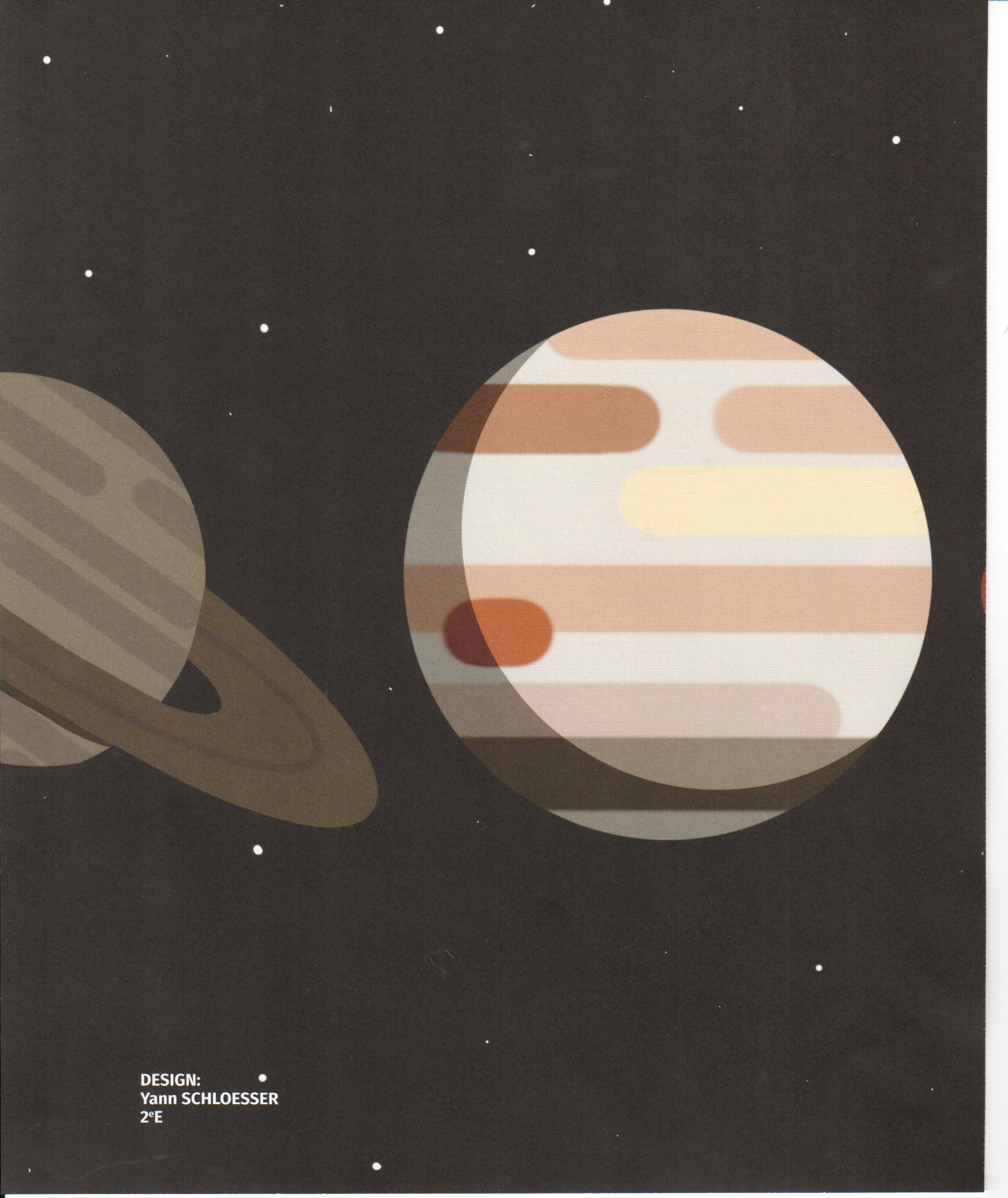




MeteoLCD



DESIGN:
Yann SCHLOESSER
2°E

meteoLCD : 25 ans de mesures et de présence climatologiques

Francis Massen

Sommaire

Depuis plus de vingt-cinq ans la station météorologique du LCD est présente sur le terrain des mesures météorologiques, des analyses et des discussions sur le changement climatique au Luxembourg. Cette revue historique se propose de retracer l'évolution de cette station hors norme pour un lycée classique. Certains détails seront plus approximatifs que d'autres, mais j'espère qu'ils pourront intéresser le lecteur désireux de connaître l'évolution de ce projet de longue durée dans un lycée qui a fêté ses 175 ans d'existence en 2005.

Index

1. Pourquoi une station météorologique ?
2. Les premières installations
3. Les mesures des gaz atmosphériques
4. Les temps nomades
5. L'après 2003
6. Le travail scientifique et pédagogique
7. La discussion sur le changement climatique
8. L'avenir
9. Un grand Merci !

1. Pourquoi une station météorologique ?

Je suis membre du *Groupe Spéléologique Luxembourgeois (GSL)* depuis la fin des années soixante. Parmi les grottes du Luxembourg que nous visitons régulièrement, le labyrinthe de Moestroff fait exception. Ce dédale de plus de 3 km de couloirs étroits était souvent le lieu des premiers frissons souterrains de ses visiteurs, dont certains, écrasés par une phobie insurmontable, n'arrivaient jamais à dépasser quelques dizaines de mètres. A la fin des années cinquante le *GSL*, au moyen de plusieurs expéditions longues et difficiles, avait dressé le plan de cette grotte ; cependant aucune étude scientifique sur le régime souterrain n'avait été réalisée. Au début des années 1990, une visite de cette grotte avec Camille Ek, professeur de géographie physique à l'*Université de Liège (ULg)* et spécialiste mondial reconnu des mesures du CO₂ souterrain, constituait le point de départ d'un projet de recherche important réalisé avec le *Centre Universitaire de Luxembourg*. Le projet *Phymoes* dont j'étais le chef, avait pour but de faire une étude poussée du climat souterrain de la grotte. Ceci signifiait qu'il fallait réaliser des mesures - en continu et sur une longue durée - de paramètres aussi divers que la température, l'humidité, le régime éolien, la concentration de gaz tels que le CO₂ et le radon radioactif. Avec beaucoup d'acharnement et d'inventivité ceci fut accompli, en majeure partie

grâce à une installation automatique de ces mesures diverses. En 1994, le projet se terminait avec la publication d'un livre qui fait toujours date dans la littérature de la spéléologie scientifique.

