

Témoignage sur un concours d'agrégation

Bernard Diu

1^{er} juillet 2017

1) Présentation du sujet

J'ai participé, pendant quatre années d'affilée (1983, 84, 85, 86) au jury de l'agrégation de physique sous la présidence de Michel Hulin (1936-1988), qui était à cette époque professeur à l'Université Pierre-et-Marie-Curie. J'en ai tiré quelques souvenirs et aussi quelques enseignements que je me propose d'évoquer ici.

Mais je n'essaierai pas de me rappeler le nombre de candidats - de l'ordre de la centaine -, ni même le nombre d'épreuves écrites et orales assorties de leurs coefficients. Cependant, revêtait une importance primordiale la note finale obtenue par somme de l'ensemble des notes partielles, chacune d'elle pondérée par le coefficient qui était attaché à l'épreuve correspondante ; l'agrégation se présentait en effet comme un *concours* : seuls étaient déclarés reçus les candidats qui se classaient dans les N premiers (Le nombre N de « places », déterminé au niveau gouvernemental, était publié par avance au Journal Officiel, pour la physique comme pour les autres disciplines).

Je me contenterai ici de décrire dans leur principe et leur application pratique les diverses épreuves que subissaient les candidats, et la part que j'ai été amené à y prendre. Je conterai au passage une ou autre anecdote qui peut mettre au jour le bien-fondé et les échecs de ces principes et de leur application ; je m'en tiendrai alors à l'anonymat le plus strict pour ce qui concerne les candidats ayant participé à ces « anecdotes » (Au pire pourraient-ils se reconnaître eux-mêmes).

2) Correction de l'épreuve écrite

Pour l'*écrit*, je prenais part à la correction des copies traitant le *problème de physique* sur lequel avaient travaillé pendant 4 heures les candidats, isolés les uns des autres.

a) Rédaction de l'énoncé

Le sujet - énoncé et questions posées - avait été rédigé par un physicien confirmé, faisant partie ou non du jury proprement dit.

Bien entendu, ce sujet restait soigneusement dissimulé jusqu'au jour de l'épreuve, où il était dévoilé à 8h du matin ; quelques rares personnes – dont, je pense, le président du jury, mais en tout cas pas moi – étaient admises dans le secret, moyennant le serment

solennel de n'en rien dire à personne (Il n'y eut pas de « fuites » durant le temps que dura ma participation à l'agrégation).

b) Corrigé et barème

Dès qu'avait eu lieu l'épreuve de problème, un petit groupe de bénévoles rédigeait un corrigé détaillé assorti d'un barème précis, dans le genre : « Si la copie a oublié le facteur $(-1/4)$, enlever un demi point »... ; ou bien : « La note maximale à cette question demande que le résultat correct complet ait été bien individualisé... » Tous les correcteurs, dont moi, acceptèrent de se tenir à ce carcan. Le but était, à l'évidence, d'éviter des disproportions systématiques entre correcteurs.

c) Organisation d'une double correction

Les copies étaient partagées en plusieurs paquets, selon la procédure suivante.

À chaque candidat était affecté un nombre – entre 100 et 1000 –, et son nom était remplacé par ce nombre, imprimé sur chaque copie – sur chaque feuille, en fait, pour éviter des combinaisons non-voulues. Les correcteurs se groupaient par deux (on disait « binômes ») pour assurer la double correction.

Concrètement, chacun se trouvait à la tête d'une trentaine de copies, qu'il analysait selon le barème. Mais attention : ne rien écrire, notes ni appréciations, sur aucune copie ! Il fallait consigner et conserver ces annotations sur une fiche personnelle, qui restait secrète elle-même. On transmettait ensuite ces copies, toujours anonymes (La correspondance entre numéros et noms était sous la responsabilité du président, et de lui seul.), à son binôme, qui reprenait la correction au début.

d) Détermination de la note d'écrit

Le binôme se réunissait ensuite pour comparer les deux appréciations d'une même copie, et en déduire la note d'écrit finale n_e qui était attribuée à chaque candidat – pour ce qui concernait l'épreuve de problème. C'est là que nous fûmes pris en défaut une fois – une seule, bien heureusement !

