

LA PERCEPTION DES NOMBRES CHEZ LES ANIMAUX*

par

Ezio TIRELLI**

RESUME

=====

Une distinction théorique et opérationnelle, partiellement basée sur la formulation piagetienne du concept du nombre, entre la discrimination numérique, le dénombrement simple et le concept du nombre est proposée.

Les expériences les plus représentatives de toutes époques et de toutes écoles sont ensuite passées en revue et critiquées en fonction de ce schéma et du point de vue méthodologique.

Il ressort de cette analyse que si certains animaux sont capables de discriminer une quantité discontinue parmi d'autres (discrimination numérique) et d'appréhender les petits nombres allant jusqu'à 6-7 unités quelle que soit la situation expérimentale (dénombrement simple), ils ne savent pas généraliser l'appréhension d'un nombre à un autre (concept du nombre).

ABSTRACT

=====

A theoretical and operational distinction, partly based on the piagetian formulation of the number concept, among numerical discrimination, simple counting and number concept is proposed.

The most representative experiments of the various schools and epochs are then reviewed and appraised according to this outline and to the methodological point of view.

We conclude that if animals are able of performing a discrimination among various discontinuous quantities (numerical discrimination) and recognizing small numbers up to 6-7 elements whatever the experimental situation may be (simple counting), they cannot generalize the number recognition from a given number to another (number concept).

* Reçu le 25.11.1982; Revu et accepté le 22.11.1983.

** Licencié en Psychologie (groupe Psychologie expérimentale),
Assistant au laboratoire d'Ethologie, Université de Liège.

1. Position du problème et mises au point préliminaires

La question du concept du nombre chez l'animal ne soulève plus vraiment de nos jours les passions qu'elle avait suscitées pendant les cinquante premières années de ce siècle parmi les psychologues comparatistes et les zoologistes (ce qui explique le nombre important de références anciennes dans notre bibliographie). On se tourne maintenant plutôt vers le problème plus général de la conscience chez l'animal, et des essais récents comme celui de D.R. GRIFFIN (1976 et 1981) raniment l'intérêt des spécialistes du comportement et des activités intellectuelles pour le psychisme animal. A l'heure où celui-ci recommence à être investigué, il nous a paru intéressant de reparler de ce qui fut probablement une des premières et des principales problématiques ressortissant à l'intelligence animale à avoir été étudiées sérieusement.

On entend généralement par concept, l'identification d'un aspect commun invariant présent au sein d'une multiplicité d'objets. Pratiquement, il s'agit d'abord pour le sujet de bien distinguer le "bon" objet auquel il répond toujours par le même comportement dans des situations diverses (ce qui peut entraîner l'obtention d'une récompense alimentaire ou sociale). A cette expérience de discrimination succède une phase plus complexe où le même sujet identifie alors un caractère commun à un certain nombre d'objets, pouvant être très divers à certains égards, et qui appelle la même réponse. Par exemple, HEIDBREder (1946) apprend à des sujets humains à répondre par l'émission de la même syllabe à des dessins qui ont pour seul caractère commun de comporter un visage, un bâtiment, un arbre ou trois figures géométriques, selon l'épreuve. Ces expériences s'inspirent probablement du travail classique de HULL (1920) où on présente d'abord à des étudiants des caractères chinois associés à une syllabe dépourvue de sens (eo, yer, ü, ...) et où on demande aux sujets, qui croient subir une épreuve de mémoire, d'émettre la syllabe correspondant au caractère. Une même syllabe est en fait liée à une série de caractères différents mais qui contiennent un élément commun (radical). Si on livre aux étudiants (à leur insu) des caractères qu'ils n'ont encore jamais vus, ils arrivent à donner la syllabe associée au radical que contiennent ces caractères. Ce genre de discrimination assez complexe a aussi été étudiée chez les oiseaux et les mammifères. Par exemple, HERNSTEIN, LOVELAND et CABLE (1976) trouvent que le pigeon (*Columbia livia dom.*) discrimine entre des photographies comportant des arbres (de différentes espèces, situés à des distances variables, avec ou sans feuillage) et des photographies montrant un brin de céleri ou une plante grimpante. Le concept de triangle, probablement plus simple, a été mis en évidence chez le rat de laboratoire en 1932 par FIELDS. Ses rats (*Rattus norvegicus alb.*) ont appris à identifier comme "positive", c'est-à-dire conduisant à une gratification alimentaire, des petites portes marquées d'un triangle (le radical) indépendamment des diverses autres caractéristiques (couleur du triangle, couleur du fond, disposition, dimensions, etc.). On trouvera dans MACPHAIL (1982) une revue récente consacrée à l'étude des concepts du genre de ceux dont nous venons de parler, des concepts de similarité-différence et des concepts dits "visuels" chez les oiseaux et les mammifères. La revue critique publiée récemment par HERNSTEIN (1982) complète bien cet ensemble de données.

Si on reprend le même canevas dont il a été question jusqu'à présent, la reconnaissance d'un nombre se réalise lorsque le sujet se montre capable de généraliser le nombre qu'il a "abstrait" d'une série

d'éléments (de stimuli), à n'importe quelle autre collection d'objets de caractéristiques très variables. Par exemple, dans l'expérience de HEIDBREder (1946), des sujets humains apprennent à répondre toujours de la même façon face à cinq verres, cinq cuillers, cinq clés ou cinq losanges arrangés de différentes manières. Cependant, il est évident que ce schéma ne vaut que pour un seul nombre et la maîtrise d'un seul nombre dans une expérience n'implique pas nécessairement la maîtrise d'autres nombres. Peut-on dès lors continuer à parler de concept de nombre ? C'est ici qu'intervient ce qui différencie le concept de nombre des concepts dont nous avons parlé et auxquels ressortissent les expériences du type de celle de HEIDBREder. A partir de la situation de ces expériences, il est possible de mettre en évidence chez un sujet (humain) l'existence du concept de nombre en démontrant qu'il est capable de généraliser spontanément le processus de reconnaissance ou "d'abstraction" du nombre d'un nombre à un autre. Ainsi, dès après qu'il ait identifié un nombre qui définit une classe d'éléments, le sujet devra donc être en mesure de reconnaître d'autres nombres dans beaucoup d'autres situations (face à d'autres collections d'éléments de caractéristiques variables), sans qu'il lui faille passer par une nouvelle phase d'apprentissage (avec plusieurs essais et plusieurs erreurs). Dans la première phase, où le sujet apporte une solution spécifique (identification d'un nombre), nous dirons qu'il applique un processus de dénombrement simple dans la deuxième phase, il résout un problème général : il peut compter d'emblée n'importe quel nombre (tout au moins dans une gamme plus ou moins étendue) dans n'importe quelle situation. Nous dirons qu'il applique alors un processus de comptage qui témoigne de la maîtrise du concept de nombre.

Pour réaliser une telle opération, il lui est nécessaire de posséder ce que Jean PIAGET, spécialiste du développement psychique de l'enfant (PIAGET, 1967; PIAGET et SZEMINSKA, 1941; PIAGET et INHELDER, 1963, 1966) a appelé des "opérations concrètes", c'est-à-dire dans notre situation la classification (les inclusions de classes) et la sériation (l'ordonnement spatial ou temporel). La première consiste à faire des groupes qui s'emboîtent les uns dans les autres : 1 inclus dans (1 + 1), ce qui est inclus dans (1 + 1 + 1), et ainsi de suite, c'est-à-dire à reconnaître que tel élément ou tel ensemble d'éléments appartient à tel groupe. Dans la situation qui nous occupe, on dira que ce groupe est défini par un nombre. Une "abstraction des qualités différentielles" est nécessaire à la réalisation de toute classification, elle rend chaque élément pris individuellement équivalent à chacun des autres. Mais en l'absence de tout autre critère de classification, il faut trouver un autre moyen de distinguer une unité d'une autre puisqu'elles sont désormais équivalentes. Un tel moyen est fourni par l'intervention d'une autre "opération concrète", la sériation (ordre sérial) qui donnera un statut (spatial ou temporel) à chaque élément (1 → 1 → 1 → 1 ...), de sorte que la sériation permettra la classification selon un nombre (critère). C'est donc à travers la synthèse de propriétés de ces deux opérations que le concept de nombre se réalise : $\{ [(1) \rightarrow (1)] \rightarrow (1) \} \rightarrow \dots$. Les nombres sont acquis (par l'enfant) et s'articulent dans l'ordre de leur série (sériation). Cela veut dire que si un sujet reconnaît le nombre 5, il appréhendera d'emblée tous les nombres qui précèdent dans l'ordre le nombre 5. C'est donc la sériation qui permet la généralisation de l'appréhension d'un nombre à un autre. Mais un organisme peut identifier ce même nombre 5 sans être en mesure de reconnaître ensuite directement 2, 3 ou 4. Dans ce cas, où une classification s'accomplit quand même, le sujet ou bien établit une simple correspondance terme à terme entre classes (entre un modèle et un autre ensemble d'objets), ou bien appréhende le nombre par une "perception

globale". C'est dans cette situation que nous parlerons de dénombrement simple. Ce processus ne fonctionne pas pour les effectifs assez importants (dizaine, douzaine, ...) où une énumération (basée sur l'ordre sériel) est nécessaire.

Nous avons donc maintenant une idée de ce qu'il est possible d'entendre par "concept de nombre" et "dénombrement", mais il nous faut cependant affiner le modèle et introduire une autre distinction. Dans la suite, nous rencontrerons la situation où un animal discrimine un ensemble d'éléments (qui mène à une récompense) d'un autre ensemble (ou plus rarement de quelques autres) d'effectif différent, les autres caractères comme la forme ou la disposition restant très divers d'un ensemble à l'autre. Cette épreuve étant basée sur une comparaison (une "reconnaissance relative") de deux ou plusieurs groupes d'objets et non sur la "reconnaissance absolue", c'est-à-dire l'appréhension du nombre commun à deux ou plusieurs groupes d'unités, on est en droit de se demander si la mise en jeu d'un dénombrement tel qu'il vient d'être défini est vraiment indispensable à la réalisation (et à l'interprétation) d'une telle comparaison, et s'il n'est pas plus prudent d'invoquer un processus discriminatif plus simple et étranger au dénombrement. Ainsi comme un pigeon ou un saïmiri sont capables de discriminer les éclaircissements produits par deux ou plusieurs lampes d'intensité lumineuse différente (l'une étant plus forte que l'autre, s'entend), un peu à la manière d'un luxmètre, il leur est aussi possible de différencier deux ou plusieurs ensembles d'objets par ce que l'on pourrait appeler l'"intensité de la numérosité" différente pour chaque groupe (DAVIS et MEMMOTT parlent de "numerosity judgments" et de "magnitude estimations", 1982), c'est-à-dire par l'amplitude de l'effectif, plus grande dans le groupe qui comporte plus d'objets et plus petite dans le petit groupe sans devoir dénombrer. Dans la suite, pour désigner cette "reconnaissance relative", nous parlerons de discrimination numérique qu'il faudra par ailleurs distinguer de la discrimination de masses absolument étrangère à tout caractère numérique d'une collection d'objets et qui ressortit plutôt à la perception des formes et des volumes (un ensemble plus grand peut apparaître de masse plus importante s'il comporte plus d'éléments de mêmes dimensions).

En-deçà du concept ou de la notion de nombre, qui n'est présent que chez l'homme, nous proposons donc de distinguer deux autres processus présents chez l'animal : le dénombrement simple, qui mène à l'appréhension d'un nombre particulier (et assez petit) dans une situation particulière, et la discrimination numérique, qui permet la distinction de deux ou plusieurs ensembles d'effectifs différents.

