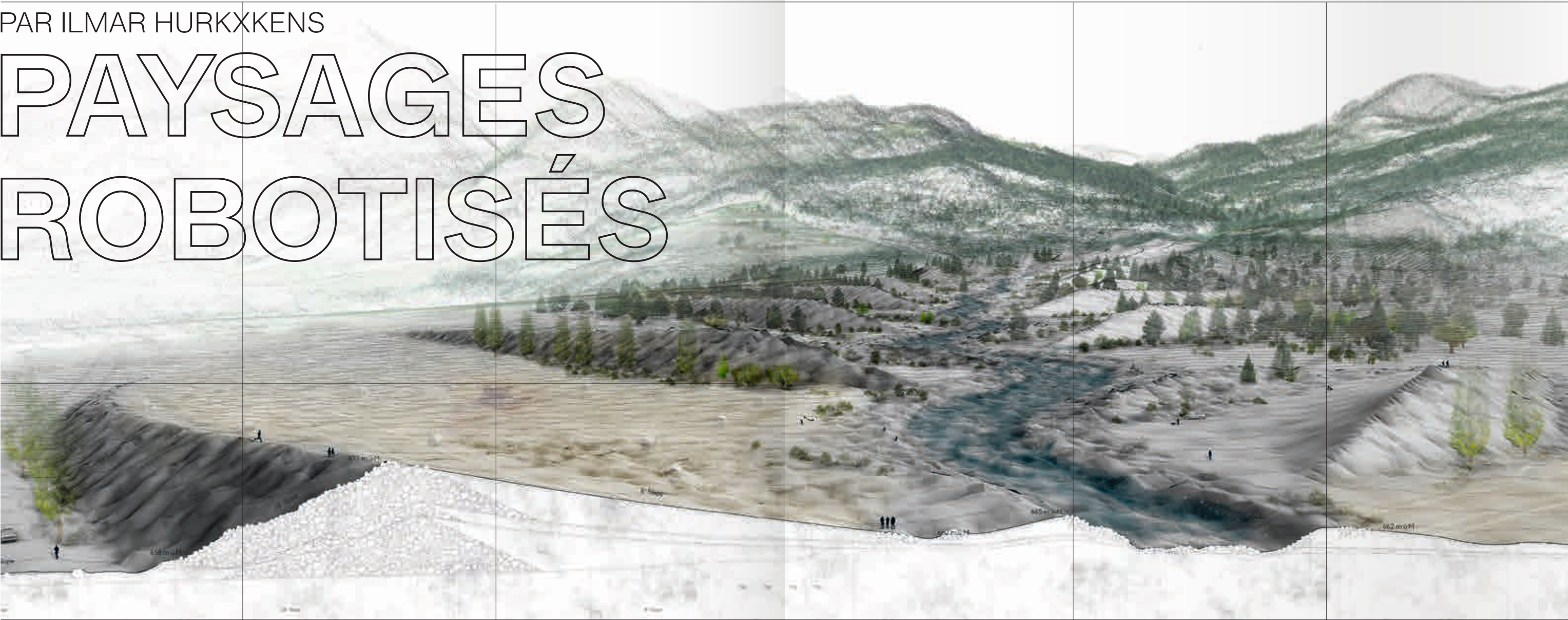


PAR ILMAR HURKXKENS

PAYSAGES ROBOTISÉS



VERS UN NOUVEL ÉQUILIBRE

Participation au projet et remerciements:
Les studios de recherche Robotic Landscapes ont été développés et menés dans le cadre d'une collaboration, de 2017 à 2020, entre la chaire d'architecture du paysage du professeur Christophe Girot (instructeurs: Dr Ilmar Hurkkens (direction), Fujan Fahmi et Benedikt Kowalewski), la chaire d'architecture et de fabrication numérique des professeurs Fabio Gramazio et Matthias Kohler (instructeurs: Dr Ammar Mirjan et Jesús Medina Ibáñez), des experts du Robotic Systems Lab (prof. Marco Hutter et Dr Dominic Jud) de l'ETH Zurich, ainsi que l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le

ILMAR HURKXKENS
ARCHITECTE, CHERCHEUR
POSTDOCTORAL À LA
GRAMAZIO KOHLER RESEARCH
ET MAÎTRE DE CONFÉRENCES
À LA CHAIRE D'ARCHITECTURE
DU PAYSAGE DU PROFESSEUR
GIROT, ETH ZURICH

Ci-dessus: Une nouvelle vision du paysage sur la zone de transition de la Gürbe mettant en évidence un nouveau paysage dynamique, une topographie performante, une diversité écologique et l'intégration de zones agricoles et de loisirs.

paysage (WSL). La recherche a été épaulée par le National Centre of Competence in Research (NCCR) Digital Fabrication. L'auteur tient à remercier les étudiante-s des studios de recherche Robotic Landscapes pour leur travail innovant. Les résultats sont publiés dans le livre *Robotic Landscapes. Designing the Unfinished* (Park Books, 2021).