Désignons par n_A et n_B les notes obtenues, chacun a part soi, par les deux correcteurs A et B du binôme. Ces notes n'étaient pas exprimées sur 20, mais sur 100 ou quelque autre nombre « grand », *le même pour tout le monde*, qui ressortait directement du barème (Pour apprécier de petites différences entre les copies sur une question donnée, il est commode de leur associer des nombres, petits devant 100 ou devant le maximum du barème ; ils varieront d'une copie à l'autre sans introduire a priori de préférences entre elles).

Maintenant, il sera clair pour tout observateur, et pour A et B en particulier, que si $n_A = n_B$ la « double correction » a fonctionné correctement (Il n'est pas indispensable que les notes partielles attribuées aux diverses sections du problème par A et B soient séparément égales, mais $n_A = n_B$ sur l'ensemble indique que les deux correcteurs A et B ont apprécié cette copie de façon équivalente). Dans ce cas, la note finale n_e de la copie

sera évidemment

$$n_e = n_A = n_B \quad \text{si} \quad n_A = n_B .$$

Si au contraire n_A et n_B se montrent significativement différentes, la copie est réexaminée en commun par les deux correcteurs A et B . Discussion à propos de chaque question, sur la base du barème, et évolution de n_A et n_B vers une valeur commune. L'expression « significativement différente » recouvre en pratique les situations où $|n_A - n_B|$ n'est pas négligeable devant chacune des deux notes n_A et n_B .

Mais il existe des cas (nombreux) où n_A et n_B , sans être égales, restent voisines. Comme la procédure qui vient d'être décrite (relecture de la copie en commun et négociation sur chaque détail) consomme un temps considérable, elle est parfois remplacée par un « agrément à l'amiable » : l'un des correcteurs, ou les deux, acceptent de modifier n_A , ou n_B , ou l'une et l'autre, en vue de réduire les divergences. En dernier recours, A et B constatent que n_A ou n_B – proches ici l'une de l'autre – pourraient l'une comme l'autre évaluer correctement la copie. On prendra alors pour note n_e la moyenne de n_A et n_B :

$$\text{si} \quad n_A \simeq n_B, \quad n_e = \frac{1}{2} (n_A + n_B) .$$

e) Un cas périlleux

C'est ici que se glisse la première anecdote que je voulais conter. Elle présente un double avantage : d'une part, elle est aisément compréhensible ; d'autre part – nous le verrons – ce sont les correcteurs A et B , et non pas un quelconque candidat, qui commettent une erreur. À cause de ce second aspect, cette soi-disant « anecdote », lorsqu'elle se manifesta à mes yeux, me jeta dans un profond désarroi, qui me poursuivit des jours durant : j'eus du mal à la chasser de mon esprit, comme le fit de son côté mon co-correcteur, sans doute ; je cherchais à lui trouver une issue valable, dans le cas probable où s'avèreraient injustes ses conséquences. Voyons à la décrire.

Il s'agissait au départ de la copie numéro 403, je m'en souviens. Elle avait été écrite par un candidat que je n'identifierai que bien plus tard – je le nommerai provisoirement C – comme solution à l'épreuve de problème. Les correcteurs patentés A et B , et donc moi par conséquent, attribuèrent à cette copie la même note (dont je me souviens également) :

$$n_A = n_B = 62$$

(ramenée à 100 comme maximum).

Ma feuille personnelle de correction me révéla alors une erreur : au lieu de 62, qui aurait dû être la véritable note de la copie 403, la fatigue de A et B introduisit une confusion entre les deux formules écrites ci-dessus et nous conduisit à

$$n_e = 31 .$$

Ce n'est que bien plus tard (voir ci-après le paragraphe (f)) que cette erreur importante fut détectée. Le concours d'agrégation poursuivit sur sa lancée, sans que quiconque fût

conscient de cette méprise, d'un facteur 2 pourtant – entre 62 et 31 –, même pas A et B tant que rien ne les avait alertés.