2. Les premières tentatives de démonstration de la notion de nombre

chez les animaux

Les premières expériences systématiques sur ce problème du concept de nombre chez l'animal ont probablement été réalisées par KINNAMAN au début du siècle (1902). L'auteur présente à deux macaques (Macaca mulatta) une table de 10 pieds de long sur laquelle il a disposé 21 verres opaques de mêmes dimensions (la récompense alimentaire est visible seulement en regardant par dessus le récipient) et commence d'abord par apprendre aux singes à trouver la nourriture dans le quatrième verre en partant de la droite, au cours de trois séances quotidiennes

de 30 essais. Ensuite, il teste leur capacité à trouver la nourriture dans les récipients n° 2, 5, 1, 3, etc., dans une rangée réduite à 11 récipients, et trouve que le nombre de choix corrects augmente dans presque chaque série d'essais avant l'établissement complet de la discrimination du récipient voulu. KINNAMAN parle à propos de son expérience de "number tests", quoiqu'il se demande si c'est vraiment le concept de nombre qui est étudié. "Is it number, quantity or form?" écrit-il. Comme le souligne HONIGMANN (1942b), dans une revue critique de laquelle nous tirons le rapport de ces quelques expériences, il est curieux que KINNAMAN ne fasse aucune allusion à l'explication la plus probable de ses résultats, à savoir que c'est plutôt à l'estimation de la distance entre l'extrémité droite de la table et le récipient que les singes sont entraînés, car la distance entre les bocaux n'est jamais modifiée. D'ailleurs, seuls l'emplacement de la table dans la pièce d'expérience et les verres sont manipulés. De plus, l'autre éventuel indice secondaire que constitue la table n'est pas remplacé, ce qui laisse supposer que des traces laissées sur les planches de la table pourraient bien avoir fourni des repères de localisation aux singes. PORTER (1904) reprendra la même méthodologie (avec un maximum de 12 récipients) et tentera de montrer la notion de rang chez le moineau (*Passer domesticus*) mais en commettant les mêmes erreurs. Des résultats particulièrement spectaculaires ont été publiés par SADOVINKOVA (1923) qui obtient 100 % (!) de bonnes réponses au cours de ses séances de testage chez plusieurs Fringillidés auxquels elle demande de sélectionner le rang d'une boîte appartenant à une file de 9 réceptacles et dans laquelle l'oiseau pénètre et prélève une provende. Avec un nombre de boîtes variant de 2 à 9, la première à partir de la gauche devait être choisie par l'oiseau s'il n'y avait pas d'indication particulière fournie par l'expérimentateur; si ce dernier agitait une feuille de papier blanc, c'est dans la première cage à partir de la droite que l'oiseau pouvait trouver une gratification alimentaire enfin, l'exhibition d'un ruban noir indiquait la cage du milieu (dans les cas où les séries de boîtes étaient impaires). La maîtrise simultanée de 2 ou 3 tâches "fondamentales" différentes par ces oiseaux a beaucoup impressionné HONIGMANN (1942b), lequel affirme qu'une telle capacité serait même absente chez certains enfants. Mais peu de précautions ont été prises quant à la neutralisation des indices secondaires. Il est ainsi très vraisemblable que les oiseaux aient localisé la bonne porte, qui était ouverte avant l'envol de l'oiseau, grâce à des détails différenciant les portes fermées de la porte ouverte comme la position du loqueteau de fermeture ! Ces remarques sont à rapprocher des éclaircissements apportés par PFÜNGST en 1911 (dans son livre "Clever Hans, the Horse of Mr. VON OSTEN", New-York : Holt) aux prétendues capacités de comptage du célèbre étalon allemand Hans dont on pouvait obtenir les réponses aux questions les plus abstruses (notamment des racines carrées !). PFÜNGST montra que les réponses correctes (nombres de coups de sabots sur le sol) ne pouvaient être fournies par le cheval que si l'interrogateur était présent et connaissait la solution. L'animal apprenait en fait à s'arrêter de frapper le sol en réponse à de menus mouvements involontaires qu'il pouvait percevoir sur la physionomie ou l'allure de l'interrogateur au moment où le nombre de coups de sabots s'approchait de la bonne réponse !

Une autre manière d'essayer d'étudier la notion de nombre est d'utiliser des réponses émises par l'animal en alternance simple (une fois sur deux) ou multiple (une fois sur plus de deux) ("simple or multiple alternation"). KATZ et REVESZ (1909) apprennent à des poules domestiques, après 15-30 essais, à becqueter une graine sur deux, face à une rangée de graines disposées sur 150 centimètres approximativement,

les graines à ne pas prendre étant collées sur le panneau. Ces auteurs rapportent aussi qu'une de leurs poules apprend à sélectionner une graine sur trois sans toucher les graines 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, etc. Aucune poule ne réussit l'épreuve lorsque trois graines sur quatre sont collées. Dans un travail ultérieur, REVESZ (1922a) complète ces données en doublant ou en diminuant de moitié les distances séparant les graines : l'apprentissage initial reste intact malgré l'absence d'un nouveau dressage (réapprentissage). HONIGMANN (1942a) a refait systématiquement ces expériences sur huit Gallus domesticus et deux Gallus bankiva des deux sexes en supprimant les indices secondaires que sont les traces laissées sur les graines par la colle. Lorsque les graines sont toutes libres (pas de trace de colle), l'apprentissage se fait beaucoup moins rapidement : 500 à 600 essais répartis en 17-20 jours sont nécessaires. De plus, il n'est guère stable ni durable et un changement des distances séparant les graines provoque une détérioration des performances qui sont d'ailleurs restaurées si on rétablit les écarts initiaux. C'est seulement si les distances sont modifiées très graduellement que l'apprentissage initial se maintient. En fait, il s'agit d'expériences s'attachant à décrire les capacités de perception des distances des poules puisque les espacements restent réguliers. HONIGMANN considère néanmoins la "simple alternation ability" comme une base fondamentale nécessaire au comptage. Il a été souvent remarqué qu'un animal auquel on offre deux quantités d'aliments d'inégale importance choisit spontanément la plus grande en premier lieu. Ainsi, le cheval de ROTHE (1913, cité par BIERENS DE HAAN, 1936) prélève deux sucres au lieu d'un. Cependant, si on lui présente deux tas de 3 et 4 sucres, il ne fait plus la différence. De même, un coq picore un tas de 3 graines au lieu de 2, un de 6 au lieu de 5, un de 8 au lieu de 7 et un de 10 au lieu d'un de 7, mais ne discerne plus l'ensemble de 10 des ensembles de 8 ou 9 (REVESZ, 1922b). Des résultats du même genre ont été obtenus par FISCHEL (1926) avec un chardonneret (Carduelis carduelis) et une fauvette (Sylvia borin). Mais l'auteur sépare la nourriture des quantités à discriminer en plaçant celle-ci dans deux boîtes dont le couvercle, facilement amovible par l'oiseau, porte un certain nombre de points sombres ou de grains collés. Il s'agit pour l'oiseau d'ouvrir la boîte qui porte le plus grand nombre de grains ou de points pour accéder à la nourriture (grains de chanvre). En collant ces derniers au fond de la boîte à éviter, FISCHEL obtient de ses oiseaux qu'ils discriminent un groupe de 3 d'un groupe de 2 grains, un groupe de 4 d'un ensemble de 2, 2 de 1, 5 de 3, 6 de 3, 12 de 6, 18 de 8 et 20 de 10, par exemple, les deux derniers problèmes étant résolus d'emblée, sans autre exercice. Cependant, certains de ces exercices nécessitent plus de 300 essais et certaines distinctions comme 5 et 4, 7 et 5, 10 et 6 ne sont pas réussies. En l'absence du collage des graines au fond de la boîte négative, des pigeons réussissent à distinguer 2 points de 1 point mais non 3 points (disposés en ligne) de 2. Il va de soi que ces prétendus comptages sont en fait des discriminations visuelles de masses plus ou moins différentes, la difficulté qu'éprouvent les animaux à distinguer deux ensembles relativement proches et donc deux masses (tas) voisines en témoigne. Nous verrons plus loin, à l'occasion de discussions relatives à des expériences plus élaborées, combien l'usage de récompenses alimentaires (notamment des graines) en tant qu'unités à "compter" est discutable et fatal à la validité de l'expérience.

D'autres auteurs ont tenté d'étudier la perception du nombre chez l'animal en lui demandant de distinguer deux quantités présentées successivement. Aussi par exemple WOODROW (1929) dresse trois rhésus (Macaca mulatta) à prélever des aliments dans un bac dès l'émission d'une série de sons espacés d'une seconde et demie (marteau électrique)

et à négliger le bac lorsque le nombre de sons est plus petit. Le meilleur des singes de WOODROW réussit à distinguer 1 de 3, 2 de 3, 3 de 4, avec plus de difficultés 4 de 5, et ne discrimine pas 5 de 6. Malheureusement, une modification des intervalles séparant les sons de manière que la durée totale des deux signaux soit égale détériore complètement les performances des sujets. DOUGLAS et WHITTY (1941) aboutissent aux mêmes conséquences en présentant à quatre babouins (Papio cynocephalus) deux signaux lumineux de même durée, l'un composé d'un seul flash et l'autre de deux flashes. KURODA (1931) dresse en 700 essais un macaque (Macaca cynomolgus) à ouvrir le portillon d'extrême gauche d'une série de sept lorsque l'expérimentateur frappe un coup de cloche, et à ouvrir celui d'à côté à l'émission de deux coups de cloche. L'introduction d'un troisième signal (trois coups) perturbe le singe à tel point qu'au bout de 2.800 essais l'ancien apprentissage est perdu. Ces résultats en disent long sur les difficultés que les macaques éprouvent à se détacher des conditions de l'expérience puisque la moindre modification des signaux les perturbe. Et on ne peut guère retenir de tout cela que le macaque est capable de distinguer un son long d'un son relativement plus court, ce qui relève plutôt de la simple perception auditive.

C'est à l'appui de travaux de ce type (qui ignorent complètement la leçon de PFUNGST), et de ce que l'on pourrait appeler le principe de LLOYD MORGAN selon lequel "il ne faut jamais interpréter un acte d'un animal à l'aide d'un processus plus élevé, quand il est possible de l'interpréter à l'aide d'un processus moins élevé sur l'échelle du développement psychique" (1894), que BIERENS DE HAAN (1936) affirme avec sérénité que les animaux ne possèdent pas du tout la notion du nombre. Il faut en effet bien admettre qu'au vu des expériences dont il a été question jusqu'à présent l'admission d'une capacité de comptage n'est pas nécessaire à l'interprétation des résultats puisque toute autre possibilité d'explication relevant d'un "processus moins élevé sur l'échelle du développement psychique" (notamment perceptif) n'a jamais été expérimentalement écartée.

3. Les travaux de Louis VERLAINE et de ses élèves

C'est sur deux Macaca sinica (femelle et mâle) que GALLIS (1932) se proposa d'étudier les capacités de comptage chez l'animal. Son expérience de base s'articule de la manière suivante : il présente d'abord deux fois de suite à chacun de ses sujets la main refermée sur un ver de farine et immédiatement après, une troisième fois, la même main mais vide. Au bout d'une vingtaine d'essais d'apprentissage, ses singes réussissent à ouvrir la main deux fois de suite et à négliger la troisième offre. Dans une phase ultérieure, le singe doit arriver à ne pas ouvrir la main à la seconde présentation, sans passer par un nouvel apprentissage, si l'auteur fournit tout d'abord deux vers en une seule fois. Après cinq séries de 10 essais (alternance irrégulière des présentations séparées - 1 ver + 1 ver - ou groupées en une seule fois avec 2 vers), l'auteur conclut que "mes sujets ont montré qu'ils ont compris à peu près immédiatement la notion que je voulais leur inculquer" et que ceux-ci ont acquis la notion de dualité. GALLIS applique ensuite la même procédure à l'étude de la notion de trinité. Il dresse avec succès ses singes à ouvrir la main trois fois de suite pour y prendre un ver de farine et à s'y refuser la quatrième fois, ensuite à ne l'ouvrir que deux fois de suite si on présente successivement un puis deux vers ou deux puis un ver, et enfin à ne l'ouvrir qu'à la pre-

mière offre si trois vers sont pris ensemble. L'auteur pense ainsi avoir montré que ses macaques "savent généraliser la notion de trois, c'est-à-dire que pour eux $1 + 1 + 1$, $1 + 2$, $2 + 1$ et 3 ont la même valeur". Dans le même laboratoire de psychologie animale de l'Université de Liège, GILTAY (1933) reprend la même méthode et l'applique à une poule leghorn avec succès pour la notion de deux mais sans arriver à des résultats satisfaisants pour la notion de trois. L'assurance avec laquelle ces deux auteurs maintiennent avoir démontré par ces travaux "absolument originaux" la présence d'une "faculté de compter" chez les oiseaux et le macaque fait sourire, il faut bien le dire, tellement ces travaux comportent de points faibles tant méthodologiques que théoriques. D'ailleurs, ces erreurs n'ont pas échappé aux attaques incisives d'auteurs aussi importants que Karl LASHLEY (1940), BIERENS DE HAAN (1935) ou HONIGMANN (1942b) lequel parle carrément d'une "genuine number conception". BIERENS DE HAAN (1935) répète les expériences de GALLIS et l'étude de 1934 de GILTAY et aboutit aux mêmes résultats sur un Macaca cynomolgus. Mais il réalise une expérience de contrôle importante en plaçant dans la main un appât (morceau de banane) à la troisième présentation alors que l'animal ne doit pas l'ouvrir et doit se contenter des deux premières offres (notion de deux). Il montre ainsi que le macaque parvient en fait à percevoir la présence ou l'absence de la récompense chaque fois que la main de l'expérimentateur en contient une à la troisième présentation. Quoiqu'un morceau de banane (au parfum si caractéristique) soit probablement plus aisé à localiser qu'un ver de farine et laisse par là peu de doutes sur les choix du macaque, ces critiques expérimentalement étayées sont des plus pertinentes. On voit que plus de 25 ans après la polémique du cas "Clever Hans", les précautions les plus élémentaires sont encore oubliées ... Ce n'est pas tout, car le macaque ou la poule pourraient bien avoir été guidés par un "rythme de préhension" consécutif aux entraînements fréquents et répétés de la phase préliminaire d'apprentissage plutôt que par une hypothétique capacité de comptage. C'est ce que BIERENS DE HAAN (1935) conclut après qu'il ait mené l'expérience suivante. Son macaque se montre d'abord incapable de donner les bonnes réponses dès que la main de l'expérimentateur est remplacée par une boîte en fer-blanc, montrant par là qu'il ne peut guère se détacher des conditions particulières du dressage et généraliser sa performance à une autre situation relativement proche. En augmentant l'intervalle séparant les trois présentations (appât, appât puis rien) à 10 secondes et à 20 secondes, puis de 20 à 30 secondes, il montre que le nombre d'erreurs augmente avec l'intervalle (respectivement 0, 3 et 9 fautes). De même, dans une situation d'alternance simple (appât - pas d'appât), tâche bien plus facile à apprendre pour le macaque, il montre encore que l'apprentissage est de plus en plus facilement détérioré dès que l'intervalle (espace standard : 10 secondes) est augmenté de 10 secondes en 10 secondes. Il apparaît donc que le moindre changement spatial ou temporel brise le rythme de préhension acquis pendant l'entraînement. Ces critiques s'appliquent plus difficilement au travail que GILTAY (1934) a conduit sur un rouge-gorge (Erithacus rubecula) en modifiant la méthode de manière précisément à "écarter avec certitude toute influence inconsciente d'un expérimentateur de bonne foi sur le sujet". A chaque exercice, trois morceaux de vers de farine sont répartis et dissimulés dans un, deux ou trois récipients faisant partie d'une rangée de quatre et couverts d'un carton marqué d'autant de points que le godet contient d'appâts. Il faut que le rouge-gorge prélève trois appâts à chaque épreuve en renversant les couvercles qu'il contient. Un peu moins de 140 essais répartis en 5 sessions lui sont nécessaires pour réussir l'épreuve. Il semble que l'oiseau ne soit pas guidé par son odorat puisque la performance n'est pas modifiée par la présence d'au moins un ver de farine dans tous les godets de la rangée. Lorsque deux solu-

