



vogelwarte.ch



Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction

Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction

Martin Rössler, Wilfried Doppler, Roman Furrer, Heiko Haupt,
Hans Schmid, Anne Schneider, Klemens Steiof, Claudia Wegworth



vogelwarte.ch



Impressum

Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction

Auteurs :

Martin Rössler, Wilfried Doppler, Roman Furrer, Heiko Haupt, Hans Schmid, Anne Schneider, Klemens Steiof, Claudia Wegworth

Éditrice :

Station ornithologique suisse

Coéditeurs :

Wiener Umweltschutz (WUA), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Landesbund für Vogelschutz in Bayern (LBV), collabs/Biologische Station Hohenau-Ringelsdorf

Organisations soutiens :

BirdLife Suisse, Lega italiana protezione uccelli (Lipu), Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO), Bundesamt für Naturschutz (BfN), Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW), Naturschutzbund Deutschland (NABU), Dark-Sky Switzerland, Association professionnelle suisse pour des façades ventilées (APSFV), Institut Suisse du verre dans le bâtiment (SIGAB), Metaltec Suisse

Nous remercions pour l'amical soutien, les conseils compétents et les suggestions au manuscrit les personnes et institutions suivantes :

Reinhard Brandstetter, Verein AURING - Hohenau; Deutsche Postcode Lotterie; Marco Dinetti, Lega italiana protezione uccelli (Lipu); Judith Förster; les collaborateurs bénévoles collabs/Biologische Station Hohenau-Ringelsdorf; Christa Glauser, Eva Inderwildi, BirdLife Suisse; Wolfgang Laube, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU); Paloma Plant, Fatal Light Awareness Program (FLAP) Canada; Werner Schulz; Sylvia Weber, LBV München; Sigrid Weiss-Lutz; Cathy Zell, Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO); René Altermatt, Marcel Burkhardt, Barbara Helm, Daniela Heynen, Hannes von Hirschheydt, Isabelle Kaiser, Matthias Kestenholz, Peter Knaus, Jacques Laesser, Paola Ricceri, Arno Schneider, Nicolas Sironi, tous de la Station ornithologique suisse

Layout :

Isabelle Kaiser & Marcel Burkhardt

Traduction :

Filoplume

Photo page de titre :

Futurium à Berlin, RICHTER MUSIKOWSKI Architekten (photo: Gianmarco Bresadola)

Nous remercions pour l'amical soutien, les conseils compétents et les suggestions au manuscrit les personnes et institutions suivantes :

Reinhard Brandstetter, Verein AURING - Hohenau; Deutsche Postcode Lotterie; Marco Dinetti, Lega italiana protezione uccelli (Lipu); Judith Förster; les collaborateurs bénévoles collabs/Biologische Station Hohenau-Ringelsdorf; Christa Glauser, Eva Inderwildi, BirdLife Suisse; Wolfgang Laube, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU); Paloma Plant, Fatal Light Awareness Program (FLAP) Canada; Werner Schulz; Sylvia Weber, LBV München; Sigrid Weiss-Lutz; Cathy Zell, Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO); René Altermatt, Marcel Burkhardt, Barbara Helm, Daniela Heynen, Hannes von Hirschheydt, Isabelle Kaiser, Matthias Kestenholz, Peter Knaus, Jacques Laesser, Paola Ricceri, Arno Schneider, Nicolas Sironi, tous de la Station ornithologique suisse

Photos :

Portrait (10 [1]), M. Apollonio (21 [1]), Avda / avda-foto.de (14 [1]), G. Brandtner (24), S. Brauner Grafik (55 [1]), M. Burkhardt (49 [1]), M. Cappelletti (20 [1]), caspar/HG&E (30), ChiemSeherin (10 [3]), M.-N. Dailly (18 [1]), I. Derschmidt Grafiken (26, 27), M. Dinetti (8 [2]), W. Doppler (16 [1,2,5], 17 [1,2,4,6], 29, 31, 46, 59 [1,4], 61 [2,10,11]), D. Feng (12 [2]), S. Feyissa (59 [3]), Flagstaff Darksky Coalition (55), R. Furrer (27 [1]), A. Gaia (50 [1]), P. Gapp (36 [1], 37 [9], 38 [1-10], 39 [1-10], 40 [1-10], 41 [1-4]), B. Georg (43 [2]), M. Haller (48 [1]), A. Hänel Grafik (53), H. Haupt (51 [1,2]), M. Hury (7), E. Inderwildi (13, 17 [3]), T. Jantscher (22 [2]), M. Jezyk (18 [2]), M. Koring (52), C. Lendl (54), H. Morimoto (10 [2]), W. Moser (14 [2]), NABU Brandenburg (51 [3]), D. Occhiato (5), U. Pohlmann (14 [3]), M. Roessler (16 [3,4], 27 [2], 32 [2,3], 33 [2,3], 34, 35, 36 [2-7], 37 [8, 10-14], 59 [7,8]), S. Rosenberg (19 [2]), scarchitekten Springer Jörg Mieth Robert (44 [3]), H. Schmid (12 [1], 16 [6], 45 [2,3], 61 [7, 8]), M. Schmitt (25), A. I. Schnabel (20 [2]), A. Schneider (48 [2]), K. Schreiber (50 [3]), D. Schreyer (21 [2]), W. Schulz (6, 15 [3]), Station ornithologique suisse (44 [4], 58, 59 [5,6], 60, 61 [5,6]), SEEN AG (32 [1], 33 [3], 61 [4,12]), K. Steiof (47 [1]), O. Subach (50 [2]), Terrain Integral Desings E. Fornasa (44 [1,2]), V. Tsu (19 [1]), S. Weber (9, 22 [1], 49 [3], 61 [9]), C. Wegworth (15 [1,2], 17 [5], 42 [1,2], 43 [1], 45 [1], 47 [2], 48 [3], 49 [2], 59 [2,9,10,11,12], 61 [1,3], 8 [1])

Proposition de citation :

Rössler, M., W. Doppler, R. Furrer, H. Haupt, H. Schmid, A. Schneider, K. Steiof & C. Wegworth (2022): Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction. 3^e édition, édition révisée. Station ornithologique suisse.

ISBN: 978-3-85949-033-8

Contact :

Station ornithologique suisse, CH-6204 Sempach, tél. (+41) 41 462 97 00, glas@vogelwarte.ch

© 2022, Station ornithologique suisse



Table des matières

Préface	5
1 Le verre, une matière problématique	6
2 Le verre, piège à oiseaux	8
2.1 Transparence	8
2.2 Réflexion	9
2.3 Activité des oiseaux, environnement et architecture	11
2.3.1 Activité	11
2.3.2 Environnement	12
2.3.3 Architecture	14
2.4 Exemples de constructions vitrées dangereuses	16
3 Mesures en faveur des oiseaux	18
3.1 Solutions ménageant les oiseaux	18
3.2 Marquage des surfaces vitrées	23
3.2.1 Comment les oiseaux identifient-ils les obstacles?	23
3.2.2 Procédures de test standardisées	24
3.2.3 Schéma d'évaluation de Hohenau : le marquage à haute efficacité comme mission	29
3.2.4 Critères pour un marquage de protection hautement efficace	30
3.2.5 Vitres protégeant les oiseaux pour les fenêtres et les façades : développements actuels	31
3.2.6 Présentation des marquages testés en tunnel de vol	35
3.3 Mesures ultérieures	42
4 Mesures inadéquates	46
5 Pollution lumineuse	50
6 En résumé	56
6.1 Catalogue des interventions	56
6.2 Vitres dangereuses	58
6.3 Solutions ménageant les oiseaux	60
Autres sources d'information	62

Préface

Le vol des oiseaux et ses limites invisibles

En regardant les oiseaux voltiger d'arbre en arbre ou tournoyer très haut dans le ciel, nous rêvons parfois de les imiter. Mais nous sommes peu conscients des dangers qui les guettent – dont les vitres. Il n'est plus possible aujourd'hui d'imaginer un monde sans vitre, tant elles sont indissociables de notre style de vie moderne. Au point que les Nations Unies ont désigné 2022 « Année du verre », pour le rôle essentiel joué par cette matière dans notre société. Le verre n'a toutefois pas que des bons côtés : même si les oiseaux s'orientent avant tout grâce à leur vision, ils ne sont pas capables de le repérer. Chaque année, des millions d'oiseaux trouvent la mort contre des vitres, ce qui en fait l'un des plus graves problèmes de protection des oiseaux en milieu urbanisé aujourd'hui. L'expansion continue des agglomérations et la popularité croissante du verre en architecture ne font qu'aggraver le phénomène.

Des mesures simples sont pourtant possibles pour que le verre ne fasse pas de victimes. Publiées en 2008 et en 2012, les précédentes éditions de cette brochure ont suscité un vif intérêt et les recommandations qu'elles contiennent sont de plus en plus suivies. Entre-temps, un certain nombre de nouvelles découvertes et de nouveaux produits ont fait leur apparition, rendant nécessaire une nouvelle édition entièrement remaniée. La Station ornithologique suisse, qui édite cette brochure, s'est également efforcée d'attirer l'attention sur le sujet au-delà des frontières de notre pays. La collaboration entre scientifiques et spécialistes de terrain d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse, initiée il y a 20 ans déjà, s'est poursuivie dans cette nouvelle édition. Si cette dernière est conçue pour le monde germanophone, elle est aussi applicable ailleurs en Europe, grâce à sa traduction dans d'autres langues. Elle rassemble des informations qui seront utiles aux architectes, aux planificateurs, aux maîtres d'ouvrage et aux représentants de l'industrie verrière pour trouver des solutions garantissant la protection des oiseaux sur les nouvelles constructions. Elle présente aussi des mesures permettant d'intervenir après coup sur des bâtiments déjà construits.

Il reste beaucoup à faire, sur le plan privé comme dans l'espace public. Nous sommes reconnaissants à celles et ceux dont l'action contribue à éviter la mort de nombreux oiseaux. Les oiseaux apprécient lorsque des solutions originales et esthétiquement plaisantes sont mises en œuvre !

Peter Knaus
Directeur de conservation, Station ornithologique suisse



1 Le verre, une matière problématique

Au cours de ces 50 à 100 dernières années, la qualité des habitats des espaces ruraux et de nombreux paysages naturels d'Europe centrale s'est dramatiquement péjorée pour beaucoup d'espèces d'animaux, particulièrement les oiseaux. En revanche, ces derniers trouvent encore des habitats diversifiés dans les zones occupées par les humains, y compris dans bon nombre de villes. Les peuplements d'arbres, surtout, dans les parcs, les cimetières, sur les parcelles non bâties et le long des rues, sont appréciés et utilisés par toutes sortes d'oiseaux nicheurs, mais aussi par beaucoup de migrateurs et d'hôtes hivernaux.

Des millions d'oiseaux meurent chaque année contre les vitres

Pour les oiseaux, le verre est une source de danger dont la présence s'est accrue ces dernières décennies. Les collisions font de nombreuses victimes parmi les espèces d'oiseaux communes de l'espace urbain, mais elles n'épargnent pas non plus les migrateurs en escale et les hôtes y cherchant leur nourriture comme la bécasse des bois, le martin-pêcheur d'Europe, l'épervier d'Europe ou l'autour des palombes. Cependant, les risques liés au verre pour les oiseaux sont aussi un problème croissant en dehors des agglomérations. Une extrapolation des stations ornithologiques des Länder allemands a estimé que dans ce seul pays, environ 100 à 115 millions d'oiseaux sont victimes chaque année d'impacts contre des vitres^[1]. Cela représente plus de 5 % de tous les oiseaux présents en Allemagne au cours d'une année (LAG VSW 2017 – groupe de travail des stations ornithologiques des Länder allemands). Les chiffres sont probablement semblables dans les pays à densité de population comparable. Aux Etats-Unis, par exemple, les extrapolations sont de 365 à 988 millions d'oiseaux morts chaque année à cause du

verre^[2]. Nos migrateurs aussi se retrouvent souvent face à des vitres, y compris lorsqu'ils traversent l'espace méditerranéen. Les oiseaux étant particulièrement menacés partout dans le monde, le verre pourrait bien être un facteur de risque supplémentaire influençant l'évolution des effectifs de leurs populations.

Les surfaces vitrées meurtrières se multiplient rapidement

On pourrait faire remarquer, à juste titre, que dans de nombreux pays méditerranéens des millions d'oiseaux migrateurs sont victimes de la chasse ou capturés par des pièges et des filets. La seule côte méditerranéenne de l'Egypte compte 700 kilomètres de filets maillants. À titre de comparaison, environ 85 millions de tonnes de verre sont produites chaque année, dont 30 à 40 % sont utilisés comme vitres pour bâtiments. Cela correspond pour des vitres de 1 à 2 cm d'épaisseur à une augmentation annuelle de la surface en verre de 800 millions de m² ou une paroi de 100 m de haut et 8000 km de long, l'équivalent de la distance entre Paris et Pékin. Vous avez bien lu : chaque année ! Les surfaces vitrées représentent un danger pour les oiseaux du monde entier. Ces morts par collision sont purement accidentelles, et seraient évitables dans la plupart des cas.

La mort discrète de nos oiseaux

Comment est-il possible que le problème, malgré ces chiffres impressionnants, reste aussi peu connu ? Nous aurions déjà davantage conscience des collisions d'oiseaux si nous examinions de plus près certaines surfaces vitrées. Les gros oiseaux (surtout les pigeons, les pics et rapaces) laissent souvent des empreintes de plumes après un impact, et une seule plume insignifiante peut aussi témoigner



Partout dans le monde, des façades de centaines de m² de verre sont bâties. Elles contribuent à accroître la mortalité des oiseaux. Un changement dans les mentalités est nécessaire pour que le nombre de collisions d'oiseaux avec les vitres ne cesse d'augmenter.

ner d'une collision. La majorité des oiseaux, particulièrement les petits, ne laissent toutefois aucune trace sur le verre et leurs cadavres sont en général rapidement emportés – la nuit par les renards, les rats, les chats et les martres, le jour par les corneilles et les pies. Les façades vitrées très « productives » sont particulièrement surveillées par ces charognards. Les services de nettoyage et les concierges éliminent également les oiseaux accidentés. La large sous-estimation des accidents d'oiseaux ne se révèle ainsi que par des contrôles intensifs systématiques.

Le verre n'est pas toujours indispensable

Le verre est une matière relativement bon marché pour la construction. Il présente cependant aussi des inconvénients : réflexion du bruit et des rayons du soleil, réchauffement de l'intérieur en été, perte de chaleur en hiver et production très gourmande en énergie. Son influence sur la biodiversité de cette planète doit nous pousser à mener une réflexion de fond sur son utilisation. Dans chaque cas, il est judicieux d'examiner de façon critique

la pertinence de l'utilisation du verre dans une construction, avant de réaliser des projets entièrement « transparents ». Et s'il faut vraiment utiliser du verre en grande quantité, il existe des mesures simples pour limiter radicalement les collisions d'oiseaux, sans pour autant gêner exagérément la transparence – nous vous présentons ici ces solutions. Les considérations purement esthétiques de conception ne doivent pas se faire aux dépens de la diversité en espèces !

Pollution lumineuse « tueuse d'oiseaux »

Le verre représente certes un grave danger en journée, à cause de la transparence et de la réflexion, mais beaucoup d'oiseaux sont attirés la nuit par les éclairages omniprésents et viennent s'écraser contre des parois et des sources de lumière. Cette pollution lumineuse entraîne des conséquences diverses sur la faune sauvage comme les chauves-souris et les insectes, mais également sur les êtres humains. Nous présentons ici quelles sont les mesures simples qui permettent de réduire ces risques.



Victimes de collisions collectées pendant les migrations de printemps et d'automne 2017 dans quelques quartiers de Toronto, Mississauga et Markham, Canada, par des volontaires et des bénévoles de l'organisation FLAP (Fatal Light Awareness Program).

^[1] LAG VSW – Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (2017): Der mögliche Umfang von Vogelschlag an Glasflächen in Deutschland – eine Hochrechnung. Berichte zum Vogelschutz 53/54: 63–67.

^[2] Loss, S. R., T. Will, S. S. Loss & P. P. Marra (2014): Bird-building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. Condor 116: 8–23.

2 Le verre, piège à oiseaux

La transparence en architecture aux dépens des oiseaux

L'architecture contemporaine accorde une place importante au verre. Les propriétés optiques qui le rendent transparent et « comme de l'air » lui donnent une légèreté qui est souvent évoquée. Sur le plan architectural, elles permettent une interaction entre les espaces intérieurs et extérieurs, créent des passages fluides et une liaison visuelle libre vers l'environnement du bâtiment, tout en constituant une barrière climatique et physique bénéfique. Vu de l'extérieur s'ajoute une autre caractéristique du verre,

utilisée souvent à dessein : sa surface lisse reflète ce qui est en face, et permet de jouer avec l'architecture des bâtiments environnants, la nature et les nuages. L'éclairage nocturne des espaces intérieurs traverse aussi le verre avec beaucoup d'effet, créant ainsi des éléments de lumière nocturne intégrés à l'architecture.

Sous l'angle de la protection des oiseaux en revanche, la transparence, les effets miroir et l'éclairage ont un effet désastreux : ils constituent un danger mortel pour les oiseaux et coûtent la vie à des milliards d'entre eux chaque année.

2.1 Transparence

Un mur invisible

Les oiseaux perçoivent les obstacles par la vue – exactement comme nous. Un obstacle est repérable par ses contours et sa texture^[3], deux aspects absents dans le verre. Les oiseaux ne peuvent pas distinguer visuellement les parois transparentes de l'air. Il en va de même pour les humains : nous avons besoin de notre expérience pour juger qu'un bâtiment comporte du verre à certains endroits. Nous évitons sans y penser les coins des bâtiments, les structures répétées de fenêtres et de façades, les éléments de fixation parmi d'autres, et nous avons intériorisé le verre comme une partie de notre environnement. Et pourtant, même pour les humains, le verre doit être marqué à hauteur des yeux dans de nombreux bâtiments

public : des accidents se produisent souvent lorsque l'on se trouve dans un endroit inconnu. Les oiseaux, eux, n'ont pas cette expérience. Lorsqu'une paroi vitrée se trouve devant un paysage attirant pour lui, par exemple un groupe d'arbres, l'oiseau ne peut pas identifier le corps solide contre lequel il se dirige. De plus, les oiseaux se déplacent plus rapidement dans l'air que l'être humain au sol. Le verre devient ainsi dans la plupart des cas un piège mortel.

À la différence de la réflexion, un problème de transparence intervient lorsque l'espace à l'arrière d'une paroi vitrée est aussi clair qu'à l'avant. Ce type de configuration concerne généralement les parois anti-bruit isolées, les garde-corps vitrés, les abribus vitrés, etc. Les bâtiments peuvent aussi présenter des



Transparence et ouverture – un idéal de modernité qui caractérise l'architecture de la Neue Nationalgalerie à Berlin. Pour les oiseaux, la visibilité directe à travers le bâtiment est un piège mortel.



Les terrains de padel sont parfois entourés de verre synthétique transparent. En Espagne, en Italie et dans d'autres pays européens, de nombreuses collisions d'oiseaux contre les parois de délimitation ont été documentées.

zones transparentes, comme des passages couverts et des angles vitrés, à travers lesquels les oiseaux voient le ciel ou des éléments de verdure. Les jardins d'hiver, les terrasses vitrées et autres structures coupe-vent présentent donc également de gros risques.

Résumé :

Comme matériau de construction laissant passer la lumière, le verre offre des possibilités fantastiques, mais il représente pour tous les animaux qui s'orientent par la vue un danger nettement sous-estimé. Barrière indétectable, le verre blesse et tue les oiseaux.

Aussi bien le vitrage complet de la façade que les immenses parois anti-bruit transparentes du vaste complexe Uptown à Munich représentent un danger mortel pour les oiseaux. Ils ont été entre-temps équipés de marquage.



2.2 Réflexion

Un oiseau ne peut pas identifier comme un obstacle une paroi vitrée reflétant de manière continue le ciel ou des arbres et des arbustes.

Pourquoi le verre est-il réfléchissant ?

Si l'arrière-plan d'une paroi vitrée est plus sombre que l'avant, des reflets apparaissent sur sa surface lisse. C'est très souvent le cas avec les fenêtres et les façades. On perçoit en général derrière les fenêtres une lumière diffuse et nettement plus faible que la lumière extérieure, sauf de nuit avec l'éclairage artificiel. Comme nos yeux s'adaptent à la clarté de notre environnement, nous avons l'impression d'une lumière claire lorsque nous sommes à l'intérieur, même si elle ne représente qu'une fraction de la lumière du jour à l'extérieur. L'indice de lumière du jour exprime le rapport entre l'éclairement lumineux à l'extérieur et l'éclairement lumineux dans le bâtiment. Elle devrait être de 1 % à 3 % à nos places de travail. Des surfaces ainsi éclairées produisent donc le centième de la luminosité extérieure.

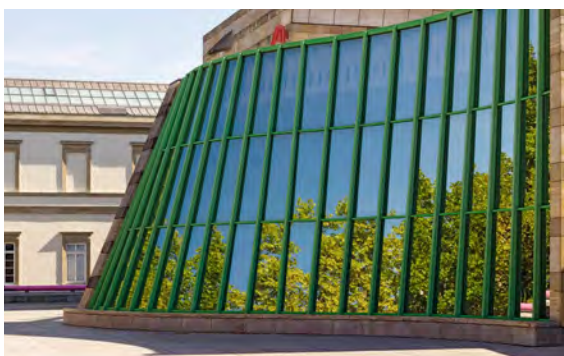
Il y a donc de grandes différences entre l'éclairement des objets à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments (tableau 1), et par conséquent dans la réflexion de la lumière en direction d'une paroi vitrée. Il faut

Tabl. 1 : Exemples d'éclairements lumineux en lux (lx) sur des objets à l'intérieur et à l'extérieur d'un bâtiment. (Wikipédia, 1.6.2022)

Conditions de lumière	Luminosité typique
Jour d'été sans nuages Élévation solaire 60° (midi)	90000 lx
Jour d'été couvert	60000 lx
Jour d'hiver couvert	3500 lx
Studio TV	1000 lx
Bureau	500 lx
Intérieur par lumière du jour	50 lx

que des objets clairs à l'intérieur réfléchissent davantage de lumière vers l'extérieur que les objets extérieurs ne dirigent de lumière vers la vitre, pour que les reflets disparaissent. Cela n'arrive généralement que lorsque le soleil éclaire directement des objets situés juste derrière la fenêtre.