Lorsque les résultats finals furent affichés, le titulaire C de la copie 403 ne figurait pas sur la liste des reçus. Je ne m'en étonnai pas, ni n'avais encore aucune raison de m'en étonner.

f) La Vérité sort du puits

In fine, après proclamation des résultats, les membres du jury reçoivent volontiers, individuellement, les candidats qui en expriment le désir. C'est ainsi que je me trouvai à une table, Monsieur C à mes côtés, pour commenter avec lui la copie 403 qu'il avait composée et remise.

Sans rien en laisser paraître, je me rendis progressivement compte, à la relecture de cette copie, qu'elle méritait mieux que la note $n_e = 31$ qui lui avait été attribuée, et qui figurait comme telle sur ma feuille de correction personnelle. Mais celle-ci – que je n'avais pas à montrer à Monsieur C – révélait des appréciations et notes partielles que j'avais portées de ma main au cours de ma première lecture ; un simple coup d'œil à ces annotations me fit aussitôt soupçonner, puis apprécier l'erreur significative que représentait $n_e = 31$ pour somme des notes partielles.

Je me rappelle la vague de culpabilité qui me submergea, avec la certitude que « les jeux étaient définitivement faits » et clos : quelque modification que ce soit était désormais exclue. Heureusement – Est-il décent d'appliquer cet adjectif à une telle situation ? –, heureusement malgré tout, il me revint en mémoire que la performance de Monsieur C à l'oral avait été désastreuse (Je n'ai pas à dire ici pourquoi, mais ce « désastre » avait été jugé pour tel par un jury de quatre membres – comme expliqué bientôt (§ 3)).

Monsieur C reparti, en reportant ses espoirs sur l'année suivante, je me précipitai au secrétariat, où je savais pouvoir trouver, en cette fin de session, toutes les notes de tous les candidats dans toutes les épreuves. Je constatai effectivement, avec soulagement, que la substitution de 31, dans la case adéquate, par 62 ne suffisait pas pour monter Monsieur C dans la liste des reçus...

3) L'oral de physique

La plus importante de toutes les épreuves, quantitativement (d'après son coefficient), était sans conteste l'oral de physique. C'était aussi, probablement, la plus difficile, par l'extension et la variété de son programme. Le jury dans son ensemble délégua à quatre de ses membres la lourde tâche d'écouter les candidats et de juger leur performance. Je faisais partie de ce sous-jury de quatre personnes, et vécus ainsi en direct le déroulement de cette sorte d'épreuve-reine.

a) Convocations

La première décision à prendre concernait le choix des candidats autorisés à se présenter à l'oral. Ce choix se voyait limité par les possibilités physiques – pourrait-on dire par transposition de l'adjectif – des membres du jury : étant entendu que tous les candidats retenus passeraient, à un moment ou à un autre, devant ce même sous-jury ; étant donné qu'il fallait compter, par candidat, une heure et demie pleine – voir plus loin le détail de l'horaire prévu –, c'était là une somme de travail et de temps considérable. On connaissait donc à l'avance – dimanches et jours fériés annexés – le nombre N_o de candidat(e)s acceptables à l'oral, supérieur en tout état de cause au nombre N de places qui étaient allouées à la physique, et qui seraient finalement remplies par les reçus à notre concours.

Le choix des N_o admissibles était opéré par la réunion de l'ensemble du jury, sur le vu des notes obtenues à l'écrit par les divers candidats – que nous ne connaissions à ce stade que par le numéro qui les distinguait les uns des autres. Le travail était relativement aisé : on admettait en premier lieu les N_o meilleures notes sommées sur l'ensemble de l'écrit. Certes, une discussion s'engageait, qui portait sur les moins bonnes de ces notes comparées à celles qui les suivaient immédiatement et allaient probablement être délaissées ; cette discussion restait calme : « défendre » un numéro supposait qu'on avait repéré dans cette copie un passage plus pertinent que dans ses voisines.

Toutefois, une circonstance importante pesait sur cette discussion, lui enlevant le caractère oiseux qu'on aurait pu lui supposer – puisqu'elle s'attachait à des copies médiocres. Nous savions tous en effet que, à chaque session, un ou deux candidats de faible valeur a priori bondissait, grâce à l'oral de physique, jusqu'à apparaître dans la liste des reçus. À l'inverse, un mauvais oral de physique condamnait presque à coup sûr à la relégation (Voir ci-dessus (§ 2 f) l'exemple du candidat C).