Avec le démantèlement des installations se posait une question cruciale : que faire avec le matériel, les connaissances de mesures automatisées et l'exploitation de séries de données très importantes ? Par hasard, à la même époque le *Ministère de l'Education Nationale* lançait la possibilité pour les lycées d'organiser des cours facultatifs multidisciplinaires pour les élèves des sections scientifiques, classes de deuxième. Je discutais avec mes collègues de chimie, de biologie et de géographie sur les sujets possibles, et très vite nous convînmes qu'un cours sur le climat offrait toutes les opportunités d'une telle approche multidisciplinaire. Nous étions également d'avis qu'un tel cours ne pouvait pas être seulement théorique, mais devait offrir la possibilité de mesurer concrètement les paramètres ayant une influence climatique importante. Puisque le soleil est le moteur du climat terrestre, décision fut prise d'installer une station météorologique classique, augmentée de capteurs pour mesurer l'irradiation solaire totale, et, plus spécifiquement, celle des rayons *UVB* et *UVA* ; ces deux dernières n'étaient pas encore mesurées à l'époque au Luxembourg. J'étais d'avis que, si notre station avait de réelles prétentions scientifiques, le matériel devait être professionnel. De plus, dans une telle perspective, seul un fonctionnement ininterrompu 24/24 et 365 jours par an était envisageable. Il s'ensuivait qu'une structure automatisée était indispensable. Les acquis du projet *Phymoës* rendaient cette dernière exigence réalisable, et non utopique.

2. Les premières installations

Dès le début, il fallait satisfaire à deux exigences essentielles

- une disponibilité ininterrompue des séries de mesures
- une publication pratiquement en temps réels de ces mesures, accessibles sans contrainte aucune.

Pour répondre au critère de disponibilité permanente (critère très inhabituel pour un lycée dont la vie normale est constamment interrompue par les périodes de vacances, entre autres), je décidai de rassembler toutes les mesures dans un *datalogger* (un genre d'ordinateur spécialisé pour la collecte des mesures) qui avec ses possibilités de stockage assurait la sauvegarde des données lors d'une panne de courant. Des ordinateurs multiples et spécialisés s'occuperaient ensuite de retirer les mesures du *datalogger*, de les traiter, de les représenter graphiquement, et enfin de les envoyer sur un serveur Web pour qu'elles soient accessibles sur l'internet.

Un subside, dit « *Juncker* » (oui, il s'agit bien de l'ancien président du gouvernement luxembourgeois et président de la *Commission européenne*) nous permit d'acquérir le matériel nécessaire pour les mesures chez *Delta_T*, une firme anglaise, et le matériel pour les mesures solaires *UVB* et *UVA* chez *Solar Light* aux Etats-Unis. Ce matériel quasi professionnel était conforme aux exigences de la *WMO* (*World Meteorological Organization*), de sorte que nous étions confiants que nos mesures ne fussent pas reléguées parmi les « *expériences d'amateur* » non crédibles.

Comment et où installer les capteurs ? Il est clair, que nos instruments devraient être placés le plus haut possible, pour éviter les perturbations du sol comme une vitesse du vent trop faible, l'ombrage, la réflexion thermique du macadam etc. Le seul endroit possible à l'époque fut le toit de la cabine technique de l'ascenseur de l'aile des années soixante. Et c'est effectivement là que fut installée une armoire technique avec le *datalogger* et l'alimentation électrique, un mât avec l'anémomètre, la girouette, le thermomètre et l'hygromètre. Sur le toit de cette cabine furent montés également les capteurs de précipitation et de l'irradiation *UVB* et *UVA*. Il est peut-être utile de souligner qu'une échelle fixe rendait l'ascension au toit moins acrobatique.



La cabine de l'ascenseur avec le mât météorologique et l'armoire avec les équipements électroniques visible derrière le mât. La photo fut prise lors de l'inauguration en 1995.



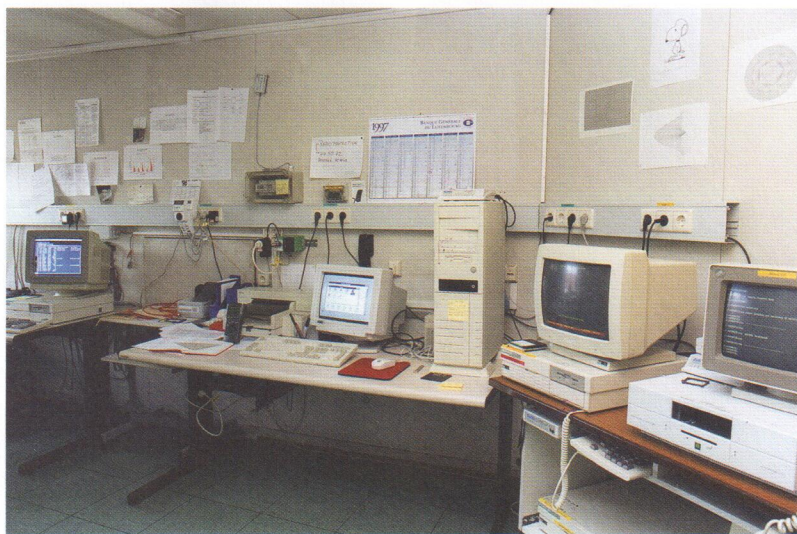
Francis Massen sur le toit de la cabine de l'ascenseur montrant l'équipement qui abrite le thermomètre et l'hygromètre électroniques (1997).

