

CONSOMMER MOINS D'ÉNERGIE DANS LES SALLES DE CLASSE



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

Contexte :

Des impacts sur l'environnement mesurables,
Un durcissement des réglementations (RT2005 RT2010),
Des budgets d'investissement et d'exploitation relativement séparés,
+13% de consommation globale entre 1986 et 2003 dans l'enseignement,
+78% de consommation électrique entre 1986 et 2003 dans l'enseignement :

⇒ **Comment concilier cet objectif avec la qualité de l'usage
de la pédagogie
de la santé**

?

L'opération QELE s'est concentrée sur l'espace de la salle de classe.

Objectifs :

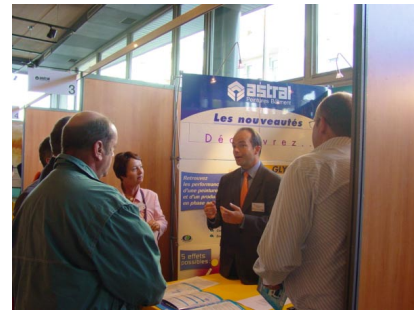
- Mobiliser la chaîne des acteurs vis-à-vis des problématiques spécifiques posées par les établissements d'enseignement (souvent inclus dans la rubrique « tertiaire »),



Conférence de presse



Salon sur 3 jours, 34 exposants, 350 professionnels

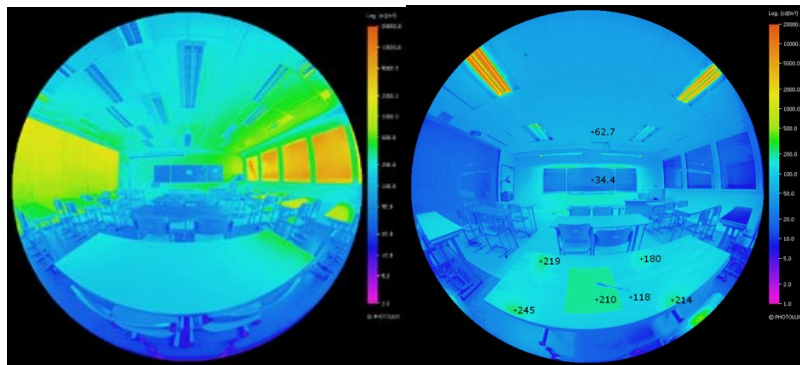


Au total, à ce jour, on compte plus de 1500 professionnels venus assistés à une visite commentée : architectes, bureaux d'études, services des collectivités, agents de maintenance, maîtres d'ouvrage.

- Tester en situation réelle un grand nombre de configurations et de technologies, effectuer des mesures photométriques, énergétiques, de champs électromagnétiques...,



Configuration mixte : 1^{er} + 2nd jour ajusté



Mesures photométriques du champ visuel

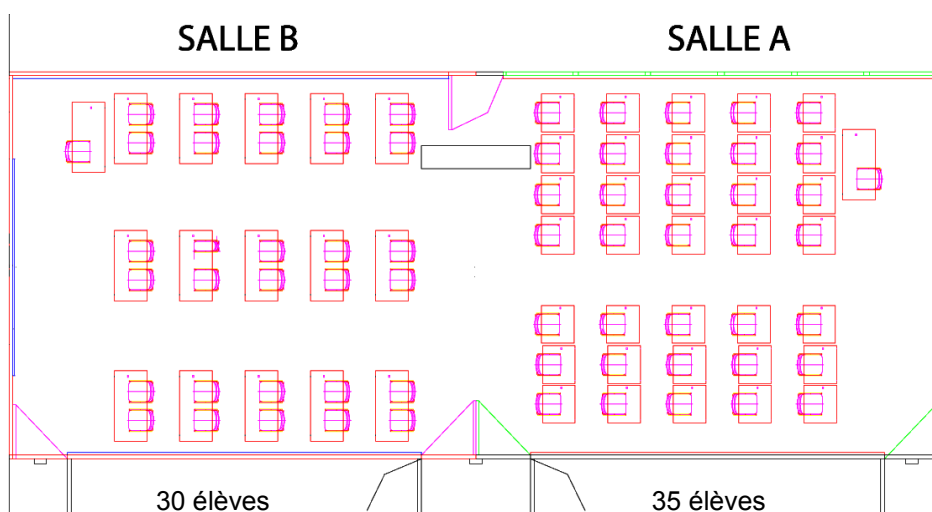
- Mettre en situation des panels d'observateurs (élèves, professeurs) pour mesurer leurs performances et leurs préférences,



- Se servir des résultats pour alimenter les référentiels des collectivités en charge de la construction et de la réhabilitation d'établissements scolaires.