^[3] Gibson, J. J. (1958): Visually controlled locomotion and visual orientation in animals. Br. J. Psychol. 49: 182–194.



Le verre, avec sa surface lisse, est toujours réfléchissant lorsque l'arrière est moins éclairé que l'avant. Des revêtements supplémentaires de la façade vitrée peuvent accentuer les contrastes de réflexion. Pour les oiseaux, les arbres reflétés, mais aussi le ciel, sont perçus comme de l'espace libre.



Si les jalousies intérieures et les panneaux clairs posés derrière les vitres peuvent réduire la réflexion, il y a souvent des reflets et cela reste peu efficace contre les collisions. Il ne faut pas compter sur une telle protection contre les collisions, d'autant plus que les stores ne sont pas baissés en permanence.

Lorsque le ciel est couvert et la lumière diffuse, la réflexion du ciel ou d'un mur clair sur la paroi prend le dessus, tandis que les arbres par exemple, moins réfléchis, n'apparaissent que comme des silhouettes. Néanmoins, même avec une faible lumière du jour, l'intérieur reste sombre et les reflets prédominent, ou alors se mêlent avec des éléments intérieurs apparaissant.

Un jour ensoleillé peut donner des reflets fortement contrastés et très fidèles, avec un effet tridimensionnel.

Sans marquage, le verre peu réfléchissant n'offre pas de protection suffisante pour les oiseaux

Ces différences de luminosité considérables entre l'intérieur et l'extérieur montrent bien que, même avec

Taux de réflexion extérieure

Une paroi de verre flotté sans revêtement réfléchit 8 % de la lumière incidente, 4 % sur chacune des deux surfaces. Avec le verre isolant, la réflexion extérieure augmente car les valeurs des différentes couches s'additionnent. Si des revêtements spéciaux permettent de limiter le taux de réflexion extérieure, de nombreux revêtements ont l'effet inverse. Les films de protection solaire réfléchissent souvent 25 %, parfois jusqu'à 60 % de la lumière incidente. Un miroir d'argent traditionnel réfléchit entre 80 % et 90 % de la lumière, les UV sont réfléchis avec moins d'intensité. Lors des expériences, le risque de collision augmente avec le taux de réflexion : les oiseaux s'orientent vers le miroir d'argent trois fois plus souvent que vers une vitre de verre flotté sans marquage.



Dans l'art traitant de l'aménagement du paysage, il n'est pas rare qu'une œuvre fasse usage de miroirs pour obtenir des effets spéciaux – sans que les créateurs ne réalisent le danger qui en découle pour les oiseaux et d'autres organismes comme les insectes. C'est la raison pour laquelle l'installation temporaire « Mirage » de Doug Aitken à Gstaad a été dotée d'une trame constituée de lignes noires, pour protéger les oiseaux.

un verre d'un taux de réflexion extérieure de 2 % seulement, c'est-à-dire très peu réfléchissant, des reflets réalistes peuvent encore se produire. La seule utilisation de verre peu réfléchissant, sans marquage, ne constitue donc pas une protection pour les oiseaux (ch. 4).

Un taux de réflexion extérieure modéré est néanmoins intéressant en tant que mesure complémentaire, car plus le taux de réflexion est haut, plus le risque de collision est élevé. Des expériences (ch. 3.2.2) ont montré que les oiseaux volent trois fois plus souvent vers un miroir d'argent (> 80 % de réflexion), à cause de ses reflets très contrastés, que

vers un vitrage simple de verre flotté sans revêtement. Avec le verre isolant, les reflets se superposent et sont donc souvent flous ou légèrement faussés. Il n'a toutefois pas été démontré, jusqu'à présent, que les reflets moins nets du verre isolant provoquaient moins de collisions.

Résumé :

Dans presque toutes les conditions de lumière naturelle, les surfaces lisses des fenêtres et des façades donnent des reflets, parce que moins de 1 % de la lumière extérieure est renvoyée en retour depuis l'intérieur.

2.3 Activité des oiseaux, environnement et architecture

Facteurs d'influence sur le risque de collision

Les propriétés du verre qui dépendent des conditions de luminosité, c'est-à-dire la transparence et la réflexion, sont largement responsables des collisions d'oiseaux contre des vitres de jour comme de nuit. Dans les pages suivantes, nous abordons les facteurs d'influence qui ne sont pas liés aux propriétés du verre, mais qui contribuent beaucoup à l'ampleur du risque de collision : l'activité de vol des oiseaux et l'attractivité des alentours des bâtiments comme facteurs biologiques et le dimensionnement et l'agencement des façades vitrées comme facteurs architectoniques.

2.3.1 Activité

Les victimes de collisions enregistrées ne sont que la pointe de l'iceberg

Les oiseaux que nous connaissons le mieux comme les pinsons, les mésanges, les moineaux ou les pics se font remarquer par leur ballet incessant, volant de-ci de-là, de buisson en buisson et d'arbre en arbre, souvent à grands renforts de cris et de chants. De nombreuses autres espèces restent plus discrètes et nous sont ainsi nettement moins familières, parce qu'elles sont adaptées à une végétation plus dense, comme les rousserolles, les fauvettes, ou les pouillots. Ces espèces ne quittent que rarement leur abri de verdure. Le nombre de ces oiseaux et leur mobilité étant légèrement sous-évalués, leurs collisions avec les vitres surprennent et sont toujours considérées comme des cas isolés et inhabituels. Et pourtant, les oiseaux sont parmi les organismes les plus mobiles de la planète, constamment en mouvement

pour chercher leur nourriture et se protéger des prédateurs. De nombreuses espèces changent de continent avec les saisons. Les oiseaux migrateurs font escale en Europe du Sud et centrale, souvent pendant des jours ou des semaines. Il y a donc davantage d'oiseaux au printemps et en automne, ce qui se traduit par un plus grand nombre de victimes de collisions contre les vitres^[4].

L'activité des oiseaux dépend de nombreux facteurs

De nombreux critères influencent l'activité de vol autour d'un bâtiment : comportements des espèces présentes, période du jour, saison, météo, qualité du milieu, offre alimentaire du moment, distance entre les sites de nourrissage, les postes d'affût, les lieux de repos et les dortoirs, ainsi que fréquence des dérangements par des prédateurs. Même les zones a priori peu accueillantes et très pauvres en végétation, au centre des grandes villes, sont le théâtre d'accidents mortels – même fréquemment dans certains lieux. La liste des victimes de collisions comprend là des espèces que l'on ne s'attend pas à voir dans les agglomérations, comme des nicheurs des zones humides ou des forêts nordiques, qui ne passent par les milieux urbains que sur la route de la migration.

L'évaluation du potentiel de risque d'un futur bâtiment nécessite une expertise spécifique

La très grande variabilité de l'activité des oiseaux rend ce facteur difficile à déterminer. Une expertise ornithologique spécifique peut prédire l'importante activité de certains sites. Les activités plus faibles et plus discrètes sont en revanche plus compliquées à démontrer. D'une manière générale, la présence de surfaces vitrées implique un risque surreprésenté pour l'avifaune déjà à

^[4] Steiof, K., R. Altenkamp & K. Baganz (2017): Vogelschlag an Glasflächen: Schlagopfermonitoring im Land Berlin und Empfehlungen für künftige Erfassungen. Berichte zum Vogelschutz 53/54: 69–95.

partir d'une activité moyenne. La mortalité élevée des oiseaux par des accidents de ce type s'explique certes en partie par la présence de sites particulièrement dangereux, mais avant tout par l'omniprésence des vitres.

Résumé :

Le risque de collision avec une surface vitrée est déterminé en grande partie par la fréquence des mouvements de vol. Celle-ci dépendant du lieu et de la saison est extrêmement variable et peu prévisible. Même une activité de vol moyenne implique un danger surreprésenté pour les oiseaux.

2.3.2 Environnement

La verdure des villes attire les oiseaux

La moitié de la population mondiale vit dans des agglomérations urbaines. Pourtant, ceux qui peuvent se le permettre habitent dans la verdure et recherchent des logements avec jardin, dans un environnement proche de la nature. Avec l'accélération du changement climatique et un climat urbain de plus en plus chaud, notamment à cause des modes de construction, la verdure des villes revêt une importance grandissante. En Europe centrale, les places de parc abandonnent dans les rues un espace croissant aux arbres, qui offrent de l'ombre, filtrent la poussière et façonnent le paysage de la rue. Les espaces verts proches des habitations créent un lien avec la nature et avec les oiseaux, ses représentants les plus visibles.

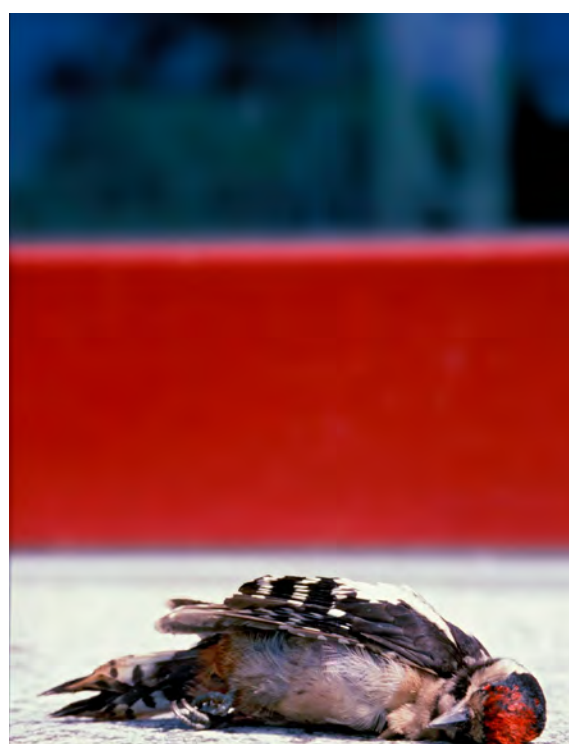
Le verre est particulièrement létal près des arbres

Bien que le contact avec les oiseaux soit apprécié et qu'il donne de la valeur aux agglomérations, les lieux de vie verdoyants et proches de la nature sont fréquemment équipés de verre sans qu'une évaluation ne soit menée au préalable – et on ne parle pas ici que de fenêtres et de façades, mais aussi de barrières, d'arrêts de transports publics et d'éléments vitrés de l'aménagement du paysage, pour ne citer que quelques exemples.

Des collisions, y compris d'espèces rares, se produisent même dans les centres-villes peu végétalisés. Néanmoins, la probabilité qu'un oiseau entre en collision avec une surface vitrée est généralement liée à la richesse et à la hauteur de la verdure des environs. Des études ont montré que c'est la végétation des alentours immédiats des bâtiments qui joue le plus grand rôle. En présence d'arbres dont la hauteur correspond à plus de deux étages de bâtiment, le risque de collision est 3,6 fois plus élevé que dans un environnement dépourvu d'arbres^[5,6]. Il est prouvé qu'une façade vitrée située jusqu'à 100 mètres de portée visuelle de groupements d'arbres entraîne une augmentation directe du risque de collisions^[7]. Dans le cadre d'un aménagement urbain durable, on considère de plus en plus des mesures de conservation, de protection et de promotion de la diversité des espèces, et d'amélioration du climat urbain. Dans le cadre de ce qu'on appelle l'« Animal-Aided Design » (AAD)^[8], on intègre volontairement des structures qui peuvent servir à la faune de sites de nourrissage, de nidification ou de refuge. Cependant, si elle ne s'accompagne pas de mesures contre



Les moineaux sont pour nous un symbole de gaieté. Plus les oiseaux sont nombreux à se tenir et à se déplacer aux alentours d'un bâtiment, plus les surfaces vitrées transparentes ou réfléchissantes font de victimes.



Le pic épeiche est un habitant typique de la forêt, mais il parcourt de longues distances dans les agglomérations, et se retrouve souvent victime de collisions contre des surfaces vitrées.

les collisions d'oiseaux, la promotion de la diversité des espèces est contre-productive car elle ne fait qu'orienter les oiseaux vers un « piège écologique ».

Les rivières, des couloirs à travers les grandes villes

Les abords directs des parcs, des groupes d'arbres et des zones de jardin ne sont pas les seuls endroits où le verre doit être installé avec grande prudence. Les limites des zones d'agglomération comptent souvent des biotopes spécifiques, à commencer par des zones humides et des plans d'eau.

Les sites très fréquentés par l'avifaune, souvent déjà désignés comme réserves naturelles ou comme zones protégées européennes, ont une influence qui dépasse leurs alentours directs et créent des « couloirs de vol » entre eux qui sont aussi empruntés par les petits oiseaux volant à basse altitude. Négliger ce phénomène peut mener à sous-estimer les risques de collision. Les rivières, par exemple, forment des couloirs y compris à travers les grandes villes. En outre, elles abritent de nombreux insectes et représentent souvent un refuge de la dernière chance pour les migrateurs lors de mauvaise météo, qui y trouvent à manger. Elles ne sont donc pas uniquement intéressantes pour les espèces d'oiseaux tributaires de l'eau, mais attirent aussi les passereaux qui recherchent leur nourriture dans les zones alentours. Le concept d' « environnement » est donc complexe et doit se comprendre dans un sens plus large que celui des abords immédiats.

Les fenêtres panoramiques tuent ce qu'elles veulent montrer

Les éléments naturels et la vitalité de l'environnement exercent souvent une influence directe sur l'agencement d'un bâtiment, lorsque l'on veut vivre la nature au plus près. Les concepts architecturaux qui créent des passages fluides entre des espaces d'habitation sécurisés, propres et climatisés d'une part et la nature sauvage d'autre part sont particulièrement problématiques, puisqu'ils font entrer dans la nature des immeubles, des établissements de wellness ou des hôtels présentant de très nombreuses surfaces vitrées. En voulant supprimer la frontière visuelle avec la nature sauvage, ces concepts sollicitent cette dernière d'autant plus brutalement. Le verre, érigé en synonyme de proximité avec la nature, devient alors une menace pour cette même nature tant désirée.

Les bâtiments touristiques en montagne – y compris en haute montagne – et sur les points de vue, qui font



Façade végétalisée au Musée du Quai Branly à Paris. Ce genre de mesures de promotion de la diversité des espèces et d'amélioration du climat urbain doit absolument s'accompagner de mesures contre les collisions d'oiseaux.

un usage abondant du verre pour mettre en valeur le panorama, sont un autre exemple de ce phénomène. Même les stations de téléphériques et de remontées mécaniques, qui dans les domaines skiables ne sont généralement exploitées que pendant une période limitée sur l'année, sont souvent dotés d'une enveloppe extérieure vitrée. Ces structures, inutiles dans le paysage en dehors de la saison touristique, sont dangereuses pour les oiseaux. Les oiseaux des forêts de montagne, mais aussi ceux des milieux alpins au-dessus de la limite des forêts, sont très mobiles, doivent souvent affronter des conditions de mauvaise visibilité et sont donc fréquemment les victimes de bâtiments vitrés. Du roitelet huppé et de la mésange noire au tétras lyre, la liste des oiseaux qui meurent contre les vitres est longue – et comprend aussi des oiseaux qui survolent les Alpes sur la route de la migration.

Résumé :

Dans les constructions, le verre est souvent associé à une proximité avec la nature. Or, plus l'environnement est naturel, plus les vitrages posent problème. Les formes d'habitation sophistiquées et les installations touristiques dont l'architecture vise à mettre en valeur le paysage peuvent, dans certains milieux, poser des risques particuliers pour les oiseaux. Pour évaluer les risques de collision, il faut prendre en compte les effets à distance et les fluctuations d'activité sur l'année.

^[5] Klem, D., C. J. Farmer, N. Delacretaz, Y. Gelb & P. Saenger (2009): Architectural and landscape risk factors associated with bird-glass collisions in an urban environment. *Wilson J. Ornithol.* 121: 126–134.

^[6] Kummer, J. A., E. M. Bayne & C. S. Machtans (2016): Comparing the results of recall surveys and standardized searches in understanding bird-window collisions at residential houses. *Avian Conserv. Ecol.* 11: 4.

^[7] Loss, S. R., S. Lao, J. W. Eckles, A. W. Anderson, R. B. Blair & R. J. Turner (2019): Factors influencing bird-building collisions in the downtown area of a major North American city. *PLoS ONE* 14: e0224164.

^[8] Hauck, T. & W. Weisser (Hrsg.) (2019): *Animal-Aided Design im Wohnumfeld. Einbeziehung der Bedürfnisse von Tierarten in die Planung und Gestaltung städtischer Freiräume.* Kassel und München.

2.3.3 Architecture

Intégration de la protection des oiseaux dans l'agencement des bâtiments

Si le verre avait surtout pour but à l'origine de donner de la lumière à l'intérieur des édifices, il est utilisé aujourd'hui dans presque toutes les parties des bâtiments comme un outil de composition architectonique. Le danger pour les oiseaux dépend de l'architecture d'un bâtiment : d'une part, de la simple accumulation des surfaces vitrées de l'enveloppe du bâtiment, et d'autre part, des possibilités d'agencement des espaces et de la structuration des bâtiments et des surfaces vitrées.

Causes particulières de danger

En principe, plus il y a de surfaces vitrées, plus le risque de collision est élevé. Mais une activité intense des oiseaux et un environnement les attirant peuvent aussi



Dans une évaluation de risques, l'activité des oiseaux doit être examinée dans un rayon de plusieurs centaines de mètres du bâtiment. Au centre de Berlin, un nombre important de collisions ont été enregistrées par exemple contre la Paul-Löbe-Haus, la gare centrale, la Neue Nationalgalerie ou sur la Potsdamer Platz. La vie dont regorge la Spree et le Tiergarten étend son influence loin à la ronde dans les quartiers environnants (Avda/avda-foto.de).



Les concepts architecturaux qui créent des passages fluides entre l'intérieur et l'extérieur, et qui promettent de vivre entouré de nature, représentent des barrières mortelles pour tout ce qui vole.

rendre très dangereuses des surfaces vitrées relativement petites. C'est toutefois avec les éléments transparents comme les parois anti-bruit ou coupe-vent, les garde-corps, les passages et les ponts vitrés, ainsi que les angles vitrés, que ce risque est le plus sérieux.

A partir d'une certaine hauteur, l'agencement des différentes parties d'un bâtiment influence les trajectoires de vol des oiseaux, surtout dans un contexte urbain. Si les oiseaux sont poussés par des structures parallèles ou convergentes vers une impasse ou un couloir, le risque de collision augmente dès lors qu'une surface réfléchissante ou transparente semble indiquer une sortie. C'est également le cas dans les cours intérieures entièrement fermées – a fortiori si elles sont étroites, car il est difficile pour les oiseaux de décoller avec un angle fort. La désorientation et la panique peuvent alors aggraver le risque de collision, même contre de petites surfaces vitrées.

Hauteur des bâtiments et risque de collision

La majeure partie des collisions de jour se produisent aux étages correspondant à la limite de la couronne des arbres ou en dessous (env. six étages), car c'est dans ces zones que l'activité des oiseaux est la plus intense. On pourrait croire que les risques de collision diminuent lorsque la hauteur du bâtiment augmente. Ce n'est toutefois pas entièrement démontré pour l'instant, car il est compliqué d'étudier systématiquement ces espaces. De jour, seules quelques espèces s'élèvent pour chasser ou pour parcourir de longues distances. Malgré tout, on constate aussi des collisions d'oiseaux contre les plus hauts étages des façades, en particulier sur les hautes terrasses de toit.

La lumière artificielle attire les oiseaux

La lumière à l'intérieur des bâtiments qui se diffuse vers l'extérieur à travers le verre, et l'éclairage nocturne représentent d'autres dangers liés à l'architecture. Les concepts architecturaux de lumière nocturne,



La façade vitrée imposante du Parlement européen à Strasbourg s'étend sur 13 000 m² au bord de l'Ille et du canal de la Marne au Rhin, et vise à symboliser la transparence démocratique de l'Union.



Les longues rangées de fenêtres et les surfaces réfléchissantes sont interprétées par les oiseaux comme une possibilité béante de traverser la structure du bâtiment. Les différentes frontières entre les surfaces vitrées n'ont ici aucun effet dissuasif.



Les cours intérieures végétalisées, ou les zones entourées de bâtiments, augmentent le risque de collision contre les surfaces vitrées. Depuis le ciel, la végétation au milieu d'un océan d'habitations attire les oiseaux. En revanche, le décollage avec un angle élevé peut être difficile.

mais aussi les simples éclairages de passages ou de bureaux, créent des situations dangereuses, surtout en période de migration. À Berlin, on a enregistré des victimes de collision nocturne au sol, avant l'aube. Ces oiseaux s'étaient dirigés vers des sources de lumière, par exemple des publicités lumineuses, qui étaient nettement plus intenses que les environs. Le risque de collision augmente également avec l'éclairage des façades. Bien que la migration nocturne se passe plutôt à des altitudes plus élevées, les tours et les gratte-ciel ne sont pas les seuls bâtiments à poser problème à certaines espèces d'oiseaux, particulièrement en conditions de vent contraire, de précipitations ou de brouillard. Cela peut même conduire à des collisions de masse, dont la presse locale se fait l'écho (ch. 5).

Résumé :

La protection des oiseaux devrait aller de soi, au même titre que la sécurité incendie, les dispositifs anti-chute et anti-bruit, la protection contre le froid, contre la chaleur, etc. Nous considérons que l'architecture a le devoir d'apporter sa contribution à la conservation de la biodiversité. Outre l'utilisation de matières renouvelables, l'application d'un concept d'énergie durable et un agencement des environs proche de la nature, la conception de bâtiments ménageant les oiseaux en fait également partie.



Attique vitrée de plusieurs mètres de haut sur une tour : les oiseaux ne heurtent pas seulement les parois extérieures, mais entrent aussi en collision depuis l'intérieur une fois entrés dans l'espace librement accessible.

2.4 Exemples de constructions vitrées dangereuses

Lorsqu'on connaît la problématique des collisions avec le verre, on constate que les situations dangereuses pour les oiseaux sont légion. Les passerelles transparentes entre les bâtiments, ou les parois coupe-vent ou anti-bruit en sont des exemples typiques, tout comme les façades vitrées dans lesquelles se reflètent des arbres et des arbustes. Nul besoin de chercher loin pour trouver des constructions présentant des problèmes de ce type.



Les parois coupe-vent sur les ponts et passerelles vitrées sont parmi les pièges les plus fréquents pour les oiseaux. Nombre d'entre eux arborent des silhouettes de rapaces. Ces formes sont inefficaces, mais leur présence attestent que des collisions s'y produisent.