Restait le problème de l'emplacement des ordinateurs de gestion. Impossible de les installer dans la cabine existante, beaucoup trop petite ! Je décidai alors de rassembler tous les équipements du poste de contrôle dans la petite mansarde du troisième étage située au-dessus de l'entrée principale du LCD. Un très long câble était tendu de l'aile ancienne vers la nouvelle aile pour véhiculer les signaux sériels RS232 vers le *datalogger*. Nous dépassions la norme de longueur maximale (env. 15m) au moins d'un facteur 5, mais mes expériences de responsable informatique du LCD m'avaient rendu téméraire. Et effectivement, cela marchait ! Dans la mansarde, deux ordinateurs s'occupaient, l'un à interroger toutes les demi-heures le *datalogger*, l'autre à enregistrer ces données, à réaliser des graphiques et à envoyer tout ceci sur notre serveur Web chez Restena, le réseau informatique de l'Education Nationale.

Ainsi sous http://www.restena.lu/meteo_lcd/ (l'adresse actuelle est <https://meteo lcd.lu> [1]), nos mesures étaient visibles en temps quasi-réel (décalage de 30 minutes) ; elles y étaient archivées et accessibles sans aucune procédure d'abonnement ou d'autorisation. Décidée dès le début, cette accessibilité totale était déroutante pour beaucoup de gens à une époque où souvent des inscriptions préalables et/ou des procédures d'autorisation plus ou moins complexes étaient de règle.

Les deux ordinateurs tournaient sous MSDOS ; le logiciel *Automite* gérait les commandes automatiques ; le tableur *Quattro* de Borland visualisait les graphiques en format HPGL (*Hewlett Packard Graphics Language*), complétés par une conversion en format PNG adapté aux pages Web. Finalement la transmission vers Restena était réalisée par une séance FTP. Toute cette infrastructure logicielle, je la réalisais moi-même, tout en bénéficiant parfois de l'aide précieuse de collègues ou d'informaticiens de Restena.

Les travaux à faire après l'interrogation du *datalogger* consistaient essentiellement à créer un fichier journalier croissant, en ajoutant chaque demi-heure les nouvelles mesures ; ce fichier appelé « *today.dat* » était alors le point de départ de la réalisation des graphiques et de l'envoi vers Restena. En plus un



La « mansarde de commande » en 1997. Quatre ordinateurs se partagent le travail du traitement des données et de la transmission vers le site Web Restena.

fichier « *7days.dat* » ajouté dès janvier 1998 reprenait toutes les mesures des derniers 7 jours. L'infrastructure logicielle et le Web furent opérationnels à 100% à partir du 18 mars 1997 ; à l'époque la liaison informatique vers Restena se faisait via une ligne téléphonique ISDN.

Dès le début, la page Web comporte également un chapitre « NEWS », qui reste une source historique intéressante (et parfois hilarante !). En effet, toute cette opération « *ne fut pas un long fleuve tranquille* » : les pannes matérielles et logicielles ne furent pas rares. Par exemple, le 16 février 1998 un message annonce : « **Logger crash between 10:00 and 11:00 approx. Restarted Feb. 17th at 08:30. The 7 days graphs are rebuilt starting 16 Feb 98. The cause of these two crashes might be a strong elm (electromagnetic) pulse of unknown origin.** »

La communication sérielle représentait toujours un point délicat. Une certaine amélioration fut obtenue lorsque nous remplaçâmes le câble en cuivre par une fibre optique multimode suspendue à un câble porteur en acier (matériel professionnel *Phoenix Contact* fourni par un ami spéléo, Guy Schintgen). Cependant les travaux de transformation du LCD qui démarraient ajoutaient une difficulté supplémentaire : la grande grue installée dans la cour intérieure était gênée par la ligne qui passait d'un toit à l'autre. Le 29 octobre 1999 la ligne optique fut démontée définitivement et remplacée par un radio modem *Nomadic* (c.à.d. un modem sans fil) utilisant la technique avancée du *Spread Spectrum*. Malheureusement les communications par ondes radio devenaient mauvaises de temps à autre sans raison apparente. La solution retenue fut de rebooter l'ordinateur de commande une fois par jour (et, plus tard, même une fois par heure !).

3. Les mesures des gaz atmosphériques

Dans toutes les questions climatiques, les gaz atmosphériques jouent un rôle important : qu'il s'agisse du CO_2 , - le supposé 'méchant responsable' du réchauffement climatique -, de l'ozone troposphérique ou des NO_x réputés polluants et dangereux pour la santé. On cherchait donc dès que possible d'élargir les mesures à ces gaz.

Le 13 mars 1997 démarraient les premières mesures de la concentration du CO_2 atmosphérique ; l'instrument fut un *Guardian* puis un *Gascard II* de la firme anglaise *Edinburgh Sensors* avec laquelle j'avais déjà travaillé lors du projet *Phymoes*. Le problème de cet appareil était le manque de précision, même s'il ne dépassait pas 5%. En tout cas nos ressources financières limitées ne nous laissaient pas d'autre choix. Néanmoins *meteoLCD* fut à l'époque la seule station du Luxembourg à mesurer ce gaz important et à communiquer ses valeurs en temps quasi réel (curieusement à la date de rédaction de cet article, en 2016, elle reste toujours la seule du pays à afficher ses mesures de CO_2 sur le Web en temps quasi-réel !).

En 1997 les 4 gaz suivants furent mesurés : O_3 (ozone), CO_2 , NO et NO_2 . Les équipements furent achetés chez *Envitec S.A.*, une firme belge de Gent, avec laquelle les relations furent chaleureuses et très bonnes pendant de longues années ; le changement du directeur commercial mit malheureusement un terme à cette fructueuse collaboration.