tions correctes sont proposées dans une même présentation (par exemple trois points sur un godet, deux points, un point et aucun sur les autres, ou encore trois points sur un godet et un point sur les trois autres), le rouge-gorge choisit toujours la combinaison qui le satisfait le plus rapidement, immédiatement et sans erreur. Si certaines précautions élémentaires sont prises dans cette étude, il reste difficile d'admettre au niveau théorique qu'il s'agit là d'une véritable épreuve de dénombrement. En l'absence de la réussite d'une épreuve de généralisation du type de celle proposée par BIERENS DE HAAN (1935, 1936) et de situations où l'oiseau ne peut discriminer que le nombre d'éléments proposés indépendamment d'autres dimensions (couleur, nature, grandeur, disposition), les choix que fait le rouge-gorge seraient plutôt imputables à une discrimination visuelle simple: l'oiseau sélectionnerait le carton obscurci par un ensemble plus ou moins grand de points sans s'attacher à leur nombre. C'est donc tout au plus d'une discrimination de densités ou de masses qu'il convient de parler ...

Les critiques de BIERENS DE HAAN (1935, 1936) concernant le rythme de préhension ont suscité une vive réaction de la part de LOUIS VERLAINE (1938a)*. BIERENS DE HAAN avait aussi dressé son sujet au rythme de présentation 1 + 1 + 0 + 0 (1 ver, 1 ver et deux fois rien); puis aux contrôles suivants : 0 + 1 + 1 + 0; 1 + 0 + 1 + 0; 0 + 0 + 2 + 0; 2 + 0 + 0 + 0 pour étudier la notion de deux. Comme dans les travaux de GALLIS, l'animal devait donc s'arrêter de prendre les vers dès qu'il en avait reçu deux. Le macaque ne commit qu'une erreur au premier essai pour les quatre épreuves nouvelles : à la séquence 2 + 0 + 0 + 0, le macaque s'était seulement détourné de la deuxième présentation et avait répondu aux trois autres sollicitations (la réponse correcte étant de répondre à la première offre et de refuser les trois suivantes puisque les deux vers sont donnés à la première offre). Plutôt que de voir dans ces résultats une influence de l'entraînement au rythme de présentation (et par là de préhension) imprimé pendant la première phase de l'expérience (entraînement au rythme répondre-répondre-ne pas répondre-ne pas répondre aux présentations 1 + 1 + 0 + 0) sur les séquences contrôles, comme le pense BIERENS DE HAAN, VERLAINE (1938a) considère que les trois réponses données par le macaque à la séquence 2 + 0 + 0 + 0 (les deux dernières réponses étant superflues) reflètent une faute vis-à-vis du rythme appris dans la première phase, et non pas une erreur de dénombrement. Ainsi, "après avoir trouvé deux vers lors de la première présentation, le singe s'abstient de "prendre" la deuxième fois, puis il croit qu'une nouvelle épreuve commence". Autrement dit, pour VERLAINE, le fait que le macaque ne réponde pas à la deuxième présentation après qu'il ait prélevé deux vers à la première, montrerait que l'animal s'est bel et bien détaché du rythme de préhension de la phase d'apprentissage et a dénombré les vers à la première présentation.

VERLAINE ne se contente pas seulement de réinterpréter les conclusions de BIERENS DE HAAN, et se propose d'étayer ces vues sur des expériences qu'il conduit lui-même. En dressant d'abord un macaque à chercher un groupe de 3 vers de farine, au lieu de l'amener à trouver 3 vers en 3 fois comme dans les expériences de GALLIS, de GILTAY ou de BIERENS DE HAAN (avec 2 vers en 2 fois), VERLAINE (1938c) supprime tout rythme de préhension pendant l'entraînement et par là toute influence possible de ce facteur rythmique sur l'issue des essais ultérieurs. Ainsi, après que le macaque ait été entraîné avec succès à retourner autant de couvercles d'une rangée de quatre qu'il est nécessaire pour trouver un petit tas de trois vers de farine, l'auteur soumet ensuite le même animal à des épreuves qui ont pour but de vérifier s'il cherchera encore trois vers lorsque ceux-ci seront cachés sous un ou plusieurs couvercles

(*) VERLAINE était le maître de GILTAY et GALLIS.

(1 + 1 + 1; 1 + 2; 2 + 1) et trouve que le macaque réussit assez bien l'épreuve puisqu'il ne commet que trois fautes (soit il continue à chercher quand il a trouvé ses trois vers, soit il omet de rechercher des vers lorsqu'il lui en manque) sur une dizaine de distributions (par exemple : 0, 2, 1 et 0 vers respectivement pour les quatre couvercles, ou 0, 0, 1, 2, ou encore 1, 0, 1, 1). VERLAINE s'attache ensuite à augmenter l'inégalité des intervalles séparant les trois captures des trois vers en ajoutant 2, 3, 4 ou 5 couvercles aux quatre couvercles initiaux toujours en vue d'amoindrir au maximum l'intervention d'un rythme de préhension. Son macaque apprend en 90 exercices à prélever les trois vers de farine cachés sous les couvercles selon les quatre modes de répartition habituels (3, 1 + 1 + 1, 2 + 1 ou 1 + 2). Les six (ou 7 ou 8 ou 9) couvercles sont posés sur une planchette et présentés un à un au singe en faisant glisser la planchette de gauche à droite. Ultérieurement, afin d'éviter l'influence involontaire de l'expérimentateur, il le remplace par une autre personne ignorant ce qui est demandé au macaque, et offre les six couvercles simultanément de manière à ne plus imposer au sujet de retourner les couvercles dans l'ordre de leur succession. Sur 25 exercices, presque tous différents, le macaque ne commet qu'une seule erreur. VERLAINE souligne que son singe ne peut avoir été guidé par l'odeur du ver puisque si c'était le cas l'animal commencerait systématiquement par soulever le couvercle couvrant la provende, ce qu'il n'a fait que deux ou trois fois sur 25 essais, et conclut que son macaque maîtrise la notion de trois par "synthèse d'unités contiguës dans le temps". Mais il faut aussi prouver que le macaque est capable de se détacher des conditions particulières à l'expérience et d'appliquer ces quelques notions de nombre entrevues dans les travaux qui précèdent à n'importe quels autres éléments. C'est ce qu'il tente de réaliser dans une expérience plus élaborée encore (1938b) où il présente successivement au singe une dizaine de récipients sur le couvercle desquels un, deux, trois ou quatre objets de nature et de dimensions diverses sont disposés selon un arrangement variable. Cinq ensembles sur dix comptent trois éléments et c'est à ce nombre que le macaque apprend à répondre en renversant le couvercle correspondant, sous lequel il peut prélever un ver de farine, et à ne pas toucher aux autres en ne commettant que quatre fautes sur 30 exercices. L'animal a donc négligé les caractéristiques des objets (qui sont différents non seulement d'un récipient à l'autre mais aussi à l'intérieur d'un même groupe), et n'a pas pu baser son choix sur une différence de masse plus grande pour les nombres plus grands lorsque tous les éléments sont les mêmes, puisque les dimensions des objets utilisés sont très variables et qu'il arrive par exemple qu'un ensemble de trois éléments (perle blanche, fragment de fer, fragment d'ébonite) soit plus massif qu'un groupe de quatre (prise de courant, vis en laiton, vis en fer, bouton de nacre). La performance n'est pas modifiée lorsque l'expérimentateur offre quatre couvercles simultanément de sorte qu'une des boîtes comporte toujours le nombre trois (trois objets) et une autre boîte le nombre 2 ou le nombre 4, les deux autres couvercles restant dépourvus de tout objet (on aurait par exemple les combinaisons suivantes : 3, 0, 2, 0; 0, 0, 3, 4; ou encore 0, 1, 0, 3). VERLAINE (1938b) considère l'addition comme une caractéristique fondamentale de la capacité à compter; aussi se propose-t-il de répartir les trois objets à compter sur deux (1 + 2 ou 2 + 1) ou trois couvercles (1 + 1 + 1) faisant toujours partie d'une collection de quatre (dont un autre couvercle comporte parfois quatre objets), et de récompenser son macaque chaque fois que celui-ci renverse les couvercles nécessaires à la constitution d'un ensemble de trois éléments. Ainsi, si les objets sont arrangés de la manière qui suit : 1, 4, 1, 1, le macaque devra choisir les trois couvercles comportant un objet; de même pour la combinaison 1, 1, 1, 0, le singe désignera les trois premiers, etc.

Le macaque de VERLAINE réussit en général très bien ce genre d'épreuve, mais lorsqu'on lui demande "d'additionner" des objets dont les couvercles sont séparés (et donc ne sont plus contigus) par un couvercle étranger à l'opération (par 4 ou 0 dans 1, 4, 2, 0 ou dans 2, 0, 1, 0), il échoue presque systématiquement. Les conclusions de VERLAINE sont que l'acquisition de la notion du nombre trois par "synthèse d'unités plus ou moins contiguës dans l'espace" (et dans le temps) est un problème plutôt facile à maîtriser pour le macaque, et "qu'il ne peut en vérité se produire qu'un rythme de trois perceptions, conservant toujours la même signification quelles que soient ces trois perceptions".

On s'étonnera qu'à côté de considérations très scrupuleuses à propos de la possible influence d'un rythme de préhension, VERLAINE se montre complètement indifférent à un autre facteur d'importance au moins égale : l'utilisation de récompenses qui constituent aussi les unités dont on demande au macaque d'évaluer le nombre. Dans ses expériences (1938c), le macaque doit toujours ravir trois vers de farine quels que soient le rythme de présentation de la main fermée et des couvercles vierges ou le nombre de ceux-ci, et doit ainsi toujours avaler la même quantité de nourriture. En l'absence d'une séparation de celle-ci des unités dénombrables, on ne peut pas imputer exclusivement à l'identification du nombre trois l'origine des choix corrects du macaque, car ce dernier pourrait bien avoir été conditionné à prélever toujours la même quantité de nourriture et non à "reconnaître" le nombre trois. On refusera donc à VERLAINE d'avoir démontré dans cette expérience une capacité de dénombrement par "synthèse d'unités contiguës dans le temps" chez le macaque (MORGAN). Par ailleurs (1938b), invoquer la réalisation d'un comptage par synthèse d'unités contiguës dans l'espace nous paraît discutable, car on peut se demander si la réunion d'objets séparés par un couvercle a vraiment beaucoup d'importance pour étudier le comptage et les opérations d'addition. De plus, les résultats négatifs de VERLAINE à ce propos tendraient plutôt à démontrer qu'une telle réunion ne se réalise guère très facilement chez le macaque ... Mais, grâce à un effort méthodologique considérable au niveau du contrôle des indices secondaires des objets dénombrables (comme la forme, la couleur ou l'arrangement), auquel BIERENS DE HAAN a certainement contribué par ses critiques pertinentes, il est toutefois ici permis de parler de dénombrement du nombre trois*, car le macaque sélectionne presque toujours le nombre trois quelles que soient les caractéristiques secondaires des unités. L'échec essuyé par le macaque de VERLAINE dans cette expérience est imputable au fait que le pas à accomplir de la situation où les objets sont rassemblés sur un seul couvercle à la situation où ils sont divisés par un couvercle vide ou garni d'objets étrangers au stimulus positif est probablement trop grand. Un tel bouleversement ne peut pas être considéré comme une vraie manipulation d'une dimension non pertinente pour l'identification du nombre en tant que tel. Si l'association d'éléments très épars n'a rien à voir avec le comptage, elle est aussi étrangère à une situation adéquate pour la mise en évidence d'un processus de dénombrement simple. Le concept de "trinité" (ou "triplicité") a été également retrouvé chez le macaque rhésus en 1955 par HICKS qui, après 5.300 essais, obtint de son sujet qu'il sélectionne un stimulus composé de une à cinq formes géométriques en négligeant leur grandeur, couleur et arrangement spatial.