L'objectif est de traiter un espace global vécu comme tel par ses usagers.

A cette fin, deux salles de classe ont été construites à l'échelle 1 afin de pouvoir expérimenter les deux espaces de manière simultanée : Sols, murs, plafonds, façades, mobiliers, équipements étaient amovibles.



Partenaires de l'opération QELE :

Rhône-Alpes

RHÔNE
LE DÉPARTEMENT

SAVOIE CONSEIL
GENERAL



Maîtres d'ouvrage, ADEME



Inserm
Institut national
de la santé et de la recherche médicale

ingélux
Consultants



ELECTRIQUE
Sonepar Sud-Est

Laboratoires, BE

ALDES

APTITUDE
Service
GROUPE DELTA DORE

astral
Peintures Éclair

boulenger

Carrier

COOPER

Ecophon
PLAFONDS ACUSTIQUES

FERRARI

FRICO

Gerflor

GORGY TIMING
LA MAÎTRESSE DU TEMPS

INTERPANE
solyver
L'UNIVERS DU VERRE

K-Line

KNAUF Rhône-Alpes

legrand

malerba

NEOTIK

Nuko

OPTELMA
SWISS DESIGN LIGHTING

OSRAM

PHILIPS

POLYVISION
A Steelcase Company

Promat

PRODUP
LA QUALITÉ
DES SOLUTIONS
ÉCLAIRAGE
ÉCONOMIQUES

sarlam

Schneider
Electric

SLI

Solar Project srl

somfy

Tarkett
DÂTIMENT

TECHNAL

THORN

TONNA
ELECTRONIQUE

Vachette
Votre éclairage est en de bonnes mains

Industriels

Bien se protéger du soleil

En moyenne à Lyon, le soleil est visible directement la moitié du temps où il est levé.

■ L'exposition de l'intérieur des salles et des occupants au soleil est intenable



Lycée de Nantua

- Les contrastes sont trop importants entre les murs, le tableau, les tables, et les éventuels écrans, pour suivre un cours et prendre des notes.

- Un soleil arrivant, même de côté, sur l'œil amène une lumière parasite sur la rétine plus de trois fois supérieure à celle du message délivré à la craie sur le tableau.

Ces contraintes s'ajoutent au rayonnement thermique direct sur les personnes ainsi qu'au problème de surchauffe d'été et de mi-saison dans les salles.

■ La réponse des occupants est de se protéger



Lycée de Morestel

- Les protections solaires doivent protéger du soleil direct tout en permettant encore de bénéficier de la lumière naturelle.

Sinon, une fois tout fermé, l'éclairage artificiel est allumé : consommations supplémentaires non justifiées, apports thermiques internes équivalant à la présence de 7 personnes en plus dans la classe.

Sur la photo ci-contre, la position intérieure des occultations n'évite pas en outre l'effet de serre et donc la montée de température.



Lycée de la Tour de Salvagny

- Les protections solaires doivent protéger du soleil tout en laissant le mieux possible une vue sur l'extérieur.

Sinon, il a été signalé par les utilisateurs un sentiment d'enfermement.

L'occupant se protège donc du soleil, et d'autant plus s'il est rasant, et par conséquent même en hiver. Attention donc dans les simulations thermiques de ne pas trop compter sur les apports gratuits du soleil en hiver dans le cas de protections extérieures.

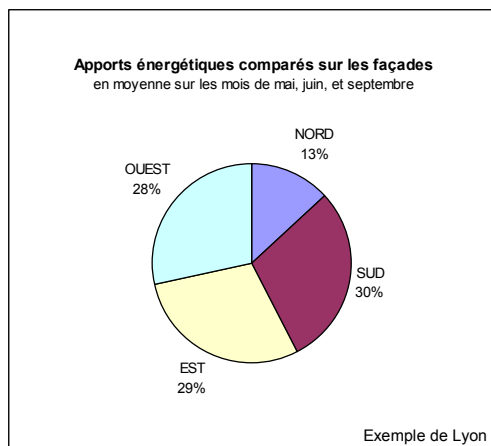
Aussi, même dans le cadre d'asservissements automatiques poussés des protections solaires, l'utilisateur doit pouvoir garder la possibilité de prendre la main, ne serait-ce que pour se mettre dans une ambiance tamisée de projection.

