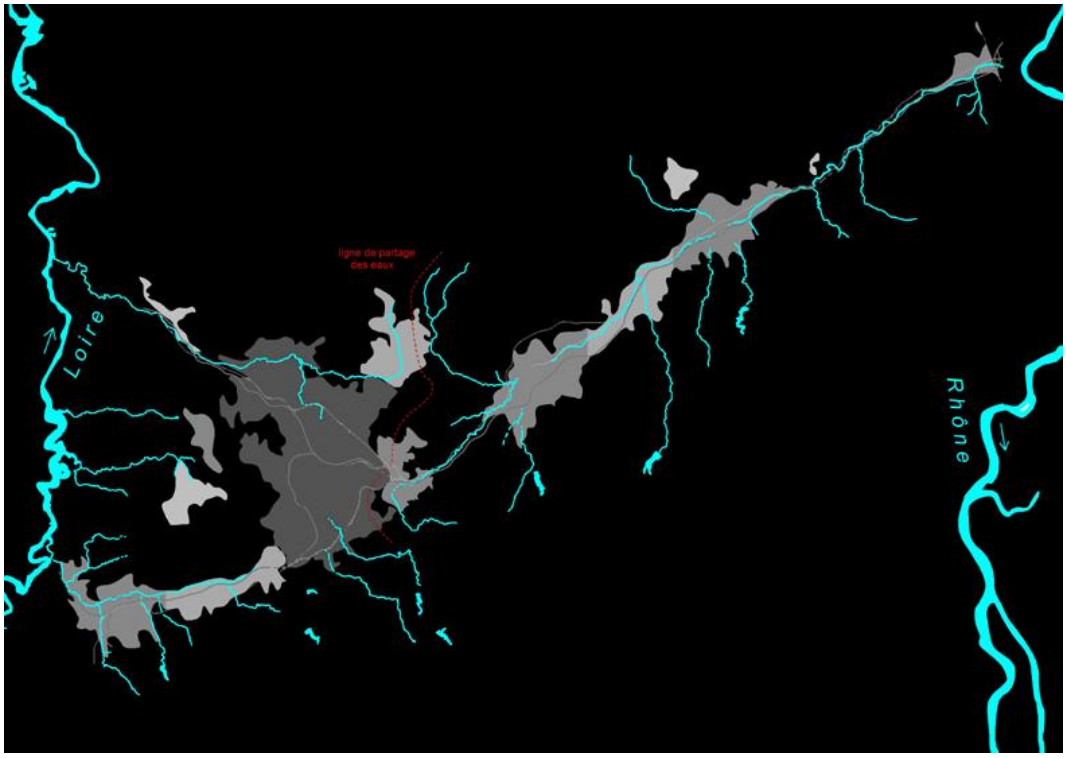


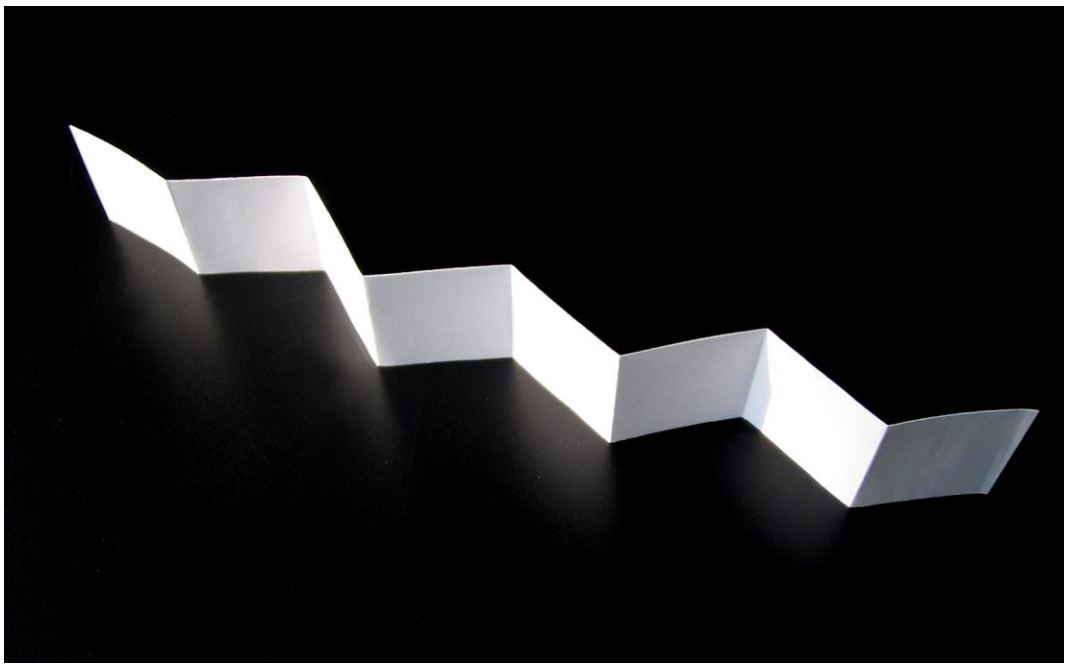
ILLUSTRATION 8

Plasticité



ILLUSTRATION 9

Images 9.1 + 9.2