Les N_o oraux possibles ayant été attribués, une sous-commission bénévole entourait le président pour les situer dans le calendrier, en tenant compte de leur éloignement géographique.

Une anecdote pour commencer, qui ne posa pas de difficulté concrète, quoiqu'elle se fondait sur des décisions juridiques que personne ne songeait à contourner. Les correcteurs de l'écrit remarquèrent une année que 3 copies qui portaient le même numéro, et émanaient donc d'un même candidat, différaient notablement par l'écriture. Le président, averti par avance, nous apprit qu'un candidat handicapé corporellement avait été assisté par des « écrivains » – non-physiciens – qui avaient changé suivant la matière à interpréter. Ce candidat, lui aussi désigné par le numéro commun à ses copies, entra normalement dans la discussion déterminant les N_o oraux ; ses notes d'écrit ne lui permirent pas de figurer parmi les N_o (décision prise à l'unanimité par le jury complet).

b) Les dispositions du sous-jury

Pour exposer le fonctionnement de l'épreuve « oral de physique », suivons au cours de son déroulement un(e) candidat(e) ; nous nommerons C_o cette personne – pour tenter de minimiser les répétitions. Notons que le numéro de ses copies allait maintenant s'incarner

dans un être humain que nous allions connaître lors de sa présentation devant notre sous-jury d'oral.

Celui-ci avait convenu par avance, unanimement, que nous ne chercherions pas à connaître les notes qu'avait obtenues C_o à l'écrit – bien que c'était devenu relativement aisé à ce moment-là. Ceci pour ne pas influencer notre appréciation et notre notation de l'oral de C_o .

Il se produisait même de temps à autre un changement imprévu : l'un de nous quatre se retirait – tout en restant présent – de son rôle habituel pour ce qui concernait C_o , qu'il connaissait ou avait connu antérieurement ; il prenait sa décision de retrait, et la communiquait aux trois collègues du sous-jury, à l'apparition de C_o , sans que celui-ci en connût la teneur.

c) Le calvaire d'un candidat

Le candidat – ou candidate – C_o , que nous allons suivre pas à pas, avait été convoqué 4 heures avant le début de l'oral proprement dit devant le sous-jury. Il était accueilli – à une heure fort matinale, parfois – par le président du jury, devant qui il tirait au sort le sujet et le titre de la « leçon » qu'il devrait présenter : il choisissait un papier, soigneusement et hermétiquement plié, parmi un lot de papiers tous analogues, et le déployait avec le président ; cette espèce de fiche ainsi découverte le suivrait, sans ajout ni rature, tout au long de cette (longue) journée.

Après un temps de réflexion, il demandait à pouvoir s'aider de quelques livres, qu'on lui apportait d'une bibliothèque scientifique proche. Il restait ensuite quatre heures à travailler sur son sujet, isolé de ses concurrents et des membres du jury.

On le conduisait ensuite dans une salle assez vaste où siégeait le sous-jury d'oral. Il y disposait d'un ou plusieurs appareils de mesure dont il avait sollicité l'assistance en fin de préparation.

La présence d'auditeurs, a priori quelconques, était tolérée. Toutefois le président s'assurait auprès de C_o si cette présence lui était indifférente ou si elle risquait de lui peser. Dans ce dernier cas, le plus courant, on dissuadait précautionneusement le public déjà en place de rester, pour ne pas troubler C_o dans son exercice difficile.

Devant le sous-jury d'oral – toujours au complet et attentif – C_o disposait de 3/4 d'heure – sans aucune interruption ni mimique des juges – pour présenter sa leçon ; 1/4 d'heure était ensuite laissé au jury pour poser des questions et écouter les réponses ; après la sortie de C_o avait lieu une (assez courte, le plus souvent) délibération, qui « convergeait » rapidement vers une note commune. Cependant le candidat C_o demeurait encore accessible durant 1/2 heure ; le sous-jury pouvait le prier de revenir quelques minutes dans la salle pour de nouvelles questions.