* Notons que si VERLAINE supprime ici l'identité de la nourriture avec le nombre, ce n'est pas dans le but de résoudre l'ambiguïté qui en découle, mais c'est uniquement pour contrôler les dimensions secondaires à celle du nombre. C'est donc sans le vouloir qu'il élimine le facteur alimentaire.

triangle et en transformant graduellement le triangle en une file de trois points (réalisant ainsi ce que les spécialistes du conditionnement appellent une "généralisation de la réponse"). ARNDT apprend aussi à un pigeon à happer deux graines d'une boîte dont le couvercle est caractérisé non plus par deux points noirs mais par sa couleur noire, et à prélever quatre (puis cinq) graines lorsque le couvercle est blanc. Un autre pigeon est entraîné à retirer deux graines des récipients dont le couvercle est peint en jaune et barré d'une bande noire, et à manger les quatre graines placées dans les boîtes blanches. MAROLD (1939) reproduit les mêmes résultats avec des perruches. Cette expérience pourrait paraître plus convaincante, mais rien ne permet d'écarter la possibilité que les pigeons de ARNDT (ou les perruches de MAROLD) aient été conditionnés à associer telle(s) couleur(s) du couvercle non pas au nombre mais bien à un rythme et un mouvement de picorage, plus longs pour un nombre plus important de grains, ou plus vraisemblablement encore à l'ingurgitation d'une quantité de nourriture plus ou moins importante selon la (ou les) couleur(s). En fait, le nombre en tant que dimension autonome à appréhender est tout simplement absent dans ce paradigme. Dans bon nombre de travaux ultérieurs bien plus intéressants que ceux dont il vient d'être question (SCHIEMANN, 1939; KOEHLER, 1941, 1943, 1949; BRAUN, 1952; HASSMANN, 1952; SAUTER, 1952), la méthode de FISCHER et de ARNDT (mais aussi de GILTAY, VERLAINE et BIERENS DE HAAN) sera modifiée par l'ajout d'un tableau de pointage (muster). Il s'agira alors pour l'animal d'identifier d'abord lequel de deux couvercles porte le même nombre de points que le muster. On tentera de rendre les caractères de l'expérience variables d'un ensemble de points à un autre à l'exception du nombre, et on commencera ainsi par faire varier pour un même nombre la taille et l'arrangement des points. Dans la suite, leur couleur et leur forme ainsi que le nombre de couvercles et leur disposition autour du muster, seront aussi manipulés (fig. 1). Ainsi par exemple KOEHLER (1943) dresse un grand corbeau (Corvus corax) à trouver la soucoupe positive parmi une série de cinq marquées de deux, trois, quatre, cinq ou six taches de forme, de couleur et d'arrangement variables, le nombre de dispositions prévues des quatre couvercles négatifs autour du positif étant de vingt-quatre et le nombre de modèles cinq (ce qui donne des milliers de combinaisons possibles). Toute modification d'une de ces dimensions ne perturbe pas le corbeau qui ne doit pas réapprendre à renverser le couvercle positif (fig. 2). Suivant BRAUN, KOEHLER, SAUTER et HASSMANN, le perroquet gris (Psittacus erithacus), le perroquet amazone (Amazona aestiva), la pie (Pica pica) et l'écureuil d'Europe (Sciurus vulgaris) sont capables de performances comparables, le nombre identifiable pour tous ces animaux pouvant aller jusqu'à 6 ou même 7 (fig. 3). Mais, d'après SCHIEMANN (1939), le choucas (Coloeus monedula) ne peut plus sélectionner la soucoupe positive si l'arrangement des points est changé et un réapprentissage est nécessaire pour restaurer la performance (fig. 1). Cette fois, on se trouve devant des expériences de facture autrement supérieure à tous les travaux vus jusqu'à présent. Elles sont d'une méthodologie des plus soigneuses : les caractéristiques secondaires des éléments qui n'ont rien à voir avec leur nombre qu'il s'agit d'abstraire (forme, couleur, grandeur, disposition des couvercles et des taches) sont bien maintenues indépendantes de la dimension "nombre"; la récompense alimentaire ne s'identifie plus aux éléments à dénombrer, ce qui permet d'éviter de conditionner l'animal à répondre en fonction de la quantité de nourriture et non selon le nombre comme il convient; l'usage d'un nombre plus important de groupes d'objets et d'un modèle exclut la possibilité que l'animal soit guidé par une "discrimination numérique" (choix de plus versus moins) comme dans les situations où seulement deux ensembles d'éléments sont proposés au sujet; enfin, l'expérimentateur est séparé du sujet. Il est donc difficilement discutable

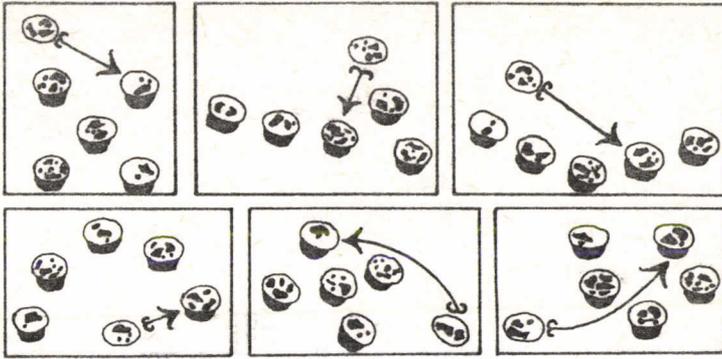


Fig. 2. Exemples de dispositions des couvercles par rapport au couvercle positif et au modèle (sans ombre). Ils portent tous les deux le même nombre de taches dont la taille, le nombre et l'arrangement sont variables d'un ensemble à l'autre. Le dispositif constitue une version plus compliquée que ceux de la fig. 1. (d'après KOEHLER, 1949).

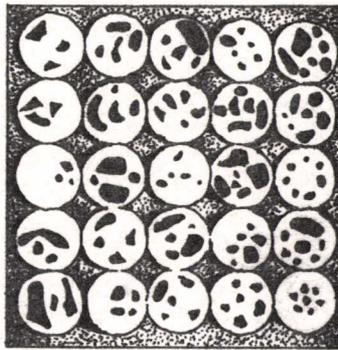


Fig. 3. Collection des soucoupes utilisées par HASSMANN pour étudier le dénombrement chez l'écureuil. Pour chaque nombre utilisé (3, 4, 5, 6, 7), cinq groupes de taches variables par la taille, la disposition et la forme ont été prévus. Les couvercles sont utilisés de la même manière qu'à la fig. 2. (d'après HASSMANN, 1952).

que les écureuils, les corvidés et les psittaciformes savent assez facilement dénombrer des ensembles de moins de huit éléments.

Pour étudier la deuxième "capacité", il est d'abord possible d'entraîner les oiseaux à manger seulement un nombre donné de graines dans un tas présenté sans indices configurationnels (pas d'arrangements, pas de groupes délimités). Ainsi, MAROLD (1939) parvient à apprendre à des perruches (Melospittacus undulatus) à prélever 6 grains d'un tas de 10-15 après 600 essais d'apprentissage (avec punition en cas de mauvaise réponse). Cependant, il s'agit là encore d'un dressage basé sur le rythme de picorage et ARNDT (1939) a introduit un délai de 1 à 60 secondes entre chaque unité à "énumérer" pour contrôler ce facteur. Sa méthode consiste à laisser rouler un petit pois dans la coupelle de son pigeon à travers un tube. Il réussit ainsi à lui apprendre à s'arrêter à la cinquième offre, mais dès qu'il s'agit d'identifier six pois, le pigeon échoue. Si le rythme de picorage semble ici assez bien contrôlé, il n'y a cependant pas de séparation de la récompense alimentaire des unités dénombrables. Aussi, le pigeon est-il probablement entraîné à s'arrêter de picorer lorsqu'il a ingurgité une certaine quantité de nourriture plutôt qu'à dénombrer quatre ou cinq petits pois. Comme VERLAINE, ARNDT a aussi tenté d'appliquer la procédure d'enlèvement des couvercles à l'étude du comptage dans le temps (succession). Il dispose un certain nombre de pois dans des boîtes recouvertes d'un carton vierge et rangées en file. L'oiseau est dressé à suivre cette rangée et à y renverser des cartons jusqu'à ce qu'il arrive à obtenir le nombre de récompenses voulu. Le nombre de boîtes et le nombre de pois peuvent être égaux ou différents. Cinq pois peuvent être répartis de nombreuses manières dans cinq boîtes. Ainsi par exemple le premier récipient à partir de la gauche peut contenir 1 récompense, le deuxième 2, le troisième 1, le quatrième aucune, le cinquième 1; dans une autre expérience, on peut avoir pour le même ordre 2, 1, 0, 1, 1 ou 1, 1, 1, 0, 2 récompenses, par exemple. Les pigeons maîtrisent toutes les combinaisons où le nombre de pois et de boîtes est inférieur à six mais un réapprentissage est nécessaire à chaque changement de combinaison. SCHIEMANN (1939) a appliqué le même paradigme chez des choucas (qui ne parviennent pas à récolter plus de 5 appâts) mais en utilisant 7 boîtes. Il nous rapporte la curieuse observation suivante. Après avoir appris à soulever dans une série sept couvercles les cinq premiers (à partir de la gauche) sous lesquels cinq récompenses sont réparties de la manière que nous avons déjà indiquée, un choucas ouvre à l'essai suivant les trois premiers couvercles (s'assurant le bénéfice de quatre récompenses), s'éloigne des boîtes en se dirigeant vers la position de départ, puis revient brusquement auprès du dispositif expérimental et achève l'ouverture des cinq boîtes (avalant la cinquième gratification) pour repartir à nouveau. Pendant la deuxième partie de cet essai, le choucas recommence à se déplacer du début de la file jusqu'à la cinquième boîte en baissant une fois la tête devant le premier récipient déjà ouvert, deux fois face au deuxième, une fois encore lorsqu'il s'arrête devant le troisième et enlève ensuite les couvercles des deux autres boîtes prélevant la cinquième récompense placée dans le cinquième récipient sans toucher au restant de la rangée. Le nombre de mouvements de la tête étant égal au nombre de récompenses contenues dans les boîtes, SCHIEMANN suggère que le choucas a utilisé les mouvements de la tête comme repères internes, lesquels l'auraient aidé à récapituler l'ensemble des mouvements nécessaires à l'obtention des cinq gratifications, et ceci impliquerait aussi que le corvidé ait "retenu en mémoire" ces séquences comportementales et surtout quel est le nombre de récompenses qu'il est possible de se procurer. Dans une phase ultérieure, les couvercles vierges sont remplacés par des couvercles colorés et l'oiseau parvient à maîtriser quatre problèmes de ce

genre. Il apprend ainsi à ouvrir les couvercles noirs jusqu'à ce qu'il ait obtenu deux graines, similairement à enlever les verts jusqu'à l'obtention de trois provendes, les rouges pour quatre et les blancs pour cinq. Si certaines de ces observations peuvent paraître spectaculaires et convaincantes, il convient cependant de les recevoir avec circonspection car elles tiennent beaucoup de l'anecdotique il faut bien le dire, et c'est sûrement ce type de données qui a conduit DAVIS et MEMMOTT (1982) à taxer tous les travaux koehleriens d'anecdotiques (mais à tort) ... De plus, le paradigme même ne nous assure pas que l'oiseau appréhende bien un nombre, car (de nouveau), l'auteur commet l'erreur de confondre les éléments qu'il faut dénombrer avec la récompense, de sorte que c'est plus probablement à associer une quantité de nourriture à l'ouverture répétée de couvercles que le choucas est dressé. Dans ce cas, la récapitulation si extraordinaire des cinq mouvements de la tête par le choucas perd d'un coup la valeur interprétative qui lui a été attribuée par SCHIEMANN et par KOEHLER (1949, 1950) et devient un indice purement moteur que l'oiseau associe à la quantité de nourriture. L'ajout d'autres séries de couvercles différentes par la couleur ne change rien de fondamental et confère au travail de SCHIEMANN le caractère d'une épreuve de discrimination de couleurs, chaque couleur recélant une quantité différente de nourriture. Un saut de qualité certain a été réalisé dans le travail de LÖGLER (1959) avec le perroquet gris de BRAUN (1952) et la méthode de ARNDT (1939) revue et corrigée. Le perroquet y est d'abord dressé à renverser les couvercles vierges qu'il convient afin de recueillir deux appâts à la présentation de deux flashes lumineux ou trois appâts à l'émission de trois flashes. On entraîne ensuite l'oiseau à répondre à 3 ou 4, 4 ou 5, 5 ou 6 et 6 ou 7 flashes successivement. Tout changement important dans l'arrangement temporel des signaux ne produit aucune modification du pourcentage de réponses correctes. Objecter ici que le nombre est confondu avec la récompense alimentaire n'est pas vraiment pertinent puisque l'animal est guidé par des stimuli qui n'ont rien d'alimentaire (flashes). Comme il doit répondre d'une façon différente selon le nombre en quelque sorte pour "montrer" qu'il discrimine les deux ensembles de flashes, il avale une quantité différente de nourriture; on aurait tout aussi bien pu utiliser deux provendes différentes ou encore une même provende cachée sous une soucoupe de couleur différente pour les deux réponses. L'absence de la possibilité de sélectionner parmi deux ou plusieurs ensembles celui qui compte le même nombre d'unités qu'un ou même que plusieurs autres groupes d'unités, tout autre indice étant très variable par ailleurs, ne nous autorise pas à accepter dans cette expérience une mise en évidence du dénombrement chez l'animal puisqu'il n'y a pas d'"abstraction" du nombre. Le perroquet y est contraint d'opérer un choix entre deux ensembles seulement, de sorte que si l'animal répond correctement à une des séries de flashes c'est probablement parce que son effectif est plus petit ou plus grand relativement à celui de l'autre série. C'est donc sur la différence des deux effectifs que repose l'apprentissage de l'animal et il s'agit en fait de ce que nous avons défini au premier paragraphe d'une discrimination numérique.

