

Schets voor een Algemene Theorie van het Experiment

I. INLEIDING.

Er bestaan redenen om een poging te doen het experiment als zodanig te ontleden. Zulke ontleding werd in de laatste decennia verwaarloosd. Wie de index-lijsten van enkele recente werken over methodologie en wijsbegeerte van de wetenschappen naslaat zal, naast lange reeksen verwijzingen naar waarschijnlijkheid, inductie, deductie, verklaring enz. slechts uitzonderlijk korte fragmenten over het experiment vinden. Nochtans kan men niet beweren dat het experiment een *onbelangrijk*, of een *volledig uitgeput*, ofwel een *al te moeilijk onderwerp* zou zijn, voor methodologische studie.

Zeker is empirische wetenschap niet noodzakelijk experimentele wetenschap. De sterrenkunde en de geologie zijn empirische wetenschappen van hoge exactheid terwijl het ons toch niet mogelijk is sterren te beïnvloeden en planeten te maken of te vernielen. Maar we bevinden ons juist, in de huidige wetenschappelijke ontwikkeling, op een ogenblik waarin zekere vakken die traditioneel geen experimentele wetenschappen waren (sociologie en psychologie) systematisch gebruik van experimenten gaan maken. Het vraagstuk stelt zich dus akueel, na te gaan in hoeverre in deze nieuwe context het begrip « experiment » in dezelfde betekenis gebruikt wordt als elders en in hoeverre we kunnen uitmaken of ja dan neen aan de experimentele methode intrinsieke grenzen gesteld zijn. *De voorwaarden der mogelijkheid van het experiment worden dus een aktueel vraagstuk.* Dat is een eerste reden om een algemene theorie van het experiment te ontwikkelen.

Er zijn echter nog andere redenen om in die richting te gaan. Wat het experiment ook weze (en we zullen zorgvuldig naar een bepaling ervan moeten zoeken), het is minstens een causale interactie tussen een systeem dat waargenomen wordt en een systeem dat waarneemt, interactie die zich voordoet omdat het waarnemend systeem op informatievermeerdering gericht is.

Het experiment als zodanig kan dus eigenlijk slechts bestudeerd worden in een kennisleer die tegelijk een exacte theorie van het doelgericht gedrag, van de informatie en van het oorzakelijkheidsbegrip zou ontwikkeld hebben.

Tot voor enkele decennia kon men niet beweren dat men in eenzelfde taal kon spreken over causaliteit, doelgerichtheid, en informatie. Door de studie van het metingsproces in de quantummechanica langs de ene kant, door de studie van de verbanden tussen entropie en informatie langs de andere kant en door de beschrijving in cybernetische termen van het doelgericht systeem begint men nu over de mogelijkheid te beschikken om deze drie cruciale termen, nodig om het experiment als zodanig te beschrijven, in één theorie te verbinden met elkaar.

Hier vinden we een tweede reden om ons af te vragen hoe een algemene theorie van het experiment er zou uitzien.

Ook zonder op de grenzen der experimentele wetenschap gericht te zijn, en zonder op de concrete studie van de fysische interactie die het experiment is in te gaan, wordt echter de aandacht getrokken door de intense ontwikkeling die de studie der planificatie van experimenten in de statistiek kent, gestimuleerd door het beroemde werk van FISHER « *The Design of Experiments* ». Deze planificatie van het experiment stelt echter nog enkele principiële problemen, die slechts in het kader van een meer fundamentele probleemstelling opgelost kunnen worden; en bovendien moet de statistische theorie van het experiment in verband worden gebracht met de causaal-fysische theorie ervan aan de ene kant, en met de concrete praktijk aan de andere kant. In werken zoals MURRAY SIDMAN's « *Tactics of Scientific Research* » wordt juist beweerd dat de statistische planificatie-theorie slechts toegepast kan worden als zekere voorafgaandelijke problemen opgelost zijn. En niettegenstaande deze restrictie moet toch worden vastgesteld dat Fishers' « *Design of Experiments* » de klassieke theorie van de combinatorische variatie van factoren (zoals die vanuit Bacon in het werk van Stuart Mill was ontwikkeld) met waarschijnlijkheidstheoretische motieven verbindt en daarom verbetert. Het is dus zeker tijd voor ons om de vraag te stellen in welke zin de Fisherianse aanpak aangevuld moet worden, en in hoeverre deze theorie in verband kan worden gebracht met de meer fundamentele wijsgerig - methodologische vragen die het experiment betreffen.

Bovendien wordt de geschiedenis van het wetenschappelijk denken een zich al maar sneller ontwikkelende discipline. Om deze geschiedenis met nauwkeurigheid te kunnen schrijven moeten we een classificatiesysteem ontwikkelen voor wat er in die geschiedenis gebeurt. Onder andere moeten we vanuit een zorgvuldig bestudeerde theorie van het experiment, een typologie van experimenten opstellen die ons in staat zal stellen de cruciale experimenten uit het verleden met elkaar te vergelijken en zo hun functie in verband te brengen met hun structuur. Hier zal juist de algemene beschrijving van de theorie van het experiment de basis moeten vormen voor deze nu niet meer normatieve maar exact beschrijvende aanpak.

Naast de invoering van het experiment in nieuwe en onverwachte gebieden; naast de studie van de observationele interactie die we in quantummechanica en informatietheorie vinden, naast de problemen gesteld door de statistische theorie van het experiment, vinden we dus ook nog in de geschiedenis der wetenschappen een onbevredigde behoefte die op een theorie wacht.

We kunnen deze inleiding die op de hedendaagse rol van een theorie van het experiment wijst toch niet beëindigen zonder te vermelden dat ook in wijsgerige contexten het probleem zich sterk laat voelen. De hedendaagse kennistheoreticus is er in het algemeen van overtuigd dat in de kennis het denken actief is. Het speelt geen lijdzame rol. Hij is er echter ook van overtuigd dat we niet zoals Kant het nog beproefde de eeuwige categorieën van het verstand moeten opzoeken: de hedendaagse kennistheoreticus zou juist door het zorgvuldig observeren van wat het denken werkelijk doet, de manier waarop het verstand zijn eigen categorieën wijzigt op het spoor willen komen. In de experimentele opzet wordt nu echter als het ware ons categorieënsysteem naar buiten geprojecteerd in macroscopisch waarneembare structuren van apparaten en van handelingen, die deze apparaten gebruiken om informatie te verwerven. Daarom hoopt de wijsgeer door de ontleding van het actieve ingrijpen in de wereld dat het experiment is, meer te ontdekken over doelen en methoden van de experimentator. De wijsgeer gelooft ook meer en meer dat slechts wat observeerbaar en experimenteerbaar is, een fundamentele rol kan spelen in de ontwikkeling van onze wetenschap. Daarom is hij ook cruciaal geïnteresseerd in de studie van het experimentele als zodanig. Het is onbegrijpelijk dat in een school zoals het Logisch Empirisme, die de betekenis van haar oordelen expliciet afhankelijk maakt van wat observeerbaar is, zo weinig moeite werd gedaan om vast te stellen wat experimenteel vaststelbaar is, en wat niet.

Deze vijf redenen om de theorie van het experiment te bestuderen zullen ook de natuurlijke indeling van deze studie suggereren.

1. Methodologische grondvraagstukken.
2. Algemene structuur van het experiment.
3. De concrete uitvoering van het experiment.
4. Causale theorie van het experiment.
5. Statistische theorie van het experiment.
6. Besluit.

II. *Methodologische grondvraagstukken.*

Om in de onoverzichtelijke complexiteit van statistische en quantummechanische, informatietheoretische en historische studies over het experi-

ment een leiddraad te hebben die aan onze schets een zekere eenheid geeft kunnen we niet beter doen dan vertrekken van de resultaten van twee schrijvers die in de laatste vijftig jaar het thema van het experiment in de breedst mogelijke context hebben geplaatst.

We zullen hun besluiten niet overnemen, maar we zullen trachten de nieuwe materialen die ter onzer beschikking staan zo te gebruiken dat we hun vragen dichter tot hun antwoord brengen.

We willen hier dus kort verslag uitbrengen over VICTOR VON WEISZÄCKER'S studie « *Das Experiment* » en over HUGO DINGLER'S boek « *Das Experiment* ».

Het experiment is een interactie tussen mens en natuur, met het oog op het verwerven van kennis. « Was müssen die beiden Partner nun tun können, was müssen sie tun oder geschehen lassen damit ein Experiment zustandekommt? » (von Weiszäcker).

De mens, zegt ons von Weiszäcker, om te kunnen experimenteren moet kunnen waarnemen, handelen en denken. Hij moet kunnen handelen omdat hij anders de natuur niet actief kan beïnvloeden ; hij moet kunnen waarnemen omdat hij anders de resultaten van zijn ingrijpen niet kan opnemen, en hij moet kunnen denken omdat hij zijn ingrijpen moet aanpassen aan de vragen die hij zich stelt.

Maar de voorwaarden waaraan de mens moet voldoen om te kunnen experimenteren zijn niet voldoende om de mogelijkheid van het experiment te funderen. De natuur moet waarneembaar, denkbaar en controleerbaar zijn, opdat een experiment voor de mens mogelijk zou worden.

We zullen ons natuurlijk moeten afvragen, wat eigenlijk de eis der waarneembaarheid, denkbaarheid en controleerbaarheid insluit. Maar we moeten hier een restrictie bijvoegen. Het experiment zou overbodig zijn, als de ganse natuur onmiddellijk waarneembaar was. Het experiment bestaat er juist in, macht over de natuur uit te oefenen om een proces dat niet waarneembaar was, waarneembaar te maken. Naast de voorwaarden der mogelijkheid, staan dus ook de voorwaarden der wenselijkheid van het experiment. Om experimenteel onderzocht te kunnen worden, moet de natuur eveneens aan wetten onderworpen zijn. Deze wetten spreken zich eigenlijk uit over de mogelijkheid of onmogelijkheid van experimenten. Ze hebben de vorm « als de volgende initiale voorwaarden verwerkelijk zijn, en een gesloten systeem van gegeven specificaties gebouwd is, dan zal de volgende eindtoestand zich voordoen ».

Waar het geldigheidsdomein der wetmatigheid ophoudt, zal dus ook het geldigheidsdomein der experimentele methode ophouden.

Zowel vanuit kennistheoretisch gezichtspunt, als vanuit ethisch gezichtspunt (voor de biologische en sociale wetenschappen) vraagt von Weiszäcker zich af waar de grens van het wets- en van het machtsdomein ligt.

Zijn bijdrage doet ons de volgende vragen stellen :

- a. wat is de mens, om te kunnen en te willen experimenteren (id est : om te kunnen en te willen actief ingrijpen op de natuur, met het oog ze zo te veranderen dat waarnemingen mogelijk worden die toestaan op vragen een antwoord te vinden die zonder dit ingrijpen niet beantwoord zouden kunnen worden).
- b. wat is de natuur, die zich leent tot dit ingrijpen ?
- c. wat zijn de grenzen door de mens zowel als door de natuur gesteld voor dit kunnen en willen ingrijpen, om in staat te zijn waar te nemen ?

Hugo Dingler's boek, tientallen jaren vóór von Weiszäcker's artikel verschenen, zal ons in staat stellen om enkele van deze vragen nog precieser te formuleren.

Hugo Dingler stelt vast dat het experiment slechts belangrijk is, in zoverre het herhaalbaar is. Om een experiment te kunnen herhalen, moet ik echter de stoffen en systemen die ik in dit experiment gebruik kunnen opbouwen vanuit bouwstenen die constant en invariant zijn, en exact bepaald. De voorwaarde der mogelijkheid van het experiment is dus de aanwezigheid in de natuur van zulke invariante bouwstenen. Bovendien, om mijn experiment willekeurig en in om het even welke omstandigheden te kunnen herhalen, moet ik deze bouwstenen door mijn eigen handelingen kunnen voortbrengen, uit quasi alomtegenwoordige materialen.

Daar de mens nu essentieel handelt als een solied lichaam op andere soliede lichamen is de mogelijkheid van het experiment gebonden aan de aanwezigheid in de natuur van starre, niet door beweging deformeerbare soliede lichamen, soliede lichamen die ik kan produceren en die ik constant kan behouden ; soliede lichamen waaruit ik ook de overige elementen van de natuur kan opbouwen. Dingler gaat zover een quasi Kantiaanse deductie van de euclidische meetkunde en de newtoniaanse mechanica uit te voeren vanuit dit gezichtspunt. Want juist zoals hij invariante bouwstenen nodig heeft om de herhaalbaarheid van het experiment te verzekeren, zo heeft Dingler ook constante « actiegestalten » nodig die niet alleen het aan zichzelf gelijk blijven der niet actieve elementen verzekeren, maar ook het herhalen van processussen mogelijk maken. Dingler beweert — zonder overtuigende argumenten aan te geven — dat de aantrekkingskracht en de stootwerking de twee fundamentele actiegestalten zijn.

Vanuit deze dingconstanten en deze actieconstanten kan nu zowel het passieve als het actieve deel van het experiment worden opgebouwd.

Het is dus wel evident dat voor deze schrijver de natuur aan zeer speciale voorwaarden moet voldoen wil het experiment erin mogelijk zijn.

We willen ons hier over de exactheid van deze beweringen niet uitspreken. Alleen blijkt uit Dingler's onderscheiding tussen het kwantitatieve en quali-

tatieve experiment (pag. 166) dat zijn theorie alleen het quantitative experiment betreft. Men moet dus het vraagstuk algemener zien.