Nous n'eûmes que peu recours à cette demi-heure supplémentaire. Elle nous servit essentiellement à départager deux interprétations différentes qu'avait fait naître dans les quatre examinateurs telle phrase ou quelque affirmation de C_o . Dans une situation de ce type, nous nous mettions d'accord sur la question (unique) à poser à C_o pour lever l'indécision, et sur lequel de nous quatre allait la formuler. À l'égal de celles du « quart d'heure du jury » qui suivaient aussitôt l'exposé de C_o , ces questions évitaient toute

agressivité, intonation condescendante ou méprisante. Mais elles s'appliquaient le plus souvent sur l'un des points faibles de l'exposé. Exemple courant : « vous avez dit que ... Pourriez-vous préciser ? ».

d) Comportement du sous-jury d'oral

Le sous-jury d'oral était composé de 2 professeurs de « taupe » et 2 universitaires, d'âge moyen. On peut dire, sans exagération et sans vanité, que ce groupe fonctionna fort correctement dans l'ensemble.

Ce fonctionnement fut fondé sur deux piliers, deux exigences auxquelles nous nous sommes constamment tenus. D'une part, politesse et cordialité vis-à-vis des candidats : nous ne nous moquâmes jamais d'une affirmation foncièrement incorrecte ni d'un calcul visiblement faux. D'autre part, rigueur inflexible sur les fondements de la physique : nous étions convenus qu'un candidat qui montrerait une méconnaissance grave de quelque principe essentiel ne pourrait pas mériter une note « raisonnable » – ne pourrait pas dépasser 6 ou 7 sur 20.

Se présentèrent cependant quelques difficultés, que nous nous employâmes à résoudre au coup par coup dans une explication entre nous quatre. La plus fréquente de ces difficultés surgissait lorsque l'un d'entre nous proposait, pour le candidat qui venait d'être examiné, une note bien supérieure, ou bien inférieure, à celles qu'envisageaient les trois collègues. Ce n'était pas alors un simple calcul de moyenne qui nous tirait d'embarras ; il nous fallait user d'arguments convaincants vis-à-vis de celui qui exagérait. Dans les cas « normaux », un court échange de vues et d'éléments de preuve suffisait pour déduire une note commune des quatre propositions initiales, compte tenu évidemment de la « rigueur » évoquée ci-dessus, qui s'imposait à chacun d'entre nous.

4) Trois récits typiques

Il serait sans doute possible de conter ici quelques unes des « bourdes » que nous eûmes à entendre. Le récit y gagnerait peut-être en vivacité, mais cela contredirait, face aux candidats pris dans leur ensemble, à la règle de politesse et de courtoisie que nous avons faite notre. Je me contenterai donc de citer trois situations qui nous prirent en défaut. Parmi celles-ci, les deux premières relèvent sans conteste de l'ignorance ou l'incompréhension de quelque « grand principe », mais de manière tellement différente qu'elles vont être évoquées succinctement l'une et l'autre.

a) Dans le *premier cas*, un candidat C'_o souhaite faire voir au public, dont participe évidemment le sous-jury, un événement découlant du phénomène d'*induction électromagnétique*¹.

Il dispose pour cela d'un fort *aimant permanent* M , fixé sur la table ou la paillasse, et d'un *circuit électrique* léger c , qui peut être déplacé au gré du manipulateur ; le circuit c est *fermé*, et ne renferme *aucune source de courant* ; seul un ampèremètre sensible

1. La note 1 ci-après résume en quelques phrases la *loi de Faraday* qui régit l'induction électromagnétique.

permet de détecter et de mesurer l'intensité du courant (s'il en existe un) qui parcourt éventuellement la boucle c .

Le candidat C'_o déplace c dans le champ de l'aimant M . Le public constate aussitôt qu'un courant se manifeste dans c , « induit » par les manipulations de C'_o ; toutefois il cesse (intensité nulle) dès que c ne se déplace plus par rapport à M .

