

Dix questions sur l'école de demain

1 Programmation

Quelles écoles pour demain ?

L'école est aujourd'hui en train de changer. Pas seulement dans son organisation, mais également dans son architecture, sa spatialité et sa construction. Plusieurs changements sociétaux (les rythmes scolaires en premier lieu) doivent aujourd'hui y trouver une traduction juste et pertinente. Car en plus d'être un lieu d'enseignement, l'école représente le cadre dans lequel l'enfant passe la plus grande partie de son temps, y compris pour des activités annexes et de loisirs. Dès lors, des notions de santé, liées par exemple à la qualité de l'air intérieur, de la lumière ou de l'acoustique, sont convoquées...

En parallèle se greffent des questions de gestion des équipements, notamment en raison des contraintes croissantes de rigueur budgétaire et de raréfaction des ressources. Comment les problématiques de performance énergétique et de maintenance réduite sont-elles devenues aujourd'hui des nécessités ? À tout cela s'ajoute une question sécuritaire de plus en plus complexe à résoudre, d'autant qu'elle va à l'encontre de la notion d'école ouverte et accueillante. À quoi ressembleront donc les espaces pédagogiques de demain ?

Comment les programmes des maîtres d'ouvrage ont-ils évolué au fil du temps ?

Nous avons tous une image immédiate de l'école, reflet de notre propre expérience d'enfant. Aussi loin que remontent ces souvenirs, nous pensons l'école comme un lieu institutionnel, solennel, marquant de sa présence – souvent forte – le quartier, la commune et la ville. Le modèle républicain de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècle – rigide, symétrique, aux frontons caractéristiques – est encore bien présent sur nos territoires. Cette école, qu'il était difficile de distinguer des casernes militaires, était pensée avant tout en opposition avec le monde extérieur, malgré ses grandes fenêtres et ses volumes imposants.

Dans les années d'après-guerre et jusque dans les années 1980, des modèles d'écoles standardisées et industrialisées sont apparus sous la pression démographique croissante. L'exemple le plus savant est l'école des frères Prouvé, qui fut construite à Vantoux (Moselle). Malgré cet exemple illustre, ces écoles restent souvent des établissements simples, monolithiques et très rigoureux dans leur organisation, leur but premier étant

de proposer rapidement un grand nombre de places d'accueil et d'enseignement.

Dans les années 1990, au fil de l'évolution des programmes et des méthodes d'apprentissage, mais également sous l'impulsion des nouvelles technologies, ces deux modèles se sont révélés inadaptés. Outre une faiblesse thermique inhérente évidente, leur trop grande rigidité spatiale a également révélé une difficulté à s'adapter aux nouveaux besoins. Surtout, des alternatives ont été développées, en France et ailleurs, afin que les espaces scolaires ne soient plus de simples contenants, mais deviennent au contraire des lieux d'apprentissage accompagnant le développement de l'enfant.

À présent, les programmes portés par les maîtres d'ouvrage favorisent la modularité, la mixité, la mutualisation et l'évolution. Pour cela, on réduit le prisme de la conception en interrogeant plus spécifiquement la salle de classe. Celle-ci devient alors soit une juxtaposition de micro-lieux dédiés à des activités spécifiques (lecture, travail sur ordinateur, dessin...), soit un ensemble neutre, de taille standardisée, mais susceptible de se transformer, d'un jour à l'autre et selon les besoins, en classe maternelle, en classe élémentaire ou encore en salle de réunion.

Pour en savoir plus

Comment traduire la psychologie positive à travers l'architecture ?

Pour bien comprendre l'intérêt d'associer architecture et réflexion pédagogique, prenons comme exemple l'une des méthodes adoptées par plusieurs établissements : la psychologie positive. Cette approche se définit par cinq grands axes que l'on cherche à développer chez l'enfant :

- l'émotion positive (capacité à être optimiste) ;
- l'engagement (sentiment de pleine participation) ;
- les relations positives (capacité de développer la bienveillance et l'empathie) ;
- les sens (travail sur la perception sensorielle) ;
- l'accomplissement (développer la satisfaction personnelle plutôt que l'esprit de compétition).

Ils peuvent s'acquérir par un apprentissage important basé sur la lecture, des exercices en groupes, des débats, des discussions et des actions communes. Dans la classe, cela se traduit par la création de différents espaces (fig. 1) :

- un espace agora permet la prise de parole en public : si le travail en groupe est privilégié, il doit être fait à l'écart afin de développer l'autonomie et la conscience collective loin du regard de l'adulte ;

- une zone consacrée à la lecture où l'élève peut s'isoler, comme dans un cocon : l'acoustique y est renforcée et la lumière soignée ;
- un espace d'expérimentation manuelle permettant aux élèves de tester des idées.

Ces ensembles étant difficilement compatibles avec les anciens modèles, on comprend mieux, dès lors, la nécessité de disposer d'espaces et de lieux spécifiques permettant d'encadrer ces travaux, de la maternelle au secondaire.

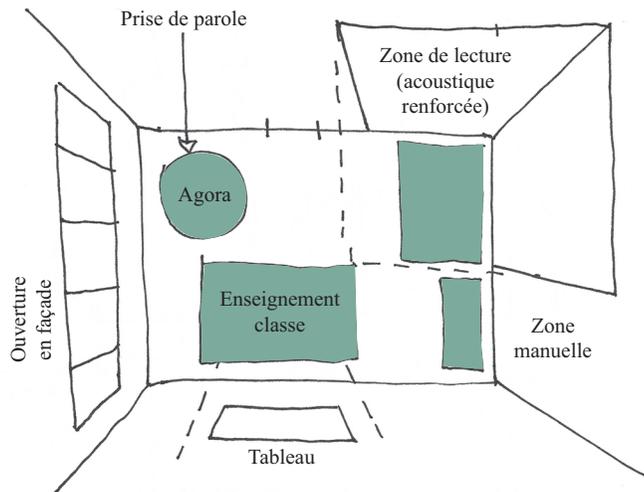


Fig. 1. Les différents espaces à l'intérieur de la salle de la classe traduisant la psychologie positive.

Quels sont les nouveaux espaces caractéristiques des établissements contemporains ?

Les élèves passent aujourd'hui une grande part de leur temps hebdomadaire en milieu scolaire et périscolaire, conséquence évidente des évolutions sociétales. Les nombreuses modifications des rythmes scolaires, couplées à une économie de moyens financiers et une volonté de réduction des déplacements, ont ajouté des activités parallèles à la fonction traditionnelle d'apprentissage, allant du centre de loisirs à l'accueil périscolaire en passant par la restauration.

Désormais, les programmes adjoignent systématiquement aux traditionnelles salles de classe de grandes salles de motricité, d'activité physique ou autres salles polyvalentes. La bibliothèque s'est quant à elle transformée en bibliothèque centre de documentation (BCD), avec une place importante dédiée au numérique.

L'atelier constitue un autre de ces nouveaux lieux. De taille souvent réduite, il permet l'apprentissage d'activités artistiques en petits groupes. Ce lieu est pensé comme une extension de la salle principale, permettant par exemple de diviser une classe de maternelle en deux groupes (fig. 2).