Toutes les images sont soumises aux droits d'auteur des collaborateur-trice-s et des étudiante-s de la chaire d'architecture du paysage, du professeur Christophe Girot et de la Gramazio Kohler Research.

TEXTE TRADUIT DE L'ANGLAIS PAR
ARIANE DELACAMPAGNE

Les méthodes numériques appliquées à la construction marquent un changement par rapport aux modes de conception albertiens dénués de matérialité — pure préoccupation de l'esprit — vers un mode qui reconnaît activement les procédés de formation. Elles s'appliquent en particulier aux paysages dont les forces dynamiques modifient continuellement la composition. Les paysages sont des systèmes ouverts et non structurés qui opèrent de manière non linéaire comme un processus¹. Les modèles paysagers numériques tridimensionnels peuvent éclairer les concepteur-trice-s sur l'évolution du matériau naturel, tandis que les techniques de construction robotisées et mobiles s'adaptent constamment à un environnement changeant. Ensemble, ils ouvrent une voie radicalement nouvelle pour concevoir et construire avec la nature, notamment du point de vue de son évolution et de sa préservation.

Dans le domaine de la conception et de la planification des paysages, il existe un profond clivage entre les modèles d'information et ceux de conception depuis l'introduction des systèmes d'information géographique et de la conception architecturale assistée par ordinateur². Malgré les nombreux efforts entrepris pour combler le fossé entre ces deux approches, une relation dynamique peine à s'établir entre eux. L'introduction d'engins de terrassement robotisés mobiles réduit pourtant l'écart entre le monde de l'information, de la conception et de la construction: un lien direct est établi entre le matériel d'arpentage, les modèles de conception tridimensionnels et la fabrication. L'environnement naturel étant en constante évolution et les systèmes robotisés de terrassement suivant une approche procédurale de la construction au lieu de progresser sur une voie prédéfinie, le modèle d'information se doit d'être actualisé en temps réel. La convergence de l'information, de la conception et de la fabrication dans un contexte de conception tridimensionnelle est donc la condition préalable à la construction robotisée sur site.

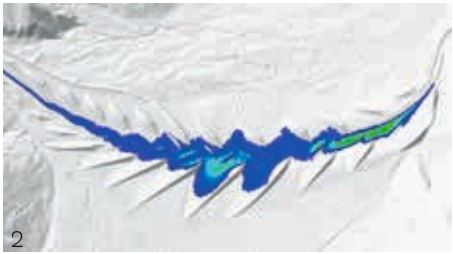
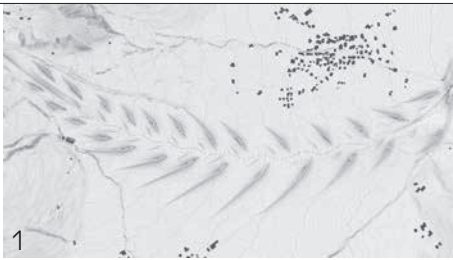
La construction avec et dans des milieux naturels peut grandement bénéficier de la méthode informatique intégrée d'arpentage, de conception et de construction. L'ampleur croissante des catastrophes naturelles induites par les changements climatiques nous fait prendre conscience de l'équilibre fragile de nos écosystèmes. Deux siècles de projets de correction des ruisseaux de montagne et des grandes rivières de Suisse ont suscité un sentiment illusoire de sécurité et de progrès. Au fil des ans, il est pourtant devenu évident que la canalisation et l'endiguement des rivières entraîneraient à terme une augmentation des inondations et une dégradation des écosystèmes naturels. On ne sait cependant toujours pas comment entretenir un paysage cultivé durable, affecté par les fluctuations climatiques qui se multiplient. La difficulté à prévoir des aléas futurs remet en question les pratiques expérimentées de terrassement et d'ingénierie fluviale. Il demeure donc délicat de prendre des mesures éclairées et d'agir avec pertinence pour régler ces problèmes. Une conception tenant compte du changement et de l'adaptabilité pourrait néanmoins offrir

une nouvelle façon de maintenir un équilibre dynamique au point de rencontre des environnements urbains et naturels. C’est précisément dans ces paysages dynamiques qu’il devient possible de tirer profit des contextes numériques tridimensionnels et des modes de construction s’inscrivant dans le temps.