L'étirement, transformation élémentaire 1



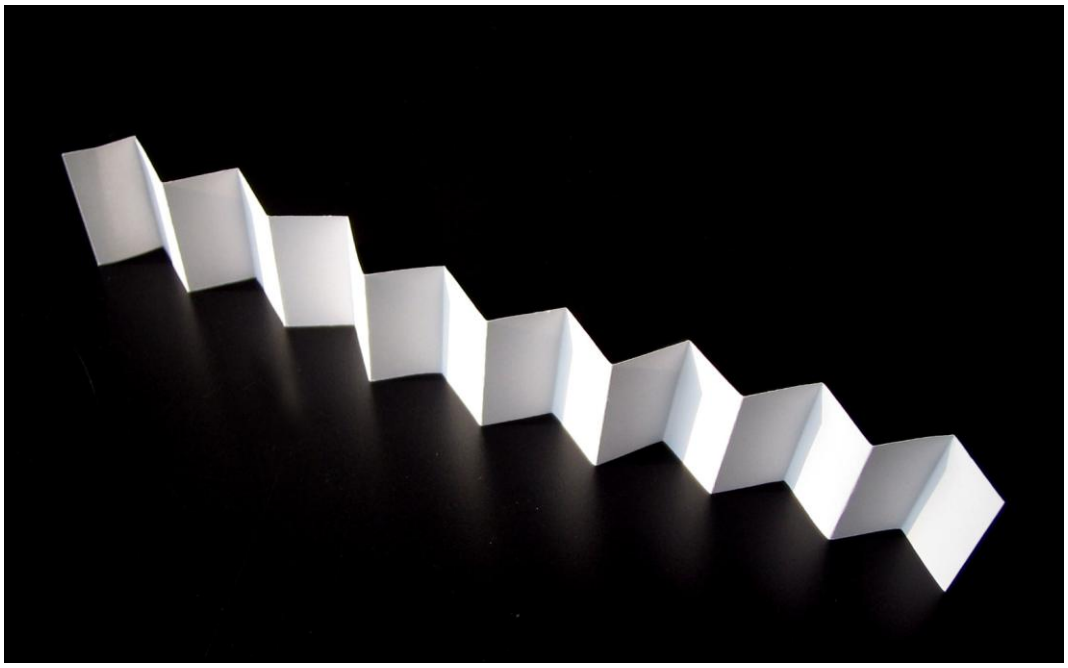


ILLUSTRATION 10

Images 10.1 + 10.2
Le débordement, transformation élémentaire 2