Ces nouvelles fonctions induisent un type nouveau de personnel, qu'il s'agisse des agents territoriaux spécialisés des écoles maternelles (Atsem), destinés à seconder les enseignants des

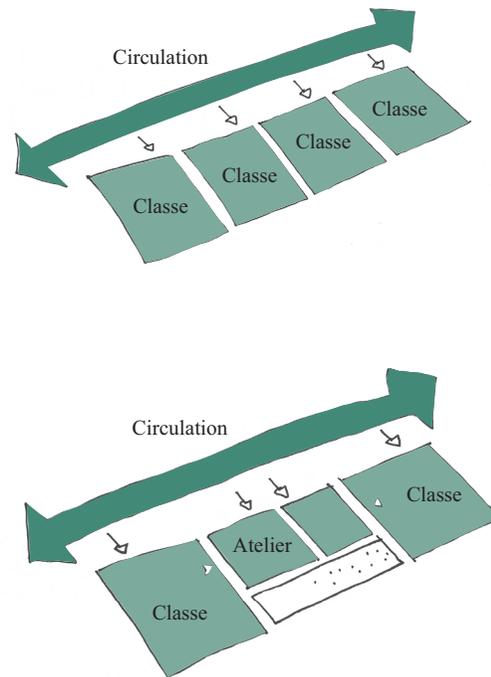


Fig. 2. Ajout des ateliers dans les nouveaux groupes scolaires.

classes maternelles, ou encore du personnel d'accueil de garde du périscolaire. Une augmentation des surfaces dédiées à ces professionnels (vestiaires, salles de repos, bureaux, etc.) est donc notable.

En dehors des aspects liés à l'espace, la typologie de ces nouveaux lieux influe également sur leur taux d'occupation et leur temporalité. En effet, les activités annexes qu'ils accueillent s'effectuent en parallèle du temps scolaire, faisant ainsi émerger un nombre important de problématiques nouvelles, telles que la gestion des accès ou celle de leur contrôle. Le problème de la régulation thermique de ces espaces doit également être résolu. Comment gérer, par exemple, la ventilation d'une salle de motricité inoccupée pendant 3 heures, qui accueille soudainement une centaine d'élèves pratiquant des activités physiques et réchauffant ainsi de manière sensible le lieu ?

Pour en savoir plus

Le groupe scolaire, un lieu fédérateur du quartier ?

Certains programmes de nouveaux groupes scolaires traduisent une volonté des décideurs d'ouvrir les écoles aux habitants du quartier afin de transformer celles-ci en véritables lieux de cohésion sociale.

Ainsi, une salle polyvalente destinée aux enfants pendant la journée peut devenir, le soir ou le week-end, un lieu de rassemblement pour les associations. De même, une bibliothèque centre documentaire (BCD) peut servir la journée aux habitants, tout en permettant le prêt de livres aux enfants. Une réflexion analogue s'applique pour les espaces extérieurs et les terrains de sport. Il peut ainsi paraître pertinent, en vue de favoriser le brassage



intergénérationnel, de mutualiser par exemple un jardin pédagogique avec un établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad) (fig. 3).

La réflexion sur la mutualisation et la mixité portée par les nouveaux programmes scolaires peut ainsi parfaitement déborder le cadre strict de l'école.

Mais là encore, une réflexion sur les accès et les contrôles est à mener afin d'assurer une parfaite sécurité des élèves. Ces tiers-lieux ne peuvent en effet fonctionner qu'à la condition d'être parfaitement autonomes en ce qui concerne la sécurité incendie, tout en étant conformes aux dispositions réglementaires relatives à l'accessibilité des bâtiments. Il s'agit là de contraintes importantes qui ne peuvent être négligées.

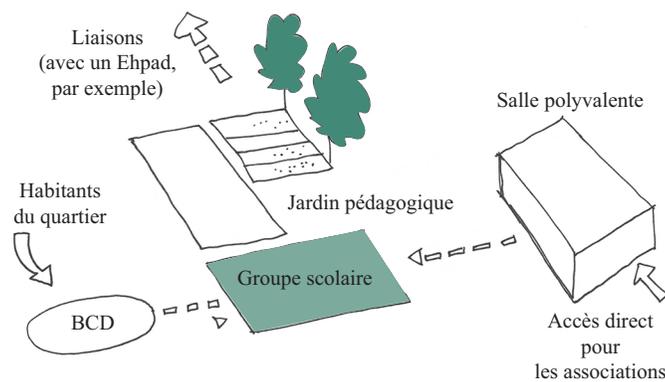


Fig. 3. Exemple de mutualisation possible autour d'un groupe scolaire.

2 Conception

Comment gérer l'apport de lumière et de chaleur ?

La lumière constitue l'un des éléments architecturaux les plus importants. L'apport de la lumière naturelle est ainsi capital, et doit sans cesse être privilégié.

Or, l'une des grandes problématiques d'un programme de construction d'une école concernant la lumière est l'orientation du bâtiment : si l'on souhaite privilégier une conception bioclimatique reposant sur un apport important de lumière naturelle, la question de l'orientation au sud des locaux se pose. Comment en effet emmagasiner de la chaleur sans surchauffer ? Tout est ici question d'équilibre...

La lumière du nord est la plus adaptée à un environnement de travail calme et propice à la concentration. Elle éclaire en effet sans éblouir, d'une lumière constante et douce. De grandes baies orientées au nord peuvent ainsi être installées, à modérer toutefois par le calcul des déperditions thermiques.

L'ensoleillement offert par l'orientation au sud procure en revanche beaucoup de chaleur, souvent de manière excessive. D'autant que les périodes de canicule actuellement observées sont, selon de nombreuses prévisions, appelées à devenir à la

fois plus fréquentes et plus longues. Si les façades orientées au sud peuvent donc s'ouvrir, elles doivent cependant être protégées par des éléments tels que des auvents, des brise-soleil ou encore des masques végétaux. Les solutions les plus efficaces sont celles qui peuvent évoluer au fil des saisons en fonction de l'intensité et de l'angle d'incidence des rayons du soleil (fig. 4).

Les orientations est et ouest constituent quant à elles des solutions intermédiaires, à condition toutefois de protéger les façades situées à l'est des éblouissements matinaux – surtout en hiver lorsque le soleil se lève tard – et celles orientées à l'ouest des surchauffes du soir – spécialement en été lorsque le soleil se couche tard.

Dans tous les cas, la lumière naturelle doit être privilégiée, aidée en cela par la volumétrie du bâtiment. Bien que consommateur d'espace, le fait d'orienter une salle de classe dans sa longueur en façade permet généralement de l'éclairer suffisamment en profondeur. Une salle de classe devant de nos jours avoisiner les 60 m², le choix d'une largeur de 6 m maximum permet alors de lui assurer un bon éclairage. Pour d'autres pièces pour lesquelles un éclairage direct en façade est impossible, les baies zénithales et les seconds jours constituent un recours efficace. En effet, ces derniers permettent souvent d'éviter une circulation borgne peu attirante et grande consommatrice de lumière artificielle.

La forme et la dimension des baies ont également leur importance. Tout d'abord, pour que l'enfant ne se sente pas enfermé, il est primordial que les baies soient positionnées à sa hauteur. Également, la vue offerte à travers ces baies s'avère tout aussi essentielle. Si une orientation des classes vers la cour permet ainsi de se protéger des nuisances de la rue, permettre au regard de se porter vers une cour arborée et végétalisée peut également aider à l'apaisement et au bien-être procuré par un environnement naturel.

Certes, le recours à la lumière artificielle reste inévitable, le matin et le soir en hiver, ainsi que les jours où le ciel est couvert.

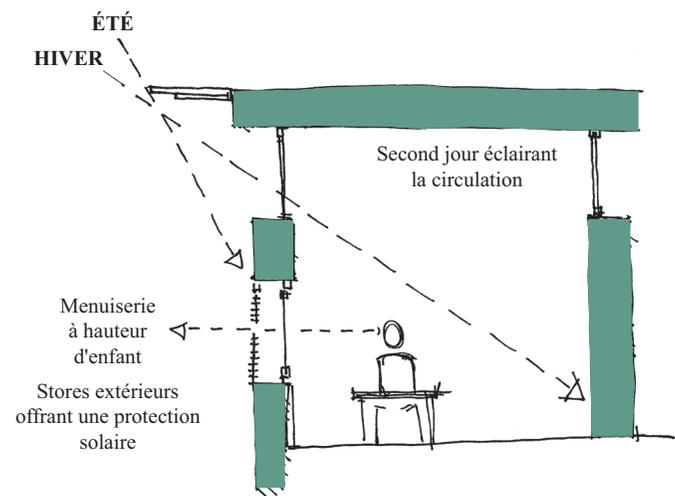


Fig. 4. Gestion de la lumière naturelle et protections à prévoir contre les surchauffes et les éblouissements.