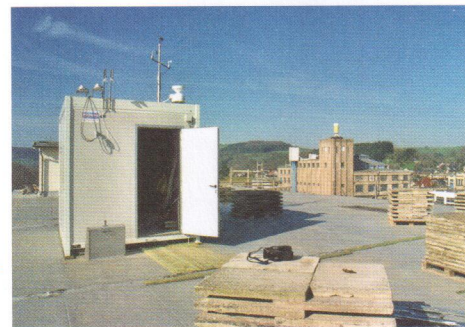
Les instruments étaient fabriqués par *Environnement SA*, une firme française toujours en activité. Le premier capteur NO/NO_2 était d'occasion, mais fut remplacé en mai 1998 par un modèle nouveau. S'aventurer dans le domaine des mesures des gaz atmosphériques était peut-être insouciant, et certainement un peu naïf : en effet ces instruments qui mesurent les concentrations des gaz par un procédé d'absorption d'une lumière spécifique (*UVC* pour l'ozone, infrarouge pour le CO_2) ou par une réaction chimique luminescente (NO , NO_2) sont des monstres compliqués. Les valves, pompes et moteurs en action permanente restent des éléments fragiles comparés aux circuits électroniques. Une maintenance permanente des capteurs gaz est indispensable : que ce soit le remplacement régulier de filtres micropores (chers !), les recalibrages du zéro et du span par des gaz spéciaux (encore plus chers !) ou les grosses opérations de changement de joints, de roulements, de moteurs et d'autres éléments à durée de vie limitée qui doivent être réalisées par un technicien spécialisé.

Au début ces instruments étaient installés sur une plateforme métallique construite par notre technicien de physique de l'époque (Jean-Paul Klein) et moi-même. Le seul endroit possible était l'intérieur de la cabine technique de l'ascenseur, au voisinage immédiat et passablement inquiétant des moteur, tambours et autres parties tournantes de l'ascenseur en mouvement.

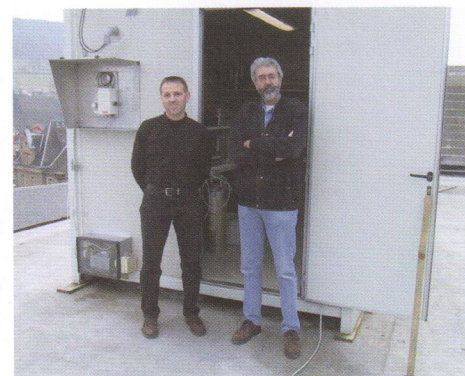
4. Les temps nomades

Au début de l'année 2000 les travaux de transformation et de rénovation du *LCD* touchaient le toit du « *Bâtiment années soixante* ». En clair ceci signifiait que toute la structure qui abritait nos équipements devrait être démontée et reconstruite. Heureusement nos contacts avec les responsables des *Bâtiments Publics* (J.-P. Reuter) et les architectes (François Valentiny et Jiji Kirchner de *Hermann&Valentiny*) étaient excellents et amicaux ; tous les responsables étaient enthousiasmés par notre station météo, et proposaient une construction en dur « sérieuse » pour nous abriter définitivement, une fois la rénovation terminée. En attendant, les *Bâtiments Publics* louaient un petit abri préfabriqué qui fut hissé par une grue sur le toit de l'aile située du côté de la rue du gymnase. Le 3 avril 2000 nous (Jean-Paul Klein, Marcel Thilmany, technicien du département informatique, Jean-Claude Krack, professeur de chimie, et moi-même) commençâmes à démonter toutes les installations et à les réinstaller dans le nouveau local : pompes, capteurs, mât météo, capteurs solaires, radio-modem...tout y passait. Le 6 avril, *meteoLCD* était de nouveau opérationnel. Jean Mootz avait donné, comme si souvent, un coup de main important pour redémarrer la partie informatique. Ce tour de force réalisé par une équipe exclusivement « *in-house* » était excellent pour notre moral et arrivait à dissiper les inquiétudes pour les déplacements que nous aurions à réaliser à l'avenir.

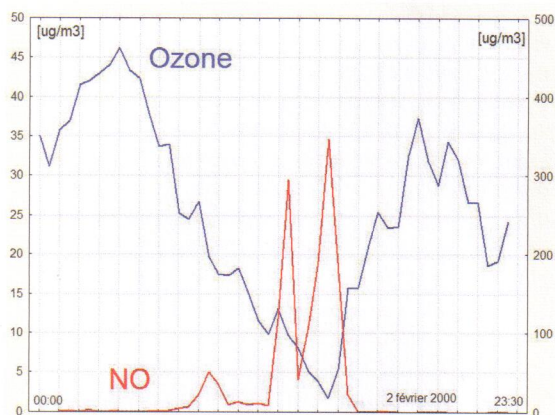
Le nouvel habitat de *meteoLCD* en 2000 : conteneur posé sur le toit, à l'est de l'ancienne cabine-ascenseur visible en arrière-fond.



Jean-Paul Klein, technicien du laboratoire de physique, et Francis Massen devant la cabine en fonctionnement. En arrière fond l'on remarque la construction de la nouvelle structure devant abriter la cage de l'ascenseur et les locaux définitifs de *meteoLCD*. (avril 2000)

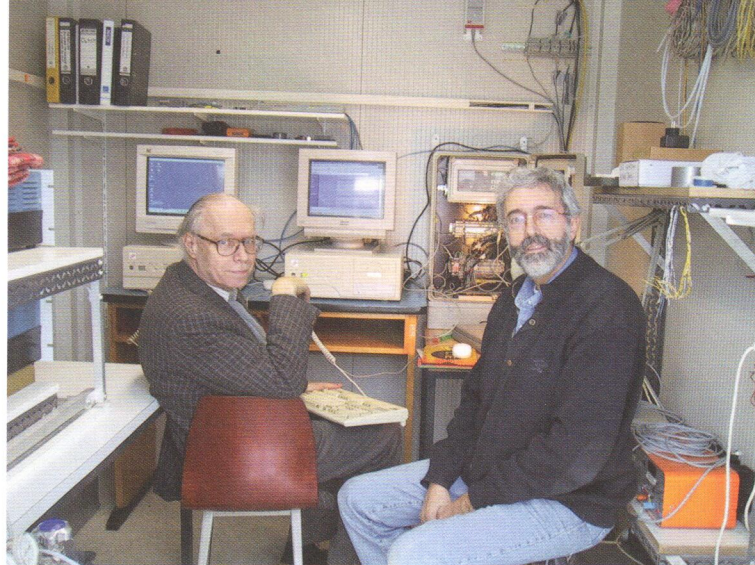


L'influence destructrice du NO sur l'ozone a pu être documentée de façon spectaculaire : en effet, le matin le démarrage d'un compresseur au diesel déposé directement près de la cabine dégageait un volume de NO/NO₂ important ; or si le NO₂ est créateur d'ozone lorsque la disponibilité de rayons UVB est suffisante, le NO en est un destructeur, quelles que soient les conditions d'ensoleillement. La photo 6 montre très clairement cet effet.