Avoir de bonnes protections solaires, c'est pouvoir continuer à bénéficier de la lumière naturelle et de la vue sur l'extérieur : et donc minimiser les consommations d'éclairage tout en limitant les surchauffes d'été par apports directs du soleil et indirects de l'éclairage artificiel.

Une façade performante

Source d'échanges entre l'intérieur et l'extérieur, la façade représente un élément déterminant de la réussite d'une salle de classe.

■ Opportunités des orientations



Les surchauffes d'été et de mi-saison représentent un problème majeur dans les salles de classe. Se cumulent les apports énergétiques arrivant en façade aux apports internes importants de par la densité particulière d'occupants.

Pendant la période chaude des mois de mai, juin, et septembre, le graphique ci-contre montre les sollicitations énergétiques sur les façades suivant les orientations : un bâtiment orienté EST-OUEST doit faire face à 1/3 d'apports en plus que un bâtiment orienté NORD-SUD.

Pendant les périodes de surchauffe, le risque est important que l'utilisateur se coupe au maximum de l'extérieur via la fermeture des occultations, jusqu'à l'allumage de l'éclairage artificiel.

De par l'élévation du soleil en période chaude, il est plus aisé en façade SUD grâce aux protections solaires de couper le soleil direct sans se couper de la vue ou de la lumière naturelle, plutôt qu'en façade EST ou OUEST.

Cependant, le reste de l'année tempère cet avantage : le graphique ci-contre met en situation une salle de classe équipée de protections solaires capables de bloquer systématiquement le soleil pour une élévation de 45° tout en préservant la vue sur l'extérieur et une lumière naturelle en profondeur (exemple : lames horizontales à plat) : les situations de gênes et donc de risque d'occultation totale par les occupants sont très prolongées pour le SUD.

Par contre, l'axe des vents dominants de la vallée du Rhône offre l'opportunité intéressante d'exploiter les pressions et dépressions sur les façades d'un bâtiment ayant des façades

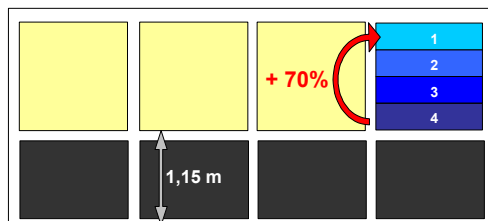
orientées NORD et SUD afin d'effectuer un renouvellement d'air.

Enfin, on note l'opportunité en milieu urbain d'éviter d'exposer les façades des salles au bruit et à la pollution des rues passantes, afin que l'occupant puisse utiliser l'ouverture des fenêtres.

■ Sélectionner les échanges : favoriser la lumière, abaisser les échanges thermiques

- Une façade offrant un bandeau vitré quasi-continu sur sa longueur évite les phénomènes d'ombres portées et améliore l'uniformité des niveaux lumineux.

- Privilégier les parties efficaces de la façade sur le plan de la répartition lumineuse :



Les allèges vitrées ont un impact négligeable sur les tables les plus éloignées. Opaques, elles sont au minimum deux fois plus isolantes. Les utilisateurs ont convergé vers une hauteur d'allège opaque de l'ordre de 1,15m.

Pour le reste vitré de la façade, le 1/4 du haut est 70% plus efficace que le 1/4 du bas pour éclairer les tables les plus éloignées de la façade (à 7 mètres).

- Minimiser les déperditions thermiques via des menuiseries et des verres performants :

Le traitement anti-émissif fait baisser de 50% les déperditions par le verre, et peut l'amener à 1,1 W/m².K soit deux fois les déperditions via une cloison isolée.

- Choisir un verre sélectif du point de vue des longueurs d'onde, et se rapprocher pour la transmission lumineuse de la limite de 2 fois le facteur solaire.