Malgré cette évidence – courant induit nul si c reste immobile – C'_o dédaigne sans le moindre commentaire les laps de temps où c est en mouvement, et où le « spot » de l'ampèremètre entre en transes, pour ne s'intéresser qu'aux instants où tout dérangement a cessé. Donc méconnaissance absolue de la loi fondamentale de Faraday (cf. note 1). Bien entendu, sans agressivité ni moquerie, le sous-jury reprit avec C'_o cette expérience, après la fin de l'exposé oral de C'_o .

b) Le *second cas* met en avant la *thermodynamique*, pour un autre candidat C''_o . Question de l'un d'entre nous : « Vous avez appelé et noté dQ la quantité infinitésimale de chaleur reçue par le système étudié; dQ est-elle la différentielle d'une fonction d'état du système? » – Réponse de C''_o : « À vrai dire, je ne sais pas; je me suis posé la question tout au long de ma préparation, sans trouver de réponse satisfaisante ».

Ici aussi, ignorance des principes – de la thermodynamique, en l'occurrence (Voir note 2 ci-après) –; qui était susceptible d'entraîner l'action du couperet de rigueur.

Néanmoins, l'attitude franche et modeste de C''_o nous plongea dans l'embarras. On pouvait penser que, conscient de ses lacunes, C''_o parviendrait à les combler en s'aidant des livres excellents dont il avait sollicité l'aide quelques heures auparavant; toutefois nous étions parfaitement conscients de la difficulté que recèle la thermodynamique pour ce qui touche aux variables et fonctions : C''_o devrait travailler ferme pour assimiler ces subtilités. En relâchant la rigueur – ce que nous fîmes –, nous faisons reposer entièrement le sort de C''_o sur ses notes d'écrit – que nous ne connaissions pas à ce stade ...

c) La *troisième anecdote* se présente sous un jour bien différent des deux premières.

Le problème – soulevé par le candidat C'''_o lui-même – consiste à analyser mécaniquement le démarrage d'une voiture sur une route plane et horizontale. Je n'essaierai pas de détailler ici le raisonnement qui permet de comprendre comment l'effort exercé par le moteur sur les roues motrices pour les faire *tourner* aboutit à une force *horizontale* tirant la voiture *vers l'avant*. Il y faut des hypothèses sur les forces de contact entre les pneumatiques et le revêtement du sol, hypothèses complétées par le *principe des actions réciproques* (troisième loi de Newton) – car le moteur se trouve dans la voiture, et non pas dans la route. Le candidat C'''_o s'étant fourvoyé dans ces méandres, nous engageâmes avec lui, après son exposé, une véritable discussion scientifique pour éclaircir les points qui demeuraient obscurs.

5) Fonctionnement « technique » du sous-jury d'oral

Il faut préciser – nous n'en avons pas parlé jusqu'ici – que nous disposions d'un *chronomètre*, qui mesurait objectivement, sans contestation possible, les temps (3/4 heure, 1/4 heure, 1/2 heure) mentionnés ci-dessus (§ 3-c).

C'était tout particulièrement celui qui était imparti (3/4 h) à l'exposé proprement dit, qu'il convenait de contrôler. Les candidats en effet, pour la plupart d'entre eux, avaient tendance à prolonger leur temps de parole au-delà des trois-quarts d'heure réglementaires, pour diverses raisons que chacun imaginera sans peine. Quant à nous, gardiens du temple et de son culte, nous devions nous garder de favoriser les postulants volubiles par rapport aux fidèles qui joueraient scrupuleusement le temps limité – et nous devions aussi veiller sur notre emploi du temps déjà chargé.

Celui qui, parmi nous, était préposé à la mesure du temps enclenchait donc notre chronomètre fatidique à l'instant où l'orateur amorçait son discours, en prévenant à haute et intelligible voix que l'exposé devrait obligatoirement se terminer à la sonnerie des 45 minutes – qui serait précédée, 5 minutes auparavant, par un avertissement bref du préposé. Les récalcitrants – peu nombreux car notre « technique » ne tarda pas à être connue des candidats, par simple diffusion – étaient facilement ramenés à la raison, sans esclandre.

6) Délibération finale

En fin de session, toutes les épreuves ayant été passées et notées, se tenait un « plenum » final du jury, pour tirer les conclusions ultimes de cette séance annuelle de l'agrégation.