Le danger posé par les parois et passerelles vitrées est aggravé lorsque les oiseaux sont inéluctablement orientés en direction de l'obstacle vitré.



Dans une zone végétalisée, les constructions en verre sont particulièrement dangereuses pour les oiseaux – à l'exemple de cet accès de gare.



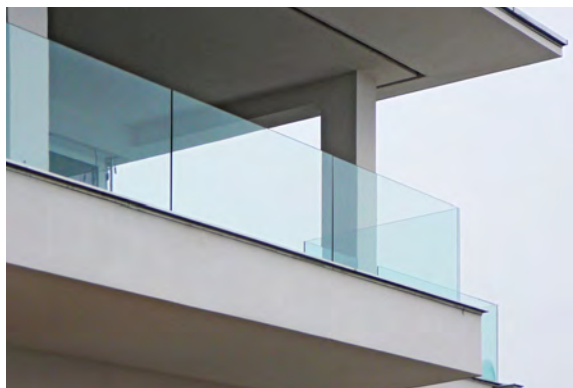
Les abris de transports publics sont très souvent conçus en verre, sans que l'on ne pense à des mesures de sécurité pour les oiseaux.



Même les façades en rideau peuvent produire des reflets réalistes.



Bien que les fenêtres soient en retrait de plusieurs mètres, on voit clairement des reflets. L'ombre portée n'élimine pas la réflexion.



Les oiseaux volent souvent très près des coins des bâtiments, sans repérer les garde-corps vitrés.



Les parois anti-bruit transparentes protègent les cours intérieures et les jardins, et permettent de voir le paysage le long des autoroutes. Ils interrompent cependant les trajectoires de vol des oiseaux et causent de nombreuses victimes parmi les espèces qui y vivent.



Les jardins d'hiver font prendre conscience que les oiseaux n'identifient pas le verre comme un obstacle. Les vitres sont dangereuses car très transparentes et les oiseaux souvent nombreux dans les alentours.



Sur les rives des lacs et cours d'eau, de nombreux oiseaux sont actifs au crépuscule. Pour les oiseaux d'eau au vol rapide, le verre est particulièrement problématique.



Les traces de collision montrent clairement que le verre teinté n'offre aucune protection contre les chocs.



Les œuvres d'art vitrées et réfléchissantes n'ont rien à faire à l'extérieur, à moins d'être dotées de véritables dispositifs de protection.

3 Mesures en faveur des oiseaux

3.1 Solutions ménageant les oiseaux

Verre translucide et matériaux alternatifs

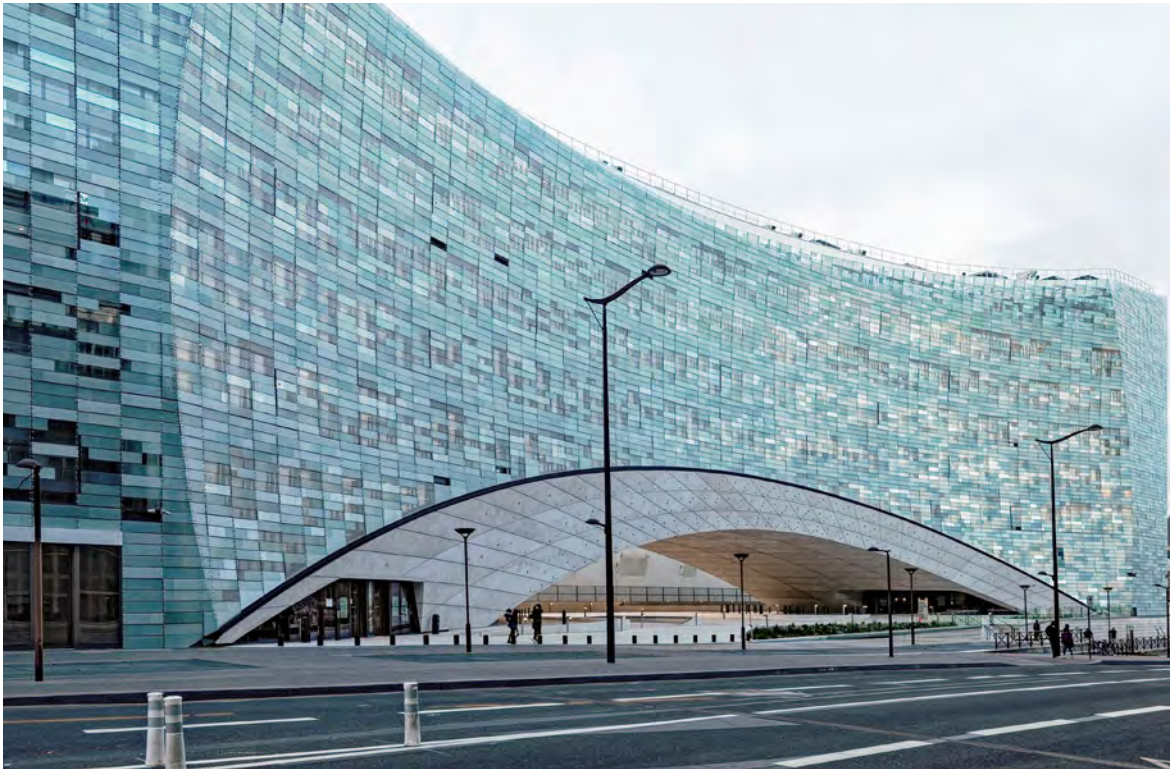
Le verre mat et structuré, ainsi que les éléments similaires en polycarbonate, ne donnent pas de reflets réalistes sur les surfaces. Ces matériaux permettent une diffusion agréable de la lumière sans ombres fortes, et sont une bonne solution ménageant les oiseaux pour toutes les zones de bâtiments visant à faire entrer la lumière mais pas à offrir une vue vers l'extérieur.



Une façade de verre structuré et mat fournit suffisamment de lumière du jour à l'intérieur du bâtiment, et de petites fenêtres en verre clair sont intégrées avec parcimonie, seulement là où elles sont nécessaires pour voir dehors. L'atelier d'architecture Pierre Hebbelinck travaille sur le Théâtre le Manège à Mons (Belgique) avec ce mélange intéressant de différentes structures de verre.



Sur le site du Musée de Silésie, à Katowice (Pologne), des blocs rectangulaires aux façades de verre dépoli font entrer la lumière du jour dans les espaces souterrains du musée. Les cubes de verre abstraits du bureau d'architectes Riegler Riewe s'intègrent harmonieusement avec l'ensemble des bâtiments historiques d'origine.



La façade du siège du groupe Le Monde, réalisée par Snøhetta à Paris, est faite de plus de 20 000 éléments de verre. Ils varient dans la structure et dans la transparence et sont ainsi arrangés pour que la lumière dans les bureaux et la vue au-dehors soient optimisées.



L'enveloppe du bâtiment de la salle de sports d'Ingolstadt (Allemagne), conçue par von Fink+Jocher, est constituée d'une structure de verre profilé, doté entre ses deux couches d'une isolation thermique translucide. Elle apporte une lumière suffisante, sans pour autant former des ombres gênantes sur la surface de la salle de sports.

Structures de lamelles et dispositifs fixes de protection solaire

Les structures de lamelles fixes devant les grandes fenêtres et les façades vitrées peuvent être à la fois des éléments décoratifs et une protection contre les rayons du soleil. Si les critères de marquage (ch. 3.2.4) sont respectés, ces éléments de façades offrent en plus une bonne protection contre les collisions d'oiseaux.



La Città del Sole (« Cité du soleil ») à Rome, du bureau d'architectes Labics, est un complexe polyvalent mêlant fonctions publiques et privées. Tant la façade constituée de profils en aluminium que les lamelles vitrées translucides des différents bâtiments protègent les occupants du soleil et les oiseaux des collisions.



Le pavillon ovale vitré de la bibliothèque municipale de Dornbirn (Autriche), ouvrage de Dietrich | Untertrifaller, est enveloppé d'une structure formée de 8000 éléments de céramique préfabriqués. Disposés à la verticale et en diagonale, ces ornements protégeant du soleil évoquent des étagères de livres. Ils dispensent une lumière agréable dans les locaux.



Bloc ouest du Centre de langues de l'Université de Valence, en Espagne, conçu par le bureau d'architectes Arkitera SLP. La structure de la façade est caractérisée par une combinaison de lamelles de protection solaire fixes et mobiles.



A l'occasion d'une réaffectation, les architectes du bureau gruber locher ont profité de l'assainissement de la maison Grossenbündt à Hittisau (Autriche), classée, pour abriter les locaux d'exploitation derrière un espace semi-transparent. La structure de la façade en bois traditionnelle a été prolongée par-dessus la longue rangée de fenêtres à l'étage supérieur, pour protéger du soleil, tandis que les fenêtres classiques de la partie habitation ont été conservées. Les oiseaux peuvent identifier sans problème ces matériaux et ces structures.



Le cube de verre du centre juif de Wandel Hoefer Lorch + Hirsch à Munich est entouré d'une structure en acier et d'un maillage en bronze. Un motif de triangles rappelant l'étoile de David apporte une atmosphère particulière au lieu de prière, grâce au jeu de lumières et d'ombres.



Les différentes unités architecturales de la partie moderne de la Technische Universität de Graz (Autriche), conçues par le bureau d'architectes Riegler Riewe, sont connectées entre elles par des ponts à plusieurs étages. Les éléments de façades, des grilles d'acier, laissent passer la lumière et permettent de voir, tout en étant bien identifiables par les oiseaux comme des obstacles.

3.2 Marquage des surfaces vitrées

Le marquage des endroits dangereux est fréquent sur nos chemins quotidiens : barres de fixation des panneaux de circulation, arêtes des paliers et des marches d'escalier ou chantiers parmi d'autres, sont munis de marquage, souvent des barres jaunes et noirs ou des hachures rouges et blanches. Les parois de verre peuvent être munies de blocs de rayures à hauteur des yeux, pour nous éviter de les heurter lorsque nous sommes pressés. Le risque de collision des oiseaux contre le verre peut être réduit selon le même principe. Pour développer des marquages efficaces qui ne soient pas ou peu dérangeants pour l'œil humain, les connaissances issues de la recherche sur la perception et le comportement des oiseaux sont essentielles.

3.2.1 Comment les oiseaux identifient-ils les obstacles ?

Capacités visuelles des oiseaux

Pour déterminer comment marquer efficacement le verre, il est important de savoir comment les oiseaux perçoivent leur environnement, comment ils reconnaissent les obstacles et comment ils les évitent. La question ici est de trouver quels sont les signaux les plus petits et les plus discrets qui soient encore repérables par un oiseau – en particulier s'il se déplace rapidement et ne peut pas s'arrêter pour évaluer la situation dans une lumière optimale. Plus que les autres vertébrés, les oiseaux sont tributaires de capacités visuelles particulières : en comparaison avec d'autres organismes vivants, la partie de leur cerveau consacrée au traitement des stimuli visuels est plus grande. Ils sont capables de reconnaître des structures très fines et différencier les couleurs avec précision^[9]. Mais est-ce aussi valable lorsqu'ils sont en vol rapide, lorsque les conditions de luminosité sont mauvaises, et pour identifier un marquage sur une vitre ?

À vue d'oiseau

Seuls les oiseaux qui planent et cerclent sans battre des ailes jouissent régulièrement d'une « vue à vol

d'oiseau ». Les pinsons des arbres, les mésanges, les moineaux, les merles et les fauvettes à tête noire, qui sont les espèces les plus communes en Europe centrale, restent le plus souvent « à terre » et se tiennent sous le couvert de la végétation. Ils passent une bonne partie de leur temps à se nourrir et sont constamment sur le qui-vive pour ne pas être eux-mêmes victimes de leurs prédateurs. Cela peut paraître étonnant : si le vol est pour nous la caractéristique principale des oiseaux, l'évolution de leur capacité visuelle ne s'est pas faite, et loin de là, au profit d'une vision à haute résolution pendant le vol, mais de la détection de nourriture et des prédateurs^[10].

Orientation en vol

Dans un environnement naturel, dans lequel les objets solides comme les troncs, les branches et les obstacles géologiques sont de grandes dimensions, voler n'exige pas une vision particulière des petits détails structurels. La position des yeux chez la majorité des oiseaux, c'est-à-dire de côté, leur donne un très grand champ visuel. En revanche, leur vision spatiale et stéréoscopique se limite à des zones étroites devant le bec, ce qui montre bien qu'il y a des besoins plus importants pour leur survie que d'investir de l'énergie dans l'observation fine de leur trajectoire de vol. Ainsi, chez la majorité des oiseaux, les régions de la rétine où la résolution est la plus élevée (fovéa) sont orientées vers le côté.

« Œil d'aigle »

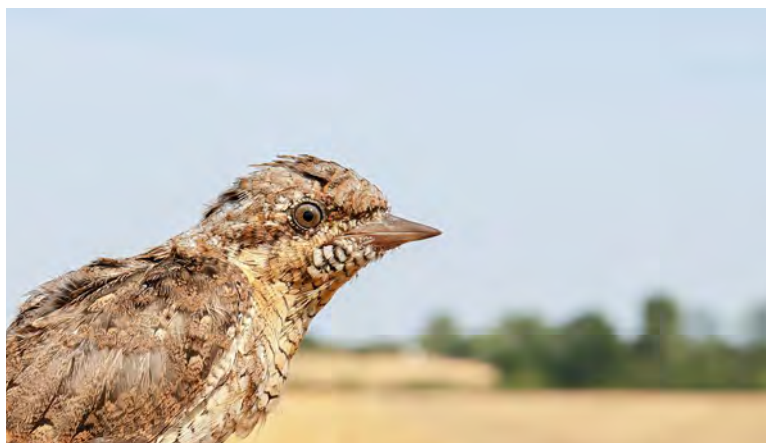
D'une manière générale, tous les oiseaux ne sont pas dotés d'un « œil d'aigle » : seuls certains d'entre eux, quelques rapaces, voient très net et peuvent distinguer de petits détails à distance mieux que les humains. La capacité de résolution de l'œil humain est environ deux fois plus élevée que celle du faucon crécerelle, quatre fois plus élevée que celle d'un pigeon et 14 fois plus élevée que celle d'un moineau domestique^[10]. Si la luminosité baisse, la résolution diminue fortement. Elle est ainsi nettement plus faible à l'aube qu'au soleil de midi^[11,12].

^[9] Hodos, W. (1993): The visual capabilities of birds. In: Zeigler, H.P. & H.-J. Bischof (Eds.): Vision, Brain, and Behavior in Birds. MIT Press Cambridge (MA).

^[10] Martin, G. (2017): The sensory ecology of birds. Oxford Avian Biology Series. Oxford.

^[11] Lind, O., T. Sunesson, M. Mitkus, & A. Kelber (2012): Luminance-dependence of spatial vision in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*) and Bourke's parrots (*Neopsephotus bourkii*). J. Comp. Physiol. A 198: 69–77.

^[12] Mitkus, M., S. Potier, G. R. Martin, O. Duriez, & A. Kelber (2018): Raptor vision. In: Oxford research encyclopedia of neuroscience.



Par rapport à la taille de leur tête, les oiseaux ont de très gros yeux dont l'axe visuel est orienté latéralement. Pour le repérage des prédateurs et la recherche de nourriture, une vision panoramique la plus complète possible est plus importante qu'une vue perçante vers l'avant.

Résumé :

Comparé aux humains, les yeux des oiseaux ont généralement une résolution optique plus faible. Chez la plupart des oiseaux, la vision latérale est plus importante que la vision vers l'avant. C'est la raison pour laquelle une texture fine ou une trame dense de petits points ne constituent pas des marquages de verre adéquats. Ces derniers doivent avoir une certaine taille pour que les oiseaux les voient de loin et puissent réagir à temps.

Identification des obstacles

Les oiseaux doivent être capables de repérer rapidement les obstacles pour réagir à temps. Un oiseau ne peut pas éviter une vitre lui barrant frontalement la route par un léger changement de direction. Il est obligé de virer entièrement de bord, ce qui lui laisse peu de temps pour manœuvrer. Les passereaux volent souvent à une vitesse de 5 mètres par seconde dans les espaces ouverts. Les neurones spécialisés doivent s'enclencher une demi-seconde avant une collision pour susciter une réaction (inconsciente) suffisante du cervelet et un mouvement d'évitement. Cette réaction rapide implique pour l'oiseau un fonctionnement extrêmement différent de celui qu'il met en œuvre pour chercher des baies dans un buisson ou choisir un partenaire arborant des couleurs attractives. Un « système optomoteur » se charge de ces besoins spécifiques de la vision en mouvement – manœuvre d'approche d'une place d'atterrissage, capture rapide de proies, évaluation du mouvement

d'un prédateur^[13]. Selon les connaissances actuelles, ce système n'est sensible ni aux couleurs ni aux UV^[14].

La couleur n'est pas essentielle

L'absence de couleur ne prive pas l'oiseau d'informations essentielles pour l'identification de son environnement et des obstacles en vol. La disposition du clair et du foncé, de la lumière et de l'ombre ainsi que les lignes de contraste sont les données qui importent, car les images ainsi simplifiées peuvent être traitées rapidement. Là où les couleurs jouent un rôle, par exemple dans le choix d'un partenaire, la vision s'intègre dans un processus nettement plus complexe. La perception des UV, dont sont capables de nombreux passereaux, entre alors aussi en jeu.

Le « daltonisme » de la vue en mouvement ne signifie pas que le marquage doit se faire uniquement en noir ou blanc. Les senseurs et les neurones qui repèrent et calculent le rapprochement des objets sont dotés d'une sensibilité spectrale spécifique, c'est-à-dire qu'ils réagissent plus vivement à certaines longueurs d'ondes de la lumière qu'à d'autres, et voient par conséquent certaines « couleurs » plus intensément et d'autres plus faiblement. La composition spectrale d'un marquage peut donc contribuer à améliorer le contraste, et par là l'efficacité. C'est l'une des missions actuelles de la recherche dans le développement du marquage du verre.

Résumé :

La perception du mouvement, la vision en mouvement et la faculté à éviter les obstacles à temps sont des processus très différents de celui mobilisé pour la vision en situation « sans stress », aussi bien sur le plan de la perception par l'œil que du traitement neuronal. Le stimulus lié au mouvement est vraisemblablement insensible aux couleurs et aux UV.

3.2.2 Procédures de test standardisées

Examen des bâtiments

La recherche, le développement et le contrôle de l'efficacité des marquages exigent des méthodes efficaces, dans des conditions standardisées et avec des résultats reproductibles. Sur les constructions existantes. Il est pour ainsi dire impossible de réaliser ces tests sur les constructions existantes en respectant ces critères, puisque l'activité des oiseaux, l'environnement, l'exposition, la composition et la taille des surfaces vitrées diffèrent et ne permettent pas

^[13] Frost, B. J. (2010): A taxonomy of different forms of visual motion detection and their underlying neural mechanisms. *Brain, Behav. Evol.* 75: 218–235.

^[14] Campenhausen, M. & K. Kirschfeld (1998): Spectral sensitivity of the accessory optic system of the pigeon. *J. Comp. Physiol. A* 183: 1–6.

la comparaison. Des procédures de relevé automatisées, qui pourraient être appliquées à grande échelle à différentes façades et fournir des informations sur chaque accident, ne sont pas encore possibles. Elles ne parviennent pas pour l'instant à gérer les spécificités des victimes : petites, rapides, peu contrastées et se déplaçant souvent dans des conditions de luminosité insuffisantes.

Tests de préférence de la station biologique de Hohenau-Ringelsdorf (Autriche)

Si l'on veut pouvoir mesurer l'efficacité d'un marquage par des résultats comparables et reproductibles, il faut utiliser une approche méthodique qui permette de concentrer les collisions sur des surfaces limitées et faciles à contrôler, avec des facteurs déterminants qui restent constants. Il faut également intégrer le plus possible de conditions naturelles (p.ex. conditions de luminosité, oiseaux sauvages) dans un contexte contrôlé. Par conséquent, il convient d'utiliser des dispositifs expérimentaux qui conjuguent conditions de laboratoire et conditions de terrain.

Ce « laboratoire de terrain », source de la plupart des connaissances sur l'efficacité des marquages du verre en Europe, est le tunnel de vol de station biologique de Hohenau-Ringelsdorf en Autriche. L'idée d'envoyer des oiseaux dans un tunnel est née du fait que les oiseaux, dans le noir, vont essentiellement voler vers la lumière. L'extrémité claire du tunnel comporte un obstacle qu'ils doivent reconnaître : plus cet obstacle est facile à identifier pour

l'oiseau en vol, plus on peut s'attendre à ce qu'il l'évite. En l'occurrence, l'obstacle est un marquage sur le verre. Pour la reproduction de conditions naturelles, il est important que les oiseaux ne soient pas habitués à la pénombre du tunnel mais à la lumière du jour, et que leur passage dans le tunnel de vol ne dure que quelques secondes jusqu'à la fin de l'expérience.

Lumière du jour et arrière-plan naturel

Les essais réalisés dans le tunnel de vol de Hohenau sont des tests de préférence, menés dans des conditions de luminosité naturelle et avec un arrière-plan homogène également naturel. Afin que la lumière incidente et les ombres soient symétriques, le corps du tunnel de 7 m de long est pivotable et dirigé selon la position du soleil. La lumière arrive dans la direction de vol des oiseaux, c'est-à-dire toujours depuis derrière. Les oiseaux, dont les yeux sont habitués à la lumière du jour, sont déposés à une extrémité du tunnel, d'où ils s'envolent immédiatement pour ressortir. Ils volent en direction de deux vitres posées côte à côte, l'une munie d'un marquage de test (vitre de test) et l'autre d'une vitre laissée constamment libre de marquage (vitre de référence). Les oiseaux sont attrapés juste avant la collision par un filet spécial, dont les mailles fines ne sont pas repérables par un œil d'oiseau, et sont immédiatement relâchés. Le tunnel de vol est rattaché à une station de recherche pour le baguage scientifique, ce qui garantit la disponibilité d'un nombre suffisant d'oiseaux sauvages.



Le tunnel de vol de la station biologique de Hohenau-Ringelsdorf avant le début de la saison de recherche, lorsque la végétation n'est pas encore à son pic de croissance. La clairière circulaire couvre le pivotement du dispositif de test, afin d'orienter le tunnel pour que les oiseaux aient toujours le soleil dans le dos. Les oiseaux sont déposés à l'extrémité étroite du tunnel et s'envolent immédiatement en direction de la paroi de test (à droite). Ils sont récupérés par un filet et libérés sains et saufs par les portes latérales.