We zouden de problematiek als volgt willen veralgemenen : een experiment moet herhaalbaar zijn. Zowel de actieve als passieve delen van het experimenteel opzet moeten dus in vele (aan de limiet oneindige) exemplaren voorhanden zijn, en als zodanig herkenbaar. Dit kan slechts gebeuren doordat systemen waarop experimenten worden uitgevoerd tot hun aanvangstoestand kunnen worden teruggebracht (wat voor levende of bewuste wezens uitgesloten is), of doordat vele analoge of tenminste in relevante opzichten analoge systemen voorhanden zijn waarop hetzelfde experiment kan worden uitgevoerd. Periodiciteit in de tijd of soortvormig in de ruimte schijnen dus minimale voorwaarden voor de mogelijkheid van het experiment te zijn. Deze periodiciteit moet echter door onszelf bewerkbaar zijn, en deze veelheid van vergelijkbare individuen (niettegenstaande de individualiteit die een fundamentele onvergelijkbaarheid meebrengt) moet voor ons beschikbaar zijn. En eindelijk : het herstellen van de aanvangstoestand of het aanwezig zijn van analoge initiale voorwaarden bij verschillende systemen moeten door ons vaststelbaar zijn.

Het blijkt dus weer zeer duidelijk uit de verregaande beweringen van Dinger zelf, en uit de minder gewaagde die we hier als veralgemeend besluit trekken, dat de natuur zowel als de mens aan zeer speciale voorwaarden moeten voldoen om het experiment als zodanig mogelijk te maken. Wie zou geloven dat het hier om een zuiver wijsgerig dispunt gaat hoeft slechts in het « *Traité de psychologie expérimentale* » (fasc. I : Histoire et Méthode) de blz. 95-99 na te kijken. Daar stelt de psycholoog zich juist tegenover het probleem dat we hier algemener vermelden ; de uitgevoerde tests laten een irreversibel gevolg na op de proefpersonen en kunnen dus moeilijk op dezelfde proefpersoon herhaald worden, en dezelfde experimenten uitvoeren op verschillende proefpersonen veronderstelt dat men ze als gelijkwaardig kan beschouwen (wat principieel grote moeilijkheden oplevert).

Vermits het experiment en de experimentele methode de enorme resultaten hebben afgeworpen die we kennen, is het mogelijk deze moeilijkheden te overwinnen. Hoe is het mogelijk ze te overwinnen? *Hoe is de natuur en wat doet de mens opdat dit schijnbaar onoverkomelijk dilemma zou kunnen worden voorbijgestreefd?*

We zullen hier trachten naar een antwoord op deze vragen te zoeken. En om op deze vragen antwoord te vinden, zullen we onze nieuwe vragen moeten stellen :

Wat zijn de grenzen die observatie van experiment scheiden? Wat is een goed experiment? Wat is een goed experimentator? Welke hinderpalen ontmoet de experimentator en hoe overwint hij ze? Hoe vindt men, voor

een gestelde vraag de gepaste experimenten die licht kunnen werpen op het antwoord? Hoe vindt men voor verschillende mogelijke experimenten gesteld, wat het beste experiment is?

Maar al deze problemen die we terloops zullen aanraken blijven ondergeschikt aan onze fundamentele antropologische en ontologische vraag: hoe zijn mens en natuur opdat het experiment als wetenschappelijke methode mogelijk en noodzakelijk zou zijn, en hoe kan het experimenteel gedrag de fundamentele aporie overwinnen die we zojuist formuleerden?

III. *Algemene structuur van het Experiment.*

Om deze problemen aan te pakken zal het nodig zijn te zeggen wat een experiment is. In deze paragraaf zullen we dat trachten te doen.

We kunnen het experiment beschouwen als een reeks gebeurtenissen of als een structuur. Een statische beschrijving van het experiment bestaat in een beschrijving van de systemen die tijdens deze reeks gebeurtenissen aanwezig zijn, en van de betrekkingen die op ieder ogenblik tussen deze systemen bestaan. Een dynamische beschrijving bestaat in het aangeven van de evolutiewet die de gebeurtenis of de reeks gebeurtenissen kenmerkt.

Er bestaat niet één enkel soort experiment maar eerder een veelheid van typen ervan. Deze verschillende typen kunnen tot elkaar in bepaalde betrekkingen staan en deze betrekkingen kunnen juist kenmerkend zijn voor de klasse der experimenten als zodanig. We kunnen dus ook spreken over de structuur van de klasse der experimenten (telkens statisch of dynamisch beschreven).

We zullen beginnen met een korte en oppervlakkige beschrijving van de systemen die in een experimentele situatie aanwezig horen te zijn, om ons daarna af te vragen welke voorwaarden we aan deze systemen moeten opleggen, om over een werkelijk experiment te mogen spreken.

In een experimentele situatie ontmoeten we tenminste de volgende aspecten:

1. het systeem waarop geëxperimenteerd wordt: E
2. het systeem dat de experimenten uitvoert: O
3. het systeem waarin de interactie tussen E en O gebeurt: I
4. het totaalsysteem waarvan E, I en O deel uitmaken: W (de letters zijn gekozen als initialen voor Experimenteel gebied, Observator, Interactie en Wereld).

We kunnen deze vier systemen ook nog onderverdelen maar men kan tenminste beweren dat ze alle vier noodzakelijk zijn. De volgende betrekkingen moeten tussen de vier systemen bestaan:

1. Op een initiaal ogenblik t_1 bevindt E zich in een toestand gekenmerkt door een bepaalde waarde voor alle toestandsveranderingen ($E_1 E_2 \dots E_n$) van E. Deze toestand is op een gegeven niveau stabiel (alle veranderlijken moeten niet hun gegeven waarde behouden, maar als ze in beweging zijn dan moet hun regime toch stabiel zijn). Dit geldt ook voor O en I op datzelfde ogenblik t_1 .
2. Op een daaropvolgend ogenblik t_2 wijzigt O direct of indirect de toestand van een of meerdere veranderlijken in E, terwijl de relaties tussen de andere veranderlijken in W, I, en O stabiel blijven. Niets belet dat dit ingrijpen gepaard zou gaan met een wijziging van O zelf, als gevolg van de wijziging in E. Maar in het algemeen zal deze O-transformatie betrekkelijk onbelangrijk zijn in vergelijking met de E-wijziging, en tenminste zekere eigenschappen van O invariant laten
3. Op het ogenblik t_2 (of op een daaropvolgend ogenblik) worden door de wijziging van zekere veranderlijken in E ook andere veranderlijken in E gewijzigd.
4. Zowel de initiale toestand als de twee wijzigingen die het gevolg zijn van het experimenteel ingrijpen veroorzaken in een deelsysteem I_m van I sporen die in het geheugen van I_m worden bewaard, met de orde waarin ze optreden. Door de toestanden van een deel der veranderlijken van E wordt dus in een aantal deelsystemen van I een toestand veroorzaakt die één-éénduidig met de toestanden van deze veranderlijken samenhangt, en die ofwel in deze deelsystemen zelf, ofwel in andere deelsystemen van I, irreversieel stabiel blijkt.
5. O is een doelgericht systeem dat de zoëven beschreven maatregelen uitvoert om informatie betreffende de variabelen van E te bekomen. Om deze reden is het ook nog vereist dat ofwel de meetinstrumenten, ofwel de registreerinstrumenten, voor O toegankelijk zouden zijn (id est : in O en in het geheugen van O relatief irreversibele gevolgen zouden veroorzaken).

Om over experiment te mogen spreken moeten we dus zeker het volgende veronderstellen :

1. Isolering van E (ofwel in de sterkste betekenis : dat om het even welke wijziging in W buiten O en I, E onveranderd laat, ofwel in de zwakke betekenis : E is een systeem dat zonder totaal gesloten te zijn, toch anders en sterker van zijn interne dan van zijn externe variabelen afhangt).
2. Identificatie van variabelen in E.
3. Observatie en meting van de toestand van variabelen in E.
4. Actie van O in I op E ; meting van deze actie en vaststelling van het causaal karakter ervan.

Deze vier voorwaarden moeten bovendien worden opgelegd over bepaalde tijdsintervallen. Het is interessant te zien wat de minimale en maximale tijdsintervallen zijn tijdens dewelke deze voorwaarden moeten en kunnen worden vervuld.

Het essentiële dat we zullen moeten trachten uit te drukken is dat twee typen van interacties nagenoeg approximeerbaar zijn als unilaterale acties (de interactie tussen E en O die het ingrijpen is, en de interactie tussen E en I die de observatie is) en dat bovendien drie niet geïsoleerde deelsystemen nagenoeg approximeerbaar zijn als geïsoleerde deelsystemen (de actiemiddelen enerzijds en het experimenteel systeem met de registreerapparaten na observatie).

Om een formele theorie van het experiment te ontwikkelen kunnen we nu verschillende methoden volgen. We kennen het intuïtief model dat we willen formaliseren: het werd kort beschreven in wat voorafgaat. We kunnen aan de voorstellingsmethoden van de experimentele situatie de volgende namen geven:

- a. de vergelijkend-genetische methode
 - b. de functioneel-causale methode
 - c. de « flow-chart » methode
 - d. de logisch-axiomatische methode
 - e. de algebraïserende methode.
- a. We beschouwen de reeks der toestanden van de vier systemen en stellen naast elkaar de reeks wijzigingen die ze ondergaan.
Deze vier geschiedenissen tesamen genomen beschrijven het experiment.
 - b. We beschouwen interacties van de vier systemen met elkaar en interpreteren deze interacties als afbeeldingen van het ene systeem op het andere.
 - c. We beschouwen het experiment als de transformatie van een fysisch systeem in een ander fysisch systeem als gevolg van de ontwikkeling van een derde en we schrijven de Markov diagrammen van deze systemen.
 - d. We schrijven de toestanden van deze systemen als functies van de tijd en geven de afhankelijkheden ervan aan in een axiomastelsel dat wordt ingeschakeld in de functionele logica van lagere orde verrijkt met een axiomastelsel voor de causaliteitsbetrekking.
 - e. We beschrijven het experimenteel ingrijpen als het toepassen van operatoren op een reeks veranderlijken, en geven wetten aan voor deze operatoren. (kijkend naar de minimale reeks van zulke operatoren die samen genomen de experimentele situatie zouden kunnen beschrijven).

We zullen trachten van enkele van deze methoden gebruik te maken om te zeggen wat een experiment zou kunnen zijn.

Als onze vijf karakteriseringen korrekt zijn, dan moet het trouwens mogelijk blijken ze in elkaar te vertalen.

3.1 Karakterisering van het experiment door operatoren.

In een experimentele situatie moeten we dus wel onderscheiden het experimenteel ingrijpen (D), het observeren (B) en het registreren (R). Deze drie bewerkingen kunnen als unaire operatoren geschreven worden, en ook als binaire operatoren die een bepaald subjeet met een bepaald objekt verbinden. De eerste schrijfwijze is de eenvoudigste. Als we ze volgen dan hebben we voor de drie operatoren D, B en R de volgende eigenschappen :

D - eigenschappen :

- a. *Atomiciteit* : $D_1 (Ex) = (e_{1x}, e_{2x} \dots De_1xej_x \dots e_{nx})$
- b. *Bestaan van identiteitsoperator* D_0 : $D_0 (Ex)$ (waar $E_0 = I$)
- c. $DiDj = DjDi$ dan en dan alleen als D_1e_1 impliceert D_0e_j en omgekeerd.

B - Eigenschappen :

Voor B hebben we de volgende eigenschappen :

- a. Als $x = y$ dan $Bx = By$ (slechts in beperkte mate monotoon : beperkte exactheid van observatie)
- b. $BB = B$
- c. $e_i = D_1e_i$ impliceert dat zowel initiale als finale toestand observabel zijn, d.w.z. dat er een observatieoperator bestaat die juist deze toestanden observeert en hun verschillen enregistreert.

R - eigenschappen :

Voor R geldt :

Voor alle observatieresultaten is er een registreeroperator, en voor alle registreerresultaten is er een observatieresultaat.

Tenzij een onbeperkt aantal registreerapparaten worden ingevoerd is het noodzakelijk dat er een annuleringsbewerking voor registreerresultaten zou worden ingevoerd.

Voor alle D bewerkingen bestaat er een observatie en registrering van begin en eindresultaat niet alleen van de getroffen veranderlijken maar ook van de niet gewijzigde die deel uitmaken van de E vector.

Structureel is B een approximatie tot een eenduidige afbeelding, R eveneens (met invariantie eigenschappen die B niet heeft), terwijl D een familie van gedeeltelijk punctuele, gedeeltelijk partieel punctuele transformatoren is, met beperkt domein.

Het is in de conjunctie van deze drie soorten operatoren dat de typische eigenschappen van het experiment gevonden moeten worden.

Deze algebraïserende karakterisering van het experiment kan sommigen kunstmatig lijken. We hebben ze hier toch willen geven omdat enkele van de interessantste studies die tot nu toe over het experiment verschenen duidelijk in die richting wijzen. Laten we bijv. even in ERNST MACH's boek « *La Connaissance et l'Erreur* » hoofdstuk XII raadplegen getiteld « *l'expérimentation et ses guides* ». Mach (die zich hierin gedeeltelijk inspireert aan Bacon) geeft een aantal bewerkingen aan die de experimentator helpen om zijn doel te bereiken. Deze bewerkingen worden eenvoudig opgesomd. Maar ze schijnen duidelijk een structuur te hebben, en we geloven dat een actuele theorie van het experiment er juist in zou moeten lukken deze structuur naar voor te doen komen. Wanneer men een betrekking tussen twee variabelen x en y experimenteel op het spoor wil komen dan kan men :

- a. de invloed van x versterken (om de betrekking zichtbaar te maken)
- b. x vervangen door x' of y door y' (beter observeerbare veranderlijken)
- c. de betrekking tussen x en y vervangen door een betrekking tussen x , y en z (waar z invers proportioneel is aan x , en beter observeerbaar : de zgn. compensatiemethode)
- d. de betrekking tussen x en y vervangen door een betrekking tussen y en de totaliteit van y en z (of als men wil som of product, in logische zin, van y en z), waar deze totaliteit beter observeerbaar is.
- e. de betrekking bestuderen door extreme waarden voor x en y te stellen.
- f. het experiment dat x beïnvloedt om het gevolg voor y waar te nemen, vervangen door het experiment dat y beïnvloedt om x waar te nemen (Mach stelt zelfs de hypothese voorop dat in de meeste gevallen de permutatie contravariant zal zijn : dezelfde bewerking op y zal een invers gevolg hebben aan de bewerking uitgevoerd op x).