Or, les choix d'éclairage traditionnels dans les écoles françaises ont plutôt tendance à privilégier une lumière diffuse, par le biais de rangées de néons ou de dalles en plafond. Pourtant, des études menées à l'étranger en situation réelle ont démontré qu'une lumière ciblée apportait d'excellents résultats sur la concentration des enfants.

Pour en savoir plus

Quelle influence la lumière a-t-elle sur l'apprentissage ?

Le collectif d'architectes Henning Larsen a développé une série d'expérimentations et d'études autour de la lumière naturelle et artificielle lors de la conception de l'école Frederiksbjerg de la ville d'Aarhus au Danemark.

Ainsi, les menuiseries extérieures sont dimensionnées et positionnées dans les espaces en fonction de l'orientation et de l'ambiance lumineuse à créer, tout en ménageant des vues directes ou, au contraire, des lumières indirectes en partie haute. La concentration d'ouvertures dépend également du type d'espace et de son usage : les pièces de lecture sont ainsi largement éclairées avec de grandes baies vitrées, alors que les salles de classe sont quant à elles plus sombres.

La véritable innovation réside toutefois dans l'éclairage de ces salles d'apprentissage. Les concepteurs, secondés par des chercheurs-doctorants, ont en effet positionné des îlots d'éclairage focalisant la lumière directement au-dessus des tables d'activités destinées au travail en groupe des enfants. Le reste de la salle de classe est placé dans une relative pénombre, créant une dissymétrie de l'ambiance.

Après plusieurs mois d'essais, le dispositif a prouvé deux choses : l'amélioration du travail en groupe et la baisse significative du niveau sonore sans traitement acoustique particulier. Attirés par une source lumineuse chaude, les élèves se rassemblent en effet en un point précis, augmentant d'autant leur capacité de concentration. Les enseignants ont évidemment la main sur la gestion de l'éclairage ; la possibilité de varier l'intensité lumineuse leur permet ainsi de jouer sur le contraste entre ombre et lumière (fig. 5 et 6).

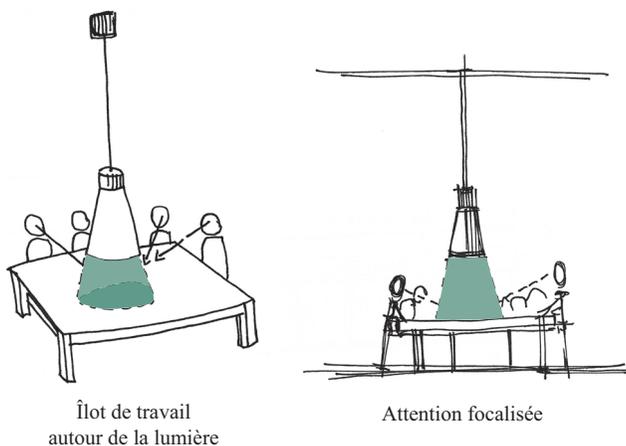


Fig. 5. Îlot de lumière favorisant la concentration.

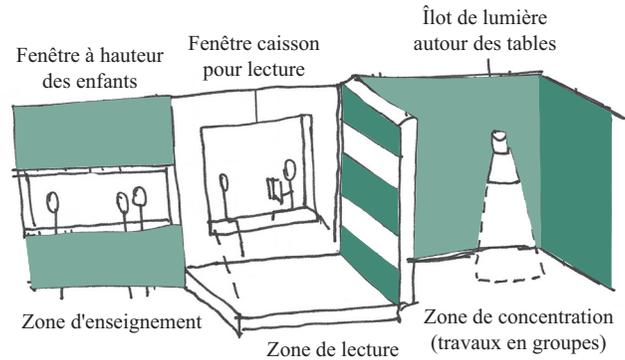


Fig. 6. Zonage des espaces en lien avec la gestion de la lumière.

Comment choisir les matériaux constructifs ?

La matière fait appel à toute la palette du ressenti, même de façon inconsciente. Elle est vue, touchée, sentie, et même le son se répercutant à sa surface est perçu. Pour cette raison, le choix du matériau est particulièrement important, spécialement dans une école. En effet, les plus jeunes enfants, encore au stade de la découverte, ne font pas encore appel à toute l'étendue de leurs sens si tout ce qui les entoure est homogène ou s'apparente à du plastique. À cet âge, les stimuler est essentiel. Quant aux plus âgés, leur expérience leur permet déjà de différencier une ambiance d'une autre et d'apprécier – ou non – les qualités de la matière.

Proposer une variété de matériaux, tel un panel de couleurs, favorise l'expérimentation des enfants. Il ne s'agit pas en ce cas d'étaler un catalogue, mais bien d'adapter la matière à l'usage. Si un mur peint ou carrelé peut sembler nécessaire dans une pièce d'eau pour sa pérennité, un mur en terre peut ainsi parfaitement remplir son rôle d'absorbant acoustique dans une salle de classe ; et si un sol souple peut s'avérer utile en atelier d'arts plastiques, un parquet permet à l'enfant en bas âge d'être au contact d'une matière naturelle en salle de motricité.

L'utilisation de matériaux naturels et bruts, à la fois sains et simples à mettre en œuvre, constitue donc l'intérêt principal de l'enseignement qui peut être transmis aux enfants. Au travers d'ateliers pendant les heures de centre de loisirs par exemple, voire pendant des créneaux de chantiers participatifs, les enfants peuvent être sensibilisés à la matérialité de façon ludique. Pour cela, le béton et le métal ne peuvent être utilisés, contrairement aux briques de terre crue ou à de petites bottes de paille. L'esprit de créativité des enfants peut ainsi être développé sans risque pour leur santé, tout en attisant leur curiosité et, pourquoi pas, en suscitant même des vocations.

Pour en savoir plus

Quels matériaux apportent-ils un confort hygrométrique ?

Passant souvent au second plan dans les critères de confort, le bien-être hygrométrique constituera cependant un enjeu majeur des prochaines années dans nos bâtiments de plus en plus étanches. En effet, l'air contrôlé via des centrales de ventilation



double flux a tendance à être trop sec (à 30 % environ d'humidité relative), pouvant même entraîner à terme des irritations des muqueuses et du système respiratoire.

Avant d'installer des compléments mécaniques complexes, il peut être utile de s'intéresser aux propriétés intrinsèques de certains matériaux naturels. Par exemple, le bois est naturellement hygroscopique (du fait de sa nature interne) et a donc la capacité de réguler l'humidité intérieure tout en maintenant une ambiance stable. Utiliser le plus possible de bois massif (et non sous forme de panneaux ou fermé via une barrière étanche) permet ainsi de maintenir une hygrométrie oscillant entre 40 et 50 %, et de bénéficier par conséquent d'un air ni trop humide, ni trop sec.

L'utilisation de la terre constitue un autre moyen naturel de travailler sur la qualité hygrométrique. L'argile contenue dans le matériau absorbe en effet la vapeur d'eau du local jusqu'à l'équilibre. Celle-ci est ensuite relâchée progressivement lorsque l'humidité relative diminue. Là encore, comme avec le bois, une zone de confort optimale avec 40 à 50 % d'humidité relative est maintenue (fig. 7).

La terre peut être mise en œuvre sous différentes formes, telles qu'une voile de refend (pisé, terre coulée ou adobe), une chape de finition ou encore un enduit de terre. Ce dernier peut par

exemple être appliqué, avec quelques millimètres d'épaisseur, sur un panneau d'argile (produits de type Argilus®, Claytech® ou Agaton®), mais aussi directement sur un mur paille, cette fois avec une épaisseur de plusieurs centimètres.