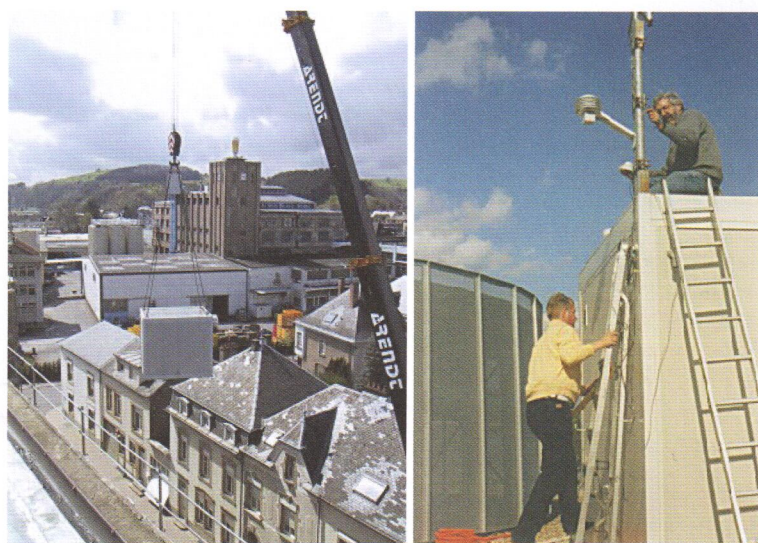
Belle illustration de l'action destructrice du NO sur l'ozone.

A cette époque je décidai de changer radicalement de software informatique. Ainsi, le 19 février 2001, toutes les procédures autour des fichiers de données et les réalisations graphiques furent portées vers une machine Linux avec des applications Open Source. Linux est un environnement très fiable et très robuste, et un délice pour celui qui sait se limiter au mode opératoire non-graphique de la console. Je faisais la majeure partie de la programmation en PERL, en utilisant généreusement les facilités incluses dans Linux ; mon fils Gilles Massen qui travaillait chez Restena et sa future épouse Sophie Ramel, informaticienne au CRP Henri Tudor, furent une aide précieuse et indispensable dans cette transformation ainsi que pour les maintenances à suivre. Le système opératoire réalisé à cette époque continue à tourner (avec quelques ajustements de temps à autre) encore aujourd'hui avec la régularité d'une horloge suisse.



Jean Mootz et Francis Massen dans la nouvelle cabine en 2001. Linux commence à être utilisé pour les traitements graphiques et les transmissions vers le serveur Web.

Si ce chapitre s'intitule « *temps nomades* », c'est que on bougeait vraiment beaucoup ! Et effectivement le prochain déplacement de la cabine et de tous les équipements fut effectué le 26 avril 2001. Dans une opération à haut risque, la cabine fut enlevée par une grue gigantesque, et posée sur une benne de camion qui se trouvait dans la rue du gymnase. Ce camion faisait le tour de la nouvelle construction pour s'arrêter dans la rue de la brasserie. De là, la cabine fut remontée par la grue et déposée devant la structure métallique abritant les installations de climatisation. Et de nouveau grâce à des efforts conséquents, la station fut en ligne la journée suivante.



La cabine est transportée vers son nouvel emplacement ; Marcel Thilmay et F.M. réinstallent les équipements. (avril 2001)

En avril 2001 *meteoLCD* fut admis par le *WOUDC* (*World Ozone and UV Radiation Center*), une organisation du *WMO* située au Canada, comme la station 412 de son réseau [2]. Notre mission fut de fournir tous les mois nos mesures de l'irradiation *UVB* et de l'épaisseur de la couche d'ozone. Les exigences quant à la présentation des données étaient drastiques et demandaient un effort certain de programmation. Jusqu'à aujourd'hui (2021), - et j'en suis fier -, *meteoLCD* reste toujours la seule station du Luxembourg à fournir ces données !

Début mai 2001 un équipement *WBGT* (*Wet Bulb Globe Temperature*) pour la mesure du stress thermique physiologique fut installé. Ceci résultait d'une collaboration avec le *Service Médical de l'armée*, plus précisément le Dr. Charles Bonert qui nous avait fait part d'un problème qui le tracassait. En effet, le médecin militaire devait autoriser ou non les exercices plus ou moins astreignants des soldats, mais il n'avait aucun moyen d'estimer le degré de dangerosité dû à la chaleur ambiante. Or les armées US et allemandes avaient un critère objectif, l'indice *WBGT* : il s'agit d'une température virtuelle calculée à partir des températures de l'air sec, d'un thermomètre humide et d'un troisième situé à l'intérieur d'un globe noir. Je suggérais au Dr Bonert d'installer un tel équipement chez *meteoLCD*, et d'en acheter un autre, plus petit et portatif comme appoint pour le *Service Médical militaire*. Les équipements furent payés par l'armée luxembourgeoise, mais tous les travaux annexes furent bien entendus réalisés par *meteoLCD*. Un article « *Ambiance Chaude* » [3] publié dans le *Bulletin de la Société des Sciences Médicales* du G.D. de Luxembourg donne plus de détails à ce sujet.

La dernière 'migration nomadique' eut lieu le 15 décembre 2003. Entretemps, la construction et les installations techniques de nos locaux définitifs étaient terminées. Ces locaux entourent la partie la plus haute de la cage dans laquelle se déplace l'ascenseur. Suite à un problème de stabilité, le mur du côté de la rue du gymnase devait être déplacé, ce qui, coup de chance inespéré, agrandissait l'espace initialement prévu. L'ensemble des couloirs et de la pièce principale donnent une surface au sol de 32 m² ; la terrasse située sur le toit de cette construction fait 65 m². Donc par rapport aux situations précédentes (cabine d'ascenseur, conteneur technique) un monde nouveau s'ouvrait !