Mach zelf heeft hier het algebraïsch en structureel karakter van deze bewerking niet naar voor gehaald, maar als we naast elkaar stellen de compensatie, inversie, sommatie, versterking en substitutie methoden dan zien we toch duidelijk dat we hier met een klasse operatoren te maken hebben waarvan we de totaalstructuur moeten nagaan. *We kunnen dat hier niet doen, maar we menen dat een vergelijkende studie van het experiment in de verschillende wetenschappen zeer goed kunnen bestaan in het opzoeken van de meest gebruikte deelstructuren van deze structuur.* Bovendien zouden we ook een sluitingseigenschap moeten zien te ontdekken die ons zou waarborgen dat we alle belangrijke bewerkingen van deze familie op het spoor zijn gekomen.

Deze overwegingen zullen de lezer misschien duidelijk maken waarom de algemene karakteristiek van de experimentele situatie in termen van bewerkingen niet mocht ontbreken.

3.2 Karakterisering van het experiment door flow chart theory.

Nicholas Rescher heeft met het oog op de studie van de asymetrie tussen predictie en retrodictie, fysische systemen voorgesteld door hun mogelijke toestanden S_i - S_j in een vierkante matrix met elkaar te vergelijken, matrix die de waarde 1 krijgt als S_i in S_j kan overgaan en 0 als dit niet mogelijk is. We bekomen eigenlijk zo de matrix van een binaire relatie « onmiddellijk opvolger zijn van ». Zulke matrix kan dus ook worden voorgesteld door een pijlfiguur (zoals het geval is met alle binaire betrekkingen) en de eigenschappen van predictie en retrodictie voor zulk systeem hangen dan samen met de eigenschappen van zulke pijlfiguur.

Deze manier om de evolutie van een systeem te benaderen heeft het voordeel dat bijzonder cruciale eigenschappen van systemen weergevonden worden in eenvoudige formele eigenschappen van de matrix of van de pijlfiguur.

Maar de werkwijze die gevolgd wordt maakt het onmogelijk direkt a) de verschillende *delen* van een systeem van elkaar af te zonderen en b) de *interactie* tussen verschillende systemen voor te stellen.

Nu is het juist door een theorie van de interactie van systemen te ontwikkelen, of door een theorie van de interactie van deelsystemen met deelsystemen te behandelen dat een theorie van het experiment op de meest natuurlijke wijze mogelijk wordt.

Om deze matrixtheorie zo te verrijken dat ze zulke interacties zou kunnen voorstellen kan men als volgt te werk gaan : we stellen een systeem ditmaal niet door een matrix voor maar door een klasse van matrices en laten met iedere matrix een toestand van een hypersysteem overeenkomen, dat bepaalt op welke manier het eerste systeem functioneert. Anders gezegd : in plaats van toestanden als inputs in de matrix te gebruiken, gebruiken we reeksen van toestanden als inputs en trachten bewerkingen te vinden die systemen met zulke complexe inputs samenstellen uit systemen met eenvoudiger inputs. Deze bewerkingen moeten dan eigenlijk de interacties weergeven en speciale soorten interacties zullen de experimentele moeten zijn.

Zulke matrices worden echter eerder kompleks en het zou dus de moeite lonen om na te gaan wat we over de experimentele situatie zouden kunnen zeggen in termen van de eenvoudige Rescher-techniek.

Een experiment bestaat dan in het vervangen van een matrix door een andere, of in het vervangen van een toestand door een andere toestand (een van degene die na deze eerste kan volgen).

Rescher heeft niet voldoende opgemerkt dat de grafentheoretische eigenschappen van zijn pijlfiguren hem in staat stellen de essentiële predictie en retrodictieproblemen te stellen. Een graph waarin divergentiepunten voor-

komen kan geen strikte predictie mogelijk maken ; een graph waarin convergentiepunten voorkomen sluit strikte retrodictie uit, het convergeren van divergerende lijnen maakt predictie op lange termijn mogelijk. De waarschijnlijkheidsgewichten over de verschillende divergerende of convergerende lijnen, in hun min of meer homogene of heterogene distributie, bepalen de mogelijkheid of onmogelijkheid van approximatieve predictie of retrodictie. Bovendien kan de complexiteitsindex van de verschillende systemen ons nuttig zijn voor het ontwikkelen van een theorie van het experiment.

De complexiteit van een toestandsgraph hangt af a) van het aantal divergentie- en convergentieplaatsen b) van het aantal cyclussen c) van de gewichtsverdeling over de verschillende pijlen verdeeld (alleen tweewaardig of ook meerwaardig) d) van de distributie der waarschijnlijkheidswaarden over de takken van de graph (meer gelijkmatige verdelingen zijn complexer dan meer asymetrische verdelingen) We moeten trouwens toegeven dat we, in wat voorafgaat, de complexiteitsindex niet volledig hebben vastgesteld omdat we eenvoudig hebben gezegd van welke factoren hij afhangt, zonder aan te geven hoe hij ervan afhangt.

Voor een experimentele situatie mogen we het volgende zeggen :

- a. I moet strikt deterministisch zijn (alleen 0 en 1 in de toestandsgraph)
- b. E moet voldoende predictief zijn (dat E in de initiale toestand onder controle is betekent dat de toekomstige toestanden van E voor een zekere periode en binnen zekere grenzen zijn vastgesteld door de huidige toestand van E)
- c. de complexiteitsgraad van W moet groter zijn dan de complexiteitsgraad van E (anders zou een isolering in experimentele situatie niet nodig zijn geweest)
- d. de registreerapparaten moeten natuurlijk volledig retrodictief zijn, en vanaf de registrering af ook volledig predictief (maar deze laatste eigenschap moeten ze niet noodzakelijk vertonen over hun ganse bestaansduur).

We zouden de complexiteitsindex kunnen gebruiken om een theoretische geschiedenis van het experiment te schrijven. We zouden namelijk kunnen vooropstellen dat de eerste experimenten gebeuren in een maximaal eenvoudige I, E en O ; dat daarna de I complexer wordt om, als een bepaalde drempel overschreden is, ook mogelijkheid te verschaffen om op complexere E te werken en eindelijk, als ook daar een zekere drempel overschreden is, om op complexere O in te gaan. Daarna begint de cyclus weer opnieuw. Het is natuurlijk arbitrair de stijging van complexiteit van I te doen domineren over die van E, om deze twee dan weer te doen domineren over die

van O, en om in een oneindige spiraal deze hiërarchie te behouden (nooit een tegelijk stijgen van de complexiteitsgraden aanvaardend en nooit een omslag van de hiërarchie overwegend). Deze postulaten kunnen alleen uitgeschreven worden op grond van zekere impliciete overtuigingen betreffende ons denken.

We zouden misschien beter doen eerder dan aan een bepaalde hypothese de voorkeur te verlenen na te gaan welke impliciete overtuigingen een van de mogelijke hypothesen zullen doen verkiezen.

Een zelfde versoepeling van methode brengt er ook eigenlijk toe niet meer bepaalde eisen aan de vier doelsystemen van de experimentele situatie op te leggen maar zich eerder af te vragen: welke eisen kan men voor de overige deelsystemen afleiden van het feit dat een van de deelsystemen tot een bepaalde klasse van de Reschertheorie behoort?

Zo staat vast dat voor een systeem met een homogene waarschijnlijkheidsmatrix een langere reeks experimenten gebeuren moet om de matrix op te stellen dan voor een systeem met een heterogene waarschijnlijkheidsmatrix.

Als we het experiment niet meer als een transformatie van systemen beschouwen maar als een omzetten van een toestand S_1 in een andere toestand S_2 die gezien de systeemwetten volgen kan, dan kan de experimentele methode alleen van toepassing zijn op systemen met divergentiesituaties in hun pijlfiguur.

In dezelfde hypothese is een herhaalbaar experiment slechts mogelijk met systemen die een cyclische pijlfiguur vertonen. Wanneer we met experimenten te maken hebben op een pijlfiguur die na gedivergeerd te hebben, traag convergeert dan moeten we een bepaalde tijd wachten tot de stabiele toestand intreedt die langs verschillende wegen kan bereikt worden.

Dit zijn enkele voorbeelden van opmerkingen die men kan maken als men in plaats van apodictische eisen hypothetische eisen aan de deelsystemen die in de experimentele situatie fungeren, stelt. Meer kunnen we echter uit de eenvoudige methode der toestandsmatrices niet halen.

Slechts wanneer we over de complexe matrices beschikken die we op blz. 15 hebben vermeld zullen we een vollediger behandeling van het experiment met behulp van de flow-chart methode kunnen doorvoeren.

Het is hier niet oninteressant te doen opmerken dat het algemene schema van een systeem met inputs en outputs (waarvan de stimulus-response psychologie evengoed een realisatie geeft, als de theorie der sinusoidale stimulering van een fysisch systeem) eveneens als algemeen schema voor een studie van het experiment (en als kader voor een typologie ervan) zou kunnen gebruikt worden.

3.3 Een axiomastelsel voor de experimentele situatie :

We kunnen dit axiomastelsel op verschillende manieren opstellen : ofwel door een axiomastelsel voor de causaliteitsbetrekking te veronderstellen, ofwel door predicaten aan tijdspunten toe te schrijven.

We zullen eerst deze laatste methode volgen omdat ze minder veronderstelt.

We beschikken over twee soorten individuele veranderlijken en constanten t_x en $x, y, z \dots$: momenten en objecten.

$P(t_x, x)$ = het object x vertoont op moment t_x eigenschap P . (p = waarschijnlijkheid).

Axioma's

1. E is geïsoleerd :

$$(Ax) (AP) (AQ) (Atx) (Aty) (Ay) [(y \notin E) \wedge (x \in E) \rightarrow p(P(x, tx), Q(y, ty))] = p(P(x, tx), \sim Q(y, ty))$$

of (1') : $(Ax) (AP) (AQ) (Atx) (Aty) (Ay) [\sim [Q(y, ty) \rightarrow P(x, tx)] \wedge \sim [Q(y, ty) \rightarrow \sim P(x, tx)]]$

Dit axioma is te sterk omdat indien het waar is, ook geen experimenteel ingrijpen kan gebeuren. Het moet dus worden aangepast als volgt :

- a. 1 of 1' zijn alleen waar voor een bepaald tijdsinterval
- b. 1 of 1' zijn alleen waar voor $y \notin E$ en $y \notin O$.
- c. a + b tesamen.
2. E bestaat uit een eindig aantal geïndividualiseerde elementen
 - a. $(Ax) (x \in E) \rightarrow [(x \neq x_1) \vee (x = x_n)]$
 - b. $(Ax) (Ay) (EP) [(x \neq y) \rightarrow P(x) \wedge \sim P(y)]$
3. E heeft een buitenwereld, E en O liggen volledig buiten elkaar.
 $(Ex) \sim (x \in E) \wedge (Ey) \sim (y \in O) \wedge \sim (Ez) [(z \in E) \wedge (z \in O)]$.
4. O verandert E op een punt (in één deel, wat één eigenschap betreft).
 - a. $(Etx) (EP) (Ex) [(x \in O) \wedge \sim P(x, tx-1) \wedge P(x, tx)]$: O verandert in één punt.
 - b. $(Atx) (EQ) (Ey) \{ (y \in E) \wedge (x \in O) \wedge [P(x, tx) \rightarrow Q(y, ty) \wedge [\sim P(x, tx) \rightarrow \sim Q(y, ty)]] \}$: de verandering in O heeft een verandering in E ten gevolg ($ty > tx$ moet nog worden bijgevoegd als extra-voorwaarde)
 - c. $(AP) (Az) [(z \in E) \wedge (z \neq y)] \rightarrow [P(z, ty-1) \rightleftharpoons P(z, ty)]$: geen enkele andere gelijktijdige verandering gebeurt in andere elementen van E .

Dit kan echter op vele andere manieren geformuleerd worden :
 a) het zou kunnen zijn dat men ook wenst veranderingen in eigenschappen van y uit te sluiten die niet Q zijn.

(AR) $[(R \neq Q) \rightarrow (Az) \{ (z \in E) \rightarrow R(z, Ty - 1) \}]$ Deze voorwaarde zou bij (c) kunnen gevoegd worden.

b) het zou echter ook kunnen zijn dat de wet die men door het experiment wenst te achterhalen, zo werkt dat tegelijkertijd met de wijziging van Q voor y , andere wijzigingen optreden. Dan kunnen we *niet* meer zeggen wat we in c zegden.

We kunnen dan c verzwakken als volgt :

1. alle gelijktijdige veranderingen hebben de Q verandering tot noodzakelijke voorwaarde.

2. O beïnvloedt geen enkele gelijktijdige verandering *direct*: dit is zeer moeilijk te zeggen wegens de transitiviteit van de implikatie. Het enige dat men kan doen is dit :

(AR) (AP) (Ax) (Ay) $\{ \{ (x \in O) \wedge (y \in E) \rightarrow [\sim P(x, tx - 1) \wedge P(xtx)] \rightarrow [\sim R(y, ty - 1) \wedge R(y, ty)] \} \} \rightarrow [[\sim P(xtx - 1) \wedge P(xtx)] \rightarrow [\sim Q(z, tz - 1) \wedge Q(ztz)] \} \}$ (zeker $[(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow r)] \rightarrow [p \rightarrow r]$) maar hier zeggen we $(p \rightarrow r) \rightarrow (p \rightarrow q)$. Zo zeggen we dat de rol van q essentieel is om p met r te verbinden.

Het is zeer belangrijk in te zien dat we systematisch quantoren over predikaten moeten gebruiken. Om de grond hiervan te begrijpen is het misschien belangrijk te trachten ze te *vervangen*, en vast te stellen welke problemen men ontmoet.