Comment gérer efficacement la température ?

Durant de nombreuses années, l'accent a été mis, à juste titre, sur la baisse de la dépense de chauffage. Aujourd'hui, la consommation oscille entre 40 kWh/m²/an et 10 kWh/m²/an pour les bâtiments les plus performants, ce qui est relativement peu. Même si de nombreuses mises au point sont encore nécessaires, de même que des améliorations concernant le rendement des appareils, la bataille semble être sinon gagnée, du moins en passe de l'être.

En revanche, les épisodes de canicule de plus en plus longs et de plus en plus précoces ont fait du confort estival un sujet central. Le problème est d'autant plus préoccupant qu'une régulation thermique efficace est difficile à obtenir de manière simple. Pour y parvenir, il convient là encore d'adopter une attitude pragmatique et la première chose à faire est de penser les protections solaires de manière différenciée, en favorisant l'utilisation :

- d'une protection fixe et haute sous forme de casquette au sud ;
- d'une protection mobile sous forme de stores à lames s'adaptant à l'angle des rayons solaires pour les façades ouest et est.

La façade exposée au soleil le matin n'est ainsi pas à négliger ; une menuiserie orientée à l'est peut en effet occasionner une montée en température très rapide d'un local et le rendre impropre à l'occupation pour la journée entière.

L'activation des protections mobiles est confiée de préférence aux enseignants et au personnel des établissements scolaires plutôt qu'à des automates. S'affranchir complètement de ces derniers peut toutefois s'avérer difficile, notamment lors de périodes d'inoccupation des locaux.

Un autre aspect de la réussite du confort d'été est le rafraîchissement nocturne des locaux. De plus en plus d'établissements mettent en place une ventilation naturelle afin de créer des courants d'air traversant les espaces et chasser ainsi les calories emmagasinées durant la journée.

Pour être efficaces, ces installations doivent respecter les règles relatives à la dimension des ouvrants et privilégier les extracteurs en partie haute afin de créer un effet de cheminée. À l'école élémentaire Paul Bayrou de Saint-Antonin-Noble-Val (Tarn-et-Garonne), chaque salle de classe est ainsi équipée d'une menuiserie basculante qui assure un apport d'air neuf tandis que les exutoires, sous forme de fenêtres de toit, sont situés dans les circulations. Un courant d'air rafraîchissant traverse alors l'ensemble des espaces la nuit, rechargeant au passage les « masses » du bâtiment, à savoir la dalle en béton mais surtout le mur en terre crue central. Ces ouvrages, par leur déphasage important, relâchent progressivement cette fraîcheur nocturne pendant la journée du lendemain.

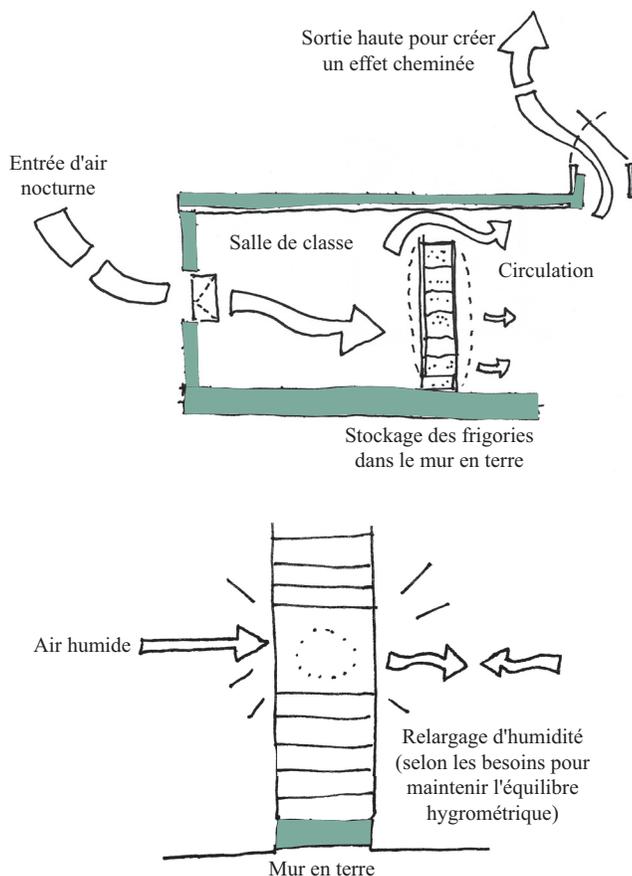


Fig. 7. Usage de la terre crue en lien avec un rafraîchissement naturel.

Néanmoins, la ventilation naturelle nocturne est parfois difficile à mettre en œuvre ; elle impose en effet un transfert d'air entre les salles de classe et les circulations difficilement compatible avec la réglementation incendie applicable aux grands établissements. Pour remédier à cela, chaque salle peut être traitée de manière indépendante, grâce à une entrée d'air basse et une extraction d'air haute. Cet effet de cheminée peut également être provoqué par l'installation de brasseurs d'air. Enfin, le débit de la ventilation peut tout simplement être réglé pour apporter un surplus d'air neuf (fig. 8).

Le dernier aspect à prendre en compte est la qualité des espaces extérieurs, et notamment des lieux de récréation. Il faut ainsi favoriser l'aménagement d'îlots de fraîcheur dans ces espaces de jeux en y installant un maximum d'arbres et de zones de plantations, voire des points et des jeux d'eau. De même, cette question du confort thermique impose de limiter au mieux les surfaces d'enrobé et d'éviter les couleurs foncées ou trop réfléchissantes des parois. De fait, la perméabilité naturelle des sols doit être favorisée.

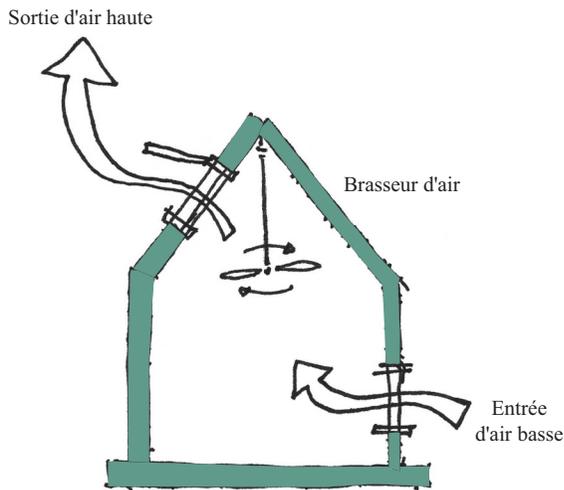


Fig. 8. Création de flux d'air rafraîchissant.

Pour en savoir plus

Comment jouer sur l'effusivité et la diffusivité ?

Généralement, la seule caractéristique prise en compte pour un matériau en contact avec l'extérieur est son λ , c'est-à-dire sa capacité à isoler. Pour un matériau intérieur, en revanche, l'intérêt est plutôt porté sur sa praticité (par exemple sa facilité de nettoyage). Or, on oublie dans le premier cas de prendre en compte la diffusivité du matériau, et dans le second, son effusivité.

La diffusivité représente la vitesse avec laquelle une calorie se déplace à l'intérieur d'une matière. Cette donnée joue grandement sur le déphasage du matériau, c'est-à-dire sur le temps qu'il met à relâcher l'énergie thermique qu'il a emmagasinée. Des matériaux très isolants comme les polyuréthanes ont un

déphasage très rapide, contrairement à la terre, par exemple, qui met toute une nuit à relâcher l'énergie thermique puisée durant la journée. Ces matériaux étant ainsi dotés d'une bonne inertie thermique, ils s'avèrent très utiles en cas de canicule ou de grand froid. En effet, la température du bâtiment est bien plus stable sur la durée ; elle s'équilibre entre le jour et la nuit, évitant ainsi les coups de surchauffe et les besoins intempestifs de chauffage.