De nouveau les travaux de déménagement et de réinstallation furent terminés en une seule journée, de sorte que le 16 décembre 2003 *meteoLCD* fonctionnait de nouveau.



Vue aérienne prise en 2007 de la station météo sur le toit de l'aile « années soixante »

5. L'après 2003

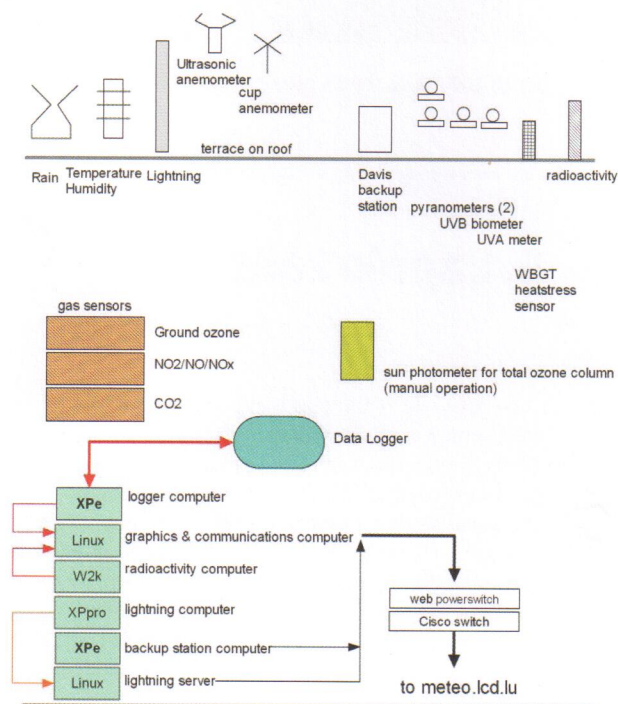
A partir de 2004, commence une étape de fonctionnement « normale » pour *meteoLCD* : les équipements tournent dans des conditions plus ou moins constantes, et ne connaissent pas de bouleversements profonds. Côté technique, nous ne pouvons que nous féliciter de notre décision d'utiliser un *datalogger* pour assurer une fiabilité maximale, ainsi que de recourir à des ordinateurs multiples spécialisés pour maintenir une programmation svelte. La station devient ainsi une source d'informations climatologiques disponible sans interruptions majeures, sobre et fiable, ce dont témoignent, entre autres, nos

contacts permanents avec la *Division de la Radioprotection* (MM Nico Harpes, Patrick Breuskin). Aussi nos ministres de l'Education Nationale n'hésitent-ils pas à l'étranger à présenter *meteoLCD* comme l'exemple réussi d'un beau projet scolaire.

S'ajoute cependant à cette époque une innovation importante : en effet, nous commençons avec les mesures de la radioactivité de l'air. Claude Baumann, directeur du *Convict Episcopal* de Luxembourg et un ancien du *LCD*, y contribue avec une réalisation électronique originale et probablement unique, basée sur un microcontrôleur *PIC* et l'environnement logiciel *Labview* : un boîtier électronique convertit les signaux digitaux sériels en signaux de tension analogique adaptés au *datalogger*.

Par ailleurs, l'installation d'un système américain *BOLTEK* pour la détection des foudres connaît un grand intérêt. La *SEO (Société Electrique de l'Our)* par exemple consulte nos pages pour pouvoir avertir les ouvriers travaillant sur le bassin supérieur du Mont St. Nicolas, si un orage s'approche. Le schéma suivant montre la structure logicielle et instrumentale actuelle de la station, qui, excepté quelques modifications mineures (comme l'installation d'autres ordinateurs, changement et ajout de capteurs...), reste semblable à celle de fin 2003.

meteoLCD structure 2016



Structure de la station météo en 2020

En août 2005, nous sommes heureux de noter que notre site Web, depuis ses débuts en 1996, vient de dépasser le chiffre de cent mille visiteurs. Dans ce même ordre d'idées, on peut relever que les visites de *meteoLCD* par différents groupes (réunions d'anciens, visites officielles, partenaires scolaires du Luxembourg et de l'étranger, classes d'autres écoles (p.ex. le *Lycée Technique Agricole d'Ettelbruck*) sont fréquentes. La terrasse avec les capteurs solaires et météo est une étape obligée de toute visite du lycée, et en novembre 2008 nous avons même reçu celle de SAR le Grand-Duc Henri.



Visite du Grand Duc en novembre 2008

Il est vrai que l'attrait d'une vue imprenable constitue probablement un motif aussi puissant que l'intérêt pour les installations scientifiques !

A partir de novembre 2009 Mike Zimmer, professeur de physique au *LCD*, devient collaborateur de *meteoLCD* ; il réalise les mesures de l'épaisseur de la couche d'ozone en mon absence, et lors des campagnes de calibration de nos deux instruments. Raoul Tholl, professeur de physique au *LTS* (et au *LCD* pendant une période), nous rejoint en 2011 pour donner un coup de main pour les problèmes électroniques ; il fait les dépannages, maintenances et calibrages, lorsque je suis à l'étranger.

Même si les automatismes sont rodés, des pannes se présentent, surtout autour des équipements de mesure des gaz : ces capteurs restent délicats par

suite des nombreuses parties mécaniques mouvantes (comme pompes, valves) qui s'usent ou peuvent se gripper. Néanmoins, la disponibilité atteint souvent 99% ou plus. C'est peut-être une des raisons, pourquoi, à partir du 17 juin 2011, suite aux contacts avec le Dr. Didier Gillotay, nos mesures UVB sont intégrées par l'*Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (Belgian Institute for Space Aeronomy, BIRA-IASB, Uccle)* dans la carte de l'indice UVI pour la Belgique qui inclut maintenant le Luxembourg [4].