La conception et la construction dynamiques sont rendues possibles par de nombreuses innovations numériques. Les technologies de détection comme le balayage laser ou les méthodes photogrammétriques créent des ensembles de données tridimensionnelles qui permettent de découvrir une multitude de caractéristiques telles que la constitution matérielle, les liens topologiques et l’évolution des processus naturels par l’observation des conditions de leur changement. De plus, les environnements de conception numérique donnent accès aux caractéristiques des paysages et y répondent de manière dynamique. Enfin, l’avènement du matériel d’excavation robotisée mobile et à grande échelle³ permet de modeler le terrain à l’aide de procédés de construction propres au site, capables de s’adapter aux changements du paysage. Le terrassement robotisé remet en question la compréhension linéaire traditionnelle de l’architecture du paysage, de la conception à l’exécution, et se profile comme un moyen de répondre aux défis futurs. Ces instruments d’arpentage et de fabrication ainsi que les modèles d’information tridimensionnels qui en résultent constituent des outils de description du monde naturel fondamentalement liés à la fabrication des paysages, favorisant une réponse éclairée à l’évolution des relations et des réalités matérielles entre les systèmes de paysages naturels et fabriqués.

Dans le cadre d’une collaboration interdisciplinaire unique entre la chaire d’architecture du paysage du professeur Girot, la Gramazio Kohler Research et le Robotic Systems Lab de l’ETH Zurich, des stratégies de conception évolutives visant des méthodes de construction robotisées dans des contextes dynamiques ont été élaborées⁴, l’objectif étant de concevoir des méthodes topographiques innovantes capables de s’adapter au fil du temps afin d’assurer à long terme un nouvel équilibre des paysages fluviaux dynamiques.

L’une des expériences a été effectuée dans la zone de transition de la Gürbe (canton de Berne), rivière située entre la gorge du cours supérieur et la pente presque horizontale du fond de la vallée⁵. Comme le canal et les barrages de retenue ont été construits au sommet d’un cône de débris, la direction naturelle de l’écoulement s’oriente vers l’extérieur,



directement vers les terres agricoles et les villages de Mettlen et de Blumenstein situés de part et d’autre. Cette condition topologique délicate impose de diriger l’écoulement vers le cours médian. En analysant le terrain à différents endroits à l’aide de modèles de nuages de points de haute résolution, il est possible de proposer des solutions topologiques précises qui intègrent la forme globale du cône de débris tout en s’adaptant aux conditions du site. L’objectif de supprimer le canal et les barrages de retenue existants va inévitablement accentuer les processus d’érosion et de sédimentation. Nous avons estimé que 20’000 mètres cubes de sable, de gravier et de galets se sédimenteront annuellement sur le site, une seule occurrence pouvant contenir jusqu’à 100’000 mètres cubes. Au lieu de reconstruire des structures statiques en béton pour contrôler ces processus dynamiques, nous proposons une maintenance locale sous la forme de modifications stratégiques du terrain afin de diriger, en toute sécurité, les aléas futurs en aval.

Les expériences de conception n’ont pas fourni des structures paysagères définitives, mais cherché des stratégies de terrassement adaptatives pour répondre à l’érosion et à la sédimentation qui se produisent chaque année. Le résultat n’est pas une solution unique, mais une méthode de maintenance continue et adaptative. En temps réel, l’intelligence robotique observe les changements du paysage et prédit les risques possibles, avant de modifier stratégiquement la topographie pour assurer la sécurité. Ces stratégies temporelles répondent à la structure du terrain et aux volumes de



sol existants, remodelant le cours de la rivière et de ses berges en utilisant uniquement des matériaux trouvés sur place. La sélection et le placement intelligents de matériaux tels que des roches et des blocs atténuent également l’abrasion du lit de la rivière et de ses flancs. Ils apportent des solutions topographiques capables d’intégrer les processus d’érosion et de sédimentation sur de nombreuses années. En ce qui concerne les changements climatiques, il était nécessaire de reconsidérer la relation entre une rivière et son environnement pendant les saisons chaudes qui deviennent de plus en plus fréquemment des périodes sèches ayant des conséquences négatives pour la faune et la flore. Les principes de conception adaptative et les procédés de modélisation dynamique ont permis de négocier les fluctuations et les perturbations sur le site pour trouver un équilibre périodique au sein des systèmes fluviaux dynamiques.