L'effusivité, quant à elle, représente la vitesse avec laquelle une matière absorbe les calories. Plus l'effusivité d'un matériau est grande, plus elle absorbe les calories rapidement à l'intérieur de sa masse, et moins sa surface de contact est chaude. Au contraire, plus l'effusivité d'un matériau est faible, moins elle absorbe les calories rapidement à l'intérieur de sa masse, et plus sa surface de contact est chaude. Cette notion a un fort impact sur le ressenti. Par exemple, marcher pieds nus dans une pièce chauffée à 20 °C provoquera une sensation de froid sur du carrelage et non sur du parquet.

L'idéal est de coupler diffusivité et effusivité afin d'assurer un confort optimal à l'enfant. Un mur en terre enduit également de terre offre une température stable et un toucher agréable à tout moment de l'année ; de même, un parquet procure la sensation d'être aussi chaud que l'air circulant dans la pièce.

Comment obtenir une qualité d'air satisfaisante ?

La qualité de l'air que les enfants respirent a un impact primordial pour leur santé. Il est essentiel, pour cette raison, qu'ils soient entourés de matériaux sains. Cela suppose non seulement de privilégier l'utilisation de matériaux naturels bruts, mais aussi de garantir que tous les autres matériaux mis en œuvre nécessitent une transformation moindre. Par exemple, il est préférable d'utiliser de petites sections en bois brut plutôt que du bois lamellé-collé afin d'éviter les émanations de substances nocives telles que les formaldéhydes.

Un bon renouvellement de l'air est également le garant d'un air sain. L'air extérieur est en effet plus pur que l'air intérieur, pollué d'abord par le CO₂ que nous relâchons en respirant, mais aussi notamment par les vapeurs provenant des pièces d'eau ou de préparation des repas, ou encore par les substances émanant des appareils électriques. Tout le monde a vécu l'expérience de l'engourdissement après 2 heures passées dans une salle non ventilée au milieu d'une trentaine de personnes. La ventilation des espaces d'activités est aujourd'hui indispensable dans les programmes des écoles, puisqu'elle garantit non seulement de bonnes conditions sanitaires aux enfants, mais aussi une concentration accrue.

Un seuil maximal de 1 300 ppm (parties par million) de CO₂ est considéré aujourd'hui, ce qui représente un besoin de renouvellement d'air d'environ 15 m³/h/enfant. Or, sans ventilation spécifique dans les espaces, et même si un renouvellement d'air est comptabilisé à l'interclasse, les 4 000 ppm de CO₂ peuvent ainsi facilement être atteintes au bout de 4 heures de cours



seulement. C'est pourquoi il est nécessaire de prévoir une ventilation assurant un apport d'air régulier, afin de maintenir un taux en dessous des 1 000 ppm de CO₂, garantissant ainsi un renouvellement d'air de 2,6 vol/h en moyenne.

Il est également possible de réduire la part de ventilation mécanique – et de réaliser à cette occasion des économies d'énergie sensibles –, mais également de la combiner avec une ventilation naturelle, complétée elle-même, au besoin, par l'usage de puits climatiques (fig. 9).

Un moyen simple consiste à installer dans chaque espace, notamment dans les salles de classe et les salles d'activités, de petits capteurs de CO₂. Ces appareils fournissent un indicateur du taux de ppm immédiat et, en cas d'approche du seuil requis, entraînent l'une des actions suivantes :

- soit une augmentation des débits de ventilation, dans le cadre d'une ventilation double-flux ;
- soit l'ouverture de menuiseries permettant de renouveler l'air, dans le cadre d'une ventilation naturelle.

La question de l'automatisation de ces systèmes se pose alors, et avec elle celle de la gestion des problèmes de maintenance induits. Il peut être intéressant d'adopter ici une démarche *low-tech* en laissant la main aux utilisateurs. Lorsqu'un signal sonore se déclenche, ces derniers peuvent ainsi ouvrir les fenêtres ou forcer la ventilation de manière manuelle. Il s'agit là d'un moyen simple de développer une pédagogie active, tant pour les enseignants que pour les élèves, en les sensibilisant à ce problème.

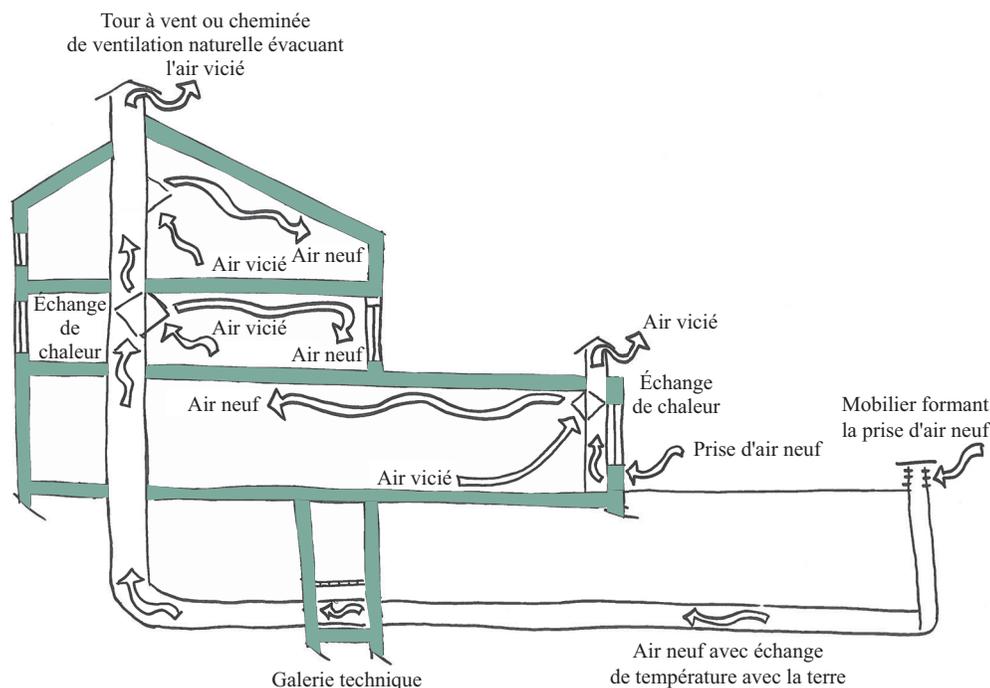


Fig. 9. Travail sur la ventilation naturelle via des puits climatiques et des échangeurs d'air (source : Ville de Rosny-sous-Bois).

Pour en savoir plus

Comment minimiser l'impact des composés organiques volatils (COV) ?

Il existe sur le marché différents matériaux à base de plâtre qui ont la capacité d'absorber les résidus de composés organiques volatils, notamment les formaldéhydes, classés cancérogènes depuis 2004. On les trouve notamment dans les colles des panneaux de particules, les peintures et autres produits dérivés du bois. Les enfants sont particulièrement exposés à ce type de polluants, qui entraînent entre autres des difficultés de concentration et une irritation des muqueuses.

Que ce soit avec la technologie *Activ'Air®* de Placoplatre ou *Capt'Air®* de Siniat, le procédé consiste à intégrer au gypse un composant pour casser la molécule de formaldéhyde, la rendre inerte et la stocker (fig. 10). Des essais réalisés en laboratoire et in situ démontrent qu'environ 60 à 80 % des polluants sont ainsi récupérés.

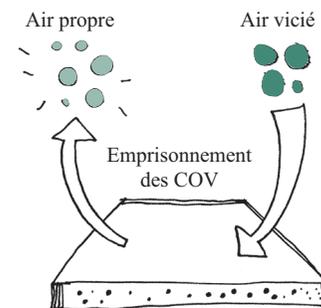


Fig. 10. Absorption des COV.