Il est évident que ces collaborations avec le WOUDC et BIRA sont exigeantes, et nous imposent une présence théoriquement sans faille et permanente, une situation tout à fait inhabituelle pour un lycée au fonctionnement intermittent. La lecture de la rubrique NEWS du site Web est instructive à cet égard, et montre que cet idéal demande souvent de stressantes interventions en urgence. Même si nous sommes réellement performants, nous sommes toujours très loin du « *long fleuve tranquille* » !

6. Le travail scientifique et pédagogique

De 1996 à 2020, 69 petits rapports ou publications plus importantes ont été écrites par moi-même et différents co-auteurs [5]. Quelques-uns de ces rapports sont « *peer reviewed* » et ont été publiés dans des journaux scientifiques. Le plus important est probablement un article sur une méthode originale de vérification des mesures historiques du CO₂ atmosphérique que j'ai écrit avec Ernst-Georg Beck, un grand spécialiste des mesures chimiques historiques, malheureusement décédé beaucoup trop tôt. Cette étude a reçu un premier prix en 2009 et est publiée chez Springer.

Des rapports plus concis traitent de problèmes aussi divers que l'impact des variations de la couche d'ozone sur l'intensité UVB au sol, des changements de radioactivité lors d'épisodes pluvieux, de problèmes de calibrages etc.

Un article publié en 2011 sur les mesures de la durée d'ensoleillement vient de dépasser 1000 lectures à la fin de 2020, d'après Researchgate. La page « *Papers and Reports* »

du site Web est un bel exemple que la recherche scientifique n'est pas réservée à l'unique université du pays, mais peut être faite valablement par des institutions ou individus en dehors de la sphère académique traditionnelle.

Avec l'internet, les blogs deviennent de plus en plus un moyen rapide pour disséminer des résultats et analyses de mesures, des commentaires et prises de positions sans passer par les fourches caudines d'un *peer review* long, restrictif et très influencé par le *Zeitgeist*. Le blog du professeur Roger Pielke Sr. de l'Université de Boulder (Colorado, USA) publiait plusieurs commentaires de *meteoLCD*, dont un article sur le calcul de l'enthalpie de l'air humide. Sur d'autres blogs, *meteoLCD* est cité pour ses mesures du CO₂, qui montrent que la concentration au niveau du sol varie très fortement au cours de la journée, phénomène typique pour une station de mesure continentale. J'ai commencé un blog **meteoLCD.wordpress.com** en septembre 2008, sur lequel se trouvent beaucoup d'analyses spécifiques. Ce blog (en anglais) faisait d'ailleurs partie de la sélection des blogs anglophones du *Luxemburger Wort*.

Il est difficile d'estimer l'impact pédagogique direct de *meteoLCD*. Lorsque j'étais encore enseignant actif, je faisais faire à mes élèves de temps à autre une petite analyse de données. Un exemple est une très courte étude « *A short report on ozone, NO and NO₂ concentrations* » écrite en 1998 avec un groupe d'élèves. Je sais que mes collègues de biologie et de géographie puisaient dans les données archivées pour tel ou tel sujet soumis aux aléas climatiques. Faire participer les élèves au travail d'entretien permanent est chose pratiquement impossible : d'une part, la disponibilité extra-scolaire des élèves devient de plus en plus réduite, d'autre part, nos relations internationales imposent des critères sévères qui ne permettent pas des manipulations possiblement dévastatrices !

De temps à autre un élève particulièrement à l'aise dans la création de pages Web a suggéré de remplacer les pages actuelles de *meteoLCD* (qui sont très sobres et ne brillent certainement pas avec des effets visuels à la mode) par une version plus « *hype* ». Cependant puisque la maintenance d'une telle version ne serait plus assurée, dès que l'élève aurait terminé ses études au LCD, cette initiative détruirait la permanence assurée et indispensable actuelle. Cependant Benoît Frisch, un ancien du LCD et directeur de *fresh.lu*, a écrit l'app *meteoLCD* pour IOS et Android, qu'il continue à maintenir.

Le site Web <https://meteo.lcd.lu>, bien que peu spectaculaire visuellement, reste cependant un modèle de publication honnête des mesures originales sans post-traitement caché et/ou inavouable. Nos données originales sont toutes archivées, et consultables sans aucune procédure administrative. Notre site est d'ailleurs le seul à présenter

depuis 1998 une rubrique « *Trends* », unique au Luxembourg. Elle permet d'avoir une vue instantanée de l'évolution temporelle de beaucoup de facteurs climatiques, dont certains comme l'enthalpie de l'air (c.à.d. le contenu énergétique de l'air humide) n'apparaissent nulle part ailleurs. *meteoLCD* a été pendant de longues années la seule station accessible pour les mesures de l'ozone au sol ; elle garde son caractère unique encore aujourd'hui pour les mesures du CO_2 et des rayonnements UV. La « *Ligue Luxembourgeoise contre le Cancer* » donne *meteoLCD* comme source pour l'indice UV au Grand-Duché.

Les contacts avec le RMI (*Royal Meteorological Institute*, Dr. Hugo de Backer) et avec l'*Institut d'Aéronomie Spatiale* (Dr. Didier Gillotay) autour des questions de l'épaisseur de la couche d'ozone et des rayonnements UVB, avec la division de la Radioprotection de notre *Ministère de la Santé* (MM. Nico Harpes et Patrick Breuskin) ainsi qu'avec *Meteolux* (M. Jacques Zimmer) restent excellents.

7. La discussion autour du changement climatique

En tant que physicien, j'ai suivi avec un grand intérêt les phases des grandes peurs répétitives qui se sont succédé depuis les années 70 : qu'il s'agisse de la peur d'un nouvel âge glaciaire (début 1970), de l'épuisement des ressources et des famines imminentes (« *Population Bomb* » et *Club of Rome*), du *Waldsterben*, du gaz radon radioactif, de l'ozone troposphérique... Toutes ces peurs avaient un fond concret, mais le danger était en général exagéré et amplifié sans commune mesure par des acteurs divers, qui tous y trouvaient leur intérêt. Les discussions sur le réchauffement climatique anthropogène causé par les rejets du CO_2 n'étaient donc au début qu'une nouvelle étape dans cette suite de catastrophes prédites, mais jamais réalisées. Cependant en mettant en accusation un gaz directement lié à toute activité humaine, on arrivait à une nouvelle qualité dans la peur globale : éviter les émissions de ce gaz équivalait pour certains à un retour vers une situation préindustrielle présentée comme un âge d'or climatique. Que le CO_2 est un gaz essentiel à toute vie végétale est oublié ; ce qui compte est le changement imposé

d'un mode de vie moderne vu comme destructeur de la planète.