Ces expériences de l’ETH Zurich démontrent que des infrastructures statiques telles que les canaux des rivières et les barrages peuvent être remplacées par une topographie douce faite de matériaux trouvés sur place comme le sable, le gravier et les rochers. Dans un périmètre défini, des forces robotisées servent à modifier le terrain tout en offrant des

1. Tim Ingold, «The Textility of Making», *Cambridge Journal of Economics*, vol. 34, n° 1, 1^{er} janvier 2010, p. 91-102.
2. Ervine Lin, «Point Clouds as a Representative and Performative Format for Landscape Architecture», ETH Zurich, 2016, thèse de doctorat.
3. Dominic Jud, Simon Kerscher, Martin Wermelinger et al., «HEAP — The Autonomous Walking Excavator», *Automation in Construction*, vol. 129, septembre 2021.
4. Ilmar Hurkkens, Mirjan Ammar, Fabio Gramazio et al., «Robotic Landscapes: Designing Formation Processes for Large Scale Autonomous Earth Moving», in Christoph Gengnagel, Olivier Baverel, Jane Burry et al. (dir.), *Impact: Design With All Senses*, Cham, Springer International Publishing, 2019, p. 69-81.
5. Melanie Salvisberg, *Die unzähmbare Gürbe. Überschwemmungen Und Hochwasserschutz seit dem 19. Jahrhundert*, Bâle, Schwabe Verlag, 2017.
6. Marc Christen, Yves Bühler, Perry Bartelt et al., «Integral Hazard Management Using a Unified Software Environment. Numerical Simulation Tool «RAMMS» for Gravitational Natural Hazards», in Gernot Koboltschnig, Johannes Hübl et Julia Braun (dir.), *12th Congress INTERPRAEVENT 2012 on Protection of living space from natural hazards*, Grenoble, 23-26 avril 2012, Klagenfurt, International Research Society INTERPRAEVENT, 2012, p. 77-86.

environnements sûrs et des performances écologiques. Contrairement à une rivière canalisée, cette méthode permet aux fluctuations saisonnières du niveau de l’eau de s’étendre sur le terrain, créant ainsi une multitude de conditions topographiques entre terrain humide et terrain sec qui favorise une écologie riche et diversifiée. Enfin, l’analyse des flux⁶ permet d’exploiter la force de la rivière pour influencer les processus d’érosion, de transport et de sédimentation en s’alignant stratégiquement sur les flux de matériaux ou en s’opposant à eux.

En résumé, la construction paysagère robotisée met à l’épreuve une méthode nouvelle selon laquelle la spécificité physique d’un site est d’emblée intégrée dans le processus de conception et de fabrication. La forme originale d’un terrain agit comme un catalyseur informatique en s’alignant d’ordonnancement qui évolue à différentes échelles dans l’espace et le temps. La réponse aux structures de paysage existantes est importante pour identifier les moyens de soutenir toute écologie future. La reconnaissance du terrain en tant que structure porteuse du paysage favorise ses dimensions esthétiques naturelles, mais au moyen d’une réponse informatique et de résultats obtenus par la robotique. Ces instruments de

Fig. 1
Une nouvelle topographie pour la Gürbe. Sans la canalisation de la Gürbe avec de nombreux barrages de retenue, on peut établir un nouveau paysage dynamique et ouvert dans lequel les processus d’érosion et de sédimentation sont observés et contrôlés à l’aide de stratégies de maintenance dynamiques.

Fig. 2
Coulée de débris simulée à l’aide du logiciel RAMMS du WSL montrant comment la nouvelle forme du paysage, faite de matériaux lâches ou granuleux, a la capacité de diriger et d’atténuer la survenue d’aléas.

Fig. 3
L’excavatrice robotisée entièrement autonome HEAP, élaborée par le Robotic Systems Lab de l’ETH Zurich, crée un remblai de forme libre à l’aide du sol sur la base d’un modèle dynamique tridimensionnel.

Fig. 4
Modèle tridimensionnel de nuages de points du lit de la Gürbe permettant des procédés numériques de conception et de construction.

planification et d’exécution dynamiques ouvrent des possibilités de conception jusqu’alors impensables pour la création de paysages au XXI^e siècle. Il sera essentiel de nous situer à nouveau dans les procédés entropiques inhérents au paysage en entretenant et en élaborant activement la forme topographique qui s’adapte le mieux aux événements imprévisibles.

Dans les systèmes d’équilibre dynamique, de petites perturbations peuvent entraîner des effets considérables. À ce titre, les notions de temps et de procédure doivent être concomitantes à toute considération formelle. Le fait d’accepter que les paysages soient des systèmes en équilibre dynamique donne non seulement de la valeur à la beauté de la nature, mais offre également une sécurité, une résilience et une diversité écologique plus marquées. Comme les processus sur le terrain et les processus des systèmes robotisés sont intrinsèquement dynamiques, ces deux forces s’associent naturellement. Il est temps d’aligner la logique inhérente des systèmes naturels — dans lesquels le changement s’inscrit dans le temps — sur les méthodes de conception et les procédés de planification de ces paysages.