Les deux groupes de travaux, l'un s'attachant à étudier la perception simultanée du nombre et l'autre en explorant l'appréhension successive, sont d'inégale valeur et comportent la gamme complète de ce qu'il est possible de faire de bon et de moins bon dans l'étude du comptage chez l'animal. Le second groupe n'a guère que l'expérience de discrimination numérique de LÖGLER à proposer et c'est dans l'autre groupe que l'on trouve les meilleures réalisations de l'école koehlienne où un maximum de précautions méthodologiques confère aux travaux de KOEHLER, BRAUN, SAUTER ou HASSMANN assez de crédibilité pour affirmer

que les corbeaux, les perroquets, les pies ou les écureuils déploient bien des conduites de dénombrement. Cependant, même dans les plus beaux travaux koehleriens, il n'est en aucun cas permis de parler de concept de nombre tel qu'on le retrouve chez l'enfant, et le lecteur s'en sera facilement aperçu. Nous cueillons ici l'occasion pour imaginer ce qu'il aurait fallu que les animaux de l'équipe de KOEHLER réalisent pour arriver à une telle conclusion. La généralisation de l'identification d'un même nombre d'une situation à une autre (modifications des caractères non pertinents) ne suffit pas, elle permet tout au plus d'admettre la présence d'un dénombrement plus proche de la perception visuelle que du concept de nombre. Il faut, pour qu'il soit permis de parler de concept de nombre, souvenons-nous, que le sujet soit capable d'identifier dans des circonstances différentes (dénombrement) des nombres différents. Ainsi, après qu'elle ait appris à se procurer des pistaches en renversant le couvercle qui comporte autant de taches (dont toutes les caractéristiques varient) que le tableau de pointage indique d'éléments, par exemple 7, il faudrait qu'une pie soit en mesure de happer des pistaches cachées par des couvercles marqués de différents nombres de taches par exemple 2, 4 ou 6, sans nouvel apprentissage, c'est-à-dire que les conduites de dénombrement deviennent en quelque sorte spontanées. Ce genre d'observations n'a jamais été rapporté et indique l'énorme fossé qui sépare le psychisme des animaux de celui des enfants (PIAGET).

Le contrôle des différentes dimensions de deux ou d'une série d'ensembles d'objets (couleur, grandeur, etc.) permet donc de fixer le nombre comme unique caractéristique commune à ces ensembles, nombre auquel on s'efforce de faire répondre l'animal indépendamment des autres caractéristiques. Une autre manière de séparer ces dimensions du nombre en tant que tel est de tenter un "transfert d'un secteur comportemental à un autre sans réapprentissage" c'est-à-dire à faire en sorte qu'un animal continue de répondre imperturbablement au même nombre d'éléments après un changement de la modalité sensorielle de prise d'information de ce nombre. Ainsi le perroquet gris de LÖGLER (1959) apprend dans la même épreuve à renverser autant de couvercles qu'il en faut dans une série de huit récipients pour récolter 2 ou 3 appâts à l'exhibition de 2 ou 3 signaux lumineux de durée et de distribution variables respectivement. L'animal continua de répondre pareillement sans autre exercice après que les signaux optiques (flashes) aient été remplacés par des signaux sonores de diverses qualités (flûte, piano, etc.); mais au-delà de ces deux ou trois signaux le transfert devint impossible. C'est à un chercheur anglo-saxon (DAWSON, 1961) qu'il revient d'avoir plus ou moins obtenu chez la civette (*Civettictis civetta*) la transition inverse à celle réalisée par le perroquet de LÖGLER. La civette apprend à ouvrir un portillon de bois d'un dispositif qui en compte une paire lorsque trois sons sont émis et à se diriger vers l'autre portillon à l'audition de deux sons, ne se laissant pas ensuite perturber à la substitution de ce stimulus acoustique par des signaux lumineux : le pourcentage d'essais erronés dans les 100 premiers essais de la deuxième phase est inférieur au nombre de fautes dans les 100 derniers essais de la première phase. Remarquons qu'il s'agit là d'une épreuve qui met en évidence (dans la première partie) la maîtrise d'une discrimination numérique, et non d'un dénombrement, car si la civette se dirige vers un portillon à l'audition du signal composé de trois sons, c'est probablement parce qu'il contient relativement plus d'éléments qu'il n'y en a dans l'autre signal acoustique. Il en est d'ailleurs de même du travail de LÖGLER dont nous avons déjà eu l'occasion de souligner les mêmes limites plus haut à propos d'une expérience qui correspond à la première phase du travail dont il est question ici. On peut distinguer quatre types d'apprentissages susceptibles de transferts de ce genre,

les uns pouvant succéder aux autres. Un animal peut apprendre à fournir autant de réponses qu'un muster indique d'éléments présentés "visuellement" d'une manière immédiate (ex. nombre de taches à percevoir) ou successive (ex. nombre d'éclairs lumineux à percevoir). Il y a aussi les épreuves basées sur des musters "auditifs" (ex. nombre de coups de flûte) et dont le mode de présentation est par définition successif. Enfin, l'animal peut commencer par apprendre à identifier un nombre sans modèle comme dans les premières expériences de l'équipe de KOEHLER. A chacun de ces quatre paradigmes peut succéder après le transfert un des trois autres types d'apprentissages; pour le quatrième cas il n'y a bien évidemment pas de substitution mais bien une introduction de muster puisqu'il n'y en a pas dans la première phase. On a ainsi les douze transitions possibles présentées dans le tableau (inspiré d'une discussion de SEIBT, 1982) qui suit :

SECONDE PHASE : APRES SUBSTITUTION DU MODELE

PREMIERE PHASE : APPRENTISSAGE

	VISION SIMULTANEE	VISION SUCCESSIVE	AUDITION	OPERATION
VISION SIMULTANEE	X	-	-	KOEHLER 1960
VISION SUCCESSIVE	HENNIG 1977	X	LÖGLER 1959	-
AUDITION	-	DAWSON 1961	X	KOEHLER 1949
OPERATION	KOEHLER 1960	-	-	X

On pourra par exemple remplacer un signal visuel successif ("vision successive" dans le tableau) par un signal visuel immédiat ("vision simultanée") de la seconde phase. Un tel transfert a été tenté en vain par HENNING (1977) sur des blennies (blennidés) en remplaçant des stimuli lumineux par des panneaux tachetés, les deux modèles comportant bien sûr le même nombre d'unités. Dans le cas où on commence par apprendre à l'animal à reconnaître un nombre sans muster ("opération" dans la première phase) on introduit d'emblée dans la seconde phase un des trois musters possibles qui indique le nombre précédemment identifié. Les corvidés de KOEHLER ne parviennent pas à accomplir sans réapprentissage un tel transfert (de l'"opération" à la "vision simultanée"). Les "transferts spontanés" où il s'agit pour l'expérimentateur de retirer le modèle sans le remplacer, c'est-à-dire de passer à l'"opération" dans la seconde phase, ne semblent pas avoir été obtenus (KOEHLER). Les cinq autres transferts ("vision simultanée" à "vision successive"; "vision simultanée" à "audition"; "audition" à "vision simultanée"; "opération" à "vision successive" et "opération" à "audition") paraissent si ardu qu'ils n'ont même pas été tentés. La difficulté de réaliser ce genre d'exercices montre combien les performances des animaux dépendent du canal sensoriel par lequel ils perçoivent le signal. S'ils savent discriminer de petits nombres les uns des autres, comme nous l'avons vu, en réussissant à faire abstraction des dimensions non pertinentes (configuration, forme, etc.) à l'intérieur d'une même modalité sensorielle (la vision

du tableau de pointage), ils ne parviennent que très difficilement à faire abstraction des modalités sensorielles elles-mêmes quand le canal sensoriel adéquat pour percevoir le muster change (de visuel à auditif et inversement). Ils sont incapables de "transférer" (c'est-à-dire en fin de compte de faire abstraction des modes de prise d'information pour lesquels le nombre est le dénominateur commun) si l'effectif des éléments dépasse trois unités et il leur est impossible de "transférer" tout court lorsque le mode de présentation du muster n'est pas successif (c'est-à-dire ne ressortissant pas à l'"audition" et à la "vision successive"). On remarquera à ce propos que dans les expériences de LÖGLER et de DAWSON, où ces deux derniers registres sensoriels sont impliqués, le changement de canal sensoriel n'est pas vraiment radical, puisque le mode de présentation reste, avant comme après la substitution du muster, successif; le contrôle des dimensions étrangères au nombre n'est donc pas total et la civette ou le perroquet pourraient bien avoir été aidés par le caractère successif permanent des modèles. De telles remarques semblent amoindrir la valeur des données obtenues dans les expériences où le transfert n'est pas étudié, mais ces limites sont à relativiser par le fait que ces paradigmes expérimentaux appellent chez l'animal l'utilisation d'autres capacités clairement étrangères à la pure maîtrise de la discrimination numérique ou du dénombrement comme la mémoire et les relations et coordinations sensori-sensorielles (et plus spécialement auditivo-visuelles) qui ne sont pas nécessairement assez développées ou développées de la manière qu'il faudrait pour permettre la réalisation de tels transferts.

Si elle n'a guère suscité beaucoup d'intérêt dans les pays anglo-saxons, l'oeuvre de KOEHLER et de son école a influencé l'activité de l'importante école polonaise de zoopsychologie. Malheureusement, les auteurs polonais n'ont pas toujours bien compris la leçon koehleriennne et plusieurs de leurs expériences récapitulent les défauts des premiers travaux koehleriens et elles valent surtout par la tentative d'étudier de nouvelles espèces animales. Nous rapportons ici quelques-unes de ces expériences. Dans une des rares expériences s'intéressant aux vertébrés inférieurs, Maria NOWAK (1962) dresse six vairons (Phoxinus laevis) à distinguer deux groupes, d'abord assez différents, de petits disques noirs. Elle commence ainsi par étudier la distinction d'un nombre (2) de points dessinés sur une carte carrée du nombre (5) de points de l'autre carte, les deux cartes étant exhibées en même temps à travers la vitre de l'aquarium. Une fois cette discrimination établie, elle introduit progressivement d'autres cartes de manière que l'écart entre les deux nombres s'amoindrisse ou augmente. Ainsi, bon nombre des distinctions possibles entre des effectifs de 1 à 8 petits disques sont-elles tentées (de 1 de 2 à 5 de 8 en passant par 5 de 4, mais les discriminations 6 de 8 ou 7 de 8 ne sont pas proposées). Les apprentissages réussissent assez bien, mais ce travail pêche par un grand défaut : la plupart des dimensions des unités ne sont pas manipulées et seuls les arrangements des points noirs sur la carte changent parfois pour un même nombre. Mais cette précaution paraît bien limitée et ne suffit pas à nous garantir que le poisson n'a pas été guidé par la masse des points (plus grande pour les grands effectifs). Un meilleur contrôle des caractéristiques secondaires aurait sans doute permis de parler d'une discrimination numérique. Avec à peu près la même méthodologie, et par conséquent les mêmes défauts, KLIMCZYK (1958) a obtenu le même genre de résultats sur les tortues aquatiques Chicemys reevesi et Geoemyda trijuda, et tout comme dans le travail de NOWAK, plus la différence entre les deux ensembles de points y est petite, plus le pourcentage de fautes est grand. Et, comme BIERENS DE HAAN l'avait déjà judicieusement souligné à propos des expériences de FISCHER et du jeune KOEHLER, "si la comparai-

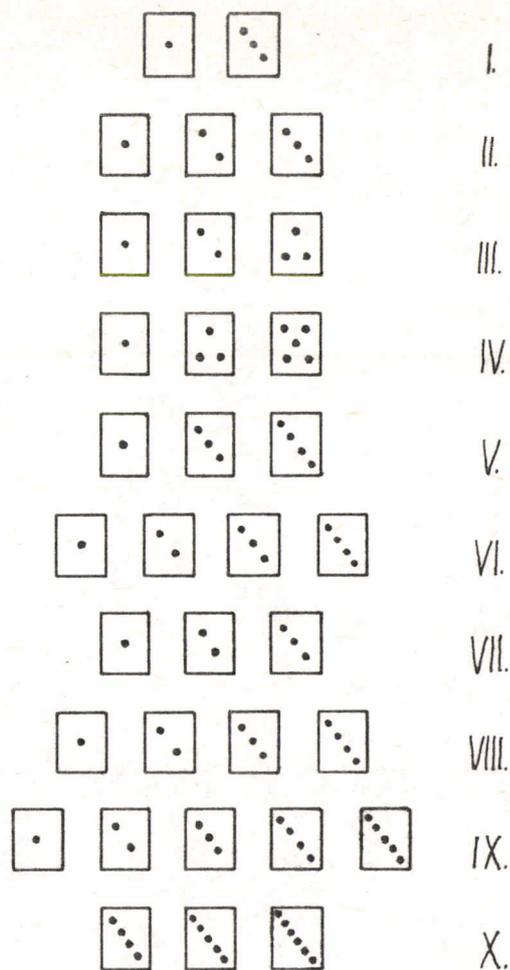


Fig. 4. Cartes utilisées par DABROWSKA pour étudier la notion du nombre chez quelques corvidés. A chaque carte, l'animal doit associer un nombre de signaux sonores (de 1 à 6). Il est amené à apprendre cette association au fur et à mesure des dix séries de groupes de points pour arriver à discriminer les ensembles de 4, 5 et 6 points. Les dispositifs sont en fait des stimuli visuels simples et n'ont rien de numérique pour l'animal qui apprend à les distinguer selon la densité des groupes. (d'après DABROWSKA, 1967).