5. Iedere toestand van het experimenteel systeem is meetbaar (of tenminste observeerbaar, of ten minste, iedere wijziging ervan is zo).

5.1 (Ax) (Ez) (AP) $[(x \in E) \wedge \sim (z \in E) \wedge \sim (z \in O)] \rightarrow [(EP) (EQ) (At) (En) P(x, t) \rightarrow Q(z, t + n)]$

of 5.2 overgang van $\sim P$ naar P op $t_i \rightarrow Q(z, t + n)$ Bovendien moet nu nog geeist worden dat de relaties tussen de P in E isomorf zijn aan de relaties tussen de Q buiten E . Deze isomorfie kan worden uitgedrukt

a) zelfde = en \neq tussen elementen b) zelfde \rightarrow of E tussen P 's (5.3)

5.1, 5.2, 5.3 betreffen de observatie. Meetbaarheidsvoorwaarden worden niet opgelegd. Meetbaarheid zou tenminste voor n Q 's *orde* voorwaarden veronderstellen. Deze voorwaarden zeggen nog niets over de beschikbaarheid of toegankelijkheid voor O . [De axioma's zijn bovendien allen geformuleerd voor monadische predikaten].

6. Iedere observatie wordt geëregistreerd

(Az) (Eu) (AS) (An) $[S(z, tz) \rightarrow (An) (n \underline{\geq} z) T(u, tn)]$

7. O moet beschreven worden als een doelgericht systeem dat zijn informatie wil optimaliseren.

a. Alle overgangen van P naar Q voor een x in O (die *niet* geïmpliceerd werden door een overgang buiten O) hebben tot gevolg het verminderen van de afstand tot (of het vergroten van de waarschijnlijkheid

van) een zekere distributie (of een klasse van distributies) van Predikaten over elementen

- b. Deze distributie impliceert een disjunctie van *distributies over E* die kleiner is in aantal termen dan om het even welke disjunctie van distributies geïmpliceerd door de overige distributies van O. *di. : meer informatie over E.*

De negatieve voorwaarde in 7a zal opnieuw moeilijk uit te drukken zijn. Door transitiviteit van de implicatie: want een externe reactie die een interne reactie veroorzaakt impliceert toch ook de gevolgen van de interne reactie. Om plaats te winnen verzaken we hier aan de formele schrijfwijze die echter volgens hetzelfde schema als voor de vorige axioma's kan gebeuren.

Om stellingen uit dit axiomastelsel af te leiden zouden we de algemene structuur ervan moeten zien: veranderingen in O veroorzaken veranderingen in E die op hun beurt andere veranderingen in E veroorzaken. Om het even welke toestand van E veroorzaakt een bepaalde toestand in I en om het even welke toestand van I veroorzaakt een irreversibele toestand van R. De veranderingen in O gaan in de richting van verkleinde disjunctie-distributies over E geïmpliceerd door de distributies van O. Stellingen moeten gezocht worden door rolverwisselingen van de deelsystemen, door varianten van de axioma's met elkaar te vergelijken, door bekende implicatiestellingen toe te passen, door quantorbewerkingen uit te voeren.

3.4 De functioneel-causale Methode.

Als vierde methode om de experimentele situatie te beschrijven hadden we dan vermeld het aangeven van de formele eigenschappen van de projecties of afbeeldingen van de betrokken systemen op elkaar.

Zoals bekend bestaat een functie essentieel uit drie objecten: het domein van de functie, het codomein van de functie en de regel waardoor met een gegeven element van het domein een element van het codomein in verband wordt gebracht.

In de experimentele situatie wordt ten volle de gelegenheid geboden om het functiebegrip toe te passen: inderdaad worden met elementen van E, elementen van I, van O en van W in verband gebracht. En dit hele verzamelings- en projectiesysteem wordt dan weer in de tijd op zijn eigen toekomst geprojecteerd. Deze met elkaar verweven systemen van afbeeldingen of functies moeten ons in staat stellen om op nog een vierde en laatste wijze de eigenaardigheden van het experiment uit te drukken.

Laat c de controlefunctie zijn. Dan hebben we voor c de volgende eigenschappen : een deel van O wordt door c afgebeeld op een deel van E (het deel van O dat een deel van E beheerst : we kunnen de gevallen waarin een deel van O de totaliteit van E beheerst onderscheiden van de gevallen waarin dit niet zo is. Beheersen kan betekenen : om het even welke waarde kunnen doen aannemen, maar kan ook betekenen : van een waarde naar een andere doen overgaan, of op een bepaalde waarde constant houden).

Op een gegeven ogenblik t , wordt een deel van O op een deel van E geprojecteerd ; de projectie is meer-meerduidig maar is werkelijk een functie in deze zin dat met een waarde van het domein, ook de waarde in het codomein wordt vastgelegd. Dan wordt het systeem op de observatie-instrumenten geprojecteerd : hier is de afbeelding weer van deel op deel (maar nu een-eenduidig). De observatie wordt ook op de registreerinstrumenten afgebeeld, en deze afbeelding gaat van deel tot deel. Eindelijk worden de registreerinstrumenten op de experimentator afgebeeld en zo wordt de cyclus gesloten. Hier is de afbeelding een-meerduidig.

De typisch functionele begrippen : namelijk inverse functie en product van functies kunnen worden toegepast.

We zouden de situatie ook zo kunnen voorstellen dat de functies die we komen te vermelden niet allen tegelijk bestaan. Dan zal wat we nu komen te zeggen (over de afbeelding van toestanden op toestanden die er onmiddellijk op volgen) ook anders moeten worden geformuleerd :

- a. de afbeelding van R_1 op R_2 is de constante functie tenzij in T_1 er geen afbeelding was van een systeem op R (tenzij in het vorig ogenblik de universele functie ieder systeem op R afbeeldde).
- b. de afbeelding van E_1 op E_2 is nagenoeg de constante functie, tenzij voor een deel van E (overigens schijnt verondersteld te zijn dat de structuur van E bewaard blijft en dus de afbeelding een een-eenduidige is).
- c. Aan de afbeelding van O_1 op O_2 worden geen formele restricties opgelegd tenzij de voorwaarde dat een verfijning van de functie die ofwel O op R ofwel O op E afbeeldt nu of later moet optreden.
- d. de afbeelding van I_1 op I_2 kan een-eenduidig worden afgebeeld op de afbeelding van E_1 op E_2 (we hebben dus afbeeldingen van de systemen op elkaar ; afbeeldingen van de systemen op hun toekomst ; en afbeeldingen van deze afbeeldingen op elkaar) De algebra van deze functies moet nog worden uitgewerkt.

Besluit :

We hebben in wat voorafgaat welbewust alleen structurele eigenschappen vermeld. We hopen dat de lezer ingezien heeft dat de theorie van het ex-

periment slechts in volle algemeenheid kan ontwikkeld worden als we dit plan van algemeenheid bereiken. Maar het is geen ogenblik onze bedoeling geweest ook zelfs maar de volledige ontwikkeling van deze ideeën na et streven vooraleer het experiment in een meer concrete causale context te hebben ingeschakeld.

In ons volgend deel zullen we ons bezighouden met de wijze waarop we in de fysische en in de psycho-sociale wereld, de concrete systemen moeten behandelen om een benadering tot de hierboven beschreven situatie te verwerkelijken.

4. *De concrete uitvoering van het experiment.*

We zullen ons in dit deel van onze uiteenzetting kunnen inspireren aan een werk dat als uitgesproken doel heeft het experiment in de psychologie te bestuderen. Dit doel wordt echter zo goed bereikt dat de concrete problemen die zich voor de uitvoering van om het even welk experiment, ook buiten het psychologisch domein stellen, duidelijk naar voor komen. Onze eigen bijdrage zal erin bestaan aan te tonen hoe deze concreet-praktische behandeling van het experiment verband houdt met de algemeen-theoretische structuur die we in de vorige paragraaf begonnen te leren kennen. Het werk waarvan we hier dus een doorlopend comentaar leveren, gericht op de speciale bedoeling die we zojuist formuleerden, heet « *Tactics of Scientific Research* » door Murray Sidman.

Een wetenschap die het experiment tot voorwerp van studie neemt moet trachten te ontdekken *welke experimenten in welke omstandigheden worden uitgevoerd en waarom*. Deze feitelijke en verklarende studie moet de inleiding vormen tot een *waardering*: welke experimenten zijn beter dan andere? En deze evaluatie van experimenten moet dan uitlopen in een evaluatie van experimentatoren.

Daar de feitelijke onderzoeken eigenlijk alleen (voor zover ze bestaan) werden uitgevoerd om tot normatieve besluiten te komen, zal het niet verwonderen dat we met de evaluatiecriteria beginnen (in dit opzicht trouwens Murray Sidman's uiteenzetting volgend).

De waarde van een experiment hangt of van a) de *belangrijkheid* van de verworven gegevens b) de *betrouwbaarheid* van de verworven gegevens c) de *veralgemeenbaarheid* ervan.

De *belangrijkheid* van gegevens hangt af van de doelen waarop experimenten worden ingericht (doelen die dan vastleggen welke experimenten belangrijk zijn en welke minder of niet). De *betrouwbaarheid* van het experiment is functie van de herhaalbaarheid ervan (hoe dikwijls moet en kan het herhaald worden, met nagenoeg identisch resultaat). De *veralgemeen-*

baarheid wordt gemeten door de variabiliteit der omstandigheden waarin het kan worden herhaald. Als deze drie grondkriteria voldoende bestudeerd zijn geworden wordt dan het totaalplan van het experiment als geheel bekeken.

A. *De doelen van experimenteel werk.*

1. Een eerste doel van experimenteel werk bestaat in het verifiëren van hypothesen.

Als de hypothesen algemene wetmatigheden uitdrukken die voor oneindige domeinen willen gelden dan is inderdaad de mogelijkheid om willekeurige waarden van de veranderlijken te veroorzaken en vast te stellen dat de in de wet uitgesproken betrekking zich steeds voordoet een sterker bewijs voor de geldigheid van de wet dan om het even welke groep toevallig samengeraapte observaties betreffende dezelfde veranderlijken : vandaar dat strikte wetmatigheid in een wetenschap, dikwijls verbonden wordt met experimenteel ingrijpen. De kunst van de experimentator bestaat er voor een groot deel in om de abstracte veranderlijken die in wetten voorkomen en de concrete veranderlijken waarover hij beschikking heeft zo te organiseren dat, uit de vele wetmatigheden waaraan de concrete veranderlijken onderworpen zijn, door de experimentele schikking er een of enkele worden uitgekozen die zichtbaar worden in deze situatie. We moeten echter onderstrepen dat verificatie van hypothesen niet het enig doel van de experimentele arbeid is.

2. Een tweede reden om experimenten uit te voeren is, dat men voor bepaalde klassen van gebeurtenissen systematisch wil opsporen wat gebeurt en welke de verhoudingen tussen deze gebeurtenissen zijn.

Men zal de feiten die men zo ontdekt ook anders kunnen ordenen dan door theorievorming : men kan ze namelijk indelen in functie van de strategische variabelen van het experiment (door een catalogus te maken van gemeenschappelijke veranderlijken, van analoge processen enz.)

Deze mogelijkheid om *te systematiseren in functie van het experiment, in plaats van te experimenteren in functie van de theorie* maakt het nog belangrijker te doen opmerken dat a) een algemene theorie van het experiment mogelijk is en b) dat de evaluatiecriteria voor experimenten belangrijke overeenkomsten vertonen met de evaluatiecriteria voor theorieën : een experiment is beter dan een ander (a) als de metingen accurater zijn (b) als de experimentele inrichting eenvoudiger is (c) als er meer veranderlijken gecontroleerd zijn geworden (d) als de resultaten coherenter blijken (e) als het experiment andere experimenten suggereert en (f) als de data relevant zijn voor meer doelen.

Nu zijn dit juist de criteria die in het algemeen ook als evaluatiecriteria voor theorieën worden voorgebracht. Er moet dus een formele overeenkomst bestaan tussen experiment en theorie. En dit is inderdaad ook het geval. De theoreticus varieert zijn postulaten zo als de experimentator zijn factoren, en de axioma's van de vorige paragraaf kunnen worden toegepast, mits we causale door logische relaties vervangen, op ieder theoretisch systeem. We laten de verificatie hiervan aan de lezer over.

3. Een derde motief tot experimenteren wil nagaan wat met nieuwe technieken gedaan kan worden (metings, observatie of registreertechnieken, en in het algemeen : technieken die fysische of psychische gedragingen veelvuldiger, sneller en vollediger kunnen wijzigen).

Technieken moeten beschreven worden door de veranderlijken die ze in werking stellen en er moet een bepaling gegeven worden voor wat men onder « nieuwe » technieken te verstaan heeft (bvb. nieuwe instrumenten of betere instrumenten, nieuwe verbindingen van instrumenten, nieuwe gebruikswijze, enz. enz.)

Men zou het onderscheid tussen doel A, B en C in functie van de vroeger voorgestelde begrippen als volgt kunnen uitdrukken : in geval A, is informatie over E ons doel ; in geval B, informatie over I, in geval C, informatie over O.

4. Men kan ook experimenteren om geobserveerd gedrag naar wil te reproduceren.

Het vraagstuk van de samenwerking van laboratorium en kliniek is eigenlijk het vraagstuk van de samenwerking tussen vrije observatie, gecontroleerde observatie en experiment. Een algemene theorie van het experiment moet dit vraagstuk stellen. Hier wordt het ons doel een bepaalde relatie tussen O en E te bereiken.

5. Het onderzoek naar de voorwaarden waarin een verschijnsel optreedt drijft ook tot experimenteren (om het verschijnsel te beheersen, te verklaren of te voorspellen). De omstandigheden waarin we naar voorwaarden zoeken zijn dikwijls bepaald door de structuur van het experiment zelf (de voorwaarden van een bepaalde initiale toestand, de voorwaarden van een reversibel maken van een gegeven bewerking om het experiment te herbeginnen).