En premier lieu des résultats figurait évidemment l'établissement de la liste (ordonnée) des prétendants qui seraient déclarés *reçus*. Pour chacun des candidats C qui avaient subi les épreuves, l'application (simple) de la grille des coefficients aboutissait à une note finale n_f (Pour la commodité de la discussion qui suivrait, les notes n_f étaient données sur 100).

Commençait alors la *délibération terminale*, à laquelle participaient tous les membres du jury, indépendamment des coefficients de leur matière ou exercice. Chaque fois qu'il m'a été donné d'y prendre part (quatre sessions d'affilée), cette délibération procéda selon le même schéma, que voici.

Au tout début, une ou deux personnes de l'assemblée avançaient une proposition simple et séduisante : arguant du fait (avéré) que N places d'agrégés étaient par avance alloués à la physique et que nous ne pouvions influer sur le nombre de reçus, par conséquent, ces personnes qui ouvraient la délibération proposaient la méthode « arithmétique » qui consistait à repérer, pour les sacrer gagnantes, les N premières notes n_f finales. Mais une ou deux (autres) personnes, ayant pu jauger, dans un oral ou un écrit, quelques uns des candidats figurant en fin de cette liste arithmétique qui était maintenant envisagée, protestaient vigoureusement : « Nous sommes là aussi pour maintenir le niveau d'ensemble des physiciens ! Nous ne pouvons déclarer agrégé quelqu'un qui affirme ... » [suivait la citation d'une bourde].

S'enclenchait alors une phase confuse où l'on cherchait à manipuler quelques notes : « Étant donné que nous sommes incapables de noter à 1 point près – ici, sur 100 –, tel candidat se retrouverait parmi les N élus si on lui ajoutait ce point « flottant ». Indignation véhémement : « si l'on rajoute 1 point à C , moi j'en ajoute 1 à C' , qui continue

ainsi à précéder C ». Finalement, « *le bon sens étant la chose...* », nous comprîmes tous que la succession des candidats suivant leur note n_f , fruit en partie du hasard « *qui fait bien les choses* », ne pourrait être modifiée de façon valable par une ou deux dizaines de personnes, fussent-elle membres d'un jury.

Là se situait l'intervention du président – que tous connaissaient pour honnête et pondéré. Sans doute avait-il examiné à part soi le problème. Il faisait remarquer que la progression ascendante des notes n_f lorsqu'on les examinait de bas en haut, marquait un net fléchissement au voisinage de $n_f = n_0$; il proposait donc que – n_0 étant inférieure à N – on déclarât reçus les candidats dont la note finale n_f dépassait n_0 , et renvoyât ceux pour lesquels n_f n'atteignait pas n_0 . Après avoir laissé le temps pour une courte discussion, il demandait un vote à main levée ; la deuxième proposition l'emporta largement sur la première. Certes, « les N places disponibles n'étaient pas remplies » ; mais lui président ferait valoir auprès du ministère des arguments convaincants, sans déprécier les postulants refusés – qui seraient nombreux à se présenter à nouveau lors des sessions suivantes.

Le « plenum » du jury eut aussi à départager les tout premiers de la liste, ainsi que de certains groupes de niveau intermédiaire. Parfois vives, pareillement – certains participants tenaient à ce que le premier fût Untel plutôt que Tel Autre –, les controverses se déroulaient plus aisément que les précédentes, et se terminaient plus souvent sur des accords amiables.

Notes explicatives

Note 1- Induction électromagnétique

La découverte de ce phénomène (Michael Faraday - 1831) est relatée, en langage accessible, par un article de même titre dans B. DIU et B. LECLERCQ, « *La physique mot à mot* », Odile Jacob (2005).

En voici les points essentiels :

- Le *courant électrique* était connu depuis l'année 1800 (Alessandro Volta) ;
- Hans Christian Oersted venait de montrer expérimentalement (1820) qu'un courant électrique provoque des *effets magnétiques* : par exemple, une intensité électrique parcourant un fil rectiligne fait dévier l'aiguille aimantée d'une boussole placée à son voisinage ;
- On se mit alors à rechercher l'*effet réciproque* : un aimant devait pouvoir créer un courant dans un circuit dépourvu de pile ou de générateur ;
- Dix ans s'écoulèrent avant que Michael Faraday (1791-1867) parvienne à résoudre la question : la *loi de Faraday* donne la f.é.m. e , créée par induction dans le circuit électrique par un champ magnétique, comme

$$e = -\frac{d\Phi}{dt},$$

opposée de la dérivée par rapport au temps t du flux Φ du champ magnétique à travers le circuit (En particulier, e est nulle si le flux ϕ est indépendant du

temps).