Ces produits se déclinent en plaques de finition murales, mais également sous forme de dalles de faux plafonds et d'ouvrages acoustiques.

Il est également démontré que l'efficacité de ces plaques est augmentée par l'ajout d'une peinture sans COV microporeuse (telle que celles issues de la gamme Luma de Technic Production), tandis que l'application d'un revêtement fermé de type carrelage annule, à l'inverse, la captation.

De manière générale, ce type de produit est 10 à 20 % plus coûteux qu'une solution standard.

Comment aménager les espaces extérieurs ?

Un retour à la nature constitue une démarche intéressante pour aborder bon nombre de sujets avec les enfants. Cette pédagogie est évidemment plus facilement applicable dans un environnement naturel comme la campagne ou la montagne, mais ses grands principes peuvent également être enseignés en ville. Il est alors important de préserver ou recréer une cour de récréation plus verte – on parle aujourd'hui de « cours oasis » (fig. 11). Cette approche consiste à dé-bitumer au moins une partie de la cour en y insérant un revêtement perméable à l'eau de pluie et à planter davantage. L'objectif est double : éviter les effets d'îlots de chaleur urbains et permettre une approche pédagogique de ces espaces avec les enfants.

Il n'est pas difficile de consacrer une petite partie de la cour à un jardin pédagogique comprenant un potager et des arbustes fruitiers. En outre, un atelier par semaine suffit à l'entretenir. De même, les enfants sont généralement demandeurs d'activités manuelles extérieures. Enfin, d'un point de vue pédagogique, cette démarche leur permet :

- d'une part, d'apprendre à quelle saison poussent les différents fruits et légumes, afin non seulement d'en faire plus tard des consommateurs avertis, mais aussi d'influer d'ores et déjà sur les choix de consommation de leur famille ;

- d'autre part, de goûter leur propre production et de découvrir combien celle-ci est bien plus attrayante qu'un plat de leur cantine.

Cette même cantine fait d'ailleurs, de nos jours, rarement partie du cercle vertueux de l'apprentissage du goût. Elle se résume en effet, de plus en plus, en un simple office de réchauffage de plats préparés livrés par des entreprises spécialisées. Or, ce système industriel implique notamment le recours à un travail à la chaîne astreignant, à des moyens de transport augmentant l'empreinte carbone et à des emballages éventuellement non réutilisables... Il paraît donc plus sain pour tout le monde de cuisiner sur place des produits biologiques, locaux, dont l'origine est traçable et qui participent de fait à l'économie d'un territoire donné.

Pour en savoir plus

Comment mettre en place une économie circulaire en circuit court pour manger bio à la cantine ?

La mairie de Mouans-Sartoux (Alpes-Maritimes) fait office de fer de lance de la cantine 100 % biologique. Cette commune de 10 000 habitants a en effet réussi le pari du « tout bio » pour l'ensemble de ses cantines – écoles, collège et crèches comprises. La production est non seulement bio, mais également locale, grâce à une régie agricole initiée par la mairie et dont proviennent 80 à 85 % des légumes consommés par les enfants.

Évidemment, une telle initiative ne s'est pas faite en un jour. À l'origine d'un tel projet, il faut une volonté politique forte, représentée ici par le maire écologiste, à la tête de la ville durant de nombreuses années. Du bœuf bio a ainsi été proposé au moment de la crise de la vache folle, puis une proportion de 25 % de légumes bio a été proposée dans les repas quelques années plus tard, bientôt portée à 50 %, pour arriver à 100 % en 2012. Pour cela fut créée une régie agricole sur un terrain dédié à un futur lotissement, ce qui représentait alors un véritable acte militant. Quelle mairie de nos jours doublerait ainsi la surface

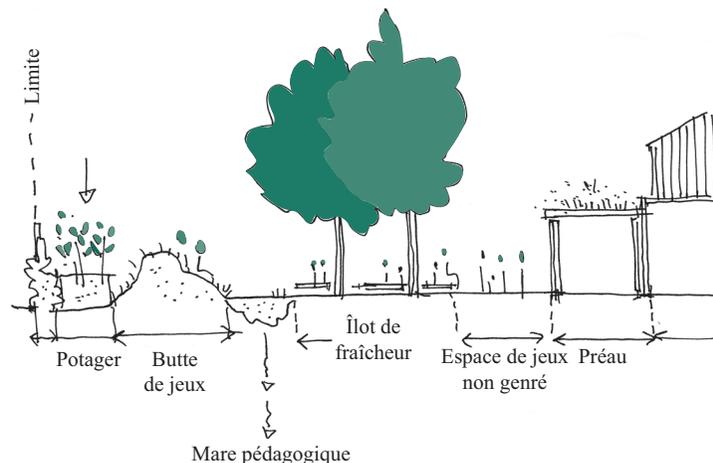


Fig. 11. Exemple de cours oasis.



de ses terres agricoles en modifiant son plan local d'urbanisme (PLU) en leur faveur ? Il y a de quoi prendre exemple...

Justement, afin d'aider d'autres communes dans leur transition, Mouans-Sartoux a également créé une Maison d'éducation à l'alimentation durable (MEAD). Cette structure tend à diffuser ce modèle via cinq axes :

- 1. Cultiver : grâce à une régie agricole, d'où découle l'emploi de plusieurs maraîchers ;
- 2. Transformer : des cuisiniers et leurs brigades cuisinent réellement (plutôt que d'ouvrir de simples sacs de congélation) ; cette démarche prend certes plus de temps, mais permet également de créer des emplois ;
- 3. Éduquer : maître mot au sein d'une école, la ville a mis en place plusieurs façons d'éduquer :
 - tout d'abord, par un accompagnement des enfants pendant leur repas de midi, parallèlement aux changements de menus ; un animateur les invite ainsi à goûter aux différents aliments et à choisir des portions adaptées à leur faim, quitte à se resservir par la suite. Cette initiative a permis par ailleurs de réduire les déchets de 80 %, ainsi que de compenser le surcoût créé par la culture de produits biologiques,
 - ensuite, durant le temps d'activité périscolaire, les enfants peuvent apprendre à cuisiner et à cultiver,
 - enfin, la régie accueille petits et grands lors de visites, notamment, ou encore dans des ateliers de cuisine ou des jardins pédagogiques ;
- 4. Chercher : sont nés de cette expérience à la fois un diplôme universitaire de « chef de projet en alimentation durable », ainsi qu'un projet de recherche mêlant droit à l'alimentation, sociologie, agronomie, innovation durable et entrepreneuriat ;
- 5. Essaimer : la ville est active sur les réseaux sociaux et auprès d'un grand nombre d'acteurs du secteur dans le but de voir se multiplier ce modèle vertueux.

3 Fonctionnement

Comment lier des utilisateurs et des équipes de maintenance ?

Les opérations de maintenance sont souvent délaissées par les concepteurs. Or, un programme réussi anticipe la maintenance dès le début de la conception. Lorsqu'elles sont possibles, des réunions organisées entre programmeurs, concepteurs, utilisateurs et mainteneurs donnent l'opportunité de s'accorder entre ce qui est attendu et ce qui est possible, car ces deux points ne se recoupent pas toujours. D'abord, le maître d'ouvrage formule sa demande, qui est ensuite interprétée par le maître d'œuvre. Le bon réflexe consiste alors à en vérifier l'utilité et le mode de fonctionnement auprès du maître d'usage, ainsi que la faisabilité de la maintenance auprès des mainte-

neurs. Ce processus amène souvent à s'adapter en formulant une proposition alternative, parfois totalement nouvelle. Dans ce cas, il faudra obligatoirement former les futurs acteurs (usagers et mainteneurs) afin de garantir le bon fonctionnement des nouveaux choix proposés.