Als we concrete experimenten beschouwen, moeten we ons afvragen :

- a. hoe we in ieder afzonderlijk geval meten hoe adequaat het nagestreefde doel (een of meerdere van onze vijf) bereikt werd en
- b. hoe we kunnen bepalen welke van de vijf doelen, die gewoonlijk in een combinatie voorkomen, er de meest dominerende rol gespeeld heeft.

Als de verschillende mogelijke doelen met elkaar vergelijken moeten we ons afvragen of er een intrinsieke hiërarchie van doelen bestaat, en hoe de totaalrelevantie van een experiment kan worden gemeten aan zijn deelrelevantie ten opzichte van een combinatie van doelen van een van deze vijf typen.

Doordat we de verschillende mogelijke doeleinden van de experimentator met de hoofdaspekten van de experimentele situatie in verband hebben gebracht, is het misschien mogelijk een natuurlijke hiërarchie te bekomen.

Daardoor ook kunnen we de interne systematiek der doelen bereiken (zo bijvoorbeeld kan het experiment als een systematisch variëren van bepaalde voorwaarden met het oog op het enregistreren der concomitanten bepaald worden : in dat geval kan het experiment worden uitgevoerd omwille van voorwaarden, van de concomitanten, van de relatie van de controle of observatietechnieken, in hun statische of dynamische aspecten, in hun bestaan, of in hun vorm). Vanuit zulke structurele bepaling van de mogelijke experimenteringsdoelen kan misschien ook een evaluatiecriterium, hetzij absoluut, hetzij relatief (ten opzichte van een zekere materie of ten opzichte van een zekere moment der wetenschappelijke ontwikkeling) worden afgeleid.

De studie van de betrouwbaarheid en van de veralgemening zal tonen dat deze eigenschappen ook verschillend gewicht krijgen ten opzichte van de verschillende mogelijke doeleinden.

Alleen door het bestuderen in verband met de algemene systematiek der doelen van het experiment, van de finaliteit ervan kan de pessimistische vaststelling van Sidman op blz. 41 worden weerlegd. « if science is to use the importance of date as a criterion for accepting or rejecting an experiment, it must have a set of impartial rules within which the scientist can operate when he has to make his evaluation. Do such rules actually exist? The answer is no »

B. *Betrouwbaarheid van experimenteel werk.*

Laat een experiment n maal herhaald zijn geworden, in dezelfde voorwaarden (wat reeds op zichzelf een belangrijk probleem daarstelt) ; er zullen in het algemeen afwijkingen optreden in de resultaten. De vraag stelt zich dan : kunnen deze afwijkingen aan toevalsfactoren worden toegeschreven of niet ? Om hierop te antwoorden moeten we de verschillende experimenten als steekproeven uit een hypothetische grondbevolking beschouwen en we moeten ons afvragen met welke waarschijnlijkheid deze grondbevolking kans heeft om zulke afwijkingen op te leveren. De distributie van deze grondbevolking, en de significantiecriteria van de beslissing over de natuur der

afwijkingen moeten in verband worden gebracht met de experimentele situatie (wat gewoonlijk nooit gebeurt omdat het actief experimenteel karakter in de statistische verwerking verwaarloosd wordt).

Dezelfde moeilijkheid die zich voordoet bij het herhalen van experimenten (tijdssampling) doet zich voor bij het gebruiken van controlegroepen: ook hier kan de controlegroep soms het experimenteel effect vertonen terwijl het afwezig was in de experimentele groep, en ook hier moeten we de waarschijnlijkheid op basis van zuiver toeval van zulke schommelingen berekenen.

De vraag is of de algemene moeilijkheden van het statistisch onderzoek hier bijzonder versterkt of bijzonder oplosbaar worden door het feit dat we met een experimentele situatie te maken hebben, of niet?

Alleen doordat we onze bevolking uit eenheden laten bestaan die experimentele situaties voorstellen (zoals die in ons vorig deel beschreven werden) kunnen we een specifiek antwoord op deze vragen geven. We moeten hier dus maten bepalen op verzamelingen van experimentele structuren. Deze theorie bestaat nog niet, maar alleen op basis van ons deel 3 kan ze tot stand komen.

C. *Veralgemening.*

De experimentator kan zeer verschillende aspecten willen veralgemenen over zeer verschillende klassen. Hij kan in exacte grootheden geïnteresseerd zijn, of in de functionele vorm, of alleen in het bestaan van afhankelijkheden. Hij kan willen veralgemenen over individuen van dezelfde of andere soorten, in dezelfde situaties of in andere situaties.

« We cannot dispose of the problem of subject generality by employing large groups of subjects and using statistical measures such as mean and variance of groups » (49) Sidman op. cit.

Als de experimentele opzet er juist op gericht is om causale afhankelijkheden te achterhalen dan kan het niet belangrijk zijn kwantitatieve overeenkomsten tussen verschillende systemen voor een gegeven waarde van een strategische veranderlijke vast te stellen. De bedoeling is dan eerder de functionele afhankelijkheid van de veranderlijke voor een gegeven systeem te vergelijken met de functionele afhankelijkheid voor een ander systeem.

Het probleem van de veralgemeningsmogelijkheden en grenzen is nog scherper gesteld als men van systemen van een klasse K wil veralgemenen naar systemen van een klasse L (van de ene soort naar de andere bvb.)

Zo is het een feit dat uitgestelde reacties op een eerst duidelijk getoonde en daarna weggeborgen voedselvoorraad, langer of korter worden bewaard door verschillende soorten. Wat zou echter gebeurd zijn voor meer of minder honger; voor meer of minder voedsel; voor ander voedsel; voor andere belichting of met andere proefleiders? Vermits niet al deze experimenten

kunnen worden uitgevoerd, moeten criteria worden gevonden in functie van het systeem waarop men experimenteert, in functie van de veranderlijken onder onderzoek en van hun functionele betrekkingen om uit te maken welke veralgemeningen mogelijk zijn en welke niet. In onze algemene beschrijving van het experiment hebben we het experimentel systeem bepaalde door een reeks veranderlijken. Deze bepaling sluit echter zelf een veralgemening in, daar ze veronderstelt dat men uit de aanwezigheid van een veranderlijke in één concreet systeem ook kan afleiden dat ze in een ander concreet systeem effectief zou zijn. « there is no straightforward way of assessing the generality of a variable. No one has yet devised a successful statistical technique for solving such a question. Nor is there any technique to be derived rigorously from the rules of logic » (p. 58) Dit is juist een van de vraagstukken die we vanuit de structuurbeschrijving van het experiment moeten aanpakken. Het probleem der veralgemening van interacties tussen veranderlijken (bij Sidman behandeld als « generality of process » stelt het probleem van de veralgemening van relationele gegevens (de Mill schematisatie van het experiment wordt hier natuurlijk volledig onvoldoende omdat ook relationele elementen in deze schematisatie plaats moeten vinden).

De bijzondere problemen van deze speciale veralgemeningsoorten gaan trouwens nog gepaard met deze gesteld door de keuze van criteria voor veralgemening (wat moet gereproduceerd worden opdat men over succesvolle reproductie zou mogen spreken?), en met de moeilijkheden betreffende het besluit dat getrokken moet worden uit het mislukken van een poging tot reproductie (het zuiver negatieve besluit is onvruchtbaar; men moet trachten de controlerende factoren te vinden die de reproductie doen mislukken). Een laatste vorm van veralgemening bestaat dan nog in de veralgemening van controletechnieken.

Juist zoals we dus de doelen kunnen klasseren in verband met de voorname ingrediënten der experimentele situatie; zo kunnen we ook verschillende veralgemeningdimensies onderscheiden in verband met de E, O, I, R ingrediënten (en hun onderling verband).

Om de veralgemening te bestuderen, zal het best passen eerst de volledige herhaling te ontleden (waarin alle factoren op dezelfde manier verschijnen als in het eerste experiment) om daarna de herhaling met varianten te bekijken.

1. *De zuivere Herhaling.*

Vier vormen van herhaling zijn te onderscheiden: *intersubject* en *intergroep* (van een subject naar een andere, van een groep subjecten naar een andere) en *intrasubject* of *intragroep*. (binnen dezelfde subjecten of groepen).

De eerste beslissing die genomen moet worden is : zal het experiment herhaald worden of zal het niet herhaald worden? Deze beslissing zal afhangen van

- a. het bekend of onbekend karakter van de techniek
- b. de waarschijnlijkheid van fouten
- c. het nieuw of bekende karakter der resultaten
- d. de eventuele tegenstrijdigheden tussen bekomen resultaten en vroegere.

De tweede beslissing is dan : in welke vorm zal herhaald worden? Een grondige studie van het experiment zal moeten beproeven maten te vinden voor de parameters die deze keuzen bepalen. (graad van bekendheid, maat voor discrepantie enz.).

Het is ook duidelijker beter als het enigszins kan intrasubject dan intersubject door te voeren. « stable baselines (id est omkeerbaarheid van de experimentele processen) to be used as a foundation for intrasubject replication do not necessarily imply constancy or even simplicity. A baseline may be constantly changing in a most complex fashion. But if the changes are orderly and are themselves replicable, their utility as a baseline is in no sense diminished (91) » De trend kan afgetrokken worden als men de trend kent (maar de trend moet dan op andere basis dan op basis van de experimenten in kwestie zijn vastgelegd). De vrije reproduceerbaarheid van het fenomeen op gelijk welk oogenblik in de tijd geeft soms vollediger informatie dan de mogelijkheid om het fenomeen in een ander systeem te reproduceren. We zouden de omstandigheden waarin het ene procédé boven het andere procédé te verkiezen is systematisch met elkaar moeten vergelijken.

Wanneer moet vastgelegd worden hoeveel herhalingen van welke soort gepland moeten worden hangt veel af van de vorige ervaringen van dezelfde experimentatoren met dezelfde systemen of fenomenen (of met andere), van de economie van de experimentator ; van de andere onderzoeksprojecten ; van de regelmatigheid en complexiteit van het vastgestelde fenomeen ; en van de graad van overeenkomst (kwalitatief en kwantitatief) na één of menige herhalingen. *De theorie van het experiment moet niet alleen aangeven wanneer men de reeks der herhalingen stopt maar ook wanneer en waarom men de reeks der herhalingen vervangt door andere experimenten (die kwalitatief van de eerste reeks afhangen).*

Er moet bovendien nog worden vastgelegd wat als een herhaling van het experiment zal gelden (functies van intensiteit van het waargenomen effect : van vertrouwen in adekwaatheid van controle, van stabiliteitsgraad der vertreksvoorwaarden).

II. *Herhaling met varianten.*

Zulke systematische herhaling is een herhaling van het eerste experiment waarin men tegelijk enkele nieuwe veranderlijken niet controleert omdat men hoopt hetzelfde effect ook in deze bredere klasse terug te vinden. Deze procedure is echter een waagstuk omdat als men mislukt men de eenvoudige herhaling toch zal moeten uitvoeren.

Als men gelukt, heeft men tijd, ruimte en geld gewonnen, als men mislukt heeft men misschien zeer veel in ieder van deze drie richtingen verloren. De waarschijnlijkheid van gelukken of mislukken is praktisch onmeetbaar.

Verschillende vormen van systematische replicatie zijn mogelijk : men kan tegelijkertijd verschillende vormen van experimenteel ingrijpen toepassen of men kan eerst een experiment a uitvoeren, om dan op het zo gewijzigd systeem een experiment b te beproeven.

De hier gegeven classificatie is zeker niet exhaustief en regels moeten gezocht worden om te beslissen wanneer herhaling met varianten te gebruiken, wanneer niet, en wanneer welke vorm van variatie gewenst is.

III. *Vrije herhaling.*

Een experiment kan worden uitgevoerd op systemen die men essentieel als variabel of essentieel als invariant beschouwt. De natuurkundige maakte tot heden de invariantiehypothese, de psycholoog de variantiehypothese. Men kan echter ook de invariantiehypothese aanvaarden om van daaruit de geobserveerde variabiliteit te verklaren.

Veronderstel dat een actie A wordt uitgeoefend op twee experimentele systemen S1 en S2, en dat in S1 A een tegengesteld effect heeft ten opzichte van S2. Laat dit afhangen van een veranderlijke C. Men bewijst dit door de veranderlijke C zelf te manipuleren en zo de distributie zelf om te keren. (door S1 de rol van S2 te laten spelen).

Indien men alleen de statistische methode zou gebruiken, zou men andere systemen als vergelijkingstermen aanhalen en dan zou in functie van de distributie van de factor C over de populatie het experiment blijken geen regelmatig effect te hebben, of alleen een positief, of alleen een negatief (naarmate C + of C - overweegt).

De theorie volgens dewelke het experimenteel systeem volledig geïsoleerd moet worden (a) of de meer moderne theorie volgens dewelke randomisering der storende factoren moet optreden (b) zijn beiden dus onvolledig. Een derde strategie is in de praktijk mogelijk. Als er variaties optreden bij herhaling

- a. trachten we na te gaan in hoeverre de initiale toestand werkelijk of door was (door vergelijking van het verleden van beide systemen, dezelfde uitvoering van andere experimenten op deze beide initiale toestanden :

het constant houden van gegeven experimentele veranderlijken heeft immers niet altijd voor verschillende duur, en voor verschillende interacties tussen andere veranderlijken, of voor verschillende waarden van andere veranderlijken, hetzelfde effect).

- b. we zien of niet na het beginnen van het experiment belangrijke variaties zijn ingevoerd geworden. Zulk proces ter controlering van storende veranderlijken gaat zolang voort tot het duidelijk wordt a) dat er geen variabiliteit meer optreedt of b) dat deze variabiliteit zo klein is dat ze onbelangrijk wordt of c) dat de experimentator ze veroorzaakt of d) dat de variabiliteit intrinsiek is aan het systeem.