Analyse des vols de test

Pour l'analyse, les vols de test sont filmés. En supposant qu'avec un marquage inefficace le choix de la direction se fasse au hasard, c'est-à-dire que la moitié des oiseaux volent vers le verre avec marquage et l'autre moitié vers le verre sans marquage, la décision prise par les oiseaux se modifie à mesure que le marquage devient plus repérable et plus efficace, et ils volent alors davantage vers la vitre de référence non marquée. L'étude de Hohenau effectuée pour chaque marquage testé un nombre minimum de 80 vols-test répartis sur une longue période, ce qui permet d'évaluer l'efficacité d'un marquage dans différentes conditions de lumière et de perturbations météorologiques, et à différents moments de la journée. Les expériences

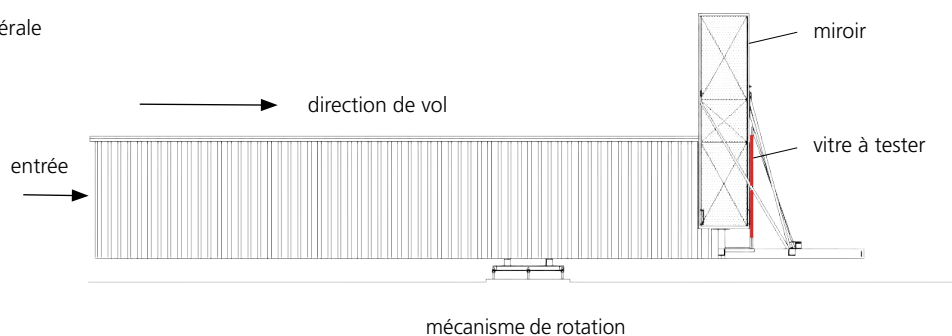
répétées ont fourni des résultats statistiquement identiques. Ces résultats permettent de comparer les marquages de divers niveaux d'efficacité et de les classer en conséquence.

« Test ONR » et « test WIN »

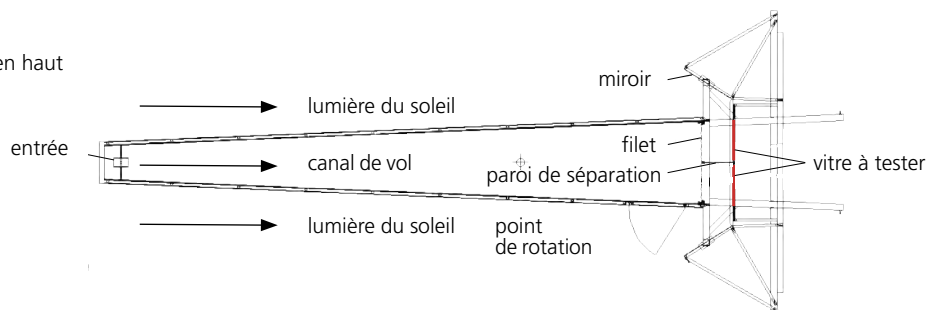
L'installation de Hohenau peut être modifiée pour permettre deux variantes de test : la transparence sans reflet (« test ONR ») et les effets de réflexion (« test WIN », voir encadré p. 28). Il est ainsi possible de différencier les résultats obtenus en situation d'arrière-plan clair, par exemple les parois anti-bruit ou les garde-corps vitrés, et les situations d'arrière-plan peu éclairé, comme les fenêtres et les façades, dont les reflets influencent l'efficacité des marquages.

Tunnel de vol test ONR à Hohenau

vue latérale



vue d'en haut



Installation de test pour déterminer l'efficacité des marquages avec transparence (arrière-plan clair). Le tunnel est fixé sur un axe de rotation, ce qui permet de l'orienter afin que le soleil éclaire dans la direction du vol des oiseaux. La lumière du soleil est dirigée sur les deux vitres de test par deux miroirs (l'un monté sur le côté droit, l'autre sur le côté gauche) parallèlement et symétriquement aux vitres testées (rouge). Les vitres testées sont posées à 90° de l'axe de vol des oiseaux, dont l'œil est adapté à la lumière du jour.



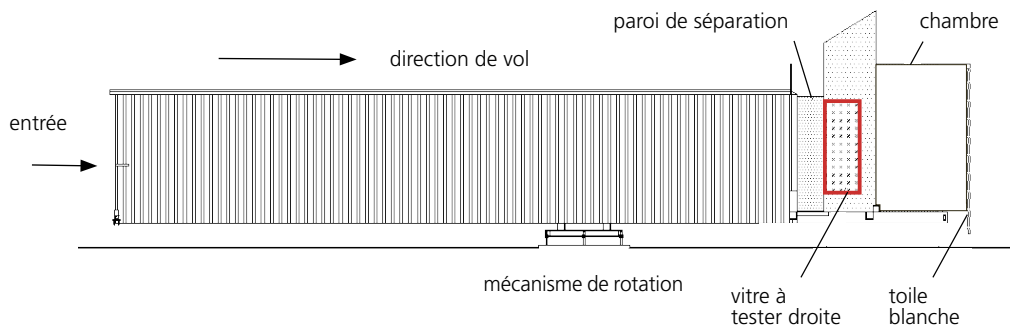
L'oiseau (main droite) a d'abord été capturé par l'un des 16 filets puis bagué, mesuré et enregistré par la station de Hohenau-Ringelsdorf. Le numéro de bague est noté à nouveau dans le tunnel de vol. Le vol de l'oiseau – dont l'œil est adapté à la lumière du jour – durant environ trois secondes, est enregistré sur vidéo. Des instruments de mesure de la lumière relèvent automatiquement les conditions de luminosité.



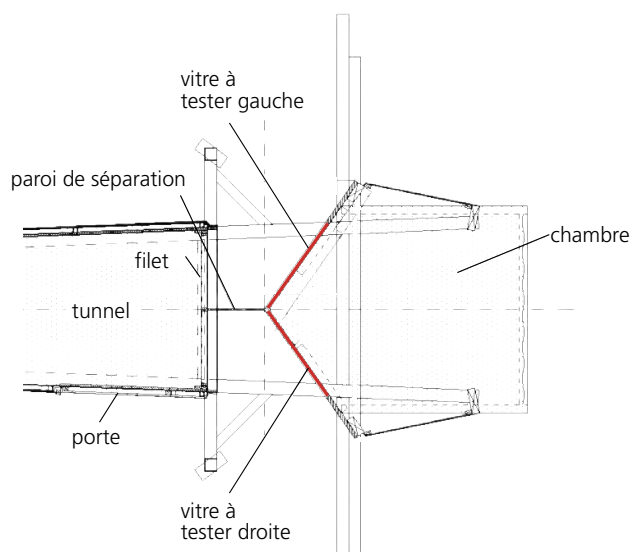
Les vitres de test se succèdent de manière aléatoire, et sont changées tous les trois vols-test, afin que tous les marquages puissent être testés sur une longue période dans des conditions de luminosité variées. Les vitres sont transportées vers le tunnel via un petit sentier dans la « jungle » entourant le dispositif.

Tunnel de vol test WIN à Hohenau

vue latérale



vue d'en haut



Installation intégrant un effet de reflets (arrière-plan peu éclairé). Chacune des deux vitres de test (rouge) est orientée à 35° vers l'extérieur (125° de l'axe de vol des oiseaux) et reflète les environs de manière homogène, comme les rétroviseurs latéraux d'une voiture. Les reflets apparaissent grâce à une cabine montée à l'arrière-plan, dans laquelle règne une intensité lumineuse équivalente à celle de l'intérieur d'un bâtiment (voir tabl. p. 9).

Evolution des tests en tunnel de vol pour l'évaluation des marquages de vitres

Daniel Klem, Muhlenberg College (USA)

Dès les années 1980, D. Klem travaille aux Etats-Unis avec une « flightcage »^[15], tirant profit du fait que les oiseaux volent en direction de la lumière pour tester l'efficacité de différents objets (bandes de tissus, leurres en forme de rapaces, guirlandes lumineuses) et pour comparer quantitativement les réactions d'évitement. Il fait ainsi de nombreuses découvertes d'importance, démontrant notamment l'inefficacité des leurres en forme d'oiseaux.

Hans-Willy Ley, Max-Planck-Institut für Ornithologie, Radolfzell (D)

H.-W. Ley travaille dans les années 2000 sur les fameuses expériences sur la migration des oiseaux de l'Institut Max Planck à Möggingen, dans une ancienne volière de fauvelles de P. Berthold. Transformée en tunnel de vol, la volière est utilisée par Ley pour étudier l'efficacité des marquages UV sur les vitres^[16], avec des oiseaux sauvages provenant du programme de capture de la station ornithologique de Radolfzell. L'ouverture éclairée est divisée en deux parties, l'une portant une vitre de référence non marquée, l'autre une vitre de test avec marquage. Tous les oiseaux sont interceptés avant la collision par un filet spécial invisible pour eux, et relâchés sains et saufs dans la nature. Leurs yeux sont adaptés à l'obscurité, donc à la faible lumière du tunnel, et les vitres de test éclairées artificiellement par une lampe Osram Vitalux.

Martin Rössler, Biologische Station Hohenau-Ringelsdorf (A)

La station de Hohenau reprend les expériences de H.-W. Ley, avec la différence que les oiseaux sont posés dans le tunnel depuis l'extérieur. Ils sont donc accoutumés à la lumière du jour, ce qui leur évite d'être potentiellement ébloui par l'arrière-plan éclairé. La lumière artificielle est également remplacée par un éclairage naturel, pour éviter la répartition spectrale artificielle et le scintillement de la lampe. Autre différence avec les expériences de H.-W. Ley : l'analyse des vols-test est basée sur des enregistrements vidéo, et non pas sur des observations visuelles en direct^[17,18].

Des essais préliminaires ont donné lieu à une innovation fondamentale. Les oiseaux étaient envoyés dans un tunnel fixe orienté nord-sud sans obstacle vers la sortie (sans vitre de test et sans filet), avec d'emblée un résultat étonnant : le matin, la grande majorité des oiseaux quittaient le tunnel par la gauche (ouest), et l'après-midi par la droite (est). Cette influence possible de la position du soleil sur l'expérience a d'abord été supprimée par la prolongation du tunnel en une sorte de tente, mais une meilleure méthode était nécessaire pour pouvoir effectuer des recherches plus approfondies. Entre 2004 et 2006, M. Rössler, W. Laube, C. Schauer et O. Schweinberger ont construit un tunnel dont les vitres de test étaient posées à 40 cm du filet et à 30 cm du bout du tunnel, et éclairées de manière homogène par des miroirs latéraux^[19]. La construction a été installée sur un mécanisme de rotation permettant de positionner le tunnel en fonction du soleil, afin que la lumière arrive toujours dans la direction de vol des oiseaux et que les ombres restent symétriques. Quelque 2500 oiseaux sauvages sont « dirigés » chaque année vers un champ de test d'un peu plus d'un mètre carré, l'observation de chaque vol ne prenant que quelques secondes. Jusqu'en 2010, les expériences menées dans ce tunnel de vol se sont faites exclusivement sur des supports présentant une transparence totale, devant un arrière-plan éclairé naturellement. Cette procédure est décrite dans les règles techniques ONR 191040 (norme autrichienne). Cette méthode est aussi appliquée depuis 2010 par C. Sheppard aux Etats-Unis^[20], qui de son côté fait voler les oiseaux vers un arrière-plan (bleu) artificiel, parfois éclairé (vivement) par le soleil. La méthode est connue en Europe sous le nom de « test ONR ».

En 2010, la station de Hohenau a étoffé la méthode : pour pouvoir tenir compte des reflets se produisant sur les fenêtres et les façades, une cabine a été installée derrière les vitres de test (Fig. p. 27), dans laquelle les conditions de lumière naturelle correspondent à celles de l'intérieur d'un bâtiment, et ne renvoient que 1 % de la lumière du jour vers les vitres. Les miroirs utilisés pour les tests en transparence ont été démontés et les vitres tournées de 35° vers l'extérieur, de manière à être dirigées vers la végétation homogène des alentours, à recevoir un éclairage direct et à réfléchir l'environnement dans l'axe de vue des oiseaux, comme dans les rétroviseurs d'une voiture. Aujourd'hui, la plupart des résultats de Hohenau sont obtenus par cette « méthode WIN » (de WINDOW).

[15] Klem, D. (1990): Collisions between birds and windows: mortality and prevention. *J. Field Ornithol.* 61: 120–128.

[16] Ley, H. W. (2006): Experimentelle Tests zur Wahrnehmbarkeit von UV-reflektierenden «Vogelschutzgläsern» durch mitteleuropäische Singvögel. *Berichte zum Vogelschutz* 43: 87–91.

[17] Rössler, M. & T. Zuna-Kratky (2004): Vermeidung von Vogelanzprall an Glasflächen: Experimentelle Versuche zur Wirksamkeit verschiedener Glas-Markierungen bei Wildvögeln. *Wiener Umweltanwaltschaft*.

[18] Rössler, M., E. Nemeth & A. Bruckner (2015). Glass pane markings to prevent bird-window collisions: less can be more. *Bio-logia* 70: 535–541.

[19] Rössler, M., W. Laube & P. Weihs (2009): Avoiding bird collisions with glass surfaces. Experimental investigations of the efficacy of markings on glass panes under natural light conditions in Flight Tunnel II. *BOKU-Met Report* 10.

[20] Sheppard, C. D. (2019): Evaluating the relative effectiveness of patterns on glass as deterrents of bird collisions with glass. *Global Ecology and Conservation* 20: e00795.

3.2.3 Schéma d'évaluation de Hohenau: le marquage à haute efficacité comme mission

Conditions préalables et objectif

Les collisions d'oiseaux contre du verre transparent ou réfléchissant ne peuvent jamais être entièrement exclues. Néanmoins, pour limiter au maximum le nombre de victimes et pour garantir la sécurité de toutes les parties prenantes en matière de planification et de droit, il est essentiel de pouvoir mesurer l'efficacité des mesures. Avec les méthodes décrites ici, il est possible d'effectuer des comparaisons reproductibles entre tous les marquages testés, dans des conditions standardisées, et de les classer par catégories d'efficacité. Des projections quantitatives du nombre d'oiseaux à même de reconnaître avec succès le marquage d'un bâtiment, dans des conditions de luminosité naturellement très variables, et par conséquent du nombre d'oiseaux pouvant être protégés des collisions, ne sont pas réalisables par des moyens expérimentaux.

Le concept de marquage à haute efficacité a pour objectif d'effectuer une sélection des meilleurs marquages réalisables par différentes techniques, étayée par des preuves statistiques. On peut attendre de ces marquages qu'ils respectent les exigences de protection des oiseaux dans les différentes conditions de luminosité naturelles et à différents emplacements.

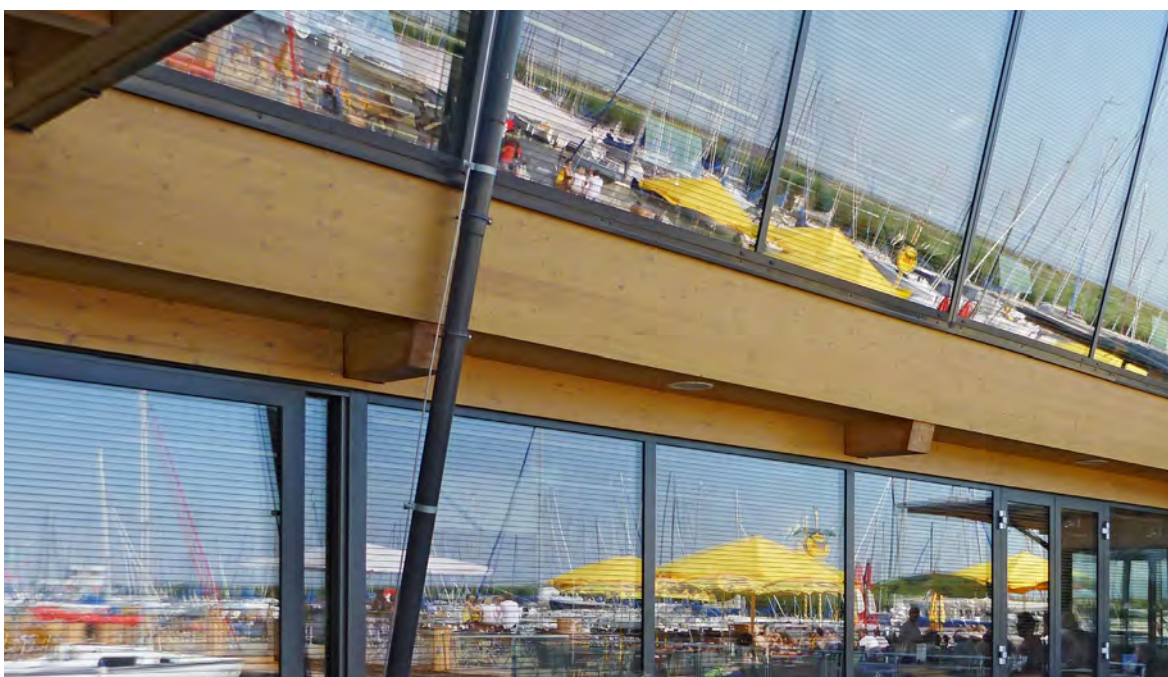
Schéma de classification

La station biologique de Hohenau-Ringelsdorf émet ses recommandations sur la base d'un schéma de classification largement accepté, approuvé en 2008 par les

spécialistes au niveau international et qui constitue la base de la règle technique ONR 191040. Les résultats des tests sont divisés en quatre catégories, correspondant aux valeurs ci-dessous aussi bien pour les tests de transparence que pour les tests de réflexion. Une recommandation sans réserve est délivrée pour les marquages de la catégorie A (« **hautement efficaces** »). La valeur limite pour la catégorie A est une proportion de 10:90. Cela signifie que 90 % au moins des vols-test se sont dirigés vers la vitre de référence non marquée, et montre que le marquage a été très largement repéré. Les marquages obtenant un résultat de > 10 % à 20 % d'approches vers la vitre de test (marquée) sont considérés comme « **convient sous réserve** » selon le schéma de Hohenau. Ils ne sont pas directement recommandés, car dans certaines conditions, notam-

Tabl. 2: Schéma de classification de Hohenau des marquages testés, basé sur des essais impliquant des vitres de test marquées et des vitres de référence non marquées. Pour des raisons statistiques, on peut recommander en général les marquages présentant jusqu'à 12 % d'approches vers la vitre marquée.

	Vols (%) vers la vitre marquée	Recommandation pour la pratique
Catégorie A Hautement efficace	0-10	Recommandé sans réserve
Catégorie B Convient sous réserve	> 10-20	En général non recommandé
Catégorie C Peu efficace	> 20-42	Non recommandé
Catégorie D Inefficace	> 42	Non recommandé



Les vitres de ce restaurant du parc national du lac de Neusiedl (Autriche) sont munies d'une impression de fines rayures noires.

ment dans des lieux où la luminosité est mauvaise, on ne peut pas exclure une nette baisse d'efficacité. Les marquages ayant présenté plus de 20 % de vols vers la vitre marquée sont déclarés « **peu efficaces** ». On trouve dans cette catégorie les marquages dont on a certes constaté certains effets, mais qui ne peuvent pas pour autant être considérés comme une véritable protection pour les oiseaux. Enfin, les marquages « **inefficaces** » sont ceux qui obtiennent un rapport à partir de 42:58, car il n'est plus possible avec ce genre de résultats d'affirmer que le marquage a une influence sur le choix de direction.

Les marquages considérés comme hautement efficaces dans les situations de transparence ne sont pas forcément les plus adaptés aux surfaces vitrées réfléchissantes, raison pour laquelle le protocole de test doit être adapté au champ d'application. Pour les vitres transparentes (parois anti-bruit, garde-corps vitrés, etc.), il faut se fier aux résultats des tests ONR, et pour les surfaces réfléchissantes (fenêtres et façades) à ceux des tests WIN.

3.2.4 Critères pour un marquage de protection hautement efficace

L'étude standardisée de l'efficacité a permis de gagner quelques connaissances fondamentales pour le marquage des vitres. La question centrale est la sui-

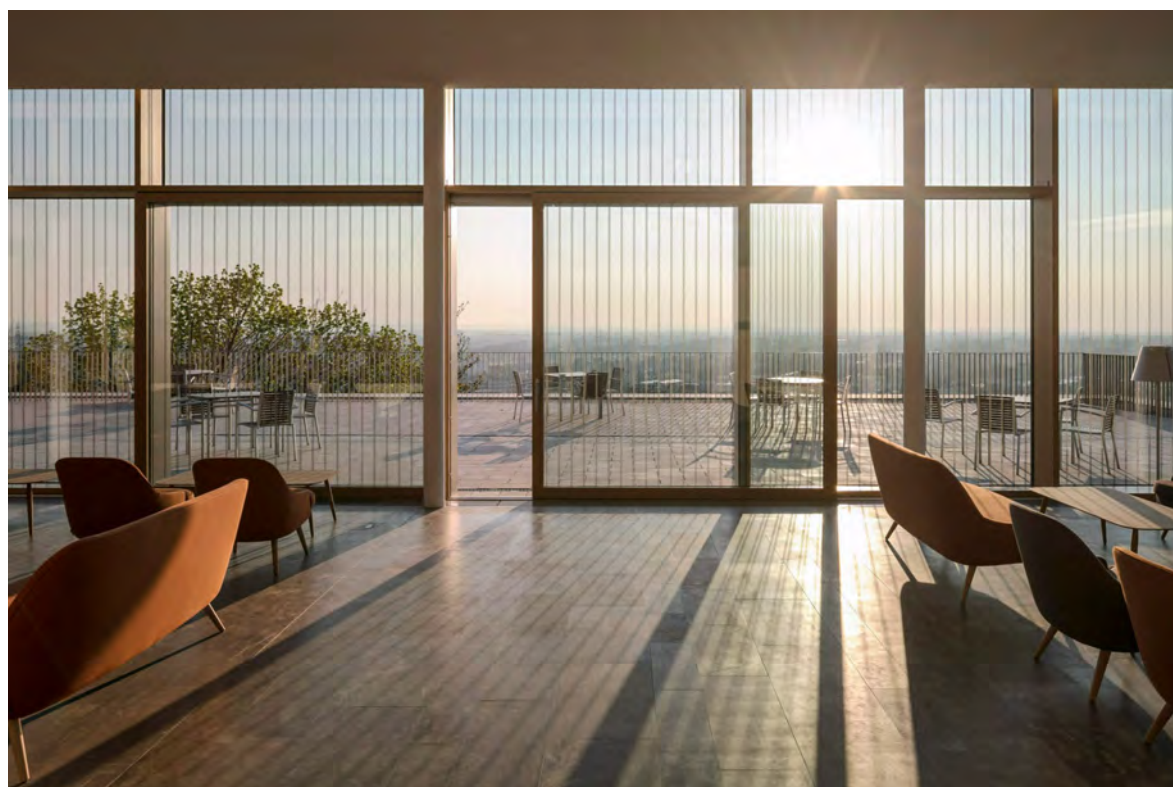
vante : quels marquages les oiseaux en vol peuvent-ils identifier comme des obstacles ? Les critères majeurs à prendre en compte sont la taille, la distance et le contraste, éventuellement aussi la forme, des éléments de marquage.