son avait eu pour base un nombre explicitement connu, ceci ne serait pas arrivé"... Barbara DABROWSKA (1967), une autre zoopsychologue polonaise, a réalisé des expériences assez élaborées dans lesquelles il est permis de conclure à la mise en évidence d'une "reconnaissance relative des nombres" (discrimination numérique), notion dont parle à tort cet auteur à propos des résultats de KLIMCZYK et de NOWAK. Elle entraîne six corvidés (une Corvus corone cornix, deux Coloeus monedula, deux Corvus f. gilegus et un Garrulus glandarius) à ouvrir une boîte cubique marquée d'autant de points obscurs (tous identiques) que l'expérimentateur émet de signaux acoustiques. Dans une première phase, l'oiseau est entraîné à ouvrir une seule boîte comportant un ou trois points noirs (qu'on dépose dans sa cage) à l'audition de un ou de trois signaux sonores. Cet apprentissage dure de 7 à 12 jours avec 20 essais quotidiens et prépare les sujets à une deuxième phase plus complexe où on leur offre successivement six séries de 2 à 4 boîtes marquées de 1 à 5 points. Il s'agit alors de distinguer la boîte marquée d'un point à l'émission d'un seul signal de la boîte marquée de trois points à l'émission de trois signaux (100 à 200 essais par série). Quatre autres séries de 3 à 5 récipients sont ensuite proposées aux oiseaux, mais ceux-ci sont maintenant dressés à associer chaque ensemble de points, et donc chaque boîte, à un signal sonore. Ils parviennent ainsi devant la dernière série (la dixième) à reconnaître 6, 5 ou 4 sons en ouvrant les réceptacles correspondants marqués de 6, 5 ou 4 petits disques noirs (fig. 4). Leurs performances ne sont pas influencées par l'arrangement des taches ou des boîtes, par la présence simultanée de vers de farine (récompense) dans toutes les boîtes, par un délai de 5-15 secondes entre la mise en présence de la série avec l'oiseau et la production du stimulus sonore, et surtout par la longueur constante du signal acoustique (un signal de 3 unités pouvant ainsi avoir la même durée qu'un signal de 5). Seul le passage à un nombre de boîtes plus grand (changement de série) provoque une légère diminution du pourcentage de choix corrects mais n'altère pas vraiment la performance. Les configurations des groupes de petits disques noirs se différencient des autres plus par leur masse et la place qu'elles occupent sur la boîte, étant donné l'absence d'un contrôle suffisant des dimensions non pertinentes pour l'identification du nombre, que par celle-ci. S'il oublie de faire varier la forme, la couleur et la grandeur des taches, cet auteur ne néglige toutefois pas de maintenir la durée des sons constante, ce qui nous autorise à penser que la corneille, les choucas, les freux et le geai ont été guidés par les nombres d'unités sonores sans être influencés par la durée des signaux (qui aurait été sans ces précautions plus longue pour les nombres plus importants). Cependant, il n'y a à aucun moment dans le schéma de DABROWSKA de manipulation des indices secondaires au niveau de plusieurs ensembles pour un même nombre, conditions nécessaires à la réalisation de l'appréhension de la seule dimension commune aux ensembles : le nombre. Les oiseaux de DABROWSKA auraient donc été progressivement amenés à discriminer trois nombres les uns des autres (4, 5 et 6), en reliant une configuration de points d'une certaine densité à un petit, un moyen et un grand effectif.

5. Les travaux des spécialistes de l'apprentissage

S'inspirant de la tentative du psychologue américain B.F. SKINNER de réduire le "comportement verbal" à une simple relation stimulus-réponse (dans son livre "Verbal Behavior", 1957), Ch. FERSTER se propose d'en faire de même avec le "comportement arithmétique"

DECIMAL.	BINAIRE.	LAMPES.
0	000	
1	001	
2	010	
3	011	
4	100	
5	101	
6	110	
7	111	

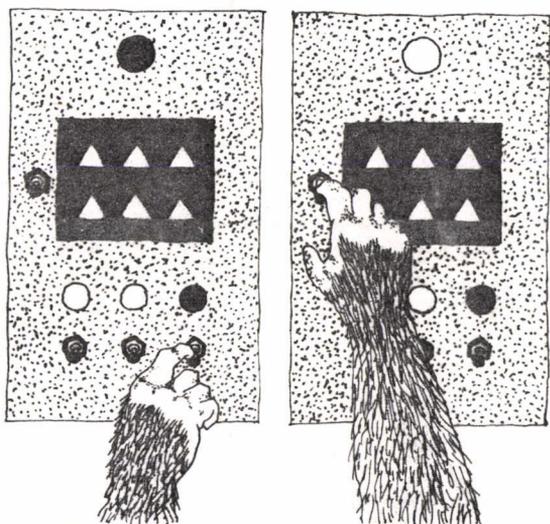


Fig. 5. Au-dessus, traduction du système binaire utilisé par FERSTER sous forme de lampes allumées (disques blancs) ou éteintes. En-dessous, à gauche les chimpanzés apprennent à reproduire la combinaison correspondant au nombre de triangles (6); à droite, ils appuient le bouton du tableau central lorsque l'essai est terminé; si la réponse est correcte, la lampe supérieure s'allume et une récompense est octroyée. (d'après FERSTER, 1964).

(1964; FERSTER et HAMMER, 1966). Cet auteur travaille intensivement avec deux chimpanzés et utilise leur ration journalière de nourriture pour les récompenser chaque fois qu'ils actionnent un petit levier apparié à une série de trois petites lampes correspondant à un nombre binaire. Après qu'un tel apprentissage ait été obtenu pour sept nombres binaires rangés de 000 à 111, en passant par exemple par 001, 010 ou 011, les digits 1 et 0 étaient représentés par une lampe allumée et une lampe éteinte respectivement (fig. 5), il est demandé aux chimpanzés de choisir entre deux combinaisons binaires celle qui correspond au nombre de petits symboles (par exemple trois triangles) présentés entre les deux combinaisons, et dont l'arrangement, la grandeur et la forme varient au sein d'une session d'un essai à l'autre. Les deux chimpanzés réussissent cette épreuve pour les sept combinaisons binaires après 500.000 essais répartis en 200 sessions en commettant fréquemment moins de 5 erreurs au cours d'une journée de travail (bloc de 3.000 essais). Un autre apprentissage de 150 sessions fut nécessaire aux sujets de FERSTER pour parvenir non plus à discriminer tout court la combinaison attendue mais à la former en allumant la ou les lampes qui convien(n)ent. La rigueur méthodologique exceptionnelle de ce travail et certaines mesures procédurales "sévères" (grand nombre des sessions, punition des erreurs par un black-out, usage des rations alimentaires quotidiennes comme récompense) excluent la possibilité que le comportement des chimpanzés ait été contrôlé par des facteurs étrangers au caractère "numérique" des modèles (les trois triangles entre autres). Cependant, le code binaire est purement arbitraire et les combinaisons ont une signification numérique étrangère aux sept arrangements de trois lampes allumées et/ou éteintes que le chimpanzé peut percevoir. Aussi, les combinaisons binaires représentent-elles des nombres plus pour l'expérimentateur que pour les anthropoïdes comme du reste pour tout sujet humain ignorant le code. L'usage du code binaire n'est pas utile et ne sert pas à grand'chose, sinon à permettre à l'expérimentateur de savoir quelle est la série de lampes associée à tel ou tel nombre; la substitution des lampes par n'importe quel autre objet n'aurait rien changé. Il s'agit là d'un paradigme de conditionnement discriminatif compliqué (inutilement) combiné avec une épreuve de dénombrement où l'animal apprend à associer une série de trois lampes à un nombre de 1 à 7 éléments.

Bon nombre d'études publiées par des spécialistes du conditionnement se basent sur deux paradigmes. Le premier, introduit par MECHNER (1958; MECHNER et GUEVREKIAN, 1962) et appelé "Fixed Consecutive Number" (FCN), s'articule comme suit : pour obtenir une gratification alimentaire (un renforcement positif), l'animal doit abaisser un levier B après avoir actionné un certain nombre minimum de fois consécutives un levier A. Si la réponse en B est précédée d'un nombre de réponses inférieur au nombre requis, l'octroi de la récompense est suspendu et l'animal doit recommencer à répondre en A. Le rat (*Rattus norvegicus alb.*) ou la souris (*Mus musculus alb.*; MILLENSON, 1962) parviennent à apprendre à émettre 4, 8, 12 ou 16 réponses en A avec un nombre modeste d'erreurs (voir aussi LATIES, 1972). Les nombres sont portés à 20 et 27 dans un travail de BLACKMAN et SCRUTON (1973) sur le rat. D'autres auteurs comme HURWITZ (1962) ou PLATT et JOHNSON (1971) arrivent aux mêmes résultats que MECHNER avec plus ou moins la même procédure à ceci près qu'ils remplacent l'abaissement du levier B par la poussée du museau d'un portillon cachant la mangeoire (renforcement). De plus, PLATT et JOHNSON introduisent un time-out de 10 secondes en cas d'erreur (punition). Une autre variante de ce schéma expérimental consiste à fixer comme critère permettant l'octroi du renforcement la production de moins de réponses d'un côté que le nombre requis et plus de l'autre côté (DODD, 1980). Le deuxième paradigme a été développé par RILLING et MAC'DIARMID (1965) et a surtout été étudié chez le pigeon (voir aussi PLISKOFF et GOLDIA MOND, 1966; RILLING, 1967; BUCHMAN et ZEILER, 1975; HOBSON, 1975; et

la revue de HOBSON et NEWMAN, 1981). Si l'oiseau émet le nombre requis (par exemple 35) de coups de bec sur une clé centrale flanquée de deux autres clés, et ensuite frappe la clé de gauche, il pourra recevoir une récompense alimentaire. S'il répond à la clé de droite, il ne sera pas récompensé (renforcé), sauf s'il a préalablement enfoncé la clé centrale un nombre précis de fois supérieur au nombre demandé à la clé de gauche (par exemple 50). Après que le nombre correct de coups de bec ait été complété, la clé centrale s'obscurcit et les deux autres clés s'allument. Toute erreur retarde le déclenchement de la période pendant laquelle une réponse correcte mène à l'obtention de la provende (toute réponse même correcte avant ce moment reste sans conséquence positive). Les possibilités de réaliser une bonne réponse à gauche ou à droite sont irrégulièrement alternées. Dès que l'apprentissage de cette discrimination est réalisé, il est possible de rapprocher progressivement les deux nombres de coups de bec. Les pigeons réussissent assez rapidement, avec des nombres de l'ordre de 35 (gauche) et 50 (droite) coups de bec, à remplir les conditions du programme avec près de 90 % de réponses correctes, et à maintenir ce niveau de performance jusqu'au moment où les deux nombres diffèrent de 5 unités. A partir de ce seuil, le niveau de pourcentage de réponses attendues rejoint 50 %, c'est-à-dire ce que le hasard prévoit.

Ces expériences raffinées ne nous apprennent en fait que bien peu de choses sur les capacités de dénombrement du muridé ou du pigeon. Au moins deux réserves sont formulables. En premier lieu, le schéma expérimental de RILLING est, du point de vue de ce qu'il permet de démontrer, limitatif et n'autorise pas l'animal à réaliser une vraie appréhension du nombre car on lui demande de faire la différence entre deux réponses motrices par la grandeur relative du nombre de coups de bec qu'elles requièrent, cette discrimination étant de surcroît facilitée par une localisation constante des deux réponses (à gauche le petit nombre, à droite le grand nombre). L'expérience de rapprochement des deux réponses nous informe sur les limites de cette discrimination. A priori, le paradigme expérimental de RILLING permet donc au plus de démontrer une discrimination numérique. Mais il n'est pas sûr qu'on puisse arriver à une telle conclusion car on ne peut pas exclure que le comportement des pigeons ait été guidé par le rythme moteur de picorage. Dans ce cas, c'est sur l'ensemble unique de coups de bec et de "trilles" de coups de bec qualitativement différent d'une réponse à l'autre que reposerait le choix du pigeon, et non pas sur le nombre précis d'unités discrètes. Cette réserve est aussi applicable aux travaux basés sur le schéma de MECHNER où les coups de bec sont remplacés par des mouvements d'abaissement d'un levier avec les pattes antérieures (ou une patte antérieure). Notons aussi qu'il est raisonnable d'admettre que les animaux de ces deux groupes d'expériences n'ont pas été guidés par des indices temporels, à savoir par la durée de la réponse proportionnelle au nombre de coups de levier. Ainsi, RILLING (1967), sur le paradigme de RILLING et MAC'DIARMID, compare les durées des deux types de réponses (nombres différents de coups de bec aux deux clés) et ne trouve aucune différence significative entre les durées des deux réponses pourtant composées d'un nombre très différent de touches et WILKIE, WEBSTER et LEADER (1974), sur le FCN adapté au pigeon, ne modifièrent pas les performances de leurs pigeons en faisant varier au hasard d'une frappe à l'autre la durée du black-out qui suit chaque coup de bec.