De algemene theorie van het experiment moet aangeven welke strategie optimaal is om dit doel te bereiken en welke metingen moeten gedaan worden om uit te maken in welke van de vier gevallen men zich bevindt.

Zonder deze theorie reeds te kunnen ontwikkelen, kunnen we in ieder geval zeggen dat voor het geval de storende veranderlijken systematisch van elkaar afhangen, hun invloed zelfs laten voelen na verdwenen te zijn (langdurige nawerking) en bovendien voor zover er retroactieve cyclussen bestaan die de storingsveranderlijken aan elkaar binden of die de systeemveranderlijken met de storingsveranderlijken in betrekking stellen, het ver te verkiezen is, systematisch naar controlesituaties te zoeken, eerder dan door toevalsverdeling van de storingsveranderlijken te hopen hun invloed uit te schakelen. Wanneer integendeel deze retroactieve en systematische structuur voor de storingsveranderlijken niet voorligt, kan het aanbeveling verdienen storingen in allerlei richtingen te laten optreden om door het vormen van gemiddelden de verschillende geïntroduceerde fouten uit te schakelen. Uitmaken in welke van de twee gevallen men zich bevindt (of in welk tussenstadium men verkeert) is dus eigenlijk de eerste plicht van de experimentator die variaties bij herhaling ziet optreden. De studie van de techniek die hij daarbij volgt en moet volgen is weer een van de voorname themas van de theorie van het experiment.

Een zekere soort variabiliteit kan worden over het hoofd gezien a) als ze geen interne regelmatigheid vertoont b) als ze zeer zwak is c) als ze uiterst zelden voorkomt d) in functie van het stadium van het experiment waarin deze variabiliteit zich voordoet.

Eindelijk moeten we nu komen tot de overwegingen die het algemene plan van een experiment bepalen.

In het algemeen wordt een experiment voorbereid door een proef (pilot-experiment), gekenmerkt door een kleiner aantal systemen, zwakkere controle, minder zekere techniek. Indien dit echter zo is dan kan uit het proef-experiment praktisch geen besluit worden getrokken betreffende de doelen

van het onderzoek. Een onderzoek geldt als proefonderzoek als het alleen betreffende de betrouwbaarheid van gebruikte technieken enig resultaat kon geven.

Nadat het proef-experiment gebeurd is (min of meer complexe proef experimenten zijn mogelijk), wordt dan het eigenlijk experiment uitgevoerd.

Het experiment kan erop gericht zijn stabiele toestanden of overgangen te bestuderen. De studie van stabiele toestanden bestaat erin, het systeem in een statisch experimentele toestand te brengen en de gevolgen te onderzoeken van het voortduren van deze toestand. Deze methode is nodig om ter voorbereiding van het experimenteel materiaal te dienen in om het even welke wetenschap. Als van één toestand naar een andere toestand wordt overgebracht dan kan reversibiliteit worden geverifieerd door bij verschillende systemen in omgekeerde orde te beïnvloeden, of door bij één systeem de orde van beïnvloeding te permueren.

Als een statische toestand een doel is, moet een criterium worden gekozen dat vastlegt of stabiliteit bereikt is. Het stabiliteitscriterium moet zelf uit vroeger onderzoek worden afgeleid. (de tijd tijdens dewelke een bepaalde eigenschap constant moet blijven om als zodanig statisch gedrag te kunnen beschrijven, gekenmerkt door regelmatige reactie op andere experimenten en door interne voorspelbaarheid) « the degree of variability to be tolerated in the definition of a steady state will be determined by the consistency of the functional relations so obtained and by the degree of statistical control that can be achieved » zegt ons M. Sidman.

Na een bepaald tijdstip worden ofwel gemiddelde en afwijking over tijdsperiodes berekend, ofwel reacties op gegeven storingen opgetekend met regelmatige intervallen.

De keuze van een stabiliteitscriterium moet ook worden bepaald door de waarschijnlijkheid voor een storing om de intrinsieke variabiliteit te vergroten of te verkleinen (en door de waarschijnlijkheid voor een experimentele act om deze variabiliteit te vergroten of te verkleinen). In sommige systemen kunnen stabiele toestanden niet bereikt worden. In dat geval moet men graden en vormen van instabiliteit bestuderen. Interessant is cyclische instabiliteit : men kan ze door het nemen van gemiddelden verwijderen, maar men kan ze ook als zodanig tot studieobject nemen.

Naast stabiele toestanden zal men ook overgangstoestanden tot voorwerp van experimenteel onderzoek maken. (het leerproces is in de psychologie een voorbeeld van zulke overgangstoestand). Als eerste vraag moeten we dan stellen : wanneer begint en wanneer eindigt de overgang (zowel als we het veranderen van outputs als wanneer we het veranderen van inputs als criterium kiezen hebben we moeilijkheden). Een overgang is moeilijk vast te leggen door een onvoldoende kennis van het causaal verband tussen

eigenschappen van het systeem en van de erop inwerkende invloeden. De overgang kan de causale variabele betreffen maar eveneens de zichtbare gevolgen van deze causale variabele. (een quasi statistisch criterium kan gebruikt worden om vast te leggen wanneer een parameter buiten zijn tot nu toe heersende distributie valt.) Deze discussie is zo belangrijk omdat het experiment in het algemeen altijd zowel een statische periode, als een overgangperiode en een daaropvolgende nieuwe statische periode kent. Overgangen kunnen gemeten worden door hun snelheid of frekwentie; maar ook door andere minder gebruikelijke maten: extinctieweerstand bijv. enz. De overgangen zijn in het algemeen functie van de geschiedenis waarna een gegeven plateau is bereikt geworden. Overgangen kunnen worden vergeleken met andere overgangen of met stabiele toestanden.

Ook voor overgangen kan men het reversibiliteitsprobleem stellen: er zijn natuurlijk reversibele processen; daarnaast zijn er dan nog irreversibele waarin men de verschillende aspecten van de overgang van elkaar kan scheiden door grondige ontleding van deze aspecten van de overgang. We zien hier dus dat de kwaliteit van ons E systeem, die we door ons ingrijpen wijzigen, ofwel een nieuwe stabiele toestand tengevolge moet hebben, ofwel een regelmatig of onregelmatig proces. In ons abstract schema verdween deze tegenstelling; in concreto echter is ze uiterst belangrijk.

Deze studie van het algemeen experimenteel plan en van de gevolgen die uit de statische of dynamische aanpak voortvloeien, kan slechts volledig worden als men samengestelde experimenten (die tegelijk verschillende factoren aanvankelijk stabiliseren, en die dan tegelijk verschillende factoren veranderen) eveneens in hun speciale eigenschappen ontleedt.

De bedoeling die we hier hebben als we deze verschillende moeilijkheden vermelden is niet zozeer de statistisch-inductieve vraagstukken naar voor te halen als wel de concrete praktische problemem te suggereren die zich stellen voor de experimentator in deze situatie.

We geloven trouwens dat wie naar een typologie van het experiment zoekt (die hij historisch kan toepassen) in de onderscheidingen van deze paragraaf voldoende materiaal vindt om zijn indeling op te bouwen.

Daartoe zou tevens kunnen bijdragen de studie van de wederzijdse verbandingen tussen stabiliserings-, veranderings-, en registreertechnieken. Wellicht bestaat de experimentele vooruitgang er hier juist in aan zo veel mogelijk elementen zoveel mogelijk functies tegelijk toe te kennen.

Een verdere bijdrage tot adekwate typologie zou kunnen geleverd worden door in te zien dat juist zoals aan ieder observatie-apparaat, ook aan de experimentele situatie de dubbele en dialektische eis tot gevoeligheid en stabiliteit gesteld wordt. Om het experiment besluitkracht te geven moeten alle ingrediënten in een vast bepaalde toestand gebracht worden. Om het

experiment gevoelig te maken moeten deze ingredienten echter uiterst snel reageren op kleinste wijzigingen. Hoe duidelijker en vaster de aanvangstoestand is, hoe minder sensitief de reactie zal zijn. Ieder experimentator vindt voor deze tegengestelde eisen een nieuw compromis. De methodoedoog moet de vormen en gronden van deze compromissen tot voorwerp van studie nemen. (en als typologisch criterium gebruiken).

We hopen dat het abstrakte skelet van ons deel 3 in dit deel 4 een zekere concrete inhoud kreeg. We gaan nu verder in dezelfde richting.

V. *De causale interactie in het experiment.*

Experimenteel onderzoek is het gebruiken van *controle* over systeem E, door systeem O, met het oog op het verwerven door O van *informatie* over E.

Laten we de twee sleuteltermen « *controle* » en « *informatie* » trachten te bepalen zodat we ze met elkaar in verband kunnen brengen.

S1 controleert S2 volledig als met een gegeven toestand van S1 een en slechts een enkele toestand van S2 gepaard kan gaan. (men zou ook een bepaling van controle kunnen voorstellen als volgt : S1 controleert S2 volledig als met een gegeven toestand van S1 slechts deze toestanden van S2 mogelijk zijn die een R (S1, S2) veroorzaken die door het doelkriterium van S2 positief wordt versterkt).

Causaal is controle van een systeem door een ander slechts onder de volgende voorwaarden mogelijk :

a. Laat de bewegingsvergelijkingen voor de twee systemen gegeven zijn : F1 ($x_1 \dots x_n, t_1, x'_1 \dots x'_n t_2 + 1$) en F2 ($y_1 \dots y_r, t_x, y'_1 \dots y'_r, t_x + 1$) Of laat toestandsvergelijkingen gegeven zijn verbonden door een bewegingsvergelijking. Achtereenvolgens kunnen we voor deze toestandsvergelijkingen fysische of sociaal-psychologische grootheden invullen. Zekere veranderlijken die S2 bepalen moeten van S1 afhangen (doordat ze er mee identisch zijn ($x_i = y_j$) of er door bepaald worden (x_i, y_j)).

Zo worden door de positie van één mechanisch systeem de vrijheidsgraden van andere mechanische systemen beperkt. Een aantal controlevoorbeelden moeten uitwijzen hoe als initiale voorwaarde of grensvoorwaarde of limiet voorwaarde de controle gebeurt. De wijze waarop de controle gebeurt, zal dus afhangen van de natuurwetten over de bepalende veranderlijken.

Het is een vraagstuk op zichzelf na te gaan van welke eigenschappen van de natuurwetten de controlemogelijkheden kunnen afhangen.

Er moet echter niet alleen controle worden uitgeoefend, maar ook en vooral controle van een bepaalde natuur (die 1. lang duurt ; 2. asymmetrisch is ; 3. met controle op andere systemen gepaard gaat). Om niet in de concrete fysika te werken moet een algemene theorie [van het experiment] met

typen van natuurwetten, typen van controlevormen verbinden, om deze 3 voorwaarden te onderzoeken.

« Naast de term « controle » staat echter de term « informatie » S1 heeft informatie over S2 in zoverre de resultaten van interacties van S1S2 slechts met een beperkt aantal mogelijke toestanden van S2 verenigbaar zijn.

Het is hier niet de plaats om opnieuw het informatiebegrip dat in de communicatietheorie een exacte bepaling heeft gekregen te gaan bepalen. We stellen slechts vast dat we des te minder informatie over een systeem hebben naarmate dat systeem met gelijke waarschijnlijkheid in een groter aantal toestanden zich kan bevinden. Een verminderen van het aantal toestanden, en een vergroten van het verschil tussen de waarschijnlijkheden vermeerderd de informatie die we over het systeem hebben, en vermindert dus de informatie die we erover kunnen bekomen door een nieuwe experimentele interactie.

In de thermodynamica komt een andere grootheid voor die men entropie noemt en die van dezelfde parameters afhangt als de informatie (maar op tegengestelde wijze): de entropie van een systeem neemt toe naarmate het systeem zich met gelijke waarschijnlijkheden in een groter aantal toestanden kan bevinden (naarmate de orde van het systeem afneemt). Men is dus geneigd informatie als negatieve entropie of entropie als negatieve informatie te bepalen.

Deze verbinding, hoe sterk ze ook nog bediscussieerd wordt (want doordat we de parameters aangeven waarvan entropie en informatie beiden afhangen, geven we nog niet aan of de lijst volledig is en evenmin welke vorm deze afhankelijkheid aanneemt) is belangrijk voor een theorie van het experiment omdat als een systeem controle over een ander uitoefent en in juist die mate de relatieve entropie van het tweede systeem ten opzichte van het eerste daalt: immers met een toestand van S1 zijn een aantal toestanden van S2 meteen uitgesloten. Men kan informatie over S2 verwerven vanuit S1 omdat de organisatie van S2 door S1 bepaald wordt. We zouden dus kunnen zeggen dat een experiment wordt uitgevoerd als door het verminderen van de entropie van S2 in één opzicht, de entropie van S2 in een ander opzicht vermeerderd wordt, zodat de kwantiteit nieuwe informatie die we over S2 kunnen verwerven groter wordt, (en dat gebeurt door toedoen van het feit dat we in een ander opzicht géén nieuwe informatie over S2 meer kunnen verwerven eens de toestand van S1 gegeven zou zijn).

We zullen dus de verhoudingen tussen informatie, entropie en experiment als instrument kunnen gebruiken om de causale structuur van de experimentele situatie op het spoor te komen.

Het experiment geeft slechts nieuwe informatie in zoverre a) uit x alleen (zonder tussenkomst van de y) wijziging niet zal voortkomen b) uit de inter-

ventie alleen de y wijziging evenmin zal voortkomen c) de informatie die de y -wijziging over ($x +$ actie) geeft ontbindbaar is. Het instellen van een geïsoleerd systeem is een verhoging van de locale orde en een vermindering van de locale entropie. Als het systeem echter *volledig* gecontroleerd is, is het moeilijk uit te maken in hoeverre het experimenteel ingrijpen zelf een vermindering der entropie zal betekenen.