Remarque : Comme l'ensemble de l'électromagnétisme, la loi de Faraday découle des *équations de Maxwell* qui en constituent la base fondamentale ; il s'agit plus précisément ici de celle de ces quatre équations qui égale le rotationnel du champ électrique à (l'opposée de) la dérivée temporelle du champ magnétique.

Note 2 - Equivalence de la chaleur et du travail mécanique

Montrée déjà (1842) par l'*expérience de Joule*, décrite à la page 89 de D.G.L.R. « *Thermodynamique* », Hermann (2007).

On peut élever la température d'un échantillon de liquide (température finale $T_f >$ température initiale T_i) en utilisant l'un quelconque des deux moyens suivants : ou bien l'on fournit de la *chaleur* au liquide, ou bien on lui transmet – par un engrenage essentiellement mécanique de poulies et de pales – le *travail* Mgh que produit la pesanteur lorsqu'une masse M descend d'une hauteur h .

Il est licite de généraliser cette affirmation. On abandonne un système, a priori quelconque, dans un de ses *états d'équilibre* (i) – pour « initial ». On se propose de l'amener à un autre *état d'équilibre* (f) – pour « final ». Plusieurs transformations – en fait, une infinité – sont susceptibles de réaliser ce passage de (i) à (f), le système ne restant *pas en général à l'équilibre* aux stades intermédiaires du passage.

Le système reçoit, au cours de l'une de ces transformations, la quantité totale de travail W_1 et la quantité totale de chaleur Q_1 ; de façon analogue, il recevrait le travail W_2 et la chaleur Q_2 au cours d'une autre transformation de ce type. Les travaux W_1 et W_2 , ni les chaleurs Q_1 et Q_2 , n'ont aucune raison d'être égaux a priori : dans l'expérience de Joule, on peut conduire l'eau de la température T_i à la température T_f en utilisant la chaleur seule – auquel cas W_1 est nul – ou bien le travail seul – et alors $Q_2 = 0$.

Mais la somme $W + Q$ *reste la même* dans toutes les transformations pouvant mener de (i) à (f) – tous deux états d'équilibre. Ceci permet de définir l'*énergie interne* U des états d'équilibre, ici U_i et U_f , ou plutôt leur différence :

$$U_f - U_i = W_1 + Q_1 = W_2 + Q_2 .$$

Si les états d'équilibre (i) et (f) sont choisis infiniment proches l'un de l'autre, on note dW et dQ le travail et la chaleur qui peuvent mener de (i) à (f) : la présence du symbole d indique qu'il s'agit là de quantités infinitésimales ; la barre oblique d signifie que ce ne sont pas des différentielles de fonctions d'état. Est cependant une différentielle la somme

$$dU = dW + dQ .$$

En thermodynamique, les états d'équilibre d'un système – nous le prenons particulièrement simple – sont caractérisés par les variables V (Volume), n (nombre de moles) et S (entropie) [Voir chapitres 1 et 2 de l'ouvrage cité ci-dessus]. L'énergie interne U , « fonction d'état », est fonction de ces variables :

$$U = U(S, V, n) ;$$

sa différentielle fonctionnelle dU s'écrit à partir des différentielles dV , dn et dS des variables :

$$dU = TdS - pdV + \mu dn ;$$

la température T , la pression p et le potentiel chimique μ sont des *grandeurs intensives* associées aux variables d'état S , V , n .

Remarque. Il est possible de faire entrer l'énergie interne U parmi les variables d'état (cf. chapitre 1 de D.G.L.R., référencé plus haut) ; les nouvelles variables d'état sont cette fois U , V , n , dont l'entropie S est devenue fonction :

$$S = S(U, V, n) ,$$

avec pour différentielle

$$dS = \frac{1}{T} dU + \frac{p}{T} dV - \frac{\mu}{T} dn .$$