Prenons un exemple avec les espaces verts. Imaginons que la maîtrise d'ouvrage demande de planter des essences locales et potagères et que la maîtrise d'œuvre propose alors de mettre en terre une vigne grimpante. Après consultation, la maîtrise d'usage accepte sous condition que la terre accueillant la vigne soit analysée afin de déterminer si elle ne contient pas de polluants, et ce en vue de préserver la santé des enfants qui ingèreraient du raisin. La maintenance refuse toutefois l'idée de vigne grimpante, en arguant qu'elle ne possède pas de nacelle élévatrice pour assurer son entretien. La maîtrise d'œuvre peut alors proposer que la maîtrise d'ouvrage ou la maintenance investisse dans une nacelle. Si elles refusent, il faut alors rechercher une autre essence à planter.

Un bon moyen de parvenir à convaincre du bien-fondé de sa demande en tant que maître d'ouvrage ou de sa proposition en tant que maître d'œuvre est de sensibiliser l'utilisateur et le mainteneur à sa démarche. Celle-ci doit, là encore, être effectuée le plus tôt possible dans le projet afin d'obtenir de meilleurs résultats, et ce pour deux raisons :

- d'une part, la maîtrise d'œuvre doit être en mesure d'expliquer les raisons de ses choix. Dans l'exemple des espaces verts, le maître d'ouvrage peut défendre la proximité de l'approvisionnement par le soutien à l'économie locale ou la pollution moindre générée par le transport. La préconisation de l'utilisation de plantes potagères peut également entrer dans le cadre d'un projet pédagogique de cultures associant les enfants, avec à la clé la dégustation de leur propre production. Le maître d'œuvre, quant à lui, peut justifier son choix de plantes grimpantes par un double intérêt : produire de la nourriture et rafraîchir un espace intérieur en lui procurant de l'ombre en façade ;
- d'autre part, l'utilisateur et le mainteneur doivent être accompagnés. En effet, il est illusoire de penser que la conception s'arrête à la livraison. Les principaux acteurs du projet sont en effet ceux qui vont l'exploiter durant les 50 ou 100 prochaines années. Pour que l'exploitation soit à l'image de ce qui a été prévu, il faut donc imaginer la vie du bâtiment dans sa durée. Pour cela, des scénarios d'exploitation peuvent être réalisés. Une façon intéressante d'en assurer un suivi dans le temps à destination des usagers et des mainteneurs consiste à les compiler dans un guide d'usage et de maintenance du bâtiment (fig. 12). Cette solution permet de faciliter l'utilisation des locaux au quotidien, la maintenance des équipements et la bonne régulation des systèmes prévus.

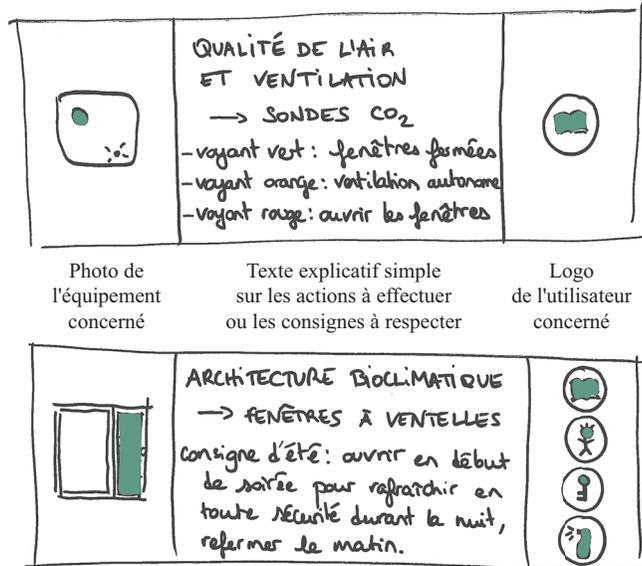


Fig. 12. Illustration d'un guide d'usage et de maintenance (source : Ville de Rosny-sous-Bois).

Pour en savoir plus

Comment lier maintenance/exploitation et qualité de l'air intérieur ?

La question de l'entretien des locaux se pose nécessairement tout au long de la vie de l'école. En effet, les efforts déployés pour l'utilisation et la prescription de produits vertueux et écoresponsables sont réduits à néant s'il s'avère que les produits destinés à leur nettoyage sont nocifs, comme c'est le cas des produits à base de solvants.

Il convient donc, en tant que prescripteur, de tenir compte de cet aspect, tout en formant les utilisateurs sur la question. Par exemple, certains revêtements de sol en linoléum (de type Gerflor®, Forbo® ou Tarkett®) se nettoient uniquement à l'eau claire et à la monobrosse. De même, l'utilisation de peintures lessivables doit être privilégiée, notamment dans les lieux occupés par les enfants et dans les circulations.

L'entretien de la ventilation mécanique est également primordial et indispensable, notamment pour permettre un bon renouvellement de l'air, qui influe directement sur la quantité de CO₂ présente dans les locaux. Pour cela, quelques principes sont à respecter :

- un nettoyage des entrées/sorties d'air est effectué régulièrement, avec nettoyage des filtres ;
- de nouveaux filtres sont fournis à la fin du chantier ;
- l'utilisation exclusive de gaines rigides est privilégiée pour faciliter les nettoyages ;
- l'accessibilité des réseaux est simplifiée, soit en laissant les éléments apparents, soit en rendant les plafonds démontables.

Enfin, il est essentiel de prévoir, dès la réception, un contrat d'entretien régulier, tout en réalisant des mesures régulières et des contrôles des débits.

Une école doit-elle s'autoréguler ?

Il existe sur ce point deux grandes écoles.

La première, née au XIX^e siècle lors de la révolution industrielle, est liée aux progrès technologiques sans cesse croissants, dont le domaine du bâtiment n'a pas fait exception. Une première avancée a vu le jour lorsque l'eau et l'électricité ont été amenées à l'intérieur des bâtiments. La technologie n'a cessé de se développer depuis, et ces progrès se sont traduits notamment, en matière de régulation, par le contrôle du chauffage, puis de la ventilation, et enfin de l'ensoleillement et du CO₂, pour ne citer qu'eux.

L'automatisation de ces contrôles constitue une suite naturelle à ces avancées technologiques. Les opérations effectuées à un instant *t* doivent ainsi pouvoir être réalisées à chaque instant, mais aussi – et surtout – pouvoir être modulées. De cette volonté sont nés les capteurs (thermiques, de pression d'air, d'ensoleillement, de teneur en CO₂, etc.). Grâce à eux, une pièce peut désormais être chauffée continuellement à une température égale en jouant sur le thermostat des radiateurs et sur l'inclinaison des brise-soleil. Un capteur de CO₂ permet également de ventiler un local avec un débit d'air continu et de qualité constante au moyen d'une régulation des bouches de soufflage et de tirage de la ventilation mécanique contrôlée (VMC).

C'est ce monde ultra-connecté qui tend à se développer aujourd'hui, avec par exemple l'installation des très controversés compteurs Linky d'Enedis, ou encore la mise en place de chatbots (robots pouvant dialoguer avec leur utilisateur) à l'intérieur des logements afin de gérer les divers éléments d'un système domotique. Un nouveau monde se dessine ainsi, dans lequel les données partagées sont utilisées pour assurer la maîtrise – ou la régulation – de son environnement.

À l'opposé de cette démarche, une nouvelle école émerge aujourd'hui : celle du *low-tech* (fig. 13). Si elle a probablement toujours coexisté avec l'école de la croissance, elle se fait dorénavant de plus en plus entendre. Plutôt que de prôner la haute technologie, elle mise en effet davantage sur les notions de simplicité et de déconnexion.