Het is in ieder geval noodzakelijk voor het experimenteel systeem zowel als voor de observator om in verschillende evenwichtstoestanden te kunnen verkeren (anders heeft het experimenteel ingrijpen geen zin: er moeten wijzigingen van verschillende intensiteit in verschillende richtingen mogelijk zijn). Bovendien, opdat het experiment niet overbodig zou wezen is het eveneens noodzakelijk dat uit de initiale toestand van E, en uit het ingrijpen van O, niet reeds de reactie van E volledig volgt.

Léon Brillouin heeft in zijn boek « Science and information Theory » het waarnemingsproces exact onderzocht. Wij zouden hier nu willen onderstrepen dat een uitbreiding van Brillouin's methode ook het experimenteel proces begrijpelijk maakt.

Het essentiële vraagstuk dat gesteld wordt betreffende de verhouding tussen entropie en informatie (id est: tussen oncontroleerbaarheid en informatie, want controle is een vorm van orde) is het volgende (Brillouin 159): « acquisition of information about a physical system corresponds to a lower state of entropy for this system. Low entropy implies an unstable situation that will sooner or later follow its normal evolution towards stability and high entropy » Men zou daarvan een subjectieve interpretatie kunnen geven die de volgende zou zijn: de entropie meet eigenlijk het gebrek aan informatie over een bepaald systeem. Dat gebrek aan informatie is natuurlijk een subject parameter en daarom hoeft het niet te verwonderen dat de informatie die ook een subjectparameter is bepalende invloed uitoefent op de entropie. Deze subjectieve interpretatie schijnt op bepaalde ogenblikken ook Brillouin's eigen bedoeling weer te geven: « entropy measures the lack of information about the actual structure of the system. This lack of information introduces the possibility of a great variety of microscopically distinct structures, which we are in practice unable to distinguish from one another. Since any one of these different microstructures can actually be realised at any given time, the lack of information corresponds to actual disorder in the hidden degrees of freedom » (160). Als we deze zin nu echter bekijken dan komen we weer tot een ander besluit: in plaats van slechts te veronderstellen dat het gebrek aan informatie een groot aantal mogelijke toestanden invoert in het model dat de observator van het systeem opstelt wordt integendeel verder beweerd dat deze microstoestanden ook werkelijk mogelijk zijn. En uit de mogelijkheid (id est: niet zero waarschijnlijkheid

van realisatie in de toekomst) van vele verschillende toestanden wordt dan weer afgeleid het gebrek aan orde in de huidige toestand. Deze overgang van een subjectieve parameter naar een objectieve parameter schijnt slechts op twee manieren te kunnen gebeuren a) ofwel wordt het gebrek aan informatie als een noodzakelijk gebrek aan informatie geïnterpreteerd (de observator zou over dit systeem niet meer kunnen weten) en dan wordt het gebrek aan informatie over het systeem inderdaad een intrinsieke parameter van het systeem b) ofwel wordt uit de interacties die in het verleden zijn gebeurd (om informatie over het systeem in te winnen) en uit degene die in de toekomst mogelijk zijn (om meer informatie over het systeem inwinnen) het besluit getrokken dat ze a) het systeem hebben gewijzigd en b) of, door hun mogelijkheid, tonen dat het systeem in een gedeeltelijk onordelijke toestand is.

Daar de overgang van de subjectieve naar de objectieve interpretatie van het veralgemeende beginsel van Brillouin dus op zichzelf een vraagstuk is, wordt een theorie van observatie en experiment verondersteld.

In wat volgt gaan we de door Brillouin geciteerde experimenten ontleden (onze bedoeling is eigenlijk om tot een antwoord te komen op de vraag: voor gegeven experimentele opzet, hoeveel informatie houdt de opzet in kwestie als zodanig reeds in, en hoeveel informatie kan gewonnen worden door de experimentele wijzigingen in deze informatieorganisatie?)

In zijn hoofdstuk 13 behandelt Brillouin het beroemde vraagstuk van de demon van Maxwell. Nu zouden alle vormen van actie kunnen teruggebracht worden tot een Maxwell-actie (*materiele klassifikatie*) Dit kan worden aangetoond. Als dit zo is voor alle acties, dan is het ook waar voor de experimentele actie: men kan tonen dat om E op te zetten, te isoleren; om de elementen van E te singulariseren, en om één element te wijzigen telkens een Maxwell-actie nodig en voldoende is! De studie van de demon van Maxwell is dus eigenlijk de studie van de verhouding tussen waarneming en handeling. De demon is een systeem dat waarnemingen zou kunnen uitvoeren, die tot actie zouden kunnen leiden, zonder voorafgaandelijke actie te moeten doormaken. De onmogelijkheid van deze demon aantonen betekent dus wel het experiment (in zijn observatie-actie gebondenheid) beter begrijpen.

Dit vraagstuk is essentieel voor ons probleem omdat het er eigenlijk in bestaat a) na te gaan hoe door een observatie een vraag met ja of met nee beantwoord kan worden en b) hoe door het antwoord op die vraag een eenvoudige mechanische handeling in een of andere richting kan verlopen (de snel bewegende moleculen links, de traag bewegende rechts: dus de observatie moet zeggen: «snel of traag» en de handeling moet beslissen «links of rechts». De informatie over de bewegingstoestand van het molecuul

moet zo gewonnen worden dat het winnen ervan niet interfereert met het uitvoeren van de handeling (164 : dus is het essentieel dat in het Maxwell-probleem straling wordt gebruikt). Om in een systeem iets waar te nemen moet in het systeem een locale inhomogeniteit worden veroorzaakt (het licht van de toorts van de demon), die instabiel is. Het waargenomen proces verandert dan deze instabiele locale inhomogeniteit op een manier die lang genoeg bewaard blijft om ook buiten het systeem te worden opgevangen. Demers heeft nu bewezen dat in zulk proces meer orde moet verloren gaan door het ordeverlies van de instabiele inhomogeniteit, dan er orde kan gewonnen worden. De batterij moet de toorts tot een temperatuur brengen die groter is dan de grondtemperatuur van het recipient (anders zou het licht in de zwarte kamer straling verloren gaan). Door straling verliest de toorts entropie en wint het recipient er. Dit is een eerste entropie-vermeerdering. Nu kan er alleen een waarneming gebeuren als tenminste een foton door het molecuul wordt afgebogen en geabsorbeerd in een fotoelectrische cel of in het oog. Dit is een tweede vermeerdering van entropie. De actie die de demon-observator kan ondernemen kan hoogstens ten gevolge hebben dat zekere van de microscopisch mogelijke toestanden niet meer mogelijk zijn. We mogen echter in het algemeen aannemen dat de informatie niet in staat zal zijn het systeem volledig te specificeren.

Om ons ervan te overtuigen dat steeds minstens evenveel entropie zal betaald worden als informatie gewonnen, kunnen we het volgende bedenken :

Laat S1 en S2 evolueren. Hoe kan uit S1 informatie over S2 worden afgelegd? Slechts door interactie. id est : S1 wordt zo gewijzigd dat de wijziging slechts te verklaren is vanuit de invloed van een extern systeem. D.w.z. : er worden meer variabelen ingevoerd om een toestand van S1 die vanuit S1 onwaarschijnlijk was, waarschijnlijk te maken. De vergroting van entropie komt voort uit het vergroten van het systeem en uit het feit dat noch S1 vanuit S2, noch S2 vanuit S1, voorspelbaar mag zijn.

Deze discussie is belangrijk omdat in de experimentele situatie in plaats van eerst de observatie uit te voeren, en daarna te handelen, we een complexe reeks ontmoeten van observaties nodig om de experimentele situatie te bepalen ; handelingen nodig om het experiment op te zetten ; observaties nodig om vast te stellen dat het experiment opgezet is ; handelingen om het experiment uit te voeren ; observaties nodig om vast te stellen dat het experiment uitgevoerd is ; observaties om na te gaan wat de gevolgen van de uitvoering zijn. (en dan facultatief handelingen mogelijk geworden dank zij de informatie door het experiment gewonnen).

De reden waarom we hier kort de Maxwellse demon vermeld hebben is echter de volgende : juist zoals het mogelijk is vast te stellen welke voorwaarden moeten vervuld zijn om de materiele klassifikatie van Maxwell

te laten gebeuren en juist zoals het mogelijk is de energiebalans op te stellen van een observatie van om het even welke soort (zoals we dat zoëven zagen) zo is het mogelijk in de complexe reeks van observaties, handelingen en observaties die het eenvoudigste experiment kenmerkt zowel de energiebalans, als de informatie en entropiebalans op te stellen. (want, vergeten we het niet, we mogen aannemen dat ieder actie ontbindbaar is in een complexe reeks materiele klassifikaties van het Maxwellse type).

Brillouin zelf heeft geen volledig inzicht in de complexiteit van een willekeurige experimentele situatie, maar wenst toch ook zijn studie op het experiment toe te passen. Dit blijkt uit het volgend citaat :

« any experiment by which information is obtained about a physical system produces on the average an increase in the entropy of the system or in its surroundings. This average increase is always larger than (or equal to) the amount of information obtained » (p. 184) We zouden ons moeten afvragen wanneer gelijkheid, en wanneer ongelijkheid voorligt ; en wanneer er kan voor gezorgd worden dat de entropie verhoging ofwel binnen ofwel buiten het systeem gebeurt.

De discussie van de betrouwbaarheid en exactheid van een experiment wordt dan door Brillouin aangesloten bij de discussie over de entropie-prijs van een informatie.

De exactheid en betrouwbaarheid van een meting (of van een experiment) hangt af van de waarschijnlijkheid dat de toestand van het waarnemingsinstrument aan interne schommelingen te danken zou zijn vergeleken met de waarschijnlijkheid ervoor dat deze toestand integendeel aan contact met een extern systeem kan toegeschreven worden. Nu kan ieder observatieinstrument beschreven worden als een oscillator met lage frekwentie. Men kan de minimale afwijking berekenen waarvoor het even waarschijnlijk is dat ze van externe of van interne oorsprong is. Deze minimale afwijking stelt dan een intrinsieke grens aan de metingsscherpte. Men kan echter ook observaties maken betreffende een instrument met hoge frekwenties. Door gebruik te maken van het multiplicatie-postulaat van de waarschijnlijkheidsrekening kan men ook de betrouwbaarheidslimiet berekenen (de veronderstelling wordt natuurlijk gemaakt dat er afwezigheid van interactie voorligt).

De experimentele techniek zal erop gericht zijn zo betrouwbaar, accuraat en efficiënt mogelijk te observeren (en hier hebben we dan een algemeen optimalisatie-probleem) maar niet om het even wat te observeren : het relevante te observeren en het observeerbaar te maken als het dat direkt genomen niet is (en hier hebben we een ander optimalisatieprobleem : hoe niet observabele effecten observabel maken?) Het is evenmin mogelijk in een experiment de theorie van de observatie te ontwijken als het mogelijk is de theorie van de actie te ontwijken.

We hebben in deze paragraaf over de causale interactie in het experiment gezien hoe, door het uitbouwen van de reeds bestaande theorie van de Maxwell demon, een algemene theorie van het experiment (id est van de onderlinge afhankelijkheden van actie als energetische beïnvloeding, en observatie als informatieverwerving) mogelijk zou worden.

We zouden, zonder deze gedachte volledig uit te werken (in deze publicatie wordt er immers reeds veel over gezegd in de uiteenzetting van H. Groenewold) een tweede manier zien om vanuit een bestaande theorie een algemene theorie van het experiment te bereiken. Er bestaat, sedert Von Neumann's beroemd boek « *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* » en sedert Dirac's werk « *Foundations of Quantum Theory* » een quantumtheoretische behandeling der meting. In het inleidend werkje « *The general principles of quantum theory* » door G. Temple, vooral in kap. II « *The laws of measurement in atomic physics* » vindt men een elementaire uiteenzetting van deze theorie der meting. We stellen ons de vraag of de mogelijkheid bestaat a) om deze quantumtheoretische theorie der meting zo te veralgemenen dat ze een algemene theorie van het meetproces (als interactie tussen eerst niet gekoppelde en later wel gekoppelde systemen) wordt en b) om deze algemene theorie der meting te gebruiken om een algemene theorie van het experiment op te bouwen? (simplistisch gezegd: als een observatie door een lineaire, unitaire operator wordt voorgesteld in de quantummechanica, en als in deze zelfde theorie een interactietheorie ontwikkeld wordt, is het dan niet mogelijk de interactietheorie met de maattheorie in verband te brengen, en zo in het algemeen de afhankelijkheid te bestuderen tussen de metingen en de interacties die ze langs de ene kant veronderstellen, en langs de andere kant zelf mogelijk maken?).

We willen hier slechts de vraag stellen. Het moest echter gezegd worden dat een theorie van het experiment zowel door een veralgemening van het quantumtheoretisch gezichtspunt als door een veralgemening van het informatietheoretisch gezichtspunt bereikt zou kunnen worden.

VI. *Statistische theorie van het Experiment.*

R. Fisher zegt ons in de inleiding tot zijn « *Design of Experiments* »: experimental observations are only experience carefully planned in advance, and designed to form the basis of new knowledge; that is they are systematically related to the body of knowledge already acquired, and the results are deliberately observed and put on record accurately » (p. 8). Dit zou betekenen dat de theorie van het experiment eigenlijk neer zou komen op de theorie van het doelbewust kiezen van de uit te voeren observaties, en van het optekenen en bewaren van die observaties. De observaties zouden doelbewust gekozen zijn naarmate ze zo zouden gekozen zijn dat ze optimaal

functioneren ten opzichte van het op te lossen vraagstuk. De beginselen volgens welke de planificatie der observaties gebeuren moeten zouden door de theorie van het experiment worden opgesteld. Men zal hier wel aanvoelen dat de middelen die moeten gebruikt worden om de optimale observaties uit te voeren als betrekkelijk onbelangrijk worden beschouwd (zo bvb. stelt de vraag zich niet of, om de observaties uit te voeren ofwel de waarnemingsapparaten veranderd moeten worden, ofwel het waargenomen systeem, ofwel alleen de betrekking tussen beiden). De vraag stelt zich nu of de theorie die Fisher zoekt (nl. : *de theorie die voor een willekeurig vraagstuk en een willekeurig ervaringsgebied aangeeft welke de optimale observaties zouden zijn om het vraagstuk op te lossen.*) reeds bestaat.