Taille des éléments de marquage

Concernant la taille des éléments, les facteurs déterminants sont la résolution optique de l'œil de l'oiseau et la « distance de freinage », c'est-à-dire la distance jusqu'à l'obstacle, ainsi que la vitesse et le temps de réaction de l'oiseau. Des lignes horizontales bien contrastées sont suffisamment repérées à partir d'une épaisseur de 3 mm, tandis que les lignes verticales doivent faire au minimum 5 mm, selon les résultats des essais. Pour les points, le minimum est un diamètre de 9 mm. Plus le contraste est faible, plus l'épaisseur des lignes ou le diamètre des points doit être grands.

Découvertes surprenantes sur l'écart maximal entre les points et entre les lignes

Pour l'espacement entre les éléments de marquage, ce n'est pas la perception visuelle qui est en jeu mais la réaction comportementale : l'objet repéré par l'oiseau déclenche-t-il chez lui un changement de direction ? Lorsqu'un danger est identifié, cela suscite des réactions inconscientes rapides. Les alertes sensorielles sont transmises directement au cervelet en une fraction de seconde par des circuits neuronaux. On



A l'occasion des transformations de l'abbaye de Michaelsberg (D), édifice protégé, des marquages hautement efficaces pour la protection des oiseaux ont été intégrés à la planification en tant qu'éléments architecturaux par caspar.architects.



La structure en trois dimensions de la paroi anti-bruit conçue au Theodor-Körner-Hof à Vienne par Treusch architecture est volontairement mise en évidence par la trame appliquée pour protéger les oiseaux.

a constaté que l'écart critique entre les éléments de marquage n'est pas une grandeur absolue, et qu'il dépend de l'orientation et de la forme des obstacles repérés. La distance maximale doit être de 50 mm entre des lignes horizontales très efficaces, de 100 mm entre des lignes verticales et de 90 mm entre des points, aussi bien verticalement qu'horizontalement. La surface couverte par le marquage est ainsi nettement réduite. Les marquages ne peuvent toutefois pas être redimensionnés : une trame dense de petits points n'a que peu ou pas d'efficacité. Un motif composé de points de 3 mm de diamètre éloignés de 14 mm, par exemple, n'est pas identifié comme un obstacle.

Couleur de marquage, contraste et surface couverte

Comme mentionné plus haut, il existe des tailles et des espacements critiques pour obtenir un contraste maximal, comme on peut le faire par exemple avec le noir mat. Le gris, même le plus foncé, est déjà nettement moins efficace que le noir, et le gris le plus clair nettement moins efficace que le blanc. Plus une surface vitrée est réfléchissante, plus il est difficile de créer un contraste prononcé. Inversement, un marquage métallique réfléchissant peut donner des contrastes particulièrement vifs du fait de son extrême brillance, et déjà faire preuve d'une grande efficacité à moins de 1 % de surface couverte. Les marquages peu contrastés nécessitent un degré de couverture plus élevé. Pour des marquages semi-transparents de style verre dépoli, la proportion de surface couverte doit être plus grande –

idéalement de 11 % (voir p. 38 n°2) et pour les feuilles semi-transparentes de 20 % (voir p. 37, n° 8 et 10).

3.2.5 Vitres protégeant les oiseaux pour les fenêtres et les façades : développements actuels

Collaboration entre industrie et ornithologie

Réduire les collisions sans toucher du tout aux propriétés visuelles du verre n'est pas possible. La tendance est néanmoins clairement de développer des marquages plus discrets. Si les premiers essais ont encore été réalisés avec des bandes autocollantes, des pellicules ou des sprays, des marquages ont été créés depuis dans les laboratoires des verriers et les instituts de recherche, qui permettent l'utilisation de matériaux et revêtements spéciaux. Grâce à la recherche et au développement dans les domaines de la physique et des processus techniques, en collaboration avec l'ornithologie scientifique, ce domaine est actuellement en plein essor, amenant chaque année de nouvelles idées et de nouveaux concepts, ou améliorant progressivement des marquages testés et éprouvés. Ce que nous présentons dans cette publication n'est qu'un instantané, mais qui permet de voir les étapes chronologiques de ces idées. Tous les marquages décrits ici ont été testés devant un arrière-plan peu éclairé (test WIN, ch. 3.2.2) et ne sont pas forcément adaptés à des situations de transparence.



L'intérêt de l'industrie du verre pour la protection des oiseaux et pour la collaboration avec la recherche ornithologique encourage le développement de marquages élégants et discrets. Si les maisons individuelles subissent souvent un grand nombre de collisions, l'acceptation des propriétaires est aussi généralement plus grande vis-à-vis du marquage. Ce motif à points hautement efficace a été posé après coup.

Marquages métallisés et trame unidirectionnelle : très fort contraste

Une idée formulée par une équipe du groupe anglais NSG-Pilkington a entraîné en 2013 un élan d'innovation fondamental. Les revêtements métallisés provoquent des reflets très lumineux et brillants sur le verre moins réfléchissant, et peuvent ainsi créer des contrastes très vifs. NSG Pilkington a développé un motif ligné composé de revêtements métalliques extrêmement fins sur la face extérieure de la vitre, qui créent un effet semblable aux miroirs sans tain : la trame donne des contrastes nets à l'extérieur, mais on la distingue

à peine depuis l'intérieur. En 2021, une variante classée « hautement efficace » a été mise sur le marché.

Selon le même principe, des motifs testés et approuvés, par exemple des bandes verticales de 5 mm de large, peuvent être réalisés en revêtement métallique opaque, et donner ainsi un marquage de la catégorie « hautement efficace ».

Trame pointillée : étonnamment efficace

Alors qu'aux Etats-Unis les trames pointillées sont recommandées depuis des années déjà, ce n'est qu'en 2017 qu'on a commencé une étude systé-



Tunnel de vol tel que l'oiseau le voit. Pilkington AviSafe™ vue extérieure : hautement efficace comme protection pour les oiseaux, à peine visible depuis l'intérieur.



Arnold Glas Ornilux® design lines 5/95 : marquage métallisé hautement efficace, avec trame lignée classique.

matique des motifs à points en Europe. Paradoxalement, les points supportent a priori un espacement plus grand que les lignes, phénomène qui n'est toujours pas expliqué. Ici aussi, le choix judicieux de la taille, de l'espacement et du contraste joue en général un rôle décisif. Les valeurs indicatives sont de 9 mm à 12 mm de diamètre, et de 90 mm à 100 mm d'écart. Les trames imprimées faites de petits points

(1 mm à 3 mm, surface couverte jusqu'à 30 %), utilisées comme protection solaire et qui ont été souvent proposées comme protection anticollision, ne sont pas adaptées pour prévenir les collisions.

Vers un marquage transparent hautement efficace

Aujourd'hui, le développement de marquages pratiquement transparents est suivi avec beaucoup d'at-



Eastman Saflex® FlySafe™ SEEN shiny 9/90 : points métallisés de 9 mm de diamètre, espacés de 90 mm : hautement efficace, et également adapté en position 2 en raison du facteur de réflexion élevé.



Malgré un faible espacement entre les points, cette trame est inefficace : le motif serré de points noirs de 3 mm de diamètre n'a pas été repéré par les oiseaux, y compris en position 1.



Ce motif constitué de points très métallisés de 9 mm de diamètre, espacés de 90 mm, est laminé à l'intérieur d'une vitre isolante et pourtant hautement efficace. Jusqu'à présent, les marquages noirs ne fonctionnent que s'ils sont posés à l'extérieur des façades vitrées, à cause des reflets.

tention. Les essais visent à mettre en pratique ce que nous savons aujourd’hui de la perception du contraste par les oiseaux en vol, pour créer des reflets dans des zones spectrales optimales à l’aide de méthodes de revêtement complexes. Certains prototypes fabriqués par le Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) atteignent déjà une efficacité élevée. Un haut degré de transparence ne signifie toutefois pas que les marquages sont invisibles, raison pour laquelle la recherche se poursuit dans différentes directions afin de satisfaire encore davantage les exigences en matière d’esthétique.

Les marquages UV restent déconseillés

Depuis le début des années 2000, des initiatives visant à dépasser les principes de marquage par impression et les pellicules de motifs opaques développent un concept de marquages UV « invisibles ». L’idée est basée sur le fait que les oiseaux peuvent percevoir la lumière ultraviolette, contrairement aux humains – semblant ainsi apporter la solution parfaite au problème. Toutefois, dire que « les oiseaux voient les UV » est quelque peu réducteur, pour les raisons suivantes :

- 1) L’intensité du rayonnement UV dépend de la hauteur du soleil et de la densité de la nébulosité. Par mauvais temps, dans les endroits très sombres, en forêt ou lorsque la végétation est dense, l’intensité des UV diminue rapidement.
- 2) Seuls quatre groupes d’espèces d’oiseaux (autruches, laridés, perroquets, passereaux à l’exception des corvidés) sont armés de senseurs spécifiques pour les UV^[21].

Dans le tunnel de vol de Hohenau équipé de la version introduisant des reflets, les marquages UV transparents



Un marquage en cours de développement (Fraunhofer ISE), avec des bandes transparentes, s’est révélé hautement efficace en position 1.

se sont révélés totalement inefficaces ou très peu efficaces (tabl. 3). Sur sept marquages testés ayant montré une efficacité nulle, 5 étaient des marquages UV. Sur 40 marquages testés, les versions UV se sont classées entre les 31^e et 40^e places. Avec le dispositif présentant un arrière-plan clair et ne créant pas de reflets, les résultats ont été très légèrement meilleurs. Dans une étude de terrain menée par le LBV (Landesbund für Vogelschutz de Bavière) de 2016 à 2020, dans laquelle quatre marquages UV différents ont pu être testés et évalués en situations réelles, une baisse nette des collisions a certes été constatée dans des cas isolés, mais la proportion de tests n’ayant montré aucune efficacité ou une efficacité très limitée est beaucoup plus élevée. Sur les 453 vols-test enregistrés, 26 % se sont dirigés vers une vitre marquée aux UV.

Tabl. 3 : résultats des tests de préférence (tests WIN) dans le tunnel de vol de la station biologique de Hohenau-Ringelsdorf.

Marquage testé	Vols en direction de la vitre marquée	Vols en direction de la vitre de référence	Résultat
Ornilux Mikado® <small>[22]</small>	56 %	44 %	inefficace
Kolbe Bird Sticker® silhouettes d’oiseaux, couverture 21,7 % <small>[23]</small>	53 %	47 %	inefficace
Kolbe Bird Pen®, couverture 21,6 % <small>[24]</small>	36 %	64 %	peu efficace*

* Étonnamment, la mesure optique ne montre pas d’augmentation de la réflexion dans la bande UV^[24].

^[21] Martin, G. R. (2017): The sensory ecology of birds. Oxford University Press.

^[22] Rössler, M. (2012): Mikado®: <https://wua-wien.at/images/stories/publikationen/vogelanprall-ornilux-mikado.pdf> (état 28.9.2022).

^[23] Rössler, M. (2018): birdsticker®: <https://wua-wien.at/images/stories/publikationen/pruefbericht-birdsticker-2018.pdf> (état 28.9.2022).

^[24] Rössler, M. (2015): birdpen®: <https://wua-wien.at/images/stories/publikationen/pruefbericht-birdpen-2015.pdf> (état 28.9.2022).



Les silhouettes autocollantes de rapaces indiquent en général que des problèmes de collision ont été constatés. Elles ne contribuent toutefois pas à atténuer les risques et ne devraient pas être utilisées, car des oiseaux continueront à voler contre les vitres à côté des silhouettes. Un marquage éprouvé, couvrant l'ensemble de la surface, doit être utilisé.

3.2.6 Présentation des marquages testés en tunnel de vol

Dans les pages qui suivent, une sélection de résultats de tests réalisés dans le tunnel de vol d'Hohenau sont montrés. Pour la première fois, les marquages adaptés aux situations de transparence, par exemple les parois anti-bruit (test ONR, p. 36-37), sont distingués des marquages destinés à des arrière-plans peu éclairés comme les fenêtres et les façades (test WIN, p. 38-41). La couleur de la colonne de gauche se rapporte aux quatre catégories du schéma d'évaluation de Hohenau (ch. 3.2.3). Le pourcentage indique la proportion d'approches vers la vitre marquée – plus ce chiffre est bas, plus la trame est perçue par les oiseaux, et donc plus le marquage est haut placé dans le classement.

Des modifications même petites apportées à la trame, que ce soit au niveau de la conception, de l'échelle, de la couleur ou du matériau, peuvent déjà avoir un impact sur son efficacité. La réflexion extérieure, en particulier avec le test WIN, doit aussi être prise en compte; le résultat présenté ici n'est valable que jusqu'au degré de réflexion indiqué pour chaque vitre.


Abréviations

- TC : taux de couverture : part de la surface couverte par le marquage
- RE : taux de réflexion extérieure de l'ensemble de la vitre testée
- DM : diamètre
- EBL : écart entre les bords des lignes
- ECP : écart entre les centres des points
- ECV : espace entre les couches de verre

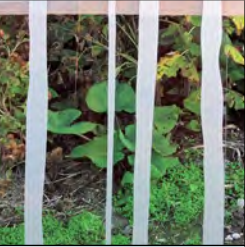




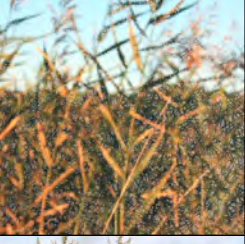

« **Position** » : position d'un revêtement dans les différentes couches de la vitre, commençant avec la position 1 – « côté approche » (face extérieure de la vitre), position 2 – face arrière d'une vitre simple ou première couche d'une vitre isolante, position 3 – face avant de la deuxième couche d'une vitre isolante, etc.

Les rapports de test peuvent être consultés sur le site internet du service de l'environnement de Vienne (Wiener Umweltanwaltschaft, WUA) à l'adresse wua-wien.at/publikationen.











Trames testées pour les protections anti-bruit et les balustrades en verre (test ONR, transparence)

N°	Vois	Illustration	Description
1	2%		Définition : ZOOLEX Astmotiv / Gasperlmair Matériau/couleur : Film RAL 6014 olive jaune, 25 % de transparence Position : 1 TC : 20-25 %
2	2%		Définition : Eckelt 4Bird V3066 Lignes de points verticales Mesures : DM 8mm, EBL entre les lignes de points 100mm Matériau/couleur : Sérigraphie, noir-orange Position : 1 TC : 9 %
3	3%		Définition : Eckelt Litex 540 Trame de points noirs en diagonale Mesures : DM 7,5mm, ECP diagonal 12,7mm Matériau/couleur : Sérigraphie, noir Position : 1 TC : 27 %
4	3%		Définition : Lignes noires verticales Mesures : Épaisseur 5mm, EBL 95mm Matériau/couleur : Impression en polycarbonate, noir Position : 1 TC : 5 %
5	5%		Définition : Eckelt 4Bird V3067 Lignes de points verticales Mesures : DM 8mm, EBL entre les lignes de points 100mm Matériau/couleur : Sérigraphie, noir Position : 1 TC : 9 %
6	5%		Définition : Lignes horizontales noires Mesures : Épaisseur 3mm, EBL 47mm Matériau/couleur : Impression en polycarbonate, noir Position : 1 TC : 6 %
7	6%		Définition : Lignes verticales orange Mesures : Épaisseur 5mm, EBL 100mm Matériau/couleur : Laque spray Dupli-Color Platinum, orange RAL 2009 Position : 1 TC : 4,8 %











Catégorie A, très efficace	Catégorie B, convient sous réserve	Catégorie C, peu efficace	Catégorie D, inefficace
----------------------------	------------------------------------	---------------------------	-------------------------











N°	Vols	Illustration	Description
8	6%		Définition: Glasdecor 25 Mesures: Bandes d'épaisseur irrégulière, épaisseur 15-40 mm, écart < 100 mm Matériau/couleur: Film adhésif ORACAL Etched Glass Cal 8510, mat, translucide Position: 1 TC: 25%
9	6%		Définition: Saflex® FlySafe™ 3D SEEN shiny 9/90 Quadrillage de points 9/90 Mesures: DM 9 mm, ECP 90 mm Matériau/couleur: Aluminium Position: 2 TC: 0,8 % Composition: Vitrage feuilleté 44.2
10	10%		Définition: ABC Bird Tape, lignes doublées et posées à la verticale Mesures: Épaisseur des lignes 20 mm, écart entre les lignes alternativement 5 mm et 100 mm Matériau/couleur: ABC Bird Tape, translucide Position: 1 TC: 22,8%
11	15%		Définition: Trame de points blancs Mesures: DM 18 mm, ECP 82 mm Matériau/couleur: Sérigraphie, blanc Position: 1 TC: 3,8%
12	35%		Définition: Plexiglas Soundstop® Mesures: Epaisseur 15 mm Matériau/couleur: Smoky brown, verre acrylique teinté
13	37%		Définition: Ornilux Mikado (Ornilux Neutralux 1.1 – juin 2011) Matériau/couleur: Applications à l'intérieur du verre isolant qui, selon le fabricant, absorbent et réfléchissent le rayonnement UV
14	54%		Définition: Birdpen® Matériau/couleur: Substances apposées sur le verre à l'aide d'un feutre qui, selon le fabricant, créent des contrastes dans la bande UV Position: 1 TC: env. 50%





Trames testées pour les fenêtres et façades (test WIN, réflexion)

N°	Vols	Vu de l'extérieur (environnement reflété)	Vu de l'intérieur	Description	Remarques
1	4 %			<p>Définition : ZOOLEX Astmuster / Gasperlmair Type : Formes non géométriques Mesures : Variables Matériau/couleur : Impression numérique, RAL 6014 olive jaune Position : 1 TC : 20-25 % Composition : Monolithique 6mm flotté Revêtement spécial : Aucun TC : 8 % Testé en : 2020</p>	Ce marquage a été développé pour les zoos.
2	6 %			<p>Définition : AGC Interpane, aspect verre dépoli Type : Lignes verticales doubles interrompues Mesures : rectangles de 8 x 30mm Matériau/couleur : Sérigraphie, aspect verre dépoli Position : 1 TC : 11 % Composition : Vitrage feuilleté 66.2 Revêtement spécial : Aucun RE : 8 % Testé en : 2019</p>	Ce marquage sérigraphié a été testé en deux variantes (n° 13), ici la variante aspect verre dépoli, nettement plus efficace.
3	6 %			<p>Définition : Saflex® FlySafe™ 3D SEEN shiny 9/90 ISO Type : Quadrillage de points Mesures : DM 9 mm, ECP 90 mm Matériau/couleur : Aluminium multicouche Position : 2 TC : 0,8 % Composition : Verre isolant feuilleté 44.2 / ECV 16 mm / 4 mm flotté Revêtement spécial : Low-E (Clima Guard Premium Position 4) RE : 12 % Testé en : 2020</p>	Les marquages Saflex® ont été testés plusieurs fois, ici avec un revêtement Low-E de verre isolant. Le marquage a été testé pour la première fois en 2019 comme « SEEN Elements » (n° 6 et 7).
4	8 %			<p>Définition : Ornilux® design lines 5/95 - Decochrome Type : Lignes verticales Mesures : Epaisseur 5 mm, EBL 95 mm Matériau/couleur : Decochrome Position : 1 TC : 5 % Composition : Verre feuilleté 66.2 Revêtement spécial : aucun RE : non communiqué (n.c.) Testé en : 2020 Rapport de test : WUA</p>	Les modèles Ornilux® design présentent des marquages visibles d'aspect métallisé. À ne pas confondre avec les variantes UV commercialisées sous le nom d'Ornilux®.
5	9 %			<p>Définition : AviSafe™ AS/h (hard-edge) laminated 70/40 Type : Lignes verticales Mesures : Largeur des lignes 40mm, écart 60mm, bords flous Matériau/couleur : revêtement semi-réfléchissant (visibilité depuis l'intérieur), reflets métalliques. Position : 1 TC : n.c. Composition : Verre isolant 64.2 // verre flotté 4mm Revêtement spécial : Solar Control 70/40 Position 4 RE : n.c. Testé en : 2021</p>	Les marquages AviSafe™ donnent un reflet métallique à l'extérieur, et de l'intérieur sont transparents et très peu visibles.