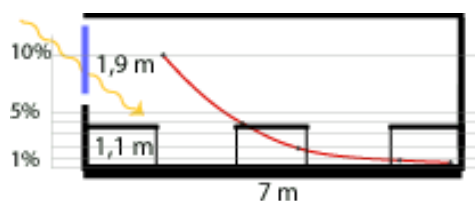
- Stopper le soleil tout en maintenant l'éclairage diffus et la vue grâce aux protections solaires, avec un objectif de facteur solaire de la façade de l'ordre de 5% en position fermée et 10% à 15% en réglage intermédiaire.

Les orientations NORD-SUD sont intéressantes si le SUD est bien traité sur le plan des protections solaires. De gros progrès ont été réalisés sur le plan technique pour optimiser les échanges énergétiques en façade.

Mieux répartir la lumière naturelle

Élèves surexposés côté fenêtres, élèves sous-exposés en fond de classe : l'homme est particulièrement adapté au spectre de la lumière naturelle et à ses cycles : une lumière gratuite à optimiser.

■ Demande d'équilibre



- Ci-contre une visualisation en coupe de l'évolution typique des niveaux de lumière diffuse dans une salle de classe : à trois mètres de la façade l'ambiance devient intérieure, à sept mètres une compensation est demandée par les occupants.

- On note l'intérêt pour le mur qui fait face à la façade d'être clair au dessus des tables : jusqu'à +30% pour les niveaux lumineux

les plus défavorisés, et rééquilibrage du champ visuel.

- On note l'intérêt de séparer les deux circuits d'éclairage artificiel en deux zones : l'une le long des fenêtres, l'autre pour le reste de la classe. Pour le climat de Lyon, les niveaux obtenus par l'addition de l'effet des luminaires de cette dernière zone et de la lumière naturelle permettent de ramener les occupants dans une zone de confort.

- On note l'opportunité d'utiliser les progrès techniques obtenus par les « tubes de lumière » permettant d'amener la lumière naturelle en fond de classe. Prescription minimale : 4 tubes de 35 cm de diamètre. L'optique de sortie dite de « Fresnel » est la plus adaptée pour les salles de classe.

■ Tirer parti des second-jours

Les écoles « Jules Ferry » fin 19^{ème}, début 20^{ème} exploitaient des transparences avec les circulations à même d'amener profondément et avec équilibre la lumière naturelle.

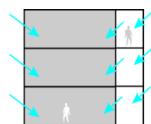
Les contraintes actuelles liées à la propagation du feu et des fumées amènent des coûts qui seraient injustifiables si, en outre, les compléments réels en lumière naturelle étaient négligeables.

- Intérêts des second-jours :

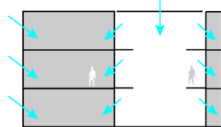
Équilibre du champ visuel, confort de lecture en activité de copiage au tableau, lumière provenant des deux côtés évitant les ombres portées (droitiers-gauchers), autonomie complète plus de la moitié du temps en lumière naturelle seule.

- Typologies :

On a pu remarquer dans les diagnostics effectués sur des établissements scolaires récents que les architectures prévoient souvent des circulations éclairées naturellement. On trouve alors les trois typologies suivantes, lorsqu'il y a des étages :

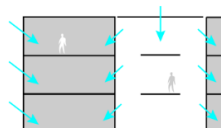


Coursive mono-latérale : une seule rangée de classe adossée à la circulation qui donne alors sur l'extérieur,



Coursives bi-latérales entre lesquelles circule la lumière, desservant une rangée de classe de part et d'autre,

Passerelle centrale s'élargissant ponctuellement pour accéder aux salles de part et d'autre.



On note pour un R+2 la performance économique et technique de la typologie N°1.

On note pour les coursives bilatérales qu'elles peuvent mettre dans l'ombre les salles du dessous.

- Optimiser l'élément translucide entre la circulation et la salle de classe : bandeau de l'ordre de 1.2m de haut, finition sablée pour l'intimité et la diffusion de la lumière.