Zo ze niet bestaat stelt zich de vraag welke nieuwe onderzoeken moeten worden uitgevoerd om ze tot bestaan te doen komen. Russell Ackoff in zijn boek « Scientific Method, optimizing applied research decisions » zegt ons op pag. 340 « Because we cannot yet (1) characterize all the possible experimental designs along quantitative scales and (2) generate cost of error functions, comparisons must be made in specific contexts rather than by use of analytic optimizing procedures. To generate a cost of error function for experimentation, it is necessary to have a decision model, but it is precisely in order to formulate such a model that experimentation may be required. As yet we do not have a way to escape this vicious circularity, as we do in estimation theory. This is not to say that the difficulty may not be overcome eventually ». Deze tekst die voorkomt in het besluit van het hoofdstuk waarin Ackoff, Fisher's bijdrage tot het experimenteel vraagstuk uiteenzet en waardeert schijnt erop te wijzen dat in 1962 het vraagstuk dat Fisher in 1935 wou oplossen nog niet volledig klaar geworden is.

Er wordt dus gevraagd 1) een studie van de verschillende dimensies ten opzichte waarvan men de experimentele structuren zou kunnen ordenen en dan 2) voor de verschillende mogelijke problemen, en voor de verschillende mogelijke plaatsen op deze ordeningsdimensies, een waarderingsfunctie (dat Ackoff deze waarderingsfunctie hier herleidt tot een cost of error functie is op zichzelf reeds een vereenvoudiging die niet in alle omstandigheden moet kunnen doorgevoerd worden).

Men kan zich afvragen of in deze waarderingsfuncties juist de onderscheidingen die Fisher niet maakt (als hij een experiment alleen beschrijft als een geplande reeks observaties, geoptimaliseerd ten opzichte van een bepaald doel) weer opnieuw zullen moeten gemaakt worden (onderscheidingen die het actief en causaal karakter van het experiment betreffen).

Om onze ordeningsdimensies en onze waarderingsfunctie te zoeken gebruiken we het werk van W. G. Cochran en G. M. Cox : « Experimental Designs » (Wiley Publications in Statistics).

Men heeft het recht te beweren dat de vele experimentele structuren die statistici de laatste twintig jaar hebben opgesteld alle in rechte lijn afstammen van Stuart Mill's « methods of agreement » en « difference ». We moeten even aan deze klassieke methode herinneren om de moderne ontwikkeling begrijpelijk te maken die ze dank zij R. Fisher en zijn leerlingen hebben gekend.

De klassieke « methode van overeenstemming » ziet er zoals bekend als volgt uit : een experimentele situatie bevat n factoren (in ons voorbeeld 4) ABCD. We stellen vast dat ABCD werd waargenomen, en dat eveneens A niet B C D, AB niet C D en A niet B niet C D werd waargenomen. We zeggen dan dat A voldoende voorwaarde is voor D.

De methode van verschil doet hetzelfde voor noodzakelijke voorwaarden als hier gebeurde voor voldoende voorwaarden : ABCD werd waargenomen en bovendien niet A BC niet D, niet A niet B C niet D, niet A niet B niet C, niet D, niet A, B niet C niet D. In dit geval besluiten we dat A noodzakelijke voorwaarde is voor D.

De verbinding van de eerste en tweede methode geeft ons Mill's derde methode. We laten voorlopig zijn methode der residuen en zijn variatie methode voor kwantitatieve factoren buiten beschouwing omdat de problemen die zich ten opzichte van deze twee laatste stellen eigenlijk het experiment als zodanig niet belichten.

De methoden die door Mill werden voorgebracht hebben een beperkt toepassingsgebied. Inderdaad : als het aantal belangrijke factoren enigszins groot wordt is de hoeveelheid van experimenten (iedere ABCD reeks is een experiment) die moet worden uitgevoerd onhandelbaar. Reeds Stanley Jevons zei in het hoofdstuk 19 « Experiment » van zijn boek « The principles of Science » het volgende « The effect of the absence or presence of each condition should be tried both in the presence and absence of every other condition, and every selection of these conditions ... The reader will perceive however that such exhaustive investigation is practically impossible, because the number of requisite experiments would be immensely great . . . It is at this point logical rules and forms begin to fail in giving aid » (417-418). De moderne statisticus heeft nu juist zich door deze begrenzing niet ervan laten weerhouden om een theorie te ontwikkelen van de structuren die nog bewijskracht behouden, en toch praktisch uitvoerbaar zijn.

Deze veelheid van experimentele structuren is tot nu toe niet als geheel geordend geworden (vandaar dat de ordeningsdimensies waarover we zoëven spraken schijnen te ontbreken). We menen in de enkele woorden die volgen, zonder een exacte indeling te geven, toch de gezichtspunten te kunnen schetsen volgens dewelke deze experimentele planificatie die in onze tijd

- i. e wordt uitgevoerd maar op voorwaarde dat ieder *paar* van behandelingen een gelijk aantal malen voorkomt in iedere rij en iedere kolom.
(dit zou ook kunnen worden gezien als het uitvoeren van c op paren van elementen uit a). (*balanced designs* is de standaardnaam.)
- j. op deze i kan weer de deling worden toegepast (*partially balanced designs*)
- k. wat j is ten opzichte van de factoriële experimenten, is de « *balanced lattice* » ten opzichte van de « *randomized block* » experimenten. De afmetingen van het blok zijn de vierkantswortel uit het aantal behandelingen. Ieder paar van behandelingen bevindt zich ten minste eenmaal samen in ieder onvolledig blok.
- l. men neemt een Latijns vierkant : men permuteert het een aantal malen echter zo dat het Latijns vierkant de hem eigen eigenschappen behoudt en men vormt dan de verschillende bloks uit deze permutaties.
- m. men neemt een balanced lattice en men deelt (*partially balanced lattice*)
- n. *keten blok structuur* : men neemt I of n elementen van het vorig blok over in het volgend blok. (n kan direkt worden bepaald of uit b worden gehaald)
- c. in plaats van de voorwaarde in i, komt hier ieder paar tenminste eenmaal voor in een rij of in een kolom (disjunctieve voorwaarden)
- p. de k voorwaarde is vervuld, en een deel van de o voorwaarde ; iedere behandeling verschijnt tenminste eenmaal in iedere kolom.
- q. eindelijk kan men ook in tijd of ruimte uitgestrekte groepen van experimenten analyseren (die kunnen worden geanalyseerd naar analogie van één experiment met echter grotere heterogeniteit).

In de uiteenzetting die voorafgaat ziet men toch al enkele ordeningsbeginselen die de verschillende experimentele structuren kunnen indelen.

We zouden erop willen wijzen hoe de algebraïserende aanpak in 4 hier een tegenhanger vindt in de eveneens algebraïserende aanpak die de op eerste zicht enorm complexe totaliteit der experimentele structuren doorzichtig maakt.

In een volledige theorie van het experiment moet deze ordening worden verscherpt en in verschillende richtingen worden uitgebreid :

- a. er moet worden gezocht of de ordeningsbeginselen vruchtbaar zijn (in deze zin dat ze nieuwe experimentele structuren kunnen opleveren)
- b. de abstracte bepaling van het experiment die we in onze derde paragraaf hebben gegeven moet in verband worden gebracht met deze veelheid van experimentele vormen die tenslotte slechts concrete realisaties zijn van het algemeen model).

- c. de causale theorie van het experiment moet met de statistische theorie van het experiment worden in verband gebracht (in deze zin dat bepaalde structuren in gebieden van een gegeven causale eigenaardigheid minder of meer bruikbaar zouden zijn dan andere structuren : zo bvb. lijkt het ons duidelijk dat in biologische onderzoekingen van fysiologische aard, de el vorm van « confounding » zelden mag worden gebruikt omdat juist hogere orde interacties (gevolgen die aan bepaalde conjuncties van een veelheid van factoren te danken zijn) in het fysiologische een essentiële rol spelen. Deze studie zou systematisch moeten worden uitgevoerd.
- d. de theorie der inductie en der waarschijnlijkheid die bij Fisher in intiem verband staat met de theorie van het experiment zou expliciet moeten worden toegepast op het vraagstuk dat ons hier bezig houdt. We hebben dat hier niet gedaan omdat we dan problemen moeten stellen die in het algemeen gebied van de waarschijnlijkheid van hypothesen en *niet* in het specifiek gebied van de theorie van het experiment thuis horen.

Voorlopig willen we ons echter slechts afvragen of naast de algemene ordeningsgezichtspunten die we in de verzameling der experimentele structuren vonden, we ook geen elementen aantreffen om een algemene nuttigheidsfunctie voor experimenten op te stellen (zoals die terecht door Ackoff gewenst werd)

De verschillende gedeelten in het werk van Cochran en Cox waarin de voordelen en nadelen van zekere experimentele structuren worden opgesomd kunnen ons voorbeelden geven van de soort overwegingen die de experimentator voorlichten bij het kiezen. Wanneer de lezer echter deze overwegingen waarvan we er enkele zullen citeren, zal hebben ontleed zal hij met ons vaststellen dat Ackoff's vaststelling inderdaad juist was : deze overwegingen dragen een duidelijk voorlopig en ongesystematiseerd karakter. Nergens wordt aangetoond vanuit de natuur van het experiment zelf dat het inderdaad deze overwegingen en alleen deze overwegingen zijn, die hier de keuze dienen te bepalen.

We menen dat hier een nog niet gezien, zowel praktisch als theoretisch probleem braak ligt dat vanuit onze algemene bepaling van het experiment zou kunnen behandeld worden.

Laten we nu enkele voorbeelden bekijken.

p. 95 worden de voordelen van een « completely randomized design » beschreven : a) any number of treatments and of replicates is allowed b) statistical analysis is easy c) remains feasible even when data are missing. The principal objection is on the ground of accuracy (niets waarborgt dat niet zeer analoge variabelen niet zeer analoge behandeling zullen krijgen in een toevalsreeks).

De volledige « randomisering » wordt op p. 96 aanbevolen in natuurkunde, scheikunde en kookkunde waar na volledige vermenging, een hoeveelheid homogeen materiaal in kleine eenheden is onderverdeeld.

We zouden ons stelselmatig kunnen afvragen of in de verschillende wetenschapsgebieden die we onderzoeken de volgende drie voorwaarden meer of minder vervuld worden a) homogeen experimenteel materiaal b) vele eenheden verloren of vernield c) kleine experimenten waar de grotere accuratesse, het verlies in vrijheidsgraden niet compenseert.

Op pag. 150 en 151 worden de voordelen van factoriële experimenten beschreven « the following are some instances where factorial experimentation might be suitable 1. in exploratory work, where the object is to determine quickly the effects of each of the number of factors over a given range 2. in investigating the interactions of several factors. Sometimes only by letting everything vary can they be best studied. 3. in experiments designed to lead to recommendations over a wide range of conditions of application. On the other hand, if considerable information has accumulated, or if the object of the investigation is specialised, it might be better to conduct intensive work on a single factor or a very few ».

Op p. 212 spreekt men over de voordelen van « *confounding* »: « they depend upon the advantage of the reduction of heterogeneity. This must be established through various previous tests. The disadvantages of confounding consist in a) the reduction in replication on the confounded treatment comparisons 2) in some cases (unequal number of levels, and partial confounding) more computation.

Op pag. 260 wordt over de voor en nadelen van een partiële fractionele replicatie gediscussieerd (ze hangen af van de interacties die kunnen verwaarloosd worden, de grootte van experimentele fouten, of de standaard deviatie van de fouten van vroeger bekend is of niet)

Op pag. 296 en 297 worden de voordelen van de split-plot experimenten bediscussieerd en op pag. 386-389 worden de voordelen van « incomplete blocks » bediscussieerd.

Een volledige theorie van het experiment zou een poging moeten doen om deze ongeformaliseerde argumenten te formaliseren. (of tenminste in een systeem samen te brengen dat beslist over het gewicht aan ieder van deze overwegingen te geven). Het zal niet gemakkelijk zijn zulke overkoepelende theorie te vinden, omdat de voor en nadelen die hier worden vermeld duidelijk zeer heterogeen zijn: de weerstand tegen missende feiten, het belang van hogere orde-interacties, de complexiteit van berekeningen, en nog veel meer aspecten. zullen allen tegen elkaar moeten worden overwogen.

We kunnen eens te meer het probleem niet oplossen. Maar paradoxaal genoeg, geeft de toestand die we hier, in dit meest bewerkt gedeelte van de theorie van het experiment ontmoeten, ons eigenlijk moed. Het blijkt namelijk dat onze poging om een algemene theorie van het experiment op te stellen niet overbodig of nutteloos is. Wat al deze verschillende soorten experimenten met elkaar gemeen hebben is dat ze experimenten zijn, en wat al deze motieven om zo of zo te experimenteren met elkaar gemeen hebben is dat het motieven zijn om te experimenteren. Slechts vanuit een grondige doorwerking van onze algemene bepalingen in par. 3 zal het dus mogelijk worden om de kostfunctie op te stellen die hier impliciet aanwezig, nog niet kon worden geëxpliciteerd.

Besluit.

Terwijl we zeker nog niet mogen beweren een algemene theorie van het experiment te hebben opgesteld, menen we toch in dit artikel een aantal vraagstukken te hebben geïsoleerd die gewoonlijk niet samen behandeld worden, en die inderdaad een grote en natuurlijk samenhangende familie uitmaken. Dit is de enige bedoeling die we met deze schets hebben gehad.

L. APOSTEL.