Catégorie A, très efficace	Catégorie B, convient sous réserve	Catégorie C, peu efficace	Catégorie D, inefficace
----------------------------	------------------------------------	---------------------------	-------------------------

N°	Vols	Vu de l'extérieur (environnement reflété)	Vu de l'intérieur	Description	Remarques
6	9 %			<p>Définition : SEEN shiny 9/90 (devenu Saflex®)</p> <p>Type : Trame de points</p> <p>Mesures : DM 9mm, ECP 90mm</p> <p>Matériau/couleur : Aluminium multicouche</p> <p>Position : 2</p> <p>TC : 0,8 %</p> <p>Composition : Verre feuilleté 44.2</p> <p>Revêtement spécial : Aucun</p> <p>RE : 8 %</p> <p>Testé en : 2019</p> <p>Rapport de test : WUA</p>	Les « SEEN Elements shiny » ont une surface concave, avec forte réflexion de la lumière, et sont aussi hautement efficaces en position 2. Ils conviennent à une installation ultérieure en position 1.
7	9 %			<p>Définition : SEEN matt 9/90</p> <p>Type : Trame de points</p> <p>Mesures : DM 9mm, ECP 90mm</p> <p>Matériau/couleur : Revêtement aluminium</p> <p>Position : 2</p> <p>TC : 0,8 %</p> <p>Composition : Verre feuilleté 44.2</p> <p>Revêtement spécial : Aucun</p> <p>RE : 8 %</p> <p>Testé en : 2019</p> <p>Rapport de test : WUA</p>	Les « SEEN Elements matt » ont une surface plane et mate, qui réfléchit la lumière de manière homogène. Ils conviennent à une installation ultérieure en position 1.
8	10 %			<p>Définition : Saflex® FlySafe™ 3D SEEN shiny 9/90</p> <p>Type : Trame de points</p> <p>Mesures : DM 9mm, ECP 90mm</p> <p>Matériau/couleur : Aluminium multicouche</p> <p>Position : 2</p> <p>TC : 0,8 %</p> <p>Composition : Verre feuilleté 44.2</p> <p>Revêtement spécial : St. Gobain COOL-LITE® ST167</p> <p>RE : 19 %</p> <p>Testé en : 2021</p>	Dans ce cas, la trame de points « Saflex® 9/90 » a été testée sur verre feuilleté avec un taux de réflexion extérieure de 19 % (n°6).
9	10 %			<p>Définition : SEDAK carrés 12 mm noir</p> <p>Type : Trame de points</p> <p>Mesures : Carrés 12 mm de côté, ECP 90mm</p> <p>Matériau/couleur : Sérigraphie, RAL 9005</p> <p>Position : 1</p> <p>TC : 1,8 %</p> <p>Composition : Verre feuilleté 44.2</p> <p>Revêtement spécial : Aucun</p> <p>RE : 8 %</p> <p>Testé en : 2019</p> <p>Rapport de test : WUA</p>	Jusqu'à présent, les sérigraphies et les films noirs ont été uniquement testés en position 1 (n°10 et 17).
10	11 %			<p>Définition : Trame de points anthracite 10/100, pas de fabricant particulier</p> <p>Type : Trame de points</p> <p>Mesures : DM 10mm, ECP 100mm</p> <p>Matériau/couleur : Découpes de film adhésif, RAL 7016</p> <p>Position : 1</p> <p>TC : 0,8 %</p> <p>Composition : Monolithique 4mm flotté</p> <p>Revêtement spécial : Aucun</p> <p>RE : 8 %</p> <p>Testé en : 2018</p>	Convient à une installation ultérieure.

N°	Vols	Vu de l'extérieur (environnement reflété)	Vu de l'intérieur	Description	Remarques
11	14 %			Définition : Saflex® FlySafe™ SEEN shiny 3/50 Type : Trame de points Mesures : DM 3 mm, ECP 50 mm Matériau/couleur : Aluminium multicouche Position : 2 TC : 0,3 % Composition : Verre feuilleté 44.2 Revêtement spécial : Aucun RE : 12 % Testé en : 2020	Les points métalliques de 3 mm de diamètre sont moins efficaces que ceux de 9 mm de diamètre (n°3, 6 et 7).
12	16 %			Définition : Ornilux® design dart 9/90 – Decochrome Type : Trame de points Mesures : Points « cassés » en cocarde, contour extérieur DM 2 mm, cercle intérieur DM 3 mm, écart entre les points 90 mm Matériau/couleur : Decochrome Position : 1 TC : 0,4 % Composition : Verre feuilleté 66.2 Revêtement spécial : Aucun RE : n.c. Testé en : 2020 Rapport de test : WUA	Les points métalliques « cassés » (cocarde) sont moins efficaces que le motif ligné métallique n°4.
13	16 %			Définition : AGC Interpane Ipasol grey / Ipasol bright Type : Lignes verticales interrompues, doubles Mesures : rectangles 8 x 30 mm Matériau/couleur : Sérigraphie Ipasol grey / Ipasol bright Position : 1 DG : 11 % Composition : Verre feuilleté 66.2 Revêtement spécial : Aucun RE : 8 % Testé en : 2020	Version transparente de la trame aspect verre dépoli n°2.
14	32 %			Définition : Trame de points en diagonale 5 mm aspect verre dépoli Type : Trame de points en diagonale Mesures : DM 5 mm, ECP en diagonale 35 mm Matériau/couleur : verre dépoli Position : 1 TC : 1,6 % Composition : Verre isolant 6 mm flotté / ECV : 16 mm / 6 mm flotté Revêtement spécial : Low-E en position 3 RE : n.c. Testé en : 2021	Trame de points aspect verre dépoli avec un diamètre de point de 5 mm, peu efficace (contraste trop faible et diamètre trop petit).
15	45 %			Définition : Lignes de points verticales 3 mm noir Type : Lignes de points verticales Mesures : DM 3 mm, ECP au sein des lignes 6 mm, entre les lignes 38 mm Matériau/couleur : Sérigraphie, noir Position : 2 TC : 3,1 % Composition : Verre isolant 6 mm flotté / ECV : 16 mm / 6 mm flotté Revêtement spécial : Low-E en position 3 RE : n.c. Testé en : 2021	Les lignes de points de 3 mm de diamètre en position 2 sont inefficaces (motif trop fin).

N°	Vols	Vu de l'extérieur (environnement reflété)	Vu de l'intérieur	Description	Remarques
16	47 %			<p>Définition : Kolbe birdsticker® Silhouetten Type : Silhouettes d'oiseaux, 15 pièces Mesures : 94 cm²/silhouette Matériau/couleur : Transparent, réfléchissant les UV Position : 1 TC : 21,7 % Composition : Monolithique 4 mm verre flotté Revêtement spécial : Aucun RE : 8 % Testé en : 2017 Rapport de test : WUA</p>	Marquage UV inefficace.
17	48 %			<p>Définition : Trame de points anthracite 3/14 Type : Trame de points Mesures : DM 3 mm, ECP 14 mm Matériau/couleur : Découpes de film adhésif, RAL 7016 Position : 1 TC : 3,6 % Composition : Monolithique 4 mm flotté Revêtement spécial : Aucun TC : 8 % Testé en : 2018 Rapport de test : WUA</p>	Trame de points avec un diamètre de point de 3 mm, noir, inefficace en position 1 (motif trop fin ; voir aussi lignes de points n° 15).

3.3 Mesures ultérieures

Intervenir après coup coûte plus cher qu'utiliser du verre respectueux des oiseaux

Lorsque des mesures sont prises sur des surfaces vitrées problématiques déjà existantes, il s'agit généralement de films adhésifs à trames imprimées, ou de motifs appliqués à l'aide d'une feuille de transfert. Ces éléments rendent les surfaces vitrées transparentes et réfléchissantes repérables par les oiseaux.

Par rapport aux types de verre ménageant les oiseaux (p.ex. verre imprimé, translucide, structuré), ces mesures ultérieures ont toutefois une durée de vie limitée et doivent être régulièrement renouvelées. En comparaison avec les mesures de protection des oiseaux qui sont prises déjà au stade de la planification du bâtiment, la plupart des mesures de correction impliquent donc des coûts supérieurs sur la durée. Sans compter que l'utilisation de films adhésifs entraîne un volume considérable de déchets.

Une autre option existe pour protéger après coup les surfaces vitrées contre les collisions : la pose de structures à mailles fines comme du treillis, des grilles en bois, de la ficelle ou des filets, etc.

Les surfaces réfléchissantes doivent toujours être marquées sur la face extérieure !

Quelle que soit la mesure adoptée après coup, il faut impérativement veiller à ce que le marquage soit toujours appliqué à l'extérieur des fenêtres et autres surfaces vitrées réfléchissantes. Pour les parois isolées dont le danger principal est la transparence, on peut poser le dispositif sur la face de la vitre la plus adéquate.

La pose ultérieure de dispositifs de protection des oiseaux sur de larges surfaces est réalisée générale-

ment par des entreprises spécialisées. Des coûts supplémentaires sont à prévoir avec l'emploi souvent nécessaire de grues ou d'échafaudages.

Marquage de protection imprimé sur film

Les films transparents portant un marquage imprimé sont appliqués sur la totalité de la surface vitrée. Les films doivent être adaptés à une utilisation en extérieur. La pose du marquage sur la face extérieure garantit aussi que les reflets de la surface extérieure de la vitre soient rompus. Il faut s'assurer toutefois que la trame choisie réponde aux exigences d'un marquage hautement efficace (ch. 3.2.4).

Il est possible d'imprimer un marquage de protection des oiseaux sur différentes sortes de films spéciaux (anti-vol, anti-éclats, etc.), pour autant qu'ils aient un très haut degré de transparence.

Avec les films imprimés, il faut s'assurer de la résistance à la lumière (c'est-à-dire aux UV) et à l'opacité de l'impression, car seules les couleurs très couvrantes génèrent le contraste nécessaire à une protection efficace contre les collisions. Selon les indications des fabricants, ces films ont une durée de vie de 5 à 15 ans. Ils doivent être remplacés si nécessaire. Une imperméabilisation des bords par des spécialistes peut améliorer leur durabilité.

Découpes de film adhésif

La pose d'un motif découpé, par le biais d'une feuille de transfert est une autre possibilité de marquage ultérieur avec des films adhésifs. Les films utilisés à cet effet sont en général composés de matériaux synthétiques teintés dans la masse, et perdent donc moins



Les films imprimés sont appliqués sur toute la surface de la vitre.



Lorsqu'on pose une trame découpée, seuls les éléments du motif sont collés.



Pour lutter contre les collisions d'oiseaux, le nouveau Bauhaus Museum de Dessau (Allemagne) a couvert après coup plus de 2700m² de façade vitrée d'un motif ligné découpé.

facilement leur couleur que les films imprimés. Les motifs découpés par traceurs sont produits individuellement, selon les souhaits du client. Ils présentent toutefois l'inconvénient, par rapport aux films couvrant toute la surface de la vitre, d'être plus fragiles et plus sensibles aux conditions météorologiques. Les fabricants indiquent une durée de vie de 5 à 15 ans.

Risque de casse thermique par la pose ultérieure de films adhésifs

La casse thermique du verre est causée par de grandes différences de température sur une surface vitrée.

Lorsque le rayonnement solaire est intense, la surface du verre se réchauffe. Si de larges zones de la vitre sont couvertes par des couleurs sombres ou d'autres matériaux absorbants, elles se réchauffent généralement davantage que le reste de la surface. Lorsque la différence de température est de plus de 40 kelvins, et qu'il ne s'agit pas de verre trempé, cela peut conduire à une casse thermique. Le verre trempé (verre de sécurité) et les verres durcis (semi-trempés) présentent quant à eux une résistance nettement plus élevée aux changements de température. Ces types de verre supportent sans problème une charge thermique accentuée par des films, des couleurs ou du dépolissage apposés sur la vitre, sans augmentation du risque de casse.

La majorité des trames destinées à protéger les oiseaux sont constituées d'éléments extrêmement petits. Ces motifs n'entraînent pas de réchauffement sur de larges zones de la vitre, et peuvent donc normalement être posés sous forme de découpes ou de films imprimés.

Exception : la combinaison de films de protection solaire et de trames imprimées pour la protection des oiseaux peut entraîner des différences de température accrues entre les différentes couches de

verre, particulièrement sur les triples vitrages plus fragiles, à cause de la teinte ajoutée pour la protection solaire. Le risque de casse thermique est par conséquent plus élevé.

Lorsque l'on installe des films adhésifs de protection après coup, il est important de les poser sur la face extérieure de la vitre, non seulement pour briser les reflets, mais aussi pour éviter un réchauffement potentiel. L'aération constante à l'extérieur garantit un certain refroidissement, alors qu'un rayonnement solaire intense peut rapidement provoquer une accumulation de chaleur sur la face intérieure, et donc un risque de casse thermique.

Sablage et satinage

Pour empêcher les oiseaux d'entrer en collision avec les vitres, ces dernières peuvent être dotées d'une surface mate par des procédures de sablage ou de satinage. Le verre traité de cette manière perd ses propriétés de transparence et de réflexion, et peut être utilisé par exemple sur des façades de bâtiments ou des garde-corps.

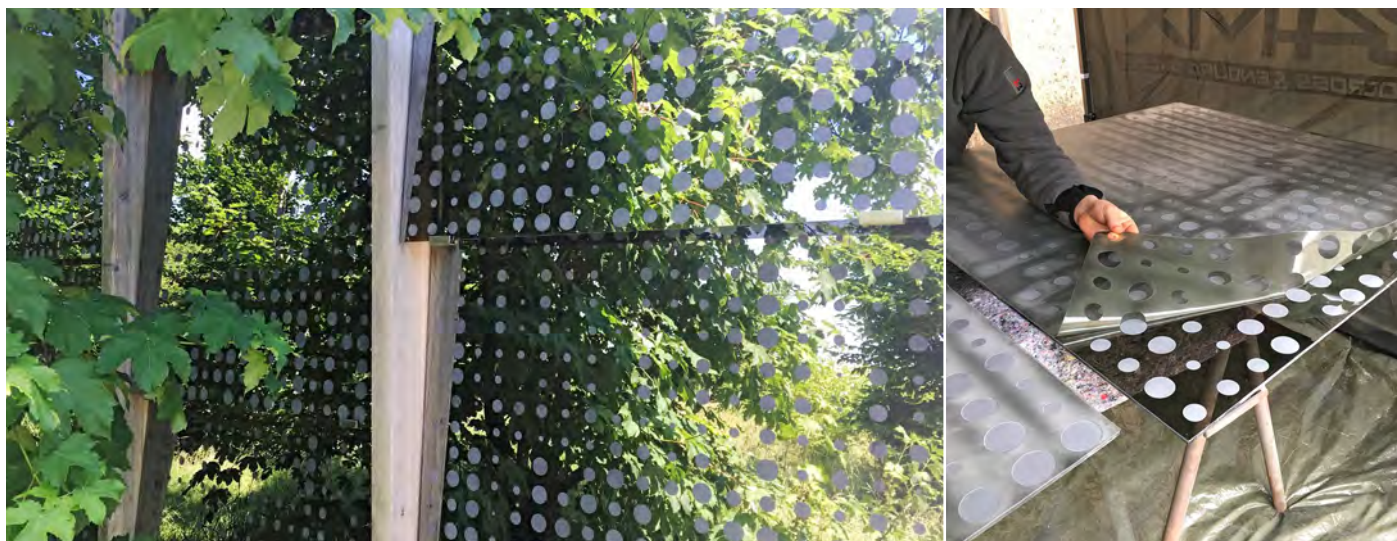
Le sablage consiste à projeter sur une surface lisse et réfléchissante un jet de sable à haute pression, qui par son effet abrasif va la rendre rugueuse et diffuser sa réflexion. Le satinage est un procédé chimique qui matifie une surface en verre.

Il est possible de marquer ainsi des vitres entières ou seulement des parties de la surface.

En principe, ces procédés peuvent aussi être appliqués ultérieurement *in situ*.

Grillages

Pour une installation durable sur un édifice déjà construit, on peut monter des grillages en acier comme ceux qui sont posés pour protéger ou végé-



Une façade sablée après coup à Schamstein (Autriche): pour les modifier à des fins de protection des oiseaux, ces vitres très réfléchissantes ont pu être déposées de la façade. Elles ont ensuite été traitées sur place par un sablage partiel (trame de points de différents diamètres).

taliser les façades. S'ils sont utilisés comme protection contre les collisions d'oiseaux, il faut veiller à ce que le diamètre du câble et la largeur des mailles correspondent aux critères des marquages hautement efficaces. Le diamètre du câble devrait être d'au moins 3 mm, et la largeur des mailles pas trop grande (pour un grillage en diagonale, mailles de 7 × 7 cm au maximum ou 10 cm de distance maximale dans la plus grande largeur).

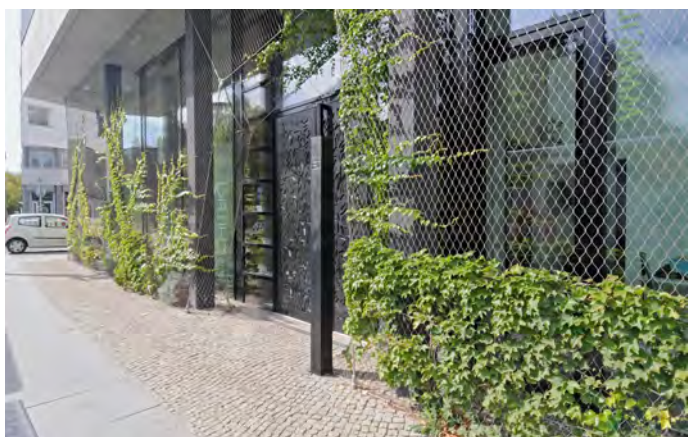
Filets synthétiques

Des filets synthétiques peuvent être utilisés provisoirement comme solution de secours. Comme pour les grillages, le diamètre du fil doit être d'au moins 3 mm, et la largeur des mailles de 10 cm au maximum. Seules

des couleurs offrant un bon contraste doivent être employées. Le filet doit être bien tendu et plaqué contre la vitre, afin que les oiseaux ne puissent pas se retrouver coincés.

Ficelle

Un moyen simple et bon marché de rendre des surfaces vitrées repérables par les oiseaux consiste à tendre des ficelles devant. Pour ce faire, il faut utiliser de la ficelle d'au moins 3 mm d'épaisseur, et fixer les fils verticalement à 10 cm les uns des autres devant la vitre. La ficelle doit être faite d'un matériau résistant aux intempéries, et sa couleur doit présenter un bon contraste avec l'arrière-plan. Les fils noirs, blancs, rouges ou orange sont ceux qui sont le plus



Les grillages, comme ceux qui sont souvent utilisés pour végétaliser les façades, peuvent aussi servir à protéger les oiseaux si la largeur des mailles est adéquate. En règle générale, ils sont intégrés dès le début au projet architectural. Ils peuvent néanmoins être aussi ajoutés ultérieurement si les caractéristiques de la façade le permettent.



Après des collisions d'oiseaux répétées contre les fenêtres d'un atelier de S-chanf (Suisse), des fils de nylon espacés de 8-10 cm ont été tendus. Aucune collision n'a été enregistrée après l'installation.

aisément identifiés comme des obstacles par les oiseaux. Ce type de « rideau de ficelle » est réalisable avec peu de moyens, et facilement adapté aux particularités du lieu pour ce qui est de la taille et de la technique d'installation. On le trouve en Amérique du Nord sous forme de produit fini sous l'appellation « Acopian Bird Savers ».

Points adhésifs

Dans le domaine privé et lorsque les vitres concernées sont plus petites, il est aussi possible de créer une trame de points très simplement. On trouve dans le commerce des points adhésifs noirs, blancs, orange ou rouges faisant entre 1,2 et 2 cm de diamètre, que l'on peut coller à l'extérieur de la vitre en les espaçant de 9cm au maximum. Cette mesure n'est toutefois pas adaptée à des supports de plus grande envergure et à des projets de nouvelles constructions, lesquels doivent absolument intégrer les mesures exposées aux chapitres 3.1 et 3.2.

Marquage artistique

Certaines vitres se prêtent à des réalisations individuelles et créatives. On peut par exemple peindre des motifs décoratifs sur les vitres à l'aide de peinture ou stylos pour fenêtres résistants à l'eau. Afin de garantir que les dessins soient bien repérables par les oiseaux, il convient d'utiliser surtout les couleurs noire, blanche, orange ou rouge. D'autres techniques sont également possibles comme les chablon, la laque en spray ou les autocollants décoratifs pour fenêtres.

On peut laisser libre cours à son imagination dans le choix des motifs ; il faut simplement veiller, ici aussi, à marquer la vitre sur toute sa surface sans laisser d'espace plus grand que 5 cm de hauteur et 10 cm de largeur.



Les motifs de ce marquage créatif seront répartis sur toute la surface et ne laisseront pas de grandes lacunes. Ils gênent peu la vue vers l'extérieur, et n'empêchent pas la lumière d'entrer.

De même, une décoration individuelle doit toujours être posée sur la face extérieure de la vitre si cette dernière est réfléchissante. Dans ce cas, les matériaux utilisés doivent être résistants à l'eau et aux intempéries. Ce n'est que dans les situations de transparence absolue que les marquages peuvent aussi être posés sur l'intérieur de la vitre.



Les vifs reflets de la végétation sur les baies vitrées de l'école cantonale de Beromünster (Suisse) provoquaient de fréquentes collisions d'oiseaux. Des silhouettes de rapaces ont donc été posées il y a une vingtaine d'années, qui n'ont toutefois pas amélioré la situation. Dans le cadre d'un projet pédagogique, les enfants ont alors proposé un marquage de fenêtre respectant les exigences d'une protection efficace des oiseaux.

4 Mesures inadéquates

On voit encore régulièrement circuler des recommandations pour des mesures supposément efficaces et des affirmations sur les caractéristiques des marquages qui se sont pourtant révélées erronées. On continue ainsi à vendre des produits qui ne sont pas suffisamment efficaces pour prévenir les collisions. Si quelques-unes des mesures indiquées ci-dessous peuvent contribuer à limiter un peu les accidents dans certaines circonstances, aucune ne constitue une protection suffisante.

Réduction du taux de réflexion extérieure

Les reflets sur le verre sont produits par la différence de clarté entre l'avant et l'arrière de la vitre. Cette différence étant considérable entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments, des reflets restent en général visibles même si l'on réduit fortement le taux de réflexion extérieure (voir ch. 2.2). Pour cette raison, l'utilisation de verre peu réfléchissant (jusqu'à 2 % de taux de réflexion) ne constitue pas en lui-même, sans marquage, une protection efficace pour les oiseaux. Inversement, plus le taux de réflexion est élevé, plus le risque de collision augmente et plus l'efficacité de nombreux marquages diminue aussi. Pour cette raison, il faut privilégier les revêtements spéciaux qui limitent le taux de réflexion extérieure plutôt que des revêtements qui l'accroissent.

Silhouettes de rapaces

On voit encore trop souvent des silhouettes de rapaces adhésives posées à des fins de protection des oiseaux. Ces autocollants n'ont pourtant aucun effet dissuasif. Les oiseaux en vol ne perçoivent pas ces



On continue à trouver des traces de collisions d'oiseaux juste à côté des silhouettes de rapaces. Une vitre rarement nettoyée n'offre pas non plus de protection contre les collisions.

silhouettes comme des prédateurs potentiels dont ils resteraient alors à distance. Au mieux, ils les voient comme des obstacles ponctuels – et heurtent souvent la vitre juste à côté.