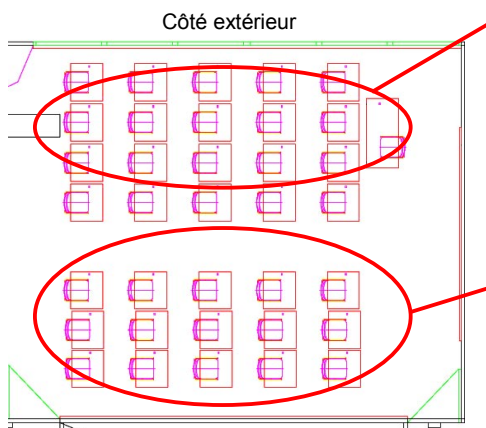
Un second-jour ne pourra être justifié en terme de temps de retour par des économies d'énergie, mais par contre pour un meilleur confort, une meilleure santé et une réduction des émissions de CO2.

Fonctionnement des équipements : lorsque c'est utile

■ Asservissement à la lumière naturelle

Des gains énergétiques quant à l'éclairage artificiel présupposent des protections solaires capables de protéger du soleil, tout en laissant passer au mieux la lumière diffuse.

Les gains varient selon la météo locale, les masques extérieurs, l'orientation des baies, l'architecture, les véritables horaires, et les systèmes d'asservissement choisis.



- Luminaires près des fenêtres : gros potentiel d'économies d'énergie (jusqu'à 75%), quelque soit le niveau de lumière minimal fixé (300 à 500 lux).

Sont fortement conseillées ici les technologies d'asservissement permettant une gradation des sources jusqu'à 1% de leur flux, voire une coupure complète, plutôt qu'une gradation limitée à 50% du flux difficile à justifier par un temps de retour.

- Partie de la classe désavantagée en lumière naturelle : Dans les classes éclairées uniquement par une façade, les niveaux en fond de pièce sont faibles : de jour, les luminaires ne peuvent être dans le même état que ceux situés près des fenêtres.

Dans cette partie, en effet, le besoin d'allumage est quasiment nécessaire tout le temps : le comportement des occupants ne

pourra être exploité pour des gains énergétiques.

En ce qui concerne un éventuel asservissement automatique, il faut retenir qu'ici les gains dépendent pour beaucoup du niveau de lumière minimal ciblé : jusqu'à 60% de gains pour un niveau de 300 lux, 25% pour 500 lux : d'où l'importance du réglage en fin de chantier des valeurs cibles des cellules.

- Salles bénéficiant d'un éclairage naturel bilatéral efficace : la zone précédente se trouve alors dans la possibilité d'exploiter cette lumière naturelle (jusqu'à 68% de gains) : De même que pour la zone près des fenêtres, sont conseillées les technologies d'asservissement permettant une gradation des sources jusqu'à 1% de leur flux, voire une coupure complète. Par contre, l'éclairement ciblé est ici un paramètre important qui distingue ce cas vis à vis du précédent : 50% de gains pour 500 lux, 68% pour 300 lux.

■ Asservissement à la présence

Les oublis, l'usage partiel du bâtiment (y compris lors du nettoyage), sont des gisements énergétiques qu'il est possible d'exploiter pour le fonctionnement des équipements : il s'agit de consommations inutiles pouvant s'étaler sur de longues périodes qu'il est possible de stopper par détecteur de présence.

En ce qui concerne l'éclairage artificiel, il a été constaté pendant les périodes d'examen des moments où peu de mouvements étaient effectués et détectés : même si des temps plus courts seraient sources de gains, des temps de latence de l'ordre de 20 minutes écartent les mésaventures.

En ce qui concerne la ventilation, les débits sanitaires demandés en liaison avec la densité d'occupation sont tels (15 à 18 m³/h.p) que la réduction des déperditions thermiques (jusqu'à 60%) grâce à un double-flux, ainsi que l'asservissement à la présence ou au nombre estimé d'occupants, sont des réponses pertinentes (lors du passage du nettoyage de salle en salle par exemple).

En ce qui concerne le chauffage, l'inertie du bâtiment rend cet asservissement délicat, il est conseillé de le coupler à une horloge sous peine d'avoir froid en arrivant dans la salle.

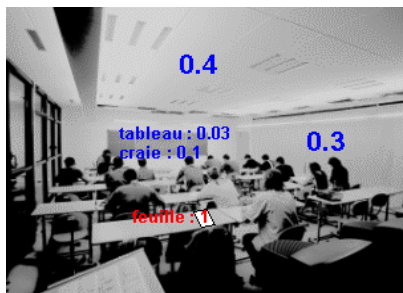
Le système d'arrêt par une horloge est fiable pour l'ensemble des équipements, si évidemment il est laissé à l'occupant la possibilité de reprendre temporairement la main.