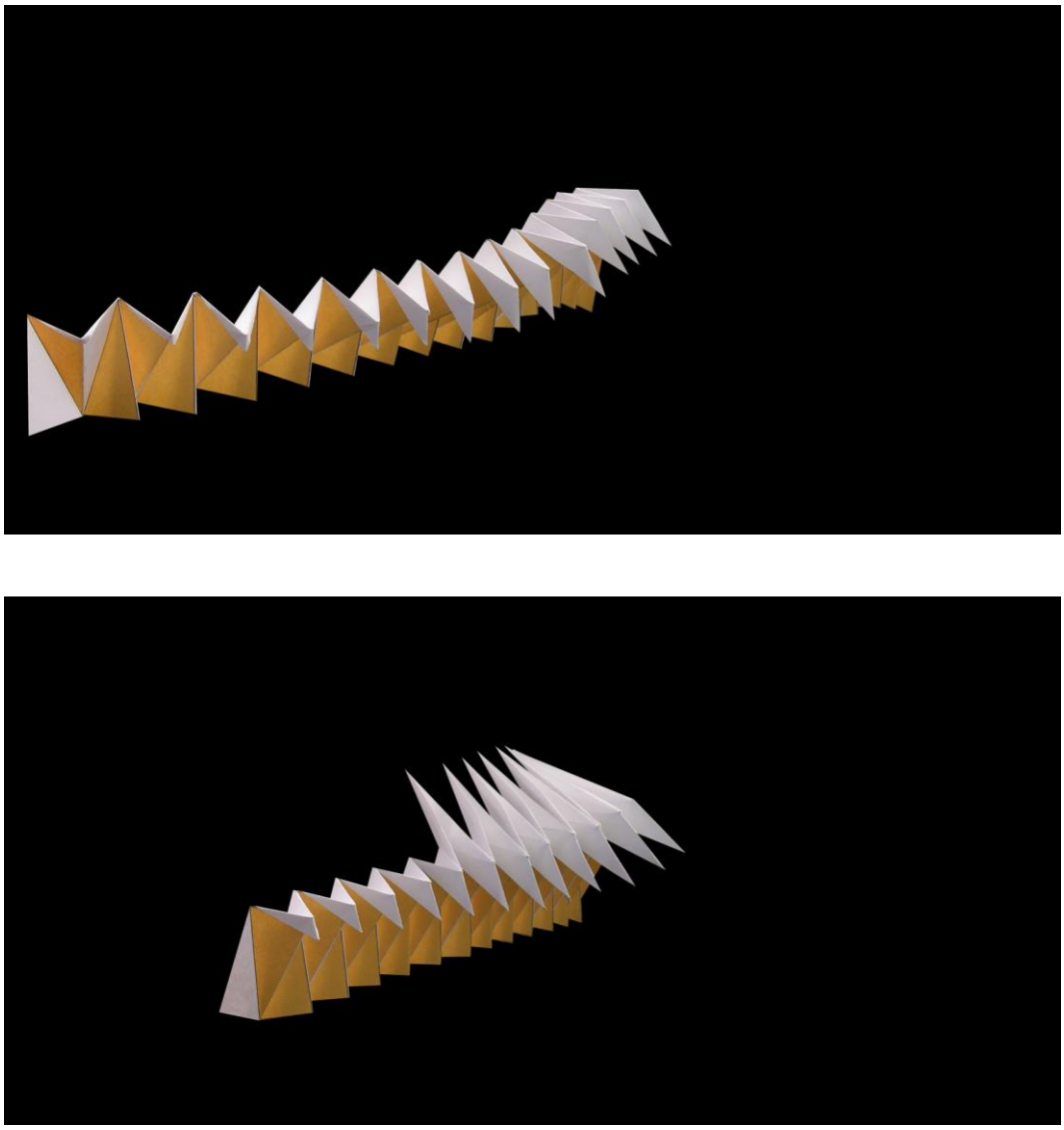


ILLUSTRATION 11

Le pli, le dépli et le repli. Trois mouvements morphogénétiquement distincts.