Marquages UV

Il n'a pas pu être démontré jusqu'à présent que les marquages UV transparents, qu'ils soient intégrés au verre ou apposés ultérieurement sous forme d'adhésifs, de film ou à l'aide de marqueurs, peuvent protéger les oiseaux des collisions. Si la capacité de certains oiseaux à voir la lumière dans la bande UV est prouvée, il reste que de très nombreuses espèces indigènes comme les rapaces, les pics et les pigeons n'ont pas de récepteurs leur permettant de les percevoir suffisamment. De plus, les mécanismes de la vision dépendent du comportement du moment des oiseaux. Contrairement à ce qui se passe lorsqu'ils se nourrissent ou cherchent un partenaire, la vision des UV ne joue qu'un rôle secondaire voire inexistant pour les oiseaux en vol, qui doivent pouvoir reconnaître un obstacle rapidement afin de l'éviter (ch. 3.2.1). Par ailleurs, lorsque le ciel est bas ou couvert, la lumière est pauvre en UV. Or c'est précisément le matin et le soir que de nombreux oiseaux volent particulièrement activement.

Dans les recherches expérimentales, l'efficacité des marquages UV est généralement testée en situation de lumière vive, de lumière artificielle riche en UV et d'arrière-plan clair. Lorsque les conditions de luminosité sont mauvaises ou que l'arrière-plan est peu éclairé, aucun effet n'est constaté dans la majorité des cas. Ni les tests du tunnel de vol de Hohenau-Ringelsdorf, ni une étude complémentaire menée en Bavière n'ont permis de constater d'efficacité certaine ou comparable à celle de la plupart des marquages visibles (ch. 3.2.5).

Marquage de fines lignes au laser

Les techniques laser permettent de graver dans le verre ou des surfaces plastiques tous types de motifs, en théorie aussi des marquages efficaces contre les collisions. Cette technique est toutefois principalement utilisée pour tracer des structures fines et précises. Des trames avec lignes très fines, vantées comme protection contre les collisions, ne sont pas détectées par les oiseaux (voir fig. p. 49, à comparer avec des filets pour capturer les oiseaux). Pour cette raison, les produits marqués au laser méritent d'être considérés avec prudence. Un contrôle des critères d'efficacité (grandeur, espacement, contraste) et la vérification des tests réalisés, est nécessaire. Aucune protection contre les collisions n'est à espérer de motifs à fines lignes.

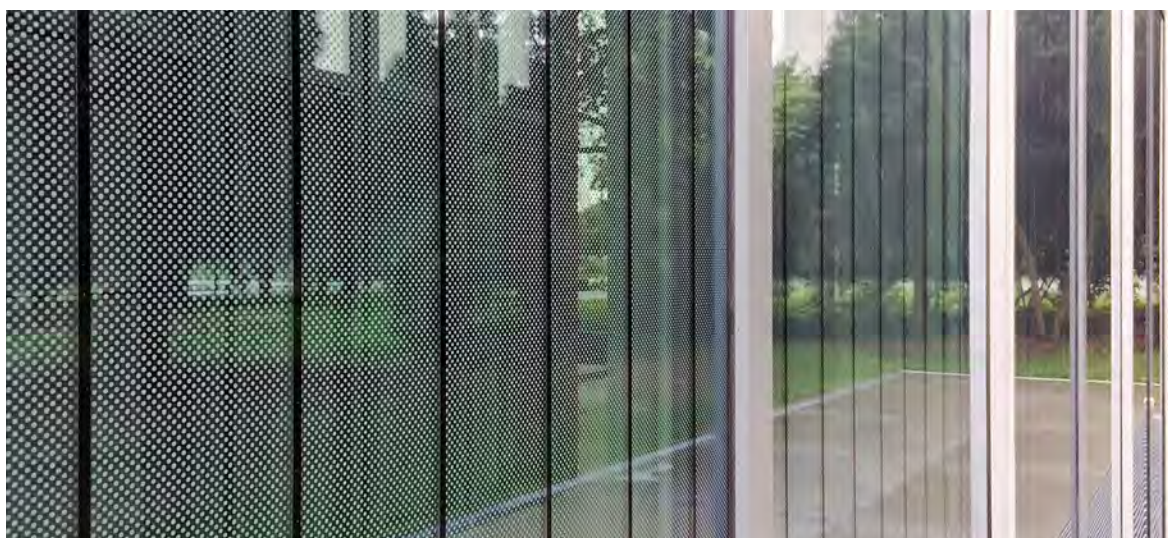


Les silhouettes transparentes réfléchissant les UV ne sont pas repérées par les oiseaux. On trouve parfois des traces de collision directement sur ce genre d'autocollants.

Taux de couverture de plus de 20 ou 30 %

Depuis 2005 déjà, les marquages standard présentent une couverture de la surface d'entre 5 % et 10 %. Entre-temps, des marquages hautement efficaces sont apparus avec un taux de couverture de moins de 1 %. Seuls les marquages semi-transparents (lignes de type verre dépoli) exigent une couverture de 20 % à 25 % ; en 2019, un marquage constitué de lignes doubles interrompues, de type verre dépoli, a obtenu la classification « hautement

efficace » avec une couverture de 15 %. Il n'y a donc pas de rapport direct entre efficacité et taux de couverture (densité) d'un marquage. Cela dépend de la visibilité (grandeur minimale, contraste suffisant dans diverses conditions de luminosité) et de la réaction qu'on peut attendre de l'oiseau (écart maximal entre les éléments du marquage). Sur ce plan, « moins » est parfois « plus » : des trames denses de petits points avec une surface imprimée de > 10 % se sont avérées inefficaces.



Bauhaus Museum, Dessau (Allemagne) : malgré un taux de couverture de 30 %, cette fine trame de points n'est pas adéquate pour la protection des oiseaux car elle est très peu visible. La façade a par la suite été modifiée et dotée de lignes noires.

Marquage partiel des fenêtres

Les vitres doivent pouvoir être identifiées dans leur totalité par les oiseaux. Cela vaut aussi bien pour les surfaces vitrées à grande hauteur que pour les parties inférieures des vitres au ras du sol, car les oiseaux sont actifs à toutes les hauteurs. Si une portion de la vitre n'est pas marquée, des collisions peuvent se produire à cet endroit.

Ombre et vitres en retrait

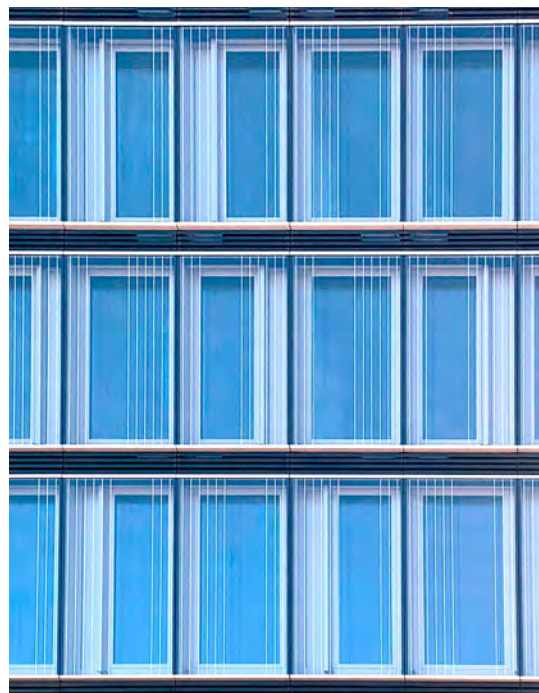
Créer de l'ombre sur les surfaces vitrées ou les situer en retrait sous des avant-toits ou des saillies par des aménagements architecturaux ne permet pas de supprimer les reflets dangereux. Des situations critiques pour les oiseaux peuvent survenir ici aussi.

Surfaces vitrées inclinées

Les vitres inclinées peuvent aussi présenter des reflets dangereux, et l'inclinaison de la paroi ne réduit pas significativement la force d'un impact. Seules les surfaces pratiquement horizontales comme les toits vitrés ou les puits de lumière ne posent pas de risque de collision.

Végétalisation des façades

Végétaliser les façades devant des surfaces vitrées n'est efficace contre les collisions que dans certaines circonstances très particulières. La couverture végétale doit être suffisamment épaisse pour empêcher les oiseaux de la traverser directement, et assez proche de la vitre pour que les oiseaux décollant depuis la végétation ne puissent pas atteindre une vitesse d'impact élevée. Les façades végétalisées sont attirantes pour les oiseaux, qui y trouvent nourriture, refuge, lieu d'escalade ou dor-



Même si les parois vitrées ont été équipées de marquages testés comme efficaces pour la protection des oiseaux, les grands espaces laissés vierges rendent les collisions toujours possibles.

toir, ce qui augmente la densité d'oiseaux à des endroits *a priori* dangereux.

Dispositifs mobiles de protection solaire

Les stores extérieurs, à lamelles ou en marquise ne sont pas des mesures suffisantes pour protéger les oiseaux. Ils couvrent certes entièrement la vitre qui se trouve derrière quand ils sont fermés,



Les reflets de la façade vitrée inclinée de cette école sont aussi clairs que si la paroi était verticale, et présentent donc un risque élevé de collision.



Fermés, les stores extérieurs peuvent prévenir les collisions. Ce n'est toutefois pas une solution durable, puisqu'elle dépend de l'utilisation qui en est faite.

mais ce n'est que temporaire. Le reste du temps, ces surfaces vitrées présentent un risque de collision inchangé. Fermer ces dispositifs de protection solaire peut être utile comme mesure simple et urgente lors d'une première collision d'oiseau, mais ce n'est pas une solution durable. Des stores intérieurs ou rideaux clairs derrière la vitre peuvent limiter les reflets pendant la journée, mais ne sont pas non plus une protection efficace.

Moustiquaires

Une moustiquaire peut mettre en évidence une fenêtre et la rendre identifiable comme obstacle par les oiseaux, mais cela dépend beaucoup des conditions de luminosité. Ce n'est donc pas une protection efficace contre les collisions d'oiseaux qui n'est par conséquent pas recommandé.

Nettoyage des vitres moins fréquent

La saleté quotidienne des vitres n'entraîne généralement pas de diminution convaincante des collisions d'oiseaux. On constate des traces d'impact, qui sont justement particulièrement visibles, sur des surfaces vitrées sales. En revanche, les fenêtres fraîchement lavées présentent un risque de collision très élevé. Ne serait-ce que pour cette raison, il est recommandé de nettoyer les vitres pendant les périodes de moindre activité des oiseaux, et de ne pas le faire trop souvent.

Films de protection solaire

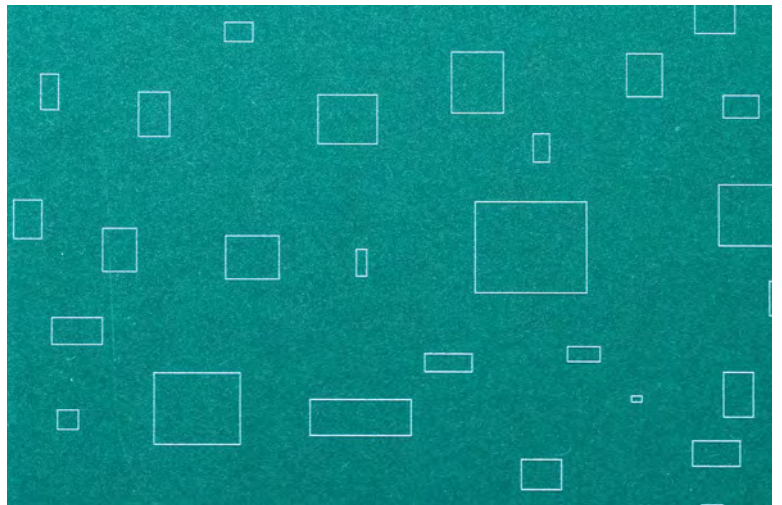
Les films de protection solaire peuvent accentuer la réflexion extérieure des vitres, créant des reflets très nets et aggravant encore le risque pour les oiseaux. En termes de protection des oiseaux, ce genre de revêtement n'est donc acceptable qu'en conjonction avec des marquages efficaces.

Verre teinté ou coloré

Le verre teinté ou coloré peut également avoir un effet fortement réfléchissant. La coloration anormale des reflets ne joue apparemment aucun rôle déterminant pour les oiseaux. Même dans les situations de transparence, le verre teinté ne constitue pas une protection sûre.

Répulsifs acoustiques

Faire entendre des enregistrements de cris d'alarme ou de peur, ou de chants territoriaux, ou émettre des ondes de pression acoustique non spécifiques n'est pas une solution adéquate pour faire fuir les oiseaux et les protéger des collisions. À cela s'ajoute qu'un son constant est dérangerant pour le voisinage et les passants. Les ultrasons, qui ne sont pas audibles par les humains, n'ont pas non plus d'influence sur les oiseaux car ils entendent à peu près la même gamme de fréquences que nous.



Des motifs gravés dans le verre au moyen de laser sont en général trop fins. Ils ne sont pas détectés à temps par les oiseaux.



Les films de protection solaire réfléchissants produisent des images reflétées très fidèles : les oiseaux prennent ces fenêtres pour des passages ouverts.



Les vitres colorées présentent aussi des reflets nets, qui peuvent être attirants pour les oiseaux.

5 Pollution lumineuse – Conséquences de l'éclairage artificiel pour l'environnement

La lumière artificielle peut être nocive pour de nombreux organismes, y compris l'être humain. Nous examinons ici quelques-unes de ses conséquences sur les oiseaux, les chauves-souris et les insectes, et présentons des mesures techniques à même de réduire les préjudices causés à la faune et aux humains.



Depuis toujours, les phares des côtes européennes témoignent que la lumière artificielle peut devenir un danger mortel pour les oiseaux migrateurs. Ce n'est que récemment que l'on a commencé à prendre conscience des risques à l'intérieur des terres.

Oiseaux

Le phénomène est connu depuis des siècles : les oiseaux migrateurs sont attirés par les sources de lumière vive. Les côtes et la mer, surtout, peuvent être le théâtre de scènes dramatiques d'oiseaux désorientés volant contre des phares, des éoliennes éclairées, des plates-formes pétrolières ou des bateaux.

Des phénomènes du même genre sont rapportés à l'intérieur des terres, surtout en Amérique du Nord, où on observe parfois des vols de masse contre des gratte-ciels, des tours de transmission et d'autres édifices. Les oiseaux migrateurs peuvent être détournés de leur route migratoire par des gratte-ciels illuminés ou d'autres sources de lumière très exposées. Les oiseaux volent vers la lumière et, désorientés, tournent autour ou entrent en collision avec le dispositif, ou avec d'autres obstacles. En Europe centrale, ce comportement des migrateurs dans le faisceau lumineux de projecteurs a été confirmé par radar, avec le stress, la perte d'énergie ou la mort comme conséquences possibles pour les oiseaux.

D'autres connaissances ont été acquises sur l'effet des bâtiments éclairés en Europe centrale. L'étude la plus précise a été menée sur la Post Tower de Bonn, haute de 163 m. Elle a montré que c'était avant tout l'éclairage très voyant de la façade et l'enseigne lumineuse du toit qui engendraient des collisions la nuit venue. D'autre part, même lorsque l'éclairage de la façade était éteint, des oiseaux se dirigeaient vers l'éclairage de secours noc-



A New York, lors des commémorations annuelles des attentats du 11 septembre, plus d'un million d'oiseaux migrateurs se sont égarés dans le faisceau lumineux du « Tribute in Light » sur sept jours en sept ans. Depuis, les projecteurs sont éteints ponctuellement selon l'activité de l'avifaune.



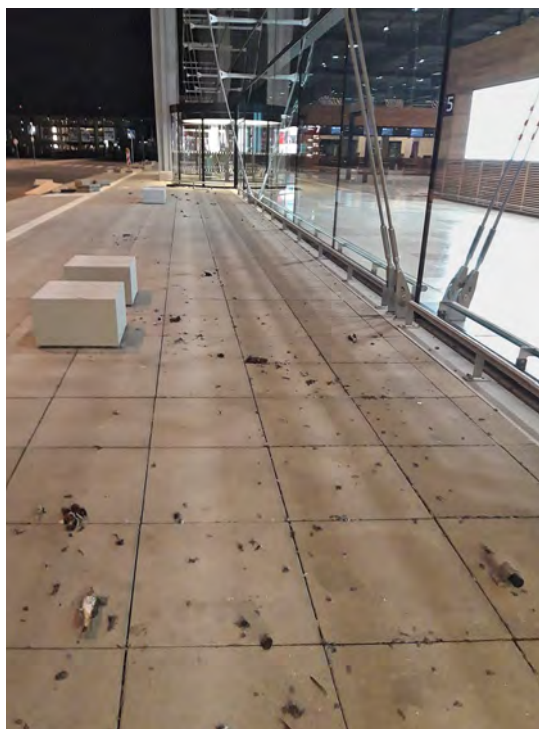
Les effets de lumière derrière la façade vitrée et les enseignes lumineuses sur le toit de la Post Tower de Bonn attirent les oiseaux migrateurs dans un piège mortel. Ce type de supports publicitaires lumineux, grues, signaux de sécurité aérienne et autres sources de lumière très en hauteur se trouvent sur les trajectoires de vol des oiseaux, et recèlent un potentiel de danger largement méconnu jusqu'à présent.

turne des couloirs, pourtant faible, heurtant les vitres à ces endroits. La majorité des oiseaux étaient des migrants, principalement des roitelets à triple bandeau.

À Hambourg, une collecte quotidienne de cadavres d'oiseaux a été menée en automne 2020 dans trois complexes de bâtiments avec des façades de 23 m à 90 m de hauteur. Elle a livré de nombreuses victimes de collisions, 77 % d'entre elles étant des migrants nocturnes, en grande partie des rougegorges familiers et des grives musiciennes. Si on ne sait pas à quelle hauteur ces oiseaux ont heurté les façades, cette étude a néanmoins montré que davantage d'oiseaux viennent s'écraser contre les façades qui sont vivement éclairées.

En 2020 toujours, quatre immeubles faisant jusqu'à 42 m de hauteur ont été examinés à Berlin autour de la gare centrale. Grâce à une observation nocturne en direct, il a été constaté à plusieurs reprises – comme avec la Post Tower – que des oiseaux migrants (ici aussi des rougegorges familiers et des grives musiciennes) se dirigeaient en deuxième partie de nuit vers l'éclairage le plus lumineux, y compris depuis le sol, et heurtaient les façades vitrées. Les migrants restent donc sensibles à la lumière même une fois posés après leur vol nocturne.

Grâce à ces découvertes, on peut également conclure que la nuit, les sources de lumière plus vives sont particu-



En une nuit, des dizaines de grives musiciennes se sont tuées contre le terminal vivement éclairé de l'aéroport de Berlin Brandenburg.

L'exemple des noctules communes

L'influence de la lumière artificielle sur les chauves-souris a été montrée lors d'une expérience sur les noctules. Des chercheurs de l'Institut Leibniz pour la recherche sur la faune sauvage et de zoo (IZW) ont équipé en 2019 des noctules communes de mini émetteurs GPS et ont enregistré leurs trajectoires de vol dans le ciel de Berlin. Ils ont constaté que les noctules privilégient les parties obscures de la ville et évitent les zones construites vivement éclairées. Les couloirs sombres comme les forêts urbaines, les parcs ou les cours d'eau jouent un rôle très important pour atteindre les terrains de chasse et les gîtes. Quelques autres espèces de chauves-souris réagissent même encore davantage à l'éclairage artificiel.

lièrement attirantes pour les oiseaux migrateurs, même au sein d'un environnement déjà diffusément éclairé. Les bâtiments ou les constructions les plus hauts ne sont pas seuls concernés. Des observations de nombreuses trajectoires de vol et de collisions nocturnes ont également été réalisées pour des bâtiments administratifs et d'habitations de quelques étages de haut situés dans le halo lumineux urbain, ainsi que de petites cabanes isolées situées dans un environnement sombre. Cela montre que c'est finalement l'exposition des sources lumineuses par rapport aux trajectoires des oiseaux qui compte. Même si la hauteur et l'exposition d'une source lumineuse la rend plus dangereuse pour les oiseaux migrateurs, ces critères n'en sont pas les conditions exclusives.

Les principales périodes de la migration des oiseaux en Europe centrale sont légèrement décalées entre le nord-est et le sud-ouest selon les régions, et durent en principe de début février à fin mai et de mi-juillet à fin novembre. Des variations sont possibles selon les condi-

tions météorologiques. Les oiseaux migrateurs peuvent donc être victimes de l'éclairage artificiel presque toute l'année. C'est toutefois pendant l'automne, en octobre et en novembre, que ces accidents sont les plus fréquents car c'est à cette période que les flux migratoires sont à leur maximum, que les vols se font souvent à plus basse altitude à cause de vents contraires, et que les conditions météorologiques deviennent plus difficiles avec l'arrivée de nuages et de brouillard.

Chauves-souris

Les chauves-souris évitent la lumière, sans quoi elles seraient facilement repérées par les prédateurs que sont les rapaces diurnes et nocturnes. L'éclairage des trous d'envol dans les gîtes de chauves-souris, comme on en trouve par exemple dans les combles des églises, est particulièrement problématique. Cela complique l'envol des animaux hors des gîtes et réduit ainsi le temps qu'ils peuvent consacrer à la recherche active de nourriture, ce



Les combles illuminés des églises compliquent l'envol des chauves-souris. L'éclairage de la végétation et des berges des étendues d'eau est aussi un problème pour les poissons et les insectes.

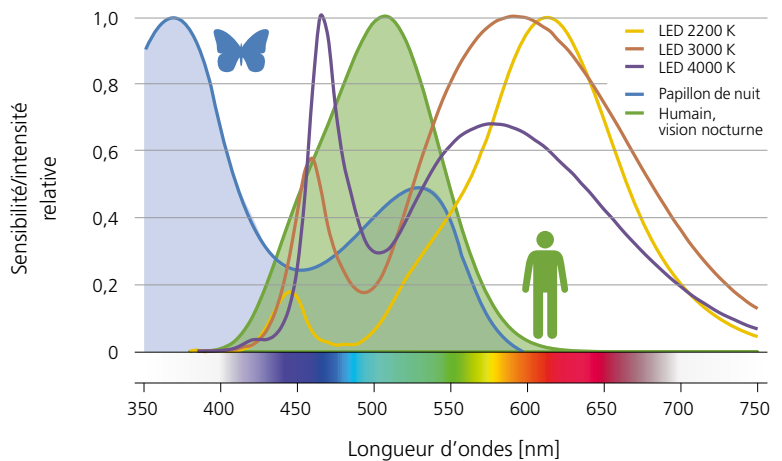
qui à son tour peut limiter le succès de reproduction. Il arrive que des chauves-souris abandonnent leur gîte après l'installation d'un éclairage. Dans des cas extrêmes, des animaux meurent de faim ou de soif sur place.