Sur l'ensemble de la salle de classe, sur un an, à Lyon, il est possible d'atteindre plus de 70% de gains en consommation d'éclairage artificiel dans le cadre d'un bon éclairage naturel bilatéral, et d'une capacité à grader franchement voire éteindre les éclairages.

La détection de mouvement peut concerner l'éclairage, la ventilation, et dans une moindre mesure le chauffage. L'horloge restant un investissement fiable.

Un éclairage artificiel performant

■ Ajuster l'équilibre général



- Les répartitions habituelles de luminance des différentes parois d'une salle de classe sont rappelées sur le premier schéma ci-contre, en prenant la feuille blanche comme référence. Il s'agit d'un éclairage de tâche direct vers le plan utile (ici le tableau n'est pas allumé). Dans ce cas la clarté des parois joue peu sur les niveaux sur les tables et sur le tableau. Lors des tests le panel d'observateur a convergé vers 335 lux sur les tables et au moins 40% en plus pour le tableau (à rapprocher des 325 lux (AFE), 300 lux pour la Norme Européenne avec une ambiguïté pour les lycées : 500 lux pour les adultes : 67% de consommation en plus).

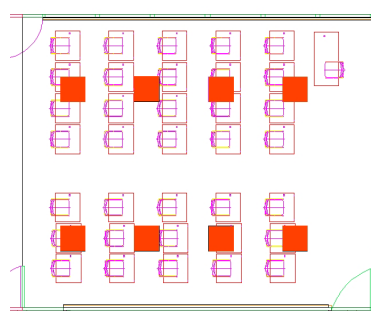
- Si on demande aux occupants d'ajuster librement l'équilibre entre les parois, la répartition devient celle du deuxième schéma : le plafond gagne à être clair à lumineux. Les tests effectués montrent que concernant la demande des usagers et la mesure énergétique, il est toujours préférable de garder une partie d'éclairage direct vers les tables.

- Du point de vue des parois, il est conseillé d'être clair au-dessus du niveau des tables avec une large possibilité de stimulation chromatique dans des couleurs non saturées mettant à profit la

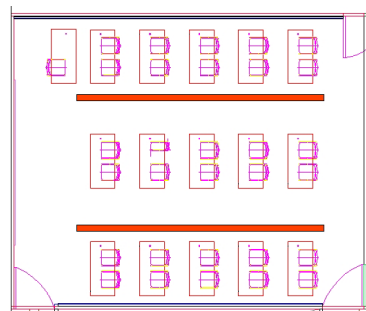
richesse de l'ensemble du spectre contenu dans la lumière blanche. Il est conseillé également de sauvegarder un blanc de référence (exemple : mur côté couloir, plafond).

■ Implantation minimale des luminaires

En ce qui concerne l'éclairage général, si l'on se pose la question de la puissance installée minimale complètement acceptable sur le plan du confort visuel, les multiples essais (réels) ont abouti à des propositions allant jusqu'à 34% en-dessous des ratios de la RT2005 :



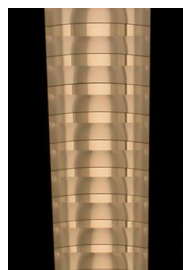
Luminaires 60x60 équipés de 3 tubes de 18W :
Eclairage moyen sur les tables : 417 lux
Uniformité : 79%
Puissance installée de l'éclairage général seul : 7.6 W/m²



Luminaires mono-tubes 5x36W par rangée
Eclairage moyen sur les tables : 550 lux
Uniformité : 70%
Puissance installée de l'éclairage général seul : 6 W/m²

L'éclairage indispensable du tableau ajoute à ces ratios de l'ordre de 116W. Une validation sur le terrain de ses performances et de sa mise en œuvre s'avère nécessaire, à la vue des contre-performances rencontrées. Outre sa fonction en période nocturne, cet éclairage aide en période diurne à la lutte contre les reflets en provenance de la façade. On note le peu d'effet à ce sujet sur la plupart des tableaux blancs particulièrement sujets à ce phénomène de reflet.