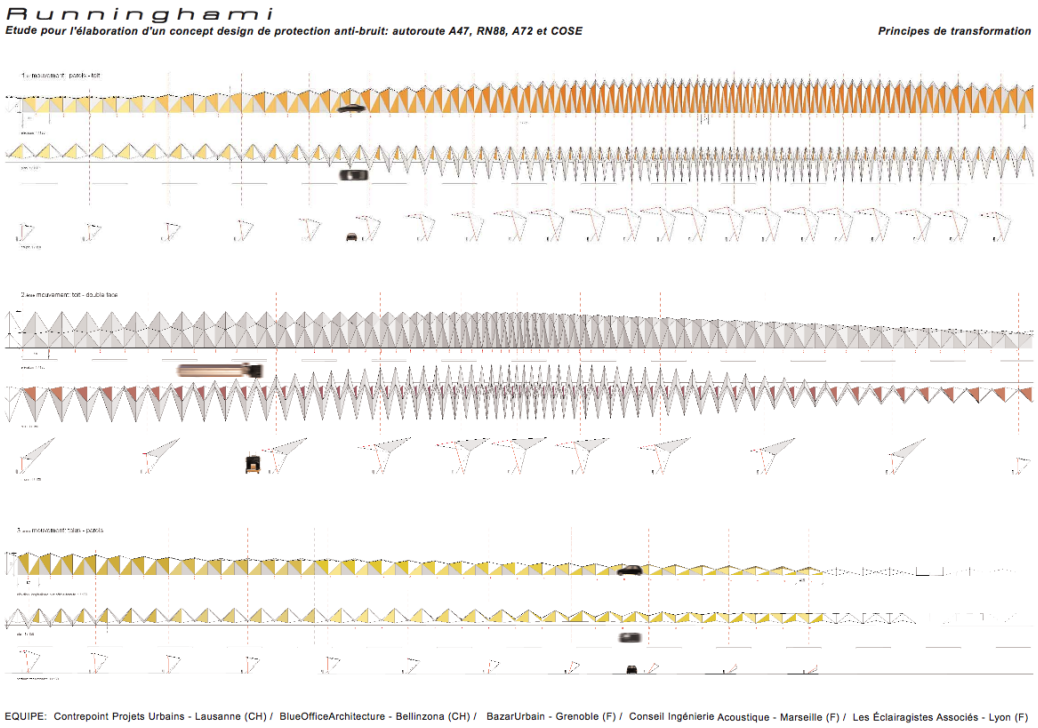


ILLUSTRATION 12

Adaptations topologiques. Adaptation aux variations de la courbure et de la pente de la route. Les retrouvailles avec le caractère de sinuosité

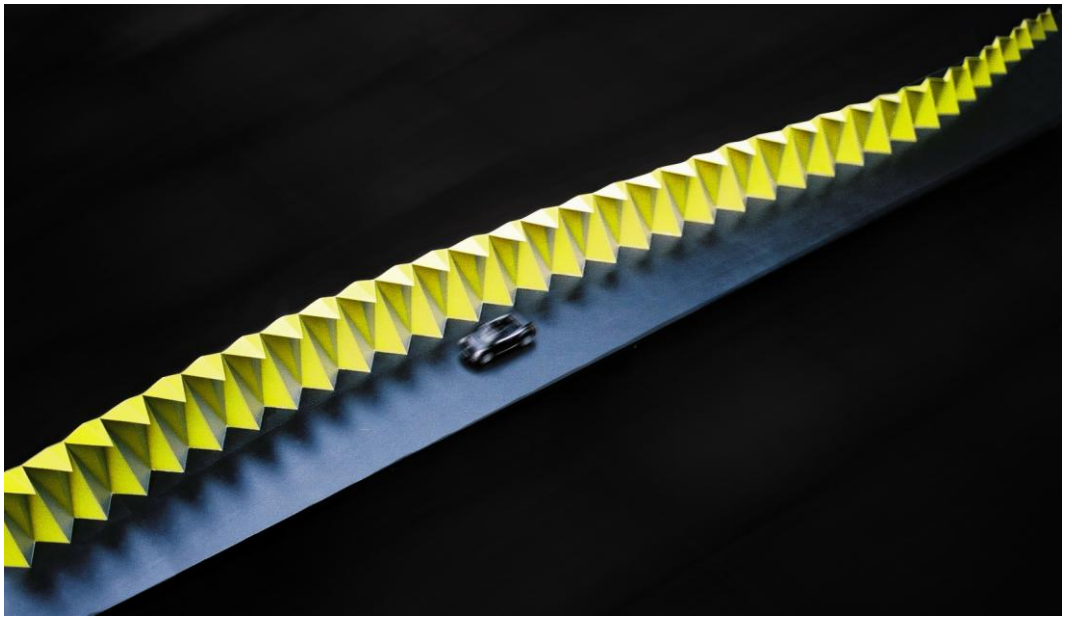
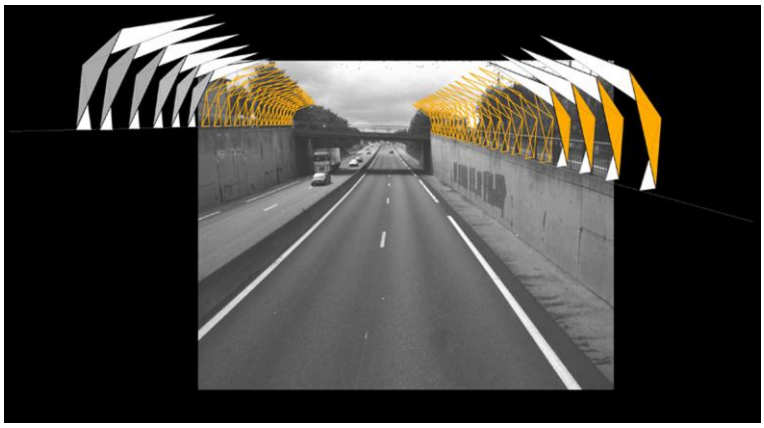