À l'échelle du bâtiment, cela se traduit de plusieurs manières :

- d'une part, par la simplicité des matériaux utilisés, à savoir :
 - des matériaux naturels les plus bruts possible (paille, terre, bois, pierre, laines animales ou végétales...),
 - des matériaux créés avec le moins de transformations possible ou à partir de matériaux naturels (isolants en coton recyclé, sols souples en fibres et résine de lin, peintures aux huiles végétales...),
 - des matériaux les plus locaux possible, c'est-à-dire n'ayant pas ou peu nécessité de transport, le but étant que le recours à ces matériaux ne soit pas générateur de dépenses énergétiques avant même leur mise en œuvre (ce que l'on appelle l'« énergie grise ») ;

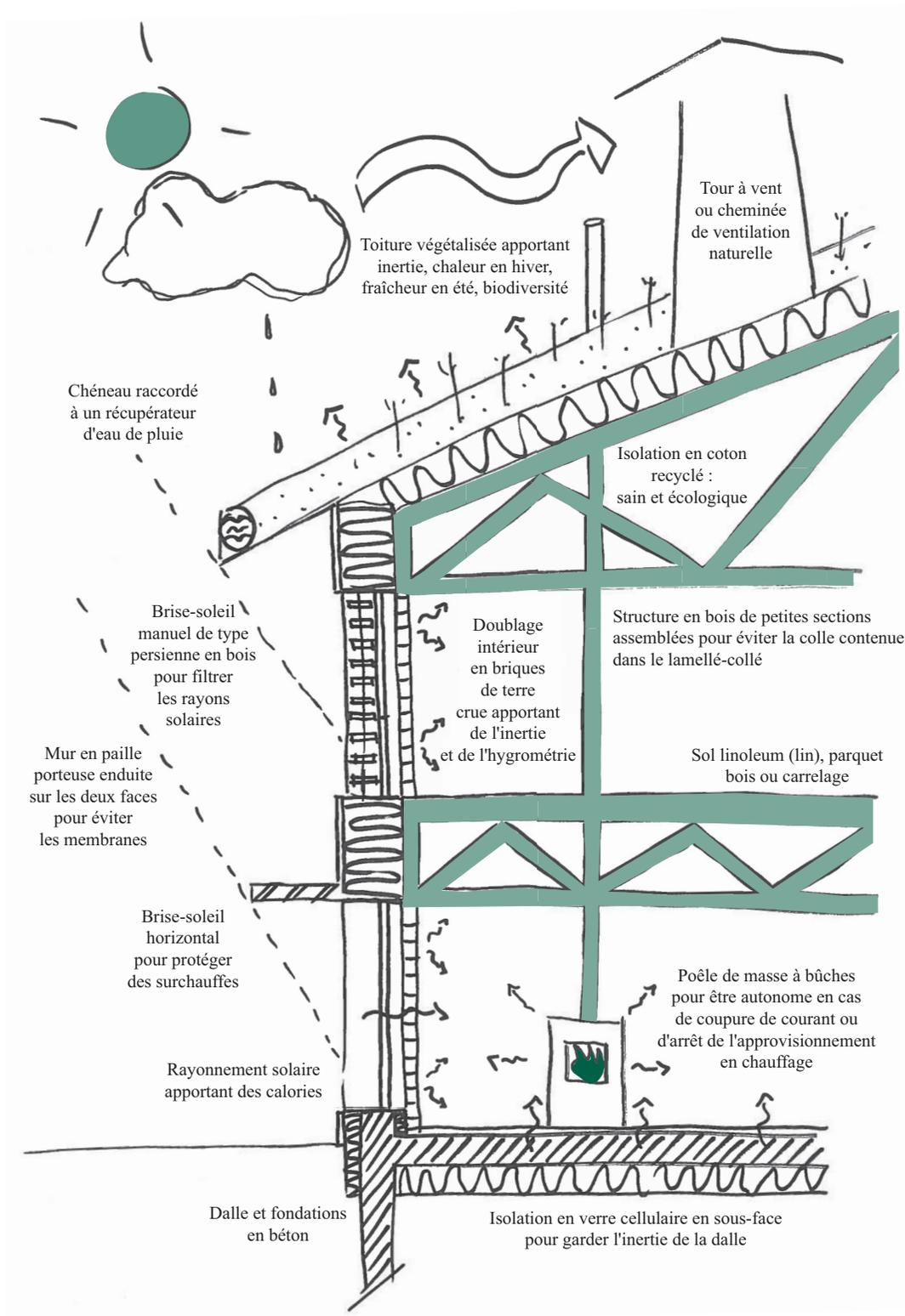


Fig. 13. Matériaux et techniques *low-tech* (source : Ville de Rosny-sous-Bois).



• d'autre part, la mise en œuvre de ces matériaux doit suivre le même schéma de simplicité. Pourquoi cuire ou mélanger la terre lorsqu'elle peut être utilisée telle quelle, par exemple sous forme de briques empilées ? Pourquoi construire des caissons en bois autour de la paille qui devront recevoir un pare-pluie issu de produits pétroliers quand elle peut simplement être enduite ? Pourquoi ajouter du métal au bois s'il peut être assemblé à mi-bois ou par tenon mortaise, par exemple ?

Toujours dans un souci de régulation automatique du bâtiment sans dépense énergétique supplémentaire, la conception joue un grand rôle, consistant à savoir placer le bon matériau au bon endroit. Effectivement, une pièce d'eau a moins besoin de ventilation pour évacuer sa vapeur si un mur en terre participe à son hygrométrie. Également, une pièce située au nord a moins besoin d'être chauffée si son isolation thermique est accrue par un isolant meilleur et/ou plus épais, ou si elle comporte des baies en nombre réduit et/ou de petite taille, et/ou encore dotées d'un triple vitrage.

Enfin, les systèmes techniques qui participent au bon fonctionnement du bâtiment doivent user de la même logique. Si certaines nouvelles technologies ont indéniablement du bon, comme la sur-ventilation nocturne en été en vue de faire baisser la température du bâtiment, il apparaît également que certains gestes simples peuvent grandement aider : pourquoi, par exemple, ne pas confier la tâche au gardien d'ouvrir le soir toutes les baies prévues à cet effet ?

Ce processus *low-tech* a un double intérêt :

- le premier, manifeste, est l'économie d'énergie qu'il induit ;
- le second, moins évident, a pourtant une portée plus grande : dépendant moins d'énergies et de processus extérieurs

non maîtrisés, le *low-tech* est bien plus résilient. Par exemple, si les pays producteurs de gaz arrêtaient leur distribution, un poêle à bois pourrait toujours fonctionner. De même, si l'on devait réduire drastiquement notre consommation d'électricité pour mettre fin au recours au nucléaire, une ventilation naturelle fonctionnerait toujours.

Pour résumer, la première école fait l'apologie de la machine, tandis que la seconde prône l'intervention humaine. L'avenir nécessitera peut-être de choisir à laquelle des deux l'on devra désormais faire confiance.

Auteurs

Matthieu Fuchs

Architecte diplômé d'État (ADE), habilité à exercer la maîtrise d'œuvre en nom propre (HMONP) et titulaire du master « Architecture Bois Construction » de l'École nationale supérieure des technologies et industries du bois d'Épinal (Enstib). Il exerce une activité de praticien au sein de l'agence Mil Lieux à Nancy (Meurthe-et-Moselle) et d'enseignant, en tant que maître assistant, à l'École nationale supérieure d'architecture de Nancy. Il est coauteur de l'ouvrage *Construire avec le bois*, paru aux Éditions du Moniteur.

Cassiane Mariotti

Architecte diplômée d'État (ADE), habilitée à exercer la maîtrise d'œuvre en nom propre (HMONP) et titulaire du master « Architecture Bois Construction » de l'École nationale supérieure des technologies et industries du bois d'Épinal (Enstib). Elle exerce en tant qu'architecte maître d'œuvre de la ville de Rosny-sous-Bois (Seine-Saint-Denis).