J'ai suivi donc d'une façon sérieuse les études et recherches sur le réchauffement global (terme défendu maintenant par la climatologie consensuelle qui préfère parler de « *changement climatique* »). Nous avons une collection très importante de rapports scientifiques et commentaires, dont beaucoup sont critiques quant à un consensus présupposé sur la dangerosité d'une concentration atmosphérique du CO_2 plus élevée. Malheureusement, en se mettant à la merci des subventions publiques, des médias avides de sensations anxiogènes et de groupes environnementaux quasi-religieux, la climatologie « officielle » se démarque souvent de l'approche scientifique, pour laquelle le doute et le scepticisme sont des qualités et non des comportements répréhensibles.

MeteoLCD publie donc sur son site une page « *The Global Warming Sceptic* », - discrète, et pas trop mise en évidence, il est vrai - : c'est probablement la seule publication au Luxembourg qui permette au lecteur de trouver des sources informatives d'habitude ignorées par les médias traditionnels. Notre position critique n'est et n'a pas été sans danger : un député a p.ex. demandé dans une question parlementaire si une telle opinion était permise pour un lycée, et seule l'intervention courageuse de la *Ministre de l'Education Nationale* a évité la censure souhaitée.

Le plus désolant dans ces tentatives d'intimidation est qu'on omet de relever le nombre très important de scientifiques (dont des prix Nobel) qui ne sont pas d'accord avec la climatologie officielle du *GIEC*. Cependant l'intérêt politique, les lobbys éco-industriels et environnementaux sont des forces importantes et elles ont un intérêt réel à ce que la grande peur climatique reste bien vivante.

Ma position de climato-réaliste n'a jamais eu une influence sur nos mesures. Réaliser des mesures honnêtes, et en reconnaître les limitations, me semble une qualité primordiale et la *conditio sine qua* non de toute approche scientifique. Puisque *meteoLCD* travaille pratiquement sans financement public, nous pouvons nous permettre une liberté scientifique qui deviendrait dangereuse pour des laboratoires ou institutions pour lesquels des rapports en accord avec la doctrine officielle sont indispensables à l'apport continu de l'argent public et donc à leur survie.

8. L'avenir

Il ne faut pas se voiler la face : nos mesures des gaz atmosphériques n'étaient longtemps possibles parce que des sources officielles en assuraient discrètement le financement du contrat d'entretien des capteurs des gaz atmosphériques. Ces mesures sont de loin les plus difficiles à assurer, tandis que l'entretien des équipements météorologiques traditionnels, pour mesurer les différents rayonnements solaires, l'épaisseur de la couche d'ozone et la radioactivité de l'air est assez facile.

L'arrivée en fin de vie des capteurs de gaz traditionnels et l'impossibilité financière de les remplacer a imposé une nouvelle stratégie: à partir de juin 2017 le capteur CO₂ a été remplacé par un modèle passif de VAISALA, n'exigeant plus de pompes ni de calibrage régulier avec des gaz spéciaux hors de prix. En décembre de la même année les mesures d'ozone au sol sont faites par des capteurs miniatures CAIRSENS qui fonctionnent pendant une année sans calibrage, et sont remplacés annuellement. Depuis 2019 nous expérimentons les mesures des particules fines (PM2.5 et PM10) avec des capteurs LLS (*Laser Light Scattering*) qui deviennent définitives au début de 2020. Ces mesures sont envoyées toutes les 5 minutes sur la «cloud» de la firme iQAIR en Suisse, et *meteoLCD* fait maintenant parti d'un réseau international de stations de mesures de ces polluants.

La publication des données et l'entretien du site Web ne se feront jamais de façon complètement automatique. Cependant une alternative toujours possible serait de remplacer le système informatique et *Open Source* assez complexe actuel par un équipement du marché incluant une présentation graphique des données de mesures.

Le problème essentiel est cependant un problème de personnel : y aura-t-il toujours à l'avenir un enseignant du LCD prêt à assumer une tâche importante de façon bénévole, tout en disposant des connaissances et compétences requises ? Disons que je préfère rester optimiste sur ce point....

Références

[1] <https://meteo.lcd.lu>, URL du site Web de *meteoLCD*, hostée chez RESTENA.

[2] Ambiance Chaude : https://meteo.lcd.lu/papers/wbgt/ambiance_chaude.html

[3] <https://www.woudc.org/home.php>

[4] <http://uvindex.aeronomie.be/index.php> (ce site n'est plus maintenu depuis fin 2019)

[5] <https://meteo.lcd.lu/papers/index.html>

9. Un grand Merci

La station *meteoLCD* a été et reste une aventure, et il est évident qu'elle n'aurait jamais vu le jour et ne pourrait survivre sans l'aide et le soutien de nombreuses personnes et institutions. Le *Ministère de l'Education Nationale*, la direction du LCD, mes collègues du LCD, le *Service de la Radioprotection*, l'*ex-Laboratoire de radioactivité de l'Université du Luxembourg*, les techniciens des *Laboratoires de physique et d'informatique*, l'équipe *Restena*, les spéléologues du *GSL*, les correspondants luxembourgeois et étrangers, tous ont eu et ont toujours un grand mérite dans le fonctionnement de notre installation.

Qu'il me soit permis de ne pas citer de noms, par crainte d'en oublier ; je m'autoriserai cependant deux exceptions : l'une pour saluer le professeur et ami Jean Mootz (décédé en 2010), l'autre pour honorer la compréhension et la patience permanentes de mon épouse (décédée en 2018) durant toutes ces années.