■ Matériel



Intérêts des ballasts électroniques à préchauffage des électrodes : pas de clignotement en fin de vie, allumage instantané, de l'ordre de 25% d'économie d'énergie, allongement de la durée de vie des lampes, réduction des maux de tête.

Intérêts des tubes T8 Haut Rendement à IRC >85, 4000K : 20 à 30% d'efficacité lumineuse en plus, stabilité du flux dans le temps, luminance de la source, diversité des couleurs et teinte générale.

Intérêts des grilles « satinées » ou « aluminium mat » basse luminance : confort visuel, rendement, coût.

Les technologies actuelles permettent sans surcoût d'investissement, et sans pénaliser le confort de diviser par deux les puissances installées.

L'éclairage spécifique du tableau est incontournable pour limiter la fatigue visuelle et donc les niveaux de lumière généraux nécessaires.

Le plafond gagne à être d'une grande clarté pour limiter les contrastes excessifs, voire lumineux par un peu d'éclairage indirect.

L'informatique dans les salles de classe

De la salle d'informatique à la notion de cartable électronique, la salle de classe prévoit l'usage grandissant de l'informatique.

■ Disposition des postes informatiques

Autant l'information véhiculée par les courants faibles ou le Wi-Fi n'engendre pas de problème de sécurité majeur, l'alimentation en courant fort (220V) des postes informatiques contraint pour beaucoup l'organisation des salles équipées. La basse tension des ordinateurs portables est donc une piste intéressante.



- Postes de travail disposés le long de la façade et le long du mur opposé :

Avantage : bonne interaction entre le professeur et les activités des élèves (vision directe des écrans).

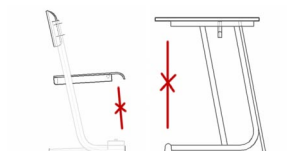
Inconvénients : contre-jour d'un côté, et reflets de la façade dans les écrans de l'autre. La conséquence est donc la fermeture des occultations, et l'allumage de l'éclairage artificiel : consommations et apports internes qui s'ajoutent à ceux des équipements informatiques.



- Postes de travail perpendiculaires aux façades :

Avantage : pas de reflet (mis à part des luminaires mal défilés) ou de contre-jour : fonctionnement possible en lumière naturelle contrôlée.

Inconvénients : Pas d'information directe des professeurs concernant l'avancée ou les activités des élèves. Encombrement visuel (vue vers le tableau, et vue des élèves), surtout avec les écrans cathodiques qui génèrent derrière eux des champs électromagnétiques auxquels des élèves, dans cette configuration, peuvent être exposés.



Dégagements latéraux



On remarque de manière générale l'intérêt des tables et chaises à dégagements latéraux : moins de déplacement du mobilier à l'intercours, donc moins de bruit, moins d'usure du sol. Facilité d'entretien du sol : pas de chaise à retourner (mal de dos).



Importance des piétements :
Bruits de glissement, usure du sol

■ Matériel informatique

- A taille identique, un écran plat peut consommer deux fois moins d'énergie qu'un écran cathodique. Passer d'un ordinateur classique équipé d'un écran cathodique à un écran plat peut par conséquent engendrer 25% d'économies.

- Si l'on compare l'efficacité lumineuse d'un tube cathodique à celui d'un écran plat, on peut mesurer un rapport allant de 1 à 7.

- Comme on peut le constater sur la photo ci-dessus, les écrans cathodiques font un effet de masque important dans la salle : difficulté à voir le tableau ou les élèves : encombrement visuel ainsi que de l'espace.

- On mesure en terme de champs électromagnétiques à l'arrière des écrans cathodiques (à 50cm) 7 fois la limite qu'il est conseillé de ne pas dépasser en exposition durable : une disposition en quinconce d'un rang à l'autre est donc conseillée. L'écran plat génère à cet endroit un niveau 5 fois inférieur.

- Passer d'un ordinateur classique de type « tour » équipé d'un écran cathodique à une technologie de type portable peut faire chuter de moitié les consommations globales, avec en outre la sécurité des basses tensions. On attire l'attention sur la manière d'obtenir la basse tension : les alimentations personnelles classiques engendrent des puissances réactives élevées.

La disposition des salles informatiques, souvent liée à l'alimentation, peut engendrer des dysfonctionnements et des consommations énergétiques induites.

Il est très intéressant de se tourner vers la technologie des écrans plats, voire des portables.