Lorsqu'elles cherchent à se nourrir ou qu'elles se déplacent, les différentes espèces de chauves-souris ne réagissent pas de la même manière à la lumière. Nombre d'entre elles évitent les zones éclairées, alors même qu'il s'y trouve davantage d'insectes et donc de nourriture. Un seul tronçon de rue peut déjà représenter une barrière insurmontable. La présence de sources lumineuses sur les structures paysagères linéaires qu'elles suivent pour s'orienter en migration entraîne des répercussions à grande échelle. L'éclairage des ponts ou des berges des étendues d'eau doit être considéré comme particulièrement problématique, ne serait-ce que pour cette raison, mais aussi pour la protection des autres espèces animales vivant dans et autour de l'eau.

Insectes

Comme les molécules odorantes, la lumière de la lune et des étoiles joue un rôle essentiel pour l'orientation des insectes nocturnes volants, et détermine aussi certaines étapes importantes de leur cycle de développement. Le rayonnement ultraviolet, en particulier, et les ondes courtes de la lumière également visible par les humains (violet, bleu à vert) attirent ces insectes, car nombre d'entre eux ont des yeux particulièrement sensibles à cette gamme. Très souvent, ils sont attirés par les sources de lumière et y trouvent la mort. Ils sont brûlés, succombent au choc ou meurent d'épuisement. Lorsqu'ils se posent sur une façade éclairée ou dans la rue, ils sont souvent victimes de prédateurs ou du trafic. Sur les plus de 4000 espèces de papillons d'Europe centrale, pas moins de 85 % sont nocturnes. L'éclairage artificiel, les changements environnementaux et l'effet des pesticides ont provoqué une baisse radicale des populations de nombreuses espèces de papillons de nuit, mais aussi d'autres insectes, et ont poussé plusieurs espèces au bord de l'extinction.

Et pourtant, les insectes remplissent des fonctions indispensables en tant que maillons de la chaîne alimentaire et pollinisateurs de plantes à fleurs – y compris celles qui nous nourrissent. Les conséquences



Plus les émissions des LED s'approchent de la sensibilité maximale de l'œil du papillon de nuit, plus la source de lumière est attirante pour ces insectes. La sensibilité maximale de l'œil humain, de nuit, se situe vers 500nm. Crédit: A. Hänel (modifié)

néfastes de l'éclairage artificiel sur d'innombrables espèces animales, mais aussi sur les êtres humains, peuvent être minimisées par des solutions techniques et des prises de mesure dans l'exploitation.

Planification de l'éclairage

La lumière artificielle doit permettre aux humains de se sentir en sécurité et de poursuivre une vie sociale dans l'espace public même le soir et la nuit. La lumière a cependant aussi un impact sur notre environnement, car les immissions lumineuses ont des conséquences négatives variées sur la faune, la flore – et les humains. L'art de planifier l'éclairage consiste principalement à concevoir, avec un nombre restreint de points de lumière à hauteur limitée, un éclairage homogène sans éblouir les utilisateurs. Les îlots de lumière vive dans un environnement sombre sont très désagréables y compris pour les humains, voire dangereux parce qu'ils forcent l'œil à s'adapter continuellement à des conditions de luminosité différentes.

Il est urgent de passer à une planification écologique de l'éclairage. La luminosité du paysage nocturne augmente globalement de 2 % à 6 % par année. Chaque nouvel éclairage extérieur, chaque adaptation d'éclairage existant doit donc faire l'objet d'un examen critique en termes de nécessité. Les éclairages « cosmétiques » des édifices devraient ainsi être des exceptions. Les éléments naturels comme les arbres et autres plantes, les étendues d'eau ou les formations rocheuses ne doivent pas être illuminés du tout. Le principe est simple : c'est éteinte qu'une lumière convient le mieux aux organismes sauvages nocturnes.

Luminaires

La lumière dirigée à l'horizontale et vers le haut, porte très loin et a donc un impact énorme sur les insectes et les oiseaux. Sous l'angle de la protection de la nature et de l'environnement, les luminaires de type « full cutoff » sont recommandés : installés correctement, ils ne

L'exemple de la réduction de la biomasse en insectes

En 2017, la publication d'une étude à long terme a fait sensation dans le grand public. Des entomologistes ont étudié et documenté depuis 1989 l'évolution des populations d'insectes dans un total de 63 régions des Länder de Rhénanie-du-Nord-Westphalie, Rhénanie-Palatinat et Brandebourg. Ils ont constaté qu'en 27 ans, le volume total des insectes volants avait diminué de plus de 75 %. On estime que 150 milliards d'insectes (= 150 000 000 000) meurent chaque année rien que sur les luminaires de rue en Allemagne.



Dans le parc au premier plan, seuls les chemins sont éclairés, là où la lumière est projetée vers le bas. À l'arrière-plan, les nombreuses sources lumineuses éclairent aussi le ciel nocturne et contribuent ainsi à la pollution lumineuse.

Exemple de la pollution lumineuse à Vienne

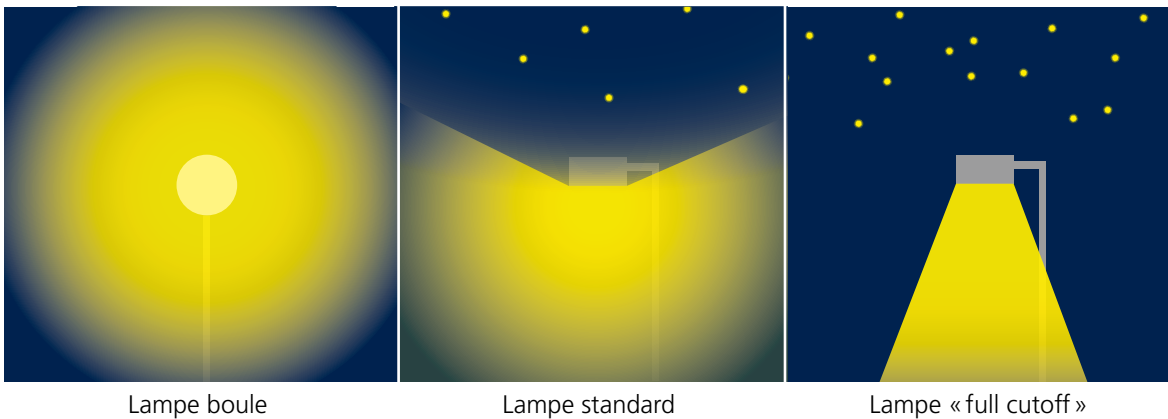
Une étude de l'office viennois de l'environnement (WUA) a montré qu'à Vienne en 2011, deux tiers de la pollution lumineuse était causée par les vitrines des commerces, les projecteurs et autres éclairages visant à créer des effets, tandis qu'un tiers seulement provenait de l'éclairage public, bien que ce dernier occupe deux tiers des points d'éclairage. Un éclairage public moderne n'est donc responsable que d'une partie relativement limitée de la lumière nocive.

diffusent pas de lumière horizontalement. Si les lampadaires sont bas, des points de lumière supplémentaires sont nécessaires pour obtenir le même éclairage sur la surface, mais la dispersion et l'éblouissement sont réduits. Le rayonnement doit être dirigé de haut en bas. Une focalisation du cône de lumière sur l'objet à éclairer contribue également à diminuer la pollution lumineuse. Pour protéger les insectes, des corps lumineux abrités dans un boîtier fermé et une température de surface ne dépassant pas 60°C ont fait leurs preuves. L'International Dark Sky Association délivre des certificats pour les luminaires respectueux de l'environnement (darksky.org/our-work/lighting/lighting-for-industry/dfa/).

Corps lumineux

Les corps lumineux installés dans les lampadaires sont responsables de la qualité de la lumière émise. Des

lumières de même température de couleur peuvent présenter des compositions spectrales différentes. Par conséquent, la température de couleur d'un corps lumineux, donnée en kelvins, ne permet pas à elle seule de déduire quelle est la partie des ondes courtes du spectre d'émission qui est problématique, notamment pour les insectes. Aujourd'hui, le marché est dominé par les diodes électroluminescentes (LED). Leur coût énergétique très bas ne signifie cependant pas forcément qu'elles sont écologiques, car elles peuvent aussi contribuer à la pollution lumineuse et porter préjudice aux organismes sauvages. Lorsqu'il est nécessaire par exemple d'éclairer des zones résidentielles très végétalisées, il convient d'utiliser des LED ambrées donnant une lumière jaune (température de couleur env. 1800–2200 kelvins). S'il faut exceptionnellement éclairer des chemins dans la verdure, les LED ambrées à bande étroite sont à privilégier. Pour les situations où il est important que les couleurs soient bien identifiées, on peut aussi utiliser dans les zones construites des LED aux températures de couleur blanc chaud (max. 2700 kelvins). La lumière blanc froid, étant donné sa proportion élevée de bleu, ne devrait plus être utilisée nulle part. Les sources de lumière des LED étant presque réduites à des points, il faut être particulièrement attentif à éviter les éblouissements. Des luminaires LED de qualité et focalisant bien la lumière sont donc indispensables. Les lampes à LED sont facilement réglables. Adapter la luminosité aux besoins grâce à des détecteurs de mouvement ou des variateurs d'intensité per-



Les lampes boule éclairent dans toutes les directions avec la même intensité. Les insectes nocturnes sont très fortement attirés et les étoiles en sont atténuées. Les lampes standard sont certes couvertes, mais elles émettent toujours de la lumière latérale loin à la ronde. Les lampes conçues selon des principes écologiques ne diffusent la lumière que vers le bas et pas du tout à l'horizontale, ce qui optimise l'efficacité et la distribution lumineuses (« luminaires full cutoff»). Source: Büro Brauner (modifié)

met d'économiser de l'énergie, de ménager davantage les organismes sauvages et de réduire la pollution lumineuse globale. Il faut cependant toujours veiller à ne pas annuler les économies d'énergie par l'accumulation de luminaires. Si l'on remplace des lampes à vapeur de sodium basse pression, qui ménagent les insectes, par des luminaires à LED, il faut que ces derniers présentent un spectre d'émission contenant peu ou pas de bleu (moins de 2700 kelvins, dans l'idéal moins de 2200 kelvins), pour ne pas créer de pièges à insectes.

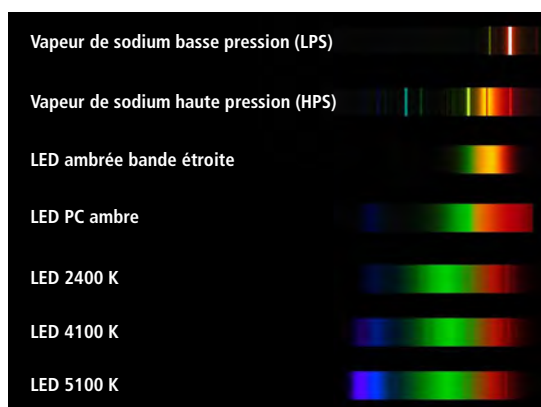
Mesures d'exploitation

L'éclairage artificiel à l'extérieur ne doit en général être utilisé que là où il est vraiment nécessaire, avec l'intensité et la durée nécessaires. Dans les lieux moins fréquentés, l'installation de détecteurs de mouvement, de minuteries ou de variateurs d'intensité est une option. Le réglage des luminaires doit être vérifié régulièrement.

La lumière intérieure rayonnant vers l'extérieur peut aussi s'ajouter à la pollution lumineuse si au-

cune mesure n'est prise pour en limiter l'effet. Les stores qui se baissent automatiquement à la tombée du jour et sont ouverts manuellement le matin sont une solution, tout comme les rideaux opaques et une utilisation de la lumière adaptée aux besoins.

Les oiseaux migrateurs au repos peuvent être perturbés dans leur rythme jour-nuit. Les sources de lumière exposées détournent les oiseaux de leur route et parfois les attirent, les amenant à s'écraser contre des vitres ou d'autres obstacles. Au minimum en période de migration, nous recommandons des mesures préventives notamment pour les édifices exposés du fait de la topographie, comme le long des côtes, au bord des eaux intérieures ou sur les cols, mais aussi pour les immeubles hauts visibles de loin. Les éclairages qui ne répondent pas à des impératifs de sécurité peuvent être totalement éteints, ou au minimum entre 22 h et le lever du soleil. De même, les stores devraient être fermés dès la tombée de la nuit. Quant aux signaux lumineux servant à assurer la sécurité aérienne sur les hauts bâtiments, il faut privilégier un balisage dont les phases sombres sont les plus longues possibles et les phases lumineuses les plus courtes possibles, plutôt que des sources de lumière rotatives et surtout allumées en permanence. Sous l'angle de la protection des oiseaux, la lumière scintillante est plus appropriée que la lumière clignotante.



Spectres lumineux de différentes sources de lumière: vapeur de sodium basse pression (LPS), vapeur de sodium haute pression (HPS) et LED de différentes températures de couleur. Illustration des spectres: Flagstaff Darksky Coalition (<http://www.flagstaffdarkskies.org/for-wonks/lamp-spectrum-light-pollution>).

L'exemple du Jungfrauoch

Un éclairage « décoratif » extrême a été construit au Jungfrauoch, un col des Alpes dans l'Oberland bernois (3471 m d'alt.). L'extinction du projecteur éclairant l'observatoire (le « Sphinx ») pendant les nuits à brouillard a donné de bons résultats. Cette mesure très simple a permis de sauver la vie de très nombreux oiseaux migrateurs.

6 En résumé

6.1 Catalogue des interventions

Éviter les surfaces vitrées problématiques

- pas de parois transparentes isolées
- pas d'éléments en verre ou en métal fortement réfléchissants
- pas d'angles vitrés ou de grandes vitres se faisant face et laissant passer la vue (fréquent p.ex. dans les cages d'escalier, les passages, chez les concessionnaires automobiles)
- utilisation de verre translucide ou profilé, de briques de verre ou de matériaux opaques (p.ex. garde-corps en métal)
- utilisation de revêtements de façades fixes composés de lamelles, de treillis en bois ou de grillages métalliques

Marquer efficacement les surfaces vitrées inévitables

- utilisation de marquages classés « hautement efficaces »
 - les parois vitrées isolées peuvent être marquées sur n'importe quel côté
 - lorsqu'il y a des reflets, le marquage doit être apposé en principe du côté extérieur de la vitre (exceptions possibles conformément aux rapports de test concernant les produits jugés « hautement efficaces »)
 - les marquages doivent présenter de vifs contrastes par rapport à l'arrière-plan (couleurs ayant fait leurs preuves : noir, blanc, orange et gris métallisé)
 - en cas d'effet peu contrasté (par exemple marquages semi-transparents de type verre dépoli), le taux de couverture requis est de 20 % à 25 %
 - critères pour des marquages hautement efficaces, lorsque le contraste est maximal :
 - lignes horizontales : min. 3 mm d'épaisseur, avec 50 mm d'écart entre les bords des lignes
 - lignes verticales : min. 5 mm d'épaisseur, avec 100 mm d'écart entre les bords des lignes
 - points noirs : min. 10 mm de diamètre, avec trame de 90 mm
 - points métalliques réfléchissants : min. 9 mm de diamètre, avec trame de 90 mm
 - le marquage doit s'étendre sur la totalité de la surface vitrée
 - seuls les marquages testés garantissent une protection hautement efficace des oiseaux !
-

Réduire les atteintes dues à l'éclairage artificiel

- seulement là où il est nécessaire
 - seulement avec l'intensité nécessaire
 - seulement quand il est nécessaire
 - pas d'éclairage d'éléments naturels
 - éviter l'éclairage d'édifices dans la mesure du possible, ou sinon le limiter à certaines heures et saisons, et focaliser le cône de lumière sur l'objet à illuminer
 - privilégier l'éclairage du haut vers le bas
 - utiliser des luminaires couverts, dans des boîtiers fermés
 - limiter la température de la surface à 60°C
 - pour protéger les insectes, réduire au minimum la part d'ondes courtes dans le spectre d'émission, et y renoncer totalement dans les zones proches de la nature
 - ne pas éclairer les bâtiments abritant des gîtes de chauves-souris avec trous d'envol
 - éviter l'émission de lumière de l'intérieur des bâtiments vers l'extérieur
-

6.2 Vitres dangereuses

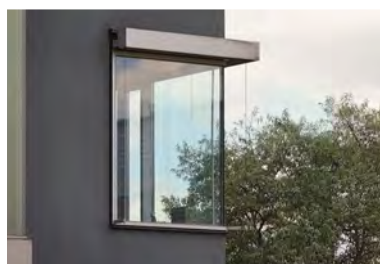
Quelles sont les parties d'un bâtiment qui présentent les plus gros risques de collision pour les oiseaux ? Les surfaces vitrées transparentes qui font croire à un passage possible, et les milieux naturels reflétés par les vitres entraînent des collisions. L'illustration ci-dessous montre les points critiques dans plusieurs zones des bâtiments.





1 Barrière

Les éléments transparents posés isolément sont très dangereux pour les oiseaux.



2 Angle vitré

Les angles de bâtiments en verre donnent l'impression que l'on peut les traverser.



3 Garde-corps

Les protections transparentes contre les chutes ne peuvent souvent pas être repérées par les oiseaux.



4 Grande fenêtre

Les grandes surfaces vitrées aggravent nettement le risque de collision causé par les reflets.



5 Abri pour vélos

Les abris en verre transparents représentent un obstacle dangereux.



6 Jardin d'hiver

La présence des oiseaux dans nos jardins est appréciée, mais ils trouvent ici un piège mortel.



7 Paroi anti-bruit

Les parois vitrées anti-bruit insuffisamment marquées sont extrêmement dangereuses pour les oiseaux.



8 Abris

Les abris de transports publics dénués de marquage efficace sont aussi très dangereux.



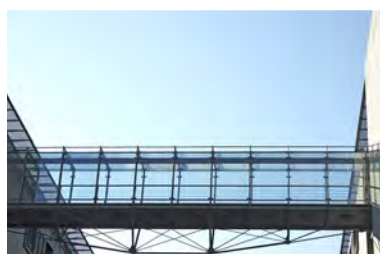
9 Façade vitrée

Les grandes façades vitrées présentent de grands reflets et un danger accru pour l'avifaune.



10 Barrière antichute

Censée être un gage de sécurité, elle est pour les oiseaux un danger mortel, même sur le toit.



11 Passerelle/passage

Le verre invisible pour les oiseaux représente sur les passerelles un obstacle dangereux sur leur trajectoire de vol.



12 Façade rideau/fenêtres en bandeau

Par rapport aux façades percées, les reflets sont plus grands et donc plus problématiques.

6.3 Solutions ménageant les oiseaux

De nombreux pièges classiques peuvent être remplacés par d'autres matériaux. Si l'on construit malgré tout avec du verre transparent ou réfléchissant, les vitres potentiellement dangereuses doivent être munies de marquage de protection des oiseaux pour limiter au maximum les collisions. Il existe toutes sortes de solutions qui n'entraînent pas d'inconvénients notables pour les utilisateurs.





1 Barrière

Pour délimiter le terrain, il existe de nombreuses alternatives ménageant les oiseaux.



2 Angle vitré

Les angles de bâtiments peuvent être munis de marquages qui les rendent visibles par les oiseaux.



3 Garde-corps

Comme pour les barrières, il existe de nombreuses alternatives au verre pour les garde-corps.



4 Grande fenêtre

Avec des marquages, les grandes surfaces réfléchissantes peuvent être rendues inoffensives pour les oiseaux.



5 Abri pour vélos

Les collisions d'oiseaux peuvent être évitées avec du verre translucide ou marqué.



6 Jardin d'hiver

Seule solution ici pour protéger les oiseaux: des marquages hautement efficaces.



7 Paroi anti-bruit

Les parois anti-bruit transparentes avec marquage devraient être la norme aujourd'hui.



8 Atribus

Marquage efficace et sentiment de sécurité sont facilement conciliables.



9 Façade

Une protection des oiseaux efficace ne doit pas se faire au détriment de la qualité des habitations.



10 Barrière anti-chute

Les barrières marquées préviennent la collision d'oiseaux.



11 Passerelle/passage

Il existe différentes variantes de passages inoffensifs pour les oiseaux.



12 Façade rideau/fenêtres en bandeau

Les fenêtres en bandeau réfléchissantes doivent être marquées ou remplacées par d'autres types de façade.

Autres sources d'information

Vitres

www.vogelglas.vogelwarte.ch/fr/home
www.wua-wien.at
www.bund-nrw.de/themen/vogelschlag-an-glas
www.lbv.de/ratgeber/lebensraum-haus/gedahren-durch-glas
www.birdlife.ch/fr/content/oiseaux-et-vitres
www.birdsandbuildings.de
www.lfu.bayern.de/natur/vogelschutz/vogelschlag/index.htm
www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/helfen/01079.html
www.abcbirds.org/glass-collisions
www.birdsafe.ca
www.nycaudubon.org/our-work/conservation/project-safe-flight/bird-friendly-building-design

Lumière

www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/electrosmog/info-specialistes/emissions-lumineuses--pollution-lumineuse-.html
www.helldunkel.ch
www.hellenot.org
www.lichtverschmutzung.de
www.darksky.org
www.flap.org
www.wua-wien.at

Autres liens

www.vogelwarte.ch/fr/home
www.wua-wien.at
www.bund.net
www.lbv.de
www.birdlife.ch/fr
www.lipu.it
www.lpo.fr
www.bfn.de
www.vogelschutzwarten.de
www.darksky.ch/dss/fr
www.ornitologia.org/ca
www.seo.org

Adresses de contact pour des conseils spécialisés

Les institutions suivantes sont disposées, dans la mesure de leurs possibilités, à prodiguer des conseils dans leurs domaines de compétence. Elles ont besoin de plans de construction, de visualisation et/ou de photos des bâtiments concernés, y compris leurs environs. Les surfaces vitrées sont à marquer clairement sur les plans.

Suisse

Schweizerische Vogelwarte
Seerose 1
6204 Sempach

Tél. (+41 41) 462 97 00
glas@vogelwarte.ch

BirdLife Schweiz
Postfach
Wiedingstr. 78
8036 Zürich

Tél. (+41 44) 457 70 20
glas@birdlife.ch

France

LPO France
8 rue du Dr Pujos - CS90263
17305 Rochefort Cedex

Tél. 05 46 82 12 34
po@lpo.fr

Autriche

Wiener Umwelthanwaltschaft
Muthgasse 62
1190 Wien

Tél. (+43 1) 379 79
post@wua.wien.gv.at