ILLUSTRATION 13

4 Images 13.1 – 13-4
Coupes-témoins.



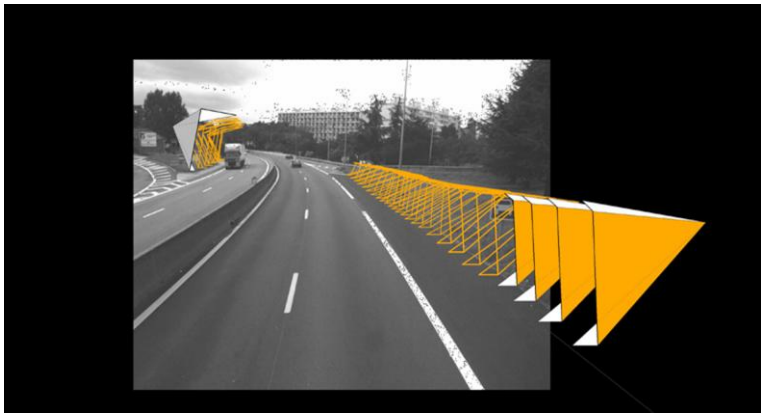






ILLUSTRATION 14

Le modèle paramétrique

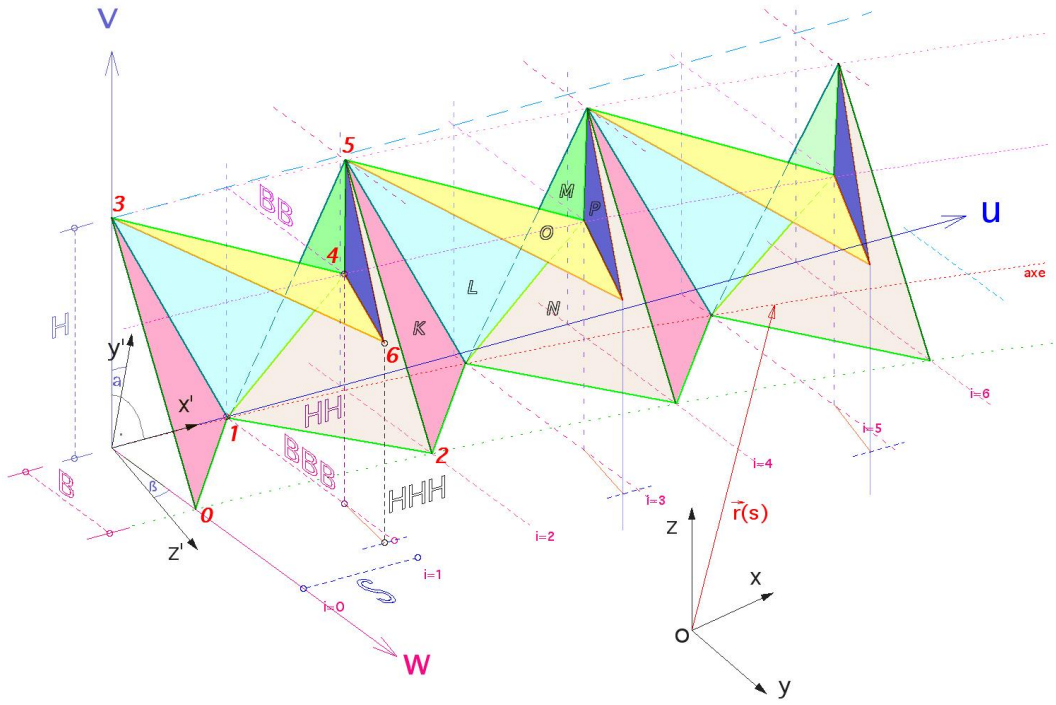


ILLUSTRATION 15

L'étude des performances statiques, la visualisation des efforts et l'optimisation des épaisseurs de tôles. Outre l'absence totale de structure porteuse et de ponts phoniques, on peut souligner les performances statiques exceptionnelles de ce système autoporteur grâce au principe de la tôle pliée (épaisseurs inférieures à 3 millimètres pour des hauteurs de 5 à 6 mètres). L'usage de l'aluminium, plus cher à la fabrication, pourrait par ailleurs se révéler économique dans le temps en éradiquant les problèmes de maintenance et de corrosion qui condamnent habituellement les écrans à des durées de vie extrêmement brèves.