Cette dernière difficulté est évitée dans une expérience des plus méticuleuses conduite par FERNANDES et CHURCH (1982) qui ont montré que des rats sont capables d'abaisser deux fois le levier de droite ou quatre fois le levier de gauche, avant de recevoir une pastille de

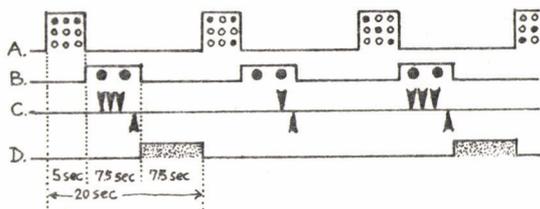
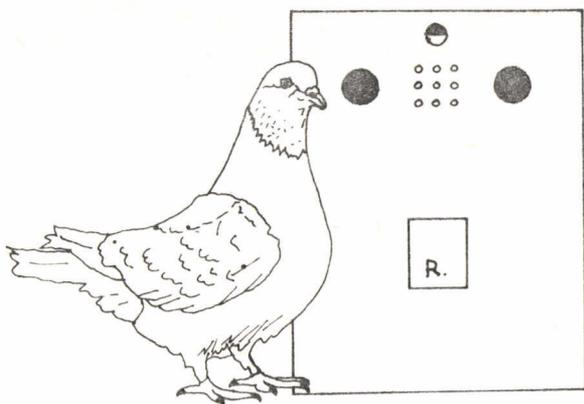


Fig. 6. Dispositif de l'expérience de conditionnement de SEIBT (1982). On distingue au-dessus et à gauche du grand panneau la clé (noire) sur laquelle le pigeon doit donner deux ou trois coups de bec selon le nombre indiqué par la matrice de neuf lampes (au-dessus au centre) pour obtenir une récompense fournie par la mangeoire R. En-dessous, fragment du déroulé du programme de conditionnement. En D, durée des événements composant ce programme. Les lampes (deux ou trois) s'allument d'abord pendant 5 secondes (A). Immédiatement après arrive une période de 7,5 secondes (B) pendant laquelle tout coup de bec correct mène à la présentation de la mangeoire-tiroir (R) pendant 7,5 autres secondes (D).

nourriture, à l'audition de deux ou de quatre sons respectivement. La durée de ces signaux discriminatifs et des intervalles qui les séparent sont maintenus constants ou contrebalancés de manière à éliminer tout rapport de proportionnalité entre la durée de la réponse et le nombre de coups de levier. Le fait que les dix rats de cette expérience doivent abaisser le levier de droite deux fois et le levier de gauche quatre fois n'est guère important. Ce qui compte ici c'est que les sujets ont le moyen de répondre d'une manière différente (à gauche ou à droite) en fonction du nombre de deux ou quatre. On ne peut donc objecter que le rythme moteur ait pu servir d'indice car il n'aurait été d'aucune utilité. Une expérience de qualité comparable a été réalisée par THOMAS, FOWLKES et VICKERY (1980) qui ont dressé un singe-écureuil (*Saimiri sciureus*) à distinguer les cartes portant 8 disques, de grandeur et d'arrangement variables d'une carte à l'autre, des cartes marquées de 9 disques. Si la méthodologie de ces deux travaux nous garantit une assez bonne neutralisation des indices étrangers à la dimension "nombre", leur schéma expérimental reste basé sur une comparaison de deux ensembles, c'est-à-dire sur un processus dont on n'est pas sûr qu'il implique le dénombrement et qui se réfère plutôt à la capacité de discriminer le petit du grand : "ici il y a plus de morceaux que là-bas".

Un autre travail très récent faisant appel aux techniques du conditionnement opérant a été réalisé par un membre de l'école allemande de zoopsychologie, U. SEIBT (1982). Ses expériences tiennent à la fois des investigations de MECHNER (1958) et de FERNANDES et CHURCH (1982) car au paradigme du premier elles empruntent la nécessité de répondre à la clé de gauche, avec le nombre de touches requis, avant de recevoir le renforcement positif en répondant à droite, et au paradigme des seconds l'usage d'un stimulus discriminatif à partir duquel l'animal sait "abstraire" le nombre qu'on lui demande de reproduire. Cependant, il ne s'agit plus ici d'un stimulus discriminatif sonore, mais d'un stimulus discriminatif visuel (fig. 6). SEIBT entraîne deux pigeons à donner autant de coups de bec sur la clé de gauche qu'il y a de lampes allumées - deux ou trois - dans la matrice de neuf ampoules placée entre les deux clés (muster). La disposition des lampes allumées change à chaque essai et le programme de conditionnement comprend 100 essais où chaque disposition apparaît 5 fois sans que la même soit présentée 2 fois de suite. De plus, le programme contient deux séries de 10 configurations, une pour le nombre deux, l'autre pour le nombre trois, chacune de ces configurations se répétant 5 fois dans le déroulement du programme. Une première phase de l'expérience consiste à fournir deux coups au signal deux, et trois coups au signal trois (50 séances de 100 séances). Dans une seconde phase (de même 50 séances de 100 séances), précédée par une autre période de transition de quelques dizaines d'essais, l'auteur exige du pigeon qu'il émette deux coups de bec au signal trois et trois coups au signal deux pour obtenir un renforcement positif (graines). Si l'animal fait vraiment la différence entre les deux nombres, il doit être en mesure de répondre sans qu'un nouvel apprentissage soit nécessaire, ou tout au moins sans que le nombre d'erreurs augmente. C'est en effet ce que les pigeons réussissent à faire : le rapport entre le nombre d'erreurs et le nombre de touches correctes (le premier étant inférieur au second) ne change pas d'une phase à l'autre. On remarquera que les apprentissages ont duré plusieurs années. Vu le nombre important de configurations différentes (10 + 10), il semble exclu que les sujets de SEIBT aient appris à différencier à peu près en même temps les 20 arrangements possibles de lampes allumées puisque d'après l'important zoopsychologue allemand RENSCH (1973), les oiseaux ne sont même pas capables de maîtriser (ou de "reconnaître") en même temps un nombre de stimuli discriminatifs même très différents, égal à la moitié du nom-

bre de configurations de l'expérience de SEIBT. Le paradigme met encore en présence deux nombres qu'il s'agit de distinguer en répondant cette fois sur une seule clé. De plus, la comparaison des deux ensembles d'unités se fait dans le temps puisqu'ils ne sont jamais présentés simultanément. Malgré ces difficultés, il reste qu'il y a toujours deux ensembles de lampes allumées à différencier sans que des manipulations vraiment poussées des indices secondaires des ensembles et de leurs éléments aient été prévues pour permettre une véritable "reconnaissance" (relative) du nombre, c'est-à-dire une discrimination numérique. Proposer un changement de l'arrangement des deux ou des trois ampoules allumées ne résout pas complètement le problème de la masse des unités qui reste toujours plus grande pour l'effectif trois, et le fait que l'on retrouve ici le problème de la durée du picorage, qui est plus longue pour le nombre trois, n'arrange pas les choses. Ces trop nombreuses carences méthodologiques sont d'autant plus étonnantes que SEIBT est un auteur allemand qui cite les bons travaux koehleriens dans son texte, lequel, soit dit en passant, vaut surtout pour son excellente discussion ...

A part le travail de FERSTER, les travaux faisant appel aux techniques du conditionnement contiennent à peu près toujours les mêmes limitations, et notamment l'imprécision des effectifs et l'usage de deux nombres à distinguer l'un de l'autre et non à appréhender. Ceci vient de ce que la principale préoccupation de beaucoup des auteurs est précisément d'étudier la discrimination des deux nombres. Dans ces conditions, la précision du nombre n'a pas, somme toute, une importance cruciale, l'important étant d'avoir un écart suffisamment grand entre les deux nombres pour permettre la discrimination numérique.

CONCLUSION

Si le problème du comptage chez les animaux a inspiré certains des meilleurs zoopsychologues et éthologistes de la première moitié de notre siècle, ce n'est malheureusement pas toujours avec assez de circonspection. En effet, la plupart des travaux consacrés à cette question pèchent par plusieurs défauts méthodologiques. Le plus important de ces défauts est sans doute le manque ou l'absence de contrôle des diverses caractéristiques des éléments au nombre desquels on s'efforce de faire répondre l'animal à l'exclusion de tout autre indice. En maintenant constant l'effectif de deux ou de plusieurs groupes d'objets et en faisant varier le plus possible toutes les autres dimensions de ces éléments (quand ils sont visibles : couleur, taille, forme, arrangement des unités et des ensembles; quand ils sont audibles : longueur des unités sonores et des intervalles), il est en effet possible de faire en sorte que l'unique caractéristique commune des ensembles soit le nombre d'unités qu'ils comportent. C'est surtout dans les travaux de KOEHLER et de ses nombreux élèves, de VERLAINE, de HICKS, de FERSTER, de FERNANDES et CHURCH que l'on trouve les meilleures applications de cette condition lesquelles, curieusement, n'ont pas toujours bien été respectées dans les expériences réalisées après les années d'activité de l'école de KOEHLER dont certaines réalisations pouvaient pourtant servir de modèle. On a aussi bien souvent confondu les récompenses alimentaires avec le nombre à discriminer ou à identifier, de sorte que plus le nombre était grand et plus l'animal recevait de nourriture (par exemple dans FISCHER, ARNDT, SCHIEMANN ...). Il était ainsi dressé à réagir à la quantité d'aliments et non pas au nombre que celle-ci était

censée représenter. Il eut donc fallu séparer les provendes des effectifs et égaliser celles-ci pour les divers nombres proposés dans une même expérience par l'usage de soucoupes marquées de taches - des unités dénombrables - et recouvrant la provende. Si on ajoute au respect de ces deux précautions fondamentales celle du contrôle de l'influence involontaire de l'expérimentateur, tant dénoncée par PFÜNGST, sur les choix de l'animal (par exemple par l'utilisation d'une paroi cachant l'expérimentateur comme dans les investigations koehleriennes), on obtient enfin une expérience méthodologiquement apte à étudier sérieusement la perception du nombre chez l'animal. Une fois ces mesures de base assurées, il est alors permis d'établir d'autres mesures procédurales importantes mais cette fois d'une portée plus théorique. Aussi, en partant de la situation où l'animal réalise une discrimination numérique, on pourra passer à la situation où seul un dénombrement simple est possible. L'usage de deux ou de plusieurs ensembles parmi lesquels le sujet doit discriminer l'effectif menant à l'obtention de la récompense caractérise la première situation expérimentale qui n'implique pas nécessairement que l'animal "reconnaisse" tous les nombres en présence pour qu'il réponde correctement. La perception des différences séparant le stimulus positif des autres suffit. A cette perception relative s'oppose la perception absolue du processus de dénombrement que l'on met en évidence lorsqu'un animal répond systématiquement de la même manière au même nombre dont on retrouve dans la même expérience plusieurs versions (variabilité des diverses dimensions). On tente ici d'obtenir de l'animal qu'il perçoive le seul point commun entre ces diverses collections en lui offrant un modèle à retrouver parmi celles-ci. On doit à VERLAINE et à l'école de KOEHLER d'avoir réalisé les premières expériences convaincantes de ce genre. Si on parvient ainsi à distinguer le dénombrement de la discrimination numérique, il faut aussi le distinguer du concept de nombre. D'autres modifications procédurales permettent encore de cerner ce qu'il "manque" à la situation expérimentale typique du dénombrement simple pour parler de concept de nombre. Il faudra que le sujet soit en mesure de percevoir n'importe quel nombre dans n'importe quelle situation, les transitions d'un nombre à un autre ne devant pas reposer sur un nouvel apprentissage. Seul l'homme y parvient. En fait, dans le dénombrement, on considère le nombre au même titre qu'une autre caractéristique des objets, couleur, forme ou taille. Le concept de "trinité" (ou de "triplicité") a le même statut que le concept géométrique de "triangularité" et parler de "dualité", par exemple, c'est-à-dire du concept de deux, n'équivaut pas à parler de "trinité", ou concept de trois, chacun étant propre à une situation expérimentale particulière. Chez l'animal, pour passer de l'une à l'autre, un entraînement est nécessaire. Ainsi donc, si le concept de "triangularité" ou d'"arbre" peut être comparé au concept d'un nombre, on ne peut pas le placer sur le même pied que le concept du nombre lequel pourrait d'ailleurs aussi bien être appelé "concept des nombres".