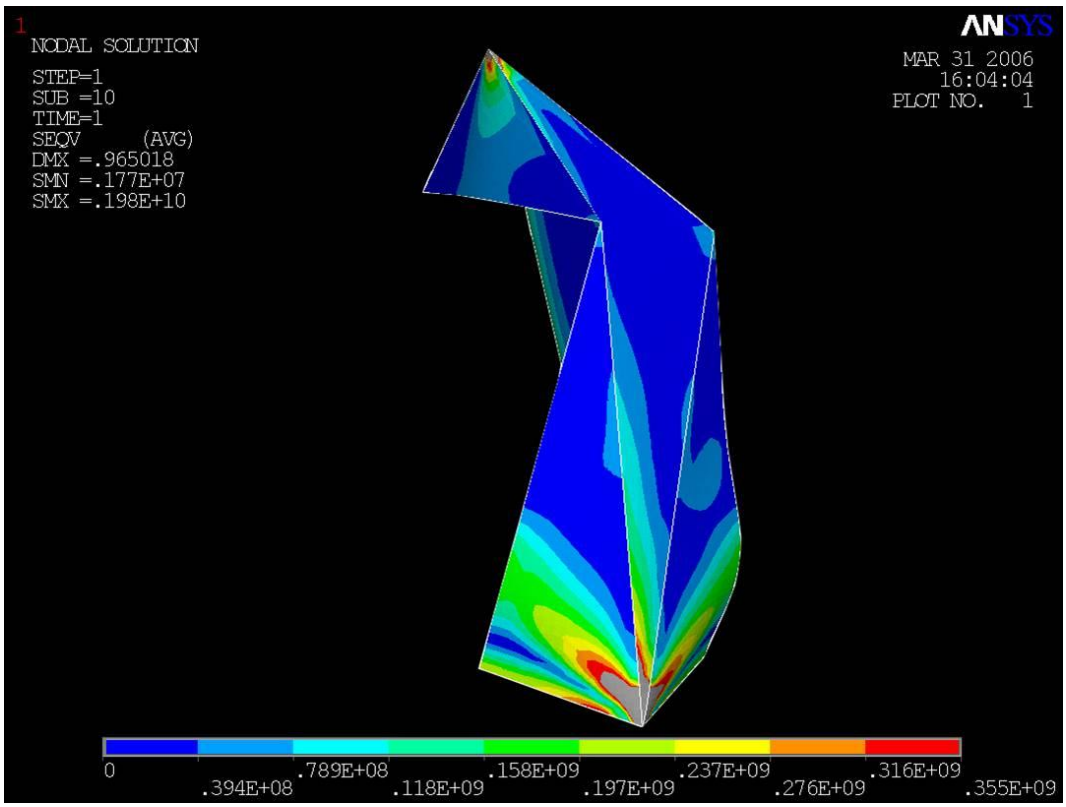
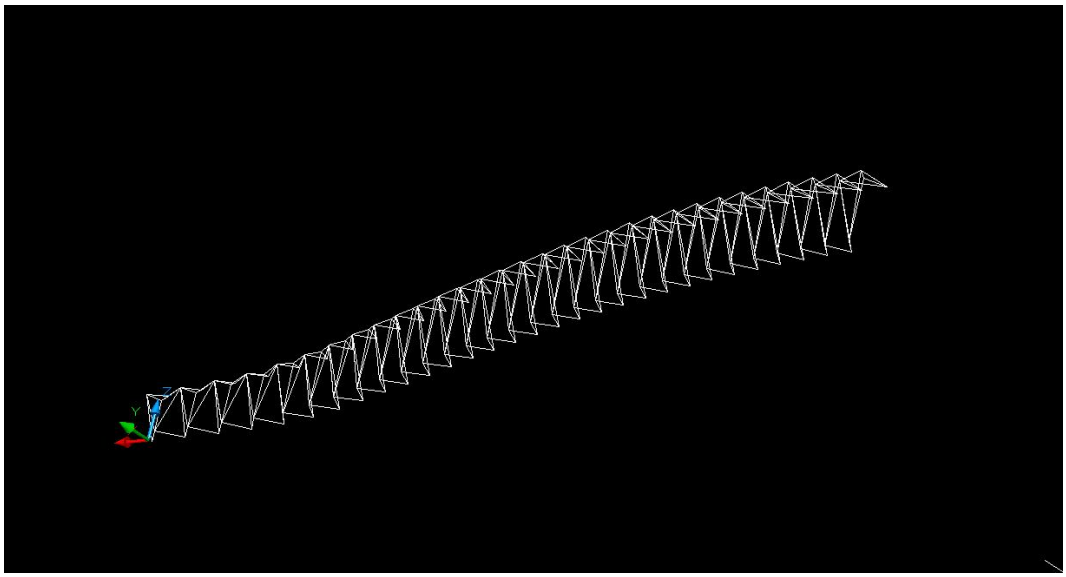


ILLUSTRATION 16

2 images 16.1, 16.2
La visualisation des études de variantes.



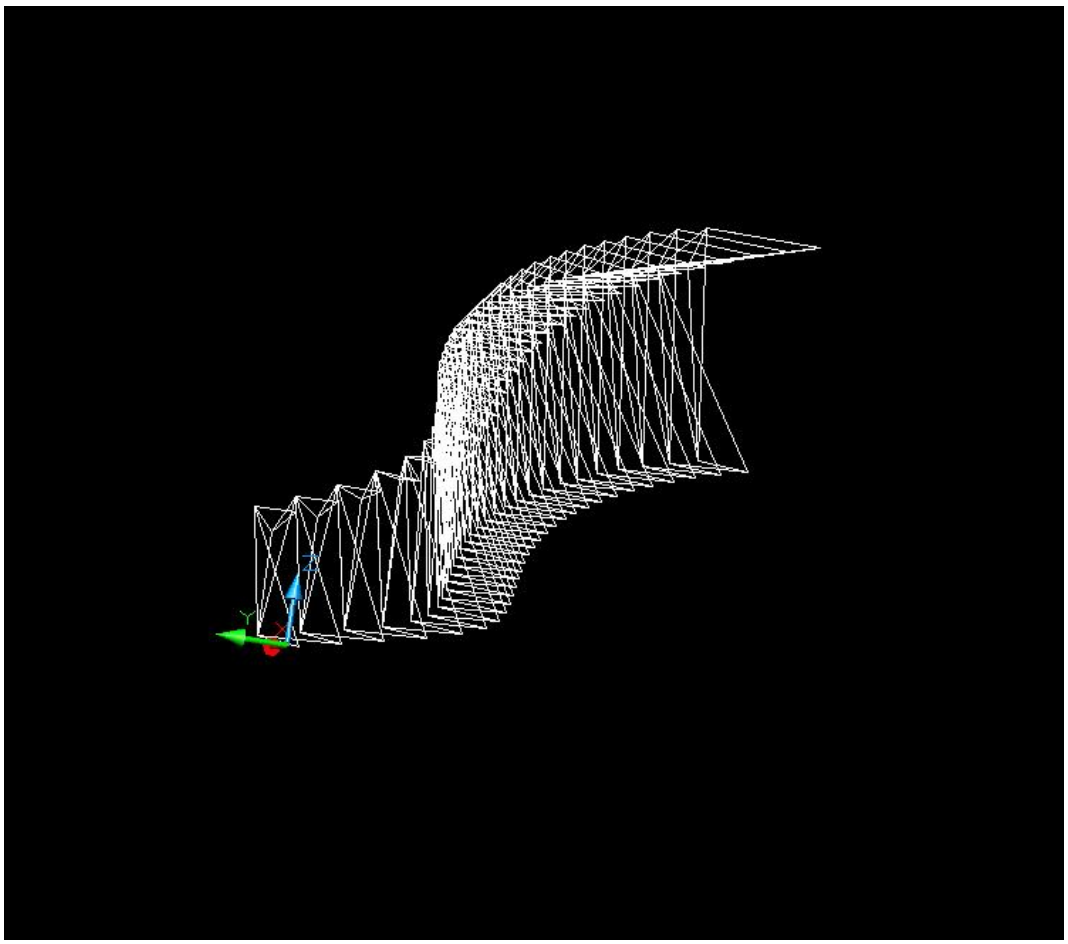


ILLUSTRATION 17

Images 17.1, 17.2
Images de synthèse