Il est intéressant de noter que la conception koehlienne d'une capacité perceptive de dénombrement conçue comme une condition de base au développement des capacités de comptage (qui seraient supportées par le langage verbal chez l'homme) se retrouve de nos jours plus ou moins sous la même forme dans bon nombre de textes publiés par les spécialistes du développement de la perception visuelle et des activités intellectuelles. Mais les travaux de ceux-ci ne poussent pas toujours à considérer, contrairement à ce que faisait KOEHLER, les capacités perceptives de dénombrement comme un mécanisme de base commun à l'homme (ou à l'enfant) et aux autres vertébrés. C'est par exemple le cas du travail de STARKEY et COOPER (1980), qui ont montré qu'une capacité perceptive de dénombrement rappelant celle des animaux et appelée

par les Anglo-saxons "subitizing" ou "perceptual enumeration process" se rencontre chez les bébés humains de 22 semaines lesquels appréhendent moins de quatre unités à une époque de la vie où les opérations de comptage ne sont pas maîtrisées. Chez l'homme adulte, cette limite est portée à 5-8 éléments et varie avec le mode et le temps de présentation non répétitive (cartes, tachistoscope, etc.) et la nature du matériel à appréhender (voir notamment les textes classiques de WOODWORTH, 1949, t. I, chap. II, et de FRAISSE, 1974, pp. 139-144). Mais on remarquera que le "subitizing" s'obtient en quelque sorte naturellement chez l'homme sans qu'il faille faire appel à un artificiel et strict conditionnement comme il est nécessaire de le faire chez les animaux. La méthode utilisée par STARLEY et COOPER est en effet basée sur l'arrêt de l'habituation du regard (c'est-à-dire de la diminution d'au moins 50 % du temps consacré à la fixation visuelle de l'ensemble d'éléments) provoqué lorsque l'enfant perçoit un nouveau nombre. C'est là une différence fondamentale entre l'homme et l'animal, qui relativise sérieusement l'hypothèse de KOEHLER. Cette remarque nous rappelle à tous combien les travaux de la psychologie animale et comparée de laboratoire ont été critiqués et contestés par les tenants des travaux de terrain (les éthologues "classiques"). On retrouve ce débat dans le problème du comptage chez les animaux avec l'article de SALMAN (1943) qui a vivement critiqué l'aspect artificiel des travaux concernant ce problème en affirmant leur inutilité pour la connaissance du comportement naturel des animaux et en soulignant "que ces tests doivent être appliqués de telle manière à révéler la psychologie propre aux animaux plutôt que les souffrances qu'on leur fait subir dans le lit de Procuste des catégories abstraites des hommes" (p. 216). Cependant, il reste que corbeaux et perroquets sont bel et bien capables d'appréhender de petits nombres, et THORPE (1956), spécialiste du comportement éclectique par excellence, en rappelle l'intérêt pour une "entière compréhension de l'animal" en objectant que l'intérêt des expériences du genre de celles de KOEHLER réside en ce qu'elles dévoilent des potentialités psychiques apparemment peu utilisées par les animaux et susceptibles d'être développées et rendues plus "opérationnelles" dans le futur par la sélection naturelle ...

Quoi qu'il en soit, on retiendra que les corvidés, les psittaciformes, les écureuils et probablement les primates savent discriminer un nombre d'un ou de deux autres et dénombrer jusqu'à 7 éléments (éternel chiffre magique !) mais ne savent pas compter (concept de nombre).

BIBLIOGRAPHIE

=====

ARNDT, W., 1939

Abschliessende Versuche zur Frage des "Zähl"-Vermögens der Haustauben.
Z. Tierpsychol., 3 : 88-142.

BIERENS DE HAAN, J.A., 1935

Zahlbegriff und Handlungsrythmus bei einem Affen.
Zool. Jb. (Abt. ...), 54 : 267-288.

BIERENS DE HAAN, J.A., 1936

Notion du nombre et faculté de compter chez les oiseaux.
J. Psychol. Norm. Pathol., 33 : 373-413.

BLACKMAN, D.E. et D. SCRUTON, 1973

Conditioned suppression of counting behavior in rats.
J. Exp. Anal. Behav., 19 : 93-100.

- BRAUN, H., 1952
Über das Vermögen von Papagein, unbenannte Auzahlen zu unterscheiden.
Z. Tierpsychol., 9 : 40-91.
- BUCHMAN, I.B. et M.D. ZEILER, 1975
Stimulus properties of fixed-interval responses.
J. Exp. Analys. Behav., 24 : 369-375.
- DABROWSKA, B., 1967
Studies on the ability of birds of family Corvidae to recognize the numbers with stimultanous use of optical and acoustical signals.
Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego. Prace Zoologiczne, 13 : 71-86.
- DAVIS, H. et J. MEMMOT, 1982
Counting behavior in animals : A critical evaluation.
Psychol. Bull., 92 : 547-571.
- DAWSON, 1961
Counting in jackdaws.
Behaviour, 18 : 229-238.
- DODD, P.W., 1980
Discrimination and differentiation of response number in stimulus directed pecking of pigeons.
J. Exp. Analys. Behav., 33 : 253-264.
- DOUGLAS, J.W.B. et C.N.M. WHITTY, 1941
An investigation of number appreciation in some sub-human primates.
J. Comp. Physiol. Psychol., 31 : 129-142.
- FERSTER, C.B., 1964
Arithmetic behavior in chimpanzees.
Scient. Amer., 210 : 98-106.
- FERSTER, C.B. et C.E. HAMMER, 1966
Synthesizing the components of arithmetic behavior.
In : W.K. HONIG (Ed.), Operant behaviour : Areas of research and application.
New York : Appleton-Century-Crofts.
- FIELDS, P.E., 1932
Study in concept formation : I. Development of the concept of triangularity by the rat.
Comparat. Psychol. Monographs, 9 : 1-70.
- FISCHEL, W., 1926
Hoben Vögel ein "Sohlengedächtnis" ?
Zeit Vergl. Physiol., 14 : 345-369.
- FRAISSE, P., 1974
Manuel pratique de psychologie expérimentale.
Paris, PUF, 4è éd.
- GALLIS, P., 1932
Les animaux savent-ils compter ?
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 1 : 82-84.
- GILTAY, M., 1933
La notion du nombre chez les oiseaux; note préliminaire.
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 2 : 142-146.
- GILTAY, M., 1934
La notion du nombre chez les oiseaux.
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 3 : 112-115.

- GRIFFIN, D.R., 1976
 The question of animal awareness. Evolutionary continuity of mental experience.
 New York : Rockefeller University Press, 1976; 1981 (2è éd.).
- HASSMANN, M., 1952
 Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris* L.)
Z. Tierpsychol., 9 : 294-321.
- HEIDBREder, E., 1946
 The attainment of concepts : I. Methodology and terminology.
J. Genetic Psychol., 35 : 173-189.
- HENNIG, M., 1977
 "Zähl"-Vermögen bei *Blennius pavo* Risso (Blenniidae, Perciformes).
Zool. Anz., 199 : 1-18.
- HERRNSTEIN, R.J., 1982
 Stimuli and the texture of experience.
Neurosc. Biobehav. Rev., 6 : 105-117.
- HERRNSTEIN, R.J., D.H. LOVELAND et C. CABLE, 1976
 Natural concepts in pigeons.
J. Exp. Psychol. : Anim. Behav. Proc., 2 : 285-302.
- HICKS, L.H., 1956
 An analysis of number-concept formation in the rhesus monkey.
J. Comp. Physiol. Psychol., 49 : 212-218.
- HOBSON, S.L., 1975
 Discriminability of fixed-ratio schedules for pigeons : Effect of absolute ratio size.
J. Exp. Analys. Behav., 23 : 25-35.
- HOBSON, S.L. et F. NEWMAN, 1981
 Fixed-ratio-counting schedules.
 In : M.L. COMMONS et A. NERVIN (Eds.), Quantitative analysis of behavior. Vol. I. Discriminative properties of reinforcement schedules.
 Cambridge : Ballinger.
- HONIGMANN, H., 1942a
 The alternation problem in animal psychology.
J. Exp. Biol., 19 : 141-157.
- HONIGMANN, H., 1942b
 The number conception in animal psychology.
Biol. Rev., 17 : 315-337.
- HURWITZ, H.M.B., 1962
 Some properties of behavior under fixed-ratio and counting schedules.
Brit. J. Psychol., 53 : 167-173.
- KLIMCZYK, M., 1958
 The ability of Water Turtles to discriminate between numbers.
Acta Biol. Cracoviensia, 1 : 41-54.
- KOEHLER, O., 1941
 Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Vögeln.
Naturwiss., 29 : 201-218.
- KOEHLER, O., 1943
 "Zähl" Versuche an einem Kolkraben und Vergleichsversuche an Menschen.
Z. Tierpsychol., 5 : 575-712.

- KOEHLER, O., 1949
"Zählende" Vögel und vorsprachliches Denken.
Zool. Anz. Suppl., 13 : 129-132.
- KOEHLER, O., 1950
The ability of birds to "count".
Bull. Anim. Behav., 9 : 41-45.
- KOEHLER, O., 1960
Le dénombrement chez les animaux.
J. Psychol. Norm. Pathol., 57 : 45-58.
- KOEHLER, O., O. MULLER et R. WACHHOLTZ, 1935
Kann die Taube Anzahlen erfassen ?
Verh. dtsh. Zool. Ges., pp. 39-54.
- KOEHLER, O. et R. WACHHOLTZ, 1936
Weitere Versuche an der Taube "Nichtneiss" zur Frage des Zählvermögens.
Verh. dtsh. Zool. Ges., pp. 211-236.
- KURODA, R., 1931
On the counting ability of a monkey (Macacus cynomolgus).
J. Comp. Psychol., 12 : 171-180.
- LASHLEY, K.S., 1940
Studies of Simian Intelligence from the University of Liège.
Psychol. Bull., 37 : 236-248.
- LATIES, V.G., 1972
The modification of drug effects on behavior by external discriminative stimuli.
J. Pharmac. Exp. Therap., 183 : 1-13.
- LÖGLER, P., 1959
Versuche zur Frage des "Zähl"-Vermögens an einem Graupapagei und Vergleichsversuche an Menschen.
Z. Tierpsychol., 16 : 179-217.
- MACPHAIL, E.M., 1982
Brain and Intelligence in Vertebrates.
Oxford : Clarendon Press.
- MAROLD, E., 1939
Versuche an Wellensittichen zur Frage des "Zähl"vermögens.
Z. Tierpsychol., 3 : 170-223.
- MECHNER, F., 1958
Probability relations within response sequences under ratio reinforcement.
J. Exp. Analys. Behav., 1 : 109-121.
- MECHNER, F. et L. GUEVREKIAN, 1962
Effects of deprivation upon counting and timing in rats.
J. Exp. Analys. Behav., 5 : 463-466.
- MILLENSON, J.R., 1962
Acquired counting behavior in mice maintained under two reinforcement procedures.
Anim. Behav., 10 : 171-173.
- NOWAK, M., 1962
The ability of fishes to discriminate between numbers.
Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego. Prace Zoologiczne, 7 : 109-132.

- PIAGET, J., 1967
 Biologie et connaissance.
 Paris : Gallimard.
- PIAGET, J. et B. INHELDER, 1963, 1969
 Les opérations intellectuelles et leur développement.
 In : P. FRAISSE et J. PIAGET : *Traité de Psychologie expérimentale*.
 VII. L'intelligence. Paris: PUF.
- PIAGET, J. et B. IMHELDER, 1966, 1978
 La Psychologie de l'Enfant.
 Paris, PUF.
- PIAGET, J. et A. SZEMINSKA, 1941
 La genèse du nombre chez l'enfant.
 Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé. (nombreuses rééditions récentes).
- PLISKOFF, S.S. et I. GOLDDIAMOND, 1966
 Some discriminative properties of fixed-ratio performance in the pigeon.
J. Exp. Analys. Behav., 9 : 1-9.
- PORTER, J.P., 1904
 A preliminary study of the psychology of the english sparrow.
Amer. J. Psychol., 15 : 313-346.
- RENSCH, B., 1973
 Gedächtnis, Begriffsbildung und Planhandlungen der Tieren.
 Berlin et Hambourg : Verlag Paul Parey.
- REVESZ, G., 1922a
 Zur Analyse der tierischen Handlung.
Arch. néerl. Physiol., 7 : 469-477.
- RILLING, M.E., 1967
 Number of responses as a stimulus in fixed interval and fixed ratio schedules.
J. Comp. Physiol. Psychol., 63 : 60-65.
- RILLING, M. et C. MAC'DIARMID, 1965
 Signal detection in fixed-ratio schedules.
Science, 148 : 526-527.
- SADOVINKOVA, M.P., 1923
 A study of the behaviour of birds by the multiple-choice method.
J. Comp. Psychol., 3 : 249-282.
- SALMAN, O.H., 1943
 Note on the number conception in animal psychology.
Brit. J. Psychol., 33 : 209-219.
- SAUTER, U., 1952
 Versuche zur Froge des "Zähl"-Vermögens bei Elstern.
Z. Tierpsychol., 9 : 252-289.
- SCHIEMANN, K., 1939
 Vom Erlenen unbenannter Anzahlen dei Dohlen.
Z. Tierpsychol., 3 : 292-347.
- SEIBT, U., 1982
 Zahlbegriff und Zählverhalten bei Tieren. Neue Versuche und Deutungen.
Z. Tierpsychol., 60 : 325-341.
- STARKEY, P. et R.G. COOPER, 1980
 Perception of numbers by human infants.
Science, 210 : 1033-1035.

- THOMAS, R.K., D. FOWLKES et J.D. VICKERY, 1980
Conceptuse numerosness judgements by squirrel monkeys.
Amer. J. Psychol., 93 : 247-257.
- THORPE, W.H., 1956, 1963
Learning and instinct in animals.
London : Methuen.
- VERLAINE, L., 1938a
Le Macaque sait-il compter ? Notion du nombre ou rythme de préhension.
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 7 : 51-61.
- VERLAINE, L., 1938b
La notion du nombre chez le Macaque. Acquisition par synthèse d'unités contiguës dans l'espace.
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 7 : 135-148.
- VERLAINE, L., 1938c
La notion du nombre chez le Macaque. Acquisition par synthèse d'unités contiguës dans le temps.
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 7, 310-321.
- WILKIE, D.M., J.B. WEBSTER et L.G. LEADER, 1979
Unconfounding time and number discrimination in a MECHNER counting schedule.
Bull. Psychonom. Soc., 13 : 390-392.
- WOODROW, H., 1929
Discrimination by the monkey of temporal sequences of varying number of stimuli.
J. Comp. Psychol., 9 : 123-157.
- WOODWORTH, R.S., 1949
Psychologie expérimentale.
Paris : PUF (traduit de l'anglais).